

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° : 161635089516



DOMAINE: SCIENCES ET TECHNOLOGIE

FILIERE : ELECTRONIQUE

OPTION : INSTRUMENTATION

Mémoire présenté pour l'obtention
Du diplôme de Master Académique

Intitulé

Étude et implémentation d'un système de
détection de fuite d'eau base sur un modèle
développé

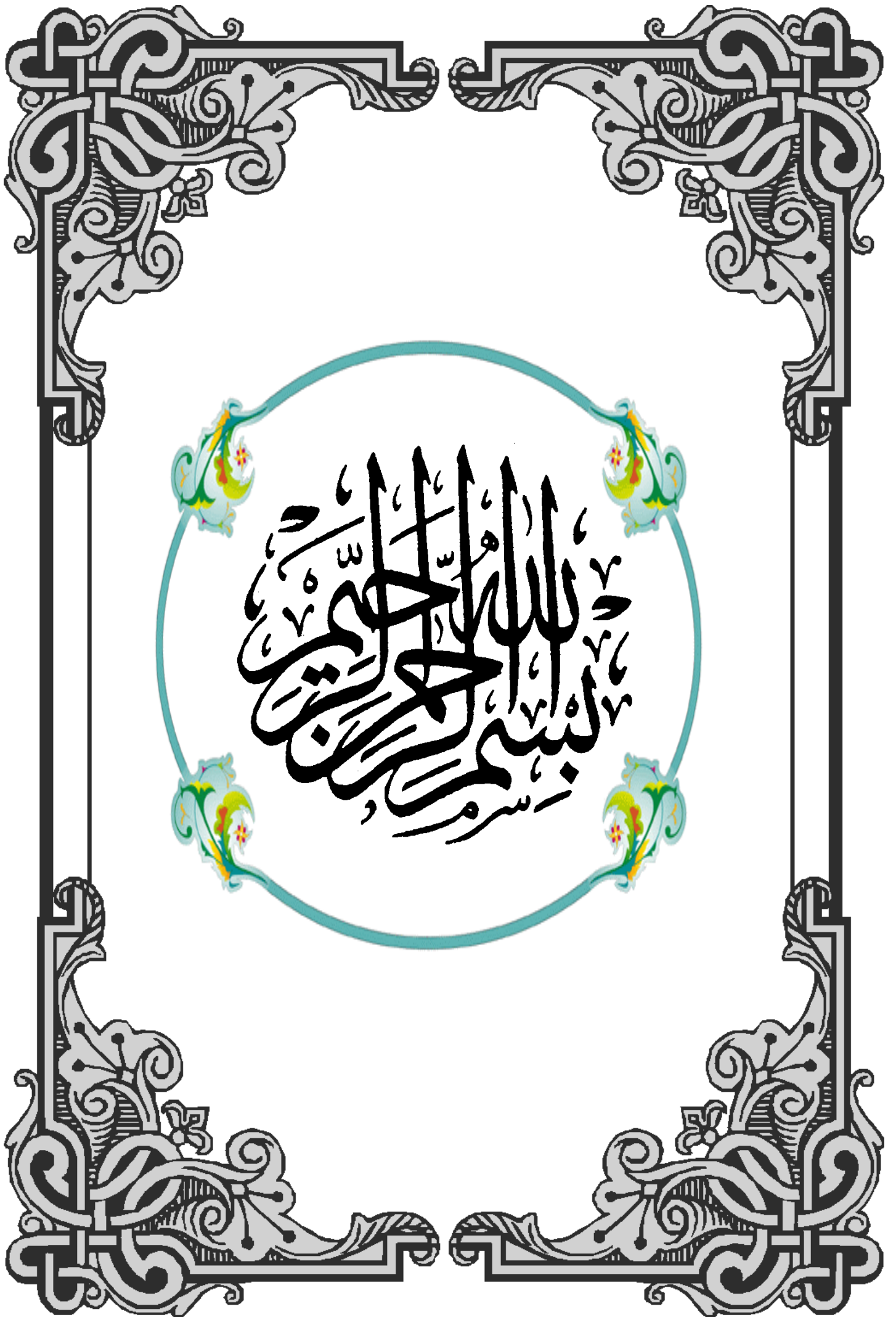
Réalisé par

- **MELIANI Nassim Safwan**
- **ZOUAOUI Chahinez**

Soutenu devant le jury composé de :

M ^r .Guermat Noubiel	Université de Msila	Président
M ^r . Bentoumi Miloud	Université de Msila	Rapporteur
M ^r .Bakhti Haddi	Université de Msila	co-Rapporteur
Mr.Khalkhal saada	Université de Msila	Examineur

Année universitaire : 2021 /2022



Remerciements

Nos sincères remerciements s'adressent à ALLAH le tout puissant et miséricordieux pour son aide et la volonté qu'il nous a donné pour surmonter tous les obstacles et les difficultés durant nos années .d'études et surtout pendant la réalisation de ce mémoire

En second lieu, Nous ne pouvons pas réellement trouver les expressions Élégantes que mérite notre encadreur Dr. BENTOUMI Miloud et Co-encadreur Mr. BAKHTI Haddi pour avoir proposé ce sujet et accepté de dirigé notre travail, pour toute leur aide, nous somme ravi d'avoir travaillé en ses compagnies car outre leur appui scientifique, ils sont toujours été là pour nous soutenir et conseiller au .cours de l'élaboration de ce mémoire

Nos remerciements s'adressent à tous les membres du jury qui .ont accepté de juger notre travail

Nous remercie chaleureusement mes familles, pour leur soutien .inconditionnel tout au long de mes longues années d'études

Notre profonde gratitude à tous les enseignants du Département d'Electronique en particulier dans notre spécialité INST. Avec un remerciement spécial aux étudiants du département d'Électroniques et à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à l'aboutissement de .ce travail

Finalement, nous à adresser notre très sincère remerciement à tous .ceux qui m'aidé à accomplir ce travail

Dédicaces

*Je dédie ce modeste travail à ma chère
mère,
à mon père qui m'ont toujours
soutenu
Et aidé à affronter les difficultés,
À ma Fiancée
Mes très chers frères et mes chères sœurs
À mes amis et mes collègues
Et pour tous ce qui ont fait pour que je
puisse les
honorer et leur patience durant ma vie.*

MELIANI Nassim Safwan

Dédicaces

*e dédie ce modeste travail à ma chère mère,
source
de tendresse pour son soutien tout au long
de ma vie
scolaire et universitaire.*

*À mon père qui m'a toujours soutenu
À mes très chers frères et mes chères sœurs
À mes amis, mes collègues et enseignants
Tous qui ont collaboré de près ou de loin à
l'élaboration de ce travail*

ZOUAOUI Chahinez

SOMMAIRE

Remerciements

Dédicaces

Introduction générale 1

CHAPITRE I Généralité sur les mécanique de fluide et les réseaux de distribution d'eau

