

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE



UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA
FACULTE DE TECHNOLOGIE
DEPARTEMENT ELECTRONIQUE



Domaine : Electronique

Filière : Electronique

Spécialité : Instrumentation

MEMOIRE de fin d'étude

Présenté pour l'obtention du diplôme de MASTER

Présenter par : KOURICHE Meriem & KHAZAAR Sara

SUJET

**Etude des fuites d'eau et contribution au développement d'une
méthode de leurs détections et localisations**

Soutenu le : 29/ 06 /2025 devant le jury composé de :

Dr. BENTOUMI Miloud **Université de M'sila**

Dr. BAKHTI El Hadi **Université de M'sila**

Année Universitaire : 2024 /2025

Remerciements

Avant tout, nous remercions Dieu Tout-Puissant de nous avoir donné la force, la patience et la volonté nécessaires pour mener à bien ce travail.

Nous tenons à exprimer notre profonde gratitude à notre encadrant **Dr. BENTOUMI Miloud** pour son accompagnement, ses précieux conseils, sa disponibilité et son soutien tout au long de la réalisation de ce mémoire. Sa rigueur scientifique et son encadrement attentif ont été d'une grande aide pour nous.

Nos remerciements s'adressent également à **Dr. BAKHTI El Hadi** pour sa bienveillance, ses orientations pertinentes et son implication dans notre travail.

Nous tenons aussi à remercier l'ensemble de nos professeurs pour les connaissances qu'ils nous ont transmises tout au long de notre parcours universitaire, ainsi que pour leur dévouement et leur professionnalisme.

Enfin, nous adressons nos plus sincères remerciements à nos familles, qui nous ont toujours soutenues, encouragées et crues en nous, dans les moments faciles comme dans les moments difficiles.

Dédicaces

Je tiens tout d'abord à exprimer ma sincère gratitude aux Dr BEN TOUMI Miloud et Dr BEKHTI El Hadi pour leur engagement, leur aide et leurs précieuses suggestions tout au long du projet. J'apprécie particulièrement leur soutien cette année. Je remercie également ma famille pour son amour, sa confiance, ses conseils et son soutien indéfectible, qui m'ont permis de mener à bien les études auxquelles j'aspirais, et par conséquent, cette thèse. Je remercie également tous mes amis qui m'ont apporté leur soutien moral et intellectuel tout au long de cette période. Je remercie également sincèrement tous les professeurs et toutes les personnes qui ont contribué à l'élaboration de leurs textes, écrits, suggestions et critiques. Enfin, nous remercions sincèrement tous les contributeurs, de près ou de loin, qui ont contribué à l'élaboration de ce projet.

KOURICHE Meriem & KHAZAAR Sara

Résumé

Ce mémoire présente le développement du dispositif intelligent de distribution d'eau sur la carte Raspberry Pi 5, le module ADS1115 et le capteur de pression. L'objectif est de détecter les anomalies d'expression qui apparaissent à certains moments dans la fonction du trait de signal et de l'intelligence artificielle (utiliser le GRU). Après l'inspection des systèmes hydrauliques et des vannes, le dispositif peut être utilisé avec une plaque expérimentale simulant l'effet des réseaux. Les collections sont stockées en Python et dans un format standard sur PostgreSQL. Les résultats démontrent l'efficacité du système dans la méthode de détection et son efficacité.

Abstract

This research focuses on developing a smart system for detecting water leaks in distribution networks. It is based on a Raspberry Pi 5 board, an ADS1115 module, and a pressure sensor. The system aims to instantly detect pressure anomalies caused by leaks using signal processing and artificial intelligence techniques (particularly the GRU neural network). After a theoretical study of water networks and leak types, a practical testbed was implemented that simulates a real network. Data is processed using Python and stored in a PostgreSQL database. The results demonstrate the system's effectiveness in accurately and rapidly detecting leaks.

الملخص

يتناول هذا البحث تطوير نظام ذكي للكشف عن تسربات المياه في شبكات التوزيع، بالاعتماد على بطاقة Raspberry Pi 5، ووحدة ADS1115، ومستشعر ضغط. يهدف النظام إلى الكشف الفوري عن تغيرات الضغط الناتجة عن التسربات، باستخدام تقنيات معالجة الإشارة والذكاء الاصطناعي (خصوصاً شبكة GRU). بعد دراسة نظرية حول الشبكات المائية وأنواع التسربات، تم تنفيذ منصة تجريبية تحاكي شبكة حقيقية. تُعالج البيانات باستخدام لغة Python وتُخزن في قاعدة بيانات PostgreSQL. وتُظهر النتائج كفاءة النظام في الكشف السريع والدقيق عن التسربات.

الكلمات المفتاحية:

الكشف الذكي للتسربات ، Python 3 ، مستشعر الضغط ، GRU الذكاء الاصطناعي ، Raspberry Pi 5

SOMMAIRE

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GENERALE.....	6
----------------------------	---

CHAPITRE I Détection DE fuite de l'eau

INTRODUCTION.....	9
-------------------	---

I.1 Présentation générale d'un système d'alimentation en eau potable	10
--	----

I.1.1 Captage d'eau.....	10
--------------------------	----

I.1.2 Installations de pompage.....	12
-------------------------------------	----

I.1.2.1 Prélèvement d'une source	12
--	----

I.1.2.2 Prélèvement d'un puits.....	12
-------------------------------------	----

I.1.2.3 Prélèvement d'eau de surface.....	13
---	----

I.1.3 Conduites d'adduction d'eau.....	13
--	----

I.2 Réseau de distribution.....	13
---------------------------------	----

I.2.1 Classification du réseau d'AEP.....	15
---	----

I.3. Problématique des fuites	18
-------------------------------------	----

I.3.1 Types de fuites	19
-----------------------------	----

I.3.1.2 Les fuites diffuses	19
-----------------------------------	----

I.3.1.3 Les ruptures (défaillances) ou fuites apparentes	20
--	----

I.3.1.4 Causes des fuites	22
---------------------------------	----

I.3.1.5 Les éléments influençant l'apparition des fuites	23
--	----

I. 3.2. Composants externes des réseaux.....	25
--	----

I.3.2.2 Les éléments liés à l'exploitation des réseaux	27
--	----

I.3.2.3 Les manifestations des fuites	28
---	----

Conclusion.....	29
-----------------	----

CHAPITRE II Description Préparation de la carte RASPBERRY Pi 5

Introduction	31
--------------------	----

II.1. Présentation du Raspberry Pi.....	31
---	----

II.2. Matériel nécessaire	32
---------------------------------	----

II.3. Caractéristiques techniques du Raspberry Pi 5	32
---	----

II.4. Pourquoi le Raspberry Pi 5	32
--	----

II.5. Installation et démarrage du système.....	33
---	----

II.6. Contrôle Du Raspberry Pi A Distance	39
---	----

II.6.1. Contrôle de la ligne de commande à distance à l'aide de SSH	39
---	----

II.6.2. Contrôle de la ligne de commande depuis l'ordinateur	40
II.6.3. Contrôle via VNC	41
II.7. Langages de programmation.....	42
II.7.1. Python.....	42
II.7.2. Caractéristiques.....	42
II.7.3. Installation de Python	43
Conclusion.....	44
CHAPITRE III Réalisation Pratique du Système de Détection de Fuite d'Eau	
Introduction	46
III.1. Détection de fuite via un signal de pression.....	46
III.2. Mise en place d'une plateforme d'essai et techniques d'acquisition de signaux de pression .	49
III.3 Logiciels Utilisés.....	55
III.3.1Raspberry Pi OS	55
III.3.2 Python 3.....	56
III.3.3 Bibliothèques Python Utilisées.....	56
III.4. Connexion du Raspberry Pi avec le module ADS1115 et le capteur de pression	58
III.5. Acquisition des données	61
III.5.1. Développement du script de lecture	61
III.5.2. Intégration avec la base de données PostgreSQL.....	61
III.5.3. Validation du système	62
III.6 Détection des fuites en temps réel à l'aide de l'intelligence artificielle	63
III.6.1. Objectif de la détection intelligente.....	63
III.6.2. Approche utilisée.....	63
III.6.3. Réseau de neurones récurrent GRU et son rôle dans le traitement des données temporelles :	65
III.6.4. Interprétation et remarques.....	68
CONCLUSION	69
CONCLUSION GENERALE	70
Références	71

Liste des figures

Figure I.1 – Schéma général d'alimentation en eau potable	10
Figure I.2 – Prises d'eau (a) Dans le fond du lit, (b) Sur la berge.....	11
Figure I.3 – Captage des eaux souterraines.....	12
Figure I.4 – Composants Physiques d'un Système de Distribution d'Eau	15
Figure I.5 – Réseau ramifié.....	16
Figure I.6 –Réseau maillé	16
Figure I.7–Réseau Etagés.....	18
Figure I.8 – Une conduite ayant subi une rupture en Acier.....	21
Figure I.9–Différents types de ruptures des conduites d'eau potable.....	22
Figure I.10– Causes de l'affaiblissement d'une conduite d'eau potable.....	23
Figure I.11– Conduite subi une corrosion (fonte).....	25
Figure I.12–Conduite subi une corrosion externe par courant vagabonds.....	27
Figure II.1 – Raspberry pi 5.....	30
Figure II.2 – Insérer carte micro SD.....	38
Figure II.3 – Intf_Config.....	39
Figure II.4 – Active SSH.....	39
Figure II.5 – Interface PuTTY.....	40

Figure II.6 – IP Login.....	40
Figure II.7 –Interface VNC.....	41
Figure II.8 –Ports GPIO.....	42
Figure III.1 –Signaux réfléchis par une fuite.....	46
Figure III.2 –Signal provenant d'un seul capteur de pression.....	46
Figure III.3-Signal transitoire typique, (a) Aucune fuite, (b) Avec fuite, (c) dérivée du signal a, (d) dérivée du signal b.....	47
Figure III.4 –Les signaux avec la fuite sont à la même distance (le premier capteur est à 14,5 m de la pompe et le second à 44 m) avec le changement de temps.....	47
Figure III.5 – Les signaux avec la fuite sont à la même distance (le premier capteur est à 14,5 m de la pompe et le second à 90,5 m) avec le changement de temps.....	48
Figure III.6 – réservoir d'eau.....	48.
Figure III.7 – Pompes à eau.....	49
Figure III.8 – Conduite d'eau.....	49
Figure III.9 – Supports.....	50
Figure III.10– Perforation de la conduite, afin de stimuler une fuite.....	51
Figure III.11– électrovanne.....	52
Figure III.12– capteur de pression.....	53
Figure III.13– Carte Raspberry Pi5.....	54

Figure III.14– module de conversion ADS1115.....	54
Figure III.15– Schéma de câblage pour connecter Raspberry Pi avec ADS 1115 et capteur dépression.....	59
Figure III.16 – L'organigramme illustre les différentes étapes du traitement de l'information et les interactions entre les composants.....	60
Figure III.17– Organigramme de l'acquisition de Raspberry avec ADS1115.....	62
Figure III.18– Organigramme pour l'utilisation de l'intelligence artificielle pour détecter les fuites.....	64
Figure III 19– Schéma du module GRU.....	65
Figure III.20 –Organigramme du fonctionnement du GRU.....	67
Figure III.21– Résultats de la mise en œuvre de la méthode GRU.....	68

INTRODUCTION GENERALE

L'eau est une ressource vitale pour le maintien de la vie, de la santé publique et du développement socio-économique. Le changement climatique, la croissance démographique et l'urbanisation contribuent tous à la pression sur les ressources en eau. Les gestionnaires et les infrastructures communautaires sont confrontés à un problème stratégique concernant la gestion de l'eau, en particulier dans les réseaux de distribution. L'un des principaux défis auxquels les responsables des réseaux sont confrontés est de détecter les fuites dès leurs apparitions afin de réduire les pertes d'eau. La fuite dans les conduites, qu'ils soient diffus ou clairs, provoquent des pertes de volume importantes, réduisant les performances du réseau, autrement dit le rendement du réseau augmentant les coûts de production et compromettant la qualité des services fournis aux utilisateurs. De plus, ils peuvent créer par la pénétration des agents pathogènes des maladies hydriques agissantes sur la santé publique et altérer l'intégrité structurelle des conduites. Traditionnellement, divulguée en fonction des méthodes audio, des tests visuels ou des campagnes de mesure ad hoc. Cependant, ces techniques sont souvent coûteuses, lentes et ne conviennent pas aux réseaux compliqués ou enterrés.

L'introduction de nouvelles technologies et de systèmes numériques aux responsables des réseaux a ouvert de nouvelles vues sur la surveillance continue, l'analyse en temps réel et la détection intelligente des anomalies. C'est dans ce contexte que cette œuvre est proposée. L'objectif de cette thèse est de développer un système intelligent et automatique pour détecter les fuites d'eau, basé sur une architecture matérielle et logiciels créatifs. Pour ce faire, nous avons choisi d'utiliser un, slave pour les systèmes embarqués, une carte Raspberry Pi 5 un ordinateur puissant se basant sur un processeur ARM coretex-A76 (Quad-core) de fréquence 2.4GHz MHz, compact et économique lié à un PC Dell hôte ou master de processeurs Intel® core™ i5-6300u [CPU@2.4GHz-2.5GHz](#) . La carte Raspberry Pi 5 est liée à un convertisseur analogique numérique ADS1115. Les transmetteurs de pression sont placés à des points préalablement connus sur le réseau de distribution d'eau prototype réaliser au niveau de notre laboratoire. Le calcul d'origine de notre approche réside dans la combinaison de ces composants électroniques avec des

algorithmes avancés basés sur le traitement du signal et l'intelligence artificielle. En analysant les variantes de pression et en identifiant les signatures typiques des fuites, nous pouvant détecter une fuite autrement dit une anomalie sur le réseau dès qu'elle surgit. Notre système vise à fournir un avertissement rapide, fiable et local. Cette solution est également basée sur les plates-formes logicielles de langage Python, gratuites ainsi que l'intégration de la base de données PostgreSQL pour stocker et exploiter les mesures. Le mémoire est structuré en trois chapitres principaux. Le premier chapitre, est dédié à une étude théorique du réseau d'eau et du mécanisme de fuite. Le deuxième chapitre présente les outils matériels et logiciels nécessaires à la construction du système. Enfin, le dernier chapitre présente le travail pratique et les résultats qui ont été obtenues. Des tests vont être effectués pour la confirmation du bon fonctionnement du système proposé. Ce dernier va se faire via une plate-forme de test pour simuler les conditions de fonctionnement réelles. En bref, ce projet fait entièrement partie des défis contemporains liés à la gestion durable des ressources en eau. Il vise à prouver la faisabilité d'une solution technologique intégrée, bon marché et développée, au service de la communauté, des opérateurs du réseau et de la zone territoriale pour préserver les ressources d'hydriques.

CHAPITRE I
DETECTION DE FUITE DE
L'EAU

INTRODUCTION

L'eau potable constitue une ressource précieuse, limitée et parfois rare. Elle représente l'un des éléments fondamentaux pour l'industrie ainsi que pour l'ensemble des formes de vie. Au cours des deux dernières décennies, la demande en eau potable a dépassé l'offre dans de nombreuses régions du globe. Selon des études internationales, entre 20 % et 50 % de l'eau produite est perdue en raison de fuites. Ces pertes engendrent d'importantes conséquences économiques et provoquent diverses formes de pollution de l'eau. De ce fait, les gestionnaires des réseaux d'approvisionnement en eau sont en quête permanente de systèmes de détection de fuites efficaces, économiques et non invasifs.

Dans l'ensemble des disciplines scientifiques, l'avancée des connaissances repose sur la combinaison d'approches théoriques ou de modélisation avec des approches observationnelles de l'objet d'étude. Dans ce contexte, il est essentiel de s'assurer que les observations réalisées sont bien en lien avec l'objet de la recherche. Plus largement, toute situation d'observation soulève la problématique de l'extraction de l'information d'intérêt, c'est-à-dire de l'information pertinente pour un modèle ou une application déterminée.

Dans la majorité des cas, les données expérimentales sont suffisamment simples pour permettre à l'observateur d'en extraire directement l'information utile. Toutefois, l'interprétation des données issues d'un phénomène nécessite souvent le recours à des outils d'analyse adaptés. Ces dernières années, la détection des fuites d'eau s'est imposée comme un enjeu majeur dans le domaine du traitement du signal. La capacité à détecter rapidement les fuites dans les canalisations est aujourd'hui un critère essentiel pour l'évaluation des performances des systèmes d'approvisionnement en eau. Actuellement, une grande variété de dispositifs et de technologies sont déployés pour répondre à cette problématique.

Actuellement, cette eau doit pouvoir boire, boire et répondre à certaines normes de qualité. Il doit également être fourni en quantité suffisante pour répondre aux besoins de l'emplacement avec une pression minimale.

Le réseau de l'A.E. P constitue un ensemble d'ouvrages (installations) et d'appareillages à mettre en place pour traiter et transporter l'eau destinée à couvrir ces besoins, depuis la ressource en eau jusqu'aux abonnés.

Le système AEP comporte différents composants, comprenant les constructions et les installations dédiées au captage, au traitement, au transport, au stockage ainsi qu'à la distribution de l'eau potable aux différents consommateurs.

