

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA

FACULTE DE TECHNOLOGIE
DEPARTEMENT D'ELECTRONIQUE
N°:..../INST/ 2024



DOMAINE : SCIENCE ET TECHNOLOGIE
FILIERE : ELECTRONIQUE
OPTION : INSTRUMENTATION

**Mémoire présenté pour l'obtention
Du diplôme de Master Académique**

Par :

DAHMANI Zeyneb , BEN MIMOUNA Afaf

BELARIBI Nesrine , BAHLOULI Khaoula

Intitulé

**Conception et réalisation d'un détecteur de
fuite d'eau dans les réseaux de distribution**

Diplôme de Master dans le cadre du décret ministériel 1275

Soutenu devant le jury composé de :

Dr Mostefa TABAKH	Président	Université Mohamed Boudiaf M'sila
Dr Miloud BENTOUMI	Rapporteur	Université Mohamed Boudiaf M'sila
Dr Haddi BAKHTI	Co-Rapporteur	Université Mohamed Boudiaf M'sila
	Examineur	Université Mohamed Boudiaf M'sila
Yamena BAKHTI	Représentant de l'incubateur	Université Mohamed Boudiaf M'sila
Dr Youcef Brik	Représentant de CATI	Université Mohamed Boudiaf M'sila
	Partenaire Socio-économique	Université Mohamed Boudiaf M'sila

Année universitaire : 2023 / 2024

Remerciement

Tous d'abord, nous tenons à remercier الله. qui nous a donné la santé, la volonté et la patience pour mener à terme notre formation de Master et le pouvoir de réaliser ce travail de recherche.

Nous tenons à exprimer nos profonds remerciements à nos encadreurs **Dr. BEN TOUMI Miloud** et **Dr. BAKHTI Haddi** qui nous a fourni le sujet de ce mémoire et nous a guidés par ses conseils et suggestions, et la confiance qu'il nous a témoignés tout au long de ce travail.

Leurs patiences et leurs expertises ont été essentiels pour la réussite de ce mémoire. Nous remercions aussi les membres de jury, le représentant du CATI, le représentant de l'incubateur, et le partenaire socio-économique d'accepter d'être membre pour l'évaluation de ce travail. Ainsi que l'ensemble du service électronique qui a été accueillant. Chaleureux compréhensif.

Nous adressons aussi nos sincères remerciement à tous ceux qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce projet.

Un Grand Merci

اهراء

الحمد لله حبا وشكرا وامتنانا على البدء والختام.

(واخر دعواهم ان الحمد لله رب العالمين)

لم تكن الرحلة قصيرة ولا ينبغي لها ان تكون لم يكن الحلم قريبا لا الطريق كان محفوفًا بالتسهيلات لكني فعلتها

فالحمد لله الذي يسر البدايات وبلغنا النهايات بفضلته وكرمه

اهدي تخرجي الى من احمل اسمه بكل فخر الذي كان دوما بقلبي رغم تعبته الا انه دائما بجانبني وسندي بلا حدود الى

من علمني ان الدنيا صراع وسلاحها العلم والمعرفة

والذي حفظه الله

الى المرأة التي جعلت مني فتاة طموحة وسهلت عليا الصعاب بدعائها الخفي الى القلب الحنون والشمعة التي كانت لي

في الليالي المظلمة

امي حفظها الله

والى روح جدتي رحمها الله واسكنها فسيح جناته

الى خيرة ايامي وصفوتها كانوا لي سندا وداعمين ومشجعين دائما أزاحو عن طريقي المتاعب ممهدين الطريق زارعين

الثقة والإصرار بداخلي سندي وكتفي الذي استند عليه دائما الى الذين غمروني بالحب والتوجيه امدوني بالقوة الى الذين

نظالما كانوا الظل لهذا النجاح

اخواني واخوتي حفظهم الله

الى أصدقاء السنين وأصحاب الشدائد وملهمين نجاحي الى من رسموا بسمتي وقت الصعاب الى من ذكروني بمدى

قوتي واستطاعتي الى الذين لا يحبطوني ويؤمنون بشجاعتي الى الشموع التي تنير لي الطريق دوما صديقاتي

وأخيرا من قال انا لها " نالها" وانا لها ان ابت رغما عنها اتيت بها ما كنت لأفعل لولا توفيق من الله ها هو اليوم العظيم

هذا اليوم الذي أجريت وسنوات الدراسة الشاقة حالمة فيها حتى تواليت بمنه وكرمه لفرحة التمام والحمد لله الذي به خيرا

واملا الا واغرقتنا سرورا وفرحا ينسيني مشقتي

دحماني زينب

إهداء

من قال أنا لها "نالها"

الحمد لله حبا وشكرا وامتنان الذي بفضلها ها أنا اليوم أنظر الى حلما طال إنتظاره وقد أصبح واقعا أفتخر به .
لم تكن الرحلة قصيرة ولا ينبغي لها ان تكون، لم يكن الحلم قريبا ولا الطريق كان محفوا بالتسهيلات لكني فعلتها ونلتها .
الى ملاكي الطاهر ، وقوتي بعد الله، داعمتي الأولى والابدية إلى التي وهبت فلذة كبدها كل العطاء والحنان، إلى التي صبرت على كل شيء، التي رعيتي حق الرعاية وكانت سندي في الشدائد، وكانت دعواها لي بالتوفيق، تتبعتني خطوة خطوة في عملي، إلى من ارتحت كلما تذكرت ابتسامتها في وجهي نبع الحنان "أمي" أعز ملاك على القلب والعين جزاها
الله عني خير الجزاء في الدارين؛

الى من دعمني بلا حدود واعطاني بلا مقابل إلى الذي وهبني كل ما يملك حتى أحقق له آماله، إلى من كان يدفعني قدما نحو الأمام لنيل المبتغى، إلى الإنسان الذي امتلك الإنسانية بكل قوة، إلى الذي سهر على تعليمي بتضحيات جسام مترجمة في تقديسه للعلم "أبي" الغالي على قلبي أطال الله في عمره.
اهديكم هذا الإنجاز لولا تضحياتكم لما كان له وجود.

الى من قيل فيهم:

(سَنَسُدُّ عَضُدَكَ بِأَخِيكَ)

الى من مد يده دون كلل ولا ملل وقت ضعفي سندي وعوضي "اخوتي" ادامكم الله ضلعا ثابتا لي .
الى من امننت بقدراتي وامان ايامي "اختي الكبرى" الى من تذكرني بقوتي وتقف خلفي كظلي "
الى من جمعنتي بهم الجامعة أخص بالذكر عفاف زينب خولة اشركم على وجودكم في حياتي شكرا لكم جعلتم هذه الرحلة ممتعة ومليئة بالذكريات كنتم بمثابة العائلة الثانية
كما أهدي ثمرة جهدي لأساتنتي الدكتور: بن تومي ميلود، بختي الهادي الذي كلما نظلمت الطريق أمامي لجأت إليهم وكلما دب اليأس في نفسي زرعوا فيا الأمل لأسير قدما وكلما سألت عن معرفة زودوني بها وكلما طلبت كمية من وقتهم الثمين وفروه لي بالرغم من مسؤولياتهم المتعددة.

بلعربي نسرین

إلى كل أساتذة قسم التكنولوجيا

اهراء

الحمد لله حبا وشكرا وامتنانا على البدء والختام، الحمد لله الذي بفضلله أدركت أسمى الغايات، الحمد لله الذي وفقني

لتنمين هذه الخطوة في مسيرتي الدراسية بمذكرتي هذه ثمرة جهدي ونجاحي...

من قال أنا لها نالها، فأنا لها وإن أبت رغما عنها أتيت بها...

أهدي بكل حب مذكرة تخرجي إلى

إلى نفسي العظيمة الفتية التي تحملت كل العثرات، وأكملت رغم الصعوبات، إلى روحي التي مازالت تبحث بشغف عن

النجاحات...

إلى من هي في الحياة حياة، ملاكي الطاهر، داعمتي الأولى والأبدية، إلى من سهلت لي الشدائد بدعائها، إلى التي

لطالما تمننت أن تفر عينها لرؤيتي في يوم كهذا إليك ينحني الحرف حبا وامتنانا.... "أمي الغالية" أطال الله عمرك،

ممتنة لأن الله اصطفاك لي من البشر أما يا خير سند وعوض...

إلى من كلل العرق جبينه، من علمني أن الدنيا كفاح وسلاحها العلم، إلى النور الذي أثار دربي والسراج الذي لا ينطفئ

نوره بقلبي أبدا، إلى من بذل الغالي والنفيس واستمدت منه قوتي واعتزازي بذاتي، إلى أعظم رجل في الكون " والدي

العزیز"

إلى من كان ومازال سندي، وسام عزتي وكبريائي...أخي

إلى ضلعي الثابت، إلى اللواتي ظفرت بهن هدية من الأقدار... اخواتي

إلى كل زينة الحياة الدنيا براعم العائلة

إلى من ساندوني في الحلو والمر وكاتفوني ونحن نشق الطريق معا نحو النجاح...رفيقات دربي

إلى الذين حملوا أقدس رسالة في الحياة، إلى الذين شهدوا لنا طريق العلم والمعرفة...أساتذتنا الأفاضل

إلى كل من أحبهم قلبي ونسيهم قلبي

إلى كل قسم الإلكترونيك وجميع دفعة 2024 جامعة محمد بوضياف

أهديكم هذا العمل المتواضع، سائلة الله العلي القدير أن ينفعا به ويمدنا بتوفيقه

بن ميمونة عفاف

دهراء

{وَأَخِرُ دَعْوَاهُمْ أَنْ الْحَمْدُ لِلَّهِ رَبِّ الْعَالَمِينَ}

الحمد لله على لذة الإنجاز والحمد لله عند البدء وعند الختام

أهدي وبكل حب بحث تخرجي

إلى نفسي القوية التي تحملت كل العثرات واكملت رغم الصعوبات

إلى الأيادي الطاهرة التي أزلت من طريقي اشواك الفشل إلى من ساندني بكل حب عند ضعفي إلى من رسمولي المستقبل
بخطوط من الثقة والحب إليكم عائلتي

إلى من كلله الله بالهيبة والوقار.. إلى الذي أضاء دروبي وطريقي وقوتني في كل خطوة اخطوها.. إلى من زين إسمي
بأجمل الألقاب.. إلى من سعى طوال حياته لتكون أفضل منه..

إلى من دعمني بلا حدود وأعطاني بلا مقابل والدي الحسين

إلى من جعل الله الجنة تحت قدميها.. إلى السراج الذي أنار لي الطريق.. إلى بسمه الحياة ومعنى الحب وسر الوجود.. تلك
الإنسانة العظيمة التي طالما تمننت أن تقر عينها برؤيتي في يوم كهذا.. ملاكي الحزن الدافئ وسمائي التي لم تتركني
يوماً.. ولا يكتمل يومي بدونها والدي العزيزة

إلى خيرة أيامي وصفوتها.. إلى نور المحبة في حياتي.. إلى من بهم أكبر وعليهم اعتمد ومن بوجودهم اكتسب قوة ومحبة
.. إلى من كانوا لي سنداً وداعماً.. إلى الذين لطالما كانوا الظل لهذا النجاح.. أدامكم الله ضلعاً ثابتاً لي إلى من قال فيهم
: {سَتَشُدُّ عَضُدَكَ بِأَخِيكَ} أخوتي وإخوتي

إلى روح غالية فارقتني وأنا لازلت متعلقة بها.. إلى روح فجعتني برحيلها.. إلى بسمه وضحكه لا تغيب عن البال.. دمت
بنعيم رب حتى نلتقي رحمك الله جدي دحمان

إلى رفاق الخطوات الأولى.. إلى من كانوا في السنوات العجاف سحاباً ممطراً.. إلى من تشاركنا لحظات التعب والفرح
طيلة مشوار هذا العمل (زينب..نسرين..عفاف)

إلى أجمل صدقة من ألف اختيار صديقات الجامعة (دلول.. حياة.. نواره.. دنيا.. خديجة)

إلى جميع الدكاترة كلية التكنولوجيا الأعزاء الذين علموني وارشدوني.. وأيضاً وفاءً وتقديراً واعتزافاً مني بالجميل أتقدم
بجزيل الشكر للدكتور بن تومي ميلود والدكتور بختي الهادي الذين لم يألون جاهدين في توجيهنا ومساعدتنا أسأل الله كل
التوفيق لهم اهدبكم جميعاً هذا العمل المتواضع وثمره جهدي.. والله ولي التوفيق ♡

مهلولي خولة

Table des matières

Remerciement	i
Dédicaces	ii
Tables des matières	vi
Liste des tableaux	x
Introduction générale	1

Chapitre I. Notions sur la mécanique des fluides

I.1. Introduction	3
I.2. Fuites.....	3
I.2.1. Problématique des fuites.....	3
I.2.2. Généralités sur les fuites	3
I.2.3.Cause des fuites	4
I.2.4.Types de fuite	4
I.2.5. Bilan d'eau	5
I.3. Fluides.....	6
I.3.1. Définition d'un fluide	6
I.3.2. Propriétés physiques de fluide	6
I.3.3. Classification des fluides	7
a. Fluides incompressible (Les liquides).....	8
b. Fluides compressibles (Les gaz).....	8
I.3.3.2. Par effet de viscosité	9
a. Fluide parfait	9
b. Fluide réel.....	9
c. Fluide Newtonien.....	9
d. Fluides Non Newtonien	9
I.4. Divers types d'écoulement dans les conduites.....	9
I.4.1. Définition d'écoulement.....	9
I.4.2. Expérience de Reynolds	10
I.4.2.1 Nombre de Reynolds	11
I.4.2.2. Écoulement laminaire.....	12
I.4.2.3 Écoulement intermédiaire	12
I.4.2.4 Écoulement turbulent.....	13
I.5 Equation de Bernoulli.....	13
I.5.1 Définition	13
I.5.2. Le principe de Bernoulli	13
I.5.3. Formule énoncée par le théorème de Bernoulli.....	14
I.6. Types des réseaux.....	15

I.6.1. Définitions	15
a. Conduites principales	15
b. Conduites secondaire.....	15
c. Conduites locales	15
I.6.2 Types des réseaux de distribution d'eau.....	15
a. Réseaux ramifiés.....	15
b. Réseaux maillés	16
c. Réseaux mixtes.....	16
d. Réseaux étagés.....	17
I.6.3. Les caractéristiques du réseau de distribution	17
I.6.3.1. Age des canalisations	17
I.6.3.2 Nature des canalisations.....	17
I.6.4. Eléments particulier des réseaux	18
a. Pose des canalisations	18
b. Branchements.....	19
I.6.5. Pertes dans les réseaux.....	19
I.6.5.1. Les Pertes en production	19
a. Les fuites sur les réseaux :.....	19
b. Défauts de comptage :.....	19
I.6.6. Accessoires de réseau.....	19
a. Réservoir.....	19
b. Pompe	20
c. Joints	20
d. Vanne	20
I.6. Conclusion.....	21
Chapitre II:Notions sur les capteurs de pression et les types de filtrages	
II.1 Introduction	22
II.2 Pression.....	22
II.2.1 Définition de pression	22
II.2.2 Différentes unités de pression.....	22
II.2.3 Différents types de pression.....	23
II.3. Capteur.....	25
II.3.1 Définition	25
II.3.2 Classification de capteur	26
II.3.3 Capteur de pression	27
II.5 Filtre.....	32
II.5.1 Fonction de transfert d'un filtre.....	32
II.5.2 Domaines application	33
II.5.3 Types de filtrage.....	33
II.6 Elaboration du modèle mathématique.....	41

II.6.1 Formulation mathématique.....	42
II.6.2 Formule de calcul de la position de la fuite	44
II.6.3 Formule de calcul de la position de la fuite par rapport à la pression	45
II.7 Conclusion	45

Chapitre III: Résultats et discussions

III.1. Introduction	46
III.2. Système d'acquisition	46
III.3. Chaîne d'acquisition	46
III.3.1 Circuit hydraulique.....	47
III.3.2 Capteurs de pression.....	50
III.4 Système de détection réalisé	60
III.5 Étage de comparaison.....	63
III.6.1 Résultats	66
III.6.2 Signaux acquis	68
III.7 Conclusion.....	71
Perspectives.....	71
Conclusion générale.....	72
Références bibliographiques.....	73

Listes des figures

Fig. I. 1 Fuites dans une canalisation sur un réseau d'eau potable.....	4
Fig. I. 2 Branches de la mécanique des fluides	7
Fig. I. 3 Eau Fluide incompressible	8
Fig. I. 4. Fluide compressible.....	9
Fig. I. 5. Visualisation de principaux types de régime d'écoulement.....	10
Fig. I. 6. Principaux types de régime d'écoulement dans une conduite	11
Fig. I. 7. Distribution des vitesses d'écoulement en régimes laminaire et turbulent.	12
Fig. I. 8. Un écoulement stationnaire de fluide parfait dans une conduite horizontale de section constante.....	14
Fig. I. 9. Schéma d'un réseau de distribution en eau potable ramifié.	16
Fig. I. 10. Schéma d'un réseau de distribution en eau potable maillé.	16
FIG. II. 1 TYPES DE PRESSION.....	24
FIG. II. 2 PRESSION HYDROSTATIQUE	25
FIG. II. 3 PRESSION DUE A DES FORCES EXTERIEURES.....	25
FIG. II. 4 SCHEMA DE PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT D'UN CAPTEUR	26
FIG. II. 5 SCHEMA DE LA BOUCLE 4-20 MA.	29
FIG. II. 6 TEST DU BON FONCTIONNEMENT DU TRANSMETTEUR DE PRESSION.....	31
FIG. II. 7 COURBELIANT LE COURANT ET LA PRESSION.	32
FIG. II. 8 REPOSE DE GAIN DU FILTRE DE BUTTER WORTH PASSE-BAS.	36
FIG. II. 9 FILTRE DE TCHEBYCHEV.....	36
FIG. II. 10 STRUCTURE GENERALE D'UN FILTRE NUMERIQUE	38
FIG. II. 11 REPRESENTATIONS SOUS FORME DE FONCTION DE TRANSFERT EN Z.....	38
FIG. II. 12 CLASSIFICATION DES FILTRES.	39
FIG. II. 13 FILTRAGE ADAPTATIF	41
FIG. II. 14 SITUATION DE DEBIT CONSIDEREE	42

Fig. III. 1. La chaîne d'acquisition.....	47
Fig. III. 2 Circuit hydraulique global	47
Fig. III. 3. Réservoir.....	48
Fig. III. 4 . Pompe.....	49
Fig. III. 5 Électrovanne	50
Fig. III.6 Bouton poussoir.....	50
Fig. III.7 Position des Capteurs de pression.....	51
Fig. III. 8 Capteur de pression et ces fils de liaison.....	51
Fig. III. 9 . Circuit électrique global	54
Fig. III. 10 Alimentation stabilisée.....	55
Fig. III. 11 Oscilloscope ANALOG DIGITAL SCOPE modèle HM 1507-3.....	55
Fig. III. 12 Carte Arduino UNO	57
Fig. III. 13 LabVIEW.....	58
Fig. III. 14 . Front panel.....	59
Fig. III. 15 Block Diagramme	60
Fig. III. 16 Système de détection réalisé	61
Fig. III. 17 . Synoptique du détecteur.....	63
Fig.III. 18. Représentation des variations temporelles de pression sans fuite captées par les deux capteurs de pression.....	64
Fig.III. 19. Signaux avec fuite des deux capteurs	64
Fig.III. 20. Panneau frontal du Lab View.....	65
Fig.III. 21.Block Diagram d'Acquisition	66
Fig.III. 22.Schéma synoptique d'un Système de détection réalisé	67
Fig.III. 23. Représentation des variations temporelles de pression sans fuite captées par les deux capteurs de pression.....	68
Fig.III. 24.Signaux avec fuite des deux capteurs, 1 ère acquisition	69
Fig.III. 25. Signaux avec fuite des deux. Signaux avec fuite des deux capteurs, 2ème acquisition	70
Fig.III. 26. Signaux avec fuite des deux capteurs, 3ème acquisition.....	70

Listes des tableaux

Tableau. I. 1 Les différents régimes d'écoulement.....	12
TABLEAU. II.1 CONVERSION D'UNITÉS (PASCAL, BAR, ATMOSPHERE).....	23
TABLEAU. II. 2 COMPOSANTS ET SPECIFIES DES TYPES DE FILTRES	35
TABLEAU. II. 3 AVANTAGES ET INCONVENIENTS	37
TABLEAU. II. 4 . CHOIX ENTRE UN FILTRE RIF ET RII.	40
Tableau. III. 1 Spécifications techniques du capteur de pression.....	52
Tableau. III. 2 Synthèse des caractéristiques de la carte Arduino	57

Introduction générale

Introduction générale

Les réseaux de distribution d'eau sont des systèmes d'infrastructures critiques difficiles à gérer et à surveiller en raison de leur taille et de leur complexité.

Dans la plupart de ces réseaux, un pourcentage élevé d'eau est perdu lors du processus de distribution et du transport entre les stations d'épuration et les points de consommation. Le but de la distribution d'eau est de fournir en permanence une eau de bonne qualité, en quantité suffisante et à une pression appropriée. Les pertes d'eau peuvent avoir plusieurs causes (fuites, erreurs de mesure...). Les fuites représentent l'un des dysfonctionnements les plus importants des réseaux de distribution d'eau, entraînant des pertes environnementales et économiques en plus de leurs risques sur la santé publique par la pénétration des contaminants dans les canalisations, immédiatement après la production d'une chute de pression.

La détection des fuites à temps de leurs apparitions et la détermination de leur localisation précise sont les facteurs déterminants pour réduire ces pertes et atteindre une bonne efficacité du réseau. Alors que les responsables s'intéressent de plus en plus à la surveillance de leurs réseaux par des nouvelles techniques donnant un meilleur rendement. Plusieurs techniques ont été utilisées auparavant pour détecter et localiser les fuites. La technique la plus largement utilisée étant l'utilisation de corrélateurs acoustiques. Cette technologie repose sur l'utilisation de deux capteurs acoustiques montés sur les bouches d'incendie à deux endroits différents, et les utilisateurs professionnels doivent toujours les localiser, car le bruit ambiant due aux activités quotidiennes et au trafic routier peut créer une image qui simule la présence d'une fuite. Afin d'atténuer ces effets néfastes, il est recommandé de développer des méthodes de détection des fuites dans les canalisations. Dans le cadre de ces travaux, nous avons développé un nouveau dispositif numérique moins cher et plus efficace que les appareils existants sur le marché. Ces derniers ont l'inconvénient de détecter non seulement le bruit de la fuite mais également les bruits du trafics routier et d'autres bruits quotidiens provoquant des fausses alarmes détruisant aux infrastructures lors de leurs utilisations. Pour cela un main d'œuvre qualifiée est indispensable. Le nouveau détecteur s'appuie sur des capteurs de pression précis qui ont l'avantage de donner uniquement l'information liée à l'écoulement de l'eau dans la conduite en mesurant les changements de pression à l'intérieur des canalisations. Les signaux acquis ne sont pas influencés par les agents externes à la conduite. Un système d'acquisition numérique

est développé à cet effet. Les signaux détectés en temps réel vont être en permanence surveillés. Une comparaison est effectuée pour prendre une décision de la présence ou l'absence de la fuite. Un seuillage (Threshold) est obtenu pratiquement par rapport à la position la plus lointaine de l'un des deux transmetteur. Le comparateur est fermé sur un système d'affichage basé sur des LED. Au moment de la production de la fuite la LED s'allume déclenchant la présence de la fuite. La localisation de la fuite par rapport à l'un des capteurs repose généralement sur la corrélation des signaux de fuites acquis. Dans ce mémoire on a également développé un nouveau modèle mathématique de localisation qui repose sur les pressions prises sur des points de notre réseau. Une installation hydraulique est réalisée pour la confirmation de l'efficacité du détecteur proposé.

Dans ce contexte ce mémoire est structuré en trois chapitres, que nous présentons comme suit :

Dans le premier chapitre, nous présentons des notions sur la mécanique des fluides.

Le deuxième chapitre est dédié à des notions sur les capteurs de pression et les types de filtrage.

Le troisième chapitre est réservé aux résultats obtenues et aux discussions. Ce dernier est couronné par une conclusion générale et quelques perspectives.

Chapitre I :

Notions sur la mécanique des fluides

I.1.Introduction

La mécanique des fluides étudie le comportement des liquides et des gaz à l'état stationnaire et dynamique. Dans le domaine de la mécanique appliquée, il est essentiel de comprendre les principes de la mécanique des fluides pour pouvoir interpréter et modéliser les phénomènes physiques liées aux écoulements des fluides.

Dans ce chapitre, nous exposons quelques notions générales concernant la fuite et ses origines. Par la suite, nous donnons la définition du fluide, sans oublier d'évoquer ses caractéristiques physiques ainsi que la catégorisation des fluides. Les différents types d'écoulement dans les conduites et le nombre de Reynolds sont également traités. L'équation de Bernoulli et sa formulation seront également expliquées. Nous terminerons en donnant des informations sur les différents types de réseaux, en particulier ceux que nous allons utiliser dans notre application.

I.2. Fuites

I.2.1. Problématique des fuites

En raison de l'élasticité du milieu (fluide-conduite) cette discontinuité se propage de proche en proche avec une célérité souvent élevée, affectant ainsi rapidement une zone étendue de l'écoulement considérée. Dès lors, l'étude des régimes transitoires (régime subissant des perturbations ou des variations) peut être traitée avec la prise en compte de l'élasticité du milieu, ce qui conduit à une évaluation précise des paramètres (pression, débit, etc....) en chaque point du fluide et quel que soit le temps considéré, c'est la théorie du coup de bélier d'onde, appelé aussi onde de choc ou choc hydraulique. [1]

I.2.2. Généralités sur les fuites

Dans les réseaux d'eau potable, les pertes en eau atteignent un niveau alarmant. Les fuites sont des pertes physiques de quelques quantités d'eau, mais qui n'empêchent pas le fonctionnement normal du réseau sont généralement localisées dans les joints, les vannes, les raccords, les points de jonction entre deux éléments ou dans le corps même de la conduite **Figure (I.1)**.