I.1. Introduction	4
I.2. Définition d'un fluide	4
I.2.1. Type de fluide.....	4
I.2.2. Caractéristique physique d'un fluide	6
I.3. Equation de continuité.....	9
I.4. Théorème de BERNOULLI pour les fluides réels	10
I.5. Dynamique des fluides incompressibles.	11
I.5.1. Définition des fluides réelle	11
I.5.2. Ecoulement permanant	11
I.5.3. Régimes d'écoulement	11
I.5.4. Notions des débits	12
I.5.5. Les pertes de charges.....	13
I.6. Pression	14
I.6.1. Définition de pression	14
I.6.2. Différentes unités de pression	14
I.6.3. Différents types de pression	15
I.7. Présentation générale des réseaux	17
I.7.1. Définitions	17
I.7.2. Types des réseaux de distribution d'eau	17
I.8. Fuites	19
I.8.1. Définition d'une fuite	19
I.8.2. Types de fuite	19
I.8.3. Débit de fuite	19
I.8.4. Cause des fuites	20
I.8.5. Conséquences des fuites.....	20
I.9. Théorie de propagation d'onde dans une conduite d'eau.....	20
I.9.1. Caractéristiques de l'onde	21

I.9.2. Vitesse de propagation de l'onde	21
I.10.Généralités sur les capteurs	22
I.10.1.Définitions.....	22
I.10.2. Définition d'un capteur de pression	23
a. Corps d'épreuve.....	23
b. Transducteur	24
c. Module électronique	24
I.10.3. Types de capteur de pression	24
a. Capteurs de pression absolue.....	25
b. Capteurs de pression différentiels.....	25
I.11.Conclusion.....	25

CHAPITRE II : Filtrage numérique

II.1. Introduction.....	29
II.2. Définition d'un filtre.....	29
II.3. Filtrage	29
II.4. Gabarit d'un filtre	30
II.4.1. Définition du gabarit d'un filtre	30
II.4.2. Paramètres de spécification	30
II.4.3. Réponse en fréquence des Gabarits de quelques filtres	30
II.5. Différents types de filtres.....	31
II.5.1. Filtres analogiques	31
II.5.1.1 Avantages du filtrage analogique :	32
II.5.1.2 Les inconvénients du filtrage analogique :	33
II.6. Les filtres numériques.....	33
II.6.1. Définition	33
II.6.2. Filtrage numérique	33
II.6.3. Forme générale d'un filtre numérique	34
II.6.4. Fonction de transfert	34
II.6.5. Les propriétés principales du filtrage numérique.....	35
II.6.6. Classification des filtres numériques	35
II.6.1. Filtre à Réponse Impulsionnelle Finie (RIF)	36
II.6.2. Filtre à Réponse Impulsionnelle Infinie (RII).....	38
II.6.3.Comparaison RIF- RII	39

II.7. Synthèse des filtres numériques.....	40
II.8. Caractéristiques des filtres numériques	41
II.9. Propriétés des filtres numériques	41
II.10. Filtres numériques de la valeur médiane:	42
II.11. Conclusion	43

CHAPITRE III : Traitement de signal

III.1. Introduction	46
III.2. Traitement de signal	46
III.3. Principales fonctions du traitement du signal.....	46
III.3.1. Élaboration des signaux.....	46
III.3.2. Interprétation des signaux.....	47
III.4. Définition et représentation des signaux	47
III.4.1. Définition d'un signal	47
III.4.2. Définition d'un bruit	47
III.5. Classification des signaux	47
III.5.1. Classification phénoménologique des signaux	47
III.5.2. Classification énergétique	49
III.5.3. Classification morphologique des signaux	49
III.6. Corrélation.....	50
III.6.1. Cross-corrélation	50
III.6.2. Autocorrélation d'un signal.....	50
III.6.3. Intercorrélation de deux signaux	51
III.8. Conclusion	51

CHAPITRE IV Résultat et discussion

IV.1. Introduction	54
IV.2. Système d'acquisition	54
IV.3. Chaîne d'acquisition.....	55
IV.3.1. Capteur de pression	55
IV.3.2. Boucle de courant 4-20 mA.....	58
IV.3.3. Etage de conversion courant-tension.....	60
IV.4. Circuit hydraulique.....	60
IV.4.1. Conduite	61
IV.4.2. Accessoires	61

IV.4.3. Fuite d'eau	61
IV.4.4. Electrovanne	61
IV.4.5. <i>Pompe</i>	62
IV.4.6. Réservoir	63
IV.5. Circuit électronique de conditionnement	63
IV.5.3. Arduino due	64
IV.5.2. Alimentation stabilisée	65
IV.7. Résultats et discussions	67
IV.7.1. Signaux acquis	67
IV.7.2. Filtrage des signaux par le filtre médian	69
IV.7.2. Calcul des performances du signal filtré par SNR	70
5.5. Localisation de la fuite	71
5.4. Application de cross-corrélation	75
IV.8. Conclusion	78
Conclusion générale	80
Références bibliographiques	82
Annexe	85

Liste des figures

CHAPITRE I

Fig.I.1. Fluide parfait.....	4
Fig.I.2. Fluide incompressible.....	5
Fig.I.3. Fluide compressible.....	6
Fig.I.4. Principe d'équation de continuité.....	9
Fig.I.5. Régime laminaire.....	11
Fig.I.6. Régime turbulent.....	11
Fig.I.7. Pertes de charges linéaires.....	13
Fig.I.8. Pression.....	14
Fig.I.9. Différentes pressions.....	16
Fig.I.10. Pression due à des forces extérieures.....	16
Fig.I.11. Schéma d'un réseau de distribution en eau potable ramifié.....	18
Fig.I.12. Schéma d'un réseau de distribution en eau potable maillé.....	18
Fig.I.13. Schéma bloc d'un capteur.....	22
Fig.I.14. Synoptique d'un capteur de pression.....	23
Fig.I.15. Capteur de pression.....	25
Fig.I.16. Capteur de pression différentiel.....	25

CHAPITRE II

Fig.II.1 : Gabarit d'un filtre.....	30
Fig.II.2. Réponse fréquentielle des Gabarits de quelques filtres.....	31
Fig.II.3. Schéma symbolique d'un filtre numérique.....	34
Fig.II.4. La structure générale d'un filtre numérique.....	34
Fig.II.5 Structure d'un filtre numérique non récursif.....	35
Fig.II.6 Structure d'un filtre numérique récursif.....	36
Fig.II.7. Schéma de principe d'un filtre RIF.....	37
Fig.II.8. Schéma de structure d'un filtre RIF.....	37
Fig.II.9. Schéma de principe d'un filtre RI.....	38
Fig.II.10. Schéma de structure d'un filtre RII.....	39

CHAPITRE III

Fig.III.1. Classification phénoménologique des signaux.....	48
Fig. III.2. (a, b, c). Signaux déterministes.....	48
Fig. III.3. Signal stationnaire.....	49

Fig. III.4. Signal non stationnaire	49
Fig.III.5. Classification morphologique	50

