REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

UNIVERSITÉ KASDI MERBAH – OUARGLA

Faculté des nouvelles technologies de l'information et de la communication

Département d'Electronique et des Télécommunications

Mémoire de Fin d'études

En vue de l'obtention du Diplôme de Master Professionnel

Domaine : Science et Technologie

Filière : Electronique

Spécialité : Instrumentations et système

THÈME

Solution IoT pour l'optimisation et la surveillance de la distribution d'eau

Présenté par :

BENISMAIL Idriss
DADAMOUSSA Elhadj Abdelkader Ayoub
DJABOREBBI Mohamed Akram
HALOUA Abdelghaffar
GUENDOUZ Mohamed Elhachemi
GOUGI Achraf Imad Eddine

Devant le jury :

DAHRAOUI Nadia	Président	UKM Ouargla
SAGGAI Abdelmoula	Directeur Du Mémoire	UKM Ouargla
ACHBI Mohammed Said	Co- Directeur Du Mémoire	UKM Ouargla
KARA Fouzia	Examinateur	UKM Ouargla
HADJI Manal	Représentant De L'incubateur	UKM Ouargla
SOUK Chahrazad	Partenaire Économique	ADE

Année Universitaire 2025/2026

Remerciements

Avant tout, nous remercions Allah le Tout-Puissant de nous avoir accordé la santé, la volonté, le courage et la persévérance nécessaires pour mener à bien ce projet de fin d'études.

Nous exprimons notre profonde gratitude à notre encadreur, Monsieur SAGGAI Abdelmoula, pour son accompagnement, sa disponibilité, ses précieux conseils et son soutien constant tout au long de la réalisation de ce travail.

Nous adressons également nos sincères remerciements à Monsieur DEGHA Sidali pour son aide précieuse, son expérience professionnelle, ses orientations techniques et les connaissances qu'il a partagées avec nous durant les différentes étapes du projet.

Nous tenons également à remercier notre collègue Mohamed El Hadi pour sa disponibilité, son esprit de collaboration et son soutien tout au long de cette expérience.

Nos remerciements s'adressent également à l'ensemble des enseignants qui ont contribué à notre formation universitaire et qui nous ont transmis les connaissances nécessaires à l'aboutissement de ce projet.

Nous remercions enfin toutes les personnes qui, de près ou de loin, ont participé à la réalisation de ce travail et nous ont encouragés durant notre parcours.

À tous, nous adressons nos plus sincères remerciements et notre profonde reconnaissance.

Dédicace

Nous dédions ce modeste travail :

À nos très chers parents, en témoignage de notre profonde gratitude pour leur amour, leurs sacrifices, leur patience et leur soutien inconditionnel tout au long de notre parcours universitaire.

À nos frères, sœurs et à tous les membres de nos familles pour leurs encouragements permanents et leur confiance.

À nos amis et collègues qui ont partagé avec nous les moments de travail, de doute et de réussite.

À tous nos enseignants qui ont contribué à notre formation académique et humaine.

Enfin, nous dédions ce travail à tous ceux qui œuvrent pour la préservation des ressources hydriques et le développement des solutions technologiques innovantes au service de la société.

Que ce travail soit le reflet de nos efforts et de notre détermination à contribuer, à notre échelle, au progrès scientifique et technologique.

REMERCIEMENTS **II**

DÉDICACE **III**

INTRODUCTION GÉNÉRALE **XII**

INTRODUCTION GÉNÉRALE **13**

CHAPITRE I : ÉTUDE THÉORIQUE ET GÉNÉRALE **14**

1 INTRODUCTION: **15**

2 GESTION ET CONSOMMATION DES RESSOURCES EN EAU : **15**
2.1 Importance de l'eau: 16
2.2 Problèmes liés à la surconsommation: 16
2.3 Méthodes conventionnel de surveillance: 17

3 GÉNÉRALITÉS SUR LES DÉBITMÈTRES: **17**
3.1 Définition d'un débitmètre: 17
3.2 Types de débitmètres 18
3.2.1 Débitmètres à pression différentielle 18
3.2.2 Débitmètres électromagnétiques: 19
3.2.3 Débitmètres à ultrasons 20
3.2.4 Débitmètres à Coriolis: 21
3.2.5 Débitmètres à effet vortex 22
3.2.6 Débitmètres massiques thermiques: 23
3.3 Spécificité des différents débitmètres: 24
3.4 Choix des débitmètres: 25
3.5 Comparaison entre compteur conventionnel et compteur intelligent : 25
3.5.1 Compteur conventionnel: 25
3.5.2 Compteur intelligent: 25

4 INTERNET DES OBJETS (IOT): **26**
4.1 Définition de l'IoT: 26
4.2 Architecture générale d'un système IoT: 27
4.2.1 Couche d'application 27
4.2.2 Couche de prise en charge des services et des applications 27
4.2.3 Couche réseau: 28

4.2.4 Couche dispositif : 28
4.2.5 Capacités de gestion: 29
4.2.6 Capacités de sécurité: 29
4.3 Rôle de l'IoT dans les systèmes intelligents : 30
4.4 Applications de l'IoT dans le domaine de l'eau 30

5 CONCLUSION: 31

CHAPITRE II ANALYSE ET CONCEPTION DU SYSTÈME ''SMART FLOW METER'' 32

1 INTRODUCTION: 33

2 PRÉSENTATION DU SYSTÈME PROPOSÉ: 33
2.1 Concept de base du système: 33
2.2 Objectifs du système: 34
2.3 Acteurs du système (entreprise–client): 35
2.3.1 L'Entreprise (L'Algérienne des eaux – ADE): 35
2.3.2 Le Client (Ménages et Commerces) : 35

3 ARCHITECTURE GLOBALE DU SYSTÈME: 36
3.1 Système de l'entreprise Back-office) : 36
3.2 Application mobile du client: 37
3.3 Rôle du microcontrôleur (ESP 32): 38
3.4 Communication entre les différents systems: 39

4 MODÉLISATION UML: 39
4.1 Définition UML (Unified Modeling Language): 39
4.2 Diagramme de cas d'utilisation: 39
4.3 Diagramme de séquence : 41

5 BASE DES DONNÉES: 42
5.1 Conception de la base de données: 42
5.2 Tables principaux: 43
5.3 Relations entre les tables 43
5.4 Notion de matricula du client: 44

6 CONCLUSION 45

CHAPITRE III RÉALISATION ET DÉVELOPPEMENT DU SYSTÈME 46

1 INTRODUCTION: 47

2 RÉALISATION MATÉRIELLE: 47
2.1 ESP 32 (MCU-32 V1.3): 47
2.1.1 Principe de fonctionnement: 47
2.1.2 Caractéristiques principaux: 47
2.1.3 Rôle dans le système 48
2.2 Capteur de débit YF-S201: 49
2.2.1 Principe de fonctionnement: 49
2.2.2 Caractéristiques principaux: 49
2.2.3 Rôle dans le système: 49
2.3 Électrovanne: 50
2.3.1 Principe de fonctionnement: 50
2.3.2 Caractéristiques principales: 51
2.4 L'écran LCD (Liquid Crystal Display): 51
2.4.1 Principe de fonctionnement: 51
2.4.2 Caractéristiques principaux 52
2.5 Modules de communication (GSM SIM800L) 52
2.5.1 Principe de fonctionnement 52
2.5.2 Caractéristiques principaux 53
2.6 Schéma de câblage 53

3 PROGRAMMATION DU MICROCONTRÔLEUR 54
3.1 Algorithme général: 55
3.2 Lecture du débit 57
3.3 Transmission des données: 58
3.4 Commande d'ouverture et de fermeture de l'eau : 58

4 SYSTÈME DE GESTION DE L'ENTREPRISE 59
4.1 Présentation du système 59
4.2 Gestion des clients 60
4.3 Contrôle à distance du compteur: 61
4.4 Interfaçage avec la base des données : 62

5 APPLICATION MOBILE (CLIENT) 63
5.1 Présentation de l'application 63
5.2 Interfaces utilisateur 63
5.3 Affichage des données 64
5.4 Communication avec le système central: 65

6 RÉSULTATS ET DISCUSSIONS: 66
6.1 Prototype final: 66

6.2 Test de commande à distance: 66

7 CONCLUSION 68

CONCLUSION GÉNÉRALE 69

CHAPITRE I
Fig. I.1 : La relation entre l'eau, l'alimentation, l'énergie, l'environnement et le développement
urbain……. 3
Fig. I.2 : Diagramme des pertes dans le réseau de distribution……4
Fig. I. 3 : Régimes d'écoulement dans une conduite : écoulement laminaire et écoulement turbulent**……..5**
Fig. I.4 Débitmètre à pression différentielle……...…6
Fig. I.5 : Débitmètres électromagnétiques……...7
Fig. I.6 : Débitmètres à ultrasons……..8
Fig. I.7 : Débitmètres à Coriolis…….…..…9
Fig.I.8 : Débitmètres à effet vortex……..10
Fig I.10 : Modèle de référence de l'IoT…….……..14
CHAPITRE II
Fig II.1: Architecture du système proposé…….……...…3
Fig II.2. Microcontrôleur (ESP 32) …….....7
Fig II.3. Diagramme de cas d'utilisation UML…….....9
Fig II.4. Diagramme de séquence……11
CHAPITRE III
Fig III.1. ESP 32 (MCU-32 V1.3) ……..……..3
Fig III.2. Capteur de débit YF-S201…….…….5
Fig III.3. Électrovanne et relais…….6
Fig III.4. écran LCD (Liquid Crystal Display)……..7
Fig III.5. GSM SIM800L et convertisseur DC-DC…….…….…8
Fig III.6. Schéma de câblage……..…….……..9
Fig III.7. Logiciel Arduino IDE……10
Fig III.8. Algorithme général……...…11
Fig III.9. Lecture du débit…….....….12
Fig III.10. Système de gestion de l'entreprise "QATRA"……15
Fig III.11. Gestion des clients…….....16
Fig III.12. Contrôle à distance du compteur……17
Fig III.13. Interfaçage avec la base des données……..17
Fig III.14. Interfaces utilisateur……....19
Fig III.15. Affichage des données…….……..20
Fig III.16. Prototype final…….……21
Fig III.17. Test de fermeture……..…….....22
Figure III.18. Test d'ouverture…….……..…...22

Liste des Tableaux

Tableau I.1 : Caractéristiques des principaux types de débitmètre……12

Tableaux III.1 : Chemin Fire base RTDB : /meter via HTTPS PATCH avec x-http-method-override……..…….13

Tableaux III.2 : Déroulement des étapes de commande d'ouverture et de fermeture de l'électrovanne……..……...…..13

Tableaux III.3 : Correspondance entre les niveaux logiques de l'ESP32 et l'état de la vanne……13

Tableaux III.4 Répartition des fonctionnalités par module de l'application web"QATRA".....14

Tableaux III.5 les opérations CRUD……..……15

Tableaux III.6. Liste des écrans et fonctionnalités de l'application mobile « Qatra »…….…..18

Glossaire

UML	**Unified Modeling Language**
CRUD	**Creat /Read /Update,Unactif/Delete**

Introduction générale

Introduction générale

L’eau représente une ressource stratégique et un pilier fondamental du développement socio-économique mondial. Cependant, la gestion de cette ressource vitale fait face aujourd'hui à des défis sans précédent. Malgré les avancées technologiques, de nombreux secteurs de distribution d'eau s'appuient encore sur des systèmes traditionnels qui manquent de précision, de surveillance en temps réel et de mécanismes de contrôle intelligent.

Dans le contexte actuel, et particulièrement en Algérie, la gestion de l'eau est confrontée à une problématique multidimensionnelle. La rareté des ressources est aggravée par des comportements de consommation non rationnels, des fuites invisibles au sein des réseaux et une absence d'outils numériques permettant un suivi instantané. Sur le plan économique, ces défaillances se traduisent par des pertes financières lourdes pour les entreprises de distribution et une imprécision chronique dans la facturation des abonnés.

Face à ce constat, l'adoption de technologies innovantes devient une nécessité impérieuse. C'est dans cette optique que s'inscrit notre projet de fin d'études, portant sur la conception et la réalisation du **"Smart Flow Meter"**. Ce dispositif ne se veut pas seulement un outil de mesure, mais une solution technologique complète pensée dans une vision de **Startup**.

Notre problématique centrale repose sur la capacité à développer un système intelligent qui concilie haute précision technique et faible coût de déploiement. En exploitant les technologies de l'Internet des Objets (IoT) et la connectivité GSM, le **Smart Flow Meter** permet une surveillance bidirectionnelle : il offre au consommateur une maîtrise totale de sa facture en temps réel et permet au gestionnaire d'intervenir à distance pour optimiser le réseau et réduire le gaspillage.

Ce mémoire présente le cheminement de ce projet, depuis l'analyse des besoins locaux jusqu'à la validation d'un prototype fonctionnel. Notre travail est structuré en trois chapitres :

- **Chapitre I :** État de l'art sur la gestion de l'eau et les technologies de mesure.
- **Chapitre II :** Conception, architecture système et modélisation des données.
- **Chapitre III :** Réalisation matérielle, développement logiciel et phase de tests.

Chapitre I :
Étude théorique et générale

1 Introduction:

La gestion des ressources en eau représente aujourd'hui un défi important en raison de la croissance démographique, de l'urbanisation et du développement industriel. Ces facteurs augmentent la demande en eau et rendent nécessaire une meilleure maîtrise de la consommation ainsi qu'un suivi efficace des réseaux de distribution. Les systèmes traditionnels de mesure, basés

sur des compteurs mécaniques, présentent plusieurs limites telles que l'absence de surveillance en temps réel et la lecture manuelle des données, ce qui rend la détection des fuites et des anomalies difficiles. Avec l'évolution des technologies, des solutions intelligentes basées sur les capteurs, les microcontrôleurs et les technologies de communication comme l'IoT ont été développées pour améliorer la gestion et le contrôle de la consommation d'eau. Dans ce chapitre, nous présentons les notions théoriques liées à la gestion de l'eau, aux débitmètres ainsi qu'aux technologies IoT , qui constituent la base du système proposé.

2 Gestion et consommation des ressources en eau :

La gestion de l'eau est actuellement un enjeu crucial à l'échelle internationale. D'après le rapport mondial sur le développement de l'eau 2023 des Nations Unies, la demande globale en eau grimpe d'à peu près 1 % annuellement à cause de la démographie croissante, de l'urbanisation et de l'expansion économique [1]. Cette croissance graduelle génère une pression significative sur les réserves d'eau douce existantes. Sur le plan mondial, l'agriculture capte approximativement 70 % des ressources en eau douce, alors que près de 20 % sont destinés à l'industrie et environ 10 % à des fins domestiques [5]. Ces chiffres indiquent qu'une stratégie de gestion efficace doit reposer sur des systèmes de mesure rigoureux et des outils de contrôle performants pour améliorer la distribution et minimiser les pertes. D'autre part, la Banque mondiale met en évidence que dans certains systèmes de distribution, les pertes d'eau non facturée (Non-Revenue Water) peuvent excéder 30 % [6]. Les principales causes de ces pertes sont les fuites physiques, les erreurs de mesure et les consommations non autorisées. Non seulement elles engendrent un gaspillage de ressources naturelles, mais elles occasionnent aussi une perte économique considérable pour les distributeurs. Dans ce cadre, le perfectionnement des systèmes de contrôle et l'incorporation de technologies intelligentes se présentent comme des mesures essentielles pour garantir une gestion efficace et durable des ressources en eau [2].

2.1 Importance de l'eau:

L'eau est vitale pour la survie et l'évolution socio-économique. Elle joue un rôle clé dans des domaines essentiels tels que l'agriculture, l'industrie, la génération d'énergie et la santé publique [1]. Toutefois, moins de 3 % de l'eau totale sur Terre est douce, la majorité étant conservée sous forme de glace ou dans des réservoirs souterrains difficiles à atteindre [3]. Cette quantité restreinte

impose une administration judicieuse, pérenne et performante des ressources en eau. Par ailleurs, l'inégalité dans la distribution des ressources en eau exacerbe les inégalités d'accès à l'eau potable, soulignant ainsi le besoin de systèmes de gestion efficaces et justes.

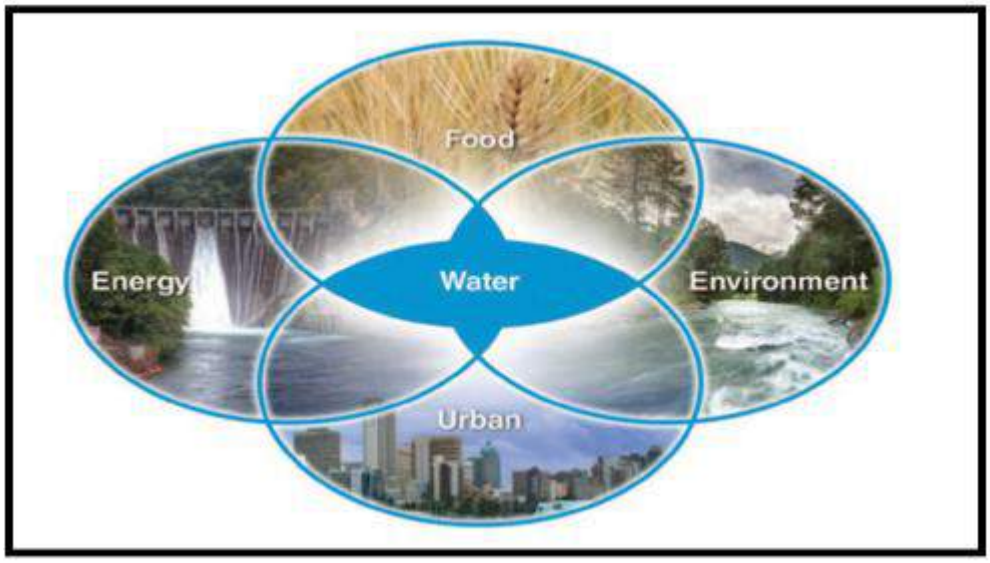


Figure. I.1 : La relation entre l'eau, l'alimentation, l'énergie, l'environnement et le développement urbain.

2.2 Problèmes liés à la surconsommation:

Des enjeux cruciaux sont liés à la consommation excessive et aux dysfonctionnements dans les systèmes de distribution. L'absence de contrôle en temps réel et le vieillissement des infrastructures peuvent provoquer des fuites conséquentes et persistantes [6]. Une mauvaise gestion des ressources en eau peut entraîner des conséquences environnementales majeures, comme le tarissement des nappes phréatiques, ainsi qu'une hausse des dépenses énergétiques associées au pompage et à la purification de l'eau [2]. De plus, l'absence d'indicateurs en temps réel de consommation entrave la capacité des utilisateurs et des gestionnaires à identifier rapidement les irrégularités, contribuant ainsi au gaspillage et diminuant l'efficience globale du réseau.