Fig. I. 1 Fuites dans une canalisation sur un réseau d'eau potable.

I.2.3.Cause des fuites

Les causes les plus communes des fuites sont les suivantes :

- Rupture ou mauvaise étanchéité des conduites.
- Joints détériorés ou mal exécutés.
- La corrosion interne dans le cas où l'eau est agressive, la corrosion externe selon le taux d'humidité du sol.
- Un défaut d'installation des équipements : Une mauvaise pose ou une malfaçon au niveau de l'installation des canalisations.
- Glissements de terrains.
- Choc hydraulique causé par la fermeture brusque d'une vanne.
- Les surpressions ou coups de bélier.

I.2.4.Types de fuite

Différents types de fuites peuvent survenir, tels que les fuites de la ligne de service et les fuites de valve, mais dans la majorité des cas, la plupart de l'eau non comptabilisée est perdue par les fuites dans les conduites d'alimentation. Différentes méthodes de classement existent.

Le diamètre des tuyaux, la pression dans la canalisation, la zone du trou, etc., peuvent être des facteurs qui peuvent causer des fuites, mais le paramètre le plus crucial est le taux de perte d'écoulement à travers le trou. [2]

Deux catégories peuvent être établies pour la distribution d'eau potable, en fonction de la circulation dans le tuyau et de l'utilisation de l'eau :

- Petite fuite, lorsque le débit de perte est inférieur à 5 litres par minute,
- Grande fuite, lorsque le débit de perte est supérieur à 5 litres par minute.

I.2.5. Bilan d'eau

Les bilans d'eau permettent de déterminer les quantités d'eau qui se perdent dans les réseaux de distribution. Ils peuvent être effectués sur l'ensemble du réseau ou par secteur. Sur l'ensemble du réseau, ils donnent une idée globale des pertes d'eau. Ils exigent une comptabilité détaillée des quantités d'eau entrant dans le réseau et en sortant, et ils sont généralement basés sur les relevés des compteurs et sur la vérification de leur précision. Par nature, ces bilans demandent des efforts importants, en particulier lorsqu'il s'agit de grands réseaux.

Dans le cas des bilans par secteur, le réseau de distribution est divisé en secteurs comportant environ 20 à 30 km de conduites. Chacun de ces secteurs est isolé par fermeture des vannes appropriées ; seules ne sont pas fermées les vannes situées aux points de contrôle, où des débitmètres portables sont mis en place pour mesurer la quantité d'eau qui s'écoule sur une période de 24 heures. Pour savoir s'il y a des fuites importantes, on détermine le rapport du débit nocturne minimum au débit diurne moyen et on le compare aux ratios considérés comme normaux ou à des ratios établis précédemment pour le secteur donné. Les débits d'eau liés à des usages commerciaux ou industriels continus devraient être soustraits des débits mesurés. Si tous les raccordements aux abonnés sont équipés de compteurs, on peut obtenir des données plus précises concernant les fuites en relevant les quantités d'eau écoulées et consommées dans tel ou tel secteur, et ce sur une longue période.

Les zones où se produisent des fuites importantes peuvent être déterminées par la méthode du test par étapes. Celle-ci consiste à subdiviser le secteur, puis à mesurer les débits après avoir coupé successivement l'alimentation de chacun des sous-secteurs par fermeture des vannes correspondantes. Une diminution marquée du débit indique que des fuites importantes se produisent dans le sous-secteur dont l'alimentation vient d'être coupée. Les bilans par secteur sont coûteux et exigent beaucoup de travail, car ils se font la nuit. Les bilans par secteur et les tests par étapes permettent de déterminer les zones du réseau de distribution où il y a des fuites importantes, mais il reste ensuite aux équipes de réparation à repérer celles-ci. En conclusion, Les fuites sont habituellement la cause principale des pertes qui se produisent dans les réseaux de distribution d'eau. Pour réduire les pertes économiques et les risques pour la santé publique ainsi que pour économiser l'eau, les exploitants de réseaux de distribution d'eau vérifient régulièrement ceux-ci et procèdent à la détection des fuites. Les bilans d'eau donnent une idée globale des quantités perdues et permettent de cerner les zones du réseau où se produisent des fuites importantes.[2]

I.3. Fluides

I.3.1. Définition d'un fluide

La notion de fluide repose sur les propriétés mécaniques très différentes de l'état solide et des états liquide et gazeux. Contrairement aux solides, qui ne se déforment que s'ils sont soumis à de puissantes forces, les liquides ou les gaz changent de forme beaucoup plus aisément : à l'état fluide, la matière présente la propriété de s'écouler. [3]

I.3.2. Propriétés physiques de fluide

a. Masse volumique

Quantité de la matière contenue dans une unité de volume, elle est dénotée ρ , elle est exprimée en kg.m^{-3} en SI.

b. Poids spécifique

Poids d'un fluide par unité de volume, il est dénoté γ tel que

$$\gamma = \rho \cdot g \text{ en SI } [\gamma] = \text{N.m}^{-3} \quad (\text{I.1})$$

c. Densité relative

Rapport de la masse volumique d'une substance et celle de l'eau (1000 kg.m^{-3}) pour les liquides, ou celle de l'air (ou d'hydrogène) pour les gaz. Elle est notée d (sans dimensions).

$$d = \frac{\rho \text{ fluide}}{\rho \text{ réf}} \quad (\text{I.2})$$

d. Viscosité

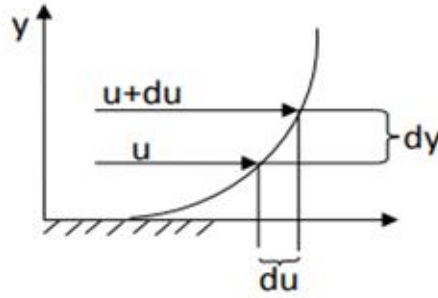
La propriété d'un fluide qui détermine sa résistance au cisaillement, c'est une mesure du frottement interne qui cause la résistance du fluide à s'écouler.

La contrainte de cisaillement est proportionnelle au gradient de vitesse (loi de Newton). [4]

$$\tau \sim \frac{du}{dy}$$

Donc :

$$\tau = \mu \frac{du}{dy}$$



Le facteur de proportionnalité « μ » est appelé le coefficient de viscosité dynamique ou viscosité dynamique.

En SI la **viscosité dynamique** est exprimée en (N.s.m⁻²)

Et En CGS en Poise avec 1 poise = 0.1 N.s.m⁻².

Viscosité cinématique

Le rapport entre la viscosité dynamique et la masse volumique du fluide

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (\text{I.3})$$

Unité : en SI : m² /s et en CGS : Stoker (1 stoke = 1 cm² /s = 10⁻⁴ m² /s)

I.3.3. Classification des fluides

Nous pouvons classier les fluides selon la **Figure (I.2)** ci-dessous [4]

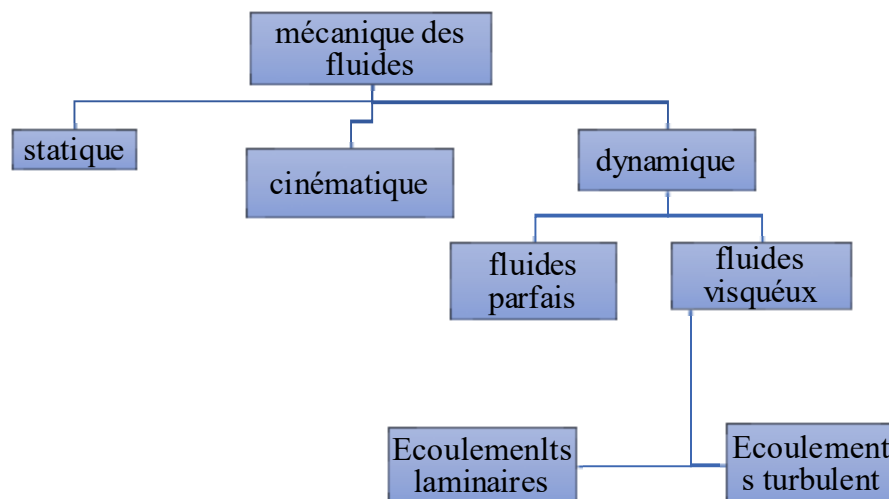


Fig. I. 2 Branches de la mécanique des fluides

I.3.3.1. Par compressibilité

La propriété physique qui permet de faire la différence entre les liquides et les gaz est la compressibilité.

a. Fluides incompressible (Les liquides)

Les liquides sont des fluides très peu compressibles et ont donc un volume propre **Figure (I.3)**.

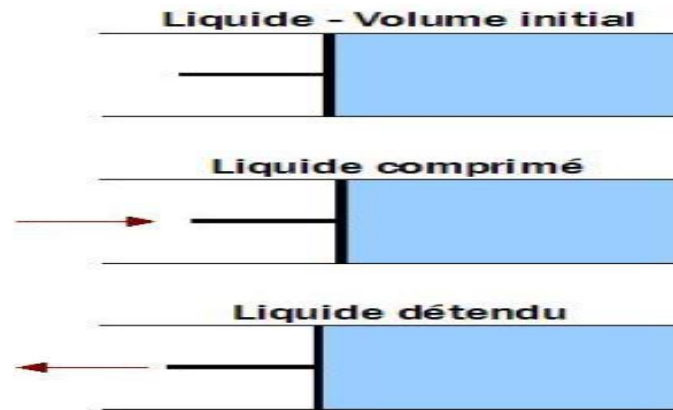


Fig. I. 3 Eau Fluide incompressible

En première approximation on pourra considérer la masse volumique invariable :

$$\rho \approx \text{Constante}$$

On appelle coefficient de compressibilité le rapport de la diminution relative de volume à l'augmentation de pression, et ce à température constante.

b. Fluides compressibles (Les gaz)

Les molécules ne sont pas liées en distance ainsi les forces permettant d'engendrer des déformations volumiques (contraction ou dilatation) sont faibles. À l'inverse des liquides les gaz sont compressibles. Le volume d'un gaz enfermé dans un piston est très sensiblement réduit lors d'une compression même infime **Figure (I.4)**.

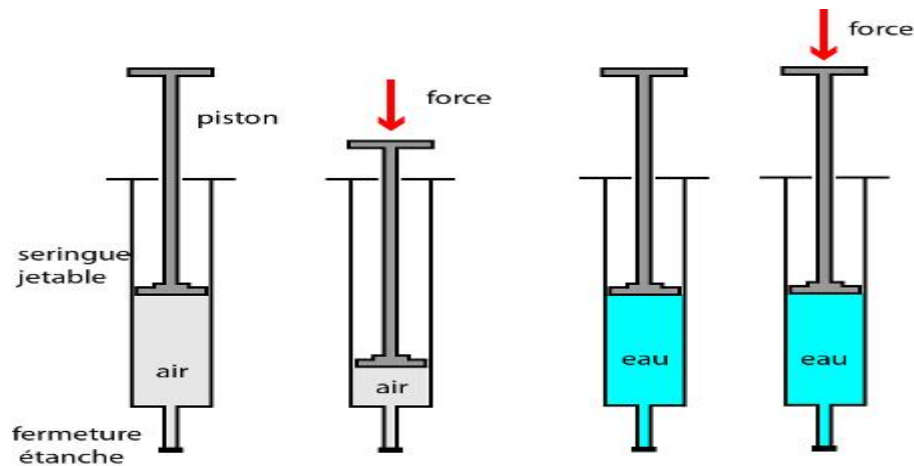


Fig. I. 4. Fluide compressible.

I.3.3.2. Par effet de viscosité

a. Fluide parfait

Est un fluide non visqueux (viscosité nulle) c'est à dire le fluide s'écoule sans aucune force de frottement résistante (interne ou externe).

b. Fluide réel

Dans un fluide réel la viscosité n'est pas négligeable et on peut distinguer deux types de fluides selon la variation de la viscosité

c. Fluide Newtonien

Tous les fluides qui obéissent à la loi de Newton de la viscosité sont appelés fluides Newtoniens.

d. Fluides Non Newtonien

Un fluide qui ne suit pas la relation linéaire entre la contrainte de cisaillement et le taux de déformation est dit fluide Non Newtonien. [4]

I.4. Divers types d'écoulement dans les conduites

I.4.1. Définition d'écoulement

En mécanique des fluides, un écoulement est la modélisation du déplacement d'un fluide, il est caractérisé par la donnée de ses champs vectoriels et scalaires, comme son champ de vitesses, son champ de pression, ou son champ de température.

On distingue généralement deux types d'écoulements : les écoulements laminaires et les écoulements turbulents.

I.4.2. Expérience de Reynolds

Dans cette expérience, Reynolds a mené des observations en injectant un colorant à travers un capillaire dans une conduite, avec une vitesse égale à celle du fluide qui y circule. Il a noté que pour différentes vitesses d'écoulement :

- À faible vitesse, les filets de liquide demeurent parallèles à l'axe de la conduite, sans se mélanger avec le colorant. C'est ce qu'on appelle le régime laminaire.
- À des vitesses plus élevées, le filet de colorant commence à osciller de manière de plus en plus désordonnée. C'est ce qu'on qualifie de régime intermédiaire ou transitoire.
- À grande vitesse, les filets de liquide se mélangent instantanément avec le colorant en raison des turbulences qui se forment à la sortie du capillaire. On parle alors de régime turbulent.

Cette expérience démontre les différents régimes d'écoulement des fluides en fonction de la vitesse, allant du régime laminaire au régime turbulent, et elle est fondamentale pour la compréhension des phénomènes de transport dans les conduites **Figure (I.5)**. [5]

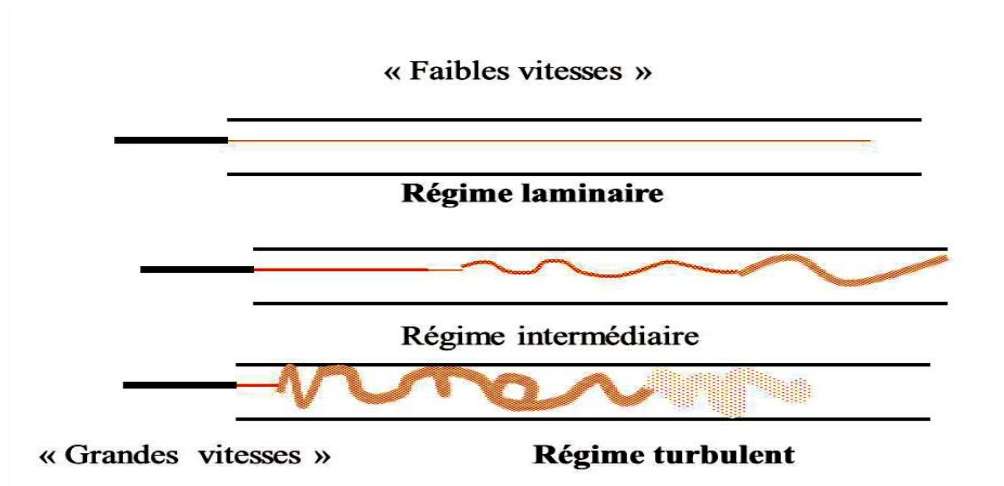


Fig. I. 5. Visualisation de principaux types de régime d'écoulement

Pour un fluide en mouvement constant à l'intérieur d'un conduit de forme spécifique, entièrement rempli de liquide, on observe les mêmes phénomènes. Au-delà d'une vitesse critique, un changement de régime d'écoulement se produit, passant du régime laminaire au turbulent en traversant une phase intermédiaire sur une plage étroite de vitesses. Ces différents types d'écoulement sont illustrés dans la **Figure (I.6)**.

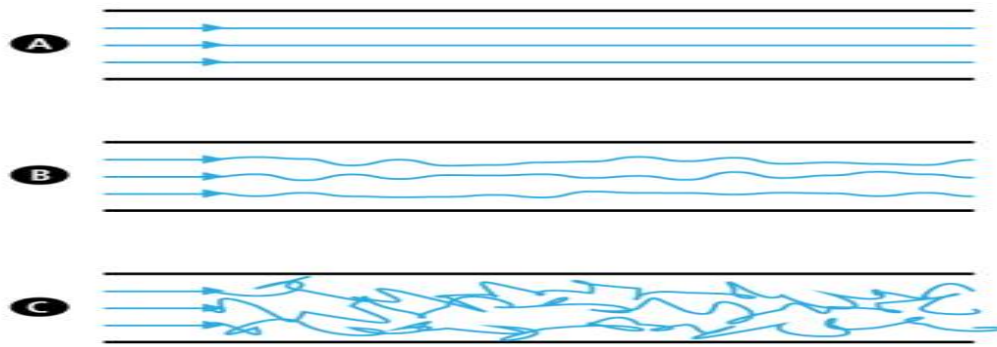


Fig. I. 6. Principaux types de régime d'écoulement dans une conduite

(A) Écoulement laminaire ; (B) Écoulement intermédiaire ; (C) Écoulement turbulent

I.4.2.1 Nombre de Reynolds

Les différents modes d'écoulement ont été observés pour la première fois par Osborne Reynolds en 1883, d'abord de manière qualitative à travers l'expérience illustrée dans la figure (I), puis de manière quantitative. Reynolds a démontré que la transition d'un régime à un autre dépendait du diamètre de la conduite (D), de la vitesse moyenne d'écoulement du fluide (u), de sa masse volumique (ρ) et de sa viscosité dynamique (μ). Ces paramètres sont combinés dans un nombre sans dimension appelé le nombre de Reynolds (Re), qui représente le rapport entre les forces d'inertie surfaciques (ρu^2) et les forces de viscosité surfaciques. Cette grandeur adimensionnelle est exprimée par la relation suivante :

$$Re = \frac{U.D.P}{\mu} = \frac{U.D}{\nu} \quad (I.4)$$

- Diamètre intérieur de la conduite en (m),
- Vitesse moyenne d'écoulement en (m/s),
- Masse volumique du fluide en (kg/m^3)
- Viscosité dynamique en (Pas)
- Viscosité cinématique en (m^2/s).

L'expérience montre que :

Tableau. I. 1 Les différents régimes d'écoulement

Nombre de Reynolds	Type de régime
$Re < 2000$	Laminaire
$2000 < re < 3000$	Intermédiaire
$Re > 3000$	Turbulent

I.4.2.2. Écoulement laminaire

L'écoulement laminaire, aussi connu sous les termes lamellaire, tranquille, visqueux ou de Poiseuille, se manifeste à des vitesses faibles. Dans ce mode d'écoulement, le fluide se déplace en couches ou en filets distincts, conservant leur caractère individuel et glissant les uns sur les autres sans se mélanger. On pourrait le comparer à des tubes emboîtés se déplaçant à différentes vitesses mais tous parallèles dans la direction du flux. La vitesse du fluide est nulle au niveau de la paroi du conduit et atteint son maximum au centre du tube, suivant une distribution parabolique **Figure (I.7)**.

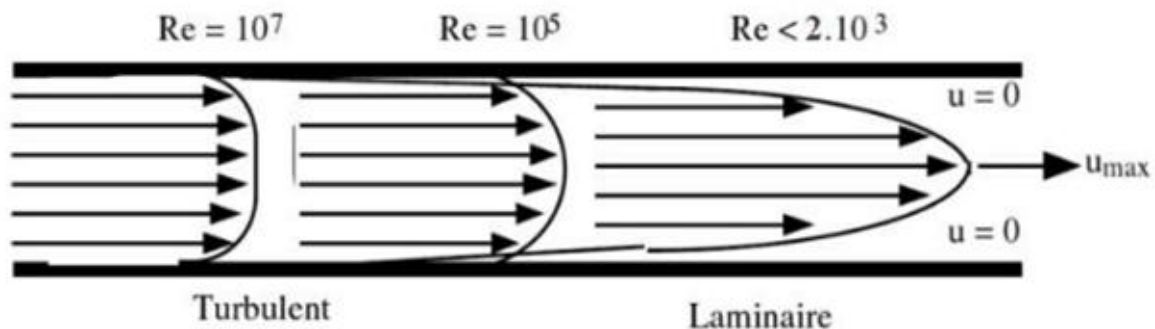


Fig. I. 7. Distribution des vitesses d'écoulement en régimes laminaire et turbulent.

Le régime d'écoulement laminaire est rarement observé dans l'industrie en raison de la faiblesse des vitesses, de la viscosité élevée, ou des exigences de petits diamètres des tubes. Il demeure plutôt un modèle théorique utilisé pour faciliter les calculs.

I.4.2.3 Écoulement intermédiaire

L'écoulement intermédiaire, également connu sous le nom d'écoulement transitoire ou incertain, se caractérise par un nombre de Reynolds compris entre 2000 et 3000. Dans cette plage, l'écoulement est instable, passant de manière alternative entre un état laminaire et un état

turbulent. Dans cet intervalle, les petites perturbations s'amortissent progressivement jusqu'à ce que l'écoulement redevienne laminaire.

I.4.2.4 Écoulement turbulent

L'écoulement turbulent, également désigné comme écoulement tourbillonnaire ou hydraulique, survient à des vitesses moyennes à élevées, caractérisées par la formation de tourbillons plus ou moins chaotiques. Ces tourbillons sont générés par les frottements entre les différentes couches de fluide. Bien que les vitesses d'écoulement restent parallèles, comme dans le cas de l'écoulement laminaire, celui-ci est perturbé sur une fine couche près des parois lisses, où l'écoulement laminaire persiste, mais des tourbillons sont observés au centre de la conduite. La figure (I.7) illustre les variations de la distribution des vitesses d'écoulement en fonction du nombre de Reynolds.

I.5 Equation de Bernoulli

I.5.1 Définition

Le théorème de Bernoulli pose la base de la dynamique des fluides et plus généralement de **la mécanique des fluides**. Il permet d'expliquer de nombreux phénomènes, notamment en aérodynamique. Par le théorème de Bernoulli, plusieurs lois et effets sont associés à la mécanique des fluides : l'effet Magnus, l'effet Venturi, le tube de Pitot ou encore la loi de l'hydrostatique. [5]

I.5.2. Le principe de Bernoulli

Établi en 1738 par **Daniel Bernoulli**, le principe de Bernoulli fait le lien entre la vitesse d'un fluide et sa pression en un point donné. La formulation mathématique permet d'analyser l'écoulement permanent d'**un fluide incompressible**.

L'application de l'équation de Bernoulli entre deux points (1) et (2) d'un écoulement stationnaire de fluide parfait et incompressible dans une conduite horizontale de section constante, donne $P_1 = P_2$ (puisque $z_1 = z_2$ et $V_1 = V_2$). Cependant, les mesures expérimentales montrent que la pression au point 2 diminue (voir Δh dans la **Figure (I.8)**). Ce phénomène s'explique par le fait que, lors d'un écoulement de fluide réel ($\mu \neq 0$) dans une conduite, les forces de frottement (viscosité) entre la paroi et le fluide et entre les particules du fluide eux-mêmes dissipent une partie de l'énergie utile sous forme de chaleur. Cette dissipation se traduit par l'existence de ce qu'on appelle 'perte de charge'.

En général, le dimensionnement des conduites implique principalement le calcul du débit, de la vitesse, du diamètre et de la perte de charge. Ce même phénomène est également observé

lorsque l'écoulement traverse des perturbations de parcours, telles que des changements de sections **Figure (I.8)**.

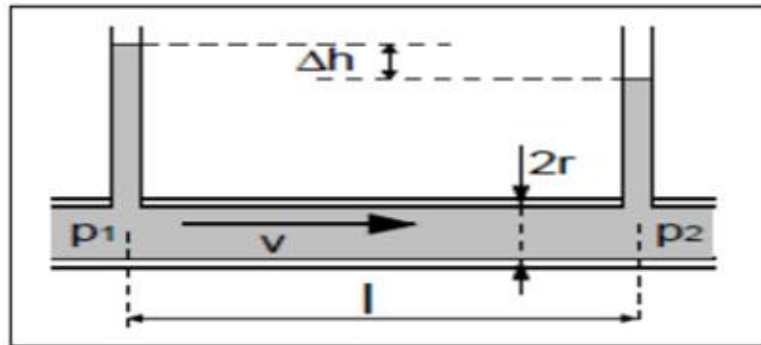


Fig. I. 8. Un écoulement stationnaire de fluide parfait dans une conduite horizontale de section constante.

I.5.3. Formule énoncée par le théorème de Bernoulli

Pour un écoulement caractérisé par les conditions suivantes :

- Fluide parfait (non visqueux)
- Incompressible (masse volumique constante)
- En régime stationnaire
- Absence de transfert d'énergie sous forme de chaleur V.

La quantité de Bernoulli peut être vérifiée par cette équation :

$$\frac{v^2}{2g} + \frac{P}{\rho g} + gZ = \text{cte} \quad \left[\frac{J}{Kg} \right] \quad (\text{I.5})$$

$\frac{v^2}{2g}$: L'énergie cinétique par unité de masse.

$\frac{P}{\rho g}$: Représente le travail des forces de pression par unité de masse de fluide.

gZ : L'énergie potentielle par unité de masse.

Cette équation est généralement considérée comme un principe de conservation de l'énergie pour les fluides en mouvement. Elle exprime que les pressions et les forces mécaniques constituent un ensemble de pressions examiné par unité de volume. Cette somme de pressions reste constante le long du conduit.