CHAPITRE IV

Fig. IV.1. Schéma synoptique du système d'acquisition.....	55
Fig. IV.2. Différentes positions des capteurs de pression	56
Fig. IV.3. Capteur de pression.....	57
Fig. IV.4. Capteur de pression.....	57
Fig. IV.5. Câblage de la boucle.	58
Fig. IV.6. Etalonnage pratique du capteur.....	59
Fig. IV.7. Circuit hydraulique global	60
Fig. IV.8. Canal prototype.....	61
Fig. IV.9. Électrovanne	62
Fig. IV.10. Bouton poussoir	62
Fig.IV.11. Pompe à eau	62
Fig. IV.12. Réservoir	63
Fig. IV.13. Synoptique du système électronique de conditionnement	63
Fig. IV.14. Blocks Simulink pour l'acquisition des signaux de pression.....	65
Fig. IV.15. Alimentation stabilisé GW modèle 3020.....	65
Fig. IV.16. Circuit électrique du système d'acquisition réalisé	66
Fig. IV. 17. Signaux temporels sans fuite issus des deux capteurs de pression.	68
Fig. IV. 18. Signaux temporels avec fuite issus des deux capteurs de pression.....	69
Fig. IV. 19. Signaux temporels avec fuite issus des deux capteurs de pression après filtrage.	69
Fig. IV.20. Schéma synoptique d'une portion de circuit réalisé	71
Fig. IV.21. Différence de temps entre les deux signaux (position 1).....	73
Fig. IV. 22. Signaux temporels issus des deux capteurs de pression (position 1).....	73
Fig. IV. 23. Signaux temporels issus des deux capteurs de pression (position 2).....	74
Fig. IV.24. Différence de temps entre les deux signaux (position 2).....	75
Fig.VI.25. Coefficients de la cross corrélation.....	77

Liste des tableaux

Tableau I.1. Table de masse volumique et type de fluide	7
Tableau I.2. Table de conversion d'unités (Pascal, Bar, Atmosphère)	15
Tableau I.3. La valeur de module de Young pour différents types de matériaux	22

Tableau. IV.1. Caractéristiques du capteur de pression	57
Tableau. IV.2. Caractéristiques Techniques de l'Arduino due	64
Tableau. IV.3. Les performances du signal par SNR	70
Tableau. IV.4. Les distances des fuites par rapport au capteur A	72



Introduction générale

Introduction générale

La distribution d'eau a pour fonction de livrer de façon permanente une eau de bonne qualité et avec une quantité suffisante à une pression adéquate. La chute de cette pression ne doit en aucun cas être inférieure à une certaine valeur limite. Cette dernière peut engendrer des contaminations qui peuvent influencer sur la santé publique par la pénétration des polluants dans les réseaux de distribution (RDD).

Les RDD subissent des dégradations au cours du temps qui peuvent causer des fuites. Des efforts doivent alors être consentis pour minimiser ces fuites qui causent des pertes économiques et des risques pour la santé publique ainsi que des problèmes d'environnement. 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.

La détection de fuite et sa localisation précise est parmi les facteurs déterminants pour atteindre un bon rendement du réseau. Pour localiser précisément les fuites, différentes méthodes sont mises en œuvre, en général, par étapes successives. A partir d'un secteur jugé douteux, on essaye d'identifier le tronçon fuyard (pré localisation) puis on détermine la position précise de la fuite (localisation).

Afin de localiser une fuite, différentes techniques sont mises en œuvre, Les méthodes conventionnelles (FFT) basées sur la transformée de Fourier très utilisées dans le domaine de détection des fuites sont assez limitées et leurs sensibilités est aléatoire et dépend de nombreux facteurs (nature de fluide, géométrie de défaut, bruit environnant...etc.). De nos jours, les détecteurs modernes qui se vend à travers le monde utilisent des capteurs acoustiques pour la détection de la fuite. La localisation de position est basée sur la corrélation acoustique de deux signaux issues de deux capteurs généralement posés sur des bouches d'incendie. Ces dispositifs modernes ont besoin toujours des utilisateurs professionnels car les signaux détectés sont noyés dans les bruits environnants dues aux activités quotidiennes ou trafic routiers qui peuvent lors de leurs corrélations donner un pic signalant l'existence d'une fuite qui ne reflète pas la réalité et qu'il s'agit uniquement d'une fausse alarme. Les conduites en plastique sont plus silencieuses et ne transmettent pas les bruits autant que les conduites métalliques.

Dans le cadre de ce travail, nous avons pensé à remédier à ce problème par l'utilisation de capteurs de pression. Ces derniers ont l'avantage d'être très précis. Leurs informations ne sont pas influencées par les bruits de l'environnement. Nous avons trouvé que le meilleur

Introduction générale

moyen est l'application de la cross-corrélation des signaux des deux transmetteurs de pression pour la localisation exacte de la fuite par rapport à l'un des capteurs.

Le travail effectué dans ce mémoire est axé autour de quatre chapitres qui sont présentés comme suit :

Dans le premier chapitre, nous présentons les notions des fluides et ces caractéristiques physiques les différents types de pressions ainsi que la dynamique de fluide compressible, suivi par une présentation d'une généralité sur les réseaux de distributions et les fuites d'eau.

Le deuxième chapitre est dédié à l'étude du filtrage numérique. Quelques notions préliminaires sur les filtres vont être présentées. Les types de filtres vont être éclairci. Les avantages des filtres numériques par rapport à leurs homologues analogiques seront également traités. Enfin, une étude détaillée sur les filtres à valeur médiane va être exposée.

Dans le troisième chapitre, on donne quelques définitions générales sur les signaux, et les différentes techniques de traitement appliquées avec une étude détaillée sur la technique de cross-corrélation.

Le quatrième chapitre est réservé à la réalisation pratique et la validation des résultats. Nous avons réalisé un canal prototype que nous l'avons déposé horizontalement. Il est composé de segments de tube en PEHD de 3m de longueur et $\varnothing = 40\text{mm}$ de diamètre. Ces segments sont liés par des coudes pour étudier l'influence des pertes de charge. Sur ce canal on a installé deux transmetteurs de pression de part et d'autre d'une électrovanne. Cette dernière est montée sur le canal afin de simuler la fuite. L'acquisition des signaux de pression est effectuée via une carte Arduino duo (partie hardware). Une configuration des blocks Simulink de Matlab pour la partie software est indispensable. Les tests et la validation pratique consacrées à l'application de cette technique sur des signaux de fuite réels acquis sur un ce canal prototype sont effectuées.

Enfin, le travail est clôturé par une conclusion générale indiquant la contribution de cette mémoire en exposant notamment les éventuelles perspectives.



CHAPITRE I
Généralité sur les
mécanique de fluide et les
réseaux de distribution d'eau



I.1. Introduction

La mécanique des fluides est la science des lois de l'écoulement des fluides. Elle est la base du dimensionnement des conduites de fluides et de leurs mécanismes de transfert. Autrement dit, la mécanique des fluides est une branche de la physique qui étudie les fluides c'est-à-dire les liquides et les gaz lorsque ceux-ci subissent des forces ou des contraintes. De nos jours, la dynamique des fluides est un domaine en plein essor avec de nombreux problèmes non résolus ou partiellement résolus.

Dans ce chapitre, une étude exhaustive sur les fluides va être présentée. Le classement des types de fluides et leurs caractéristiques va être abordé. Une attention particulière sera donnée aux équations de BERNOULLI et de continuité. Un panorama sur les réseaux de distribution d'eau va être exposé. Les fuites, leurs causes et conséquences vont être traitée.