I.1 Présentation générale d'un système d'alimentation en eau potable

Un système d'alimentation en eau potable (AEP) est constitué d'un ensemble d'infrastructures et d'installations nécessaires pour répondre à l'ensemble des besoins en eau potable d'une zone urbaine et industrielle. Le système d'AEP comprend différents composants, notamment les constructions et installations dédiées au captage (1,3), au traitement (5), au transport (2, 6, 8), au stockage (7), ainsi qu'à la distribution de l'eau

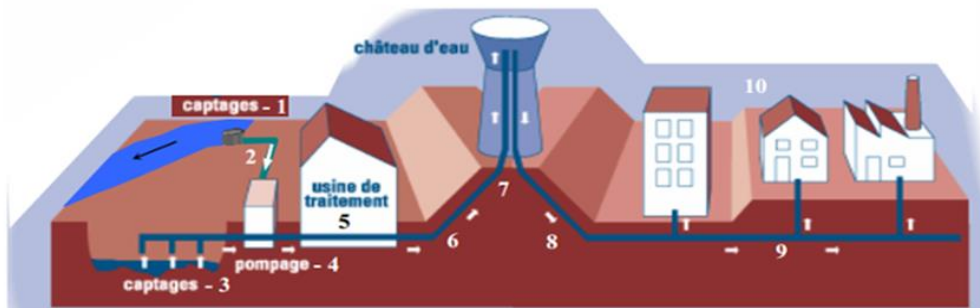


Figure I.1. Schéma général d'alimentation en eau potable

potable (9) auprès des différents consommateurs (10), comme illustré dans la Figure (I.1).

I.1.1 Captage d'eau

L'eau destinée à être traitée puis distribuée dans les réseaux publics peut être prélevée soit par le captage de sources, soit par des puits ou des forages dans de vastes nappes d'eau souterraine (3), soit par une prise d'eau dans les rivières (1), dans des retenues ou

dans des lacs (eaux superficielles). Lorsque la source d'eau est une rivière, l'installation de la prise d'eau ne peut se faire qu'après avoir recueilli un maximum d'informations sur les régimes d'écoulement et les débits, y compris les débits de crue et les débits d'étiage.

Une prise d'eau de surface, illustrée à la Figure (I.2), est une structure conçue pour capter l'eau naturelle (appelée eau brute) d'un lac ou d'une rivière à l'aide d'un dispositif de captage (pompe) immergé dans le milieu. Elle doit être implantée à l'endroit où la qualité de l'eau brute est le meilleur possible.

La prise d'eau peut être réalisée:

- a - Soit au fond du lit, comme indiqué à la Figure (I.2)(a)
- b - Soit sur la berge, à une profondeur appropriée, comme montré à la Figure (I.2)(b).

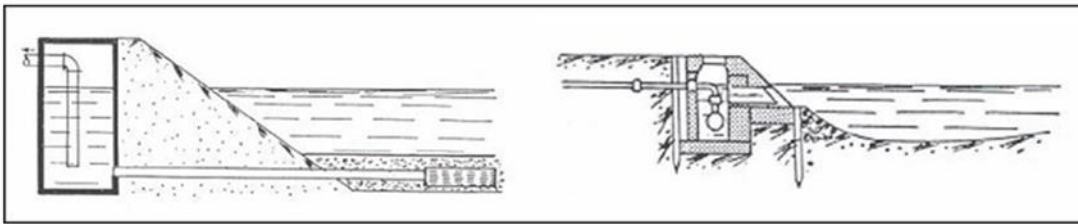


Figure I.2. Prises d'eau

(a) Dans le fond du lit, (b) Sur la berge

Les débits des cours d'eau permettent d'évaluer si la quantité d'eau disponible est suffisante et de calculer le volume du bassin éventuel de régularisation nécessaire, sur la base des études hydrologiques.

Une bonne connaissance des caractéristiques physico-chimiques et bactériologiques des eaux brutes au cours des différentes périodes de l'année permet ensuite de définir les traitements à prévoir au niveau de la station de purification. Il est également essentiel de connaître les niveaux d'eau correspondant aux différents débits d'un cours d'eau, afin de déterminer le niveau optimal pour l'installation de la prise d'eau.

En l'absence d'eau de surface en quantité suffisante et de qualité acceptable, il convient alors de se tourner vers l'utilisation des eaux souterraines, comme illustré à la Figure

(I.3).

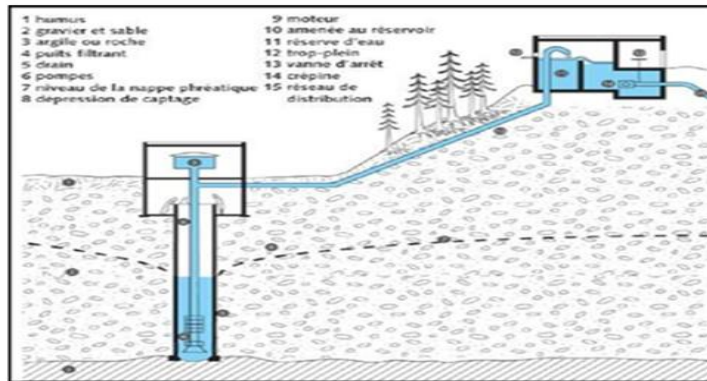


Figure I.3. Captage des eaux souterraines

Ces eaux sont captées soit :

- ✓ À leurs sources ;
- ✓ Au cœur même de la nappe ;
- ✓ Dans le gisement pour les eaux circulant en terrains fissurés. Parfois, on sera amené, à capter les eaux circulant à grande profondeur. Les procédés de captage varient selon la configuration du site.

I.1.2 Installations de pompage

L'emplacement de l'usine élévatrice dépend du type de prélèvement :

I.1.2.1 Prélèvement d'une source

Lorsque le point de prélèvement d'eau est situé à proximité du réservoir, la station de pompage est implantée près du point d'eau. En revanche, si le point de prélèvement est éloigné du réservoir, une étude spécifique doit être réalisée, en tenant compte de la topographie des lieux.

I.1.2.2 Prélèvement d'un puits

Dans le cas d'un puits unique, la station de pompage (ou usine élévatrice) est construite directement au-dessus de l'ouvrage.

I.1.2.3 Prélèvement d'eau de surface

Dans ce cas, l'usine élévatoire fait partie intégrante des installations générales de prélèvement et de traitement.

I.1.3 Conduites d'adduction d'eau

En fonction de la localisation de la source d'eau, on distingue deux types

D'adduction :

a - Adduction gravitaire

Dans une adduction gravitaire, le point de captage se trouve à une altitude supérieure à celle du réservoir de desserte de l'agglomération.

b - Adduction par refoulement

Dans une adduction par refoulement, le point de captage est situé à un niveau inférieur à celui du réservoir d'accumulation. L'eau captée est alors remontée à l'aide d'une station de pompage via la conduite de refoulement. [1]

I.2 Réseau de distribution

Le réseau de distribution d'eau de boisson se compose de nombreux tuyaux interconnectés qui fonctionnent sous pression pour assurer la fourniture de villes des réservoirs. De plus, il existe des accessoires de réseau qui permettent une exploitation efficace et une maintenance appropriée de l'ensemble. Parmi ces équipements, on peut citer les vannes de sectionnement, les vannes de réduction de pression, les poteaux d'incendie, les compteurs, les ventouses, etc.

Sur le plan physique, un réseau de distribution d'eau potable se caractérise principalement par la mesure, en tout point, de deux paramètres essentiels:

- La vitesse
- La pression.

Ces paramètres dépendent des conditions de mise en charge du réseau, de son profil altimétrique ainsi que de la demande issue des consommations aux différents points de

livraison. En conséquence, les canalisations doivent être dimensionnées avec un diamètre suffisant afin d'assurer un débit maximal tout en maintenant une pression au sol compatible avec la hauteur des immeubles.

Structure d'un réseau d'AEP

Un réseau représente de manière schématique les différents nœuds d'un système et leurs liaisons physiques, telles que les conduites, les pompes et les vannes. La disposition des nœuds et des conduites dépend de plusieurs facteurs, notamment la localisation des abonnés, la présence de routes, d'obstacles naturels ou d'autres réseaux .

Le réseau de desserte regroupe l'ensemble des équipements – canalisations et ouvrages annexes – qui assurent, de manière gravitaire ou sous pression, l'acheminement de l'eau potable depuis les unités de potabilisation jusqu'aux points de raccordement des branchements des abonnés ou des appareils publics (tels que les bornes d'incendie, d'arrosage ou de nettoyage), ainsi qu'aux points de livraison d'eau en gros. Il est constitué de réservoirs, d'équipements hydrauliques, de conduites de transfert et de conduites de distribution, mais il n'inclut pas les branchements [2].

Nœud : point d'interconnexion de plusieurs conduites (comme le nœud 1, par exemple)

- **Tronçon** : portion de conduite située entre deux nœuds successifs (entre les nœuds 1 et 2, par exemple).
- **Conduite maîtresse ou principale** : c'est canalisation assurant la jonction entre l'alimentation réservoir et le premier branchement de conduites secondaires.

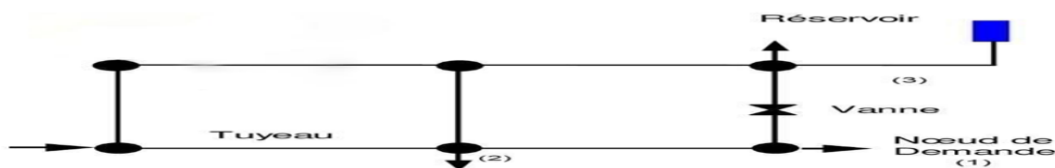


Figure I.4. Composants Physiques d'un Système de Distribution d'Eau.

I.2.1 Classification du réseau d'AEP

Le réseau de distribution représente un circuit hydraulique entier qui peut transporter l'eau potable d'un réservoir à un abonné. Il existe quatre principaux types de réseaux de distribution :

- Le réseau ramifié
- Le réseau maillé
- Le réseau étagé

✚ Réseau ramifié

Ce type de réseau, caractérisé par une structure en forme d'arborescence, est fréquemment utilisé dans les petites agglomérations rurales. Dans un réseau ramifié, les conduites ne disposent d'aucune alimentation en retour. Ce système présente l'avantage d'être économique, mais il présente également des limites en matière de sécurité et de flexibilité : en cas de rupture sur la conduite principale, tous les abonnés situés en aval sont privés d'eau.

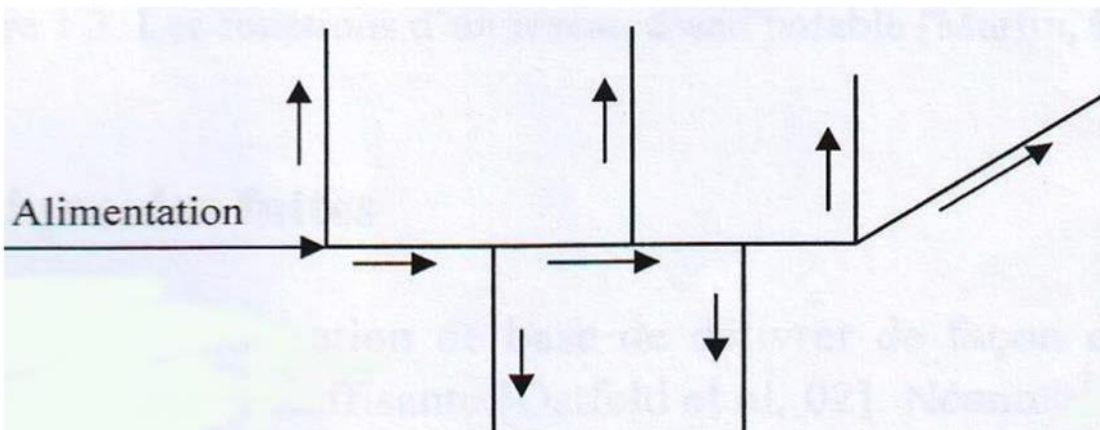


Figure. I.5. Réseau ramifié.

✚ Réseaux maillés

Pour la distribution d'eau dans les agglomérations de taille moyenne ou grande, les réseaux maillés représentent une solution plus adaptée en raison de leur sécurité et de leur souplesse d'exploitation. Ils sont généralement utilisés dans les zones urbaines et tendent à se développer progressivement dans les agglomérations rurales, sous une forme hybride

associée aux réseaux ramifiés (en limitant le nombre de mailles tout en conservant certaines ramifications)

Les réseaux maillés sont principalement constitués d'un ensemble de canalisations (Figure 1.6) disposées de manière à former des boucles fermées, appelées maille

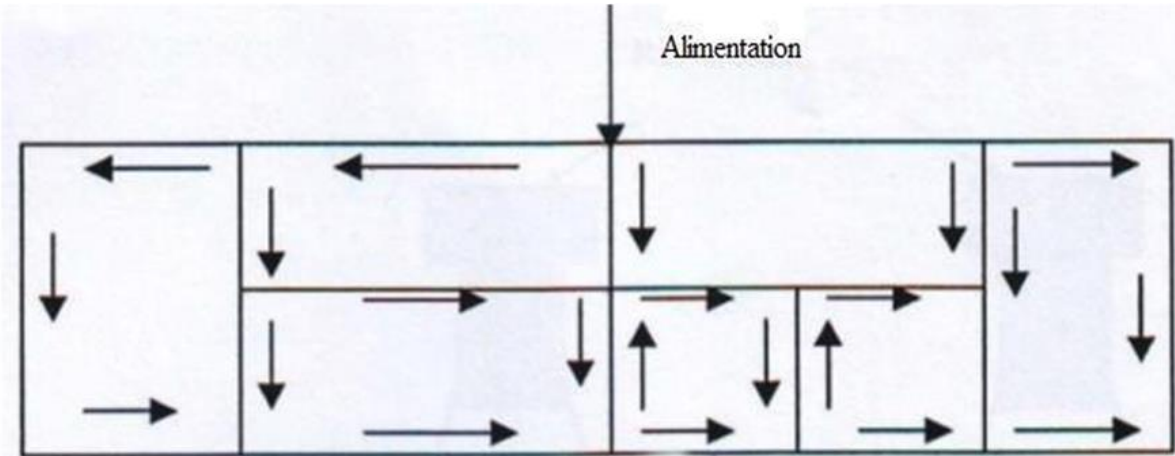


Figure I.6. Réseau maille

Tableau 1.1 : Avantages et inconvénients des réseaux

	Réseau ramifié	Réseaux maillés
Avantages	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Plus simple ➤ Plus économique 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Il y a plusieurs trajets Possibles entre le réservoir Et le point d'alimentation. ➤ La sécurité d'approvisionnement est beaucoup plus grande Puisque les consommateurs Aval peuvent être alimentés.

Inconvénients	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Il y a un seul trajet Possible entre le réservoir Et le point d'alimentation. ➤ Privation d'eau de tous les consommateurs en cas d'incident. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Plus couteux et plus complexe
----------------------	---	---

Les réseaux étagés

Tableau 1.2 : qualités et faiblesses des réseaux maillés et ramifiés

Aspect	Réseau Ramifié	Réseaux maillés
Perte de charge	Élevées	Faibles
Écoulement	Risque des zones mortes Aux extrémités	Satisfaisant
Réparations	Risque de mise hors service d'une zone Importantes suivant le point d'intervention	Risque plus faible de mis Hors service d'une zone Importante suivant le point d'intervention
Frais de pompages	Élevées	Faibles
Frais de mise en place	Faibles	Élevées

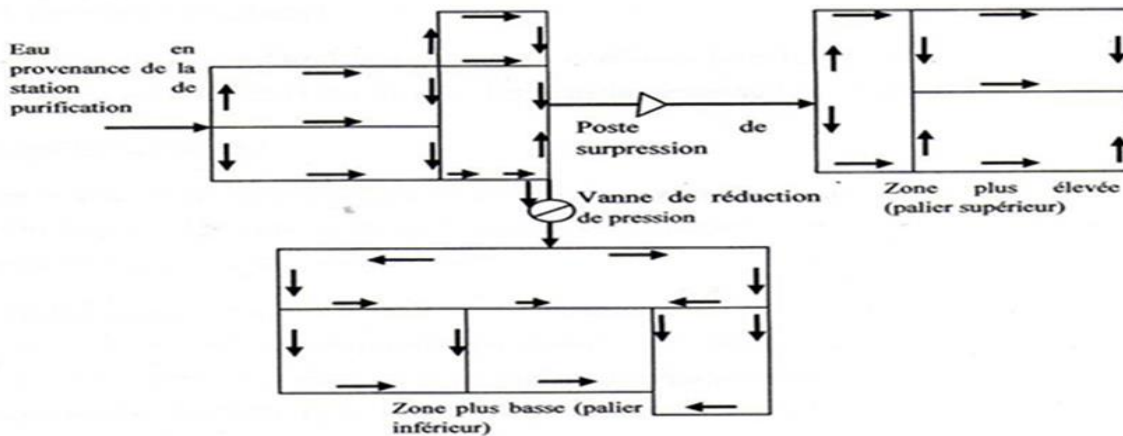


Figure I.7. Réseau Étagés

Avec le réseau étagé il est possible de constituer des réseaux indépendants avec une pression limitée aux environs de 40 mètres d'eau [2].