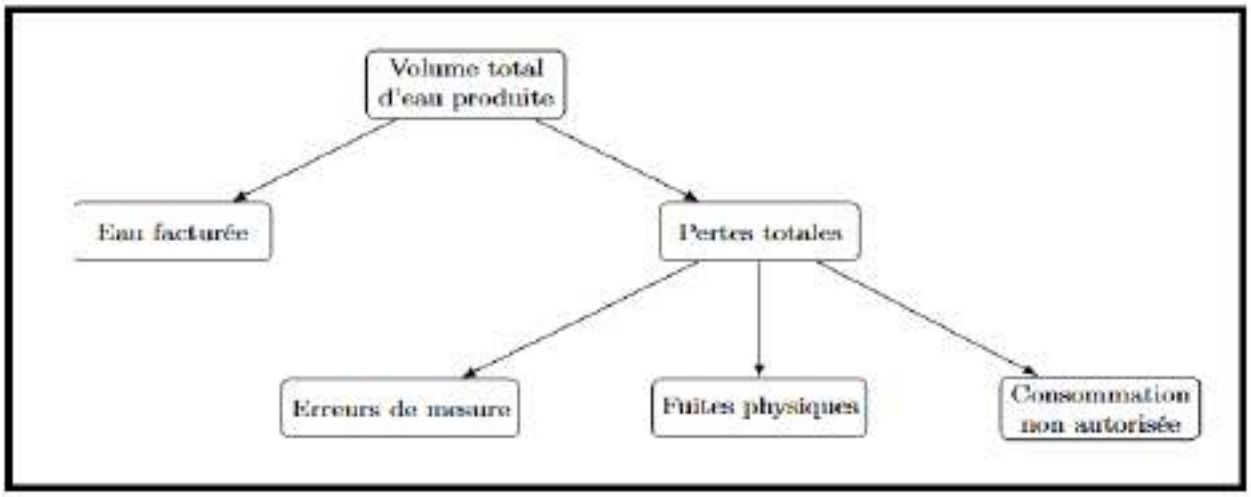


Figure. I.2 : Diagramme des pertes dans le réseau de distribution

2.3 Méthodes conventionnelles de surveillance:

Les techniques conventionnelles de surveillance se basent essentiellement sur des dispositifs mécaniques qui requièrent une consultation manuelle régulière [4]. Ces appareils mesurent la consommation totale, mais ne donnent pas d'informations en temps réel. Ce fonctionnement comporte plusieurs restrictions : Manque de surveillance en temps réel de la consommation. Détection tardive des fuites. Possibilité d'erreurs humaines lors de la collecte des données, Incapacité à contrôler ou intervenir à distance.

Ces contraintes ont entraîné l'évolution de systèmes intelligents qui incorporent des capteurs électroniques et des technologies de communication avancées, capables d'offrir un suivi constant et une gestion améliorée des réseaux d'eau.

3 Généralités sur Les débitmètres:

3.1 Définition d'un débitmètre:

Le débit est la quantité de fluide qui s'écoule ou qui est fournie par unité de temps. On trouve deux types de débit :

- **Le débit volumique *:*** *Qv (m³/s)*
- **Le débit massique :** *Qm (kg/s).*

Ces deux quantités sont liées par la relation $Qm=\rho \cdot Qv$ avec ρ la masse volumique *(kg/m³).*

De nombreuses caractéristiques influencent le débit : la viscosité, la diffusivité thermique, la chaleur massique…

- Le volume qui s'est écoulé dans l'unité de temps est égal à :

$$QV = \frac{L.S}{T} \quad \text{(I.1)}$$

La quantité L/T représente la vitesse V et on en déduit que :

$$QV = V.S \quad \text{(I.2)}$$

- Cette formule très simple est fondamentale dans la mesure des débits. Le débit en masse est donné par :

$$Qm = QV.\rho - A \quad \text{(I.3)}$$

Température constante, le débit massique d'un fluide est proportionnel à son débit volumique. Pour un gaz, il n'y a proportionnalité qu'à pression et température constantes [9]

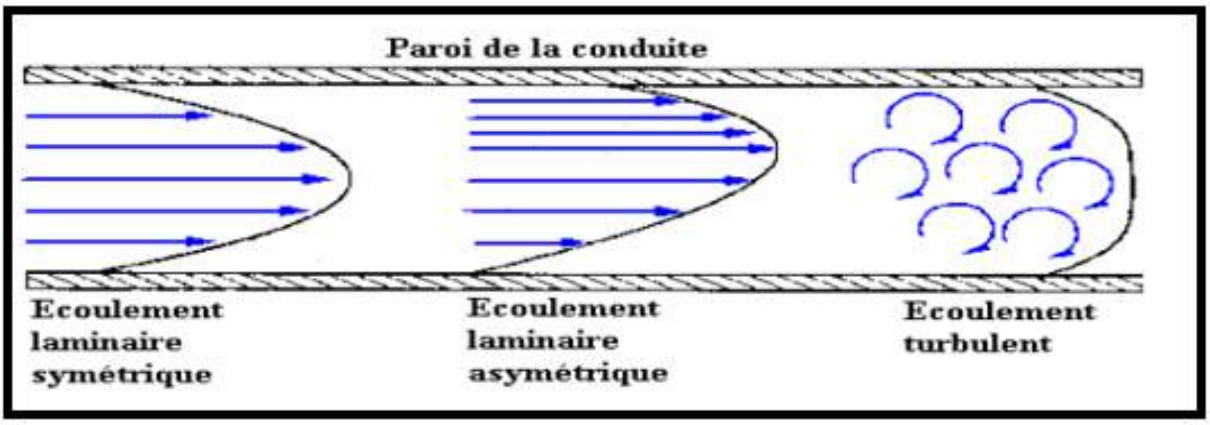


Fig. I. 3 : Régimes d'écoulement dans une conduite : écoulement laminaire et écoulement turbulent.

3.2 Types de débitmètres

3.2.1 Débitmètres à pression différentielle

On utilise principalement ces débitmètres pour mesurer les flux de liquides ou de gaz en mouvement turbulent. Ils sont de petite taille et économiques, mais en contrepartie, ils entraînent une perte de charge significative dans le système hydraulique.

- **Principe de mesure :** loi de Bernoulli, chute de pression due à la variation du diamètre d'une conduite.

- **Système de mesure :** la perte de charge est engendrée par un diaphragme, disque percé en son centre. Le diaphragme restreint le passage du fluide, ce qui provoque une différence de pression de chaque côté. La pression est élevée en amont et réduite en aval. L'écart est proportionnel au carré de la vitesse d'écoulement [9].

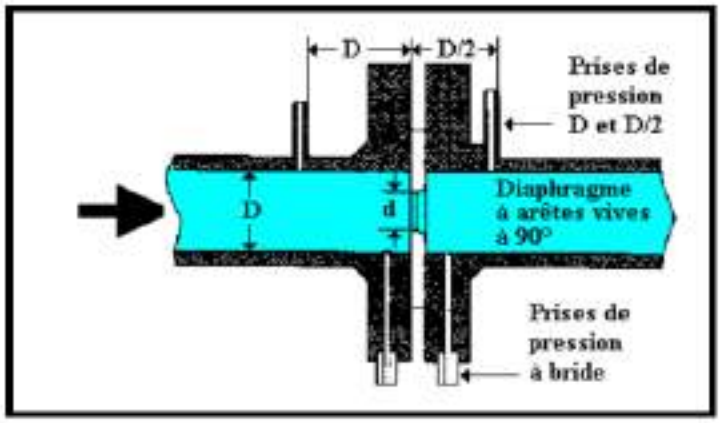


Figure. I.4 **Débitmètre** à pression différentielle

3.2.2 Débitmètres électromagnétiques:

Ces débitmètres ne possèdent pas de composants mobiles. Ils sont appropriés pour mesurer des liquides visqueux, pâteux, contenant des impuretés, abrasifs ou extrêmement corrosifs, à condition qu'ils soient conducteurs de l'électricité (ce qui n'est pas le cas pour les huiles et hydrocarbures).

- **Principe de mesure :** loi de Faraday Quand un conducteur rectiligne se déplace dans un champ magnétique, une force électromotrice est induite dans ce conducteur [9].
- **Système de mesure :** deux bobines inductrices positionnées de chaque côté d'un même diamètre de tuyau génèrent un champ magnétique. Le fluide agit en tant que conducteur, circulant à travers une canalisation isolée électriquement. L'intensité électromotrice est évaluée à l'aide de deux électrodes en contact avec le liquide, situées aux deux bouts d'un diamètre perpendiculaire aux lignes d'induction. La force électromotrice observée est en relation directe avec la vitesse moyenne du fluide, et par conséquent, à son débit volumique.

La loi de Faraday :

$$\mathbf{FEM} = \mathbf{K\,B\,D\,V} \quad avec \left\{ V = m/S \;,\; D = mètres,\; K = 1\,(métrique)\;,\; FEM = volts \right\}$$

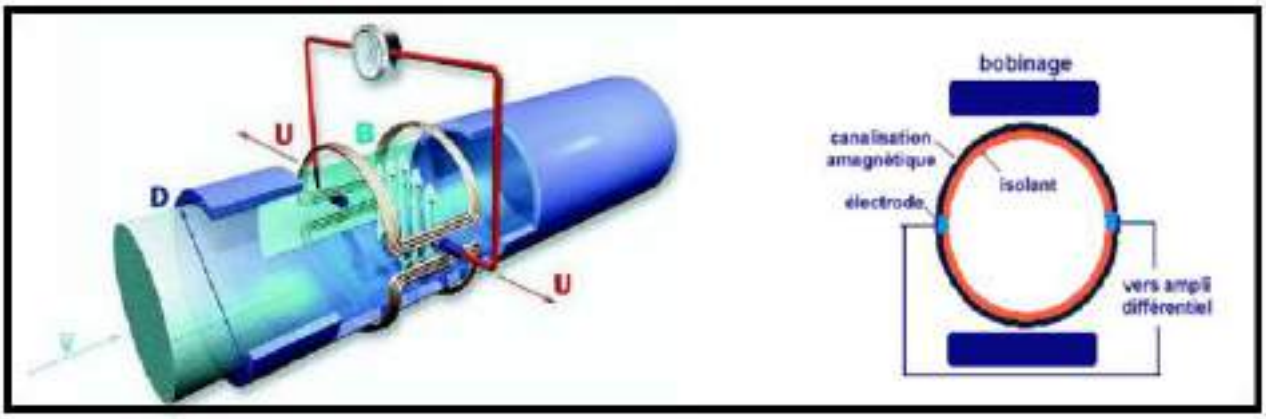


Figure. I.5 : Débitmètres électromagnétiques

3.2.3 Débitmètres à ultrasons

Ces capteurs sont employés pour mesurer le débit dans les flux turbulents, en particulier pour les fluides non conducteurs (comme les hydrocarbures), là où les débits électromagnétiques ne sont pas adaptés.

- **Principe de mesure :** évaluation du délai de propagation d'une onde ultrasonore. Un émetteur et un récepteur sont installés en position opposée.
- **Système de mesure :** un capteur envoie un signal acoustique (ultrason) d'un capteur à l'autre, dans la direction du flux et dans la direction opposée. On mesure le temps qu'un signal met pour parcourir la distance entre l'émetteur et le récepteur. En raison de contraintes physiques, le temps nécessaire pour parcourir dans la direction.

Opposée à l'écoulement est plus long que dans le sens de l'écoulement. L'écart entre ces deux périodes est directement proportionnel au flux.

$$T_{12} = \frac{LW}{C+Va\,COS\,Q} \;et\; T_{21} = \frac{L'W}{C-Va\,COS\,Q}$$

C : vitesse de propagation du son dans le fluide.
Va : vitesse du fluide.
Lw : distance entre émetteur et récepteur.

La mesure du temps *t* mis par le signal pour parcourir la distance *Lw* permet de connaître la vitesse du fluide et d'en déduire le débit.

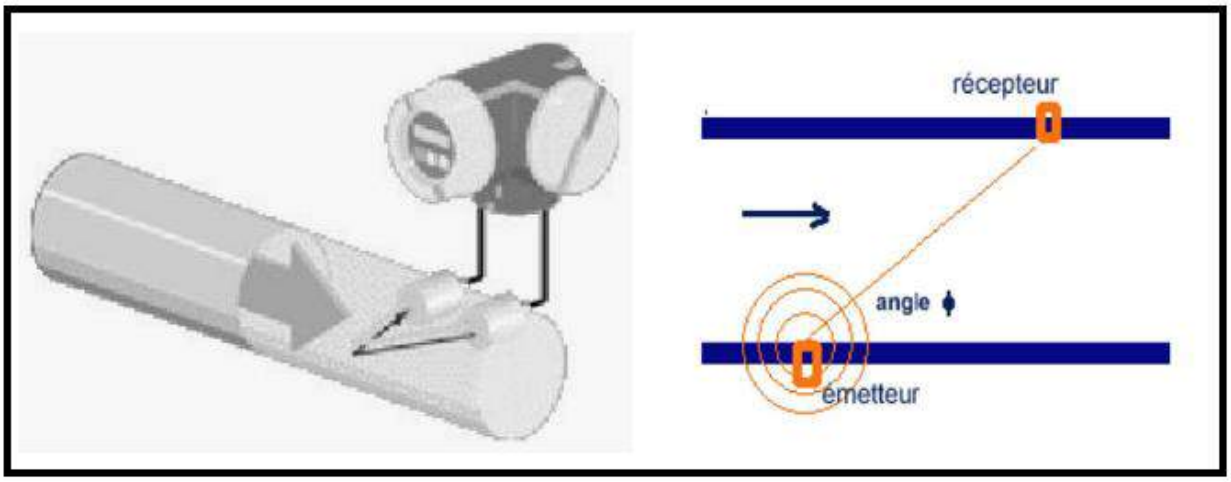


Figure. I.6 : Débitmètres à ultrasons

3.2.4 Débitmètres à Coriolis:

Les débitmètres de Coriolis sont des instruments de mesure massiques destinés aux liquides propres et visqueux, tels que les pâtes et les boues. Cet appareil requiert l'absence de toute bulle de vapeur qui se forme temporairement dans le liquide et pourrait perturber la mesure.

- **Principe de mesure :** dans un système en rotation, la force de Coriolis est la force qui s'exerce perpendiculairement à la masse en déplacement.
- **Système de mesure :** le débitmètre de Coriolis se sert d'un tube en U sans entrave comme capteur. Ce tube de mesure oscille à sa fréquence intrinsèque, à l'instar d'un diapason. Le fluide traverse le tube de mesure et, lorsqu'il passe le coude, il résiste aux changements dans son mouvement. L'écart entre les forces provoque une torsion du tube de mesure. L'intensité de la torsion est en relation directe avec le débit massique du fluide qui traverse le tube.

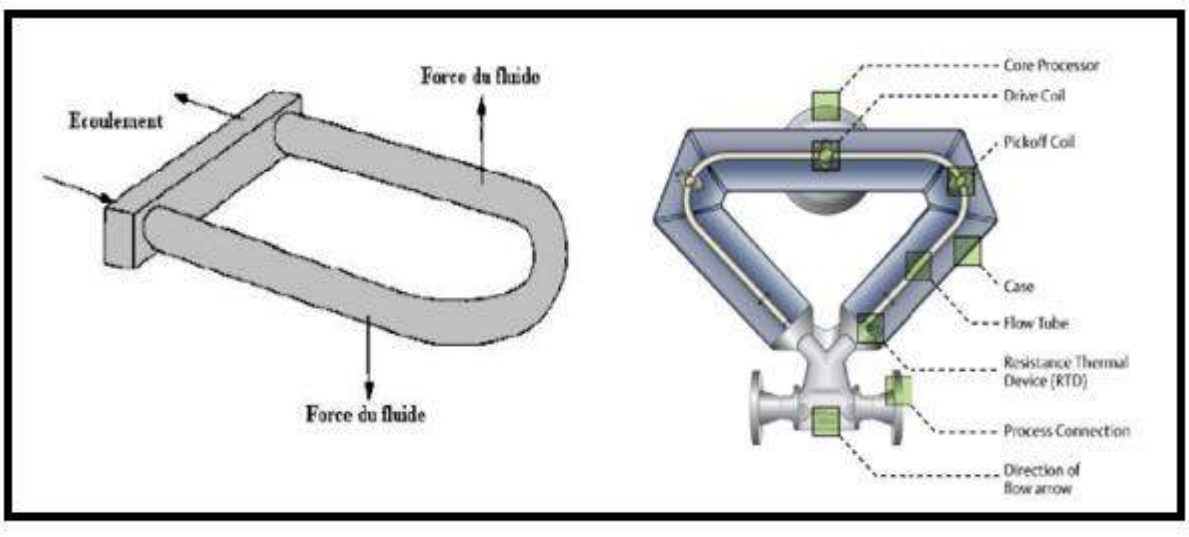


Figure. I.7 : Débitmètres à Coriolis

3.2.5 Débitmètres à effet vortex

Ce détecteur est conçu pour mesurer le débit de liquides non pollués, de gaz ou de vapeur. Il est capable de supporter des vitesses de fluide considérables. Ce n'est pas adapté pour des débits faibles.

- **Principe de mesure :** L'effet Karman se réfère à la génération de vortex (ou tourbillons en anglais) par un fluide qui contourne un obstacle.
- **Système de mesure :** L'insertion d'un objet non profilé dans le conduit génère des vortex. La quantité de tourbillons générés en aval est proportionnelle au flux moyen. Un débit exact de l'écoulement du La caractérisation d'un fluide se fait par le dénombrement des tourbillons.

La fréquence de détachement des tourbillons est proportionnelle à la vitesse d'écoulement

$$\textbf{Vitesse du fluide} = \frac{\textbf{fréquence des tourbillons}}{\textbf{facteur K}}$$

Facteur K dépend du nombre de REYNOLDS, mais est pratiquement constant sur une vaste plage de débit.