I.6. Types des réseaux

I.6.1. Définitions

Le canal est le chemin parcouru par un produit pour atteindre le consommateur final, tandis que le circuit est l'ensemble des canaux de distribution par lesquels s'écoulent ces biens entre le producteur et le consommateur ultime, un réseau de distribution d'eau comporte divers types de conduites, qu'on classe selon leur fonction et en pratique, selon leur diamètre [6].

a. Conduites principales

Les conduites principales relient la station de purification ou bien les postes de pompage aux divers quartiers de la ville. Ils ont dans la plupart des cas 350 mm ou plus de diamètre.

b. Conduites secondaire

Raccordées aux conduites principales avec lesquelles elles forment des réseaux maillés, ont 250 ou 300 mm de diamètre. Elles sont distantes les unes des autres d'environ 1000 m.

c. Conduites locales

Les conduites locales sont les plus petites des conduites d'un réseau ; leur diamètre ne peut cependant être inférieur à 150 mm si on veut assurer la protection contre les incendies comme leur nom l'indique. Les conduites locales ne desservent que quelque rue

I.6.2 Types des réseaux de distribution d'eau

Il s'agit de conduites en charge. Ces réseaux sont classés selon le schéma adopté et le principe d'interconnexion des conduites.

a. Réseaux ramifiés

Le réseau ramifié **Figure (I.9)** est constitué d'une conduite principale et des conduites secondaires branchées tout le long de la conduite principale. C'est un réseau arborescent (ramifié) qui n'assure aucune distribution de retour. Il suffit qu'une panne se produise sur la conduite principale, toute la population à l'aval sera privée d'eau.

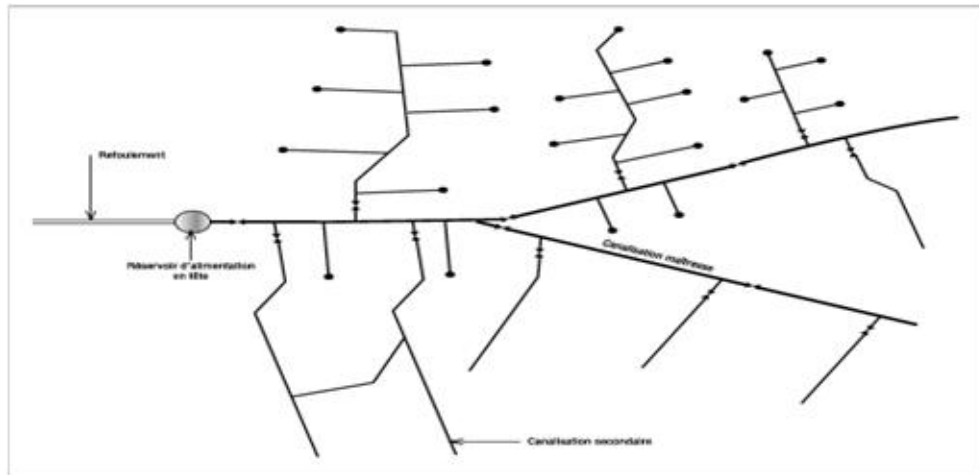


Fig. I. 9. Schéma d'un réseau de distribution en eau potable ramifié.

b. Réseaux maillés

Ce type de réseau **Figure (I.10)** généralement retenu pour la distribution d'eau de ville. Peut également être sélectionné pour la fourniture d'eau d'irrigation. Ils sont bien adaptés à la distribution « à la demande ». Les réseaux maillés assurent une plus grande sécurité de fonctionnement car il est toujours possible d'assurer le débit en un point quelconque du réseau dans un sens ou dans l'autre et dans le cas de la rupture de la conduite, il est possible de fournir un débit réduit depuis l'autre extrémité de la bouche.

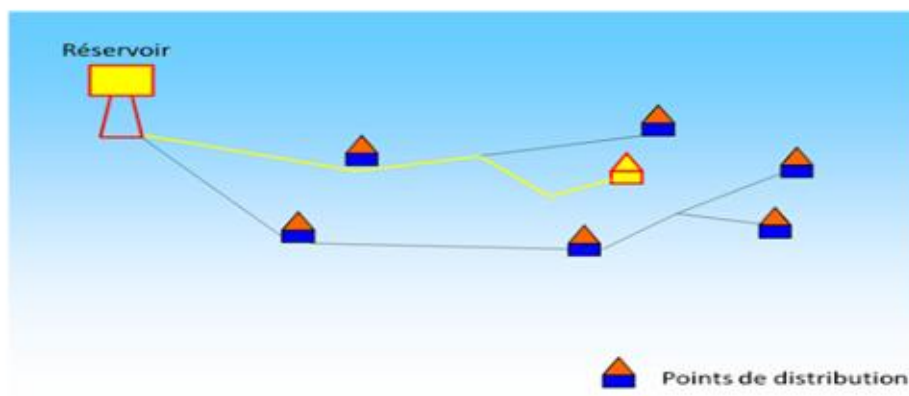


Fig. I. 10. Schéma d'un réseau de distribution en eau potable maillé.

c. Réseaux mixtes

Ces réseaux peuvent être ramifiés au niveau de l'adduction principale ou secondaire - qu'il s'agisse de canaux ou de conduites - et ensuite maillés au niveau des tertiaires.

d. Réseaux étagés

Le réseau étagé est caractérisé par les différences de niveau très importantes. Ce qui fait la distribution de l'eau par le réservoir donne des fortes pressions au point le plus bas (norme de pressions ne sont pas respectées). En effet ce système nécessite une installation d'un réservoir intermédiaire alimenté par le premier qui permet de régulariser la pression dans le réseau. N'importe quelle combinaison de canaux et de conduites peut former un réseau, le choix étant fonction surtout de la topographie. Dans ce cas, cependant, les canaux sont toujours situés en amont des conduites.

I.6.3. Les caractéristiques du réseau de distribution

I.6.3.1. Age des canalisations

Le vieillissement des canalisations et de leurs accessoires est par nature, inévitable : les matériaux se dégradent ou se fragilisent au fil du temps, l'environnement évolue et les terrains bougent. Cependant, le vieillissement ne dépend pas que de l'âge de la conduite mais aussi de son environnement : il existe des canalisations de plus de cent ans d'âge en très bon état et d'autres de dix ans à peine qui sont déjà hors usage. Car ils sont situés en terrain instable ou agressif.

Des qualités intrinsèques des matériaux : résistance à la corrosion insuffisante, mauvais revêtement de surfaces ...etc.

Des conditions d'exploitation et de pose du réseau : remblayages exécutés avec des matériaux inadéquats et sans précautions, coups de bélier. [7]

I.6.3.2 Nature des canalisations

Il existe trois grandes familles de matériaux : métalliques ; à base de ciment ; organiques.

a. Les matériaux métalliques

Conduites en métal ferreux nu (fontes ou aciers anciens), plomb, cuivre, acier galvanisé...etc. Interactions complexes, les réactions de corrosion toutes à l'émission d'ions métalliques dans l'eau et entraînent :

La formation d'hydrocarbonates ou d'hydroxyphates peu solubles pour les matériaux comme le plomb, le cuivre et zinc.

La précipitation des ions ferriques pouvant provoquer le percement des parois des conduites en métal ferreux.

La formation d'incrustations (diminution du diamètre).

b. Les matériaux à base de ciment

Du fait de la grande porosité de ces matériaux, l'eau retenue dans les pores dissout les bases et la chaux, contenues dans le matériau. Ainsi, au passage de l'eau, ces bases se dissolvent dans le courant d'eau dont elles augmentent le PH de quelques dixièmes d'unités. Ce phénomène est surtout observé dans les mois qui suivent la mise en service du réseau. Par ailleurs, au contact d'eau très agressive, les matériaux à base de ciment se dégradent et le sable de surface se détache des parois. Ce sable est ensuite entraîné dans l'eau distribuée.

c. Les matériaux organiques

Conduites en matériaux plastiques et revêtements organiques. Les interactions entre ces matériaux et l'eau se limitent le plus généralement à la migration de substances présentes dans le matériau ou provenant de l'environnement et ayant pu le traverser. Les matériaux utilisables pour les réseaux d'eau potable sont les suivants :

- Acier : NF EN 10224 ;
- Béton : NF EN 639, 640, 641, 642 ;
- Fonte : NF EN 545 ;
- Polyester renforcé de fibres de verre (PRV) : NF EN 1796 ;
- Polyéthylène haute densité (PE-HD) : Norme NF EN 12201 ;
- Polychlorure de vinyle (PVC) : NF T54-034.

I.6.4. Eléments particulier des réseaux**a. Pose des canalisations**

- Les tuyaux utilisés dans les réseaux de distribution sont les mêmes utilisés pour les conduites d'adductions, mais généralement on utilise les conduites en matières plastiques (PVC, Polyéthylène) pour les diamètres inférieurs à 400 mm, et le BP, fonte, PRV pour les diamètres supérieurs à 400 mm. Les conduites de distribution sont généralement enterrées sous les trottoirs de 1 à 1,5 m de profondeurs.
- Exceptionnellement pour les grands diamètres et pour les petites ruelles on peut poser les conduites sous la chaussée.
- Dans le cas d'une rue importante, une canalisation peut être posée sous chaque trottoir, pour éviter la traversée de la chaussée pour chaque branchement.
- Garder une distance minimale (0,2 à 0,5 m) des autres canalisations (conduites d'assainissement, câbles électriques, câble téléphonique,).

b. Branchements

- L'alimentation en eau des consommateurs se fait par des petites ramifications appelées branchements.
- Le diamètre de ces branchements est déterminé en fonction du débit nécessaire à l'alimentation de l'abonné. En général pour un abonné particulier on utilise de DN 15 mm
- Actuellement on utilise des conduites en PEDH pour le raccordement de l'abonné à la conduite de distributions.

I.6.5. Pertes dans les réseaux

La lutte contre les pertes et l'économie de l'eau nécessite d'abord la connaissance de toutes les formes de pertes, leurs quantifications par des outils fiables.

I.6.5.1. Les Pertes en production

C'est certainement au niveau de la distribution que les pertes sont importantes dus aux :

- Les fuites sur réseau (conduites et branchements)
- Le défaut de comptage
- Branchements clandestins.

a. Les fuites sur les réseaux :

Ils sont dus

- Mouvement du sol
- Corrosion la conduite
- Trafic routier
- Pression de service importante
- Ages des conduites.

b. Défauts de comptage :

- Défectuosité des compteurs
- Sous-comptage
- Volume non comptabilise.

I.6.6. Accessoires de réseau**a. Réservoir**

Le réservoir de stockage est un bassin qui se remplit au cours des faibles consommations et qui se vide pendant les périodes de fortes consommations journalières. Le réservoir présente deux utilités (technique et économique) par les multiples fonctions qu'il remplit [6]

- Fonctions techniques : il permet

- La régulation du débit pour tous les ouvrages qui se situent en amont et en aval de lui.
- La régulation de la pression dans le réseau de distribution.
- L'assurance de la continuité de l'approvisionnement en cas de panne dans les ouvrages situés dans la partie amont.
- La participation au traitement (utilisation de réactifs).
- Fonctions économiques : il permet
 - La réduction des investissements sur tous les autres ouvrages du réseau d'A.E.P.
 - La réduction des coûts de l'énergie. La capacité d'un réservoir dépend du mode d'exploitation des ouvrages de la partie amont et de la variabilité de la demande. Pour l'emplacement d'un réservoir, selon que l'agglomération est située en plaine ou en terrain accidenté, il peut être soit enterré, soit semi-enterré, soit surélevé.

b. Pompe

Une pompe est un dispositif auquel l'énergie mécanique est appliquée et transférée à l'eau en tant que charge hydraulique. La charge supplémentaire s'appelle la charge de pompe et est une fonction du débit de la pompe. Les pompes centrifuges sont plus souvent les pompes utilisées dans des systèmes d'alimentation en eau.

c. Joints

Ils ont pour fonction d'assurer l'étanchéité des jointures des tuyaux et faire face aux sollicitations mécaniques et chimiques. Pour cela, ils doivent épouser parfaitement la loge qui leur est destinée. Les joints constituent la partie la plus fragile de la canalisation à cause de leur souplesse ; tout mouvement du tuyau s'articule sur le joint, ce qui provoque en lui des usures mécaniques. L'action des produits chlorés de l'eau et le dessèchement induisent le vieillissement des joints. Il existe trois principaux types de joints : mécaniques, à emboîtement et à bride. Les joints mécaniques ou à emboîtement sont utilisés pour relier les conduites enfouies dans le sol, alors que les joints à bride sont utilisés pour raccorder des tronçons à l'intérieur des constructions station de pompage, station de traitement. etc.

d. Vanne

Elles permettent de maîtriser les écoulements dans le réseau, donc de mieux gérer celui-ci. Il existe plusieurs types de vannes qui satisfont à des besoins variés :

- Les vannes d'isolement : permettent d'isoler certains tronçons qu'on veut inspecter, réparer ou entretenir. On distingue deux types : les robinets à papillon pour les conduites de gros diamètres et les robinets-vannes pour les conduites de petits diamètres.
- Les vannes à clapets de non-retour : permettent de diriger l'écoulement dans un seul sens. Elles sont installées sur les conduites de refoulement.

- Les vannes de réduction de pression : permettent de réduire la pression à une valeur prédéterminée.

I.6. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté une vue générale sur la mécanique des fluides et les différents écoulements à travers les conduites de différentes natures. Le nombre de Reynolds, est essentielle pour comprendre les comportements des fluides en mouvement. Ce nombre met en évidence la transition entre les écoulements laminaires et turbulents, déterminée par le rapport entre les forces d'inertie et les forces visqueuses. Le théorème de Bernoulli offre un outil précieux pour analyser les variations de pression, de vitesse et d'altitude le long d'un écoulement fluide, fournissant ainsi des informations cruciales sur le comportement des fluides dans diverses conditions.

En ce qui concerne les types d'écoulements, nous avons les écoulements laminaires et turbulents, chacun caractérisé par des profils de vitesse et des pertes de pression spécifiques. Ces types d'écoulements sont d'une importance fondamentale dans de nombreux domaines, notamment l'ingénierie, la météorologie et la biologie.

Enfin, en ce qui concerne les réseaux de canalisation, il existe différents types de réseaux en fonction de leur structure, de leur fonction et de leur utilisation spécifique, tels que les réseaux d'eau potable, les réseaux d'assainissement, et les réseaux de distribution industrielle. Chaque type de réseau présente des caractéristiques uniques et nécessite une conception et une gestion appropriées pour assurer un fonctionnement efficace et fiable.

Dans le chapitre suivant, nous détaillons les notions de base des capteurs en se concentrons sur les capteurs de pression qui vent être utilisé dans notre application. Nous traitons également quelques notions de traitement de signal tel que les types de filtre. Ces derniers sont généralement utilisés pour éliminer les bruits entachés et exploiter uniquement le signal utile de la fuite.

Chapitre II:

Notions sur les capteurs de pression et les types de filtrages

II.1 Introduction

Les capteurs jouent un rôle de plus en plus important, car ce sont eux qui permettent de mesurer les effets des phénomènes physiques de toutes natures qui agissent sur l'environnement de l'homme. Avec l'évolution de la technologie, l'électronique en particulier, leur importance s'accroît, car ils permettent d'assurer la liaison homme-machine-environnement. Dans ce chapitre des notions de base sur les capteurs sont présentées en rappelant tout d'abord les principes de base qu'ils utilisent et leurs principales caractéristiques afin de faciliter leurs choix. En particulier ceux utilisés pour détecter les fuites dans les réseaux de distribution. Nous avons envisagé d'utiliser des capteurs de pression plutôt que les capteurs de vibrations ou les capteurs acoustiques à cause de leurs performances. La deuxième partie est dédiée au traitement de signal surtout le filtrage qui joue un rôle important pour éliminer les bruits entachés aux signaux afin que la détection d'une fuite et sa localisation soit efficace.

II.2 Pression

II.2.1 Définition de pression

La pression est en effet une grandeur physique dérivée du Système International (SI), et elle est définie comme le rapport entre une force appliquée et la surface sur laquelle cette force agit. La pression est une mesure de la répartition de la force sur une surface donnée, et elle est perpendiculaire à cette surface. Cette notion est fondamentale dans de nombreux domaines, tels que la physique, la mécanique des fluides, l'aérodynamique, etc.

$$P = \frac{F}{S} \quad (\text{II.1})$$

- P : La pression (Pascal)
- F : La force (Newton)
- S : La surface (mètre carré)

II.2.2 Différentes unités de pression

L'unité de pression dans le système international d'unités est le pascal (Pa), en l'honneur de Blaise Pascal. Un pascal est la pression exercée par une force totale d'un newton agissant uniformément sur une surface d'un mètre carré ($\text{Pa} = \text{N} / \text{m}^2$).

Il existe plusieurs unités de mesure pour la pression. Voici quelques-unes les plus courantes :

Tableau. II.1 Conversion d'unités (Pascal, Bar, Atmosphère)

	Pascal (Pa)	Bar (b)	Atmosphère
(1 pascal) ¹	1	10 ⁻⁵	9,869 10 ⁻⁶
(1 bar) ²	10 ⁵	1	0,987167
(1kgf/cm ²) ³	98039	0,9803	0,968
(1atmosphère) ⁴	101 325	1,0133	1
(1 cm d'eau) ⁵	98,04	980 10 ⁻⁶	968 10 ⁻⁶
(1 mm de Hg) ⁶	133	1,333 10 ⁻³	1,316 10 ⁻³
(1mb) ⁷	102	10 ⁻³	987 10 ⁻⁶
(1 inch Hg) ⁸	3,386 10 ³	33,86 10 ⁻³	33,42 10 ⁻³
(1 psi) ⁹	6892	68,9 10 ⁻³	68 10 ⁻³
(1 torr) ¹⁰	133	1,33 10 ⁻³	1,316 10 ⁻³

II.2.3 Différents types de pression

- **Pression absolue**

C'est la pression mesurée en référence à une pression nulle. Cela implique un espace sans air, tel qu'il existe par exemple dans l'immensité de l'univers ou dans un vide absolu. Par conséquent, la pression mesurée est toujours supérieure à la pression de référence. Pour distinguer clairement la pression absolue des autres formes de pression, elle est souvent notée avec l'indice "abs" : P abs.

- **Pression atmosphérique**

Également appelée (pression barométrique), est en moyenne d'environ 1013 millibars au niveau de la mer et à une température de 15 degrés Celsius. Elle peut varier d'environ ± 25 millibars en fonction des conditions météorologiques telles que la pluie ou le beau temps. De plus, la pression atmosphérique varie en fonction de l'altitude selon le principe de l'hydrostatique.

- **Pression relative**

Elle représente la variation de pression par rapport à la pression atmosphérique. Elle est couramment utilisée car la plupart des capteurs sont exposés à la pression atmosphérique. En revanche, pour référence spécifique.

- **Pression différentielle**

C'est une différence entre deux pressions, dont l'une mesurer une pression absolue, il est nécessaire de créer un vide complet dans une chambre de

Sert de référence. Une pression différentielle peut prendre une valeur négative.

- **Vide**

En termes de pression, désigne un état où la pression est inférieure à la pression atmosphérique normale. Cela signifie qu'il y a très peu ou pas de particules présentes dans un espace donné, créant ainsi une pression très basse ou nulle. Le vide peut être créé artificiellement en retirant les particules d'un espace clos à l'aide d'une pompe à vide ou d'autres méthodes de dépressurisation.

- **Pressions de service ou la pression dans la conduite**

Correspond à la force appliquée par unité de surface sur une paroi par un fluide s'écoulant de manière parallèle à celle-ci **Figure (II.1)**.

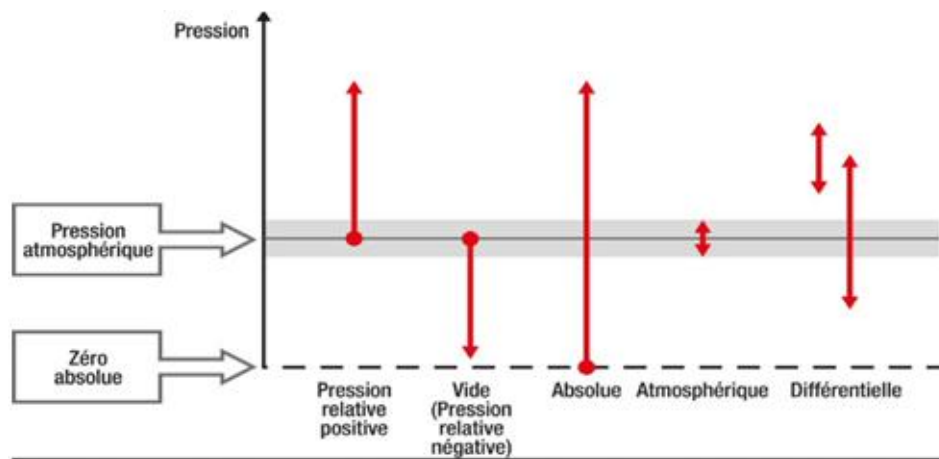


Fig. II. 1 Types de pression.

- **Pression pour les fluides (liquide et gaz)**

La pression pour les fluides, qu'ils soient liquides ou gazeux, représente la force exercée par unité de surface. Cette force est générée par les particules du fluide en mouvement et s'exerce dans toutes les directions. En général, la pression dans un liquide est due à son poids et à la profondeur à laquelle il se trouve, tandis que dans un gaz, elle est causée par les collisions des particules avec les parois du conteneur et entre elles.

- **Pression hydrostatique**

La pression hydrostatique est la pression exercée par un fluide en raison de sa propre gravité lorsqu'il est en équilibre. Elle dépend de la densité du fluide, de la hauteur de la colonne de fluide au-dessus du point considéré et de la constante gravitationnelle. Cette pression augmente avec la profondeur sous la surface du fluide, selon la formule

$$P = \rho \cdot g \cdot h \quad (\text{II.2})$$

Où P est la pression, ρ est la densité du fluide, g est l'accélération due à la gravité et h est la hauteur de la colonne de fluide **Figure (II.2)**.

$$P_{Pa} = \rho \text{ Kg/m}^3 \times g_{m/s^2} \times h_m \quad (\text{II.3})$$

$$P_1 = P_2 = P_3 = P_4 \quad (\text{II.4})$$

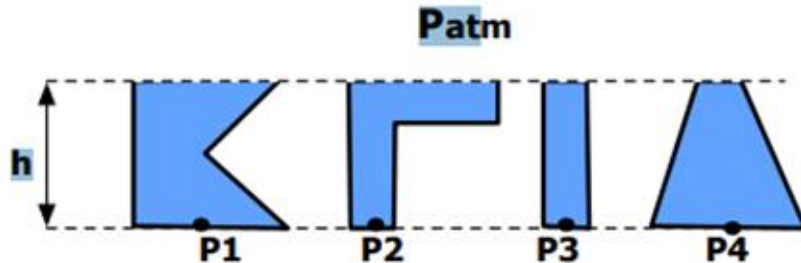


Fig. II. 2 Pression hydrostatique.

- **Due à des forces extérieures**

Un fluide se déplaçant à une vitesse V crée une pression supplémentaire P :

$$P_{Pa} = 0,5 \times \rho \text{ Kg/m}^3 \times V^2_{m/s} \quad (\text{II.5})$$

- **Pression total - Charge**

C'est la somme de la pression hydrostatique, de la pression due aux forces extérieures et de la pression hydrodynamique. Celle-ci a la même valeur en tous points pour un fluide en mouvement horizontal (incompressible de viscosité négligeable), c'est le théorème de Bernoulli **Figure (II.3)**.

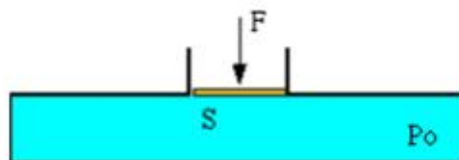


Fig. II .3 Pression due à des forces extérieures.

II.3. Capteur

II.3.1 Définition

Un capteur est un dispositif conçu pour détecter ou mesurer une grandeur physique et convertir cette information en un signal utilisable. Les capteurs sont largement utilisés dans de nombreux domaines tels que l'automobile, l'électronique, la médecine, l'industrie, etc. Ils peuvent mesurer une variété de grandeurs telles que la température, la pression, la lumière, le mouvement, etc. Leur fonctionnement repose souvent sur des principes physiques ou chimiques

qui permettent de transformer une forme d'énergie en une autre, généralement électrique, qui peut ensuite être interprétée par des systèmes électroniques **Figure (II.4)**.

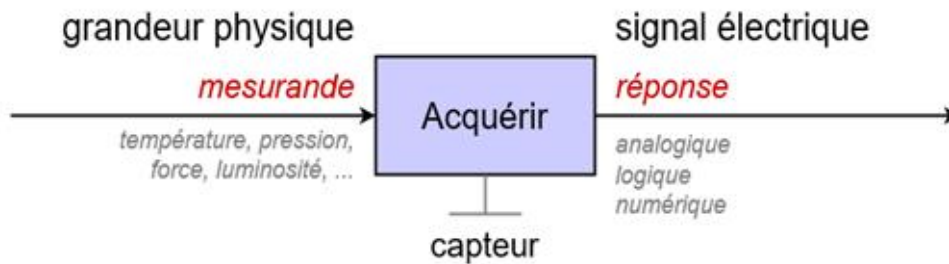


Fig. II. 4 Schéma de principe de fonctionnement d'un capteur

II.3.2 Classification de capteur

Les capteurs peuvent être classés de différentes manières en fonction de plusieurs critères, notamment leur domaine d'application, leur principe de fonctionnement, leur signal de sortie, etc. Voici quelques classifications courantes des capteurs :

II.3.2.1 Domaine d'application

- **Capteurs industriels**

Utilisés dans des applications industrielles telles que la surveillance des processus de fabrication, le contrôle de la qualité, etc.

- **Capteurs automobiles**

Spécifiquement conçus pour les véhicules, par exemple, les capteurs de vitesse, de pression des pneus, etc.

- **Capteurs environnementaux**

Utilisés pour surveiller les conditions environnementales telles que la température, l'humidité, la qualité de l'air, etc.

II.3.2.2 Principe de fonctionnement

- **Capteurs de contact**

Ils nécessitent un contact physique direct avec l'objet ou le milieu à mesurer, comme les capteurs de pression.

- **Capteurs sans contact**

Ils peuvent mesurer une grandeur sans contact physique direct, par exemple, les capteurs de proximité magnétiques ou les capteurs optiques.

- **Capteurs actifs**

Ils nécessitent une source d'énergie externe pour fonctionner, tels que les capteurs ultrasoniques.

- **Capteurs passifs**

Ils ne nécessitent pas de source d'énergie externe et produisent une sortie en réponse à un stimulus, par exemple, les capteurs de température à thermistance.