I.3. Problématique des fuites

Les fuites dans les réseaux d'eau potable entraînent des pertes qui peuvent être classées en deux catégories:

Les pertes au niveau de l'adduction, qui surviennent lors des transferts d'eau entre la production et la distribution. En l'absence de dispositifs de comptage en amont et en aval, il est difficile d'en évaluer précisément l'ampleur.

Les pertes en distribution, correspondant à la différence entre le volume d'eau distribué et le volume effectivement consommé. Ces pertes peuvent être dues à:

- Des fuites au niveau des joints,
- Des fuites sur les prises de branchement,
- Des fuites sur les branchements eux-mêmes,
- Des cassures de conduites,
- Des erreurs de comptage,
- Des branchements illicites (vols d'eau)

I.3.1 Types de fuites

L'Environmental Protection Agency (EPA) a collecté et utilisé des données relatives aux fuites ou ruptures dans plusieurs services américains. Ces données ne reposent pas toujours sur les mêmes définitions, mais on distingue généralement:

Les fuites (leak repair) : Ce sont les événements qui nécessitent une réparation sur les conduites, les hydrants ou les branchements. Elles incluent:

- Les fuites sur les tuyaux (main leak)
- Les fuites sur les joints (joint leak)

Les ruptures sur conduites (main break) : Elles correspondent à des défaillances structurelles des conduites ou des emboîtements, causées par une surcharge, une détérioration du lit de pose, un contact avec d'autres infrastructures, la corrosion, ou une combinaison de ces facteurs. Les définitions précédentes distinguent donc les fuites sur les conduites de celles sur les équipements du réseau (vannes, pompes, etc.). On distingue également les fuites des ruptures.

-La défaillance

Une défaillance est une fuite ou une rupture apparente nécessitant une intervention. Elle peut se produire sur un tuyau ou un joint, mais exclut les fuites sur les branchements et sur les organes du réseau tels que les pompes, vannes ou hydrants. La distinction entre rupture et fuite n'est pas toujours nette : toute rupture est une fuite, mais toute fuite n'est pas nécessairement une rupture. Les fuites peuvent être visibles ou non, et sont classées en deux types:

- Les fuites diffuses,
- Les ruptures (ou fuites apparentes)

I.3.1.2 Les fuites diffuses

Les fuites diffuses sont détectées lors de mesures spécifiques ou lors de l'ouverture d'une tranchée. Elles ne nécessitent généralement pas de réparations immédiates mais affectent significativement le rendement du réseau, le maintenant souvent en dessous de 90 à 95 %.

Elles traduisent une fragilisation du tuyau (petites fissures) ou une détérioration des joints devenus poreux.

Ces fuites peuvent être détectées par:

Une baisse notable du rendement du réseau, Une augmentation inhabituelle de la consommation nocturne, Des campagnes de mesures sur le terrain, notamment par des techniques de corrélation acoustique permettant d'identifier précisément les sections les plus dégradées. L'état des conduites est alors évalué en fonction du nombre et de la taille des fuites détectées. [3]

I.3.1.3 Les ruptures (défaillances) ou fuites apparentes

Les ruptures sont également appelées défauts, qui sont des fuites importantes qui nécessitent une intervention immédiate dans le réseau. Ils se manifestent généralement dans des inondations visibles dans les rues ou par une augmentation soudaine et inhabituelle de la consommation nocturne. Dans ces situations, il est souvent possible d'utiliser soigneusement le système de soupape pour trouver une rupture.

Ces ruptures traduisent un état de dégradation avancé de la conduite, révélant une fragilisation structurelle. Elles peuvent survenir à la suite d'un phénomène de corrosion progressive, de mouvements de sol ou d'une élévation excessive de la pression interne. Elles sont causées soit par un amincissement de la paroi de la conduite, soit par la formation de perforations (1) Le type de rupture varie selon le diamètre de la conduite:

- Pour les petits diamètres, les ruptures sont le plus souvent transversales (2)
- Pour les grands diamètres, on observe plutôt des ruptures longitudinales ou des piquages (3)
- Par ailleurs, les fuites au niveau des joints peuvent également devenir apparentes, notamment sur les conduites de plus grand diamètre (4), selon leur importance et leur visibilité [4].



Figure I.8. Conduite ayant subi une rupture en Acier

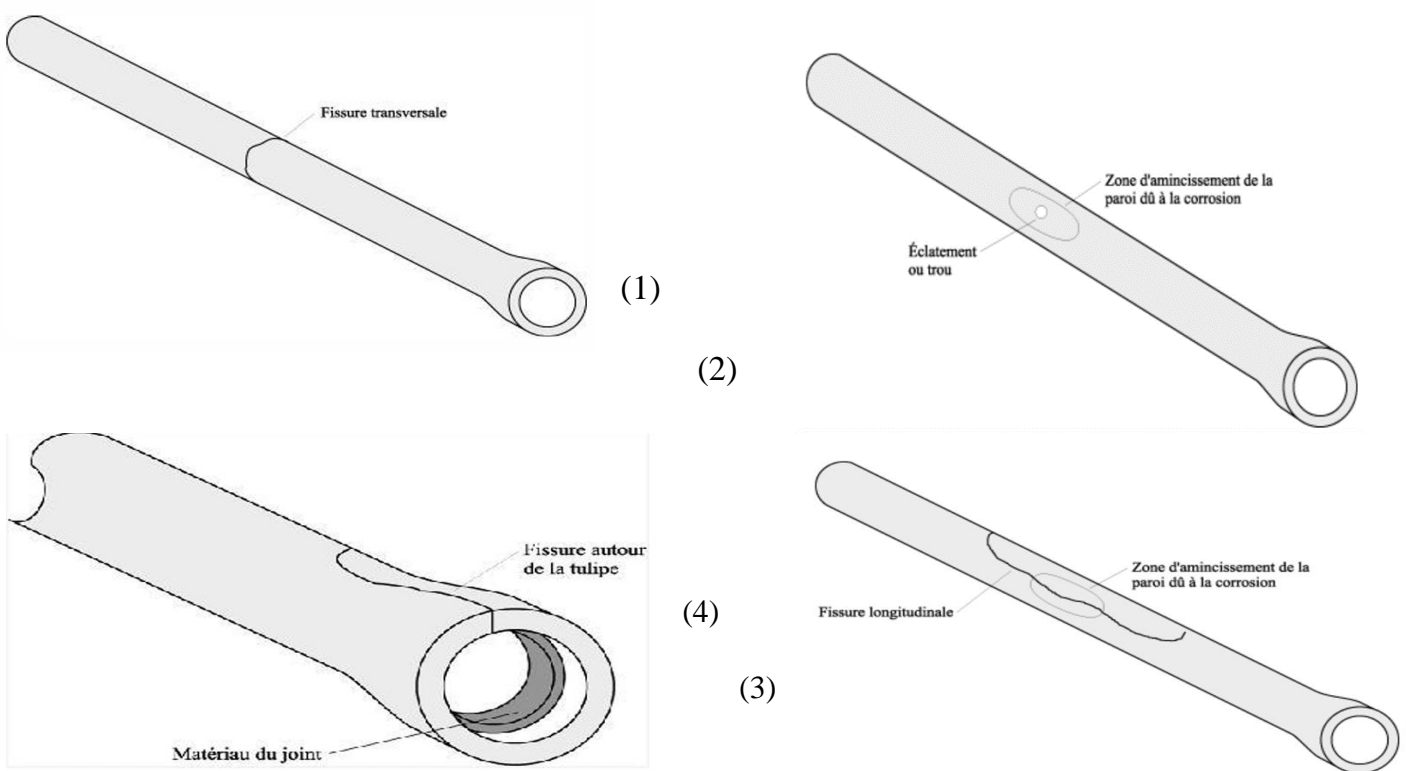


Figure I.9. Différents types de ruptures des conduites d'eau potable

Une rupture ou les fuites apparentes correspondent à un affaiblissement de la conduite, c'est-à-dire une diminution de la paroi, en un endroit précis (piquage) ou non (fissure) combinée à une augmentation de contraintes sur la canalisation, soit à une non-étanchéité du joint. Comme on a cité auparavant ; les ruptures transversales ont lieu surtout sur les petits diamètres alors que les gros diamètres subissent des ruptures longitudinales ou des piquages.

I.3.1.4 Causes des fuites

Les fuites peuvent résulter de divers facteurs, que l'on peut regrouper en plusieurs catégories:

- **Les facteurs liés au type de canalisation:** ces éléments concernent les caractéristiques intrinsèques des matériaux utilisés, leur vieillissement, leur résistance mécanique, ainsi que les défauts de fabrication ou de pose.
- **Les facteurs liés à l'exploitation du réseau:** cela inclut les variations de pression, les manœuvres d'exploitation inappropriées, l'absence d'entretien préventif, ou encore le mauvais dimensionnement des équipements.
- **Les facteurs extérieurs au réseau :** ils englobent les agressions extérieures telles que les mouvements de sol, les travaux à proximité, les surcharges ou vibrations, ainsi que les phénomènes de corrosion liés à l'environnement.

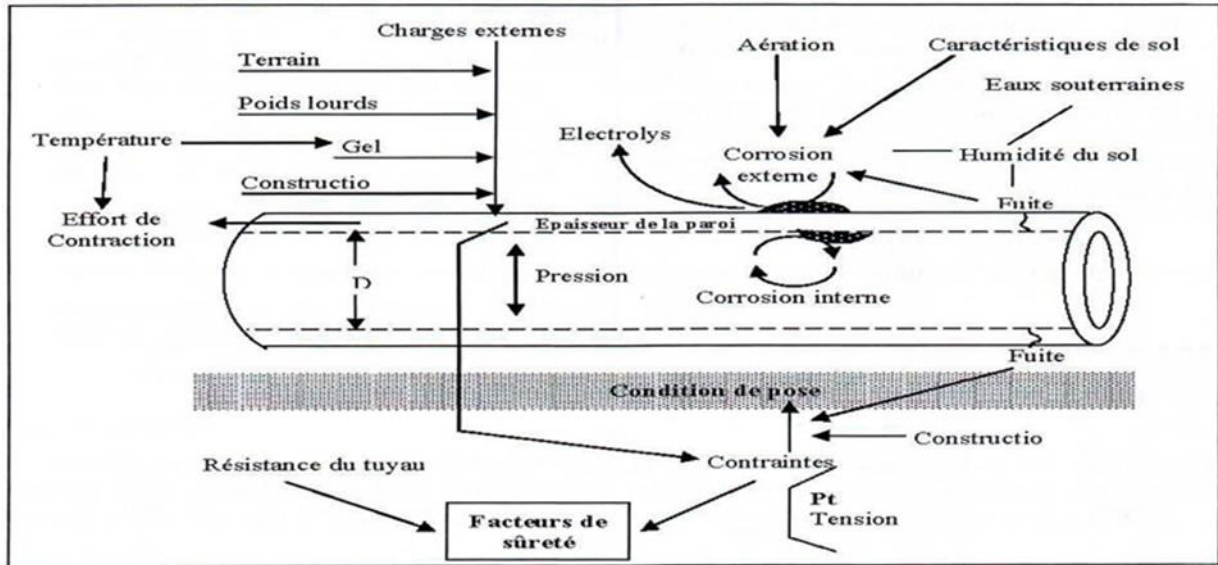


Figure I.10. Causes de l'affaiblissement d'une conduite d'eau potable.

I.3.1.5 Les éléments influençant l'apparition des fuites

La durabilité d'une conduite dépend de plusieurs facteurs liés à sa conception et à son matériau. Parmi ces éléments, on peut citer : le diamètre, le matériau utilisé, le type de joint employé, ainsi que la corrosion interne :

- **Le diamètre**

Le diamètre du tube joue un rôle important dans le développement des erreurs. Les tuyaux à petits diamètres, moins de 100 mm en particulier, sont susceptibles des efforts de remorquage et sont souvent affectés par les ruptures croisées.

- **Le matériau**

La sélection des matériaux est importante pour assurer la durabilité des tubes et maintenir la qualité de l'eau transportée. Des critères spécifiques doivent être remplis pour limiter le vieillissement prématuré du réseau et assurer une bonne résistance mécanique et chimique.

▪ **Le type de joint**

Les joints garantissent les connexions entre les sections de tuyau. Leur conception et leur qualité affectent directement l'apparence de la fuite. Ils doivent être correctement orientés pour éviter le déni pouvant provoquer une dégradation prématurée. Il existe trois principaux types de connexions:

- Les joints en plomb, rigides, transmettent les contraintes mécaniques d'un tuyau à l'autre, ce qui peut provoquer des dommages structurels.
- Les joints en caoutchouc, de nature élastique, offrent une meilleure souplesse mais leur longévité reste encore sujette à études.
- Les joints en plastique, tels que les élastomères ou joints collés, bien qu'étant souples, sont souvent associés à des fuites diffuses. Plusieurs retours d'expérience ont signalé une baisse de rendement des réseaux équipés de ce type de joints. [4]

✓ **La corrosion interne :**

La corrosion interne se produit lorsqu'il y a deux éléments en même temps.

Dans ce cas, le métal formant le tuyau et l'environnement corrosif. Ce phénomène est influencé par plusieurs facteurs.

- **Vitesse de l'eau :**

Sur la zone de dépôt interne peuvent être modifiées pour favoriser l'apparition de points de corrosion .

- **Valeur du pH de l'eau :**

Si l'eau n'est pas en équilibre, elle devient agressive, en particulier avec les tuyaux en acier pour souligner la corrosion .

- **CALCO -Carbonic Equilibrium:**

Son absence peut provoquer deux types d'effets.

- Une diminution de l'épaisseur de la paroi (eau agressive)
- Une réduction de la section de passage dans la canalisation par accumulation de dépôts (eau incrustante)

Ainsi, le respect des conditions physico-chimiques de l'eau est essentiel pour préserver l'intégrité des canalisations sur le long terme.

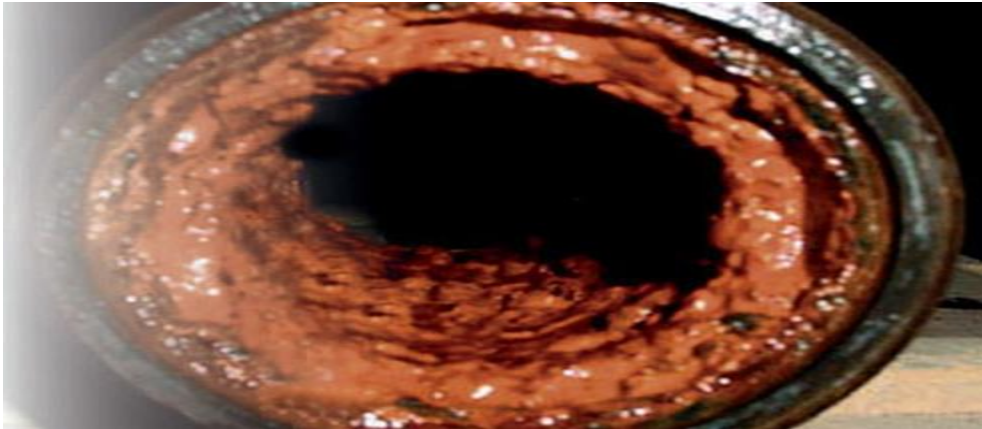


Figure I.11. Conduite subi une corrosion (fonte).

I. 3.2. Composants externes des réseaux

Certains facteurs influençant l'apparition des fuites sont directement liés à l'environnement extérieur aux conduits. Ces composants comprennent, entre autres :

A. La corrosion externe :

Elle résulte d'un échange d'ions entre le sol et la paroi de la canalisation, pouvant être provoquée par plusieurs phénomènes :

- **Les courants vagabonds**

Générés par des installations électriques alimentées en courant continu, ces courants peuvent emprunter les canalisations comme voie de retour. Cela entraîne une corrosion localisée au niveau des points de sortie du courant.

- **L'hétérogénéité par contact**

Elle se manifeste lors du raccordement de canalisations fabriquées avec des matériaux différents. Cette disparité crée une différence de potentiel susceptible d'induire une pile galvanique, à l'origine de la corrosion. Pour éviter ce phénomène, il est nécessaire d'isoler les canalisations au niveau des jonctions.

- **L'hétérogénéité de surface**

Elle survient lorsque les conditions de pose ne sont pas rigoureusement respectées. Un choc ou une altération de surface peut entraîner une discontinuité locale qui favorise la formation d'une pile électrique et donc la corrosion.

L'hétérogénéité du sol

Lorsque la canalisation traverse différents types de sols, une pile géologique peut se former. Dans ce cas, la partie de la conduite située dans le sol le moins aéré devient anodique et se corrode, phénomène connu sous le nom de pile d'aération différentielle ^[5].