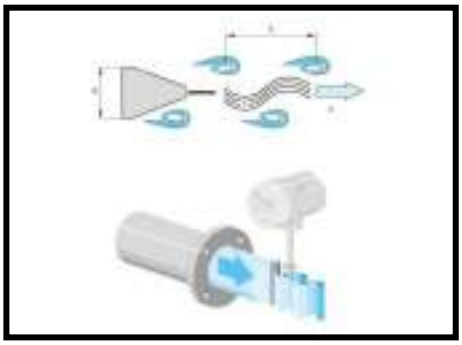


Figure.I.8 : Débitmètres à effet vortex

3.2.6 Débitmètres massiques thermiques:

Ces capteurs sont utilisés comme débitmètres massiques pour les gaz.

- **Principe de mesure :** transfert calorifique.
- **Système de mesure :** le gaz passe à travers un tube dimensionné muni de deux bobines à température identique et possédant une résistance ohmique identique. Quand le gaz passe à travers le débitmètre, une portion de la chaleur de la bobine initiale est transmise à la seconde bobine, ce qui change sa température et, par conséquent, sa résistance ohmique. Cette différence de résistance est proportionnelle au flux.

Le transmetteur délivre un signal (4-20 mA) proportionnel au **débit masse.**

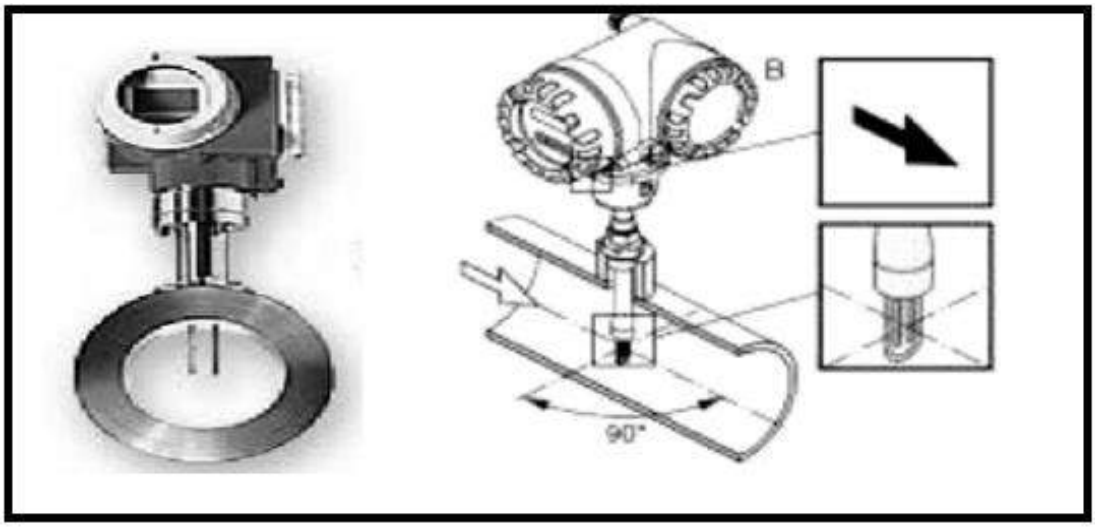


Figure. I.9 : Débitmètres à masse thermique

3.3 Spécificité des différents débitmètres:

Le Tableau I.1 indique les caractéristiques des débitmètres **Type de débitmètre**	**Fluides compatibles**	**Pression maximale**	**Température**	**Précision**	**Applications typiques**	**Avantages**	**inconvénient**
Electromagnétique	Liquides conducteurs	250 bar	-30 à +180°C	0,5 à 1%	Eau potable, eaux usées, industrie chimique	Pas de pièces mobiles haut précession	Nécessite fluide conducteur
Ultrasonique	Liquides, gaz (selon modèle)	300 bar	-200 à+200°C	1 à 5%	Grandes conduites, réseaux d'eau	Mois des pertes de charge installation externe possible Non intrusif	Limites Dépendance à l'égard du profil d'écoulement
Vortex	Liquides, gaz, vapeur	300 bar	-200 à +400°C	0,75 à 1,5%	Vapeur industrielle	Robuste	Moins précise à faible débit
Coriolis	Liquides, gaz	400 bar	-240 à +200°C	0,2 à 0,4 %	Process haute précision	Haute précision Polyvalence Une large gamme de fluides mesurables	Coût élevé Installation complexe Limitée diamètres des tuyaux
Thermique	Gaz principalement	400 bar	-20 à +180° C	1%	Mesure de gaz, air comprimé	Adapté aux faibles débits gazeux	Non adapté aux liquides
À pression différentiel	Débit volumique	400 bar	-200 à +400°C	1 à 2 %	Industriel pétrolière, gaz naturel Vapeur, centrales énergétique	Simple robuste faible cout	Perte de pression Installation complexe

Tableau I.1 : Caractéristiques des principaux types de débitmètre

3.4 Choix des débitmètres:

Le choix d'un débitmètre n'est pas une chose simple. Pour faire un choix correct, il faut tenir compte d'une multitude de paramètres. Il est donc nécessaire avant tout de définir précisément ses propres exigences, les contraintes imposées par le fluide à mesurer et les caractéristiques de l'environnement. Ensuite viennent s'ajouter les contraintes liées aux différents appareils possibles.

1. **Types de fluides et conditions de services**
2. **Paramètres physiques du fluide**
3. **Paramètres physico-chimiques du fluide**
4. **Exploitation de la mesure du débit**
5. **Performances de mesure requises**
6. **Grandeurs d'influence**
7. **Éléments économiques**

Considérés comme un concept ayant des répercussions sur les technologies et la société [7].

3.5 Comparaison entre compteur conventionnel et compteur intelligent :

3.5.1 Compteur conventionnel:

L'indicateur classique se base généralement sur un système mécanique, fréquemment de type turbine ou volumétrique. L'écoulement de l'eau provoque une rotation interne qui est proportionnelle au volume utilisé.

3.5.2 Compteur intelligent:

Le compteur intelligent repose habituellement sur un système électronique qui rassemble un capteur de mesure, un microcontrôleur ainsi qu'un module de communication. Un capteur, généralement à effet Hall ou à turbine, détecte le flux d'eau et le traduit en signaux électriques qui sont ensuite traités numériquement. Les données recueillies sont par la suite consignées et envoyées automatiquement à un système éloigné, ce qui facilite une supervision en direct et une gestion à distance de la consommation.

Le Tableau I.2 illustre la déférence entre le compteur conventionnel et compteur intelligent

Critère	Débitmètre conventionnel	Débitmètre intelligent
Principe de fonctionnement	Basé sur un principe mécanique ou physique simple (turbine, pression différentielle, etc.)	Basé sur des capteurs électroniques et un traitement numérique des données
Type d'affichage	Affichage analogique ou mécanique	Affichage numérique (LCD ou écran digital)
Précision de mesure	Précision moyenne	Précision plus élevée grâce au traitement numérique
Transmission des données	Pas de transmission des données	Possibilité de transmettre les données à distance (GSM, Wi-Fi, IoT)
Stockage des données	Pas de stockage des données	Possibilité de stocker et d'analyser les données
Surveillance à distance	Non disponible	Disponible (télésurveillance)
Maintenance	Nécessite souvent une lecture et un contrôle manuels	Maintenance facilitée avec diagnostic et suivie à distance
Domaine d'utilisation	Applications domestiques et installations simples	Industrie, villes intelligentes, gestion moderne de l'eau
Exemples	Compteur d'eau mécanique, débitmètre à turbine	Smart water meter, débitmètre ultrasonique

Tableau I.2 : Comparaison entre compteur traditionnel et compteur intelligent

4 Internet des objets (IoT):

4.1 Définition de l'IoT:

Infrastructure mondiale pour la société de l'information, qui permet de disposer de services évolués en interconnectant des objets (physiques ou virtuels) grâce aux technologies de l'information et de la communication interopérables existantes ou en évolution [7].

NOTE 1 : En exploitant les capacités d'identification, de saisie de données, de traitement et de communication, l'IoT tire pleinement parti des objets pour offrir des services à toutes sortes d'applications, tout en garantissant le respect des exigences de sécurité et de confidentialité.

NOTE 2 : Dans une optique plus large, l'IoT peut être considéré comme un concept ayant des répercussions sur les technologies et la société [7].

4.2 Architecture générale d'un système IoT:

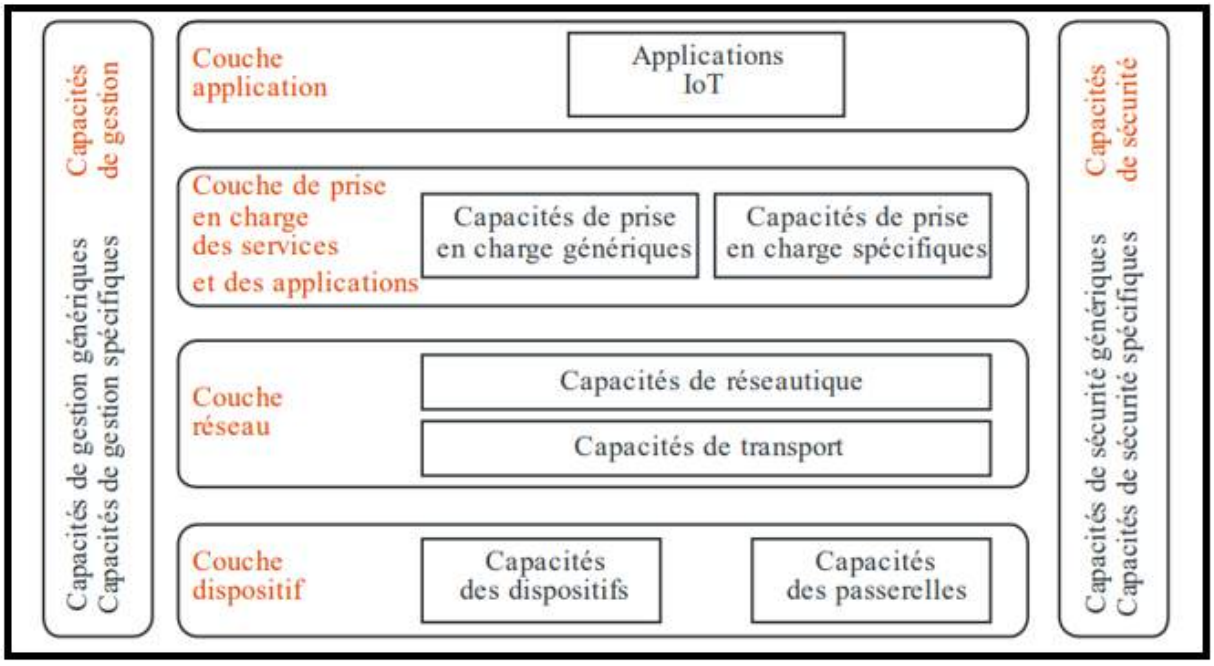


Figure I.10 : Modèle de référence de l'IoT.

4.2.1 Couche d'application:

Cette couche contient les applications IoT.

4.2.2 Couche de prise en charge des services et des applications :

La couche de prise en charge des services et des applications contient les deux ensembles de capacités suivants :

– Capacités de prise en charge génériques : il s'agit de capacités communes pouvant être utilisées par différentes applications IoT, par exemple de capacités de traitement ou de stockage de données. Des capacités de prise en charge spécifiques peuvent également faire appel à ces capacités génériques, par exemple pour créer de nouvelles capacités spécifiques.

– Capacités de prise en charge spécifiques : il s'agit de capacités particulières répondant aux besoins d'applications diversifiées. Elles peuvent en effet être constituées de différents ensembles de capacités bien précis afin d'assurer des fonctions de prise en charge différentes pour des applications IoT distinctes [7].

4.2.3 Couche réseau:

Cette couche comprend deux types de capacités, à savoir :

- Des capacités de réseautique, qui assurent les fonctions de contrôle pertinentes concernant la connectivité au réseau, telles que le contrôle d'accès et le contrôle des ressources de transport, la gestion de la mobilité ou l'authentification, l'autorisation et la comptabilité (AAA).
- Des capacités de transport destinées essentiellement à assurer la connectivité nécessaire pour le transport des informations propres à chaque service ou application IoT ainsi que pour le transport des informations de contrôle et de gestion relatives à l'IoT [7].

4.2.4 Couche dispositif:

Les capacités de la couche dispositif peuvent être réparties de manière logique en deux catégories :

- *Capacités des dispositifs :*

Les capacités des dispositifs sont entre autres les suivantes : Interaction directe avec le réseau de communication : les dispositifs sont à même de collecter des informations et de les télécharger sur le réseau de communication de manière directe (c'est-à-dire sans avoir recours pour ce faire aux capacités des passerelles) et peuvent recevoir des informations (par exemple des commandes) provenant directement de celui-ci.

Interaction indirecte avec le réseau de communication : les dispositifs sont à même de collecter des informations et de les télécharger sur le réseau de communication de manière indirecte (c'est-à-dire en ayant recours pour ce faire aux capacités des passerelles). De même, ils peuvent recevoir des informations (par exemple des commandes) provenant indirectement du réseau de communication.

Établissement de réseaux ad hoc : les dispositifs peuvent être en mesure de créer des réseaux ad hoc dans certains cas de figure nécessitant une modularité accrue et un déploiement accéléré.

Veille et réveil : les capacités des dispositifs peuvent inclure des mécanismes de mise en veille et de réveil permettant de réaliser des économies d’énergie [7].

- *Capacités des passerelles :*

Les capacités des passerelles sont entre autres les suivantes :

Prise en charge d'interfaces multiples : au niveau de la couche dispositif, les capacités des passerelles prennent en charge des dispositifs connectés à l'aide de différentes technologies filaires ou hertziennes, par exemple à l'aide d'un bus gestionnaire de réseau de communication (CAN), du protocole ZigBee, du Bluetooth ou du Wi-Fi. Au niveau de la couche réseau, les capacités des passerelles peuvent communiquer par divers moyens, notamment en utilisant le réseau téléphonique public commuté (RTPC), les réseaux de deuxième ou de troisième génération (2G et 3G), les réseaux LTE, les réseaux Ethernet ou les lignes d'abonné numérique (DSL) [7]. Conversion de protocole : les capacités des passerelles s'avèrent nécessaires dans deux cas de figure, le premier étant lorsque des protocoles différents (par exemple ZigBee et Bluetooth) sont utilisés pour les communications au niveau de la couche dispositif, le second lorsque des protocoles différents sont utilisés pour les communications impliquant à la fois la couche dispositif et la couche réseau (par exemple ZigBee au niveau de la couche dispositif et 3G au niveau de la couche réseau) [7].

4.2.5 Capacités de gestion:

Dans l'IoT, les compétences de gestion garantissent la supervision et le contrôle global du système, en accord avec le modèle FCAPS (Fault, Configuration, Accounting, Performance, Security). On les classes en deux catégories : Compétences générales, incluant : La gestion des appareils (activation/désactivation à distance, diagnostic, mise à jour du logiciel). L'administration de la topologie du réseau. La gestion de la circulation et de la congestion. Compétences spécifiques, ajustées aux exigences particulières d'une application précise, telles que la gestion des réseaux électriques intelligents [7].

4.2.6 Capacités de sécurité:

Les fonctionnalités de sécurité assurent la défense du système IoT et sont aussi catégorisées en capacités générales et spécifiques.

- Sécurité générique, qui n'est pas liée à l'application : Au niveau de la couche application : authentification, permission, protection de la vie privée et intégrité des données. Au niveau de la couche réseau : sauvegarde des données et protection des signaux. Sur le plan du dispositif : contrôle d'accès, vérification de l'intégrité et sauvegarde des données.

- Sécurité spécifique, associée aux exigences particulières de certaines applications telles que les paiements mobiles [7].

4.3 Rôle de l'IoT dans les systèmes intelligents :

La nature interconnectée de l'Internet des objets (IoT) dans la connexion des appareils et le partage aisé des données, offrant des avantages significatifs à la fois aux entreprises et aux consommateurs.

- **Efficacité accrue** : L'IoT automatise les tâches et optimise les processus, ce qui entraîne une productivité accrue et une réduction des coûts. Les usines intelligentes utilisent des capteurs IoT pour surveiller les équipements et prédire les besoins de maintenance, minimisant ainsi les temps d'arrêt.
- **Automatisation améliorée** : L'IoT permet l'automatisation de divers systèmes, des maisons intelligentes au transport. Les voitures autonomes utilisent des capteurs et des données IoT pour naviguer sur les routes et éviter les collisions.
- **Prise de décision améliorée** : L'IoT fournit des informations précieuses sur les données qui éclairent de meilleures décisions. Les détaillants utilisent les données IoT pour suivre le comportement des clients et optimiser la gestion des stocks.

4.4 Applications de l'IoT dans le domaine de l'eau:

La technologie IoT (Internet des objets) joue un rôle important dans la surveillance et la gestion de l'eau. Il permet la collecte de données en temps réel, la surveillance à distance et la gestion efficace des ressources dans diverses applications liées à l'eau. Voici quelques aspects clés de l'IoT dans la surveillance de l'eau :

- Détection et collecte de données
- Surveillance des inondations
- Surveillance de la qualité de l'eau
- Détection des fuites
- Irrigation intelligente
- Qualité de l'eau dans les villes intelligentes
- Traitement de l'eau
- Gestion de l'eau des consommateurs
- Analyse de données et aide à la décision
- Surveillance de l'environnement

5 Conclusion:

Dans ce chapitre, nous avons présenté les bases théoriques nécessaires à la compréhension et à la conception d'un système de débitmètre intelligent. Nous avons d'abord analysé les enjeux liés à la gestion et à la consommation de l'eau, en mettant en évidence l'importance d'une surveillance efficace des réseaux de distribution. Nous avons ensuite étudié les différents types de débitmètres ainsi que leurs principes physiques de fonctionnement, ce qui nous a permis de situer le capteur choisi dans le cadre technologique approprié. Par ailleurs, les concepts fondamentaux de l'Internet des objets (IoT) en détaillant les architectures de référence et les mécanismes de transmission des données dans les systèmes embarqués. Les applications de l'IoT dans le domaine de l'eau démontrent clairement l'intérêt des solutions intelligentes pour améliorer la gestion, réduire les pertes et optimiser la consommation. Ainsi, ce cadre théorique constitue une base solide pour aborder le chapitre suivant, consacré à l'analyse et à la conception du système Smart Flow Meter.