I.2. Définition d'un fluide [1]

On appelle fluide un corps qui n'a pas de forme propre et qui est facilement déformable. Les liquides et les gaz sont des fluides, ainsi que des corps plus complexes tels que les polymères ou les fluides alimentaires. Ils se déforment et s'écoulent facilement. Un fluide englobe principalement deux états physiques : l'état gazeux et l'état liquide.

I.2.1. Type de fluide [2]

A. Fluide Parfait

Le fluide parfait **Figure (I.1)** est un fluide dont le tenseur des contraintes de cisaillement est identiquement nul, c'est-à-dire un volume délimité par une surface fermée Σ fictive ou non. Il s'agit d'un fluide qui n'existe pas dans la nature.

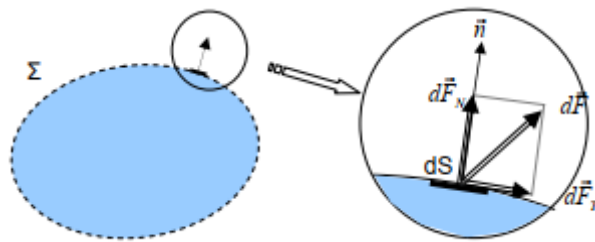


Fig.I.1. Fluide parfait

Considérons $d\vec{F}$ la force d'interaction au niveau de la surface élémentaire dS de normale \vec{n} entre le fluide et le milieu extérieur. On peut toujours décomposer $d\vec{F}$ en deux composantes:

- Une composante $d\vec{F}$ tangentielle à dS .
- Une composante $d\vec{F}$ normale à dS

En mécanique des fluides, un fluide est dit parfait s'il est possible de décrire son mouvement sans prendre en compte les effets de frottement. C'est-à-dire quand la composante \overline{dF}_T est nulle. Autrement dit, la force $d\vec{F}$ est normale à l'élément de surface dS .

B. Fluide Réel

Contrairement à un fluide parfait, qui n'est qu'un modèle pour simplifier les calculs, pratiquement inexistant dans la nature, dans un fluide réel les forces tangentielles de frottement interne qui s'opposent au glissement relatif des couches fluides sont prises en considération. Ce phénomène de frottement visqueux apparaît lors du mouvement du fluide. C'est uniquement au repos, qu'on admettra que le fluide réel se comporte comme un fluide parfait, et on suppose que les forces de contact sont perpendiculaires aux éléments de surface sur lesquels elles s'exercent. La statique des fluides réels se confond avec la statique des fluides parfaits.

C. Fluide incompressible

Un fluide est dit incompressible **Figure (I.2)** lorsque le volume occupé par une masse donnée ne varie pas en fonction de la pression extérieure. Les liquides peuvent être considérés comme des fluides incompressibles (eau, huile, etc.)

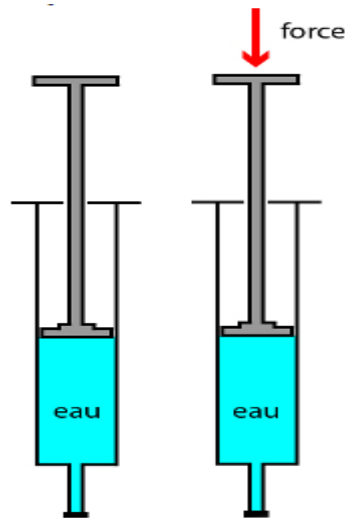


Fig.I.2. Fluide incompressible

D. Fluide compressible

Un fluide est dit compressible **Figure (I.3)** lorsque le volume occupé par une masse donnée varie en fonction de la pression extérieure. Les gaz sont des fluides compressibles. Par exemple, l'air, l'hydrogène, le méthane à l'état gazeux, sont considérés comme des fluides compressibles.

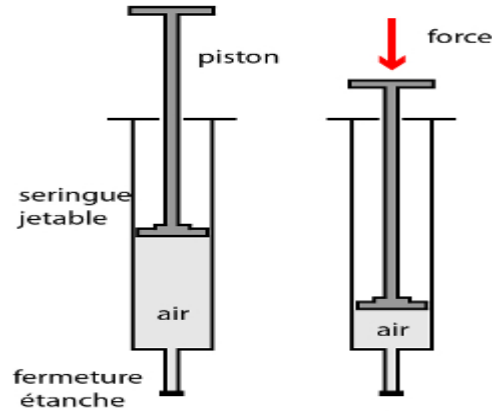


Fig.I.3. Fluide compressible

I.2.2. Caractéristique physique d'un fluide [3]

Tous les fluides possèdent des caractéristiques permettant de décrire leurs conditions physiques dans un état donné. Parmi ces caractéristiques qu'on appelle propriétés des fluides on a:

- a- Compressibilité
- b- Masse volumique
- c- Densité
- d- Poids volumique
- e- Volume massique
- f- Viscosité

a- Compressibilité

La compressibilité est le caractère de variation de volume de fluide avec une variation de pression (dp), le volume de fluide subit une diminution de volume (dV). L'augmentation de pression entraîne une diminution de volume.

Le coefficient de compressibilité est : $\beta = - \frac{dV/V}{dp} = - \frac{dV}{dpV} \dots \dots \dots (I.1)$

β : coefficient de compressibilité (m^2/N)

V : volume de fluide (m^3)

dV : variation de volume (m^3)

dp : variation de pression (N/m^2)

b- Masse volumique

La masse volumique d'une substance, aussi appelée densité volumique de masse est une grandeur physique qui caractérise la masse de cette substance par unité de volume. Elle est généralement notée par les lettres grecques ρ (rhô) ou μ (mu). On utilise ces deux notations en

fonction des habitudes du domaine de travail donc

$$\rho = \frac{\text{masse}}{\text{volume}} = \frac{M}{V} \dots\dots\dots (I.2)$$

ρ : Masse volumique en (kg/m³)

M : masses-en (kg)

V : volume en (m³)

Tableau I.1. Table de masse volumique et type de fluide

Fluide	Masse volumique (Kg/m3)	Type de fluide
PEHD	0,980.10 ³	Incompressible
Eau	0,99829.103 à 20 °C	
Huile d'olive	0,918. 10 ³	
Mercure	13,546. 10 ³	
Air	0,001205. 103 à 20 °C	Compressible
Hydrogène	0,000085. 103	
Méthane	0,000717. 103	

c- Densité

Elle mesure le rapport de la masse volumique du fluide rapportée à un corps de référence.

C'est une grandeur sans unité définie donnée par :

$$D = \frac{\text{masse volumique du fluide}}{\text{masse volumique d'un fluide de référence}} = \frac{\rho}{\rho_{ref}} \dots\dots (I.3)$$

Le corps de référence dépend de l'état physique du corps ; elle peut être

l'eau pure à 4 °C : pour les solides et les liquides

Air : pour les gaz ou la vapeur

Les liquides sont caractérisés par une masse volumique relativement importante

$$\rho_{\text{Liquide}} \gg \rho_{\text{gaz}} \dots\dots\dots (I.4)$$

Pour les gaz, la masse volumique dépend de la température et de la pression.

d- Poids volumique (poids spécifique) : ϖ (N/m³)

Il représente la force d'attraction exercée par la terre sur l'unité de volume, c'est-à-dire le poids de l'unité de volume.

$$\varpi = \frac{G}{V} = \frac{Mg}{V} = \frac{\rho V g}{V} \quad \varpi = \rho g \quad (\text{N/m}^3) \dots\dots\dots (I.5)$$

ϖ : Poids volumique en (N/m³).