II.3.2.3 Signal de sortie

- **Capteurs analogiques**

Produisent une sortie qui varie de manière continue en fonction de la grandeur mesurée, tels que les capteurs de tension ou de courant.

- **Capteurs numériques**

Produisent une sortie sous forme de valeurs discrètes ou numériques, par exemple, des données binaires ou des valeurs numériques directement exploitables par un microcontrôleur.

II.3.2.4 Type de grandeur mesurée

- **Capteurs de température**

Mesurent la température ambiante ou d'un objet.

- **Capteurs de lumière**

Détectent la présence, l'intensité ou la couleur de la lumière.

- **Capteurs de mouvement**

Détectent le mouvement d'un objet ou d'une personne.

- **Capteurs de pression**

Mesurent la pression d'un fluide ou d'un gaz.

II.3.3 Capteur de pression

II.3.3.1 Définition

Par conséquent, un capteur de pression est un instrument composé à la fois d'un élément sensible à la pression pour déterminer la pression réelle appliquée au capteur et de certains composants pour convertir cette information en un signal de sortie.

II.3.3.2 Fonction de capteur de pression

Les transmetteurs de pression industriels jouent un certain nombre de rôles dans le domaine industriel. Ils peuvent être utilisés pour mesurer et surveiller la pression, contrôler et ajuster la pression, détecter des fluides dans les processus industriels et fournir des alarmes et des alertes en cas de changement de pression.

II.3.3.3 Différentes technologies de capteurs de pression

- **Capteur de pression piézorésistifs**

Ces capteurs sont construits à partir d'un matériau résistif qui change de résistance en réponse à une pression appliquée. Ce changement de résistance peut être mesuré et converti en un signal numérique, ce qui permet à l'utilisateur d'avoir une vue d'ensemble de la situation.

Ils se retrouvent dans une grande variété d'applications, de l'automobile aux dispositifs médicaux.

- **Capteur de pression capacitif**

Ils mesurent la pression en utilisant le principe de la capacité électrique. Une membrane, souvent en acier inoxydable, hastelloy C ou tantale, reçoit la pression à mesurer. Cette pression déforme la membrane, changeant la distance entre deux conducteurs à l'aide d'un liquide de remplissage. Cette variation de capacité est détectée et convertie en un signal numérique pour la mesure de la pression.

Capteurs sont largement utilisés dans diverses industries telles que le pétrole et le gaz, l'énergie, l'agroalimentaire, l'eau et l'environnement, le ciment, ainsi que le papier et le carton.

- **Capteur de pression résistif à couche mince**

Ces capteurs fonctionnent avec une couche très fine de matériau résistif pour mesurer la pression appliquée. Cette couche n'a généralement que quelques centaines de nanomètres d'épaisseur, ce qui la rend très sensible aux changements de pression.

Ils sont souvent utilisés dans les solutions industrielles, où l'exactitude et la précision sont essentielles.

Capteur de pression à fibre optique :

Ces capteurs de pression à fibre optique mesurent la pression en utilisant des fibres optiques. Lorsque la lumière traverse une fibre, ses propriétés, comme la longueur d'onde, changent en fonction de la pression sur la fibre. En mesurant ce changement, la pression peut être précisément déterminée.

Ils sont couramment utilisés dans des applications telles que les systèmes hydrauliques et les gazoducs pour mesurer la pression.

- **Capteur de pression hydrostatique**

Un capteur de pression hydrostatique, le fluide est contenu dans une chambre étanche.

Lorsqu'une pression est appliquée sur la membrane de la chambre, elle déforme les parois de

la chambre, ce qui entraîne une modification de la mesure de la hauteur du fluide. Ce changement peut être mesuré et converti en un signal numérique.

Il est souvent utilisé dans les process et les solutions de mesure de niveau sur les cuves et les réservoirs.

II.3.3.4 Signaux de sortie des capteurs de pression

Les signaux de sortie d'un transmetteur de pression peuvent varier, mais il s'agit généralement d'un courant ou d'une tension analogique ou d'un signal numérique.

Le signal de sortie en tension analogique est généralement un signal continu qui varie en fonction de la pression appelée.

II.4 Boucle 4-20 m A

La boucle de courant de 4 à 20 mA, **Figure (II.5)** est une interface analogique qui reste la méthode la plus courante pour connecter des sources de boucle de courant à un circuit détection. Cette boucle est à l'intérieur du transmetteur.

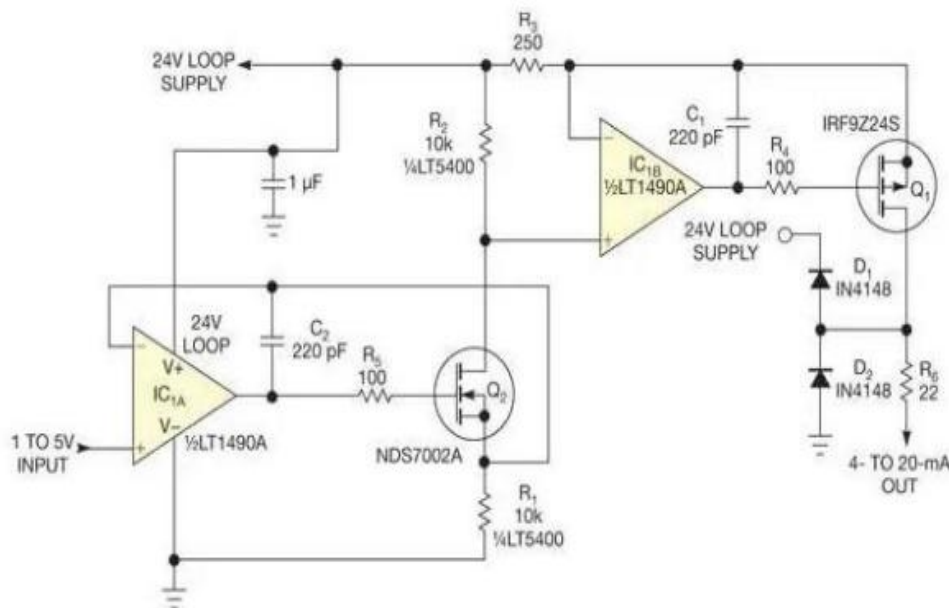


Fig. II. 5 Schéma de la boucle 4-20 m A.

Cette interface nécessite la conversion d'un signal de tension typiquement, de 1 à 5 V en une sortie de 4 à 20 mA [18]. Les exigences strictes en matière de précision imposent l'utilisation de résistances de précision coûteuses ou d'un potentiomètre d'ajustement pour calibrer l'erreur initiale de dispositifs moins précis afin d'atteindre les objectifs de conception. Aucune de ces deux techniques n'est optimale dans l'environnement de production actuel, axé sur le montage en surface et les équipements de test automatique. Il est difficile d'obtenir des résistances

précises dans des boîtiers montés en surface, et le réglage des potentiomètres nécessite une intervention humaine, ce qui est incompatible avec les objectifs de production.

Le réseau de résistances adaptée LT5400 de la technologie linéaire aide à résoudre ces problèmes dans un circuit simple qui ne nécessite pas de réglages de compensation mais qui atteint une erreur totale de moins de 0,2%. Le circuit utilise deux étages d'amplification pour exploiter les caractéristiques uniques d'adaptation du LT5400. Le premier étage applique une tension de 1 à 5V, provenant typiquement d'un DAC, à l'entrée non inverseuse de l'ampli opérationnel IC1A. Cette tension règle le courant à travers R1 à exactement $V_{IN}/R1$ à travers le transistor à effet de champ FET Q2. Le même courant est réduit à travers R2, de sorte que la tension aux bornes de R2 est égale à l'alimentation de la boucle de 24V moins la tension d'entrée. Cette partie du circuit comporte trois sources d'erreur principales : L'adaptation de R1 et R2, la tension de décalage de IC1A et les fuites du transistor Q2. Les valeurs exactes de R1 et R2 ne sont pas critiques, mais elles doivent correspondre exactement l'une à l'autre. Le LT1490A a une tension d'offset inférieure à $700\mu V$ sur une plage de 0 à 70°C. Cette tension contribue à une erreur de 0,07% pour une tension d'entrée de 1V. Le NDS7002A a un courant de fuite de 10 nA, bien qu'il soit généralement beaucoup plus faible. Ce courant de fuite représente une erreur de 0,001%. Le deuxième étage maintient la tension aux bornes de R3 égale à la tension sur R2 en faisant passer du courant par Q1. La tension aux bornes de R2 étant égale à la tension d'entrée, le courant traversant Q1 est exactement la tension d'entrée divisée par R3. En utilisant un shunt de courant de précision de 250Ω pour R3, le courant suit avec précision la tension d'entrée. Les sources d'erreur pour le deuxième étage sont la valeur de R3, la tension de décalage de IC1B et le courant de fuite de Q1. La résistance R3 détermine directement le courant de sortie, sa valeur est donc cruciale pour la précision du circuit. Ce circuit prend l'avantage de la résistance de shunt de 250Ω couramment utilisée pour compléter la boucle de courant. La pièce Riedon SF2 de la figure a une précision initiale de 0,1 % et une faible dérive en température. Comme dans la première étape, la tension d'offset ne contribue pas moins de 0,07 % d'erreur. Q1 a une fuite inférieure à 100 nA, ce qui donne une erreur maximale de 0,0025%. L'erreur totale de sortie est de 0,2 % sans aucun réglage. La résistance de détection de courant R3 est la principale source d'erreur. Si vous utilisez un dispositif de meilleure qualité, tel que la série PLT de Vishay, vous pouvez obtenir une précision de 0,1 %. Les sorties de boucle de courant sont soumises à des contraintes considérables en cours d'utilisation. R6 assure une certaine isolation. Nous pouvons obtenir une meilleure isolation en augmentant la valeur de R6, au détriment d'une certaine tension de conformité à la sortie.

Si la tension de sortie maximale est inférieure à 10V, vous pouvez augmenter la valeur de R6 à 100Ω, ce qui permet d'isoler encore d'avantage la tension de sortie. Si votre conception nécessite une protection accrue, vous pouvez installer un supprimeur de tension transitoire sur la sortie, avec une certaine perte de précision due au courant de fuite. Cette conception n'utilise que deux des quatre résistances adaptées dans le boîtier LT5400. Vous pouvez utiliser les deux autres pour d'autres fonctions du circuit, comme un inverseur de précision ou un autre convertisseur de 4 à 20 mA. Vous pouvez également placer les autres résistances en parallèle avec R1 et R2. Cette approche réduit la contribution de la résistance à l'erreur statistique par la racine carrée de deux.

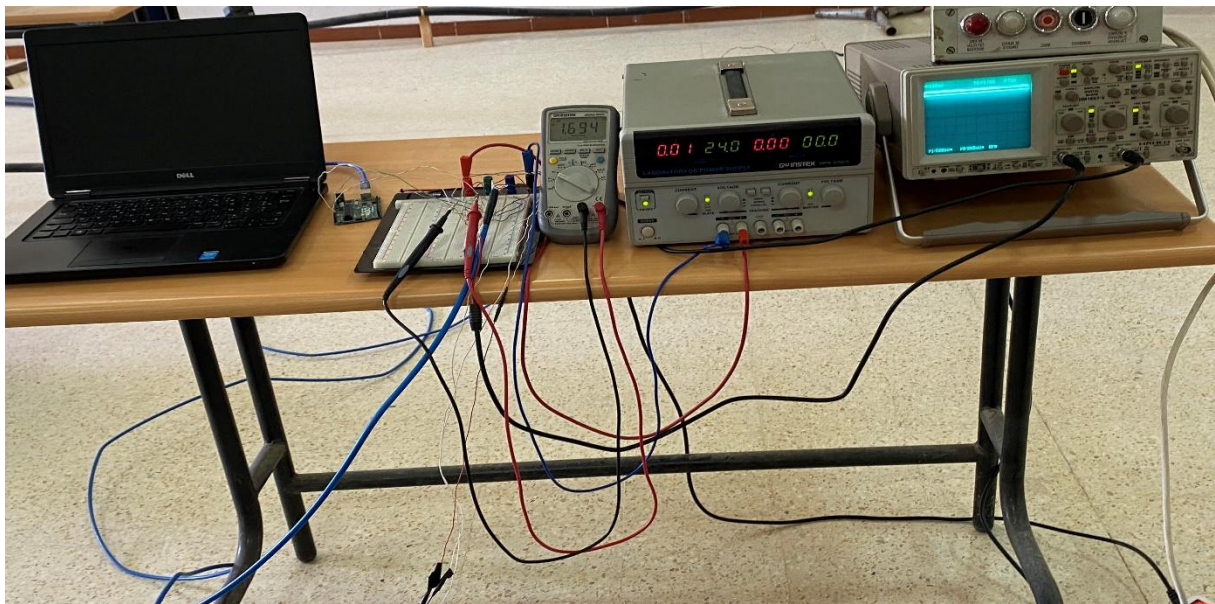


Fig. II. 6 Test du bon fonctionnement du transmetteur de pression.

Puisque l'entrée de la carte d'acquisition n'accepte que des tensions on a besoin d'un bloc d'adaptation qui permet la conversion courant-tension du courant provenant de la boucle 4-20mA, de sorte que :

$$U = R \times I \quad (\text{II.6})$$

Nous avons choisi une tension variant autour de 6V pour cela la résistance doit être de l'ordre de 330Ω.

Pour le courant minimal ($I = 4 \text{ mA}$) la tension correspondante est $U_{\min} = 1,32\text{V}$ et pour le courant maximal ($I = 20 \text{ mA}$) on trouve une tension maximale de $U_{\max} = 6,6\text{V}$. La courbe liant le courant et la pression est linéaire et par conséquent on peut écrire :

$$I = a P + b \quad (\text{II.7})$$

Pour une pression de 0 PSI le courant est de 4 mA **Figure (II.6).**

$4\text{mA} = a \times 0 + b$ par conséquent on peut en déduire la valeur de b

$$b = 4 \text{ mA}$$

$$a = \text{tg } \alpha = (20 - 4) / (100 - 0) = 0,16 \quad (\text{II.8})$$

Par conséquent on trouve la relation liant le courant et la pression **Figure (II.6)**.

$$I = 0,16 P (\text{PSI}) + 4 (\text{mA}) \quad (\text{II.9})$$

$$P (\text{PSI}) = (I (\text{mA}) - 4 \text{mA}) / 0.16 \quad (\text{II.10})$$

P (PSI)	0	20	40	60	80	100
I (mA)	4	7.2	10.4	13.6	16.8	20

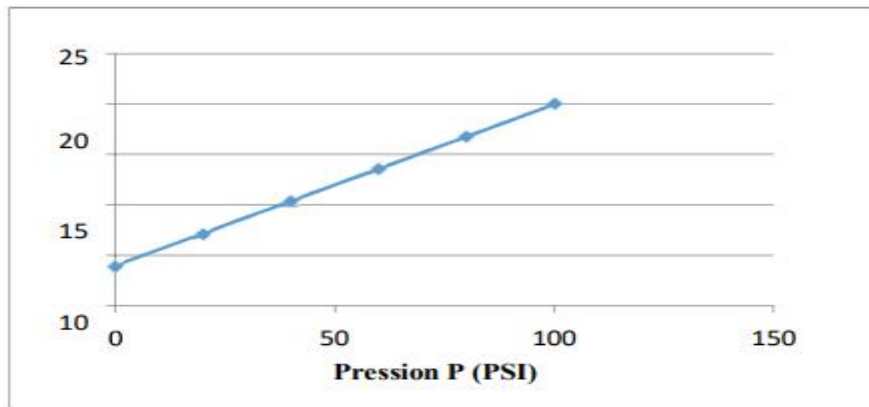


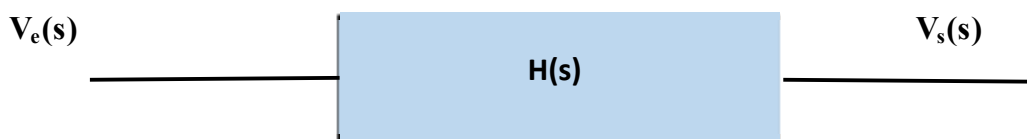
Fig. II.7 Courbe liant le courant et la pression.

II.5 Filtre

Le filtre est un quadripôle qui réalise une opération de traitement du signal. Il atténue certaines composantes d'un signal et en laisse passer d'autres. Le filtre ne modifie pas les fréquences contenues dans le signal d'entrée, il agit principalement sur l'amplitude. [8]

II.5.1 Fonction de transfert d'un filtre

Le comportement d'un filtre est défini par l'étude fréquentielle de la fonction de transfert entre la tension de sortie et la tension d'entrée du filtre [9]



II.5.2 Domaines application

Traitement de signaux audio, vidéo, radio...

Télécommunications, télémétrie...

Instrumentation scientifique, médicale, radars...

Acquisition numérique de données (anti-repliement)

Réjection de bruit (alimentation électrique...)

II.5.3 Types de filtrage

II.5.3.1 Filtres analogiques

Se divisent eux-mêmes en plusieurs catégories :

- Les filtres passifs qui font appel essentiellement à des inductances de haute qualité et des condensateurs. Jusque dans les années 70, c'était les seuls filtres conçus. Ils sont actuellement utilisés pour les hautes fréquences. (Utilisation de quartz)
- Les filtres actifs sont constitués de condensateurs, de résistances et d'éléments actifs qui sont essentiellement des AIL. Ils sont moins encombrants, faciles à concevoir et moins coûteux que les filtres passifs mais restent limités en fréquence (< 1 MHz à cause de l'AIL). Ils consomment plus et nécessitent une source d'alimentation. [8]

Domaine d'application

Dans ce qui suit, on donne quelques domaines d'application des filtres analogiques. On peut citer comme exemples.

- Les systèmes de télécommunication (téléphonie, télévision, radio, transmission de données...)
- Les systèmes d'acquisition et de traitement de signaux physiques (surveillance médicale, ensemble de mesure, radars...)
- Les alimentations électriques.

Remarque

Depuis le début des années 80 sont apparus des filtres actifs à capacité commutée. Ils permettent de programmer la fréquence de coupure et d'être intégrable.

- **Filtre passif**

Un filtre passif fait appel à des composants passifs, résistances, condensateurs ou bobines. En conséquence le signal de sortie V_s ne peut jamais être supérieur au signal d'entrée V_e .

$$V_e > V_s$$

Le gain maximal est inférieur ou égal à 0dB : $G_{max} \leq 0dB$ (la structure est réalisée uniquement à l'aide de composants passifs : résistances, condensateurs, inductances).

- **Fréquence de coupure FC**

Pour les filtres passe haut et passe bas on définit la fréquence de coupure FC comme étant la fréquence pour laquelle $G(dB) = G_{MAX} - 3dB$. Elle s'obtient directement grâce au diagramme de Bode du gain.

- **Bande passante BP**

Pour les filtres **passe bande** on définit la **bande passante BP** comme étant la plage de fréquences pour laquelle le filtre laisse passer les fréquences. Ils existent deux fréquences de coupures fc_1 et fc_2 . Si on considère que $fc_2 > fc_1$ alors

$$BP = fc_2 - fc_1.$$

- **Bande réjectrice BR**

Pour les **filtres réjecteurs** de bande on définit la **bande réjectrice BR** comme étant la plage de fréquences pour laquelle le filtre supprime les fréquences. Il existe 2 fréquences de coupures fc_1 et fc_2 . Si on considère que $fc_2 > fc_1$ alors $BR = fc_2 - fc_1$. Fonction de transfert Le comportement d'un filtre est défini par l'étude fréquentielle de la fonction de transfert entre la tension de sortie et la tension d'entrée du filtre.

- **Fonction de transfert**

Le comportement d'un filtre est défini par l'étude fréquentielle de la fonction de transfert entre la tension de sortie et la tension d'entrée du filtre.

- **Filtre actif**

On appelle **FILTRE ACTIF** un dispositif de filtrage comportant un ou plusieurs éléments actifs (transistors bipolaires ou à effet de champ, amplificateurs opérationnels) en plus des éléments passifs R, C et plus rarement L. Un filtre passif ne comporte lui que des éléments R, C ou L.

L'inconvénient d'un filtre actif est qu'il faut l'alimenter et se contenter de signaux d'amplitude limitée par les AIL. Le niveau de bruit et la présence de tension d'offset peuvent aussi limiter les domaines d'applications.

Son avantage réside sur la possibilité de cascader plusieurs cellules élémentaires en n'ayant pas le même problème de charge qu'un filtre passif (avec un filtre actif, R_e est élevé et R_s faible). On peut ainsi former un filtre d'un gabarit plus complexe.

Comme pour les filtres passifs, il existe différent type de structure. Citons par exemple, les structures à quadripôles et amplificateur opérationnel, les structures de Rauch, les structures de Salléen et Key, les structures à gratteur, à impédance négative et à variable d'état.

Tableau. II. 2 Composants et spécifiés des types de filtres

TYPE	COMPOSANTS	SPECIFITES
Filtre numérique	Circuits logiques intégrés	Signaux numérisés F < 100MHz Convient en grande série Entièrement programmable
Filtre passifs	Circuit discret L et C, Composants piézoélectriques (quartz)	F élevée Pas d'alimentation Non intégrable
Filtres actifs	AIL, R et C	F < 1 MHz Besoin d'alimentation Tension filtrée faible < 12V
Filtres à capacité commutée	AIL, Interrupteur commandé MOS, R et C intégré	F < qq MHz Besoin d'alimentation Intégrable f fréquence Programmable

II.5.3.1.1 Gabarit d'un filtre

La connaissance du spectre de fréquences, composant le signal utile, permet de définir le gabarit du filtre. Dans ce qui suit, on cite les plus connus.

- **Filtre de ButterWorth**

Ces filtres présentent une réponse en amplitude monotone et pratiquement plate dans la bande passante. Pour cette raison, on les trouve parfois dénommés **Figure (II.8)**. [9]

« Maximal Ly-flat »

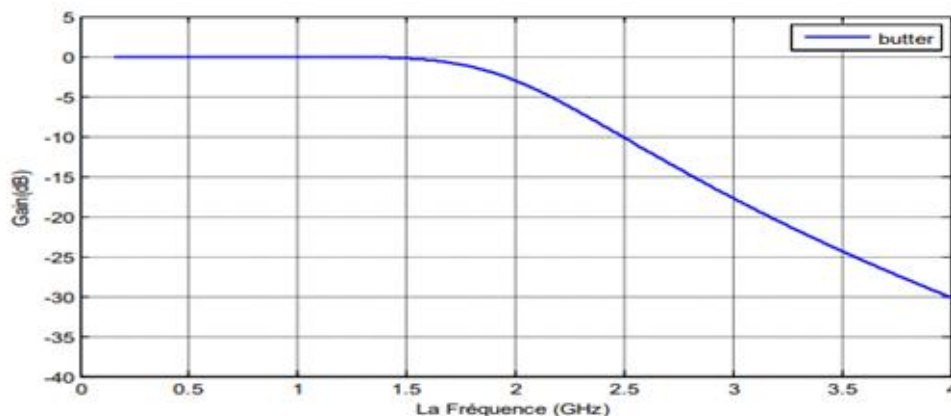


Fig. II. 8 Réponse de gain du filtre de Butter Worth passe-bas.

- **Filtre de Tchebychev**

Les filtres Tchebychev peuvent être de nature analogique ou numérique **Figure (II.9)**. Ces filtres peuvent être de type 1 (plus d'ondulations dans la bande passante) ou de type 2 (plus d'ondulations dans la bande d'arrêt). Ils sont très résistants par rapport aux filtres de Butter Worth. La propriété de ce filtre est qu'il réduit efficacement l'erreur entre la caractéristique du filtre réel et celle du filtre idéal.