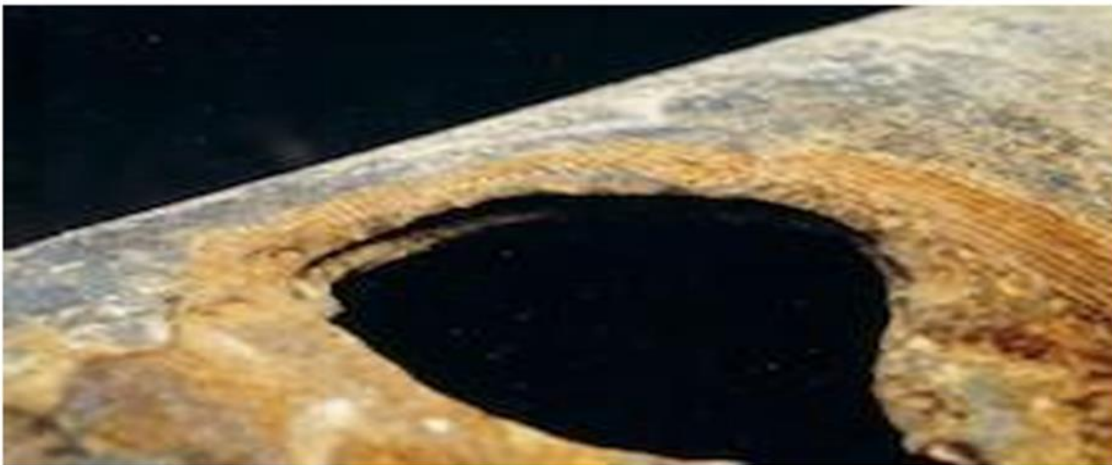


Figure I.12. Conduite subi une corrosion externe par courant vagab

B. Les mouvements de sol et le trafic

Il est essentiel de prendre en compte le poids et la fréquence de passage des véhicules (voitures, camions), lesquels peuvent, en fonction de l'épaisseur et de la nature du sol recouvrant la conduite, ainsi que du type de chaussée (rigide ou souple), provoquer des phénomènes de fatigue mécanique et de surcharge sur les canalisations.

C. Charges terrestres

Les charges effectuées par le site correspondent au poids de la couche de sol au-dessus du tuyau. Par conséquent, la signification de la profondeur de l'installation. Ce poids variera en fonction des caractéristiques de la région, en particulier le type de matériau qui représente le sol.

I.3.2.2 Les éléments liés à l'exploitation des réseaux

Plusieurs paramètres relatifs à l'exploitation des réseaux influencent l'apparition de fuites

- **La vitesse de l'écoulement :**

Une augmentation de la demande en eau provoque une élévation de la vitesse d'écoulement, ce qui peut induire une corrosion accélérée et des contraintes mécaniques importantes. À l'inverse, une baisse de la vitesse accroît le temps de séjour de l'eau, favorisant la sédimentation et le développement de la corrosion. Une vitesse optimale est généralement de l'ordre de 3 m/s.

- **La pression**

Pour prévenir les troubles, la pression de l'utilisateur ne doit pas dépasser 4 bars. Elle ne doit pas être inférieure à 1 bar à l'entrée, même si cela implique de compromettre la qualité du service.

- **La température de l'eau :**

Les variations de température sont particulièrement problématiques dans les sections des réseaux à faible renouvellement (branches mortes) où l'eau peut

stagner. La chute de température rapide entraîne un rétrécissement du tuyau, ce qui augmente la ligne longitudinale et affaiblit le matériau.

- **Conditions d'exploitation :**

Des modifications du régime hydraulique, telles que l'ajout d'un écoulement gravitaire à un système sous pression ou la réduction de section lors de travaux de réhabilitation, peuvent entraîner une surcharge hydraulique. Le risque d'explosion ou de rupture augmente, notamment dans les semaines suivant la modification.

- **Manœuvres de réseau :** Le phénomène de coup de bélier, provoqué par une fermeture ou une ouverture brutale d'une vanne, ou par une coupure électrique brutale entraînant l'arrêt des pompes, provoque une pression ou une dépression violente dans les canalisations. L'intégrité des canalisations peut être gravement compromise par ce phénomène

I.3.2.3 Les manifestations des fuites

Les fuites peuvent se manifester sous diverses formes:

- Incohérences entre les volumes mesurés par les compteurs.
- Distribution anormale ou anomalie du bruit dans le réseau.
- Affaissement de terrain.
- Croissance végétale excessive et localisée.
- Sols humides en période sèche.
- Présence d'eau claire dans les égouts.
- Baisse anormale du niveau d'eau dans les réservoirs.
- Humidité persistante sur la chaussée.

Conclusion

Le réseau d'eau potable assure l'approvisionnement en eau du réservoir jusqu'à l'utilisateur. Sa conception varie selon les besoins (ramification, maillage, combinaison, stockage). L'un des principaux défis reste la gestion des fuites, qui peuvent être généralisées ou apparentes, et entraîner des pertes importantes.

Ces fuites sont causées par divers facteurs :

- Notamment les défauts des canalisations (diamètre, matériau, corrosion interne)
- Les éléments externes (corrosion externe, mouvements du sol, circulation)
- Les conditions d'exploitation (pression, vitesse de l'eau, manipulations difficiles).

Le deuxième chapitre est dédié à une description et une présentation de la carte RASPBERRY Pi 5R va être présentée.

CHAPITRE II
Description Préparation de la carte
RASPBERRY Pi 5

Introduction

La numérisation est on perpétuelle évolution. La génération de Raspberry Pi ainsi développée est maintenant en fonctionnalité. Ce chapitre est dédié à la présentation de la carte et sa fonctionnalité. Pour la première fois, le circuit complet de l'ordinateur-26 R PI tire.^[6]

Le Raspberry Pi est un phénomène qui est devenu un phénomène mondial. Les gens découvrent des opportunités d'ouvrir des communautés qui peuvent être utilisées comme un audit unique, soit en tant qu'équipement de travail, soit comme unité de contrôle pour les joueurs multimédias, les concentrateurs et les systèmes de domotique.^[9]

II.1. Présentation du Raspberry Pi

Le Raspberry Pi est une mini carte mère d'ordinateur connectée à divers appareils (souris, clavier, écran, etc.). Il a été développé pour l'enseignement et l'apprentissage dans des langues telles que Python et Scratch. Le Raspberry Pi peut également lire des vidéos haute résolution, prendre en charge les jeux vidéo et interagir avec le monde extérieur via GPIO. Il peut exécuter plusieurs systèmes d'exploitation gratuits tels que GNU / Linux et Raspbian Debian. Le Raspberry Pi 5 représente un développement important dans ce domaine. Équipé d'un processeur Cortex-A76 à ARM quadricarre avec 2, GHz, il est 2-3 fois plus rapide que les modèles précédents et plus rapide que la mémoire SDRAM de Go ou 8 Go chronométrée à 267 MHz. Le Raspberry PI 5 propose de nouvelles fonctionnalités, y compris un commutateur réseau, une horloge en temps réel, des connexions PCIe pour les appareils à grande vitesse, deux connexions DSI / CSI pour les caméras ou les écrans et deux ports HDMI pour deux écrans K de 60 images.



Figure II.1 – Raspberry pi 5

II.2. Matériel nécessaire

- Un Raspberry Pi (disponible à la bibliothèque)
- Une carte micro SD d'au moins 8Gb (fournie avec le Raspberry Pi)
- Un écran ou une télévision compatible HDMI (ou DVI-D avec un câble adaptateur HDMI) et Son câble
- Un clavier
- Une souris (pour l'interface graphique)
- Un câble Ethernet (pour l'accès à Internet). ^[6]

II.3. Caractéristiques techniques du Raspberry Pi 5

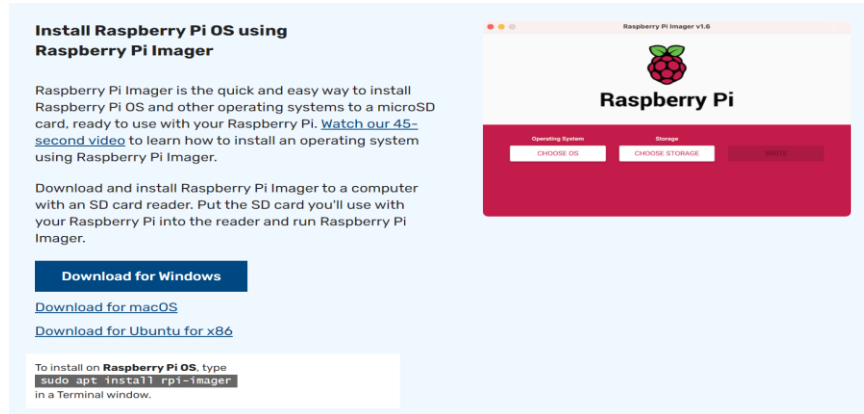
Caractéristique	Valeur
Processeur	Broadcom BCM2712, Quad-Core Cortex-A76 à 2.4GHz
Mémoire RAM	4GB ou 8GB LPDDR4X
Stockage	Carte micro SD, support de l'extension PCIe
Vidéo	Deux ports micro-HDMI jusqu'à 4K
Réseau	Wi-Fi 802.11ac, Bluetooth 5.0, Ethernet 1Gbps
Ports USB	2× USB 3.0 et 2× USB 2.0
Alimentation	USB-C 5V/5A
Broches GPIO	40 broches multifonctionnelles
OS supportés	Raspberry Pi OS, Ubuntu, autres distributions Linux

II.4. Pourquoi le Raspberry Pi 5

Cette carte a été choisie dans le cadre de ce projet pour plusieurs raisons : puissance de traitement élevée, compatibilité avec de nombreux capteurs. Le Raspberry Pi 5 offre de meilleures performances, tout en consommant moins d'énergie, mais à un coût légèrement supérieur. Cela devrait notamment intéresser les utilisateurs privés. ^[7]

II.5. Installation et démarrage du système

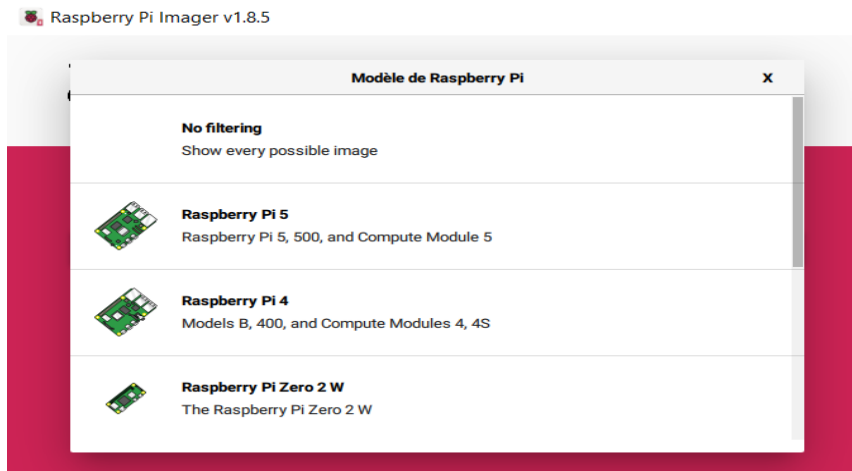
- Télécharger et installer le Raspberry pi Imager [[]



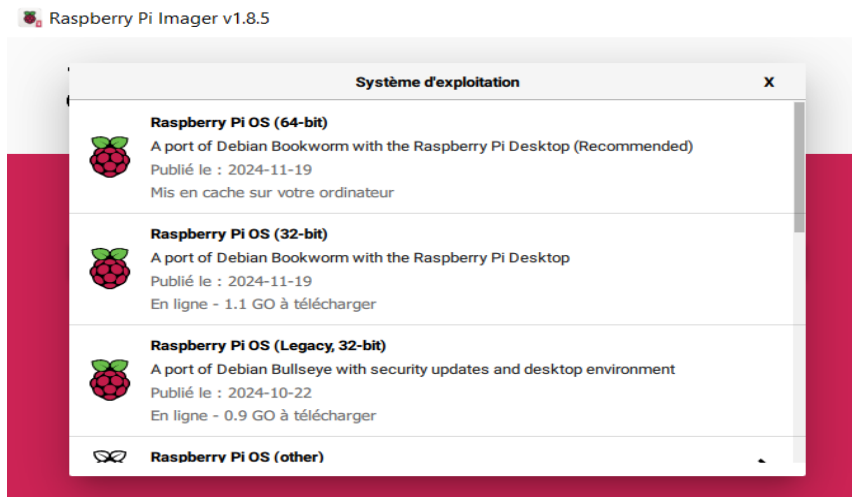
- Ouvrir l'application Imager



- Choisir Le Modèle qui vous convient : Raspberry Pi 5

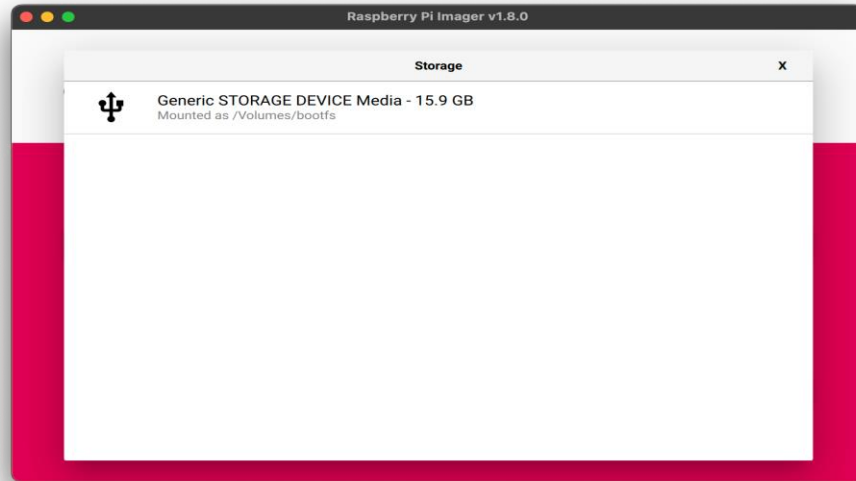


- Choisir le système qui vous convient : Raspberry Pi OS (64- bit) (Recommandé) ou un choix parmi la liste des systèmes supportés.^[8]

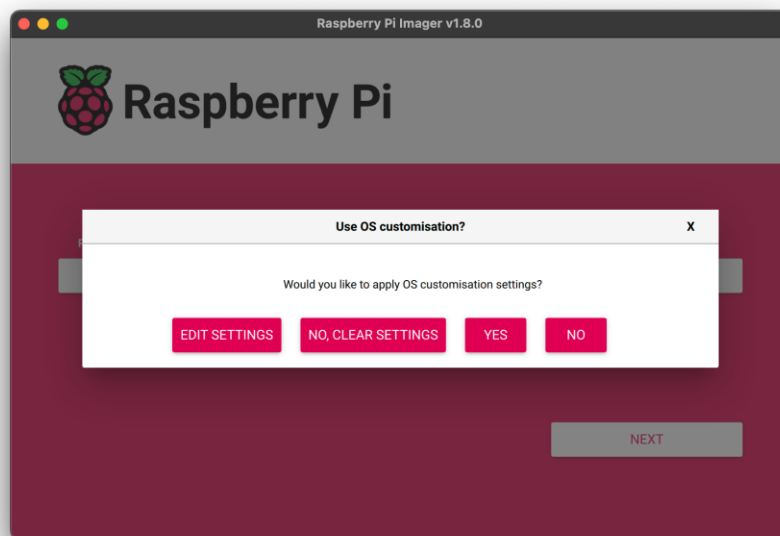


- Connectez votre appareil de mémoire préféré à votre ordinateur. Par exemple, ajoutez une carte micro SD avec un lecteur de carte SD externe ou intégré. Ensuite, cliquez sur Sélectionner le périphérique de stockage et sélectionnez le périphérique

de stockage.^[8]



➤ Ensuite, cliquez sur Suivant



➤ Dans la fenêtre de contexte, demandez d'appliquer la personnalisation du système d'exploitation de l'imageur. Pour les ajustements du système d'exploitation, il est

fortement recommandé de configurer le Raspberry Pi via des paramètres. Cliquez sur le bouton Modifier pour ouvrir les ajustements du système d'exploitation.

Si vous ne configurez pas le Raspberry Pi via les paramètres de personnalisation du système d'exploitation, vous serez invité aux mêmes informations pendant le début initial pendant l'assistant de configuration. Vous pouvez cliquer sur le bouton No pour ignorer l'adaptation du système d'exploitation.