M : masse en (kg).

g : accélération de la pesanteur en (m/s²).

V : volume en (m³).

e- Volume massique (volume spécifique)

C'est le volume qu'occupe l'unité de masse d'une substance, c'est l'inverse de la masse volumique

$$V = \frac{V}{M} = \frac{V}{\rho V} = \frac{1}{\rho} \quad (\text{m}^3/\text{kg}) \dots\dots\dots(\text{I.6})$$

f- Viscosité

La viscosité tient son nom du Latin Viscum signifiant résistance à l'écoulement se produisant dans la masse d'une matière. Elle est définie aussi comme la résistance à l'écoulement des différentes couches d'un fluide (les unes sur les autres). Lorsque la viscosité augmente, la capacité du fluide à s'écouler diminue. La viscosité est le critère qui différencie un fluide réel d'un fluide parfait. Elle est la cause des frottements internes qui entraînent la dissipation d'énergie mécanique en chaleur.

a. Viscosité dynamique

La viscosité dynamique correspond à la contrainte de cisaillement qui accompagne l'existence d'un gradient de vitesse d'écoulement dans la matière. On classe notamment les huiles mécaniques selon leur viscosité, en fonction des besoins de lubrification du moteur et des températures auxquelles l'huile sera soumise lors du fonctionnement du moteur. Si le coefficient de viscosité dynamique μ des liquides est bien supérieur à celui des gaz, cependant le coefficient de viscosité cinématique est souvent inférieur.

Contrairement au cas des gaz, la viscosité des liquides diminue avec la température. Des formules empiriques ou semi-empiriques permettent de relier μ à T. C'est par exemple celle de Walther qui est applicable aux huiles de graissage :

$$\mu = \mu_0 e^{\left(\frac{T_0}{T}\right)^m} \dots\dots\dots(\text{I.7})$$

Avec m une constante qui dépend du liquide étudié.

b. Viscosité cinématique

La viscosité cinématique, ν est définie comme étant le rapport entre la viscosité dynamique et la masse volumique. Beaucoup d'équations de la mécanique des fluides comprennent le ratio μ/ρ Parce qu'il se produit si souvent, ce ratio a été donné le nom spécial viscosité cinématique. Le symbole utilisé pour identifier la viscosité cinématique est ν . L'unité de la viscosité cinématique est [m² /s], comme indiqué.

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} [\text{m}^2 /\text{s}] \dots\dots\dots(\text{I.8})$$

c. Différence entre viscosité dynamique et viscosité cinématique

La viscosité cinématique caractérise le temps d'écoulement d'un liquide. Par contre, la viscosité dynamique correspond à la réalité physique du comportement d'un fluide soumis à une sollicitation (effort). En d'autre terme, cette dernière exprime la « rigidité » d'un fluide à une vitesse de déformation en cisaillement

d. Influence de la température sur la viscosité

Lorsque la température augmente, la viscosité d'un fluide décroît car sa densité diminue.

I.3. Equation de continuité [4]

Considérons une veine de fluide incompressible de masse volumique animé d'un écoulement permanent On désigne par :

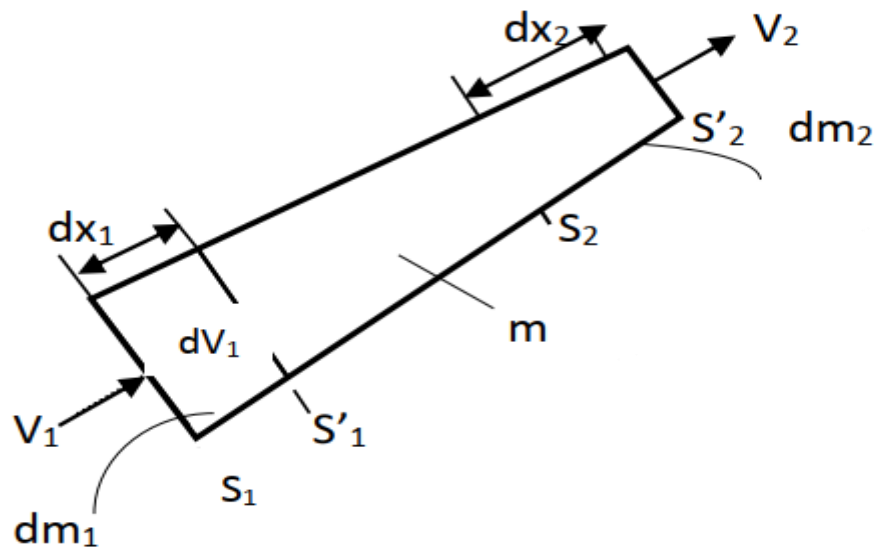


Fig.I.4. Principe d'équation de continuité

- S_1 et S_2 respectivement les sections d'entrée et la section de sortie du fluide à l'instant t
- S'_1 et S'_2 respectivement les sections d'entrée et la section de sortie du fluide à l'instant $t' = (t+dt)$
- V_1 et V_2 les vecteurs vitesses d'écoulement respectivement à travers les sections S_1 et S_2 de la veine
- dx_1 et dx_2 respectivement les déplacements des sections S_1 et S_2 pendant l'intervalle de temps dt
- dm_1 : masse élémentaire entrante comprise entre les sections S_1 et S'_1
- dm_2 : masse élémentaire sortante comprise entre les sections S_2 et S'_2

- m : masse comprise entre S_1 et S_2
- dV_1 : volume élémentaire entrant compris entre les sections S_1 et S'_1
- dV_2 : volume élémentaire sortant compris entre les sections S_2 et S'_2
- A l'instant t : le fluide compris entre S_1 et S_2 a une masse égale à

$$(dm_1+m)$$
- A l'instant t' : le fluide compris entre S'_1 et S'_2 a une masse égale à

$$(m+dm_2)$$
- Par conservation de la masse : $dm_1 + m = m + dm_2$, en simplifiant par m on aura

$$dm_1 = dm_2$$

Donc $\rho_1 \cdot dV_1 = \rho_2 \cdot dV_2$ (I.9)

Ou encore $\rho_1 \cdot S_1 \cdot dx_1 = \rho_2 \cdot S_2 \cdot dx_2$(I.10)

En divisant par dt on aboutit à

$$\rho_1 \cdot S_1 \cdot \frac{dx_1}{dt} = \rho_2 \cdot S_2 \cdot \frac{dx_2}{dt} \Leftrightarrow \rho_1 \cdot S_1 \cdot V_1 = \rho_2 \cdot S_2 \cdot V_2$$
..... (I.11)

Puisque le fluide est incompressible : $\rho_2 = \rho = 1$. On peut simplifier et aboutir à l'équation de continuité suivante :

$$S_1 \cdot V_1 = S_2 \cdot V_2$$
(I.12)

I.4. Théorème de BERNOULLI pour les fluides réels [5] [6]

Lorsque le fluide est réel, la viscosité est non nulle, alors au cours du déplacement du fluide, les différentes couches frottent les unes contre les autres et contre la paroi qui n'est pas parfaitement lisse d'où il y a une perte sous forme de dégagement d'énergie ; cette perte appelée « perte de charge ».