Chapitre II

Analyse et conception du système ‘’Smart Flow meter’’

1 Introduction:

Après avoir abordé dans le chapitre précédent les bases théoriques relatives à la gestion de l’eau, aux débitmètres et aux technologies intelligentes, il convient à présent de s’intéresser à la phase d’analyse et de conception du système proposé. Cette étape constitue une partie essentielle dans le développement du projet, car elle permet de définir les besoins du système, d’identifier les

différents acteurs concernés et de préciser les interactions entre les composants matériels et logiciels. Elle contribue également à établir une architecture claire garantissant le bon fonctionnement et l'efficacité de la solution envisagée. Dans ce chapitre, nous présentons l'étude conceptuelle du système **Smart Flow Meter**, en exposant sa structure globale, sa modélisation UML ainsi que l'organisation de la base de données adoptée.

2 Présentation du système proposé:

2.1 Concept de base du système:

Le projet Smart Flow meter s'inscrit dans une démarche d'innovation technologique visant à moderniser la gestion des ressources hydriques. L'idée centrale consiste à transformer un compteur d'eau conventionnel en un dispositif intelligent connecté grâce à l'Internet des Objets (IoT).

Contrairement aux systèmes conventionnels qui reposent sur des relevés manuels périodiques et souvent imprécis, notre solution propose une automatisation complète du processus de collecte de données. Le système utilise un capteur de débit haute précision pour mesurer la consommation en temps réel. Ces informations sont ensuite traitées par un microcontrôleur puis transmises instantanément vers une plateforme Cloud (Base de données).

Cette approche offre une visibilité bidirectionnelle :

- **Pour l'entreprise :** une centralisation des données permettant une facturation exacte et une gestion proactive du réseau.
- **Pour l'abonné :** une transparence totale sur sa consommation via une interface mobile, lui permettant d'agir sur sa propre demande.

En somme, **Smart Flowmeter** ne se contente pas de mesurer l'eau, il établit un canal de communication permanent entre l'infrastructure physique et les services numériques pour une gestion plus durable et intelligente.

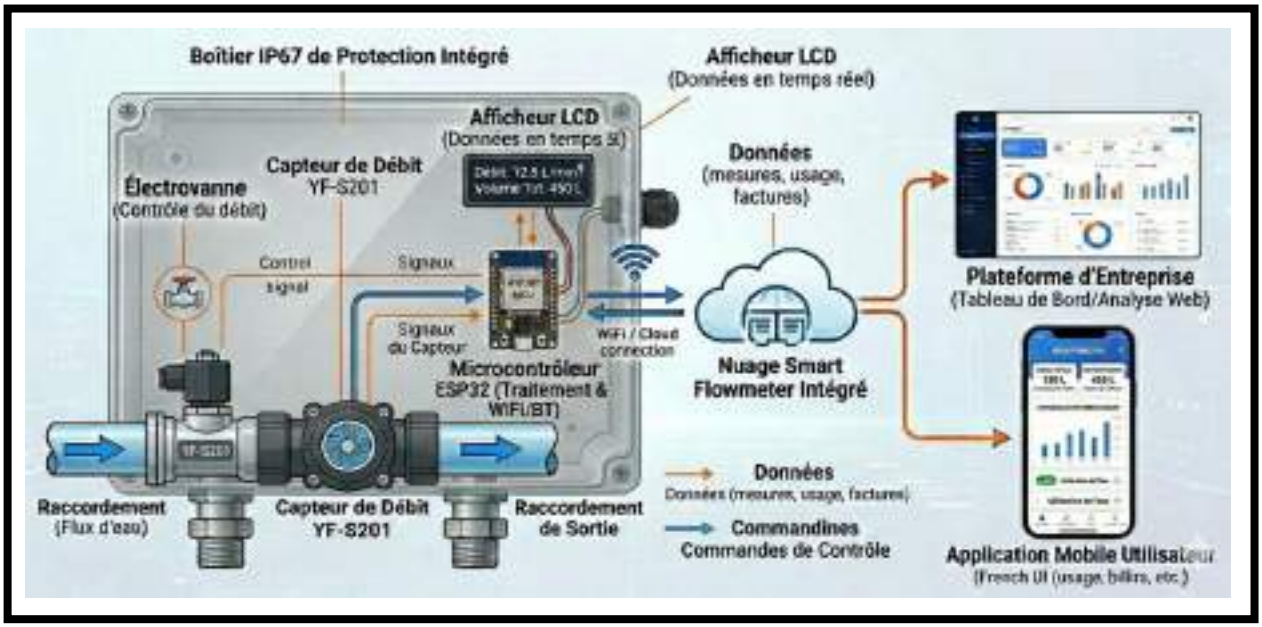


Figure II.1: Architecture du système proposé

2.2 Objectifs du système:

L'implémentation du système ''**Smart Flow meter''** vise à atteindre un ensemble d'objectifs stratégiques, techniques et environnementaux :

- **Optimisation économique :** Réduire considérablement les coûts opérationnels de l'entreprise en automatisant la collecte des données et en minimisant les déplacements des agents sur le terrain pour les relevés ou les coupures de service.
- **Précision et Fiabilité technique :** Garantir une mesure exacte du flux d'eau grâce à des capteurs numériques, éliminant ainsi les litiges liés aux erreurs de lecture manuelle ou aux estimations approximatives.
- **Contrôle réactif à Distance :** Assurer une réactivité immédiate grâce au télé contrôle de l'électrovanne, permettant une gestion sécurisée et rapide du réseau en cas d'impayés ou de maintenance.
- **Digitalisation de la Relation Client :** Offrir une plateforme moderne (Application mobile) qui renforce la confiance entre le fournisseur et le consommateur grâce à une transparence totale de la consommation.
- **Détection des Fuites et Sécurité :** Identifier les flux anormaux en temps réel pour prévenir les dégâts matériels et les surcoûts financiers liés au gaspillage invisible.

- **Responsabilité environnementale (Objectif Vert) :** Contribuer à la préservation des ressources hydriques en luttant contre le gaspillage de l'eau. Cet objectif valorise l'image de la startup en tant qu'entreprise éco responsable alignée avec les objectifs de développement durable.

2.3 Acteurs du système (entreprise–client):

Le système **Smart Flowmeter** fait intervenir deux acteurs majeurs dont les rôles sont complémentaires pour assurer une gestion optimale de la ressource :

2.3.1 L'Entreprise (L'Algérienne des eaux – ADE):

Elle représente l'administrateur du système. Dans le cadre de ce projet, l'ADE utilise la plateforme pour moderniser ses services. Ses prérogatives incluent :

- **Supervision globale :** visualiser l'état de l'ensemble des compteurs déployés sur le réseau à partir d'un tableau de bord centralisé.
- **Gestion de la facturation :** accéder aux données de consommation précises pour chaque matricule client afin d'automatiser l'émission des factures.
- **Télé contrôle :** commander l'ouverture ou la fermeture des électrovannes à distance (par exemple, en cas de maintenance ou de factures impayées).
- **Analyse des pertes :** identifier les zones de pertes hydriques (fuites sur réseau) en comparant les volumes distribués et les volumes consommés.

2.3.2 Le Client (Ménages et Commerces) :

Qu'il s'agisse d'un usage domestique (maison) ou professionnel (magasins, locaux commerciaux), le client est l'abonné final. Ses interactions avec le système consistant à :

- **Suivi en temps réel :** surveiller son débit actuel et son volume total consommé via une application mobile dédiée.
- **Maîtrise budgétaire :** consulter son solde et ses factures passées pour mieux réguler ses dépenses en eau.

- **Alertes de sécurité :** être notifié instantanément en cas de fuite après le compteur ou de consommation inhabituelle dans son local ou son domicile.

3 Architecture globale du système:

3.1 Système de l'entreprise Back-office) :

Le système Back-office est l'interface d'administration web sécurisée permettant à l'entreprise (ADE) de piloter à distance l'ensemble de l'infrastructure **Smart Flowmeter**. Il ne s'agit pas d'une simple interface de consultation, mais d'un véritable outil de décision et de gestion opérationnelle.

Ses fonctionnalités majeures sont structurées comme suit :

- **Supervision et Monitoring en temps réel :** Le système offre une vue d'ensemble sur le parc de compteurs déployés. Grâce à des indicateurs visuels (graphiques et cartes), l'administrateur peut surveiller la charge du réseau et détecter instantanément toute anomalie (consommation excessive, baisse de pression suspecte, ou panne d'un capteur).
- **Gestion centralisée des abonnés (CRM intégré) :** Cette section permet de lier chaque dispositif physique (Hardware) à une entité juridique ou physique (Ménage ou Commerce). Elle contient toutes les informations nécessaires : Nom, matricule du compteur, adresse géographique, et historique des interactions.
- **Contrôle à Distance (téléaction) :** C'est l'aspect le plus innovant pour l'ADE. Le Back-office communique avec le microcontrôleur via des protocoles réseau pour envoyer des ordres de commande. L'administrateur peut sans déplacement physique, actionner l'électrovanne pour interrompre le service en cas de litige ou pour sécuriser une zone en cas de fuite majeure signalée.
- **Audit et Rapports de Consommation :** Le système transforme les données brutes (impulsions du capteur) en rapports exploitables. Il permet d'exporter des statistiques quotidiennes, mensuelles ou annuelles, facilitant ainsi la prévision de la demande en eau et l'optimisation des ressources.
- **Sécurité et Hiérarchie des accès :** Pour garantir l'intégrité du réseau, le Back-office dispose d'une gestion de rôles (Admin, Technicien, Agent de facturation). Chaque action sensible, notamment la coupure d'eau, est tracée et journalisée pour éviter tout abus.

3.2 Application mobile du client:

L'application mobile représente l'interface directe entre l'abonné (ménage ou commerce) et son compteur intelligent. Elle est conçue pour offrir une expérience utilisateur fluide et transparente, transformant le consommateur passif en un acteur engagé dans la gestion de sa consommation.

Les principales fonctionnalités de cette interface sont :

- **Consultation en temps réel :** L'abonné peut visualiser instantanément son débit actuel et le volume total consommé. Cette donnée est mise à jour périodiquement grâce à la synchronisation avec la base de données Cloud.
- **Historique et Statistiques :** L'application génère des graphiques intuitifs (journaliers, hebdomadaires ou mensuels) permettant au client d'analyser ses habitudes de consommation et de détecter d'éventuels gaspillages.
- **Système d'Alertes et Notifications :** C'est une fonctionnalité clé pour la sécurité. Le client reçoit des notifications immédiates en cas de :
    - Détection d'une fuite d'eau (débit anormalement continu).
    - Dépassement d'un seuil de consommation prédéfini par l'utilisateur.
    - Alerte de coupure programmée pour maintenance par l'ADE.
- **Gestion des Factures et Paiement :** L'application permet de consulter l'état financier du compte, de visualiser les factures précédentes et à terme d'intégrer des solutions de paiement électronique pour faciliter le règlement sans déplacement.

3.3 Rôle du microcontrôleur (ESP 32):

Le microcontrôleur ESP 32 constitue le cœur technologique de l'unité installée chez le client. Il agit comme une unité de traitement locale capable d'interagir simultanément avec le matériel (Hardware) et le réseau.

Ses missions principales au sein de l'architecture **Smart Flowmeter** sont :

- **Acquisition et traitement des données : ESP32** reçoit les signaux électriques (impulsions) envoyés par le capteur de débit **YF-S201**. Il convertit ces impulsions en valeurs numériques compréhensibles (Débit en *L/min* et Volume total en Litres) en utilisant des algorithmes d'interruption.
- **Gestion de la connectivité :** Il assure l'interface avec le module de communication GSM. Son rôle est de formater les données de consommation et de les transmettre de manière sécurisée vers la base de données centrale à des intervalles réguliers.
- **Exécution des commandes distantes : ESP32** reste en écoute permanente des instructions provenant du *Back-office*. Lorsqu'une commande de "Fermeture" ou "Ouverture" est reçue, il actionne instantanément le relais qui contrôle l'électrovanne.
- **Gestion des alertes locales :** Il est programmé pour surveiller les anomalies locales. Par exemple, si un débit est détecté alors que l'électrovanne est censée être fermée, il peut signaler une défaillance du système.
- **Optimisation énergétique :** Le microcontrôleur gère les cycles de mise en veille et d'activité des composants pour minimiser la consommation électrique du dispositif.

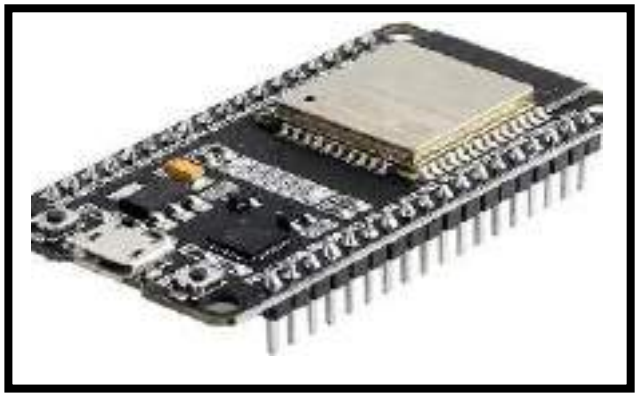


Figure II.2. Microcontrôleur (**ESP 32**)

3.4 Communication entre les différents systems:

La réussite du système **Smart Flowmeter** repose sur la fluidité et la fiabilité des échanges d'informations entre ses différents blocs. La communication s'articule autour de trois axes principaux :

- **Communication Hardware-Cloud (ESP32 vers Base de données) :** Le microcontrôleur utilise une connexion sans fil (via un module GSM) pour envoyer les données de consommation. Les données sont généralement transmises via le protocole **HTTP** (requêtes POST) ou **MQTT** (protocole léger pour l'IoT). Ces informations incluent l'identifiant du compteur, le volume d'eau et l'horodatage (Timestamp).
- **Communication Cloud-Interfaces (Base de données vers Applications) :** Le Back-office de l'entreprise (ADE) et l'application mobile du client communiquent avec la base de données via une **API** (Application Programming Interface). Cela permet de récupérer les statistiques de consommation en temps réel et d'afficher les historiques de manière sécurisée.
- **Communication de Contrôle (Commande descendante) :** C'est le chemin inverse. Lorsqu'un administrateur de l'ADE ou un client clique sur Fermer l'eau, un signal est envoyé depuis l'interface vers le serveur lequel transmet l'ordre à l'ESP**32**. Ce dernier interprète la commande et actionne l'électrovanne en quelques secondes.

4 Modélisation UML:

4.1 Définition UML (Unified Modeling Language):

UML est un langage graphique qui facilite la visualisation, la construction et la documentation des systèmes logiciels. Il propose un ensemble exhaustif de schémas présentant un système,

Compris sa structure, son comportement et ses interactions. Le but principal d'UML est de renforcer la transparence et l'intelligibilité de l'architecture d'un système, rendant ainsi la communication et l'examen plus facilités [10].

4.2 Diagramme de cas d'utilisation:

Voici le schéma de cas d'utilisation UML pour le système Smart Flowmeter, avec les acteurs selon la norme UML :

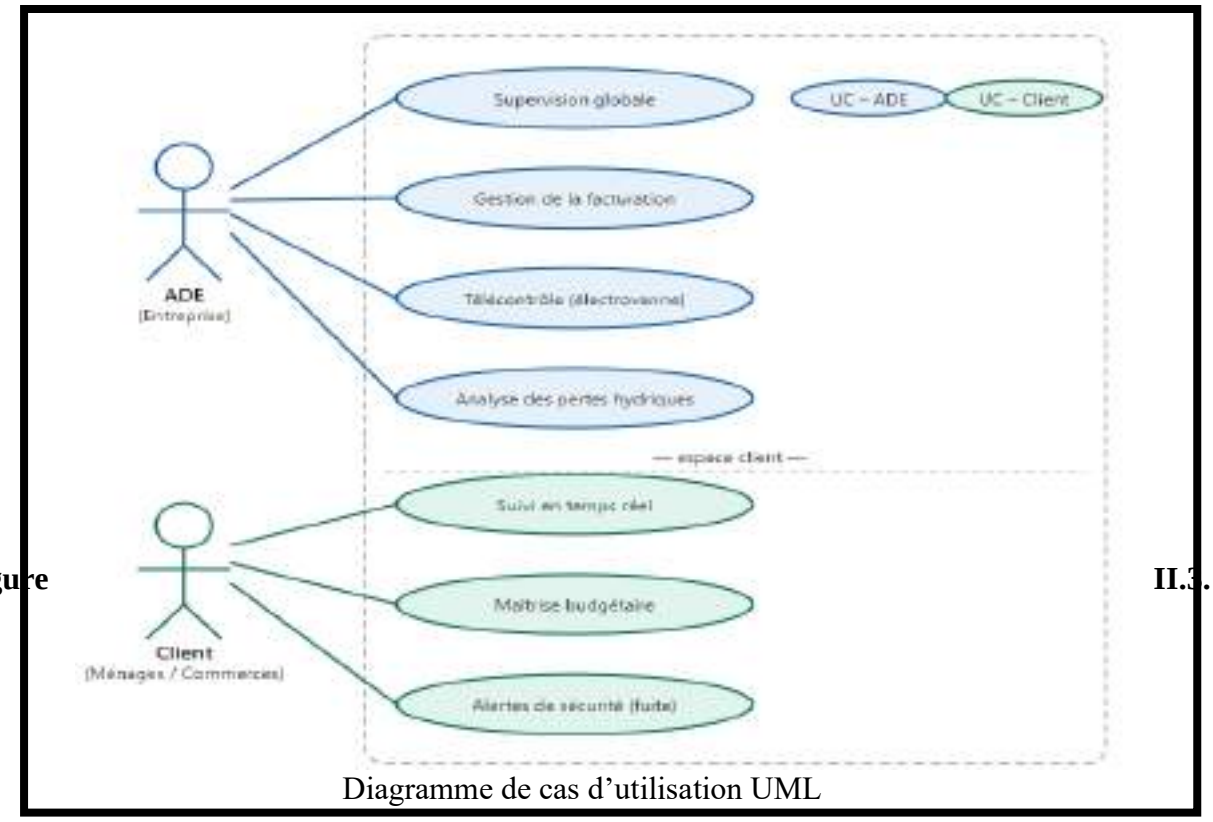


Figure II.3. Diagramme de cas d'utilisation UML

L'entreprise ADE a quatre cas d'application :

- Supervision intégrale
- Administration de la facturation
- Contrôle à distance de l'électrovanne
- Étude des pertes d'eau

Le client a à sa disposition trois cas d'utilisation :

- Suivi en direct
- Contrôle budgétaire
- Alertes de sécurité (défaut de transmission des données)

Le périmètre du Smart Flowmeter est représenté par la frontière du système (rectangle en pointillés), tandis que les associations relient chaque acteur aux cas d'usage qu'il réalise.