Personnaliser

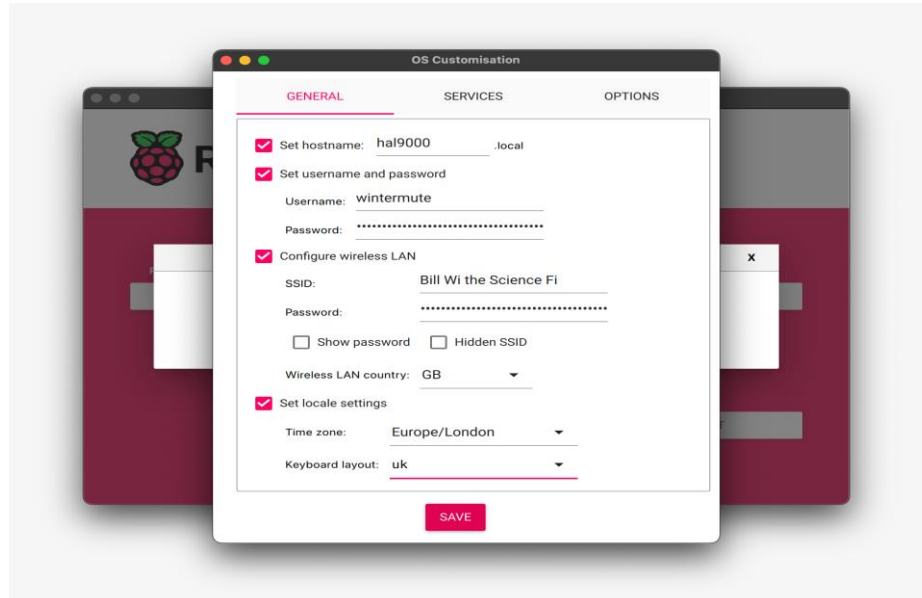
➤ Vous pouvez utiliser le menu "Turn Operation System" pour configurer votre Raspberry Pi avant votre premier départ. Préconfiguré :

- ✓ Nom d'utilisateur et mot de passe.
- ✓ Identifiant Wi-Fi.
- ✓ Le nom d'hôte de l'appareil.
- ✓ Fuseau horaire.
- ✓ Disposition du clavier.
- ✓ Connexions distantes.

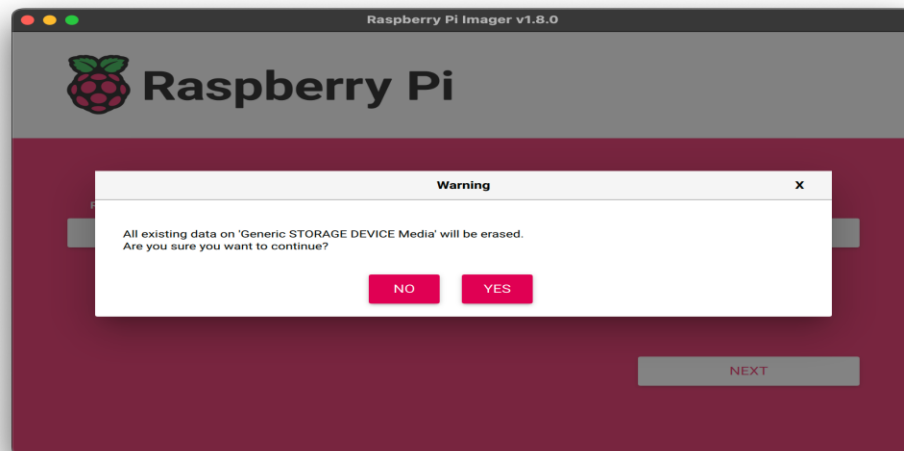
Lorsque vous ouvrez le menu de personnalisation de votre système d'exploitation, vous pouvez recevoir une demande d'entrée que vous demandez à l'enthousiasme Wi-Fi sur votre ordinateur hôte. Si vous répondez "Oui", votre imagination présentera l'identifiant Wi-Fi pour le réseau actuellement enregistré. Si vous répondez "non", vous pouvez saisir manuellement l'identifiant Wi-Fi.

L'option de nom d'hôte définit le nom d'hôte que le Raspberry Pi répartit dans le MDN dans votre réseau. Lorsque vous connectez votre Raspberry Pi à un réseau, d'autres appareils connectés peuvent contacter votre ordinateur. L'option de nom d'utilisateur et de mot de passe définit le nom d'utilisateur et le mot de passe du compte administrateur Raspberry Pi. Vous pouvez saisir votre mot de passe SSID (nom) et votre réseau sans fil à l'aide de l'option "Network sans fil". Si le réseau SSID n'est pas accessible au public, activez le paramètre SSID "masqué". Par défaut, l'imageur utilise un pays où vous êtes des « pays locaux sans fil ». Ce paramètre contrôle la fréquence de diffusion Wi-Fi utilisée par le Raspberry Pi. Si vous utilisez un Raspberry Pi sans tête, entrez l'identifiant

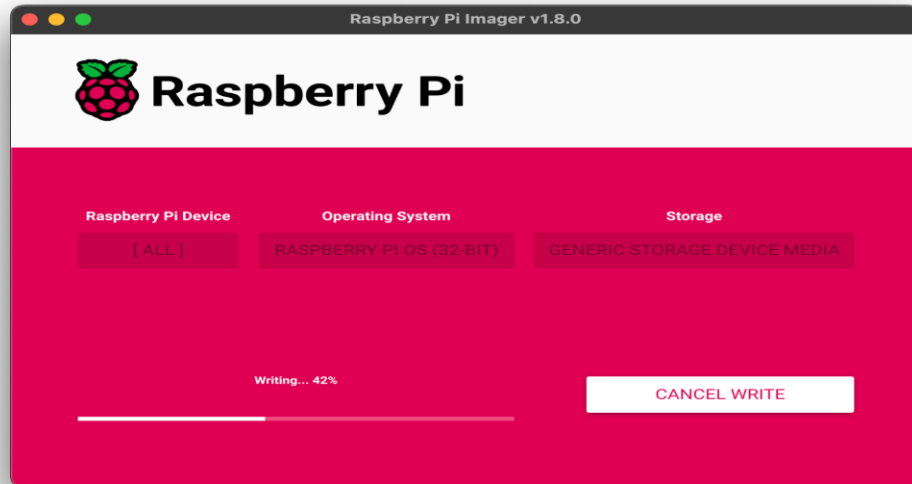
d'option de réseau local sans fil. Les paramètres régionaux vous permettent de définir le fuseau horaire et le clavier standard pour votre PI.^[8]



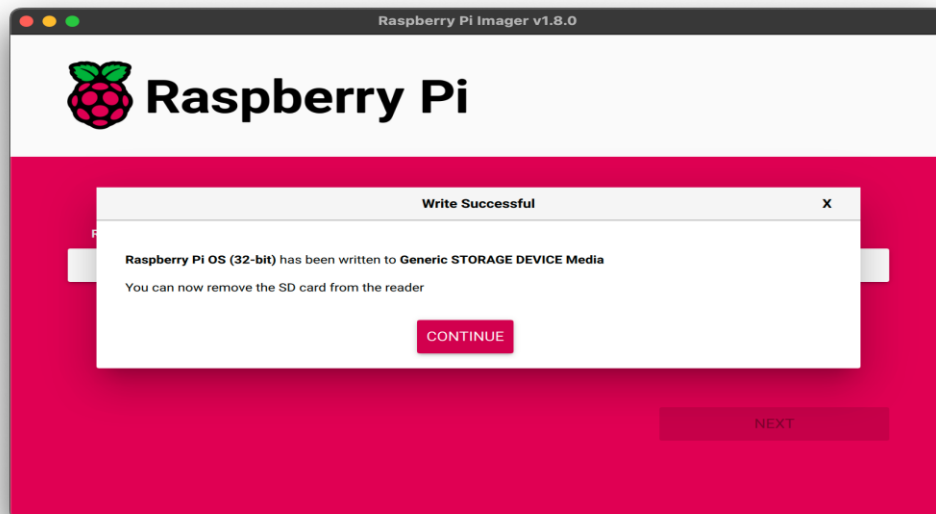
- Une fois les paramètres de personnalisation du système d'exploitation saisis, cliquez sur Enregistrer pour les enregistrer. Cliquez ensuite sur Oui pour appliquer les paramètres de personnalisation du système d'exploitation lors de l'écriture de l'image sur le périphérique de stockage. Enfin, répondez Oui à la fenêtre contextuelle « Êtes-vous sûr de vouloir continuer ? » pour commencer l'écriture des données sur le périphérique de stockage.^[8]



- Si vous voyez une invite d'administrateur demandant des autorisations de lecture et d'écriture sur votre support de stockage, accordez à Imager les autorisations nécessaires pour continuer.



- Lorsque la fenêtre contextuelle « Écriture réussie » s'affiche, votre image est entièrement écrite et vérifiée. Vous êtes maintenant prêt à démarrer un Raspberry Pi depuis le périphérique de stockage !



- Après avoir installé l'image du système d'exploitation, connectez votre périphérique de stockage à votre Raspberry Pi. Débranchez d'abord l'alimentation de votre Raspberry Pi pour vous assurer qu'elle est éteinte lorsque vous connectez des périphériques. Si vous avez installé le système d'exploitation sur une carte micro SD, vous pouvez maintenant la connecter à l'emplacement prévu à cet effet.^[8]



Figure II.2 – Insérer carte micro SD

II.6. Contrôle Du Raspberry Pi A Distance

II.6.1. Contrôle de la ligne de commande à distance à l'aide de SSH

SSH est une abréviation pour Secure Shell, un service qui vous permet de contrôler les appareils connectés à un réseau.

Il est utilisé pour envoyer des fichiers, sécuriser et chiffrer les connexions entre les appareils.

- Activer SSH sur Raspberry Pi Cela se fait de la manière suivante :
Ouvrir un Terminal Et écris la commande `sudo raspi-config`.
- Sélectionnez (Advanced Options) parmi les options qui s'affichent dans le menu Paramètres du Raspberry Pi.

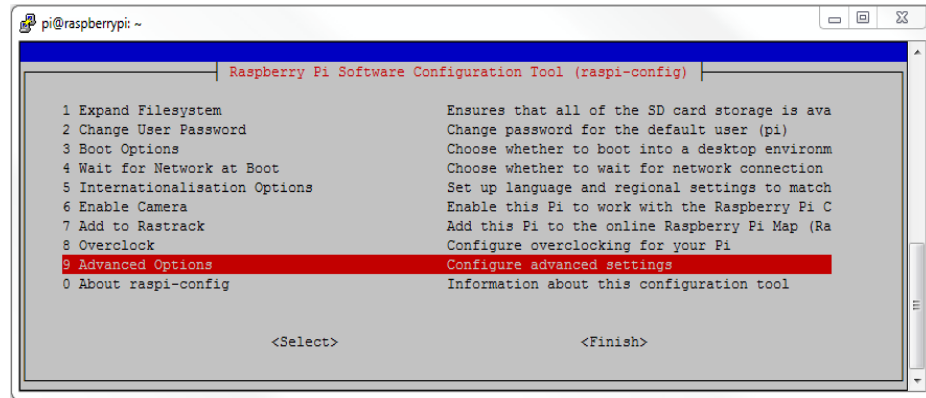


Figure II.3 – Interface Configuration

- Entrez sur (SSH), sélectionnez activer (Enable), cliquez sur le mot (Finish), alors choisissez (OK).

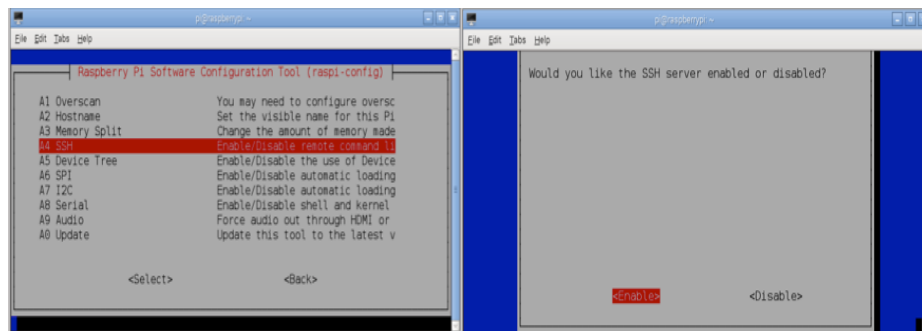


Figure II.4 – Active SSH

II.6.2. Contrôle de la ligne de commande depuis l'ordinateur

Vous avez besoin d'un programme client sous Windows et nous utiliserons PuTTY. Ouvrez le programme, plusieurs cases apparaissent qui distinguent les autres cases. Modifiez les paramètres comme indiqué sur l'image. Sélectionnez SSH parmi les options.

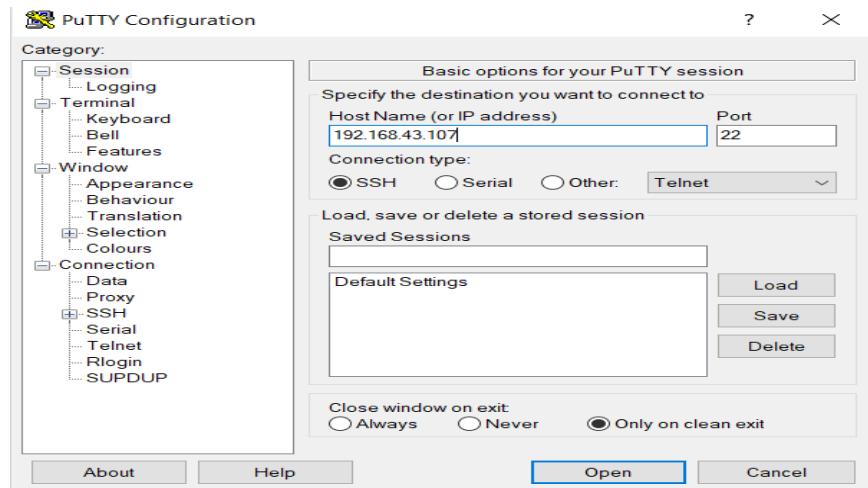


Figure II.5 – Interface PuTTY

Lorsque vous appuyez sur le bouton de connexion pour démarrer la connexion, une fenêtre apparaîtra pour saisir le nom d'utilisateur et le mot de passe de votre Raspberry Pi.^[10]



Figure II.6 – IP Login

II.6.3. Contrôle via VNC

VNC ou (Virtual Network Computing) est un système qui vous permet de contrôler un ordinateur séparément et à distance. Deux logiciels différents sont utilisés lors de l'utilisation de VNC. La première partie est le serveur VNC. Cela s'applique à l'appareil que vous contrôlez (ici, le Raspberry Pi) et permet la communication et le contrôle des pièces du client. La deuxième partie est les clients de VNC. Ce logiciel est installé sur

l'ordinateur qui contrôle le serveur, ce qui lui permet d'être converti en processus qui peuvent comprendre les actions via le serveur, vous permettant de contrôler l'ordinateur distant à partir de l'ordinateur. Un avantage majeur de VNC est qu'il vous permet de contrôler les machines distantes et de visualiser votre bureau en même temps. De cette façon, vous pouvez voir ce qui se passe en temps réel avec votre Raspberry Pi sans avoir à se connecter à l'écran.^[10]

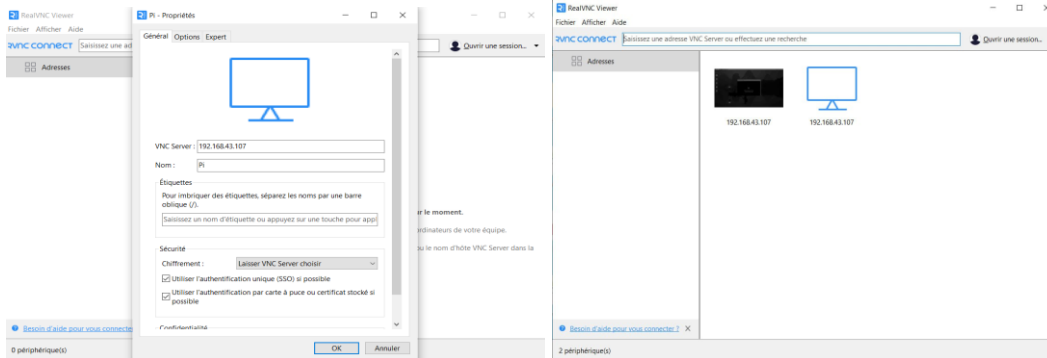


Figure II.7– Interface VNC

II.7. Langages de programmation

Les langages de programmation pris en charge par Raspberry Pi incluent : Python, Pascal, Java et bien d'autres. Le langage que nous utilisons est Python. Cela est dû aux avantages que cette langue possède par rapport aux autres langues.^[10]

II.7.1. Python

Python est un langage de programmation avancé de haut niveau. Ce langage se caractérise par sa simplicité en termes d'écriture et de lecture, sa facilité d'apprentissage et son caractère open source, ce qui le rend évolutif.^[10]

II.7.2. Caractéristiques

- ✓ Open source : vous pouvez lire et modifier librement le code source.
- ✓ Facilité d'apprentissage : Cela est dû à la simplicité d'écriture et de lecture de cette langue.