Considérons un écoulement entre deux points (1) et (2) d'un fluide réel dans une conduite. On

Suppose éventuellement, qu'il existe entre (1) et (2) des machines hydrauliques.

On note

- J_{12} : Somme de toutes les pertes de charge, singulière et linéaires entre les sections (1) et (2).
- P_n : Puissance mécanique échangé entre le fluide et les machines éventuellement placées entre (1) et (2). Le Théorème de Bernoulli prend la forme générale suivante :

$$\frac{1}{2} (v_2^2 - v_1^2) + \frac{1}{2} (P_2 - P_1) + g \cdot (Z_2 - Z_1) = J_{12} + \frac{P_n}{qm}$$
(I.13)

Tel que

v : Vitesse moyenne d'écoulement de la veine fluide à travers S_x .

Z : Altitude de centre de gravité de masse dm_x .

P : pression du fluide au niveau de section S_x .

q_m : Débit volumique de la machine hydraulique.

I.5. Dynamique des fluides incompressibles.

I.5.1. Définition des fluides réelle

Un fluide est dit réel si, pendant son mouvement, les forces de contact ne sont pas perpendiculaires aux éléments de surface sur lesquelles elles s'exercent (elles possèdent donc des composantes tangentielles qui s'opposent au glissement des couches fluides les unes sur les autres). Cette résistance est caractérisée par la viscosité [7]

I.5.2. Ecoulement permanent

L'écoulement d'un fluide est dit permanent si le champ des vecteurs de vitesses des particules fluides est constant dans le temps. Notons cependant que cela ne veut pas dire que le champ des vecteurs de vitesse est uniforme dans l'espace. L'écoulement permanent d'un fluide parfait incompressible est le seul que nous aurons à considérer dans ce cours. Un écoulement non permanent conduirait à considérer les effets d'inertie des masses fluides [8].

I.5.3. Régimes d'écoulement [9]

Les expériences réalisées par Reynolds en 1883 lors de l'écoulement d'un liquide dans une conduite cylindrique rectiligne dans laquelle arrive également un filet de liquide coloré, ont montré l'existence de deux régimes d'écoulement : régime laminaire et régime turbulent.

a. Régime laminaire : Les filets fluides sont des lignes régulières, sensiblement parallèles entre elles.



Fig.I.5. Régime laminaire

b. Régime turbulent : Les filets fluides s'enchevêtrent, s'enroulent sur eux-mêmes



Fig.I.6. Régime turbulent

Des études plus fines ont montré qu'il existe encore une subdivision entre :

- les écoulements turbulents lisses.
- les écoulements turbulents rugueux.

La limite entre ces différents types d'écoulements est évidemment difficile à appréhender.

En utilisant divers fluides à viscosités différentes, en faisant varier le débit et le diamètre de la canalisation, Reynolds a montré que le paramètre qui permettait de déterminer si l'écoulement est laminaire ou turbulent est un nombre sans dimension appelé nombre de Reynolds donné par l'expression suivante

$$R_e = \frac{V \cdot d}{\nu} \dots\dots\dots(I.14)$$

- V : Vitesse moyenne d'écoulement à travers la section considérée en (m/s).
- d : Diamètre de la conduite ou largeur de la veine fluide en (m).
- ν : Viscosité cinématique du fluide (m^2/s).

Résultats empiriques à titre indicatif :

Si $R_e < 2000$ l'écoulement est laminaire

Si $R_e > 2000$ l'écoulement est turbulent :

- Lisse si $2000 < R_e < 100000$
- Rugueux si $R_e > 100000$

I.5.4. Notions des débits [10]

a. Débit massique

Dans une section droite quelconque S de la veine fluide à travers laquelle le fluide s'écoule à la vitesse moyenne V

$$q_m = \rho \cdot S \cdot V \dots\dots\dots(I.15)$$

- Où
- Q_m débit massique en (kg/s).
 - ρ masse volumique en (kg/m^3).
 - S section de la veine fluide en (m^2).
 - V vitesse moyenne du fluide à travers (S) en (m/s).

b. Débit volumique

Le débit volumique d'une veine fluide est la limite du rapport $\frac{dv}{dt}$

Quand dt tend vers zéro

$$q_v = \frac{dv}{dt} \dots\dots\dots(I.16)$$

Donc : $q_v = S \cdot V \dots \dots \dots (I.17)$

A partir des relations précédentes on peut déduire facilement la relation entre le débit massique et le débit volumique

$q_m = \rho \cdot q_v \dots \dots \dots (I.18)$

I.5.5. Les pertes de charges [11]

a. Pertes de charge singulières

Quand la conduite subit de brusque variation de section ou de direction il se produit des pertes de charges dites singulières, elles sont généralement mesurables et font partie des caractéristiques de l'installation. On les exprime par

$J_s = -k_s \frac{V^2}{2} \dots \dots \dots (I.19)$

Où K_s : Coefficient (sans unité) de pertes de charge. Il dépend de la nature et de la géométrie de l'accident de forme.

b. Pertes de charges linéaires

Les pertes de charges linéaires **Figure (I.7)**, sont des pertes de charge réparties régulièrement le long des conduites. En chaque point d'un écoulement permanent les caractéristiques de l'écoulement sont bien définies et ne dépendent pas du temps. La représentation graphique de l'écoulement prend l'allure ci-dessous.

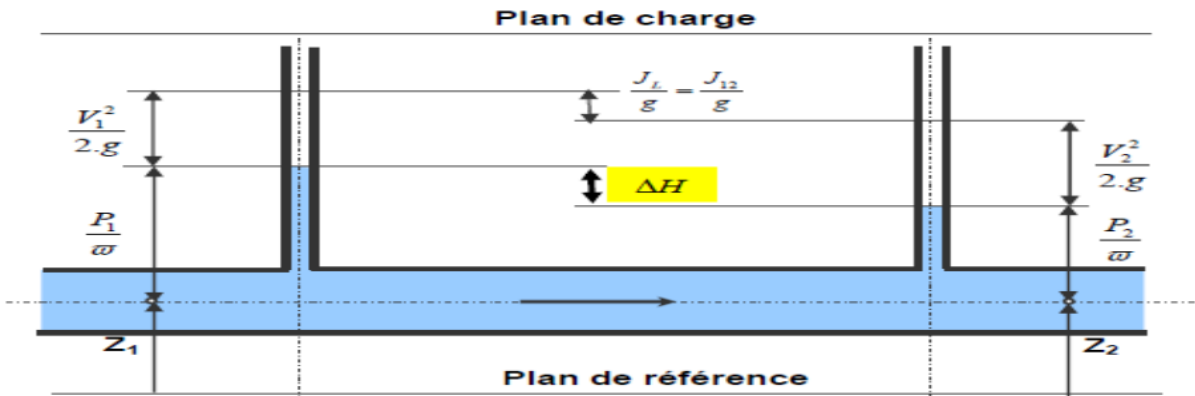


Fig.I.7. Pertes de charges linéaires

La vitesse étant constante, la ligne piézométrique et la ligne de charge sont parallèles. La variation de hauteur piézométrique, évaluée en hauteur de liquide est égale à la perte de charge linéaire entre les deux points de mesure.