4.3 Diagramme de séquence :

Le diagramme de séquence couvre les **quatre scénarios principaux** du système Smart Flowmeter:

1. **Consultation de la consommation** — le client ouvre l'application, qui interroge le serveur et affiche le débit en temps réel.
2. **Détection d'une fuite** — le serveur analyse les seuils en autonomie, puis envoie une alerte puche au client.
3. **Génération de la facture** — l'ADE demande le relevé mensuel, calculer la facture et l'envoie via l'application.
4. **Télécontrôle de l'électrovanne** — l'ADE ordonne la fermeture, le serveur exécute la commande et confirme le statut.

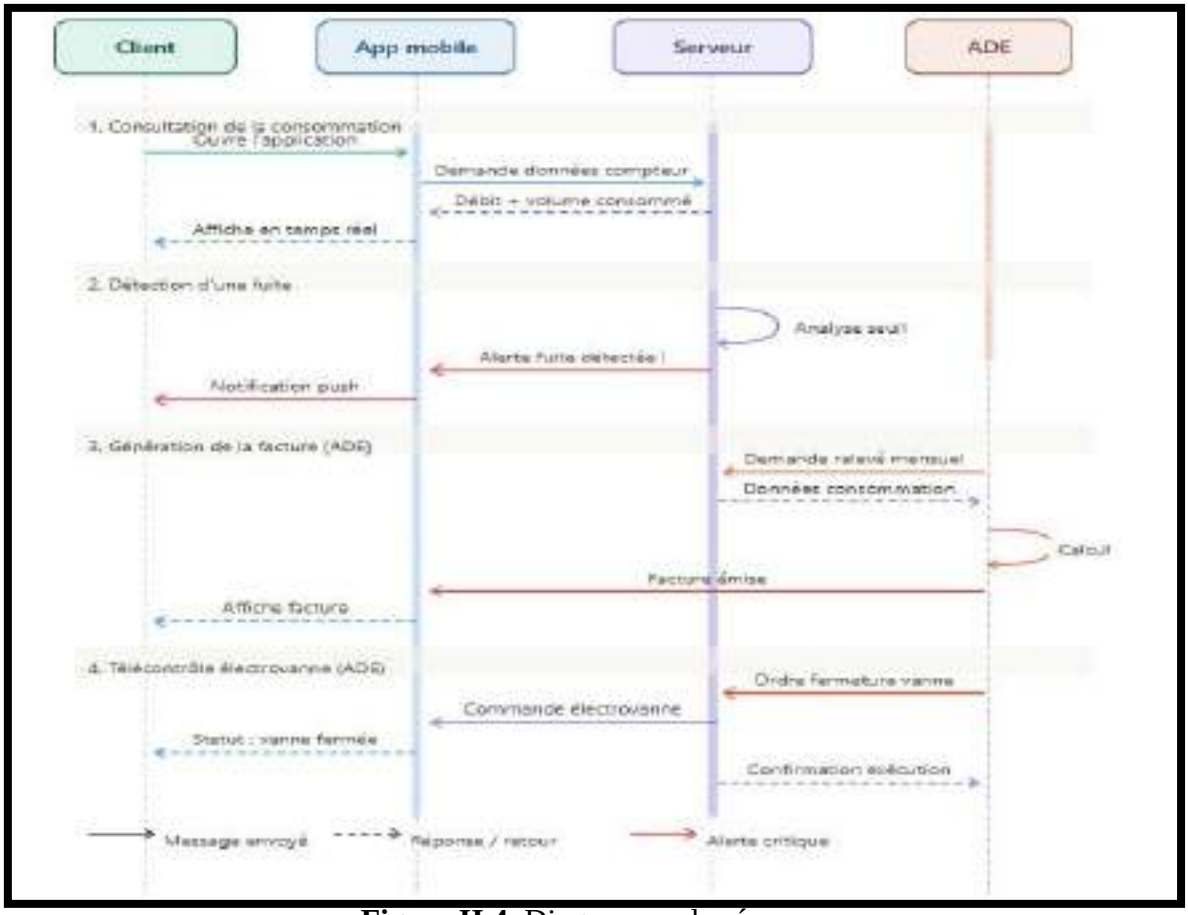


Figure II.4. Diagramme de séquence

5 Base des données:

5.1 Conception de la base de données:

Le système repose sur une architecture hybride NoSQL Firebase, composée de deux modules complémentaires :

Module Firebase	Role	Données stockees
Realtime Database (RTDB)	Donnees temps reel, faible latence	flowRate, totalLiters, valveOpen, command, limitLiters, uptimeMs
Cloud Firestore	Donnees structurees persistantes	users (clients), alerts, meterHistory, billing/invoices
Firebase Auth	Authentification securisee	Comptes admin et clients (email + password)

Tableax II.1

Cette architecture garantit une synchronisation instantanée entre le microcontrôleur ESP32, l'application web d'administration et l'application mobile client, tout en assurant la persistance des données historiques et des alertes.



Figure II.5.

5.2 Tables principaux:

Le système utilise cinq entités de données reparties entre Firestore et la Realtime Database.

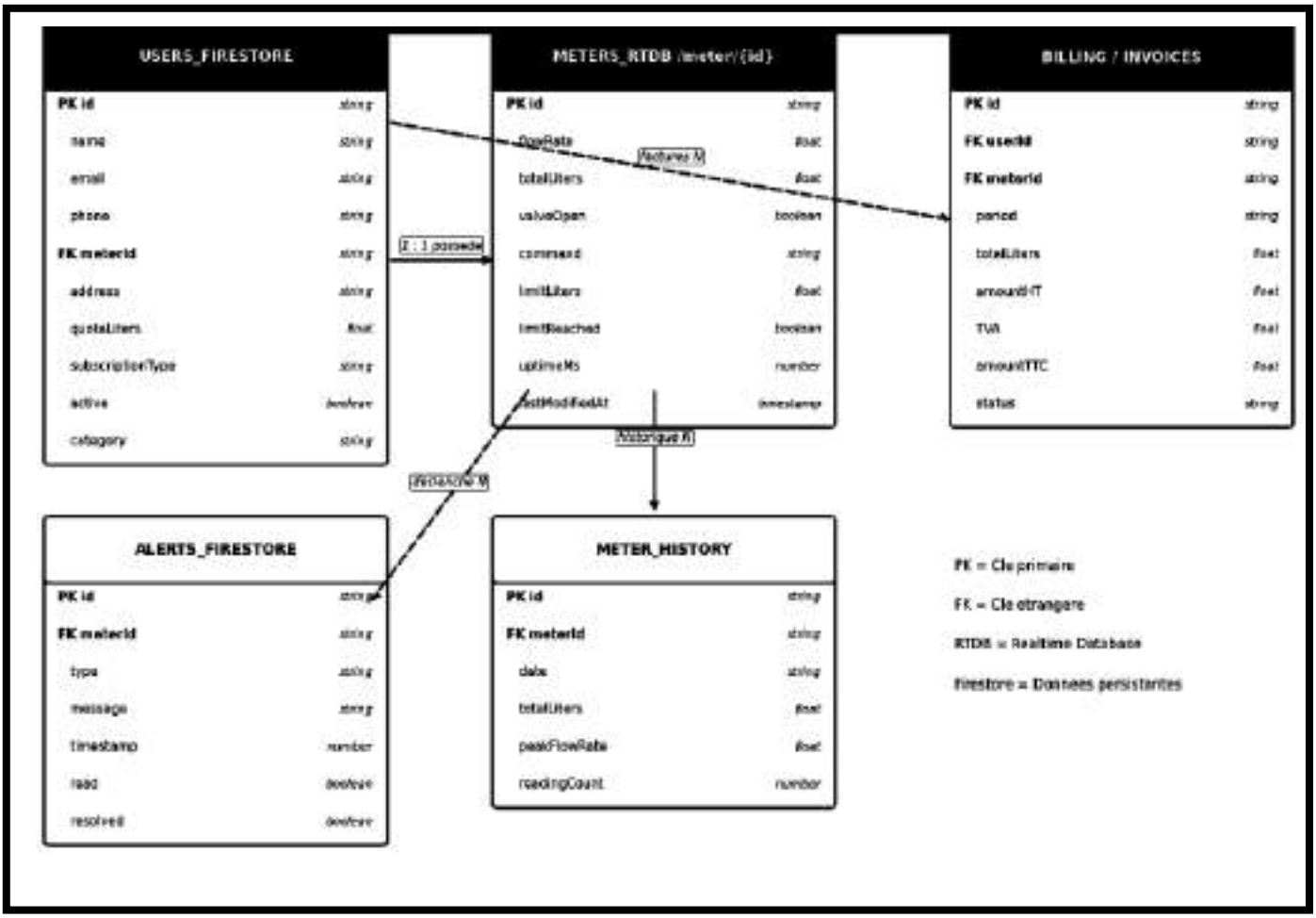


Figure II.6.

5.3 Relations entre les tables

Les entités du système sont liées par des relations claires via le champ meterId comme pivot central.

Entite source	Cardinalite	Entite cible	Description de la relation

users (Fire store)	1 — 1	METERS_RTDB	Un client possede exactement un compteur (meter Id)
METERS_RTDB	1 — N	meter History	Un compteur génère de multiples enregistrements historiques
METERS_RTDB	1 — N	alerts	Un compteur peut déclencher plusieurs alertes (quota, fuite, hors ligne)
users (Firestore)	1 — N	billing/invoices	Un client reçoit une ou plusieurs factures mensuelles

Tableaux II.2

Cle de liaison centrale : Le champ meterId (ex: MTR-001) est le pivot du systeme. Il relie le profil client (Firestore), les donnees temps reel (RTDB), l'historique et les alertes. Toute operation part ou converge vers cet identifiant.

5.4 Notion de matricula du client:

Dans le système AquaPulse/Qatra, chaque client est identifié par trois identifiants complémentaires :

Identifiant	Example	Utilisation	Stockage
Firebase UID	abc123xyz	Authentification technique Firebase Auth	Firebase Auth + Firestore (id)
Matricule client	CL-2026-0001	Recherche et gestion dans l'application entreprise	Firestore users (champ matricule)
Meter ID	ARDUINO-001 / MTR-001	Association avec le compteur physique ESP32	RTDB + Firestore (meterId FK)

Tableaux II.3

Flux de création d'un client : L'administrateur crée un profil client dans Firestore (nom, email, téléphone, adresse, quota). Il génère un matricule unique (ex: CL-2026-0001) et assigne un meterId correspondant au compteur matériel ESP32 enregistre en RTDB. Le client se connecte via email ou matricule sur l'application mobile Qatra.

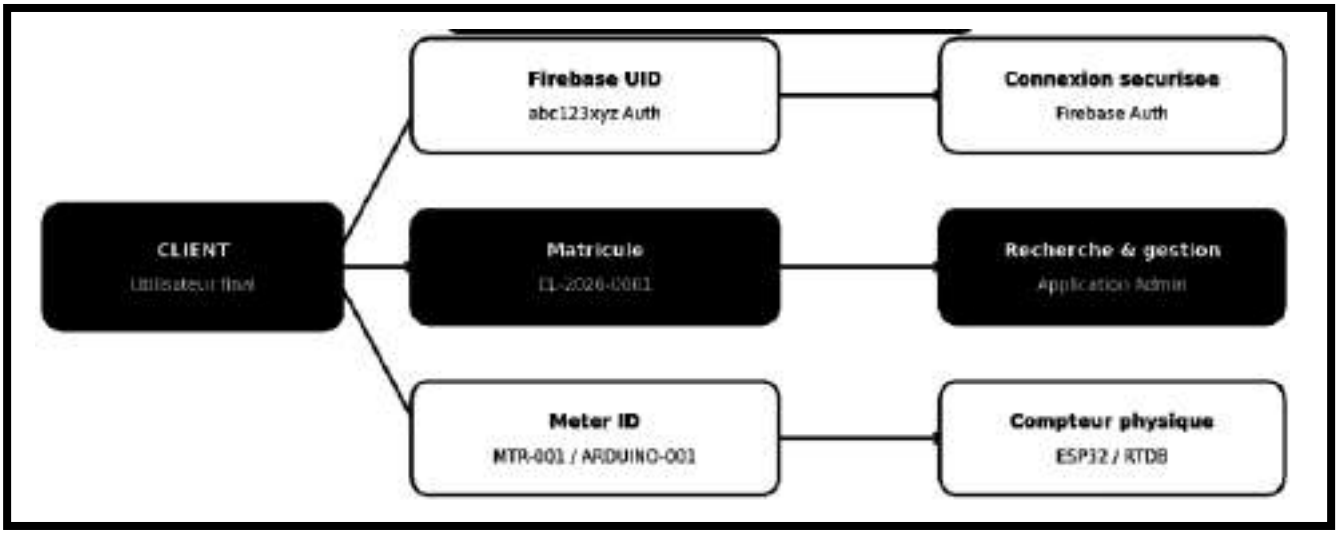


Figure II.7. Notion de matricule du client

6 Conclusion

Ce chapitre se focalise sur l'analyse conceptuelle et la conception approfondie d'un système de mesure de débit intelligent. Nous avons débuté en établissant l'architecture générale qui connecte le matériel aux interfaces logicielles par le biais du cloud computing. Par le biais de la modélisation UML, nous avons réussi à représenter les interactions entre les divers acteurs (l'équipe de développement et les clients) et à organiser les fonctionnalités clés du système.

En fin de compte, la création de la base de données SQL a offert une structure solide pour la gestion des informations, assurant un suivi et une facturation précis de la consommation. Cette étape de design était essentielle avant d'aborder la phase d'exécution technique, durant laquelle nous matérialiserons ces modèles dans un prototype opérationnel. Nous détaillerons ce point dans le prochain chapitre.

Chapitre III

Réalisation et développement du système

1 Introduction:

Après avoir franchi l'étape cruciale de la modélisation et de la conception logicielle, nous entrons désormais dans la phase de matérialisation physique de notre vision : le système Smart Flowmetre. Cette étape de réalisation constitue le pont entre les concepts théoriques et un produit tangible capable de répondre aux problématiques réelles de gestion des ressources hydrauliques.
L'enjeu de ce troisième chapitre est de démontrer la viabilité technique de notre solution. Nous allons détailler comment l'intégration des technologies de l'Internet des Objets (IoT) permet de transformer un simple compteur d'eau en un dispositif intelligent et communicant développement logiciel, les étapes de montage et de test du prototype final.

2 Réalisation matérielle:

2.1 ESP 32 (MCU-32 V1.3):

2.1.1 Principe de fonctionnement:

La carte NodeMCU-32 V1.3 agit comme processeur intelligent, capable de recevoir, traiter et diffuser des données. Elle interprète les impulsions produites par le capteur de débit YF-S201 pour déterminer le débit instantané et le volume total d'eau consommé. Les informations recueillies sont par la suite présentées sur l'écran LCD et transmises à Firebase par le biais du GSM. Selon les données obtenues ou les instructions transmises par le système de gestion d'entreprise, la carte est capable d'actionner le relais pour l'ouverture ou la fermeture automatique de l'électrovanne.

2.1.2 Caractéristiques principaux:

- Microcontrôleur ESP32 32 bits Dual-Core
- Fréquence de fonctionnement jusqu'à 240 MHz
- Tension de fonctionnement : 3.3 V
- Connectivité Wi-Fi intégrée
- Connectivité Bluetooth intégrée
- Mémoire SRAM de 520 KB
- Mémoire Flash de 4 MB
- Plusieurs broches GPIO programmables
- Interfaces de communication : UART, SPI, I2C, PWM et ADC
- Faible consommation énergétique
- Compatible avec Arduino IDE
- Port Micro-USB pour la programmation et l'alimentation
- Adaptée aux applications IoT et systèmes embarqués

2.1.3 Rôle dans le système

Dans le dispositif Smart Flow Meter, la carte NodeMCU-32 V1.3 constitue l'élément central du système. Elle garantit :

- L’obtention des informations du capteur de débit.
- Le traitement des données de consommation.
- La gestion de l'électrovanne par le biais du relais.
- La présentation des informations sur l'écran LCD.
- L'interaction avec le module GSM SIM800L.
- La transmission d'informations vers Firebase.

Elle assure aussi la transition entre le matériel et les interfaces logicielles du projet, y compris :

L'application mobile du client pour la supervision et la gestion à distance, le système de gestion d'entreprise pour le suivi des clients et de leur consommation.

Au moyen de ses aptitudes en communication et en traitement, la carte favorise une opération intelligente et connectée du système.

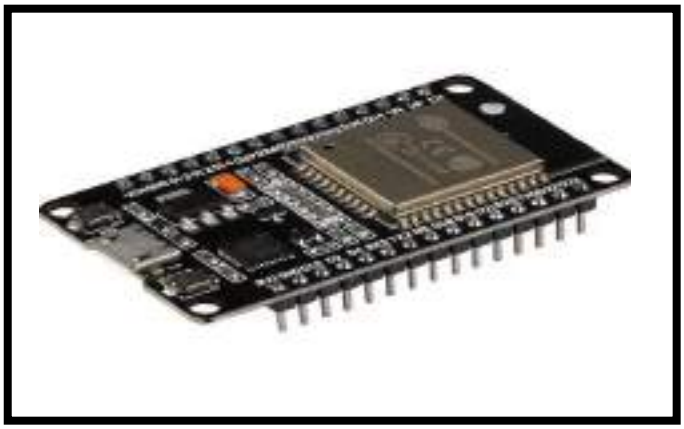


Figure III.1. ESP 32 (MCU-32 V1.3)

2.2 Capteur de débit YF-S201:

2.2.1 Principe de fonctionnement:

Le capteur de débit **YF-S201** est utilisé pour mesurer la quantité d’eau qui circule dans la canalisation. Il fonctionne sur le principe de la rotation d’une turbine interne entraînée par le

passage de l'eau. Cette rotation est détectée par un capteur à effet Hall qui génère des impulsions électriques proportionnelles au débit.