- ✓ Activité : Fonctionne sur tous les systèmes d'exploitation et leurs différentes versions.
- ✓ Bibliothèque de logiciels : Elle contient un grand nombre de bibliothèques de logiciels qui prennent en charge ce langage.
- ✓ Support : Il bénéficie d'un grand soutien de la part de la communauté mondiale de programmation.
- ✓ GPIO : prend en charge la programmation des ports de contrôle Raspberry Pi.^[10]

Raspberry Pi GPIO Header					
Pin#	NAME		NAME	Pin#	
01	3.3v DC Power		DC Power 5v	02	
03	GPIO02 (SDA1 , PC)		DC Power 5v	04	
05	GPIO03 (SCL1 , PC)		Ground	06	
07	GPIO04 (GPIO_GCLK)		(TXD0) GPIO14	08	
09	Ground		(RXD0) GPIO15	10	
11	GPIO17 (GPIO_GEN0)		(GPIO_GEN1) GPIO18	12	
13	GPIO27 (GPIO_GEN2)		Ground	14	
15	GPIO22 (GPIO_GEN3)		(GPIO_GEN4) GPIO23	16	
17	3.3v DC Power		(GPIO_GEN5) GPIO24	18	
19	GPIO10 (SPI_MOSI)		Ground	20	
21	GPIO09 (SPI_MISO)		(GPIO_GEN6) GPIO25	22	
23	GPIO11 (SPI_CLK)		(SPI_CE0_N) GPIO08	24	
25	Ground		(SPI_CE1_N) GPIO07	26	
27	ID_SD (PC ID EEPROM)		(PC ID EEPROM) ID_SC	28	
29	GPIO05		Ground	30	
31	GPIO06		GPIO12	32	
33	GPIO13		Ground	34	
35	GPIO19		GPIO16	36	
37	GPIO26		GPIO20	38	
39	Ground		GPIO21	40	




Figure II.8 – Ports GPIO

II.7.3. Installation de Python

Installation de Python avec les commandes : `sudo apt install python3 python3-pip`, ainsi que les bibliothèques nécessaires.

Conclusion

En conclusion, Raspberry Pi est une technologie puissante et flexible qui permet aux apprenants et aux développeurs de mettre en œuvre une variété de projets peu coûteux et faciles à utiliser. Avec ses capacités avancées et sa capacité à se connecter à une gamme d'appareils et d'accessoires, Raspberry Pi est devenu un choix idéal pour l'innovation dans divers domaines tels que l'automatisation, l'Internet des objets et les applications éducatives. Dans ce chapitre, nous avons abordé les spécifications techniques les plus importantes de l'appareil, les étapes de configuration de base et comment le connecter à un écran pour garantir son fonctionnement parfait. Nous avons ensuite vu comment utiliser les broches GPIO pour contrôler les composants électroniques à l'aide du langage de programmation Python. Dans le chapitre suivant, nous expliquerons la partie pratique.

CHAPITRE III

Réalisation Pratique du Système de Détection de Fuite d'Eau

Introduction

Ce chapitre est consacré à la partie pratique du projet. Ce livre détaille la mise en œuvre d'un système de détection de fuite d'eau basé sur le Raspberry Pi, un convertisseur analogique-numérique ADS1115 et un capteur de pression. L'objectif est de démontrer la faisabilité de la solution en conditions réelles et d'évaluer ses performances. Nous détaillons la mise en œuvre d'un système de détection de fuites basé sur la surveillance de la pression dans les réseaux de distribution. Nous présentons une méthodologie pour l'installation de capteurs, la collecte et le traitement des données de pression et l'interprétation des résultats pour la détection des fuites. Des capteurs de pression sont installés à différents points stratégiques du réseau de distribution. Ces capteurs mesurent les différences de pression dues aux changements de débit ou aux ruptures de canalisations. Grâce au système de collecte et de traitement des données, il est devenu possible d'analyser ces différences pour détecter rapidement l'émergence d'anomalies et ainsi intervenir plus efficacement.

III.1. Détection de fuite via un signal de pression

Dans un réseau d'eau, une variation soudaine du débit, comme la fermeture brutale d'une vanne, provoque une variation de pression dans les canalisations. Ce phénomène, appelé pression transitoire, génère un point anormal du réseau. Si ce point rencontre un élément anormal, comme une rupture ou une fuite, la pression enregistrée en certains points est partiellement modifiée. Une fuite est un défaut physique localisé qui influence le comportement de l'eau et peut être détecté par l'observation de ces perturbations.

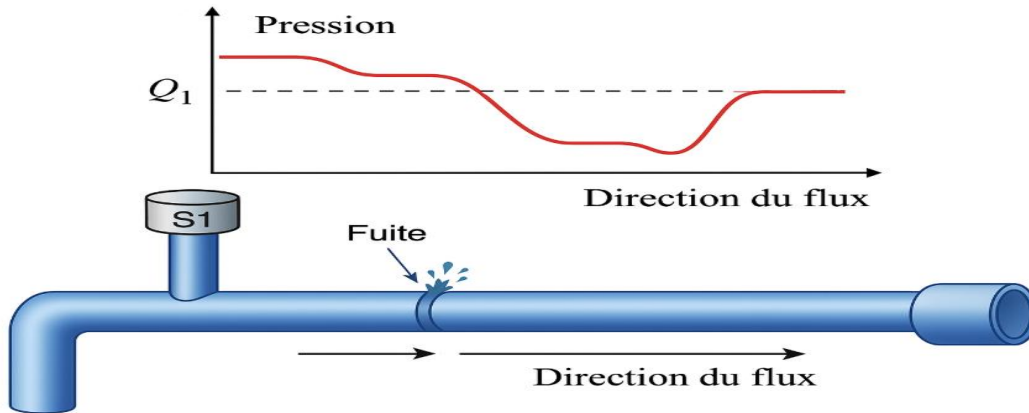


Figure III.1– Signaux réfléchis par une fuite

Afin de suivre l'évolution du signal de pression et d'identifier les fuites potentielles, notre expérience a analysé trois scénarios. Le premier scénario permettait une variation globale sans référence en impliquant un seul capteur de pression. Afin de vérifier la stabilité et la cohérence, le deuxième scénario utilisait deux capteurs placés stratégiquement dans le conduit. Une dissymétrie dans les signaux collectés a été révélée par le troisième scénario, impliquant deux capteurs en configuration inversée.

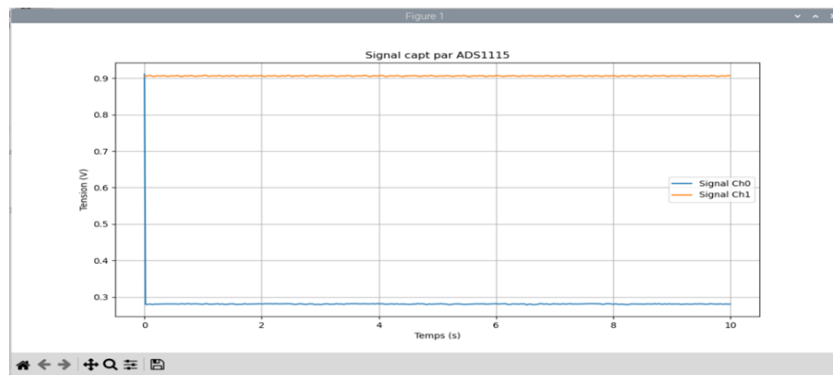
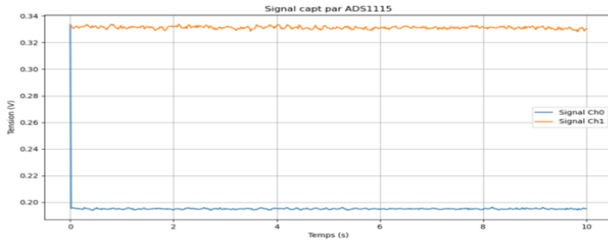
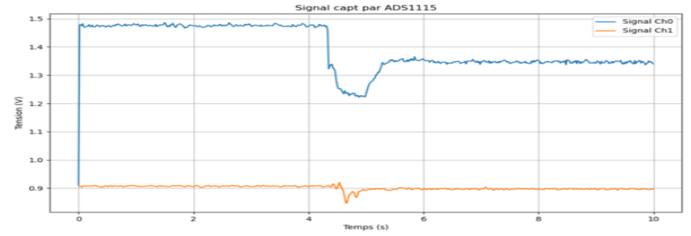


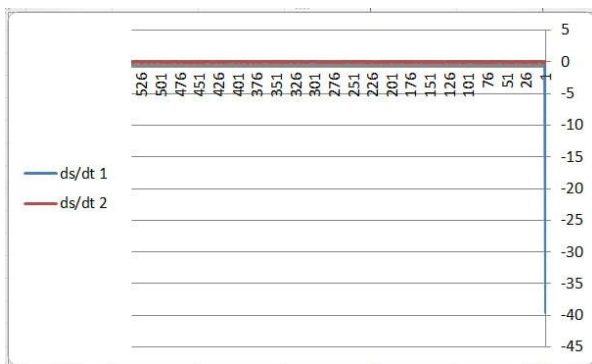
Figure III.2– Signal provenant d'un seul capteur de pression



(a)



(b)



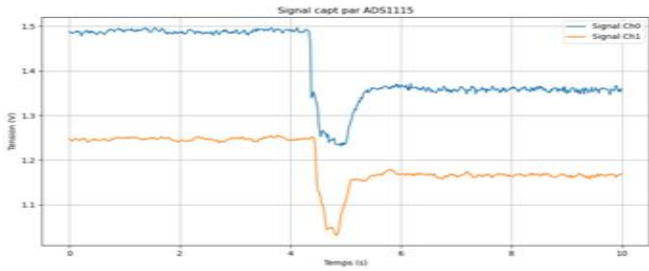
(c)



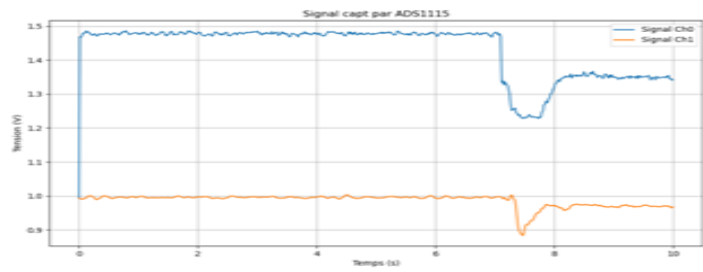
(d)

Figure III.3-Signal transitoire typique, (a) Aucune fuite, (b) Avec fuite, (c) dérivée du signal a, (d) dérivée du signal b

Afin d'évaluer l'effet d'une fuite sur le comportement du réseau sous pression, plusieurs signaux ont été enregistrés à l'aide de deux capteurs de pression placés à des emplacements fixes et séparés par une distance connue le long de la conduite. Les mesures ont été effectuées dans deux situations distinctes : avec et sans fuite. Sans fuite, les deux signaux reçus sont similaires, avec une variation constante de pression en fonction du temps, ce qui équivaut à une propagation d'onde de pression normale. Avec, on observe, en revanche, l'introduction d'une fuite dans le circuit, un contraste très net entre les deux signaux, notamment un fléchissement ou une dérive localisée de la pression entre les capteurs. Ces variations temporelles du signal de pression permettent de confirmer la présence d'une fuite dans le réseau hydraulique



5s



7s

Figure III.4– Les signaux avec la fuite sont à la même distance (le premier capteur est à 14,5 m de la pompe et le second à 44 m) avec le changement de temps

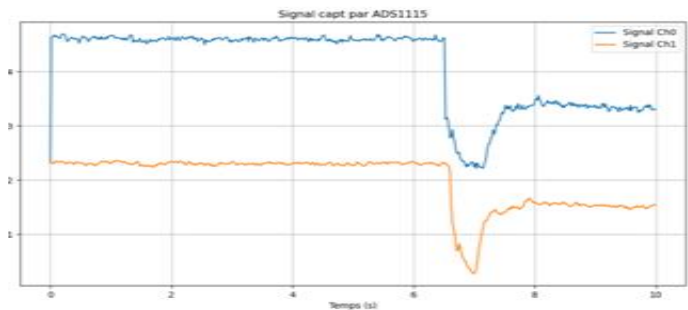
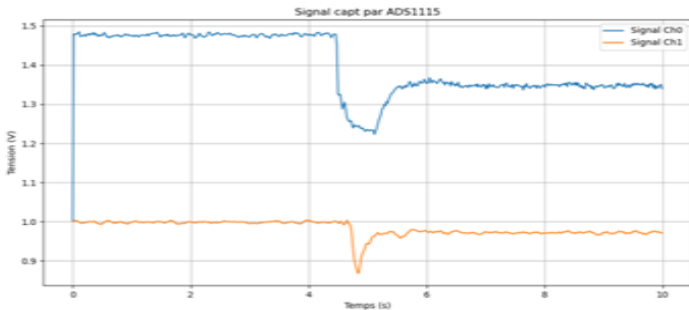


Figure III.5– Les signaux avec la fuite sont à la même distance (le premier capteur est à 14,5 m de la pompe et le second à 90,5 m) avec le changement de temps.

III.2. Mise en place d'une plateforme d'essai et techniques d'acquisition de signaux de pression

Notre première contribution a été de créer un assemblage nous permettant de simuler un réseau de distribution. Le travail est réalisé en temps réel, avec deux capteurs de pression. Afin d'incarner le système de détection de fuite idéal, nous avons accompli avec succès l'implantation d'un montage expérimental intégral. Cette entreprise se développe en deux dimensions principales : une composante hydraulique, où était abordée la modélisation physique du réseau de distribution d'eau avec la mise en place de fuites simulées ; et une composante électrique, qui réunit l'intégralité des composants électroniques engagés pour la prise en charge, le traitement et l'analyse des signaux de pression.

1 Partie hydraulique

La partie hydraulique est composée des éléments suivants

a) Réservoir

Réservoir en plastique de 100 litres, jouant le rôle de la bêche à eau pour alimenter le canal prototype



Figure III.6– réservoir d'eau

b) Pompes à eau

Pour valider la méthode de détection proposée, nous avons utilisé une pompe à eau.



Figure III.7– Pompes à eau

c) Conduite d'eau

Une Conduite d'eau en plastique de 101 mètres de long est installé aux extrémités de la pompe.



Figure III.8– Conduite d'eau

d) Supports

Supports en acier, permettant la fixation de la conduite



Figure III.9– Supports

e) Fuite

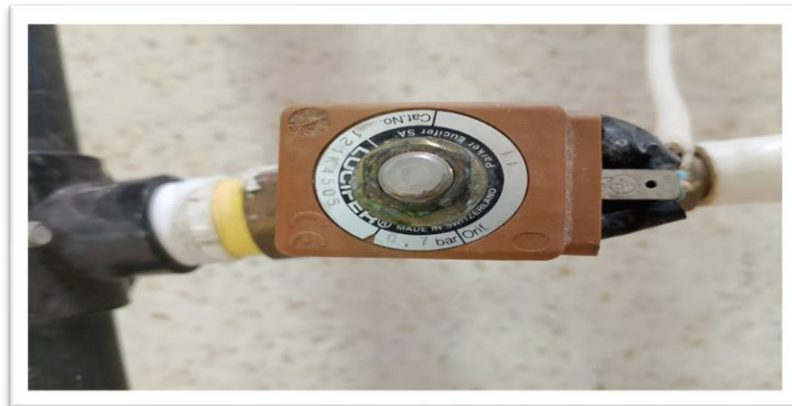
Afin de simuler une fuite un orifice de 3 mm est percé sur la conduite



Figure III.10-Perforation de la conduite, afin de stimuler une fuite

f) électrovanne

Une électrovanne pour commander la génération de la fuite par un bouton poussoir.



FigureIII.11- électrovanne

2 Partie électrique

La partie électrique se compose principalement de deux structures : la structure matérielle, qui comprend le Raspberry Pi 5 et l'ADS 1115, et la structure logicielle, qui comprend le logiciel de gestion des données.

a) Capteur

C'est l'élément clé de toute chaîne de mesure. Il permet sous l'effet du mesurande d'en délivrer une image exploitable (signal électrique par exemple)

On parle aussi de transducteur, la grandeur physique d'entrée (le mesurande) étant



transformée en une autre grandeur physique de sortie de telle sorte qu'on obtient un signal électrique. Nous avons utilisé un capteur de pression montré sur la figure

Figure III.12– capteur de pression

b) Carte Raspberry Pi 5

Dans le projet de détection de fuite d'eau. Le Raspberry Pi agit comme un ordinateur central chargé de collecter, de traiter et d'analyser les données des capteurs de pression installés sur le réseau hydraulique. Grâce à sa capacité à traiter des algorithmes en temps réel et à sa facilité de connexion aux composants électroniques

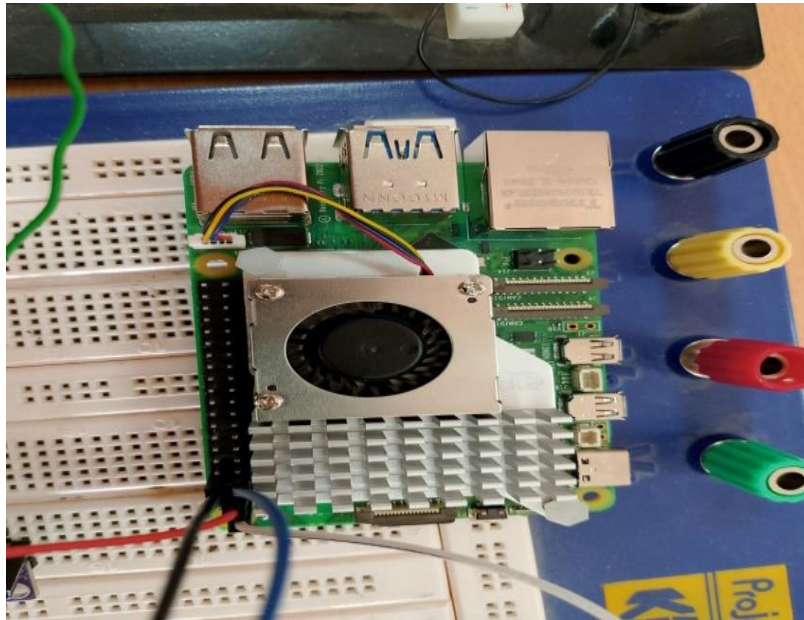


Figure III.13– Carte Raspberry Pi 5

c) des fils de connexion électriques

Pour connecter des composants électriques entre eux

d) module de conversion ADS1115

L'ADS1115 sert à être utilisé comme un convertisseur analogique-numérique à lecture précise des signaux de pression fournis par les capteurs. Cela permet de transmettre les données au Raspberry Pi sous forme numérique via la connexion I2C, garantissant ainsi une variation mesurable de la pression dans les réseaux hydrauliques.