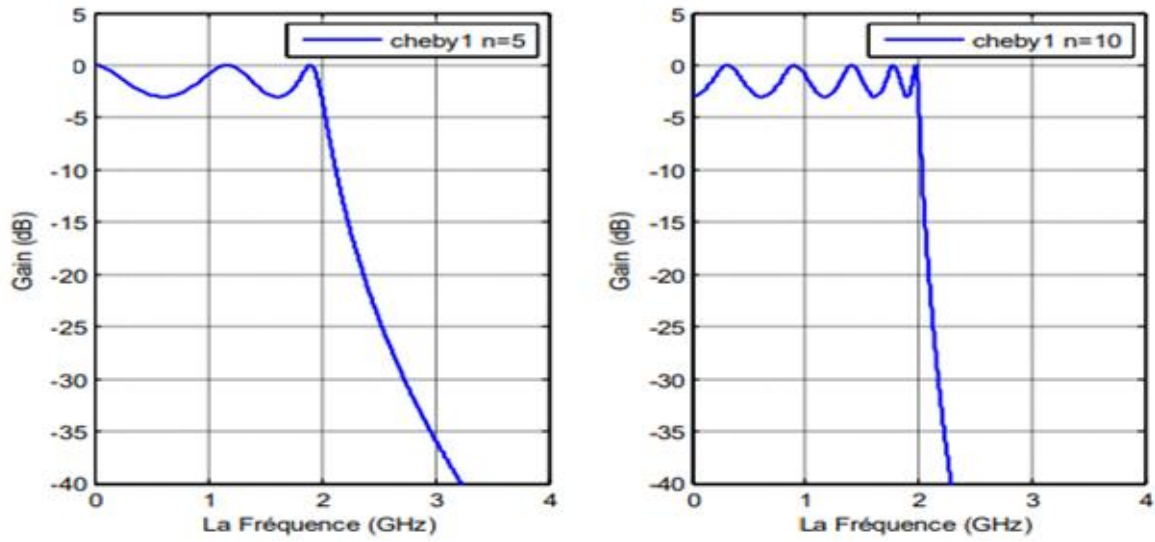


Fig. II. 9 Filtre de Tchebychev

Tableau. II. 3 Avantages et inconvénients

Butter Worth	Tchebycheff
<p style="text-align: center;"><u>Avantage</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • courbe de réponse très plate à l'origine, amplitude régulière en bande passante • bon temps de propagation de groupe <ul style="list-style-type: none"> • calculs faciles <p style="text-align: center;"><u>Inconvénient</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • raideur de la coupure moyenne • l'atténuation en bande passante notée sur les gabarits normalisés à est toujours égale à $-3 \text{ dB (a = -3 dB)}$ <p style="text-align: center;"><u>Fonction de Butter Worth</u></p> $T(x) = \frac{1}{\sqrt{1+x^{2n}}}$ <p style="text-align: center;">Ou n est l'ordre du filtre.</p> <p style="text-align: center;"><u>Détermination de l'ordre du filtre</u></p> $N \geq \frac{\ln(10^{-\frac{b}{10}} - 1)}{2 \cdot \ln(x_1)}$	<p style="text-align: center;"><u>Avantage</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • de tous les polynomiaux, ce sont ceux qui présentent le front de coupure la plus raide pour un ordre de filtre donné. <p style="text-align: center;"><u>Inconvénient</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • ondulation en bande passante • temps de propagation de groupe non constant en bande passante. <p style="text-align: center;"><u>Fonction de Tchebycheff</u></p> $T(X) = \frac{1}{\sqrt{1+\varepsilon^2+C_n^2(x)}}$ <p style="text-align: center;">Avec $c_0(x) = 1$; $c_1(x) = x$;</p> <p style="text-align: center;">Et $C_{n+1}(x) = 2 \cdot x \cdot C_n(x) - C_{n-1}(x)$</p> <p style="text-align: center;"><u>Détermination de l'ordre du filtre</u></p> $N \geq \frac{\arg \operatorname{ch}\left(\sqrt{\frac{\frac{b}{10} - 1}{10 - 1}}\right)}{\arg \operatorname{ch}(x_1)}$

II.5.3.2 Filtrage numérique

Les filtres numériques sont, pour les signaux échantillonnés, les équivalents des filtres analogiques pour les signaux continus. En raison du développement des circuits intégrés rapides, les filtres numériques deviennent plus intéressants que les filtres analogiques en apportant de nombreux avantages : précision, fiabilité, stabilité, adaptabilité et facilité de commande **Figure (II.10)**. [11]

Un filtre numérique est un algorithme de calcul qui fait correspondre à une suite d'échantillons $x(n)$ une autre suite d'échantillons $y(n)$. Dans le cas le plus général, l'échantillon $Y(n)$ s'écrit.

$$Y(n) = b_0 \cdot x(n) + b_1 \cdot x(n-1) + \dots + b_q \cdot x(n-q) - a_1 \cdot y(n-1) + a_2 \cdot y(n-2) + \dots + a_p \cdot y(n-p) \quad (II.11)$$

En utilisant le symbole de sommation, l'équation peut être réécrite de la façon suivante :

$$Y(n) = \sum_{k=0}^N b_k x[n - k] - \sum_{k=1}^M a_k [n-k] \tag{II.12}$$

Cet algorithme conduit naturellement à la structure générale d'un filtre numérique

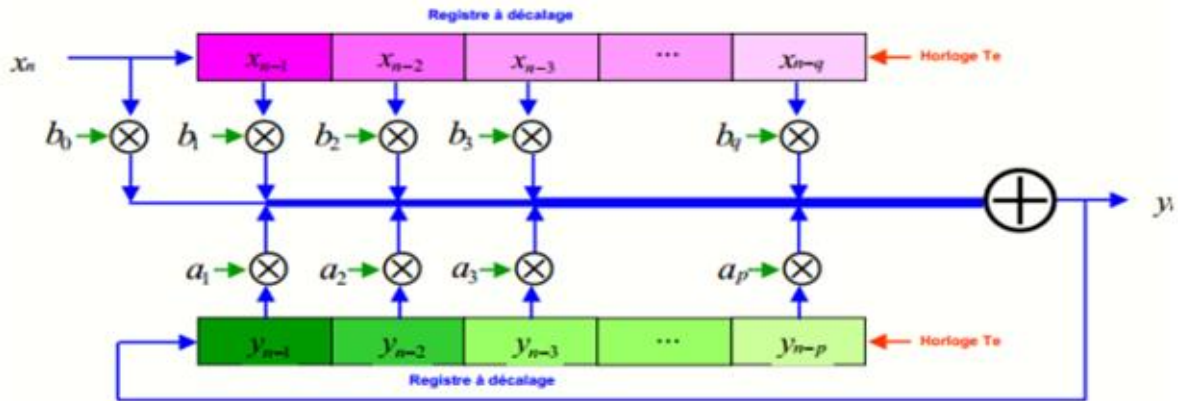


Fig. II. 10 Structure générale d'un filtre numérique

A une séquence d'échantillons d'un signal d'entrée à temps discret, un filtre numérique, défini par sa réponse impulsionnelle $h(n)$ ou par sa fonction de transfert en z $H(z)$, répond par une séquence d'échantillons d'un signal de sortie **Figure (II.11)**.

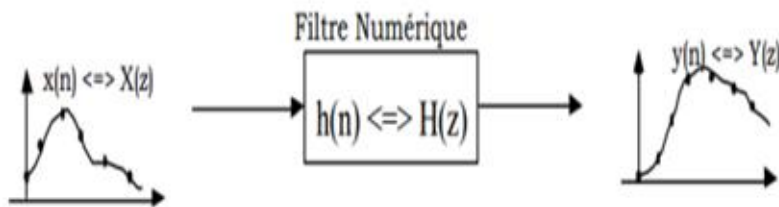


Fig. II.11 Représentations sous forme de fonction de transfert en Z

Avant qu'un filtre numérique soit conçu et implanté, nous avons besoin de définir ses spécifications. Un filtre doit laisser passer certaines fréquences, alors qu'il doit en atténuer (voire éliminer) d'autres. Nous devons donc pouvoir représenter ses contraintes.

Il y a quatre filtres de bases :

- Les filtres passe-bas laissent passer les fréquences inférieures à une fréquence de coupure f_c et bloquent celles qui lui sont supérieures **Figure (II.12.a)**.
- Les filtres passe-haut bloquent les fréquences inférieures à une fréquence de coupure f_c et laissent passer celles qui lui sont supérieures **Figure (II.12. b)**.

- Les filtres passe-bande laissent passer les fréquences autour d'une fréquence centrale f_0 (comprises entre f_1 et f_2) et bloquent les autres fréquences **Figure (II.12. c)**.
- Les filtres rejeteur de bande bloquent les fréquences autour d'une fréquence centrale f (ou comprises entre f_1 et f_2) et laissent passer les autres **Figure (II.12.d)**.

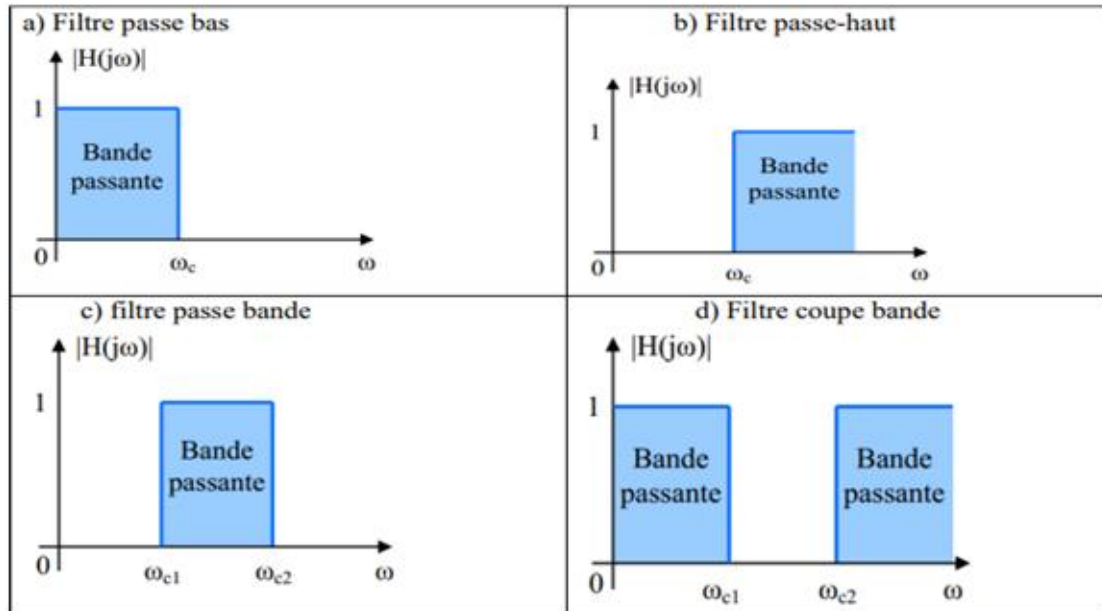


Fig. II. 12 Classification des filtres.

- **Classification des filtres numériques**

Les filtres numériques peuvent être classés selon plusieurs critères :

1. la longueur de la réponse impulsionnelle implique deux types de filtres RII et RIF.
2. le type de représentation, ou de structure, implique deux types de filtres récursifs et non récursifs.

- **Choix entre un filtre RIF et IIR**

Le choix entre un filtre RIF et IIR dépend :

- Des performances recherchées
- De l'application
- De la vitesse du processeur
- De la mémoire RAM disponible.

Tableau. II. 4. Choix entre un filtre RIF et RII.

Critère	R.I.F	R.I. I
Maîtrise de la phase	Oui	Non
Complexité	Très faible	Faible
Stabilité	Calcul possible par TFD Toujours	Risque de problème en cas de précision de calcul insuffisant
Nombre de coefficients nécessaires	Moyenne	Faible
Précision nécessaire pour les calculs	Moyenne	Assez grande
Adapté à la multi-cadence	Oui	Non

II.5.3.3 Principe du filtrage adaptatif

Le filtrage adaptatif ainsi que ses méthodes d'application ont connu un développement considérable depuis les années 60 **Figure (II.13)**. Ce développement du filtrage adaptatif est né de l'essor du traitement numérique, de la croissance soutenue de la puissance des processeurs de traitement qui permettent la mise en œuvre en temps réel, d'algorithmes de plus en plus complexes et qui vont à des cadences de plus en plus élevées.

Les méthodes adaptatives en traitement du signal, ont pour objectif : l'adaptation des outils de traitement aux propriétés statistiques des signaux et des systèmes, ainsi que l'adaptation à leurs fluctuations dans le temps. Il s'agit donc d'un mélange bien équilibré, entre la stationnarité et la non stationnarité. La stationnarité permet de maintenir de façon permanente, dans le temps les propriétés statistiques, grâce auxquelles sont éliminées ou tout au moins réduites les fluctuations purement aléatoires. La non stationnarité, est la variation lente ou rapide, au cours du temps des propriétés statistiques, sans lesquelles, il n'y aurait nul besoin d'adaptation. En l'absence de fluctuation des signaux et systèmes, le filtre optimal pourrait être calculé une seule fois. Les filtres peuvent être classifiés comme étant linéaires ou non linéaires.

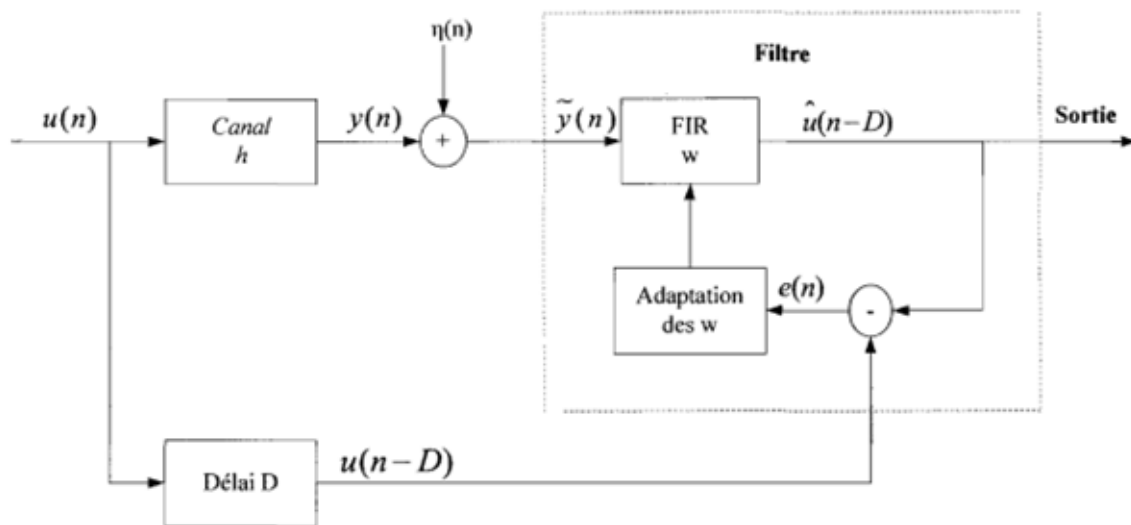


Fig. II. 13 Filtrage adaptatif.

II.6 Elaboration du modèle mathématique

Dans la plupart des cas : Les effets délétères liés à l'apparition des fuites peuvent poser de sérieux problèmes. Par exemple :

- Les fuites se produisant dans les réseaux d'eau potable ou d'égouts entraînent de nombreux désagréments : Pert d'argent, perturbation de la circulation, dommages aux infrastructures environnantes.
- La fuite de fluide hautement inflammables ou toxique peut être mortelle si elle se produit dans des zones peuplées.
- Les fuites se produisant dans les oléoducs constituent une perte d'énergie dont le prix augmente à des rythmes exorbitants. Dans les conduites immergées, les fuites peuvent entraîner une pollution de l'environnement.

Afin d'atténuer ces effets néfastes, il est souhaitable de développer des méthodes de détection des fuites dans les pipelines.

Pour surmonter ces difficultés, il faut se concentrer sur les enseignements liés aux expériences. Basé sur des calculs transitoires, un modèle mathématique a été développé pour prédire l'emplacement des fuites dans la canalisation.

Le présent travail vise à développer un modèle mathématique permettant de localiser la position de la fuite dans des canalisations transportant des fluides incompressibles circulant en régime laminaire ou turbulent. Le but de ce travail est de développer une approche théorique permettant

de déterminer la position du trou se produisant dans les pipelines le réalisme physique du modèle mathématique est vérifié par comparaison avec des données expérimentales.

II.6.1 Formulation mathématique

Le système considéré est représenté dans la **Figure.II.14** les variables affectant problème de régime permanent sont les suivantes :

A la section d'entrée

Q_1 = le débit d'entrée vers le pipeline

h_1 = la hauteur statique à la section d'entrée

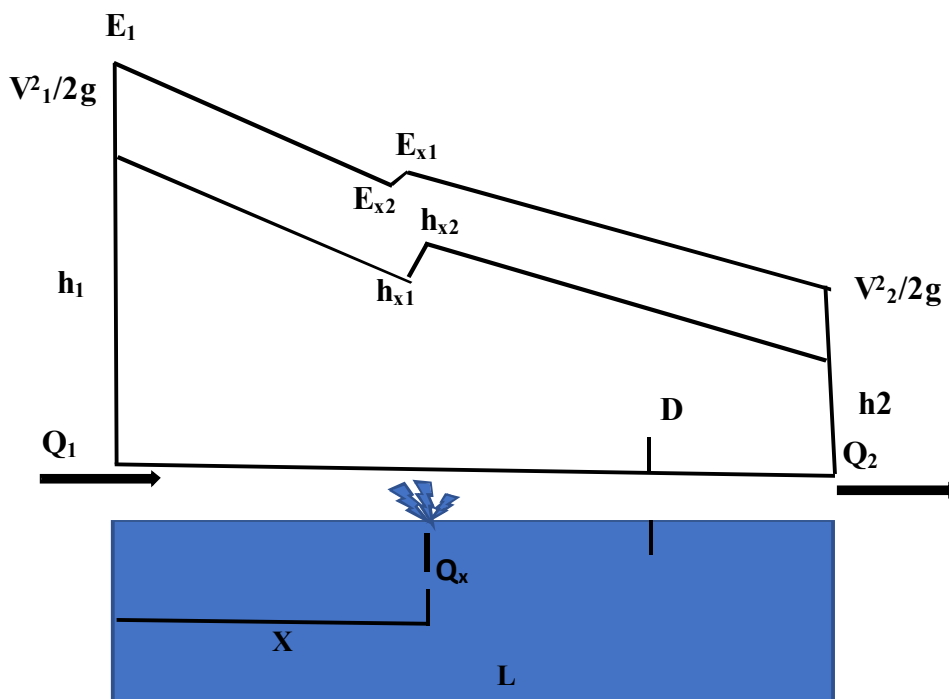


Fig. II. 14 Situation de débit considérée

À la section de sortie

Q_2 = le rejet sortant du pipeline

h_2 = la hauteur statique en sortie

À l'emplacement du trou

Q_x = la décharge jaillissant du trou

h_{x1} = la tête statique juste en amont de l'emplacement du trou

h_{x2} = la tête statique juste en aval de l'emplacement du trou

$(C_d A_x) *$ = la surface d'écoulement effective à travers le trou (produit de la surface réelle du trou A_x et de son coefficient de débit, c_d)

X = la position de la fuite mesurée à partir de la section d'entrée la variable E sur

La Figure II.14 désigne l'énergie totale par unité de Poids, c'est-à-dire la somme de la hauteur statique et de la hauteur dynamique.

$$E_i = h_i + \frac{v_i^2}{2g} \quad (\text{II.13})$$

Où i est égal à 1 à l'entrée, 2, en sortie, X_1 juste avant le trou, et X_2 juste après le trou, respectivement.

De la liste de variables susmentionnée, il existe neuf inconnues. Si l'on mesure à la fois le débit et pression à l'entrée et à la sortie du tuyau, cinq équations sont nécessaires pour résoudre le problème (c'est-à-dire pour obtenir un modèle mathématique bien posé).

Équations gouvernantes

Les cinq équations qui décrivent le modèle mathématique qui donne la solution du problème de recherche sont les suivantes :

Équation de continuité

$$Q_x = Q_1 - Q_2 \quad (\text{II.14})$$

Les pertes dues au frottement dans la portion de conduite de longueur X , en amont du trou peuvent être exprimées sous la forme

$$h_1 - h_{x1} = f_1 \frac{X}{D} \frac{Q_1^2}{2g} = k_1 X Q_1^2 \quad (\text{II.15})$$

Où A est égal à la section transversale du tuyau circulaire de diamètre D et de longueur L

f_1 = facteur de frottement correspondant à la vitesse d'écoulement

g = accélération gravitationnelle

k_1 = résistance hydraulique par unité de longueur = $f_1 / DA^2 2g$

Les pertes dues au frottement dans la portion de tuyau ayant une longueur $L-X$ en aval du trou peuvent être exprimées sous la forme

$$h_{x2} - h_2 = f_2 \frac{L-X}{D} \frac{Q_2^2}{2g} = K_2 (L-X) Q_2^2 \quad (\text{II.16})$$

Où f_2 = facteur de frottement correspondant à une vitesse d'écoulement v_2

K_2 = résistance hydraulique correspondante par unité de longueur

Le débit à travers le trou est obtenu à partir de l'équation décrivant l'écoulement à travers un orifice :

$$Q_x = c_d A_{xv} \sqrt{2g E_{x1}} \quad (\text{II.17})$$

Enfin, en appliquant le bilan énergétique global sur le système considéré, l'énergie globale perdue dans le trou H est

$$H = Q_1 E_1 - Q_2 E_2 - Q_1(E_1 - E_{x1}) - Q_2(E_{x2} - E_2) \quad (\text{II.18})$$

L'équation ci-dessus est valable pour un écoulement incompressible ; il affiche le fait que l'énergie globale perdue dans le trou est égal à l'énergie globale entrant moins la somme

De l'énergie globale sortante plus l'énergie globale perdue dans la partie du tuyau avant et après le trou,

Respectivement. Après manipulation algébrique, on obtient

$$H = (Q_1 E_{x1} - Q_2 E_{x2}) \quad (\text{II.19})$$

Quand le flux jaillit dans l'atmosphère

$$H = (Q_1 - Q_2) V_x^2 / 2g \quad (\text{II.20})$$

$$V_x = Q_x / c_d A_x$$

Est la vitesse du fluide sortant du trou. En remplaçant V_x , en termes de débit par unité de surface d'écoulement efficace à travers le trou, nous pouvons facilement montrer que

$$H = C(Q_1 - Q_2)^3 \quad (\text{II.21})$$

$$C = 1/2g (c A_x)^2$$

Égaliser les deux expressions de H , exprimant E_{x1} et E_{x2} en termes de sommes correspondantes de charges statique et dynamiques, et désignant la constante $1/2g A^2$

Par B, on obtient

$$\begin{aligned} Q_1 h_{x1} - Q_2 h_{x2} &= (Q_1 - Q_2) [(C - B)Q_1^2 - (2C + B)Q_1Q_2 + (C - B)Q_2^2] \\ &= (Q_1 - Q_2) \lambda \end{aligned} \quad (\text{II.22})$$

$$\lambda = (C - B)Q_1^2 - (2C + B)Q_1Q_2 + (C - B)Q_2^2 \quad (\text{II.23})$$

II.6.2 Formule de calcul de la position de la fuite

L'ensemble des équations décrivant le phénomène physique considéré a été dérivé dans la Section précédente. Nous souhaitons maintenant trouver l'expression qui permet de prédire la localisation de la fuite en fonction des grandeurs mesurées à l'entrée et à la sortie de la canalisation, principalement h_1 , Q_1 , h_2 et Q_2 .

Afin d'atteindre cet objectif, nous substituons dans l'équation (II.23) les valeurs de h_{x1} et h_{x2} des équations (II.15) et (II.16)

Respectivement, et résolvez pour X :

$$X_e = \frac{(h_1 - h_2) - k_2 L Q_2^2 + \left(\frac{Q_1}{Q_2} - 1\right)(h_1 - \lambda)}{\frac{k_1 Q_1^2 Q_1}{Q_2} + k_2 Q_2^2} \quad (\text{II.24})$$

II.6.3 Formule de calcul de la position de la fuite par rapport à la pression

On remplace le débit par la pression dans la formule de calcul de la position de la fuite

La relation qui lie la pression et le débit de fuite est la suivante :

$$Q = P^N \quad (\text{II.25})$$

$$\text{Et} \quad \frac{Q_1}{Q_2} = \left(\frac{P_1}{P_2}\right)^N \quad (\text{II.26})$$

$$X_p = \frac{(h_1 - h_2) - k_2 L P^{2N} + \left(\frac{P_1}{P_2}\right)^N (h_1 - \lambda)}{K_1 P_1^{2N} \left(\frac{P_1}{P_2}\right)^N + k_2 P_2^{2N}} \quad (\text{II.27})$$

La résolution de l'équation s'obtient par des algorithmes d'optimisation tel que BBO et algorithme génétique.

II.7 Conclusion

Pour contourner le problème des fuites, il existe plusieurs méthodes de détection des fuites d'eau potable d'une zone urbaine et industrielle. Les fuites sont habituellement la cause principale des pertes qui se produisent dans les réseaux de distribution d'eau. Ce chapitre a été guidé par une brève description des capteurs de pression, clarifiant leur fonction et leurs différentes technologies. Nous avons également évoqué les types de filtrage numériques et analogiques et le principe de filtrage adaptatif. Enfin nous avons parlé des fonctions d'approximation de type Butter Worth et Tchebychev. Nous avons développé le modèle mathématique qui donne la position de la fuite par rapport à l'un des capteurs en fonction des pressions. Dans le chapitre suivant nous expliquerons le circuit prototype réalisé au laboratoire afin d'obtenir des acquisitions des signaux via Arduino et LabVIEW. Le détecteur proposé est également éclairci. Des tests de validation des résultats sont envisagés pour montrer l'efficacité du détecteur proposé.

Chapitre III:

Résultats et discussions

III.1. Introduction

Les avancées technologiques dans le domaine de la détection des fuites offrent des solutions de plus en plus sophistiquées et efficaces. Nous avons proposé un nouveau détecteur numérique des fuites des réseaux souterrains par rapport à ceux qui existent sur le marché. Cette dernière repose sur des capteurs de pression liées à l'écoulement interne de l'eau différents de ceux qui utilisent généralement des hydrophones. Dans notre prototype réalisé au niveau du laboratoire, une conduite en polyéthylène haute densité (PEHD), a été installée à cet effet, deux capteurs de pression sont posés à des emplacements stratégiques sur la conduite. Nous avons exploité l'oscilloscope ANALOG DIGITAL SCOPE modèle HM 1507-3 pour visualiser les signaux électriques produits par les capteurs de pression en réponse aux changements de pression dans la conduite. Pour interfacer la carte de conditionnement avec un PC afin de traiter les données recueillies, une carte d'acquisition et de traitement peut être utilisée. Cette dernière agit comme un pont entre la carte de conditionnement et le PC, permettant ainsi la transmission des données en temps réel. Cette configuration permet une surveillance continue et une analyse approfondie des signaux de pression. Une fois les données collectées, ils vont être traités pour localiser la fuite par rapport à l'un des capteurs. Nous avons utilisé une carte Arduino UNO via le logiciel LabVIEW pour numériser les signaux de pression, les acquérir, les traiter, ensuite visualiser dans la mesure du possible. Cela permet de détecter rapidement et précisément les fuites tout en en déterminant l'emplacement facilitant ainsi les mesures correctives nécessaires pour maintenir en bon état notre conduite.

III.2. Système d'acquisition

Nos efforts de détection de fuites reposent principalement sur les détecteurs de pression de pointe (model 811 FMG and 811 FMA). Ces détecteurs de précision garantissent une surveillance minutieuse des variations de pression dans notre système. Les données de pression captées par ces transmetteurs sont transmises sous forme de courant via la célèbre boucle 4-20 mA, puis converties en une tension pour une éventuelle exploitation sur nos équipements d'analyse, tels que les oscilloscopes avant la phase de décision pour confirmer la présence ou l'absence de la fuite sans oublier d'utiliser un système d'affichage confirmant la décision prise.