Le capteur fournit une fréquence d'impulsions **F (Hz)** liée au débit **Q (L/min)** par la relation suivante :

$$Q = \frac{F}{7.5} \quad \text{(III.1)}$$

- **Q** : débit en litres par minute (L/min)
- **F** : fréquence des impulsions (Hz)

Pour obtenir la consommation totale, on intègre le débit dans le temps :

$$\textbf{Volume} = \sum Q \times \Delta t \quad \text{(III.2)}$$

2.2.2 Caractéristiques principaux:

- Tension de fonctionnement : 12V
- Courant de fonctionnement : ≤ 15 mA
- Plage de mesure du débit : 1 à 30 L/min
- Pression de fonctionnement : ≤ 1.75 MPa (≈ 17.5 bar)
- Précision : ±10 %
- Sortie : Signal impulsionnel (Pulse)
- Fréquence proportionnelle au débit
- Température de fonctionnement : jusqu'à 80°C

2.2.3 Rôle dans le système:

- Mesurer le débit instantané (L/min)
- Calculer la consommation totale d'eau
- Détecter les anomalies telles que les fuites

Les données générées sont ensuite transmises à l'ESP32 pour traitement, affichage et envoi vers la base de données.

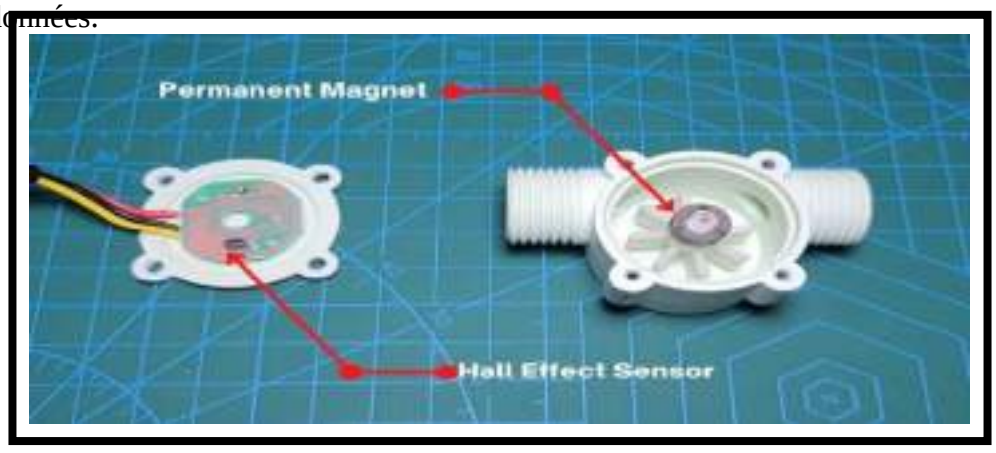


Figure III.2. Capteur de débit YF-S201

2.3 Électrovanne:

2.3.1 Principe de fonctionnement:

L'électrovanne est un équipement électromécanique qui autorise la régulation automatique du flux d'eau dans une conduite.

Quand on applique un courant électrique :

- La bobine génère un champ magnétique
- Ce champ engendre le déplacement d'un piston interne
- Ainsi, l'ouverture ou la fermeture du passage de l'eau est effectuée.

L'ESP32 contrôle indirectement l'électrovanne par le biais d'un module relais.

Pourquoi utiliser un relais ?

L'ESP32 opère à une tension réduite de 3,3 V et ne peut délivrer qu'un courant restreint, tandis que l'électrovanne nécessite une alimentation plus importante de 12 V et un courant plus conséquent pour fonctionner de manière adéquate. Ainsi, le relais offre la possibilité de :

- Séparer électriquement l'ESP32 du circuit d'alimentation
- Pour mettre à l'abri le microcontrôleur des surtensions.
- De contrôler une charge de haute puissance grâce à un signal électrique de faible amplitude.
- L'activation ou la désactivation automatique de l'électrovanne.

2.3.2 Caractéristiques principales:

- Tension d'alimentation : 12V DC
- Type : Normalement fermé (NC)
- Matériau : plastique ou laiton
- Pression de fonctionnement : jusqu'à 0.8 MPa (≈ 8 bar)
- Temps de réponse : rapide
- Compatible avec systèmes hydrauliques domestiques

Le rôle de l'électrovanne dans le système est de gérer à distance l'ouverture et la fermeture de l'eau, et de réagir de manière automatique en cas de détection de fuite ou de surconsommation afin d'assurer la sécurité du système.

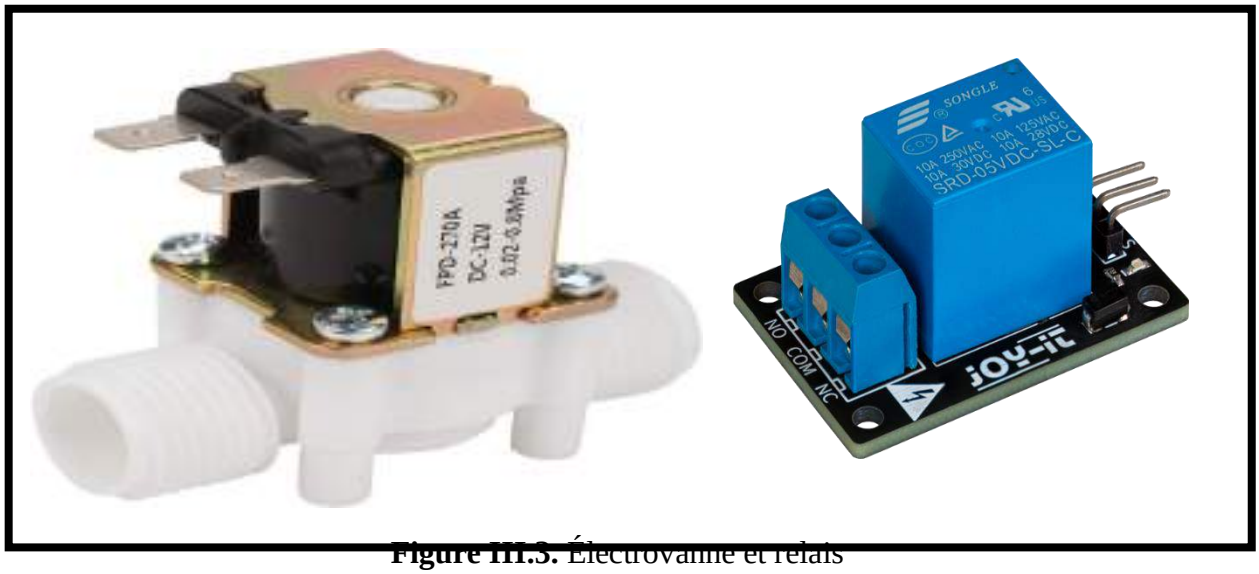


Figure III.3. Électrovanne et relais

2.4 L'écran LCD (Liquid Crystal Display):

2.4.1 Principe de fonctionnement:

Le système Smart Flow Meter utilise l'écran LCD (Liquid Crystal Display) pour présenter les données essentielles en temps réel. Il offre une interface facile d'utilisation qui permet au consommateur de voir directement les données du système.

Le module I2C est utilisé pour relier l'écran LCD à l'ESP32, ce qui diminue le nombre de câbles nécessaires pour la communication.

Le protocole I2C est principalement utilisé pour :

SDA : fil de données **SCL :** Signal d'Horloge

Cette technique rend le câblage plus facile et l'incorporation de l'écran dans le système plus pratique.

2.4.2 Caractéristiques principaux

- Type : LCD 16×2
- Nombre de caractères : 16 caractères × 2 lignes
- Tension d'alimentation : 5V
- Interface de communication : I2C
- Faible consommation d'énergie
- Affichage en temps réel

Le rôle de l'écran LCD dans ce système est d'afficher le débit instantané de l'eau, la consommation totale ainsi que l'état de l'électrovanne (ouverte/fermée). Grâce à cet affichage, l'utilisateur peut suivre le fonctionnement du système de manière claire et rapide.



Figure III.4. L'écran LCD (Liquid Crystal Display)

2.5 Modules de communication (GSM SIM800L)

2.5.1 Principe de fonctionnement

Le module SIM800L, qui est un dispositif de communication GSM/GPRS, est employé dans le système Smart Flow Meter pour garantir l'envoi des données et la supervision à distance via le réseau mobile. Cela autorise le système à communiquer même sans une connexion internet locale.

L'ESP32 est relié au module SIM800L par les bornes TX et RX. Il offre la possibilité d'une communication à distance entre le compteur intelligent et le consommateur.

Pourquoi utiliser un convertisseur DC-DC ?

Le module GSM **SIM800L** nécessite une alimentation stable comprise généralement entre 3.4V - 4.4V avec un courant pouvant atteindre 2A

Le module XL6009 reçoit une tension d'entrée plus faible, puis la convertit en une tension de sortie réglable et stable adaptée au SIM800L. Le convertisseur permet :

- D'augmenter la tension d'alimentation (Step-Up),
- De stabiliser la tension fournie au SIM800L,
- D'assurer un courant suffisant pendant l'émission GSM,
- D'éviter les redémarrages ou dysfonctionnements du module GSM.

2.5.2 Caractéristiques principaux

- Technologie : GSM/GPRS
- Fréquences supportées : Quad-band 850/900/1800/1900 MHz
- Tension d'alimentation : 3.4V à 4.4V
- Communication : UART (TX/RX)

- Support carte SIM
- Envoi et réception de SMS
- Faible consommation d’énergie
- Dimensions compactes

Le rôle du module GSM SIM800L dans ce système est d'envoyer des alertes automatiques, d'informer le client sur sa consommation et de permettre certaines commandes à distance.

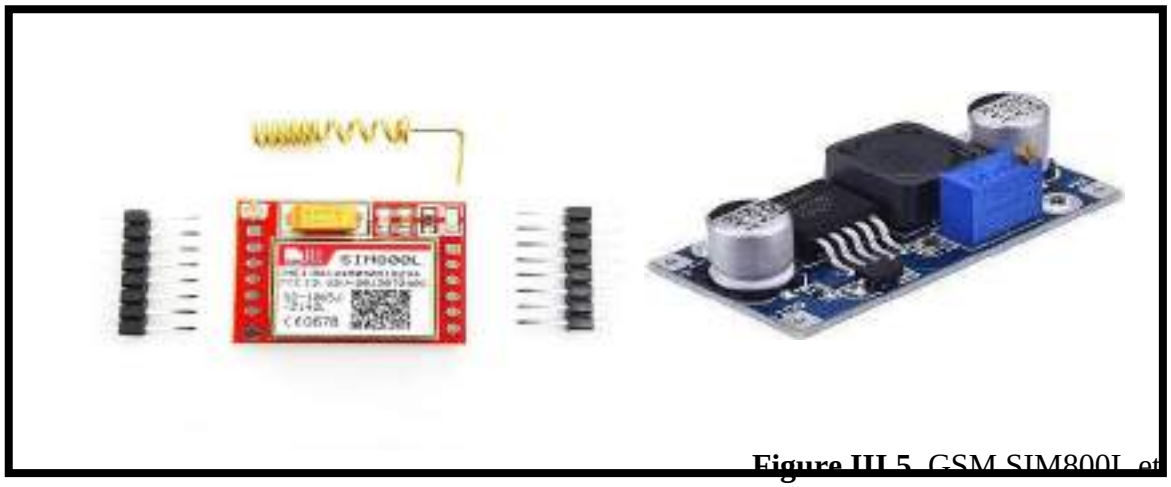


Figure III.5 GSM SIM800L et convertisseur DC-DC

2.6 Schéma de câblage

Le schéma de câblage présente les connexions entre les différents composants du système Smart Flow Meter. L’ensemble des composants fonctionne de manière coordonnée afin d’assurer la surveillance, la gestion et le contrôle intelligent de la consommation d’eau.

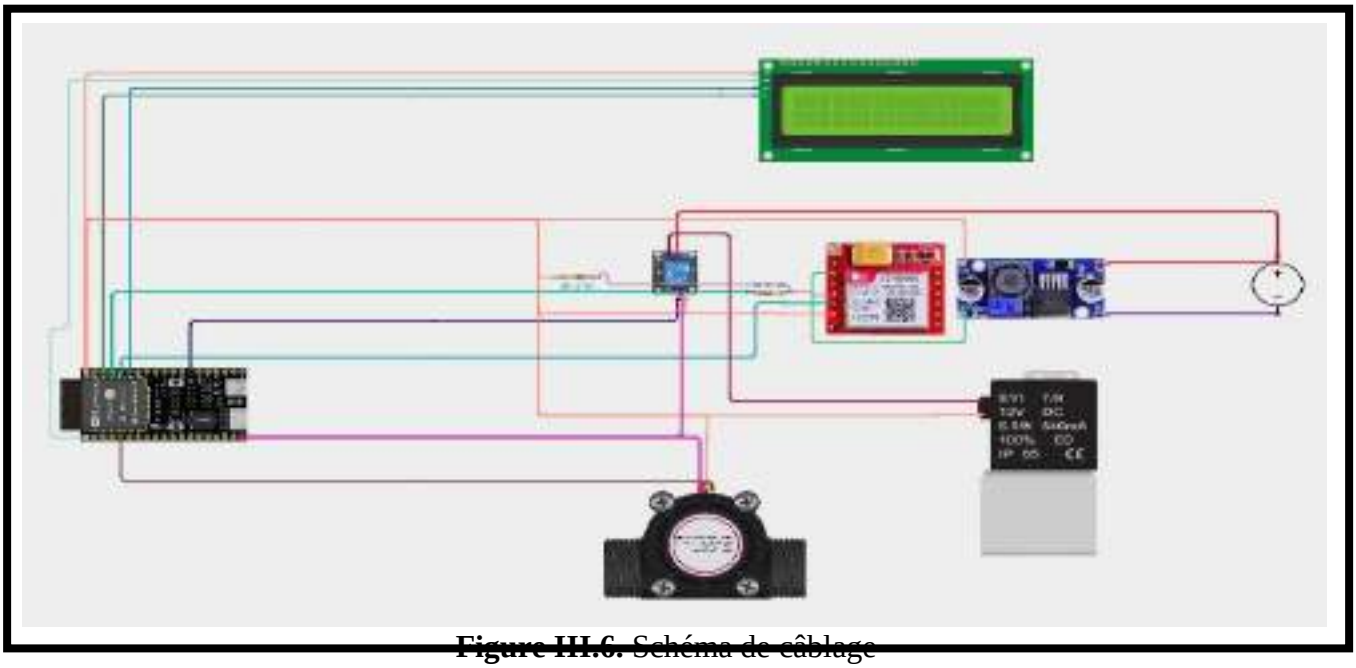


Figure III.6. Schéma de câblage

3 Programmation du microcontrôleur

La programmation de la carte ESP32 a été réalisée à l'aide du logiciel **Arduino IDE**, qui représente un environnement de développement simple et adapté aux systèmes embarqués et aux applications IoT.

Ce logiciel permet l'écriture, la compilation et le téléchargement du programme vers la carte ESP32. Il offre également plusieurs bibliothèques facilitant la communication avec les différents modules utilisés dans le projet, tels que le capteur de débit YF-S201, l'écran LCD I2C, le module GSM SIM800L ainsi que Firebase.



Figure III.7. Logiciel Arduino IDE

3.1 Algorithme général:

La programmation du microcontrôleur ESP32 constitue une étape essentielle dans le développement du système Smart Flow Meter. Elle permet d'assurer la collecte, le traitement et la transmission des données en temps réel.

L'algorithme général du système débute par l'initialisation des différents modules utilisés, notamment le capteur de débit YF-S201, l'écran LCD, le module GSM SIM800L et Firebase.

Après l'initialisation, l'ESP32 lit continuellement les impulsions générées par le capteur de débit afin de calculer le débit instantané et la consommation totale d'eau. Les données calculées sont ensuite affichées sur l'écran LCD et envoyées vers Firebase pour permettre leur consultation à distance.

Le système vérifie également l'état des commandes reçues depuis l'application mobile ou le tableau de bord de l'entreprise. Selon la commande reçue, l'ESP32 active ou désactive le relais afin d'ouvrir ou fermer l'électrovanne.

En parallèle, le programme surveille les anomalies telles que les fuites ou la surconsommation. Lorsqu'une anomalie est détectée, une alerte est envoyée via le module GSM et les informations sont enregistrées dans la base de données.

Ainsi, l'algorithme assure un fonctionnement automatique, intelligent et connecté du système Smart Flow Meter.

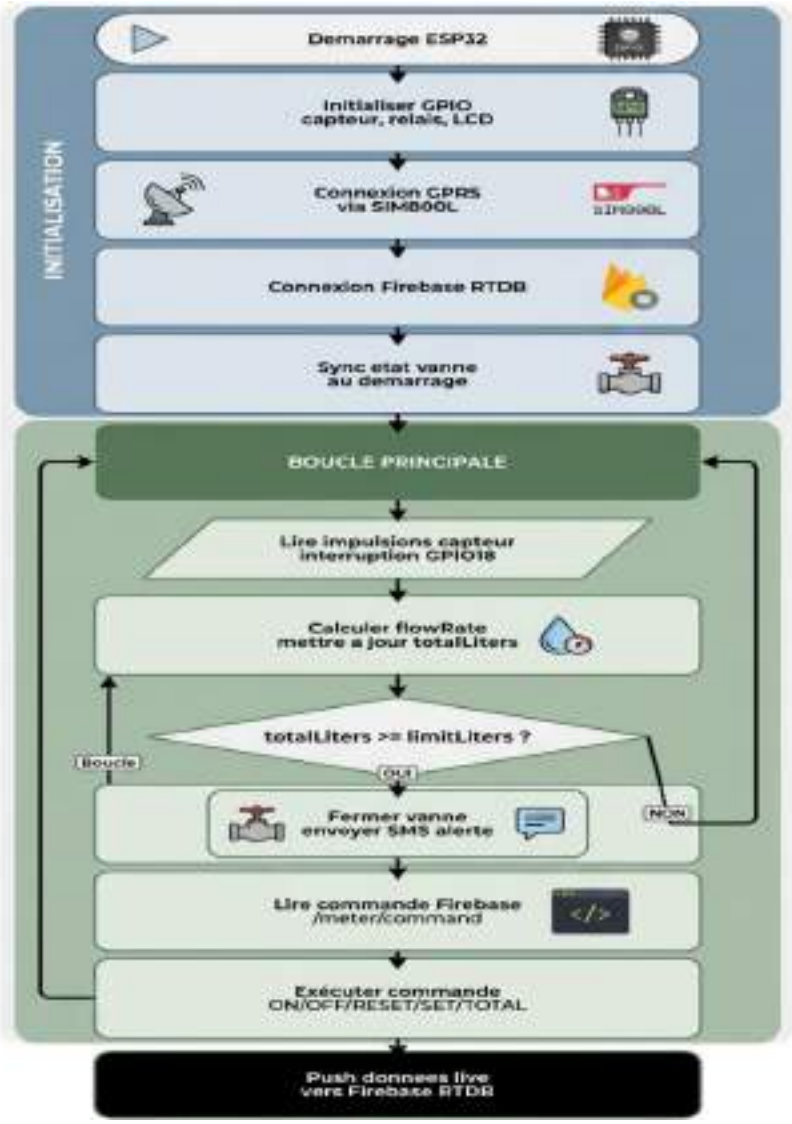


Figure III.8. Algorithme général

3.2 Lecture du débit

La lecture du débit d'eau est réalisée à l'aide du capteur YF-S201 connecté à l'ESP32. Ce capteur génère des impulsions électriques proportionnelles à la vitesse de circulation de l'eau dans la canalisation.