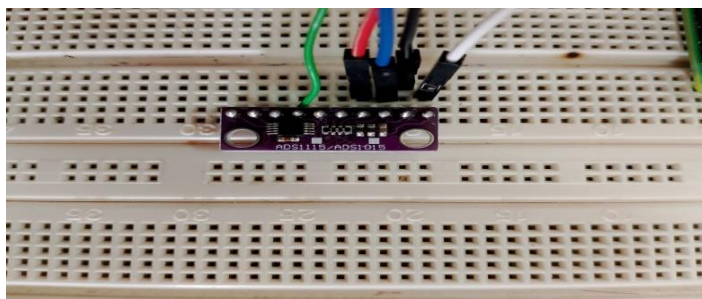


Figure III.14 – module de conversion ADS1115

III.3 Logiciels Utilisés

3.1 Raspberry Pi OS

Le Raspberry Pi OS, connu auparavant sous le nom de Raspbian, est le système d'exploitation officiel du Raspberry Pi. Basé sur Debian (Distribution Linux) et optimisé pour les appareils Raspberry Pi. Pourquoi utiliser Raspberry Pi OS ?

- Compatibilité complète avec les appareils Raspberry Pi.
- Facile à installer via Raspberry Pi Imager.
- Interface utilisateur simple (pour la version GUI).
- Prise en charge native pour les bibliothèques et les pilotes nécessaires pour Projets électroniques.

Installation rapide

- Télécharger Raspberry Pi Imager.
- Insérer une carte micro SD (au moins 16 Go).
- Sélectionner **Raspberry Pi OS (64-bit)**.
- Écrire l'image sur la carte SD.
- Démarrer le Raspberry Pi avec cette carte.

Activation du bus I2C sur le Raspberry Pi :

Le Raspberry Pi peut parler avec d'autres composants comme des capteurs, grâce à un système de communication appelé I2C. Mais pour que ça marche, il faut d'abord activer l'I2C. Voici comment on fait ça :

1. On ouvre le terminal du Raspberry Pi
2. On tape cette commande : " sudo raspi-config"
3. Un menu s'ouvre. On va dans Interface Options, puis on choisit I2C.
4. On sélectionne "Yes" pour activer
5. On sort du menu et on redémarre le Raspberry Pi

3.2 Python 3

Python est le langage principal utilisé pour programmer les applications sur Raspberry Pi.

Avantages de Python 3 :

- Simplicité et lisibilité du code.
- Large communauté et abondance de ressources.
- Compatible avec des centaines de bibliothèques pour l'électronique, la science des données, la visualisation, etc.

Installation:

```
sudo apt update
```

```
sudo apt install python3 python3-pip
```

3.3 Bibliothèques Python Utilisées

1. Adafruit_ADS1x15

Cette bibliothèque permet de communiquer facilement avec les convertisseurs analogique-numérique **ADS1115** via le bus **I2C**.

Fonctions clés :

- Lire des tensions analogiques sur 4 canaux (0-3).
- Configurer la plage de tension (gain).
- Lecture simple ou différenciée.

Installation

```
pip3 install adafruit-circuitpython-ads1x15
```

2. NumPy

numpy (Numerical Python) est une bibliothèque puissante pour effectuer des calculs numériques.

Utilisation dans le projet :

- Moyennage des données.
- Analyse statistique des signaux.
- Filtrage des données brutes.

Installation :

```
pip3 install numpy
```

3. Matplotlib

Bibliothèque de traçage utilisée pour visualiser les données enregistrées (par exemple, des graphiques de tension dans le temps).

Utilisation

- Création de courbes temporelles.
- Aide à l'analyse visuelle de signaux suspects.

Installation:

```
pip3 install matplotlib
```

4. Étapes d'installation de la bibliothèque ADS1115

Les étapes suivantes ont été suivies afin de permettre l'utilisation du module ADS1115 avec le Raspberry Pi:

1. Mettez à jour le Raspberry Pi système.

2. Installer le Python3-smbusutils et les outils i2c-tools nécessaires pour utiliser le bus I2C. nécessaire pour utiliser le bus I2C.
3. Activez l'I2C interface à l'aide du menu de configuration (sudo raspi-config). En utilisant le menu de configuration (sudo raspi-config)
4. Utilisez pip pour installer la bibliothèque Adafruit_ADS1x15 bibliothèque.

Utilisez la commande `i2cdetect -y 1` pour confirmer la détection du module.

III.4. Connexion du Raspberry Pi avec le module ADS1115 et le capteur de pression

❖ Matériel utilisé

- ✓ Raspberry Pi 5
- ✓ Module de conversion ADS1115
- ✓ Capteur de pression
- ✓ Résistance de 220 ohms
- ✓ Fils de connexion
- ✓ Breadboard

❖ Schéma de câblage

Les composants sont connectés comme suit :

- **Capteur de pression :**

Le capteur est connecté à l'entrée A0 du module ADS 1115 via une résistance de 220 ohms. Cette résistance est utilisée pour identifier et protéger le module ADS 1115.

- **ADS1115 :**

VDD → 3.3V du Raspberry Pi
GND → GND du Raspberry Pi
SCL → (SCL) du Raspberry Pi
SDA → (SDA) du Raspberry Pi

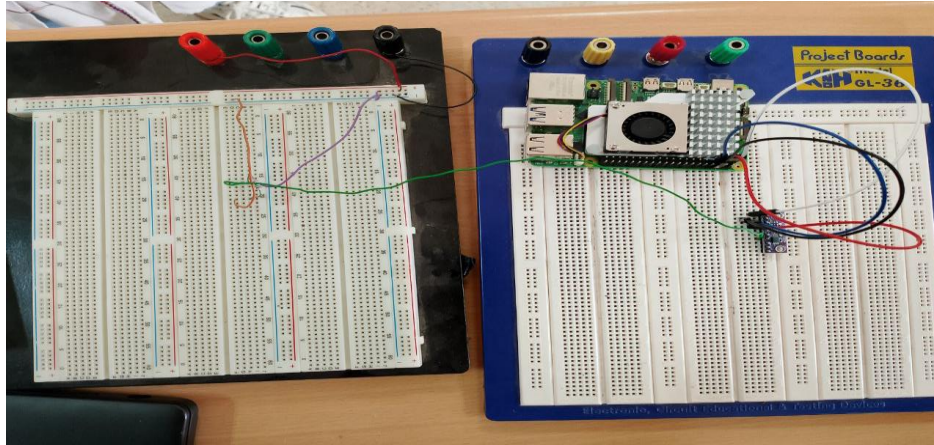


Figure III.15– Schéma de câblage pour connecter Raspberry Pi avec ADS 1115 et capteur de pression

- ✓ La séquence suivante représente le flux de données fonctionnel au sein du système de détection des fuites basé sur la pression. Chaque composant joue un rôle précis dans le traitement des informations, depuis la collecte des mesures jusqu'à leur affichage et stockage.

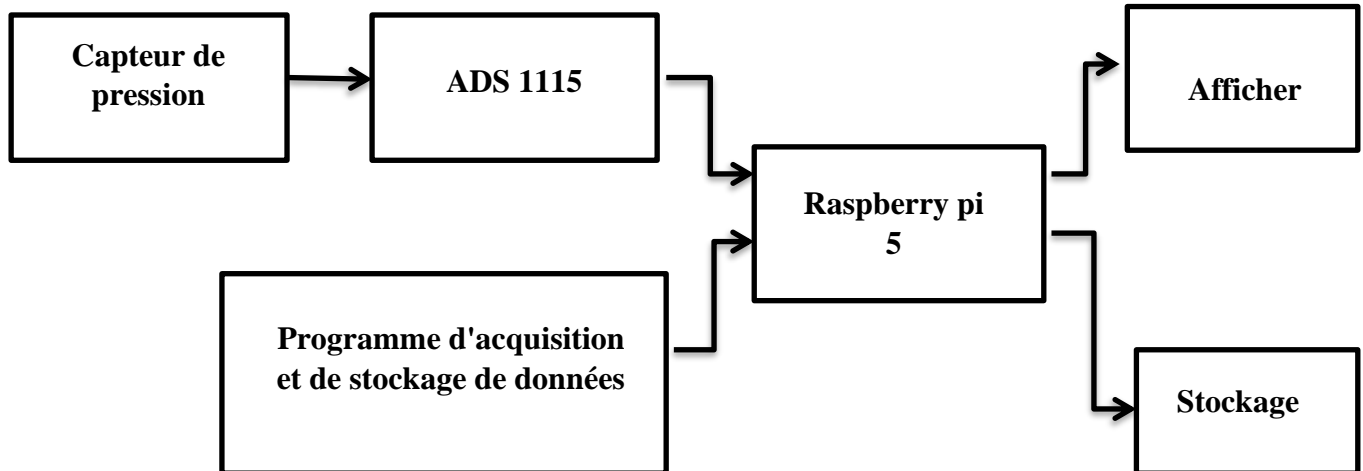


Figure III.16 – L'organigramme illustre les différentes étapes du traitement de l'information et les interactions entre les composants.

❖ Description de l'organigramme

- **Capteur de pression** : Élément d'entrée du système, il permet de mesurer la pression dans le circuit hydraulique et de la convertir en un signal analogique exploitable.
- **ADS1115 (convertisseur analogique-numérique)** : Ce module reçoit le signal analogique provenant du capteur de pression et le convertit en un signal numérique, lisible par le Raspberry Pi 5.
- **Raspberry Pi 5** : Unité centrale de traitement du système, il assure la réception des données numériques issues de l'ADS1115 et leur traitement à l'aide d'un programme dédié.
- **Écran d'affichage** : Partie de sortie du système, il sert à visualiser les données traitées en temps réel.
- **Module de stockage** : Autre sortie du système, il permet d'enregistrer les données traitées pour une exploitation ultérieure.
- **Programme d'acquisition et de stockage des données** : Logiciel embarqué sur le Raspberry Pi 5, il est responsable de l'acquisition des données via l'ADS1115, ainsi que de leur affichage et de leur sauvegarde.

III.5. Acquisition des données

Un script Python développé sur le Raspberry Pi permet:

- de lire les valeurs de pression via l'ADS1115,
- d'enregistrer les données dans une base de données PostgreSQL,
- d'effectuer un prétraitement pour éliminer le bruit et lisser les variations.

Les mesures sont prises à intervalles réguliers (par exemple, toutes les secondes) et stockées avec un horodatage précis pour analyse ultérieure.

III.5.1. Développement du script de lecture

Après avoir installé les bibliothèques, un script Python est créé pour:

- Initier le module ADS1115 et prévisualiser ses canaux.
- Lire les mesures analogiques de pression.
- Apporter un prétraitement (filtrage, lissage, normalisation si nécessaire)
- Convertissez les valeurs lues en unités physiques utilisables (ex : bar, kPa)
- Ajouter un horodatage à chaque mesure.

Ce script fonctionne en boucle continue ou selon un intervalle régulier grâce à une boucle.

III.5.2. Intégration avec la base de données PostgreSQL

Le système stocke les données traitées dans une base PostgreSQL locale ou distante à l'aide de la bibliothèque psycopg2. Les opérations effectuées comprennent:

- La connexion à la base.
- L'insertion automatique des données avec l'horodatage.
- La gestion des erreurs (ex. : perte de connexion, données manquantes)

III.5.3. Validation du système

Pour vérifier le fonctionnement du système :

- Pour effectuer ces tests, pressions connues des pressions sont injectés sont injectées dans le réseau.
 - Pour identifier d'éventuelles anomalies ou défauts, les données sont affichées sous forme de courbes, La régularité de l'enregistrement, l'stabilité de la conférence, et leur exactitude est confirmée exactitude confirmée.
 - Pour identifier d'éventuelles anomalies ou défauts, les données sont affichées sous forme de courbes.
- ✓ L'organigramme ci-dessous illustre les étapes du processus d'acquisition des données, depuis la mesure de la pression jusqu'au traitement des signaux par le Raspberry Pi 5 via l'ADS1115.

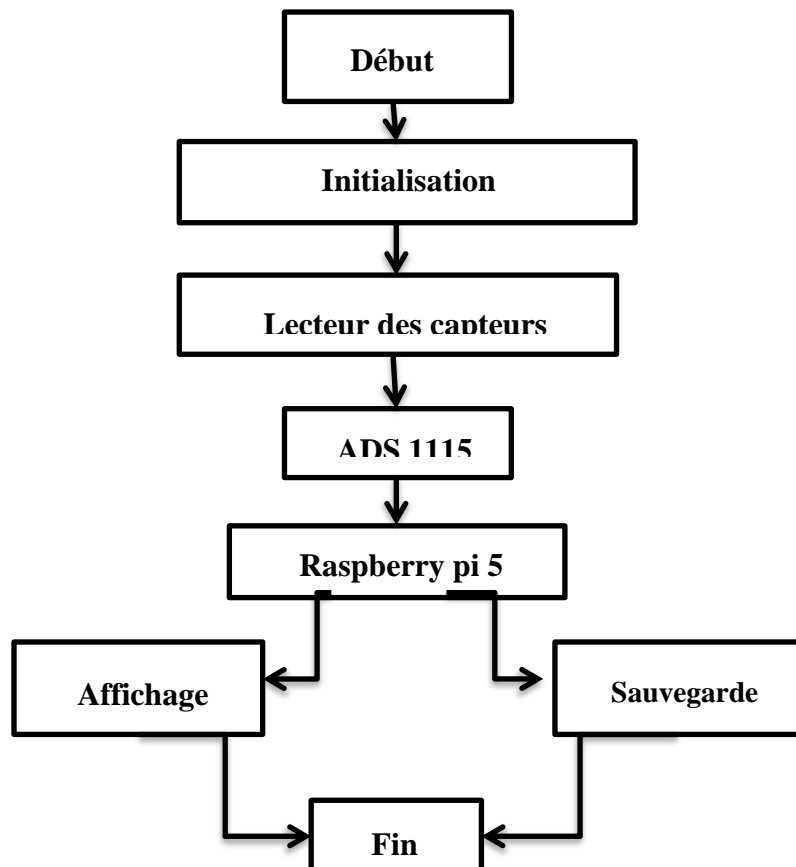


Figure III.17– Organigramme de l'acquisition de Raspberry avec ADS1115

❖ **Description de l'organigramme de l'acquisition de Raspberry avec ADS1115 :**

- **Début** : Point de départ du processus.
- **Initialisation** : Étape d'initialisation du système ou de l'équipement.
- **Lecture des capteurs** : Lecture des données provenant des capteurs.
- **ADS 1115** : Conversion des signaux analogiques en signaux numériques par l'ADS 1115.
- **Raspberry Pi 5** : Traitement des données numériques par le Raspberry Pi.
- **Affichage** : Affichage des données traitées.
- **Sauvegarde** : Sauvegarde des données traitées.
- **Fin** : Point final du processus.