Les pertes de charge linéaires sont proportionnelles à la longueur L de la conduite, inversement proportionnelles à son diamètre d , proportionnelle au carré de la vitesse débitante V du fluide.

$$J_s = -\lambda \frac{V^2}{2} \cdot \left(\frac{L}{d}\right) \dots\dots\dots(I.20)$$

- V : vitesse moyenne d'écoulement dans la conduite (m/s).
- L : longueur de la conduite (m).
- d : diamètre de la conduite (m).
- λ : coefficient de perte de charge linéaire, il dépend du régime d'écoulement et notamment du nombre de Reynolds Re .

I.6. Pression

I.6.1. Définition de pression [12]

La pression **Figure (I.8)** est une grandeur dérivée du système international. La pression P en un point d'un fluide est donnée par le rapport entre la valeur F de la force pressante exercée sur une surface plane centré en ce point et l'aire S de cette surface :

$$P = \frac{F}{S} \dots\dots\dots(I.21)$$

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

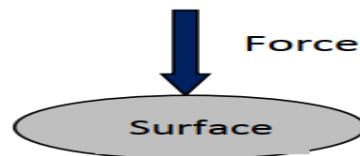


Fig.I.8. Pression

I.6.2. Différentes unités de pression

La pression est raccordée indirectement au Système Internationale d'unité par ce que l'on appelle une unité dérivée dite « dérivée cohérente ayant un nom spécial et un symbole particulier ». Les unités dérivées cohérentes sont définies comme un produit de puissances des unités de base sans autre facteur de proportionnalité que le nombre un.

Le "pascal" (symbole Pa) est l'unité de pression définie par la 14e Conférence Générale des Poids et Mesures de 1971. Le "pascal" est exprimé comme le rapport d'un newton par mètre carré (unités autres que SI) ou comme un kilogramme par mètre par seconde carré (unités SI).

Tableau I.2. Table de conversion d'unités (Pascal, Bar, Atmosphère)

	Pascal (Pa)	Bar (b)	Atmosphère
(1 pascal)	1	10^5	$9,869 \cdot 10^{-6}$
(1 bar)	10	1	0,987167
(1kgf/cm²)	98039	0,9803	0,968
(1atmosphère)	101 325	1,0133	1
(1 cm d'eau)	98,04	$980 \cdot 10^{-6}$	$968 \cdot 10^{-6}$
(1 mm de Hg)	133	$1,333 \cdot 10^{-3}$	$1,316 \cdot 10^{-3}$
(1mb)	102	10^{-3}	$987 \cdot 10^{-6}$
(1 inch Hg)	$3,386 \cdot 10^3$	$33,86 \cdot 10^{-3}$	$33,42 \cdot 10^{-3}$
(1 psi)	6892	$68,9 \cdot 10^{-3}$	$68 \cdot 10^{-3}$
(1 torr)	133	$1,33 \cdot 10^{-3}$	$1,316 \cdot 10^{-3}$

I.6.3. Différents types de pression [13]

a. Pression atmosphérique ou pression barométrique :

C'est la pression ressentie en chaque point de la surface terrestre. Elle est due au poids des couches d'air environnant le globe.

La pression atmosphérique varie avec :

- La température.
- L'attitude (position de la terre).
- L'altitude (position de la mer).

La pression atmosphérique moyenne au niveau de la mer, à 15 °C, est d'environ 1013 mbar. Elle peut varier, de ± 25 mbar, avec la pluie ou le beau temps. Elle est fonction de l'altitude (hydrostatique).

b. Pression relative

C'est la différence de pression par rapport à la pression atmosphérique. C'est la plus souvent utilisé, car la plupart des capteurs, soumis à la pression atmosphérique, mesurent en relatif. Pour mesurer en absolu, il leur faut un vide poussé dans une chambre dite de référence.

c. Pression absolue

La pression de référence la plus claire est la pression zéro, qui existe dans l'espace libre de l'air de l'univers. Une pression qui est liée à cette pression de référence est appelée pression

absolue. Afin de la différencier des autres types de pression, on la note avec l'index "abs", qui est dérivé du latin "absolutus", signifiant détaché, indépendant.

Remarque : On peut rajouter 1 bar à la pression relative pour avoir une approximation de la pression absolue.

d. Le vide

Il correspond théoriquement à une pression absolue nulle. Il ne peut être atteint, ni dépassée. Quand on s'en approche, on parle alors de vide poussé.

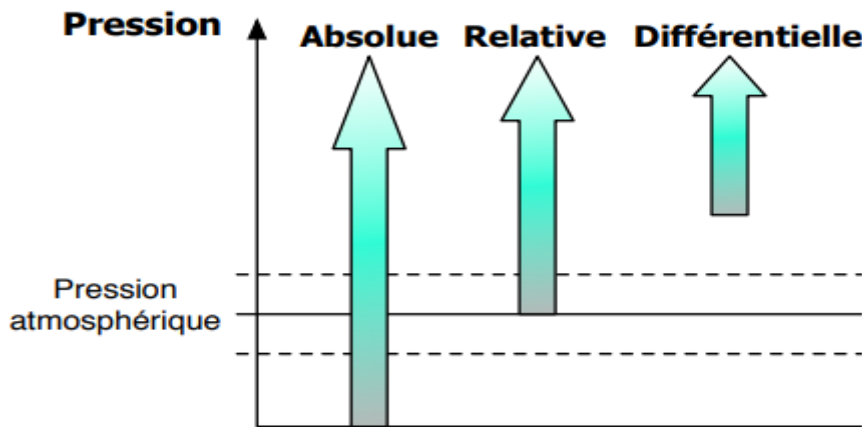


Fig.I.9. Différentes pressions

e. Pression hydrostatique

À l'intérieur d'une colonne de fluide se crée une pression due au poids de la masse de fluide sur la surface considérée. Cette pression est pour chacun des trois récipients, la pression au fond de ceux-ci est identique :

$$P_1 = P_2 = P_3 = P_4 = \rho \times g \times h \dots \dots \dots (I.22)$$

f. Pression due à des forces extérieures

Si la force F agit sur un fluide enfermé, il en résulte une pression

$$P_0 = \frac{F}{S} \dots \dots \dots (I.23)$$

Si l'on néglige la pression hydrostatique, la pression est la même dans tout le liquide.

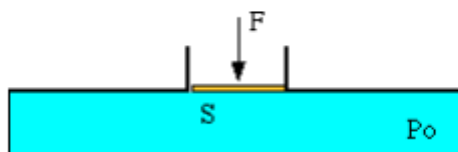


Fig.I.10. Pression due à des forces extérieures

g. Pression totale - 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 négligeables), c'est le théorème de Bernoulli.

I.7. Présentation générale des réseaux

I.7.1. Définitions [14]

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.

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 secondaires

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.7.2. Types des réseaux de distribution d'eau [15]

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.11)** 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.