III.3. Chaîne d'acquisition

Une chaîne d'acquisition est prévue à cet effet. Un système composé de différents éléments conçus pour collecter, conditionner, convertir et traiter des signaux provenant des transmetteurs généralement dans le but de mesurer des grandeurs physiques ou de contrôler des

processus. La chaîne d'acquisition de notre système est présentée par la **Figure (III.1)**. Elle est composée de deux parties, une partie hydraulique et une d'autre électrique.

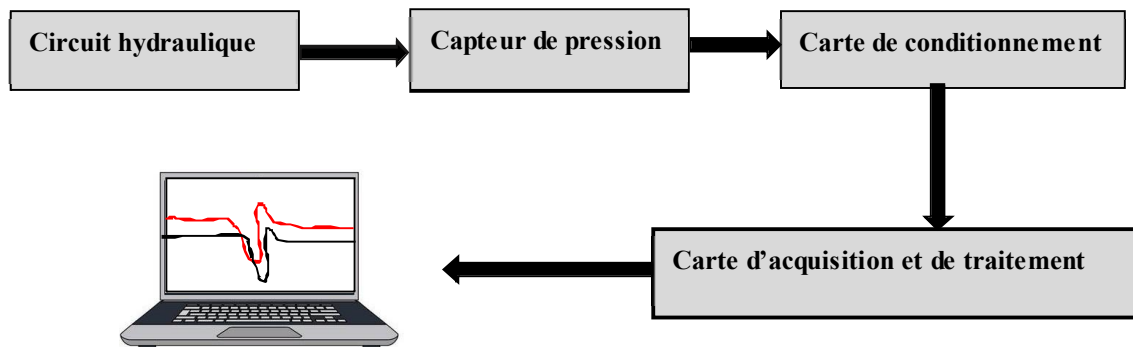


Fig. III. 1. La chaîne d'acquisition

III.3.1 Circuit hydraulique

Dans le laboratoire de fin d'études, nous avons mis en place un circuit hydraulique illustré par la **Figure (III.2)**.

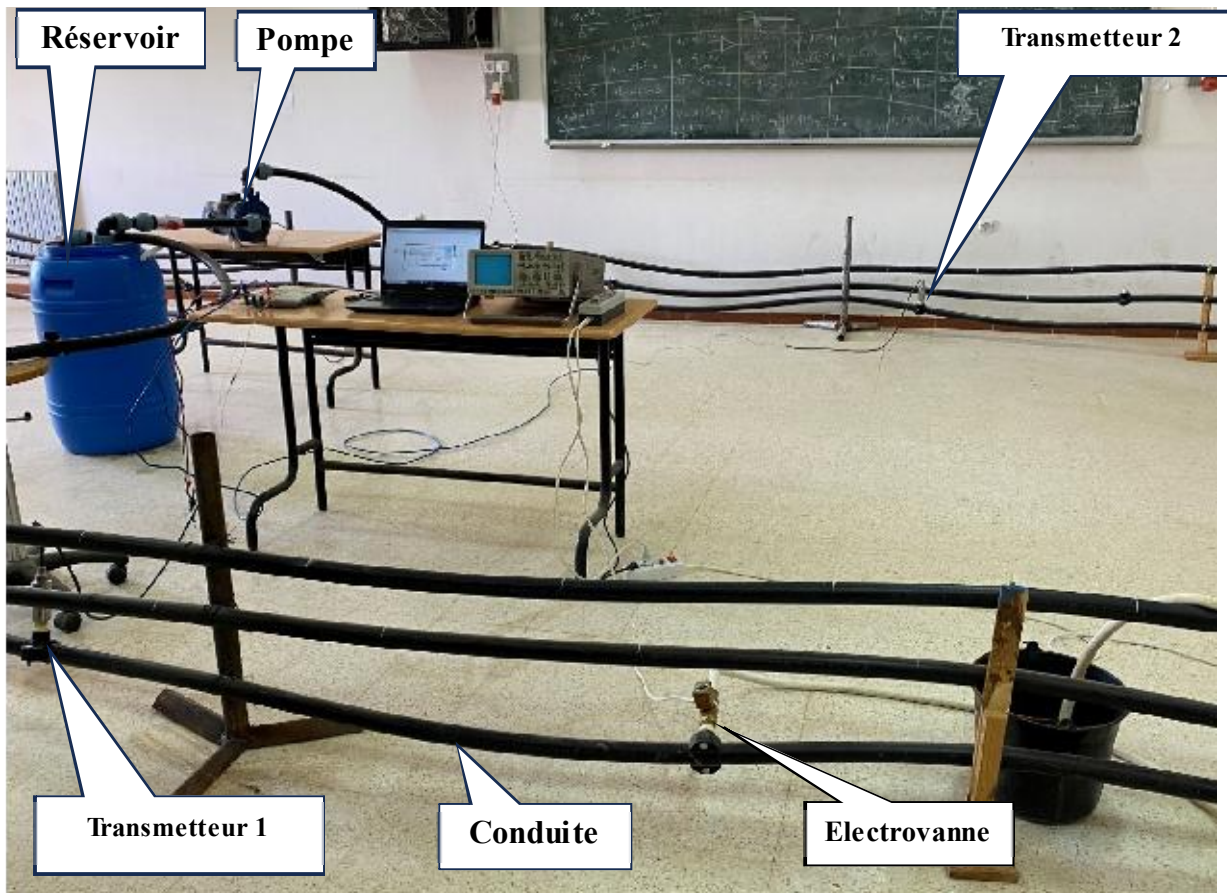


Fig. III. 2 Circuit hydraulique global

Nous avons réalisé un circuit fermé composé des différents éléments suivants :

➤ **Conduite**

On a utilisé une conduite en PEHD de diamètre $\varnothing=40$ mm, avec une longueur de 100m.

Pour former un circuit hydraulique fermé efficace et fiable on a besoin de choisir une forme hélicoïdale pour ne pas abimer ou plier la conduite. Des colliers sont déposés à des distances préalablement connues. La fuite est simulée par un trou de 10 mm situé à 17m de la pompe autour du quel deux transmetteurs sont installés. Le premier est fixé à 1,5m par rapport à la fuite par contre le deuxième on le fait déplacer sur la conduite jusqu'à 76,5m par rapport à la fuite. Afin de fixer la conduite pour garder la forme hélicoïdale on a utilisé également des colliers de fixation pour la maintenir en place. Après l'installation de la conduite, on a testé le circuit hydraulique pour s'assurer qu'il fonctionne correctement et vérifier l'absence de fuites sur la conduite et garantir que la pression et le débit sont conformes aux spécifications requises.

➤ **Réservoir**

Un réservoir en plastique d'une contenance de 100 litres est employé pour contenir l'eau circulant à travers la conduite **Figure (III.3)**.



Fig. III. 3. Réservoir

➤ Pompe

Les caractéristiques de notre électropompe à eau de marque INTERDAB de type K36/100M

Figure (III.4) sont les suivantes :

- 1- $H_{\max} = 36$ m
- 2- Débit : $Q_{\max} = 230$ litre/min
- 3- Fonctionnent au monophasé de tension simple égale à 200V et de fréquence 50Hz
- 4- Puissance : 1,5 kW et un courant nominal de 10A, et une puissance maximale de 2,1KW
- 5- Indice de protection : IP 44
- 6- Condensateur de $40\mu F$
- 7- Vitesse de rotation : 2850 min^{-1}



Fig. III. 4 . Pompe

➤ Fuite d'eau

Afin de simuler une fuite, un trou de **10 mm** de diamètre a été percé dans la conduite.

➤ Electrovanne

Une électrovanne est une vanne dont le fonctionnement est contrôlé par un courant électrique. Cet élément permet de contrôler l'ouverture un orifice percer sur la conduite en réponse à un signal électrique commandé par un bouton poussoir **Figure (III.5)**.

Une électrovanne d'une puissance de 8 watts avec un débit de 0.7 bars fonctionnant sous une tension de 220V a été installée au niveau du trou pour simuler la fuite. Elle est commandée à partir d'un bouton poussoir **Figure (III.6)**.



Fig. III. 5 Électrovanne



Fig. III.6 Bouton poussoir

III.3.2 Capteurs de pression

Dans notre circuit on a placé deux capteurs de pression de la firme **Pratt & Whitney** avant et après la fuite comme suit **Figure (III.7)** :

- La distance entre le capteur A et la fuite est de 1,5 mètres.
- La distance entre le capteur B et la fuite est variable. Dans notre cas il est installé à 9 mètres.

La fuite est simulée par une électrovanne commandée manuellement. Dans notre cas nous avons choisis un diamètre de la fuite égale à 10mm.

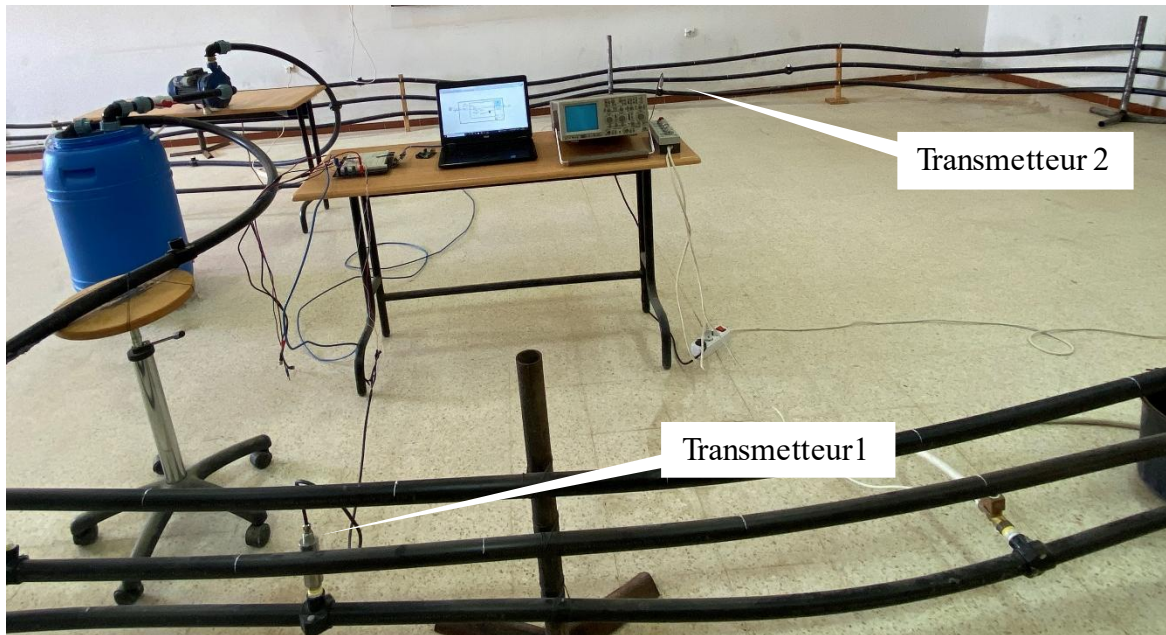


Fig. III.7 Position des Capteurs de pression

Caractéristiques

D'après les directives du fabricant, les capteurs utilisés sont munis de trois fils **Figure (III.8)** tel que :

Rouge \Longrightarrow Alimentation du capteur.

Blanc \Longrightarrow Masse.

Fil noir \Longrightarrow Présente la sortie 4-20 mA du signal.



Fig. III. 8 Capteur de pression et ces fils de liaison

Spécifications techniques

Dans le **Tableau.III.1** ci-dessous, nous mentionnerons les spécifications techniques des capteurs utilisés.

Tableau. III. 1 Spécifications techniques du capteur de pression

Performance	Plage de pression Précision (min) Non linéarité (max) Hystérésis (max) Non adaptable (max) Sortie (std) résolution...	0-100PSIG ±0.25%F.S. ±0.15%F.S. ±0.10%F.S. ±0.05%F.S. 4-20mAInfini
Environnementale	Température Fonctionnement Température compensée Effet de température Zéro (max)	0°F a180°F 60°F a160°F .01%F.S./°F .01%Rdg. /°F
Electrique	Type de jauge de contrainte Excitation La résistance d'isolement	Feuille collée 15 à 40 VDC 5000MΩ

Etalonnage du transmetteur de pression

Pour calibrer le transmetteur de pression, nous devons effectuer les tests suivants :

Nous alimentons le capteur de pression avec une tension de 24 volts et fermons la sortie sur un milliampèremètre. Dans des conditions normales, le transmetteur devrait afficher 4 mA lorsque aucune pression externe n'est appliquée (c'est-à-dire, uniquement sous pression atmosphérique). Nous connectons l'orifice du transmetteur à un ballon. En appliquant une pression sur le ballon, puis nous exercerons une pression sur le transmetteur jusqu'à ce que le milliampèremètre indique une valeur de 20 mA. Ce courant doit correspondre à la valeur maximale de pression indiquée sur le corps du capteur.

Nous considérons que notre transmetteur est étalonné, qui veut dire qu'il est en bon état si au courant de 20 mA correspond la valeur maximale fournie par le fabricant indiqué sur le corps du transmetteur dans le cas échéant le transmetteur est considéré comme étant mauvais.

Boucle de courant 4-20 mA

La boucle 4-20 mA est un type de circuit électrique utilisé dans le contrôle industriel et l'automatisation. Elle est un moyen de transmission permettant de transmettre un signal analogique sur une grande distance sans perte ou modification de ce signal. Dans une boucle 4-20 mA, un courant électrique circule à travers le circuit en permanence. Ce courant varie linéairement en fonction de la grandeur mesurée par le capteur.

Pour que la boucle 4-20mA, soit fonctionnelle il faut utiliser au moins les quatre éléments, une alimentation, capteur, et des câbles de connexions et une résistance de valeur bien choisie pour que la tension de sortie attaquant les entrées de la carte Arduino ne dépasse en aucun cas la valeur de 5 volts **Figure (III.9)**.

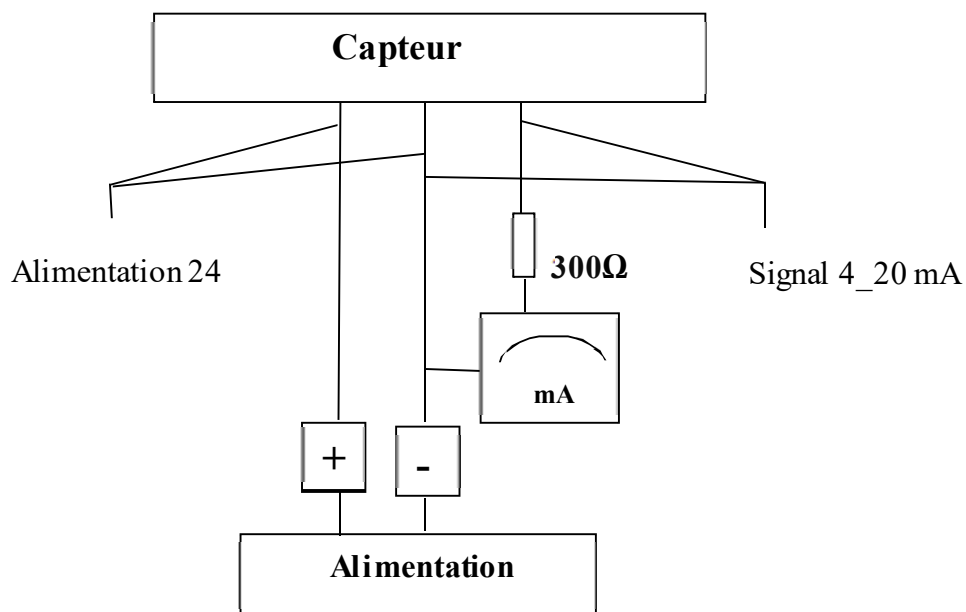


Fig. III. 9.Câblage de la boucle 4-20mA

Le capteur comporte trois fils de couleur : blanc, noir et rouge. Selon les consignes du constructeur.

Le fil blanc doit être connecté à la masse.

Le fil rouge est relié à l'alimentation (+24 V).

Dans notre cas, le fil noir est lié à une résistance de 300 ohms en série avec un ampèremètre, un retour à partir de ce dernier doit se faire à la masse **Figure (III.9)**.

III.3.3 Circuit électrique

Le système de conducteurs électriques et de composants interconnectés illustré dans la **Figure (III.10)** représente notre circuit électrique de système d'acquisition réalisé au laboratoire.

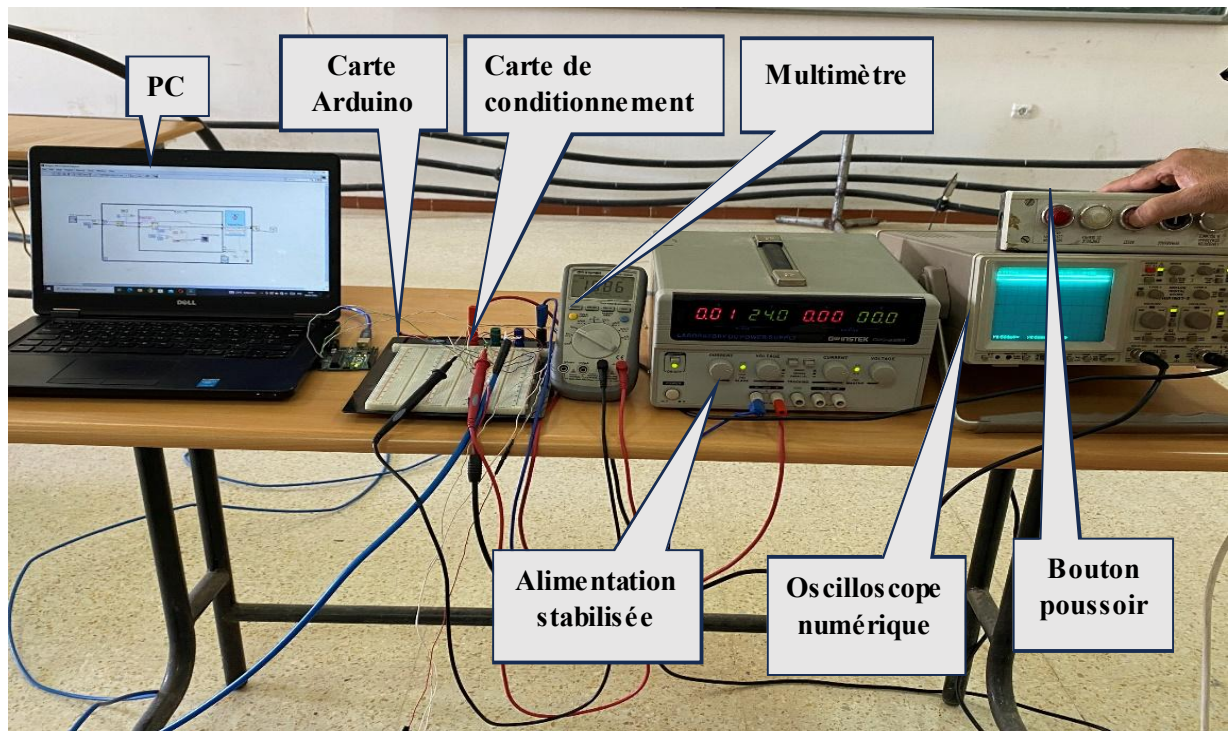


Fig. III. 9 . Circuit électrique global

➤ Alimentation stabilisée

Pour alimenter les diverses sections de notre système d'acquisition, nous avons utilisé une alimentation stabilisée GWINSTEK de modèle GPS-2303 **Figure (Fig.III.11)**.



Fig. III. 10 Alimentation stabilisée

➤ Oscilloscope

Un oscilloscope ANALOG DIGITAL SCOPE modèle HM 1507-3 a une bande passante de 150MHz, et une fréquence d'échantillonnage de 200MSa/s, utilisé pour visualiser et analyser nos signaux électriques. Il est capable de capturer et d'afficher à la fois des signaux analogiques et numériques, offrant ainsi une flexibilité dans la visualisation des données. Il dispose de fonctionnalités avancées telles que la capacité de stocker les signaux sous forme de fichiers numériques exploitables, ce qui permet une analyse plus approfondie des données

Figure (III.12).



Fig. III. 11 Oscilloscope ANALOG DIGITAL SCOPE modèle HM 1507-3

➤ Carte Arduino

Arduino est une plateforme open-source de prototypage électronique basée sur du matériel et des logiciels flexibles et faciles à utiliser. La carte Arduino est le composant principal de cette plateforme. Elle contient un microcontrôleur ATMEGA328P et des interfaces permettant de se connecter à différents capteurs, actionneurs et autres périphériques électroniques. Les cartes Arduino sont disponibles dans différentes variantes, chacune ayant ses propres spécifications et fonctionnalités, mais toutes partagent le même environnement de développement intégré (IDE) qui simplifie la programmation et le prototypage.

➤ Différents types de cartes Arduino

Ils existent des différents types de cartes Arduino

- Arduino UNO
- Arduino Nano
- Arduino Due
- Arduino Mega
- Arduino Leonardo

Notre choix a été orienté vers ARDUINO UNO vue ses performances à fonctionner convenablement avec le logiciel LabVIEW.

➤ Arduino UNO

La carte Arduino modèle UNO **Figure (III.13)** est sans doute l'Arduino le plus populaire. Il est alimenté par un processeur ATMEGA328P fonctionnant à 16 MHz, comprend 32 Ko de mémoire programme, 1 Ko d'EEPROM, 2 Ko de RAM, 14 E / S numériques, 6 entrées analogiques et une alimentation de 5V ou 3,3V. ARDUINO UNO est utilisée pour lire les données à partir des transmetteurs de pression, après la boucle de conditionnement. En cas de variation inhabituelle de la pression, la carte Arduino envoie une notification ou une alerte à LabVIEW.

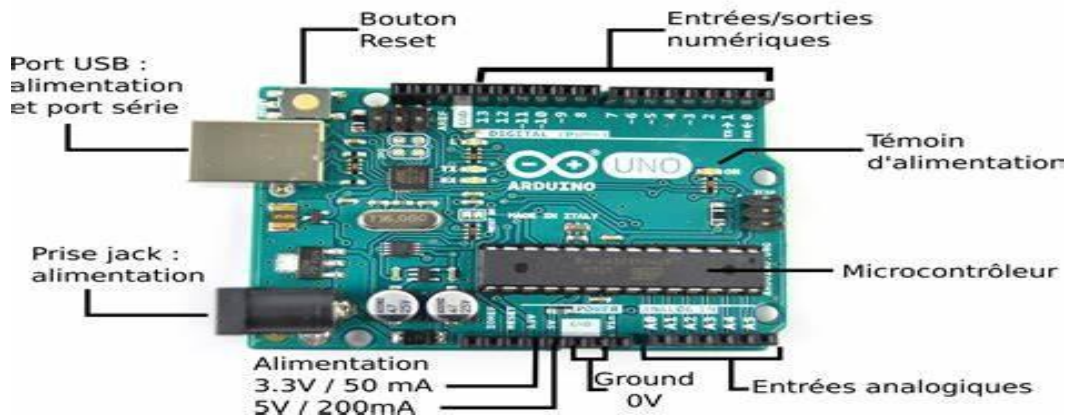


Fig. III. 12 Carte Arduino UNO

➤ Synthèse et caractéristiques de la carte ARDUINO

Tableau. III. 2 Synthèse des caractéristiques de la carte Arduino

Microcontrôleur	ATmega328
Tension de fonctionnement	5v
Tension d'alimentation (recommandée)	7-12v
Tension d'alimentation (limites)	6-20v
Broches E/S numérique	14(dont 6 disposent d'une sortie PWM)
Broches d'entrées analogiques	6(utilisables en broches E/S numérique)
Intensité maxi disponible par broche E/S (5v)	40 mA
Intensité maxi disponible pour la sortie 3.3v	50 Ma
Intensité maxi disponible pour la sortie 5v	Fonction de l'alimentation utilisée
Mémoire programme flash	32 KB (ATmega 328) dont 0.5 KB sont utilisés par le bootloader -500mA max si port USB utilisé seul
Mémoire SRAM (mémoire volatile)	2 KB (ATmega 328)
Mémoire EEPROM (mémoire non volatile)	1 KB (ATmega 328)
Vitesse d'horloge	16 MHz

➤ Logiciel LabVIEW

LabVIEW (contraction de Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench) est le cœur d'une plate-forme de conception de systèmes de mesure et de contrôle, fondée sur un environnement de développement graphique de National Instruments. Le graphique langage e

utilisé dans cette plate-forme est appelé « G ». Créé à l'origine sur Apple Macintosh en 1986, LabVIEW est utilisé principalement pour la mesure par acquisition de données, pour le contrôle d'instruments et pour l'automatisme industriel. La plate-forme de développement s'exécute sous différents systèmes d'exploitation comme Microsoft Windows, Linux et Mac OS X. LabVIEW peut générer du code sur ces systèmes d'exploitation mais également sur des plateformes temps réel, des systèmes embarqués ou des composants reprogrammables FPGA. Depuis 2009, LabVIEW évolue au rythme d'une version majeure millésimée par an. Nous avons utilisé ce logiciel afin d'afficher et de stocker les données de pression et d'autres informations pertinentes de la carte Arduino sous forme de graphiques en temps réel, surveiller les variations de pression dans le réseau prototype développé et dans le cas d'anomalie détecter ces variations et les signaler **Figure (III.14)**.