L'ESP32 compte le nombre d'impulsions reçues pendant une durée déterminée afin de calculer le débit instantané exprimé en litres par minute (L/min). Le calcul est effectué à l'aide d'une relation mathématique reliant la fréquence des impulsions au débit d'eau.

Les valeurs obtenues sont ensuite utilisées pour déterminer la consommation totale d'eau et détecter d'éventuelles anomalies telles qu'une fuite ou une surconsommation.

Les données calculées sont affichées localement sur l'écran LCD puis transmises vers Firebase afin d'être consultées à distance via l'application mobile et le système de gestion de l'entreprise.

***Formules de calcul* :**

$$\textbf{Flow Rate (L/min)} = \frac{pulse\ \ Count}{7.5} \quad \text{(III.3)}$$

$$\textbf{Total Litres} = \frac{flow\ Rate}{60.0} \quad \text{[chaque seconde]} \quad \text{(III.4)}$$

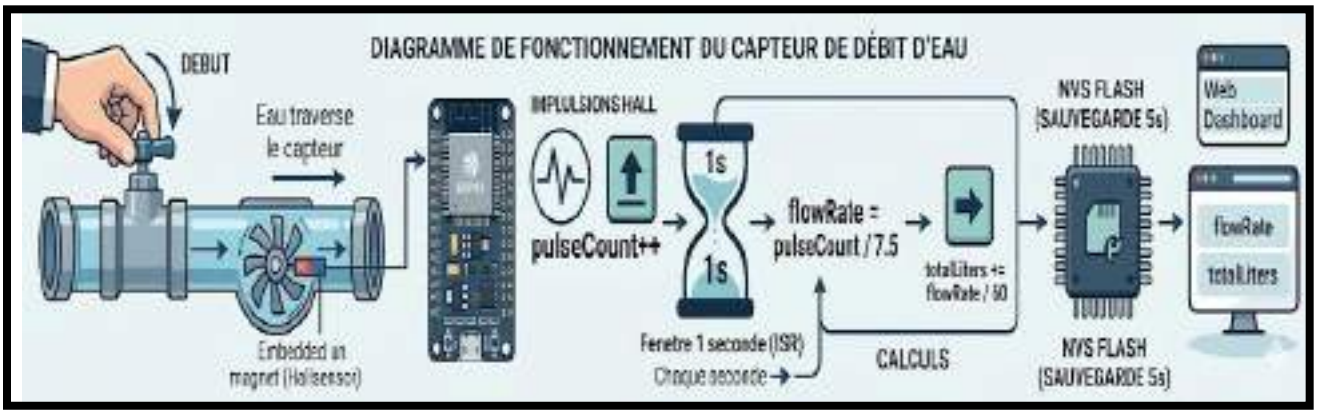


Figure III.9. Lecture du débit

3.3 Transmission des données:

La transmission utilise le protocole HTTPS via le module SIM800L (GSM/GPRS) avec les commandes AT. Deux types de push sont implémentes pour optimiser la latence :

Type de push	Données envoyées	Déclencheur	Latence estimée
Push leger (flowRate)	{flowRate: x.xx}	Toutes les ~1 seconde	~1,5 - 2 secondes
Push complet (full)	Tous les champs + valve Open + limit Reached + uptimeMs	Changement état vanne ou delta volume >= 1L ou alerte limite	~3 - 5 secondes

Tableaux III.1. Chemin Firebase RTDB : /meter via HTTPS PATCH avec x-http-method-override

Note : Le module SIM800L ne supporte pas les WebSockets ni les Server-Sent Events (SSE). La transmission temps réel repose donc exclusivement sur du polling HTTP optimisé avec sortie anticipée des commandes AT (early-exit sur OK/ERROR).

3.4 Commande d'ouverture et de fermeture de l'eau :

L'électrovanne est contrôlée indirectement via Firebase RTDB. Le flux de commande complet est le suivant :

N°	Acteur	Action
1	Admin web / App mobile	Écrit la commande dans Firebase RTDB : /meter/command = "OFF"
2	Firebase RTDB	Stocke la valeur string "OFF" au noeud /meter/command
3	ESP32 (polling 1s)	Exécute httpGET("/meter/command") et extrait la valeur via extract Fire baseString()
4	ESP32 -> Relais/Vanne	setValve(false) : digitalWrite(ELECTROVANNE, HIGH) -> relais coupe l'alimentation de l'électrovanne
5	ESP32 -> Firebase	Remet command a "" pour éviter répétition, puis push complète avec valve Open = false
6	Firebase -> Interfaces	App mobile et admin web voient valve Open passer à false en temps réel

Tableaux III.2. Déroulement des étapes de commande d'ouverture et de fermeture de l'électrovanne.

Broche ESP32	Vanne OUVERTE (ON)	Vanne FERMÉE (OFF)
GPIO 4 (ELECTROVANNE)	digitalWrite(4, LOW) -> Relais activé -> Eau ouverte	digitalWrite(4, HIGH) -> Relais désactivé -> Eau coupée

Tableaux III.3. Correspondance entre les niveaux logiques de l'ESP32 et l'état de la vanne.

4 Système de gestion de l'entreprise

4.1 Présentation du système

L'application web**" QATRA"**admin est un tableau de bord React + TypeScript sécurise destine au personnel de l'entreprise de distribution d'eau. Elle permet la supervision en temps réel du réseau de compteurs, la gestion complète des abonnements clients, et la détection automatique d'anomalies.

Module	Fonctionnalités
Dashboard principal	Vue globale de tous les compteurs, indicateurs clés (débits, alertes actives, compteurs hors ligne)
Suivi des compteurs	Liste live des compteurs avec débit instantané, état vanne, signal, statut
Détail compteur	Page par compteur : graphiques historiques, contrôle de vanne, liste alertes
Gestion clients	CRUD complet : créer, modifier, activer/désactiver, assigner meterId, gérer quota et abonnement
Gestion alertes	Liste des alertes (fuite, quota, hors-ligne, sabotage), marquage résolu
Facturation	Calcul automatique HT/TVA/TTC par période, génération de factures

Tableaux III.4 Répartition des fonctionnalités par module de l'application web"QATRA"

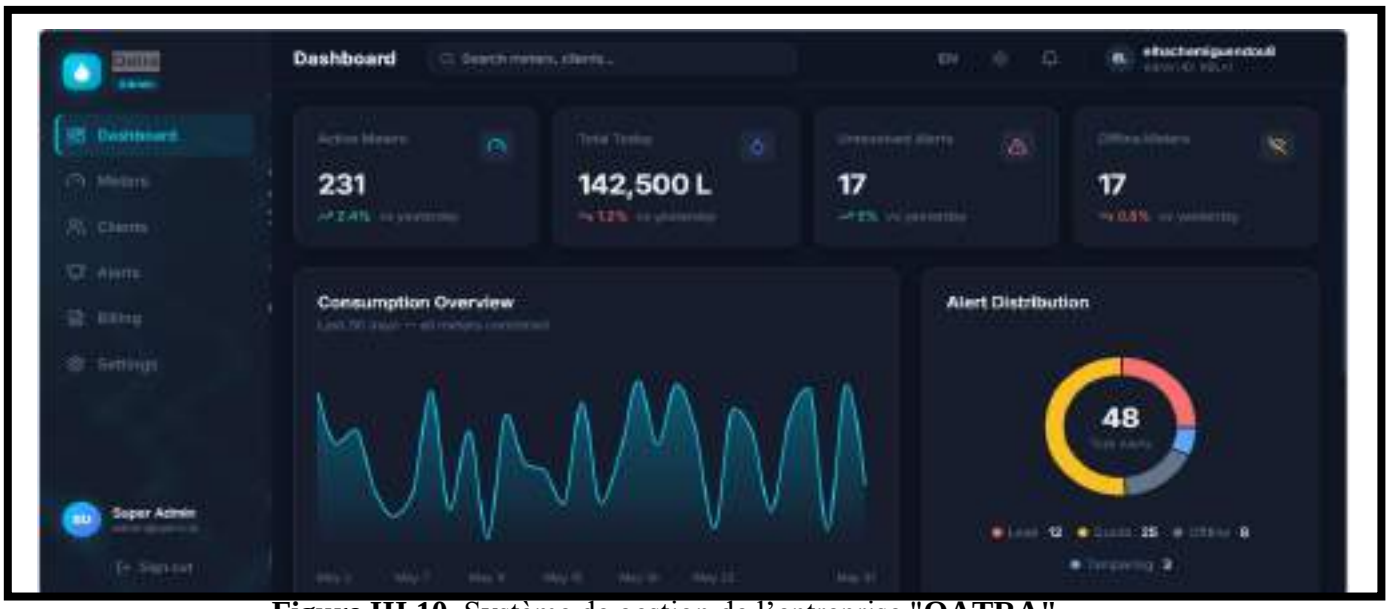


Figure III.10. Système de gestion de l'entreprise "**QATRA**"

4.2 Gestion des clients

L'interface de gestion des clients permet les opérations CRUD complètes sur la collection Firestore utilisateurs :

Opération	Action admin	Impact base de données
Créer (C)	Formulaire nouveau client	Ajout document Firestore users + assignement meterId
Lire (R)	Liste et fiche client	Lecture temps reel Firestore users + RTDB /meter/{meterId}
Modifier (U)	Édition profil, quota, abonnement	Update document Firestore users
Désactiver (U)	Toggle actif/inactif	Mise a jour champ active dans Firestore
Supprimer (D)	Suppression client	Suppression document Firestore + liberation du meterId

Tableaux III.5 les opérations CRUD

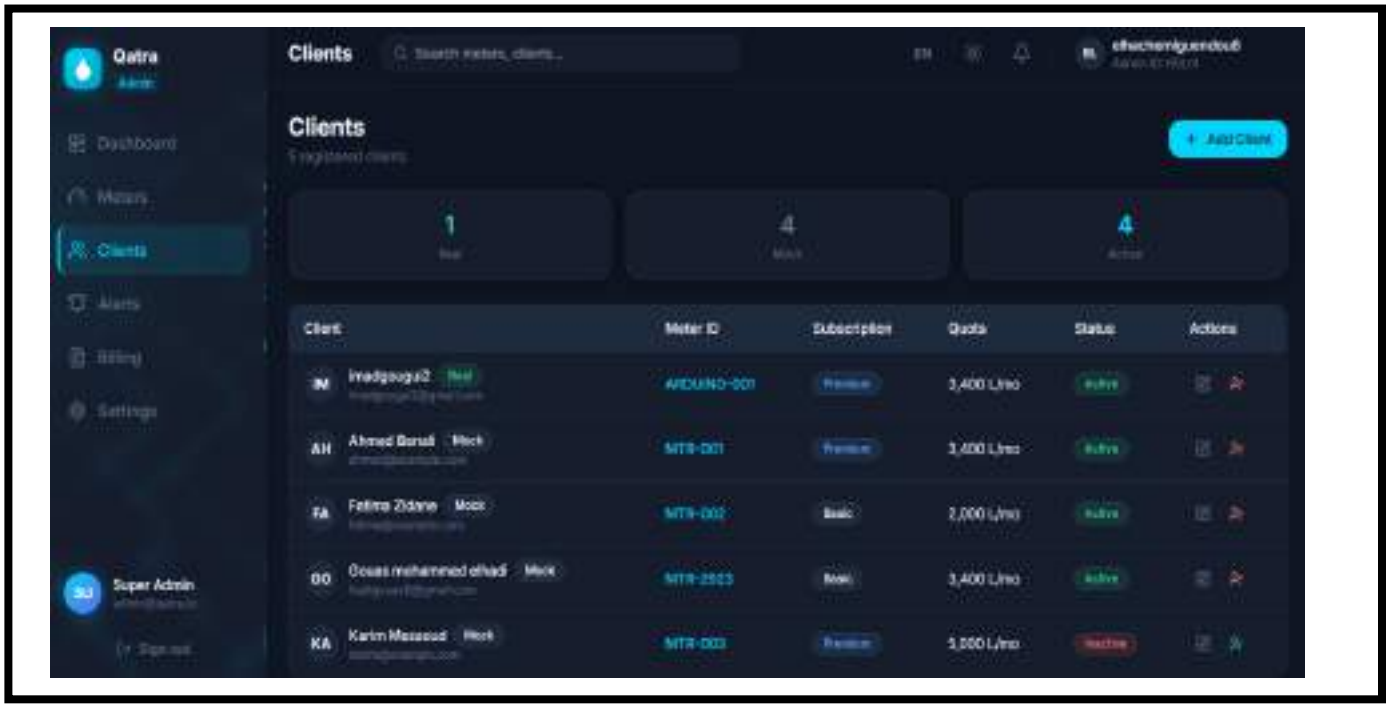


Figure III.11. Gestion des clients

4.3 Contrôle à distance du compteur:

La page de détail d'un compteur, l'administrateur dispose d'un bouton Toggle d'urgence pour ouvrir ou fermer la vanne instantanément. La séquence complète est :

- L'admin clique sur le bouton Toggle dans l'interface web.
- L'application React écrite command = "OFF" ou command = "ON" dans Firebase RTDB au nœud /mètre/{meterId}/command.
- L'ESP32 détecte la commande lors de son polling (toutes les 1 seconde).
- L'ESP32 actionne le relais GPIO 4 -> l'électrovanne s'ouvre ou se ferme physiquement.
- L'ESP32 efface la commande (command = "") et met a jour valveOpen dans RTDB.
- L'interface web se met a jour automatiquement via onValue() Firebase.

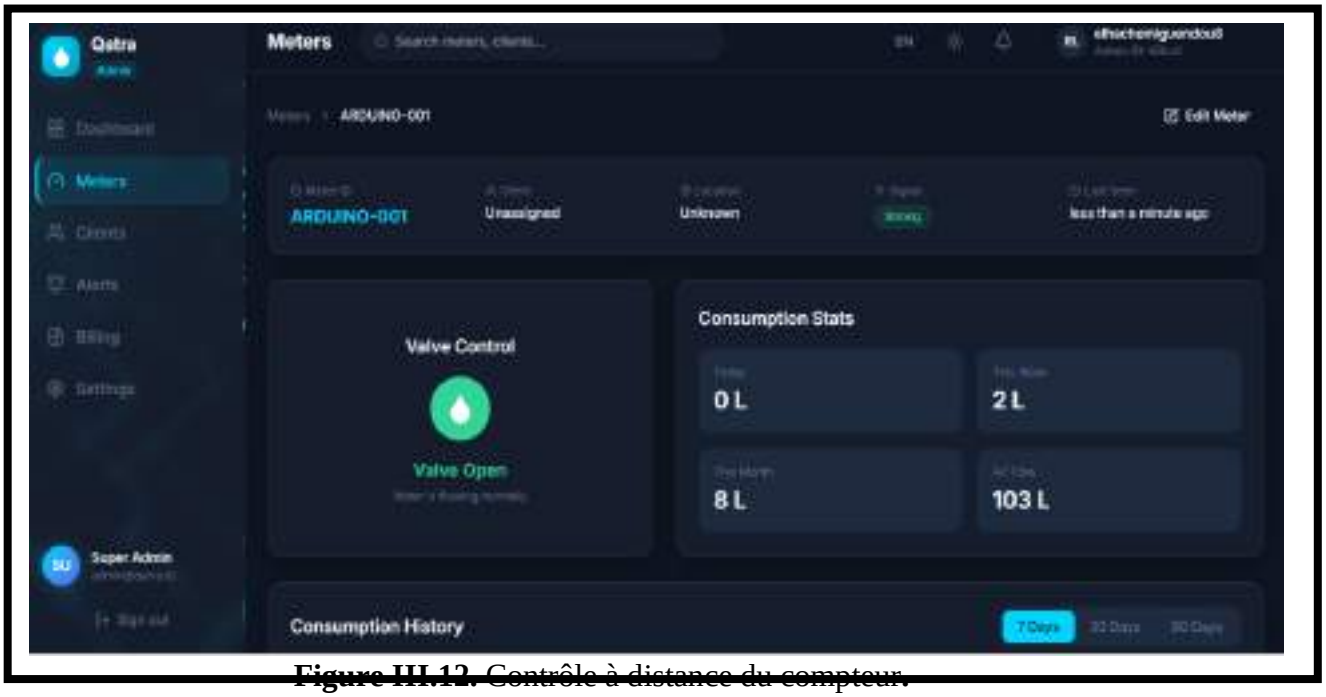


Figure III.12. Contrôle à distance du compteur.

4.4 Interfaçage avec la base des données :

Le système Smart Flow Meter utilise Firebase comme base de données temps réel afin d'assurer le stockage et la synchronisation des informations.

Les données envoyées par l'ESP32 sont enregistrées automatiquement dans Firebase puis exploitées par le tableau de bord de l'entreprise et l'application mobile.