III.6 Détection des fuites en temps réel à l'aide de l'intelligence artificielle

III.6.1. Objectif de la détection intelligente

L'objectif principal de cette phase est de mettre en œuvre un système capable de détecter automatiquement la présence d'une fuite dans le réseau hydraulique, en se basant sur les variations anormales de la pression mesurée et traitée en temps réel

III.6.2. Approche utilisée

Pour y parvenir, un modèle d'intelligence artificielle (tel qu'un algorithme de classification ou de détection d'anomalies a été formé à l'aide de données historiques stockées dans PostgreSQL.les mesures prises sont les suivantes:

1. Données Préparation : nettoyage et normalisation (fuite/pas de fuite)
2. Inscription et validation du modèle sur un jeu de données de test.
3. Intégration en temps réel dans le script Python pour analyser chaque nouvelle mesure

- ✓ Pour mieux comprendre le fonctionnement de notre système d'intelligence artificielle pour la détection des fuites d'eau, nous présentons un schéma organisationnel qui illustre les différentes étapes et composants travaillant ensemble pour repérer efficacement les anomalies

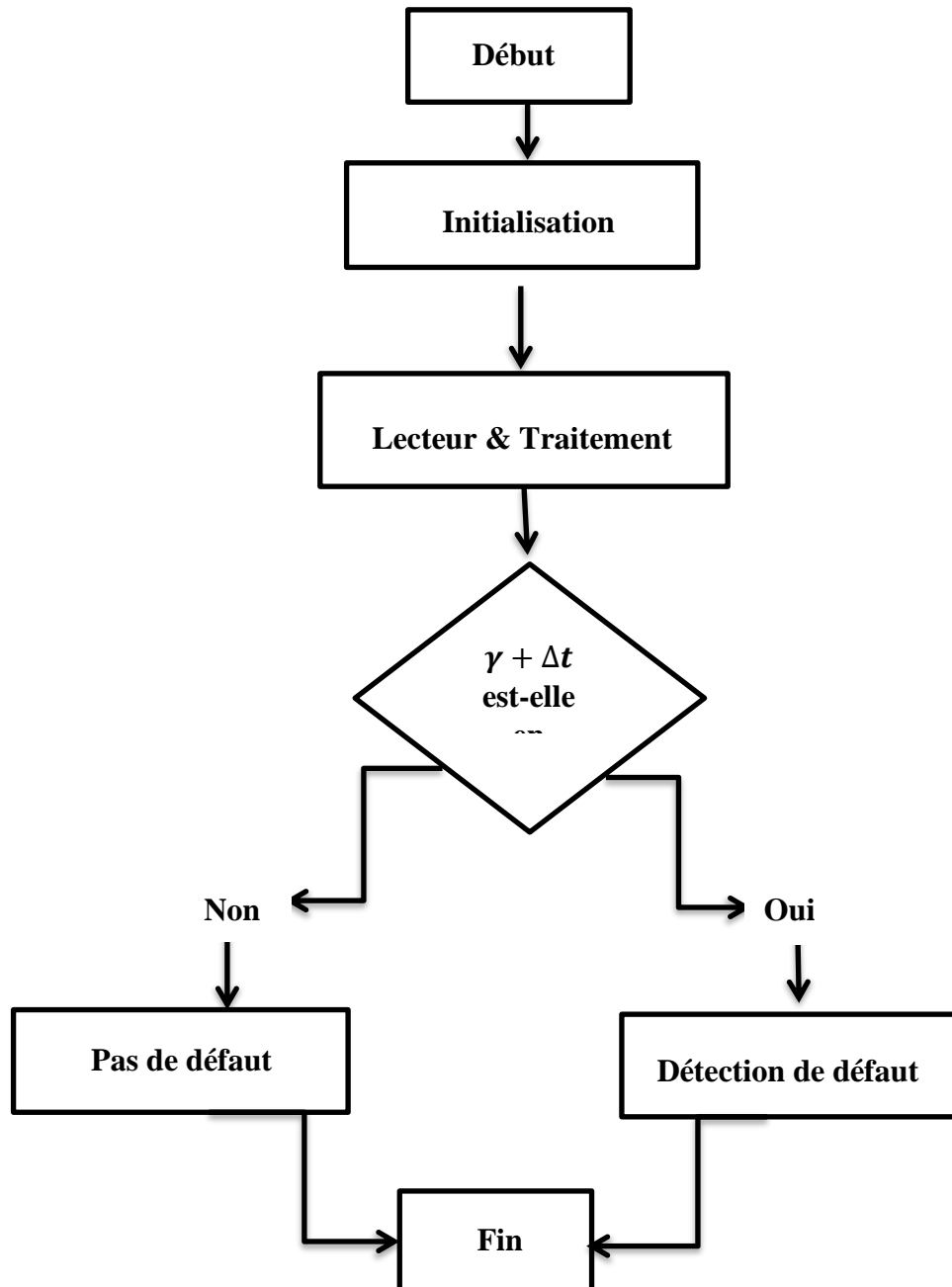


Figure III.18– Organigramme pour l'utilisation de l'intelligence artificielle pour détecter les fuites

III.6.3. Réseau de neurones récurrent GRU et son rôle dans le traitement des données temporelles :

1. Définition du GRU

L'unité récurrente à portes (GRU) est une forme de réseau neuronal récurrent (RNN) qui, dans certaines applications, surpasse la mémoire à long terme (LSTM). Le GRU utilise moins de mémoire et est plus rapide que la LSTM. Il repose sur deux processus appelés portes : la porte de mise à jour et la porte de réinitialisation. Ces portes lui permettent de contrôler le flux d'informations dans le temps et, par conséquent, d'apprendre efficacement les relations temporelles.

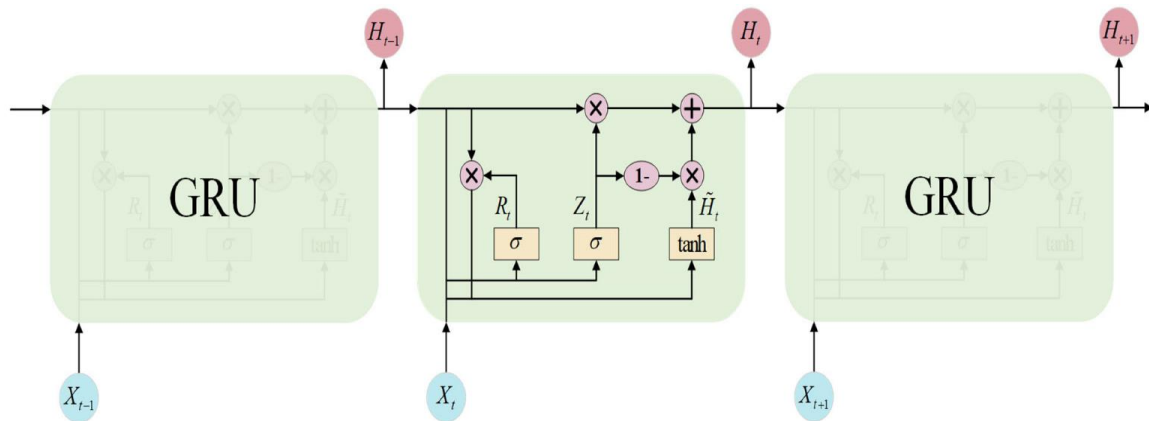


Figure III 19– Schéma du module GRU.

2. Comparaison entre GRU et LSTM

Contrairement aux LSTM, qui ont trois portes distinctes (entrée, oubli et sortie), les GRU n'en utilisent que deux : la porte de mise à jour et la porte de réinitialisation. Porte de mise à jour : Cette porte détermine la quantité d'informations passées (l'état caché précédent) qui doit être reportée dans l'état futur.

3. Avantages du GRU

- Capacité à mémoriser des informations à long terme.
- Efficacité dans l'apprentissage de séquences sans ingénierie manuelle des caractéristiques.
- Temps d'entraînement réduit par rapport au LSTM.
- Idéal pour des systèmes en temps réel, comme ceux utilisant un Raspberry Pi.

4. Application du GRU dans la détection des fuites d'eau

Dans le cadre de notre projet, les signaux de pression enregistrés dans le réseau de distribution d'eau sont traités comme des séries temporelles. Ces signaux contiennent des motifs caractéristiques qui peuvent indiquer une fuite, en fonction des variations de pression au cours du temps.

Le GRU permet de :

- Apprendre les modèles normaux de fonctionnement sans fuite.
- Détecter les anomalies caractéristiques des fuites.
- Classifier ou prédire si un signal donné correspond à un état de fuite ou non.

Cela permet une analyse fiable des données en temps réel sur un dispositif embarqué tel qu'un Raspberry Pi 5

- ✓ Pour mieux visualiser comment fonctionne une cellule GRU, voici un schéma qui montre de manière simple comment l'information circule à travers ses différentes parties, comme les portes et l'état caché.

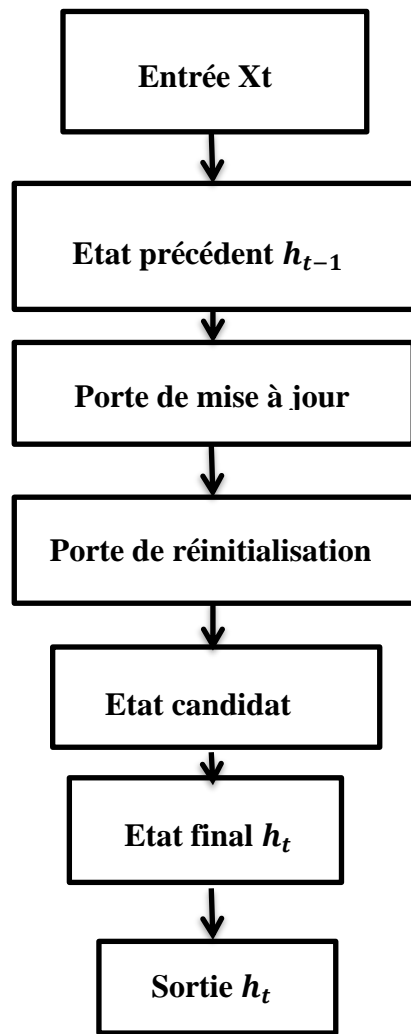


Figure III.20 –Organigramme du fonctionnement du GRU

❖ Description de l'organigramme

- **Entrée X_t** : C'est la donnée à l'instant t qui est injectée dans la cellule, souvent une valeur de pression dans notre cas
- **État caché précédent** : Il transporte la mémoire de la cellule. Il contient l'information apprise des étapes précédentes.
- **Porte de mise à jour** : Elle décide quelle partie de la mémoire précédente doit être conservée et quelle partie doit être mise à jour avec de nouvelles informations.
- **Porte de réinitialisation** : Elle contrôle combien de mémoire ancienne doit être "oubliée" pour calculer l'état candidat.
- **État candidat** : C'est une version temporaire de l'état caché calculée à partir de l'entrée actuelle et de l'état précédent modifié.

- **État finale** : C'est la sortie finale de la cellule à l'instant t , calculée comme une combinaison entre l'ancien état et l'état candidat, selon les valeurs des portes.
- ✓ Ces images montrent comment notre système identifie les fuites à partir des données de pression qu'il reçoit en entrée :

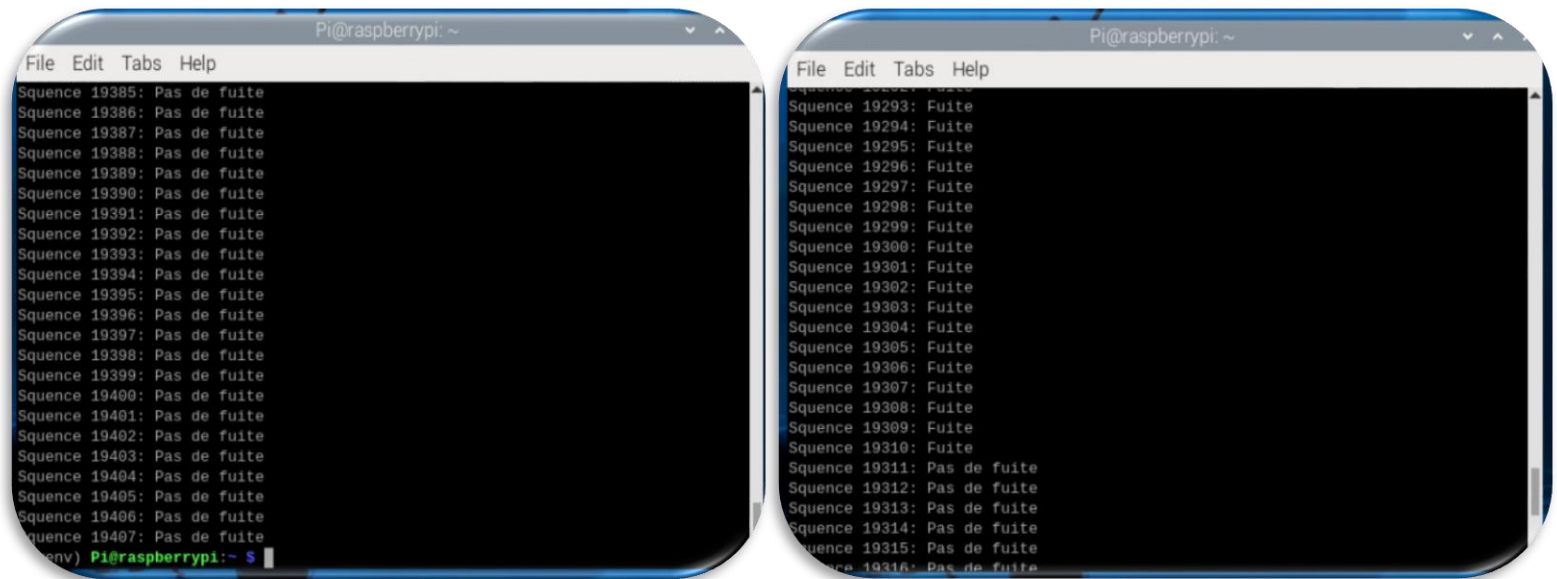


Figure III.21– Les résultats de la détection des fuites à partir des données de pression qu'il reçoit en entrée.

III.6.4. Interprétation et remarques

La chute rapide de la pression à partir d'un certain seuil a été correctement identifiée comme un comportement anormal. Le système a montré une bonne capacité à différencier les fluctuations normales des vraies anomalies. Une amélioration possible serait l'ajout de plusieurs capteurs pour localiser précisément la fuite.

CONCLUSION

Le chapitre a fourni un aperçu détaillé des différentes étapes impliquées dans la mise en œuvre du système de détection du débit d'eau. Réseau hydraulique, installation de capteurs de pression, écriture de scripts Python et intégration d'une base de données PostgreSQL, un système fonctionnel et indépendant a été réalisé. Module de renseignement, il a été possible de garantir une détection en temps réel avec des résultats prometteurs en termes de précision et de réactivité. Des études vérifient la viabilité d'une méthode simple, rentable et efficace de surveillance intelligente des canaux.

CONCLUSION GENERALE

Le travail présenté dans ce mémoire a été réservé à la détection de fuite. A cet effet, on a utilisé une technique innovante de l'intelligence artificielle pour répondre aux besoins de nos entreprises en difficulté en matière de détection rapide et instantanée des fuites. Ces dernières peuvent causer des dégâts sur les infrastructures et sur la santé publique. Le travail mené découle des progrès technologiques importants qui ont été enregistrés ces dernières années, de telle sorte que l'intérêt de la détection des fuites sur les canalisations est devenu une nécessité incontournable.

Pour les grands réseaux de distribution, la détection de fuites est devenue plus que bénéfique. La réduction du temps compris entre la formation d'une fuite et sa localisation précise est parmi les facteurs déterminants pour atteindre un bon rendement de réseau. Divers systèmes de contrôle et de surveillance existent actuellement dans le monde et ont pour but d'assurer une bonne surveillance continue.

Pour aborder le problème des fuites, il a bien fallu évoquer dans le premier chapitre quelques généralités et notions sur les réseaux de distribution. Les causes des fuites sont également éclaircies. On a introduit dans le deuxième chapitre les étapes de fonctionnement de la carte Raspberry Pi 5.

Enfin le troisième chapitre est réservé à l'application pour la validation de la méthode choisie sur des signaux de fuite réels acquis sur un canal prototype réalisé au laboratoire. Les résultats obtenus ont montré les performances de la technique employée.

Références

[1] - Tang, X., Liu, Y., L. Zheng, L.: 'Leak detection of water pipeline using wavelet transform and correlation method', Journal of environmental technology and engineering, 2010, 3, (2), pp. 62-67.

[2] - Dupont, A. (1979). Hydraulique urbaine, Tome 2. Paris: Edition Eyrolles.

[3]- MERZOUK N. (2005). Méthodologie de détection et de localisation des fuites dans un réseau d'eau potable dans les petites et les moyennes collectivités. Thèse de Doctorat de l'université d'Artois en collaboration avec l'école des mines de Douai. France.

[4] - BLINDU I. (2004). Outil d'aide au diagnostic du réseau d'eau potable pour la ville de Chisinau par analyse spatiale et temporelle des dysfonctionnements hydrauliques.

[5] - D. Covas, I. Stoianov, H. Ramos, N. Graham, C. Maksimovic: The dissipation of pressure surges in water pipeline systems. First Joint Conf. IAHR-IWA on pump, Electromechanical Devices and Systems (PEDS 2003), Valencia, Spain, 2003.

[6] - Lucy Hattersley, « Présentation du Raspberry Pi 5 », dans Le manuel officiel du Raspberry Pi, édition française, MagPi - Elektor, 2024, pp. 78-83

[7] - Reichelt elektronik, « Qu'apporte le Raspberry Pi 5 par rapport à son prédécesseur ? », reichelt Magazine, disponible sur : <https://www.reichelt.com/magazin/fr/conseils/quapporte-le-raspberry-pi-5-par-rapport-a-son-predecesseur>

[8] - Raspberry Pi Foundation, « Getting started with your Raspberry Pi », Raspberry Pi Documentation, disponible sur: <https://www.raspberrypi.com/documentation/computers/getting-started.html>

[9] -SIMON MONK (2014) Programmer un Raspberry Pi pltm : initiation avec python, page1. DUNOD, Paris

[10] -Engineering Village. (s.d). *Maîtriser le Raspberry Pi : Livre pratique, appliqué et simplifié*. Éditions Engineering Village