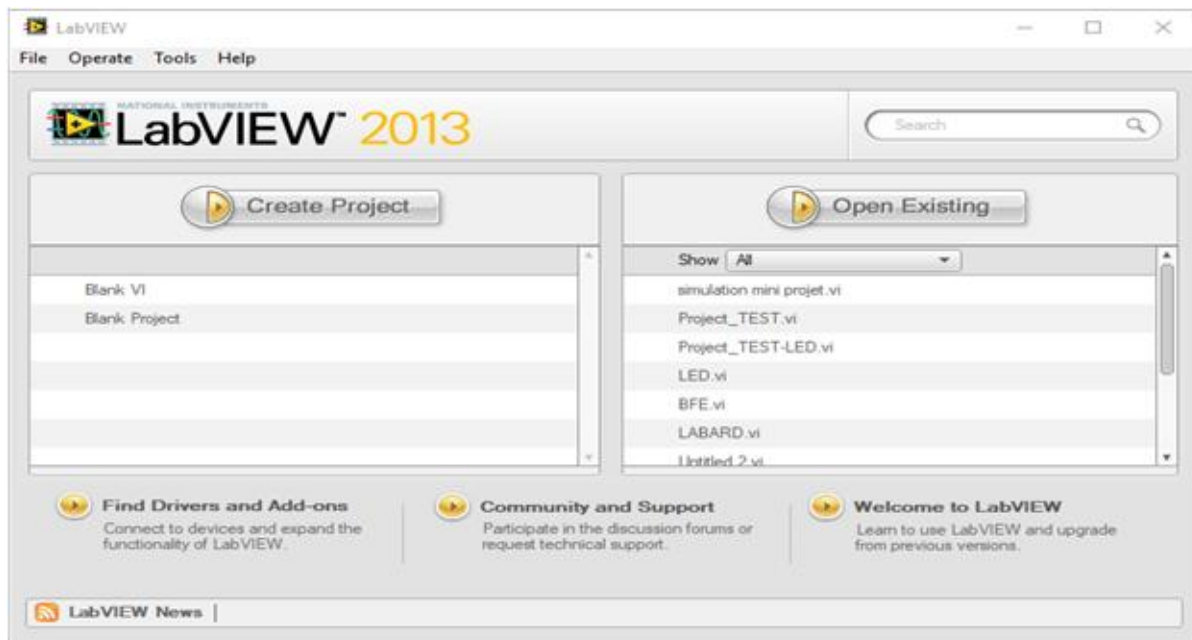


Fig. III. 13 LabVIEW

➤ Histoire de LabVIEW

LabVIEW est l'acronyme de Laboratory Virtual Instrumentation Engineering Workbench, qui est un environnement logiciel intégré et un outil de développement produit par National Instruments, l'un des principaux fabricants de microélectronique et de systèmes embarqués. Un outil qui s'appuie sur la programmation car il utilise le G langage, connu pour ses capacités graphiques et ses applications. Unix et Linux Il est utilisé de manière académique et industrielle dans les processus de collecte de données, d'automatisation et de contrôle industriel, se terminant par la version 2015 de LabVIEW 2015.

➤ Fonctionnement

LabVIEW est représentée sous forme d'un VI « Visual Instruments ».

Il y a deux étapes : la définition du GUI (front panel) qui est la conception de l'interface utilisateur où l'on dessine et place tous les éléments visuels (contrôles) **Figure (III.15)** :

Contrôles d'entrée de l'utilisateur : bouton, interrupteur, potentiomètre, curseur, zone de saisie de valeur/listes ...

Contrôles de sortie du programme : voyant, graphe, thermomètre, zone de texte ...)

Et le (block Diagram) qui contient le code d'exécution **Figure (III.16)**.

Pour une représentation plus fonctionnelle, ces éléments peuvent être entourés visuellement (décoration) dans un cadre, regroupés dans des onglets (tabs) etc... et on peut leur associer un texte libre (label).

Chaque contrôle utilisé dans le front panel va créer un objet terminal dans le bloc Diagram.

Le diagramme est présenté dans une fenêtre séparée. Il contient le code source graphique du VI, il permet d'effectuer des traitements sur les entrées et sorties créées dans la face avant. La fenêtre diagramme va donc contenir en quelque sorte le « code source » du programme VI.

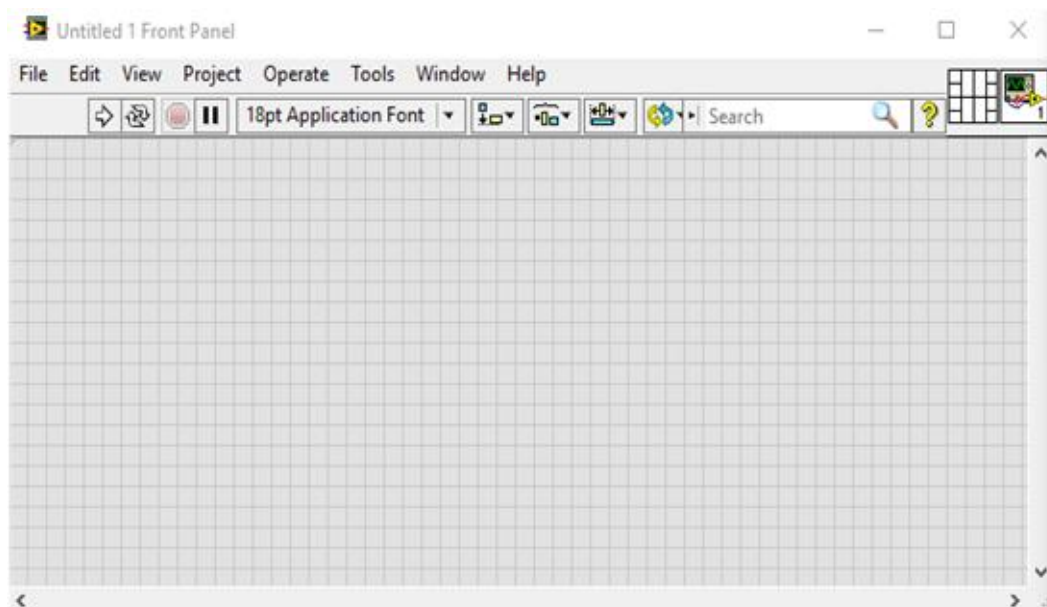


Fig. III. 14 . Front panel

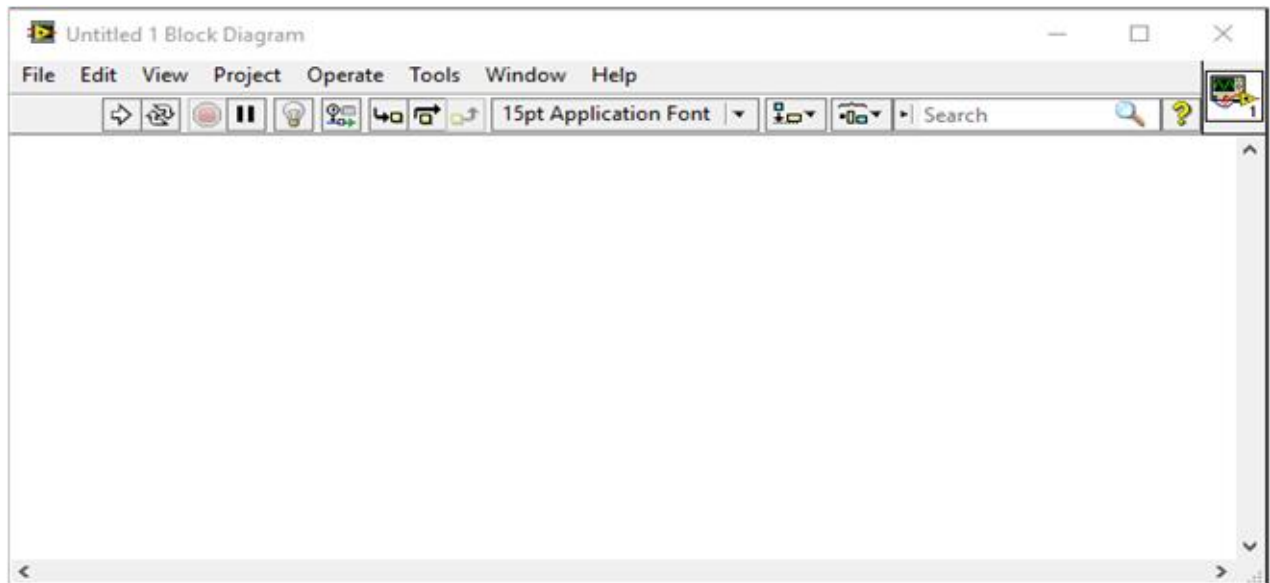


Fig. III. 15 Block Diagramme

III.4 Système de détection réalisé

Le système de détection de fuite que nous avons réalisé est composé de deux parties : Une partie hydraulique composée d'une conduite en PEHD et des accessoires nous permettons de faire déplacer les transmetteurs le long de la conduite. Une autre électronique comprenant les capteurs, et le système de conditionnement ; ainsi qu'un système d'affichage et de visualisation **Figure (III.17).**

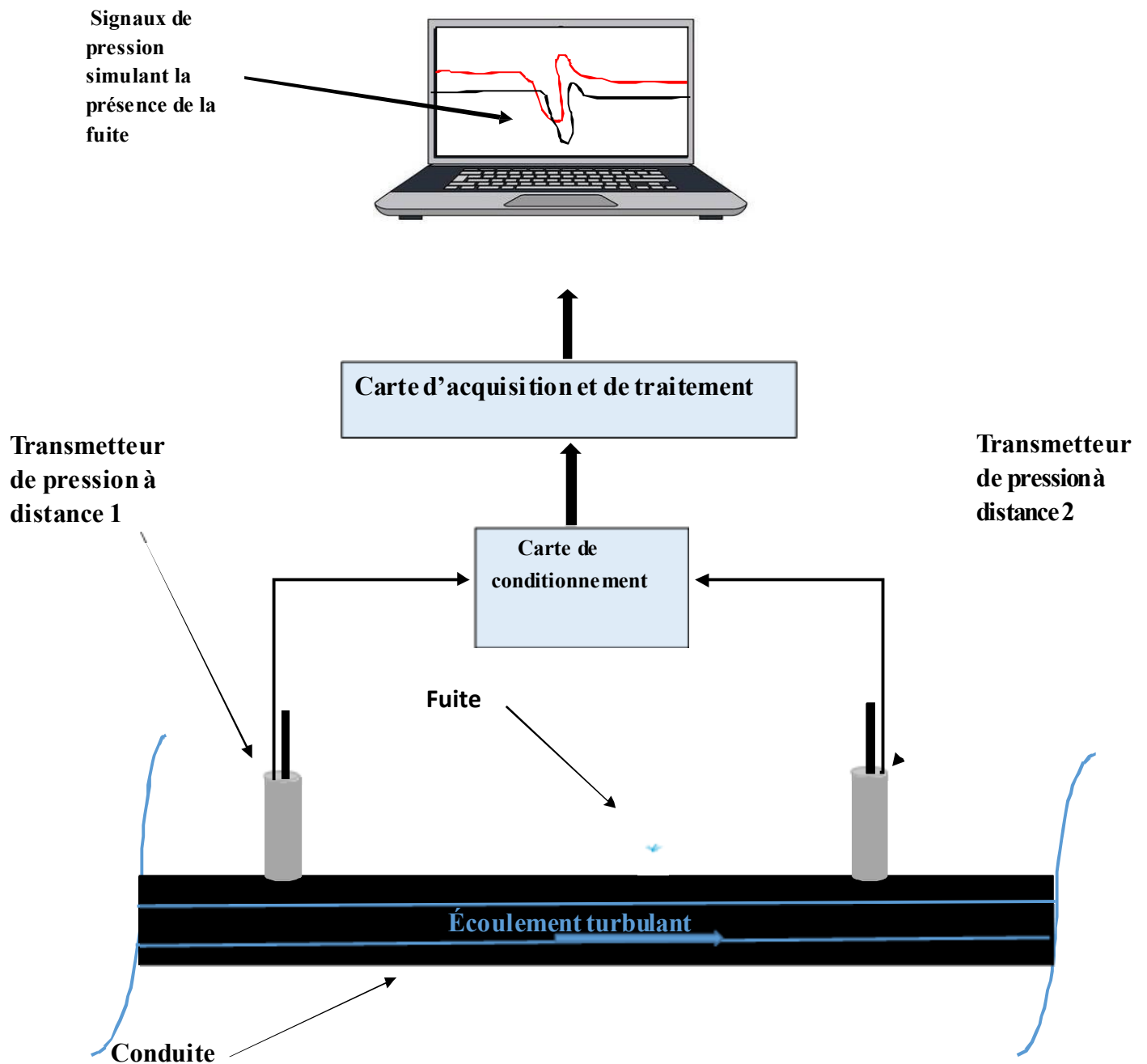


Fig. III. 16 Système de détection réalisé

Les deux transmetteurs sont basés sur des capteurs de pression placés le long de la conduite prototype pour mesurer la pression du liquide à l'intérieur. Nous avons simulé la fuite en perçant un trou de 10 mm sur la conduite. L'ouverture et la fermeture de ce dernier est contrôlée par une électrovanne. La fuite est placée à 17 m de la pompe. Le premier transmetteur est placé à une distance fixe de 1.5m par rapport à la fuite par contre on fait déplacer le deuxième par des distances équidistants jusqu'à 76.5m. Une singularité soudaine de la pression provoquer par

l'action sur un bouton poussoir engendre la présence d'une fuite qui va être signalé par notre détecteur en faisant allumer une LED électroluminescente colorée en rouge . Par une boucle de courant 4-20 mA qui est couramment utilisée dans les applications industrielles car elle permet une transmission de signal fiable sur de longues distances tout en résistant aux interférences électromagnétiques. Les variations des courants image de la pression sont liées par une équation donnée par la datasheet du constructeur. Une carte de conditionnement est prévue pour transformer les courants acquis en des tensions pour pouvoir les visualiser par l'oscilloscope et les analyser. La carte reçoit les signaux des capteurs de pression, qui sont des signaux analogiques, et les conditionne pour les rendre compatibles avec les dispositifs d'acquisition utilisé à cet effet (on ne doit pas dépasser 5V pour les entrées de la carte ARDUINO UNO). Avec un logiciel LabVIEW nous avons développé une interface sur laquelle nous avons ajouté des étages nous permettant de faire une acquisition en temps réel. Le buildage de la structure développée est nécessaire. Nous avons pris un temps d'acquisition de 15 secondes. L'affichage est avéré indispensable pour localiser exactement le temps de la singularité que nous lui avons choisi auparavant. La présence d'une fuite est signalée par une LED fermée sur un étage comparateur. Un Threshold est nécessaire pour faire cette comparaison. La valeur de la tension du Threshold est prise par rapport à la plus lointaine distance du capteur par rapport à la fuite. Un montage comparateur est réalisé à cette effet à base d'un amplificateur opérationnel TL082. La borne non inverseuse du deux AOPs est lié à un diviseur de tension délivrant une tension réglable à partir d'un potentiomètre. Le montage diviseur de tension est alimenté par la tension délivrée par la carte ARDUINO.

Dès qu'une dépression se produit sur l'un des capteurs elle va être détecté par le comparateur en faisant allumé une diode électroluminescente signalant la présence d'une fuite.

Autrement dit, la carte ARDUINO joue le rôle d'interface entre les composants physiques du circuit (tels que les capteurs de pression) et l'ordinateur via le logiciel LabVIEW. Cette dernière est utilisée pour acquérir les données de pression converties à des valeurs numériques présent à des intervalles de temps réguliers, et les transmettre à un logiciel LabVIEW pour quelle soient sauvegarder. Le logiciel LabVIEW est utilisé pour développer une interface utilisateur graphique (GUI) qui affiche les données de pression en temps réel et détecte les anomalies qui pourraient survenir lors de notre acquisition. Un autre chemin peut être également pris en développant une interface graphique à partir des tools de LabVIEW pouvant jouer le rôle du comparateur fermé sur un dispositif d'affichage qu'on peut l'améliorer.

III.5 Étage de comparaison

Un étage de comparaison est utilisé afin de prendre une décision de la présence de la fuite, cet étage est fermé sur un affichage à LED comme montré par la **Figure (III.18)**.

Le Threshold (seuil) est pris par rapport à la position la plus lointaine du deuxième capteur

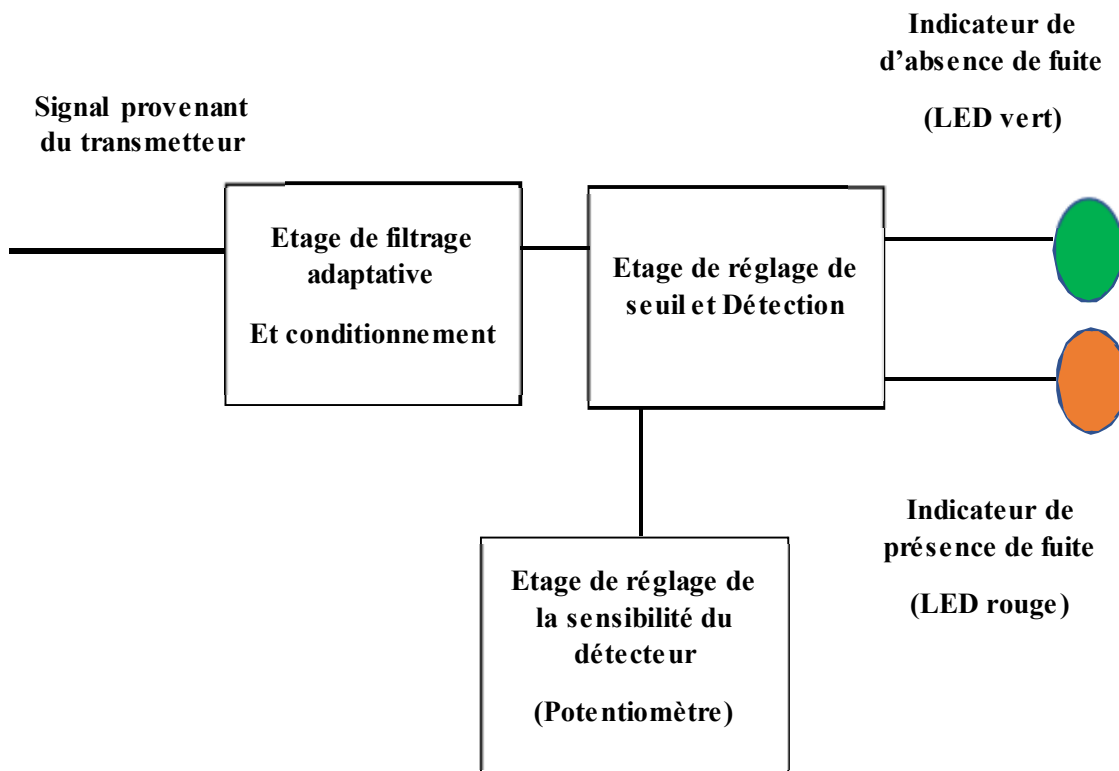


Fig. III. 17 . Synoptique du détecteur

III.6 Résultats et discussions

Les données provenant des capteurs de pression précédemment enregistrées seront analysées à l'aide de différentes méthodes pour repérer et localiser les fuites. Compte tenu des défis liés à l'acquisition de signaux contenant les informations nécessaires, nous avons effectué plusieurs acquisitions en utilisant la carte ARDUINO via le logiciel LabVIEW. La représentation graphique des variations de pression en fonction du temps peut être réalisée en exploitant les données stockées dans un fichier Excel. La représentation temporelle des signaux provenant

des transmetteurs de pression est prise pour deux cas différents. La **Figure (III.19)**.

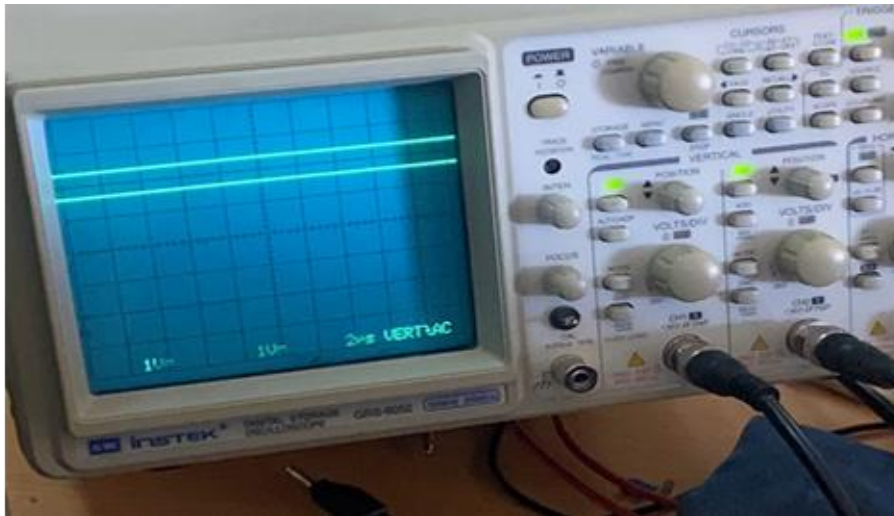


Fig.III. 18. Représentation des variations temporelles de pression sans fuite captées par les deux capteurs de pression

Représente sur un intervalle de 15s les variations de la pression en fonction du temps En analysant ces signaux on constate la constance de la pression détectée par les deux capteurs. Dès qu'une fuite apparaît une dépression va se produire comme représentée par la **Figure (III.20)**



Fig.III. 19. Signaux avec fuite des deux capteurs

Nous pouvons exploiter également l'interface LabVIEW nécessitant la conception d'une interface permettant aux utilisateurs de surveiller et d'analyser les données de manière efficace, pour représenter les signaux en temps réel pour le cas sans fuite et les signaux avec fuite A ce contexte, on doit suivre quelques étapes pour pouvoir obtenir les variations temporelles souhaités.

➤ **Panneau frontal (front panel)**

C'est l'interface graphique interactive avec laquelle l'utilisateur interagit **Figure (III.21)** et qui contient plusieurs éléments représentés par :

Capteurs, on peut utiliser un graphique du signal (temporel waveform) pour afficher les variations de pression au fil de temps.

Bouton de contrôle : Pour démarrer et arrêter la simulation ou la réinitialiser et par conséquent le démarrage de la représentation du signal temporel

Signalisation visuelle : Pour alerter l'utilisateur en cas de présence de fuite.

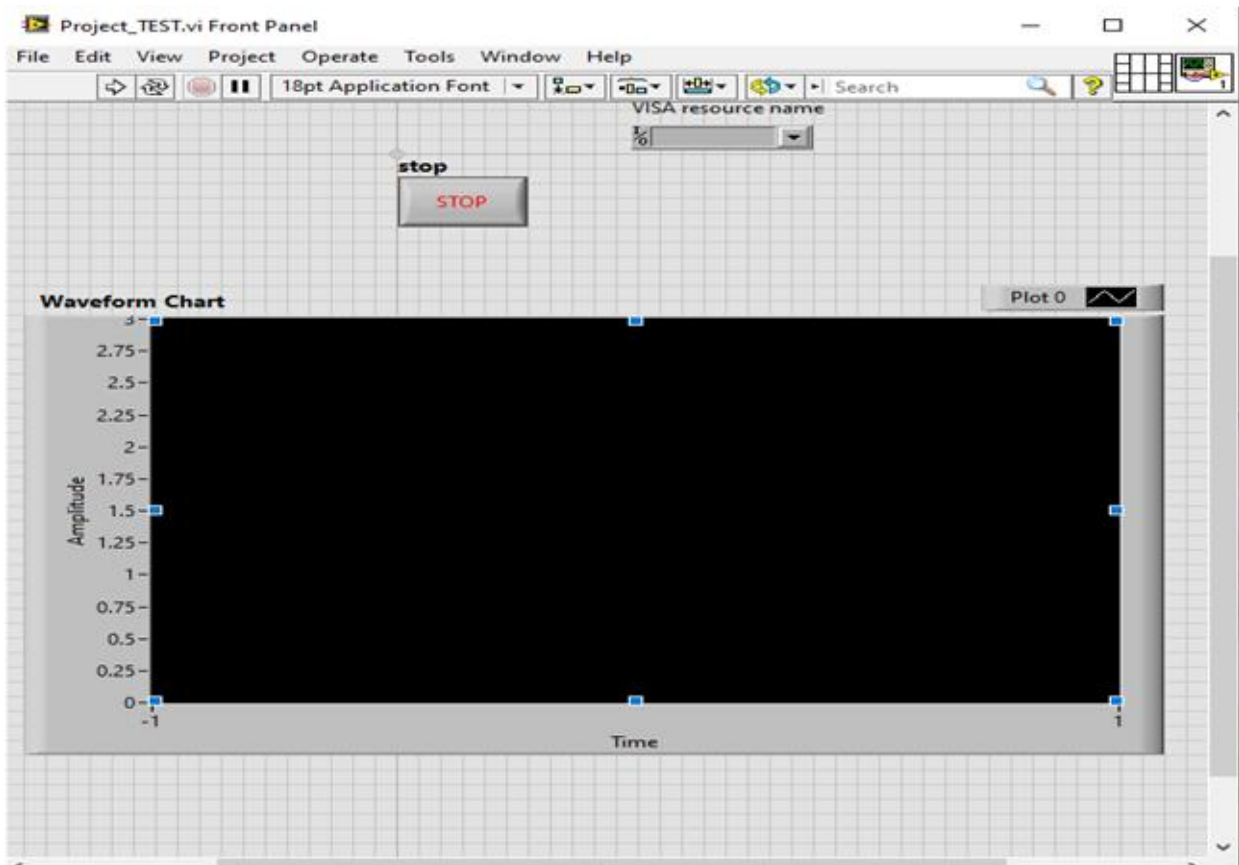


Fig.III. 20. Panneau frontal du LabView

➤ Block Diagram (schéma block)

C'est l'endroit où le flux de données et de contrôle est tracé. Il se compose d'un ensemble d'icônes représentant des opérations de calcul et les dispositifs d'entrée sortie. Les icônes sont connectées l'aide de flèches pour définir le flux de données entre les différentes opérations, ce qui facilite la visualisation des relations entre les différentes parties du programme **Figure (III.22)** et qui contient plusieurs éléments représentés par :

Boucles d'acquisition de données : Pour collecter en contenu les données des capteurs de pression.

Traitement de signal : Cela inclut l'application d'algorithmes pour analyser les données acquises, comme le calcul des dérivées de la pression, son FFT, et la corrélation entre les signaux acquis. Ainsi que, pour détecter les changements rapides pouvant indiquer une fuite.

Conditions d'alarme : Configurer la logique de détection des fuites, si la variation de pression des deux signaux atteint un certain seuil désigné au préalable elle sera signalé par un système d'affichage élaboré à ce but. Si la tension dépasse sur l'un des signaux acquis la valeur du seuil signalée un affichage présenté par une LED va s'allumer.