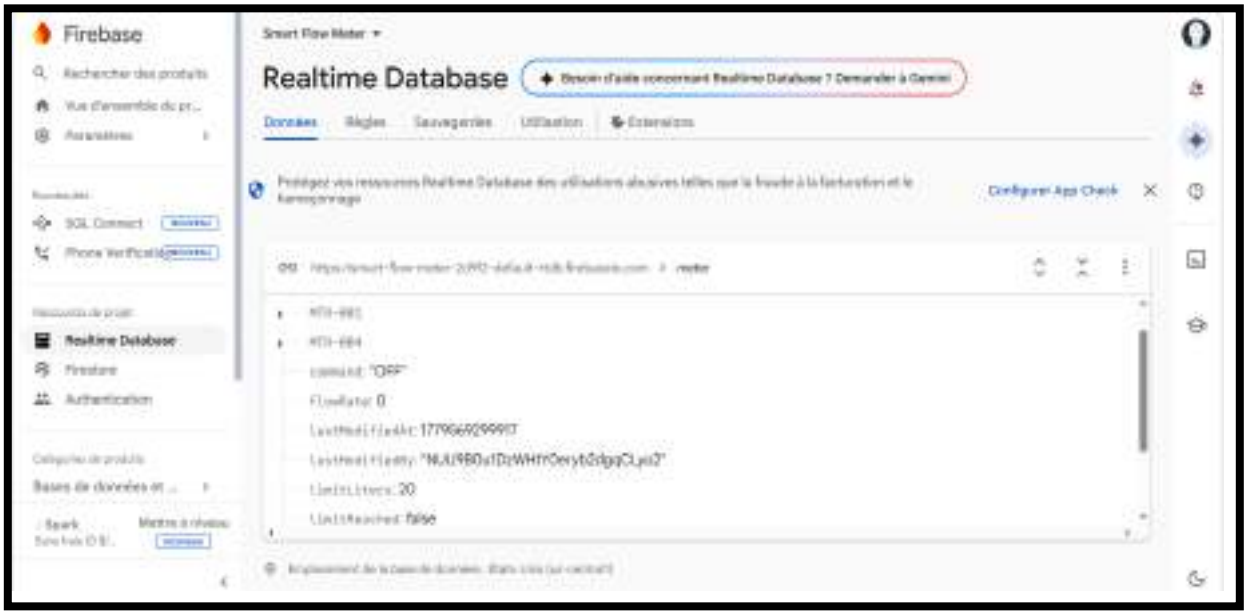


Figure III.13. Interfaçage avec la base des données

5 Application mobile (Client)

5.1 Présentation de l'application

L'application mobile Qatra est développée en Flutter. Elle est l'interface grand public permettant au client final de surveiller sa consommation d'eau en temps réel, de configurer ses limites personnelles, et de recevoir des alertes automatiques en cas d'anomalie (fuite, dépassement de quota).

5.2 Interfaces utilisateur

L'application comprend les écrans suivants, organise via une navigation par Bottom Navigation Bar :

#	Nom	Contenu et fonctionnalités
1	Splash Screen	Écran de démarrage avec logo Qatra
2	Login	Connexion via email + mot de passe Firebase Auth
3	Signup	Inscription nouveau client avec création profil
4	Home / Live Dashboard	Jauge débit L/min, volume total, état vanne, quota mensuel affiche
5	Historique / Stats	Graphiques de consommation journalière, hebdomadaire, mensuelle (BarChartWidget)
6	Alertes	Liste des alertes (type, message, horodatage, statut résolu)
7	Paramètres	Profil client, catégorie, informations appareil, configuration limite

Tableaux III.6. Liste des écrans et fonctionnalités de l'application mobile « Qatra ».

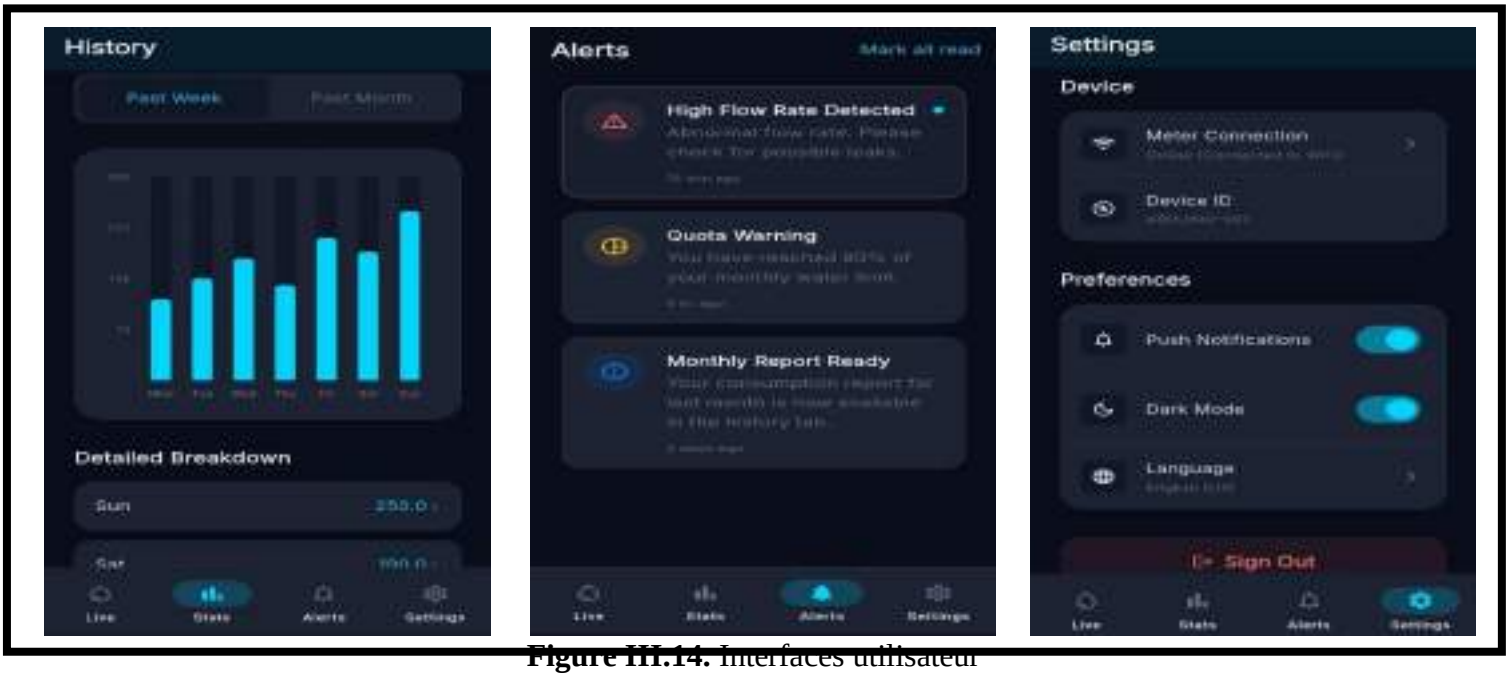


Figure III.14. Interfaces utilisateur

5.3 Affichage des données

L'application mobile affiche les données de consommation en temps réel grâce à la synchronisation avec Firebase.

Les informations affichées comprennent :

- Le débit instantané,
- La consommation totale,
- L'état de l'électrovanne,
- Les alertes du système.

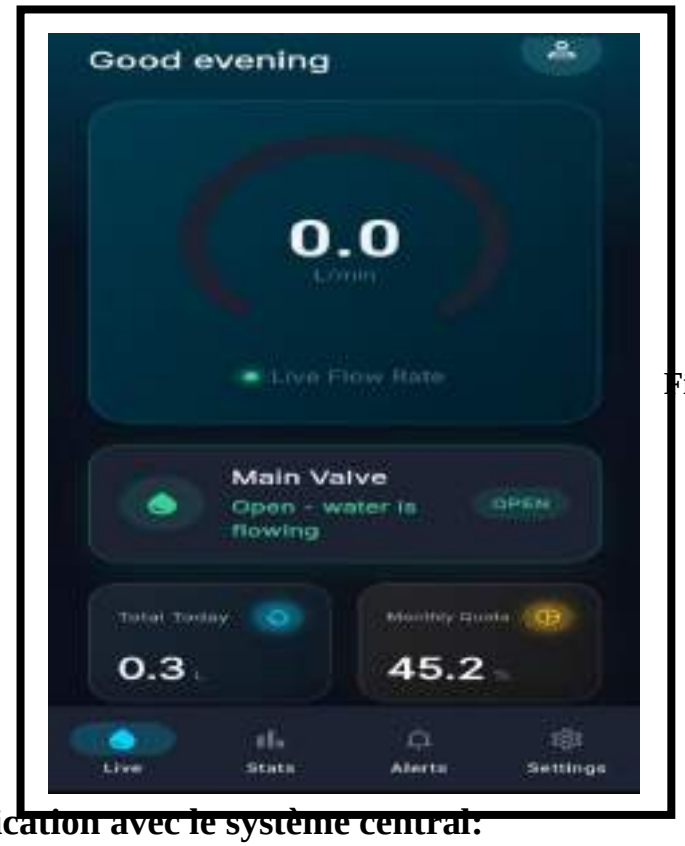


Figure III.15. Affichage des données

5.4 Communication avec le système central:

L'application mobile communique avec le système central via Firebase. Toutes les données échangées entre l'ESP32, l'application mobile et le tableau de bord transitent par la base de données temps réel.

Cette architecture permet une synchronisation rapide des informations et garantit un accès aux données depuis n'importe quel emplacement disposant d'une connexion Internet.

6 Résultats et discussions:

6.1 Prototype final:

Après l'assemblage des différents composants matériels et logiciels, le prototype final du système Qatra a été réalisé avec succès. Le système intègre une carte ESP32, un capteur de débit YF-S201, une électrovanne commandée par relais, un module GSM SIM800L, un écran LCD ainsi qu'une base de données Firebase reliée à une application mobile et à un tableau de bord de gestion.

Le prototype développé permet la mesure du débit d'eau en temps réel, la surveillance de la consommation, l'envoi des données vers Firebase et le contrôle à distance de l'alimentation en eau. Les essais réalisés ont montré un fonctionnement stable et une bonne communication entre les différents modules du système.



Figure III.16. Prototype final

6.2 Test de commande à distance:

Afin de vérifier le bon fonctionnement du système de contrôle à distance, plusieurs essais ont été effectués à partir de l'application mobile et du système de gestion de l'entreprise.

Les commandes d'ouverture et de fermeture de l'électrovanne ont été envoyées vers Firebase puis transmises à l'ESP32 via la connexion Internet. Les résultats obtenus ont montré que les commandes sont exécutées correctement avec un temps de réponse satisfaisant.

Le système a également permis de visualiser en temps réel l'état de l'électrovanne depuis les différentes interfaces utilisateurs. Cette fonctionnalité confirme la capacité du système à assurer une gestion à distance fiable et efficace.

Test 01 La vanne est fermée :



Figure III.17. Test de fermeture

Test 02 La vanne est ouverte :



Figure III.18. Test d'ouverture

7 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté la phase de réalisation et de développement du système **Smart Flow Meter**. Nous avons d'abord décrit les différents composants matériels utilisés, notamment la carte ESP32, le capteur de débit YF-S201, l'écran LCD, le module GSM SIM800L, le relais et l'électrovanne. Ensuite, nous avons détaillé la programmation du microcontrôleur ainsi que les différentes fonctionnalités assurées par le système, telles que la mesure du débit, la transmission des données et le contrôle à distance de l'alimentation en eau.

Nous avons également présenté le système de gestion destiné à l'entreprise ainsi que l'application mobile développée pour le client, en mettant en évidence leur interaction avec la base de données Firebase. Cette architecture permet une surveillance en temps réel, une gestion centralisée des informations et une communication efficace entre les différents composants du système.

Les résultats obtenus confirment la faisabilité technique de la solution proposée et démontrent l'intérêt de l'intégration des technologies IoT dans la gestion intelligente de la consommation d'eau. Le prototype réalisé constitue ainsi une base solide pour le développement futur d'un système opérationnel pouvant être déployé à grande échelle au sein des réseaux de distribution d'eau.

Conclusion générale

Conclusion générale

Au terme de ce travail de recherche et de développement, les résultats obtenus permettent de répondre à la problématique initiale liée à l'optimisation et à la surveillance intelligente de la distribution d'eau. Face aux limites des systèmes traditionnels de gestion des ressources hydriques, caractérisés par l'absence de suivi en temps réel, les difficultés de détection des fuites et les erreurs liées aux relevés manuels, notre projet avait pour objectif principal de concevoir une solution IoT innovante capable d'assurer une mesure précise de la consommation, une supervision à distance ainsi qu'une meilleure maîtrise des ressources en eau.

Dans cette optique, nous avons développé Smart Flow Meter, un système intelligent basé sur l'Internet des Objets permettant la collecte, le traitement et la transmission en temps réel des données de consommation. La solution réalisée repose sur l'intégration d'un capteur de débit, d'un microcontrôleur, d'un module de communication GSM, d'une électrovanne pilotable à distance ainsi que d'une base de données centralisée. Afin d'assurer une interaction efficace entre les différents acteurs du système, nous avons également conçu une application mobile baptisée « Qatra » destinée aux abonnés, ainsi qu'une plateforme web de gestion permettant aux administrateurs de superviser l'ensemble du réseau.

Les résultats obtenus démontrent la faisabilité technique de la solution proposée. Le système permet un suivi précis de la consommation d'eau, la détection précoce des anomalies et des fuites, la consultation des données en temps réel, ainsi que l'exécution d'actions de contrôle à distance. Cette approche contribue à améliorer la qualité du service, à réduire les pertes hydriques, à optimiser les coûts opérationnels et à renforcer la relation entre le fournisseur d'eau et le consommateur. Par ailleurs, le projet s'inscrit pleinement dans une démarche de développement durable en favorisant une utilisation plus rationnelle et responsable des ressources en eau.

Cependant, malgré les résultats encourageants obtenus, certaines limites doivent être soulignées. Le prototype réalisé a été développé dans un contexte académique avec des contraintes liées au temps, au budget et aux ressources matérielles disponibles. De plus, la fiabilité du système reste dépendante de la qualité de la couverture réseau GSM ainsi que des conditions réelles de déploiement sur le terrain. Des essais à grande échelle sur des réseaux de distribution réels seraient nécessaires afin d'évaluer davantage les performances, la robustesse et la sécurité du système dans différentes situations d'exploitation.

Les perspectives d'évolution de ce projet sont nombreuses et particulièrement prometteuses. Dans une vision future, il serait envisageable de concevoir une nouvelle génération du Smart Flow Meter sous la forme d'un produit industriel compact, totalement étanche et résistant aux conditions environnementales sévères. L'intégration de technologies d'Intelligence Artificielle permettrait également d'analyser les habitudes de consommation des utilisateurs, de prédire les comportements futurs, de détecter automatiquement les fuites avec une plus grande précision et d'anticiper les anomalies avant leur apparition. D'autres améliorations pourraient inclure l'utilisation de technologies de communication IoT à faible consommation énergétique telles que LoRaWAN ou NB-IoT, l'intégration de systèmes de paiement électronique, l'exploitation du Big Data pour la gestion prédictive des réseaux ainsi que le développement d'un tableau de bord intelligent destiné aux gestionnaires des ressources hydriques.

Enfin, ce projet de fin d'études a constitué une expérience particulièrement enrichissante tant sur le plan scientifique que professionnel. Il nous a permis de mettre en pratique les connaissances acquises durant notre formation en instrumentation, systèmes embarqués, télécommunications, développement logiciel et technologies IoT.

Il nous a également permis de développer des compétences essentielles en gestion de projet, travail d'équipe, résolution de problèmes et innovation technologique. Au-delà de sa dimension académique, ce projet représente une base solide pouvant évoluer vers une véritable solution industrielle ou une startup innovante contribuant à la modernisation du secteur de la distribution d'eau et à la préservation des ressources hydriques pour les générations futures.

Bibliographies:

[1] UNESCO, United Nations World Water Development Report 2023: Partnerships and Cooperation for Water, Paris: UNESCO, 2023.
Disponible: https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000384655
[2] *World Bank,* High and Dry: Climate Change, Water, and the Economy, Washington, DC: World Bank, 2016.
Disponible: https://documents1.worldbank.org/curated/en/862571468196731247/pdf/105130-REVISED-K8517.pdf
[3] P. H. Gleick, *Water in Crisis: A Guide to the World's Fresh Water Resources*, Oxford University Press, 1993.
[4] N. Bech and I. S. Kristensen, *Flow Measurement Handbook*, Elsevier, 2014.
[5] FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations), "AQUASTAT Main Database – Global water withdrawals by sector," 2022.
Disponible: https://www.fao.org/aquastat
[6] World Bank, "Reducing Non-Revenue Water in Developing Countries," Washington, DC, 2016. Disponible: https://openknowledge.worldbank.org/
[7] International Télécommunication Union (ITU) https://www.itu.int/rec/T-REC-Y.2060-201206-I/en
[8] ETSI, "Machine-to-Machine communications (M2M); Fonctionnel architecture," ETSI TS 102 690, 2011.
https://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/102600_102699/102690/01.01.01_60/ts_102690v010101p.pdf
[9] Copyright © Bernard Schneider et Alain Beuret, 2003, 2004, 2005, 2006 Automatisation Industrielle.pdf - Free Download PDF
[10]J. Rumbaugh, I. Jacobson, and G. Booch, The Unified Modeling Language Reference Manual. Addison-Wesley, 2004.

الملخص:

يهدف مشروع "مقياس التدفق الذكي " إلى تصميم نظام ذكي لمراقبة استهلاك المياه والتحكم فيه باستخدام تقنيات إنترنت الأشياء ويستخدم النظام عدة تجهيزات
(GSM SIM800 وصمامًا كهربائيًا ووحدة LCD و شاشةYFS201 ومستشعر تدفق esp32 لوحة)

ويسمح هذا النظام بقياس تدفق المياه، وإرسال تنبيهات في حالة حدوث تسرب أو استهلاك زائد، والتحكم في إمدادات المياه عن بعد وقاعدة بيانات Firebase المائية الموارد لتحسين إدارة وتطبيق جوال، ومنصة إدارة شاملة في النظام.

الكلمات المفتاحية:

مراقبة الاستهلاك، التحكم عن بعدGSM، ESP32عداد مياه ذكي، إنترنت الأشياء،.

Résumé :
Le projet **Smart Flow Meter** vise à concevoir un système intelligent de surveillance et de contrôle de la consommation d'eau basé sur les technologies IoT. Le système utilise une carte **ESP32**, un capteur de débit **YF-S201**, un écran LCD, une électrovanne et un module GSM SIM800L. Il permet de mesurer le débit d'eau, d'envoyer des alertes en cas de fuite ou de surconsommation et de contrôler l'alimentation en eau à distance. Le système intègre également Firebase, une application mobile et une plateforme de gestion pour améliorer la gestion des ressources hydriques
Mots clés :
Compteur d'eau intelligent, IoT, ESP32, GSM, surveillance de consommation, contrôle à distance.

Abstract:
The **Smart Flow Meter** project aims to develop an intelligent water consumption monitoring and control system based on IoT technologies. The system uses an **ESP32** board, a **YF-S201** flow sensor, an LCD display, a solenoid valve, and a **SIM800L GSM** module. It enables water flow measurement, leakage and overconsumption alerts, and remote water control. The system also integrates Firebase, a mobile application, and a management platform to improve water resource management.

Keywords:
Smart water meter, IoT, ESP32, GSM, consumption monitoring, remote control.