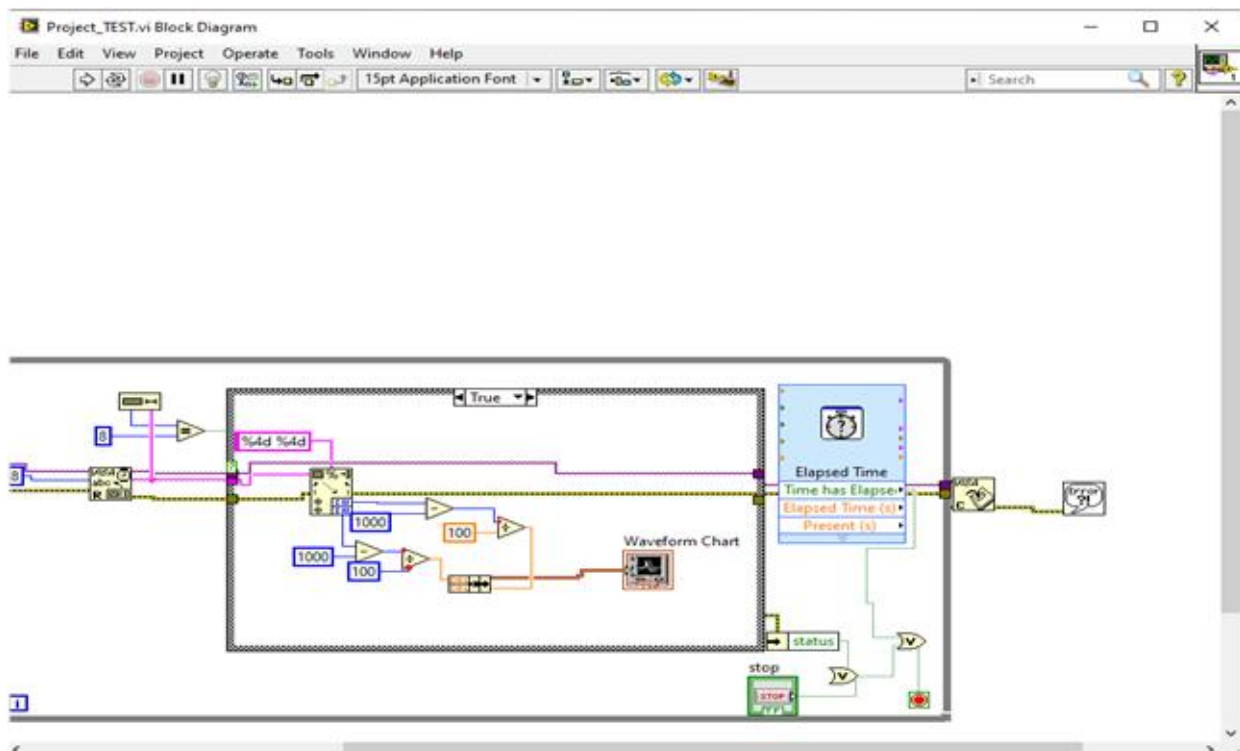


Fig.III. 21.Block Diagram d'Acquisition

III.6.1 Résultats

Nous avons installé deux transmetteurs de pression, espacés de différentes distances tel que $X_1=1,5$ m et $X_2= 66$ m qui représentent les distances entre la fuite et les deux transmetteurs 1 et 2. On a simulé une fuite à une position choisie arbitrairement. Nous avons pris une distance de 17m entre la pompe et la fuite. Le premier transmetteur est installé à une position de 1.5m et le second on le fait déplacer le long de la conduite. La création de la fuite est produite par l'action sur un bouton poussoir agissant sur une électrovanne. Une fois qu'une anomalie, exprimée par une singularité sur nos signaux correspondant à une baisse brusque de pression, est détectée, un étage de comparaison est réalisé à cet effet. Un seuillage (Threshold) pris par

rapport à la plus distante position prise va être choisi. Une fois que la pression des deux signaux des deux transmetteurs tombe au-dessous de ce seuil elle sera détectée et elle va être par la suite signaler par des LED signalant la présence d'une fuite **Figure (III.23)**.

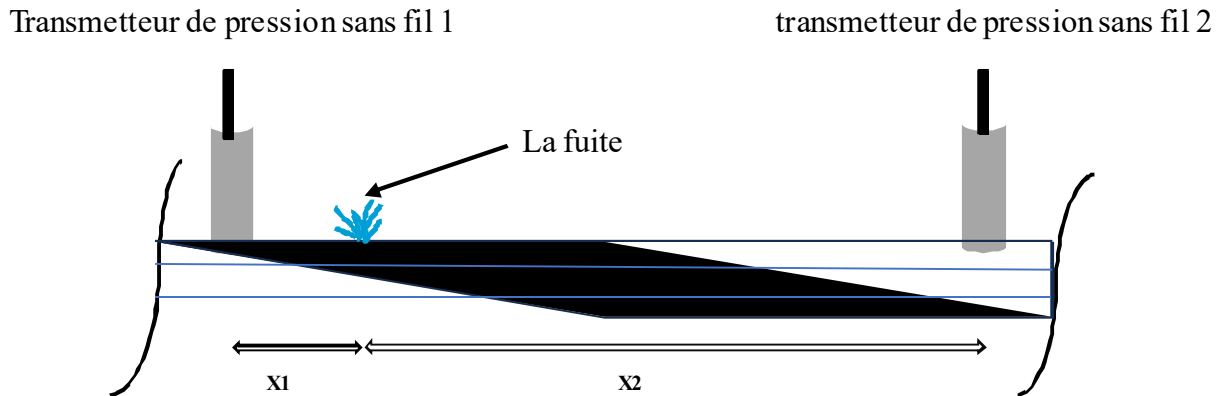


Fig.III. 22.Schéma synoptique d'un Système de détection réalisé

La vitesse de propagation de l'onde de pression est donnée par l'équation ci-dessous :

Pour le capteur 1

$$X_1 = t_1 * V$$

X_1 représente la distance entre la fuite et le premier capteur.

Capteur 2

$$X_2 = t_2 * V$$

X_2 représente la distance entre la fuite et le deuxième capteur.

Le décalage temporel du signal (2) par rapport au signal (1) est de :

$$\Delta t = t_1 - t_2$$

Donc on peut en déduire la relation liant la vitesse et le décalage temporelle.

$$V = \frac{X_1 - X_2}{\Delta t}$$

Après plusieurs acquisitions nous avons trouvé que la vitesse de propagation de l'onde de pression est égale à $V=201 \text{ m/s}$.

La valeur de la vitesse déduite empiriquement peut être obtenue d'une façon théorique dépendant du type de la conduite et ses paramètres tels que l'épaisseur, le diamètre de la conduite et les caractéristiques des matériaux transportés.

$$V = \frac{1}{\sqrt{\rho \left(\frac{1}{k} + \frac{d}{eE} \right)}}$$

V : vitesse de propagation de l'onde de pression m/s

ρ : Densité de liquide 998.2kg/m³

K : Module d'élasticité du liquide 2.2*10⁹ Pa

E: Module de young =9*10⁸ N/m²

d: Diamètre incus de la conduite 40*10⁻³m

e : Epaisseur de la conduite -2.4*10m

III.6.2 Signaux acquis

Nous avons fait plusieurs acquisitions pour deux différentes pressions, dans lequel nous avons fixé le 1^{er} transmetteur à une distance de 1,5 m tout en changeant à chaque fois l'emplacement du 2^{ème} transmetteur, afin de détecter et localiser les positions des fuites, qui sont connues au préalable en utilisant la simulation à l'aide de logiciel LabVIEW.

Les deux courbes temporelles de pression provenant des capteurs, pour un système sans fuite, sont illustrées par la **Figure (III.24)**.

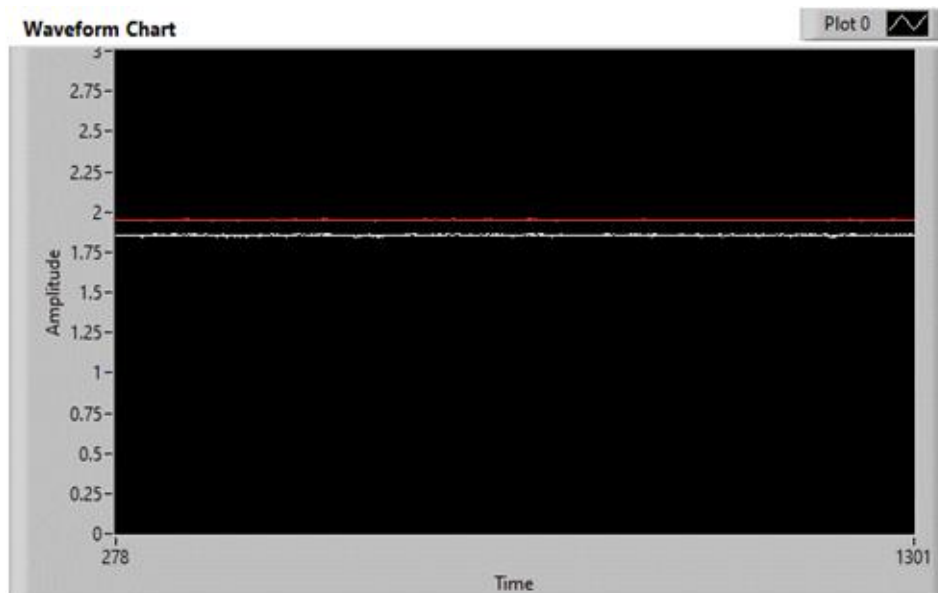


Fig.III. 23. Représentation des variations temporelles de pression sans fuite captées par les deux capteurs de pression.

En analysant les courbes obtenues on constate une constance de la valeur de pression des deux transmetteurs. Deux valeurs différentes de pression sont affichées. La plus petite valeur est de

1.88V correspond à celle qui est loin de la pompe, la deuxième a une valeur de 1.93V image de la pression signifiant qu'il n'y a pas de fuite.

➤ Signaux avec fuite de la première acquisition

Les signaux avec fuite indiqués ci-dessous correspondent à une mesure de distance équivalente à :

$$X_1=1,5 \text{ m}$$

$$X_2=20,5 \text{ m}$$

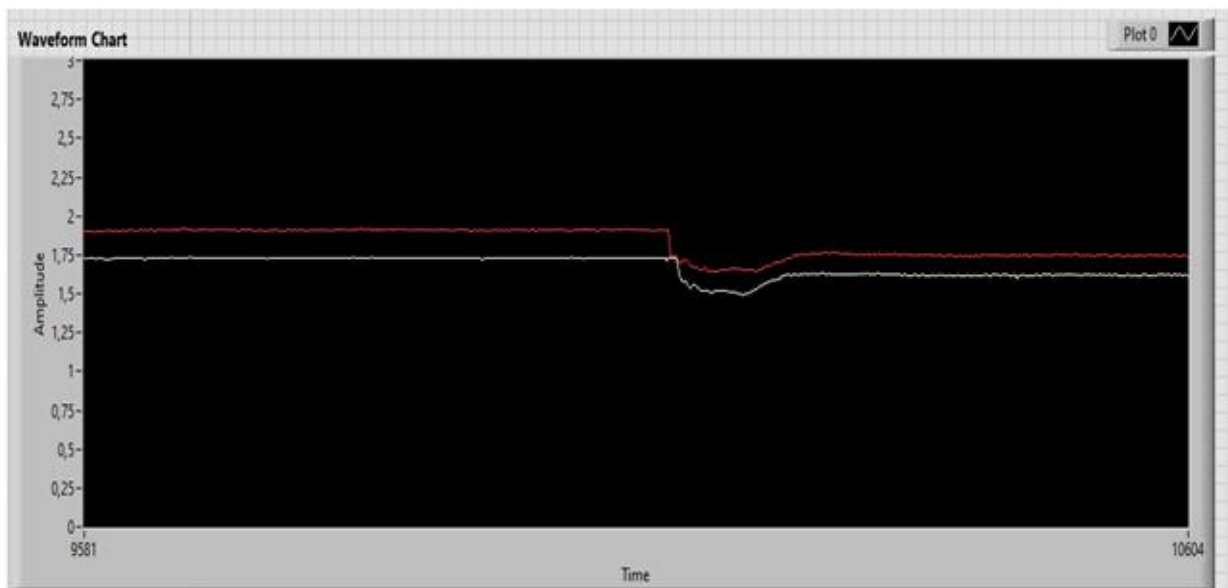


Fig.III. 24.Signaux avec fuite des deux capteurs, 1 ère acquisition

En analysant les courbes on constate une dépression est produite sur les deux signaux. Nous l'avons pris au milieu de l'intervalle d'enregistrement qui est de 15s. En plus vue que les transmetteurs sont installés à des différentes positions on voit un décalage temporel entre les deux signaux acquis.

Pour avoir une compréhension générale de la forme des signaux temporels avec fuite, une seconde acquisition des données des deux capteurs a été ajoutée, comme illustré par la **Figure (III.25)**.

$X_1=1,5$ m et $X_2=45,5$ m

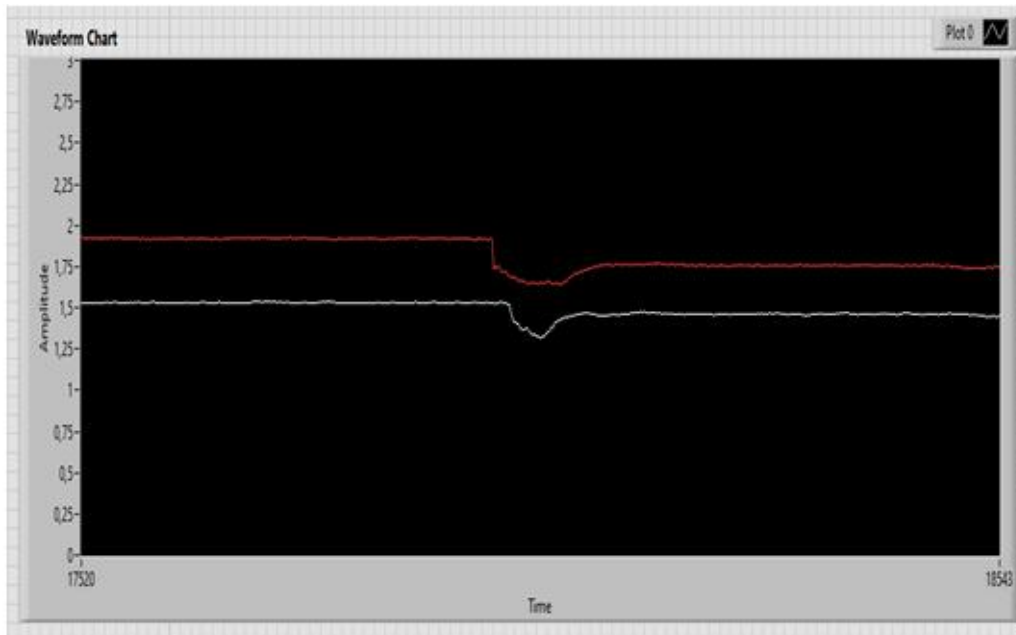


Fig.III. 25. Signaux avec fuite des deux. Signaux avec fuite des deux capteurs, 2ème acquisition

A travers les deux acquisitions précédentes, Nous remarquons que les deux signaux montrent une singularité qui montre qu'il y a une fuite et un décalage temporel entre eux. Pour illustrer le décalage, Une troisième acquisition de données provenant des deux capteurs a été effectuée en plus, comme illustré dans la **Figure (III.26)**.

$X_1=1,5$ m, $X_2=72$ m

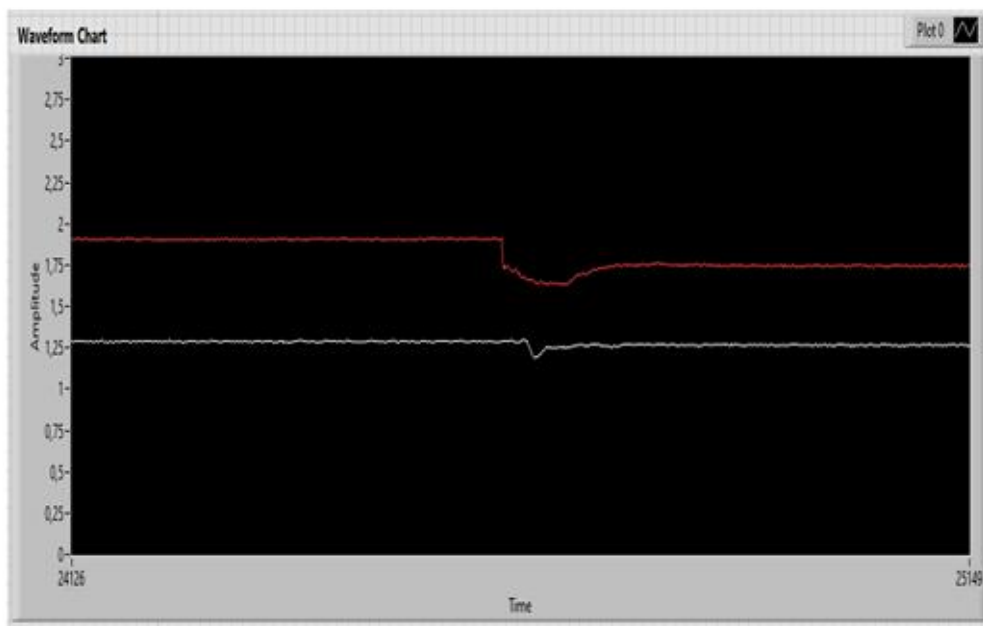


Fig.III. 26. Signaux avec fuite des deux capteurs, 3ème acquisition

Pour cette figure la dépression est produite au milieu de l'enregistrement signalant la présence de la fuite et les pressions sont décalées entre eux et le décalage est très grand par rapport à ceux qui sont données par les autres **Figures (III.27)**

III.7 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons expliqué en premier la solution proposée pour détecter les fuites d'eau, nous avons présenté le système d'acquisition que nous avons réalisé pour obtenir cette détection. Cette dernière a montré une bonne efficacité pour la localisation temporelle du moment où la fuite s'est produite, une explication exhaustive du circuit hydraulique et ces accessoires. Un étage de comparaison est réalisé à cet effet. Les tests ont montré l'efficacité du détecteur proposé.

La détection de la fuite peut être signalée avec la constatation de la dépression sur les deux signaux provenant des deux traducteurs ou par l'affichage signalé par une LED.

Perspectives

- Selon le modèle développé on a besoin d'optimiser certains paramètres que nous avons utilisés pour cela
- Utiliser l'une des méthodes d'optimisation pour le calcul de ces paramètres
- Valider le modèle mathématique proposé pour déterminer la position de la fuite et comparer les résultats obtenus avec ceux du circuit réel réalisé,
- Utiliser des nouvelles cartes d'acquisition fonctionnant en temps réel et qui sont moins cher,

Conclusion générale

Conclusion générale

La plupart des réseaux de distribution d'eau se détériorent avec le temps en raison de plusieurs facteurs internes (le matériau, le diamètre, la pression, la résistance, la corrosion du matériau) ainsi que de facteurs externes (le sol, le mouvement de la terre). À cela s'ajoutent les problèmes résultant des erreurs humaines lors de l'installation. Tous ces facteurs contribuent à la création de fuites dans les réseaux de distribution d'eau, ce qui pose un problème majeur pour la continuité de la distribution de l'eau, et entraîne des pertes environnementales et économiques, et présente des risques sanitaires en raison de l'infiltration de polluants dans la canalisation lors d'une baisse de pression.

La détection des fuites fait l'objet de recherches scientifiques depuis longtemps, et plusieurs méthodes ont été développées pour localiser les fuites lors de l'écoulement de l'eau dans les canalisations. Les détecteurs utilisés mondialement sont vendus à des prix élevés, ce qui rend souhaitable le développement de méthodes plus efficaces et moins coûteuses pour détecter les fuites. Dans ce travail de recherche, nous avons développé et conçu un dispositif de détection qui peut être continuellement amélioré pour un usage optimal. Notre objectif principal est de détecter et de localiser les fuites dans le réseau, nous avons donc installé des capteurs de pression dans notre canalisation modèle et menons une nouvelle étude théorique pour formuler une équation reliant le débit et la pression afin de localiser la fuite par rapport à l'un des capteurs, en tenant compte des paramètres qui dépendent du type de matériau des conduites et de la forme de la fuite. Pour aborder le problème des fuites, il a bien fallu évoquer dans le premier chapitre quelques notions générales sur la fuite par la suite, nous donnons la définition du fluide. Le deuxième chapitre a été dédié aux capteurs de pression et aux types de filtrages existantes. En fin le troisième chapitre est réservé à la description du détecteur proposé. Une conclusion générale a clôturé le travail avec quelques perspectives pour améliorer de plus le travail.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

- [1] Gheris hanene. "Etude de l'influence de la vitesse initiale sur le débit de fuite en écoulement transitoire". Université de ANNABA 2020/2021
- [2] Ryma FARSE "modélisation théorique et validation expérimentale de la réduction des fuites par la modulation de la pression". Montréal, LE 23 AVRIL 2010
- [3] Akir AMIROUDINE. Professeur à l'université Bordeaux 1. MÉCANIQUE DES FLUIDES
- [4] Dr. Azzeddine KHORSI. Notions fondamentales En mécanique Des Fluides. École supérieure en génie électrique et énergétique d'Oran
- [5] Y Labye, Conception et optimisation des réseaux d'irrigation,
- [6] Extrait du référentiel technique national EPA, république d'Haiti : Fascicule technique/directives techniques/eec. 2.5.1 DIT1 projet Dinpa-Oieau-Unicef 2012/2013
- [7] Marie Frénéa, " Filtrage analogique " ENS Cachan – Antenne de Bretagne 2003.
- [8] Elprocus " Different Types ofChebyshev Filters with Calculations ", www.elprocus.com
- [9] Varun Aggarwal, Wesley O Jin, Una-May O "ReillyFilter Approximation Using ExplicitTime and Frequency Domain Specifications", Institute of Technology Cambridge.
- [10] LD-P « Les filtres analogiques » CNAM 2006-2007
- [11] Christian BISSIERES TS IRIS "Physique Appliquée système analogique linéaire application à la fonction filtrage " <http://cbissprof.free.fr>
- [12] Drone BUILD 5inch FPV-TBS Source ONE V4-4S (19 avril 2021)

Résumé

Notre invention appartient au domaine de l'ingénierie et plus précisément au domaine de la gestion de l'eau potable ou industrielle. Cette dernière préoccupe les responsables des AEPs (Alimentation en Eau Potable) dès sa production jusqu'à sa consommation par les citoyens. Dans la plupart des cas une grande quantité d'eau s'échappe des conduites souterraines pour des différentes raisons. Cette quantité gaspillée provoque des endommagements des infrastructures et elle peut même atteindre la santé publique par la pénétration des contaminants dans les canalisations dès qu'une chute de pression se produise. Pour cela nous avons pensé à concevoir et réaliser un dispositif qui permet de détecter et localiser les fuites d'eau souterraines. Ce dernier a l'avantage qu'il est moins coûteux par rapport à ceux qui existent sur le marché international. En plus moins sensible aux bruits environnants puisqu'il touche directement l'écoulement à l'intérieur de la conduite.

Afin de réduire les inconvénients des fausses alarmes causées par l'utilisation des anciens détecteurs qui reposent généralement pour leurs fonctionnements sur les signaux acoustiques. Nous avons pensé à un nouveau dispositif de détection de fuite basé sur la pression vue qu'il n'est pas affecté par des facteurs externes. Un DAC est réalisé à cet effet. Des tests de validation de l'efficacité du nouveau détecteur vont être effectués.

الملخص

اخترعنا جهازًا يندرج في مجال الهندسة، وتحديداً في مجال إدارة المياه الصالحة للشرب أو الصناعية. يشغل هذا المجال بالفعل عقول مسؤولي توزيع المياه الصالحة للشرب منذ إنتاجها حتى استهلاكها من قبل المواطنين. في معظم الحالات، تتسرب كميات كبيرة من المياه من الأنابيب السفلية لأسباب مختلفة. تسبب هذه الكمية المهذورة تلفاً في البنية التحتية ويمكن أن تؤثر حتى على الصحة العامة من خلال تسرب الملوثات إلى الأنابيب فور حدوث انخفاض في الضغط. لهذا السبب، فقد تخطر لنا فكرة تصميم وتنفيذ جهاز يمكنه اكتشاف وتحديد تسربات المياه السفلية. يتمتع هذا الجهاز بالميزة التكلفة الأقل بالمقارنة مع تلك المتوفرة في السوق الدولية، بالإضافة إلى أنه أقل حساسية تجاه الضوضاء المحيطة نظراً لأنه يتلامس مباشرة مع التدفق داخل الأنبوب.

من أجل تقليل متاعب الإنذارات الكاذبة التي يسببها استخدام المنظّمات القديمة التي تعتمد عادة على الإشارات الصوتية لتشغيلها، قمنا بالتفكير في جهاز جديد لاكتشاف التسربات يعتمد على الضغط لأنه لا يتأثر بالعوامل الخارجية.

يتم تنفيذ جهاز الكشف (DAC) لهذا الغرض. ستجرى اختبارات التحقق من فعالية المنظّم الجديد.

Abstract

Our invention belongs to the field of engineering and more precisely to the field of drinking or industrial water management. The latter concerns those responsible for AEPs (Drinking Water Supply) from its production to its consumption by citizens. In most cases a large quantity of water escapes from underground pipes for various reasons. This wasted quantity causes damage to infrastructure and can even affect public health through the penetration of contaminants into the pipes as soon as a drop in pressure occurs. To do this, we thought about designing and creating a device that can detect and locate underground water leaks. The latter has the advantage that it is less expensive compared to those that exist on the international market. In addition, less sensitive to surrounding noise since it directly affects the flow inside the pipe.

In order to reduce the inconvenience of false alarms caused by the use of old detectors which generally rely on acoustic signals for their operation. We thought of a new leak detection device based on pressure since it is not affected by external factors. A DAC is made for this purpose. Validation tests of the effectiveness of the new detector will be carried out.