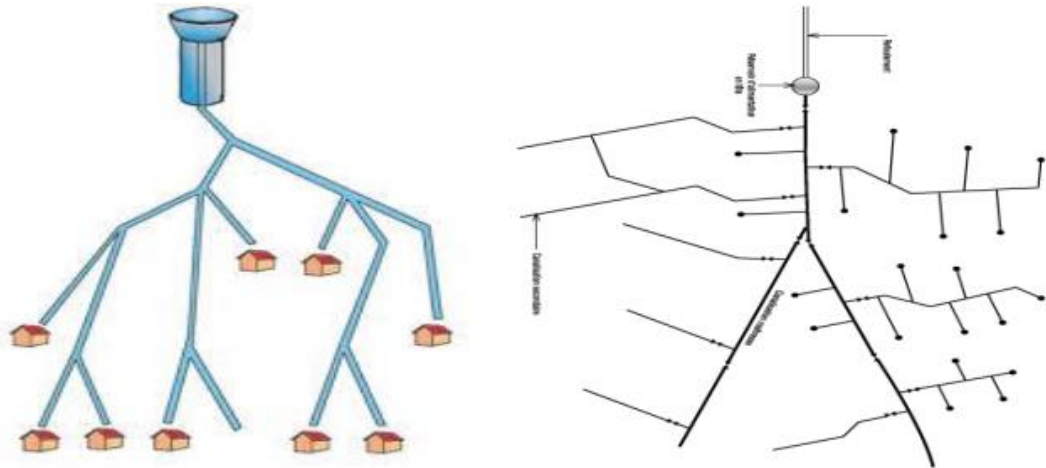


Fig.I.11. Schéma d'un réseau de distribution en eau potable ramifié

c. Réseaux maillés

Ce type de réseau **Figure (I.12)** 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.

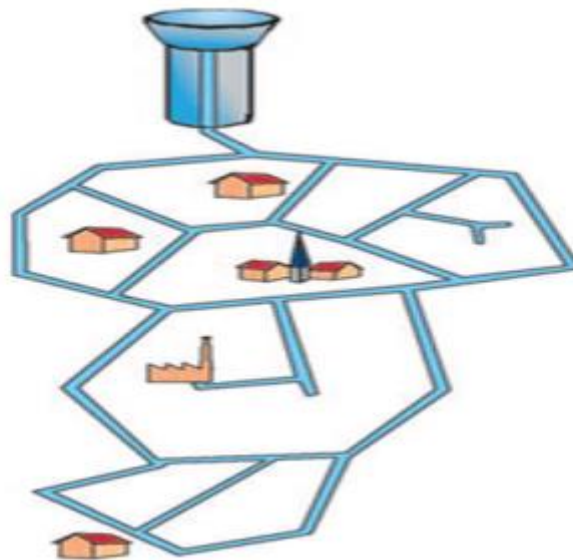


Fig.I.12. Schéma d'un réseau de distribution en eau potable maillé

d. 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.

e. Réseaux étagés

Le réseau étagé est caractérisé par les différences de niveau très important. 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 conduits

I.8. Fuites

I.8.1. Définition d'une fuite

C'est une détérioration qui provoque le risque de dysfonctionnement de réseau ; il apparaît sous forme une perte physique quantitative du fluide distribué. Les fuites produisent des vibrations mécaniques et acoustiques dû aux fluctuations de la pression du fluide dans la conduite, elles sont localisées sur les vannes, les points de raccordement, dans les joints et les tube même du conduit

I.8.2. Types de fuite [16]

Il existe différents types de fuites, y compris les fuites de la ligne de service, et les fuites de valve, mais dans la plupart des cas, la plus grande partie de l'eau non comptabilisée est perdue par les fuites dans les conduites d'alimentation. Il y a plusieurs façons de classer les fuites, il peut être le diamètre de tuyaux, la pression dans la canalisation, zone du trou, etc., mais le paramètre le plus important est le taux de perte d'écoulement à travers le trou. Pour la distribution d'eau potable nous pouvons construire deux catégories, en fonction de l'écoulement dans le tuyau et sur l'utilisation de l'eau :

- Petite fuite, où le débit de perte est inférieur à 5 l / min,
- Grande fuite, où le débit de perte représente au moins 5 l / min

I.8.3. Débit de fuite [17]

Les fuites sont caractérisées quantitativement par le débit du fluide qui s'échappe du trou. Il s'exprime par le volume qui circule à travers les fuites par unité de temps l'unité l'égale étant le mètre cube par seconde (m^3/s).

I.8.4. Cause des fuites [18]

Les fuites sont la source essentielle des pertes sur la distribution dans un canal. Elles sont provenues des nombreuses causes

- Déstabilisation du sol de pose des canalisations lors de travaux, terrassements, remblaiement ou compactage du terrain.
- Mauvaise pose des canalisations ou malfaçons dans les travaux.
- Pression importante dans le réseau de distribution.
- Choc hydraulique (dû à la fermeture brusque d'une vanne ou d'un autre appareil) entraînant une surpression (phénomène du « coup de bélier »)
- Modification dans le temps de la tenue des sols impactant la stabilité d'assise des canalisations posées.
- Vieillessement des joints d'étanchéité
- Raccordements à moindre frais et mal faits des branchements et équipements publics
- Phénomènes de corrosion (pour les tuyaux en acier)
- Corrosion interne si l'eau est agressive
- Corrosion externe suivant la nature du sol ou son humidité.

I.8.5. Conséquences des fuites [19]

Financièrement, les fuites constituent une perte puisque de l'eau traitée et pompée pour être acheminée vers le consommateur n'est jamais distribuée ni facturée. Les fuites, en accroissant le débit transité, contribuent à l'augmentation des pertes de charge et donc de la consommation d'énergie. Cette problématique a particulièrement été étudiée par Colombo et Karney (2002), qui calculent les coûts énergétiques supplémentaires induits par une fuite, mais aussi par Pelli et Hitz (2000) qui proposent des indicateurs pour évaluer l'énergie consommée sur un réseau. De plus, les réseaux très fuyards peuvent causer un déficit d'image du gestionnaire. Les fuites contribuent également à accentuer les prélèvements dans les ressources naturelles. En effet, il n'est pas rare qu'elles soient à l'origine de pertes de 20 à 30% du volume total mis en distribution. Cette quantité d'eau, puisée dans des réserves souvent limitées, n'arrive jamais au consommateur

I.9. Théorie de propagation d'onde dans une conduite d'eau

La propagation d'onde dans une conduite d'eau se produit en raison d'une perturbation dans le flux à l'intérieur de la canalisation. La perturbation peut généralement être définie comme tout ce qui influence, empêche, maintient ou inhibe l'onde à l'intérieur du fluide [20]. Cette perturbation est transférée d'une molécule à la molécule suivante et provoque une onde

dans le milieu. Par conséquent, la densité du fluide change instantanément, ce qui produit alors des ondes qui se propagent à travers le système [21].

I.9.1. Caractéristiques de l'onde

L'onde du flux à travers la conduite se réfléchit partiellement en arrière lorsqu'elle rencontre une discontinuité. Une autre partie sera transmise vers l'avant et une partie de celle-ci sera absorbée. Un exemple de discontinuité est la fuite, également le changement de diamètre de

la conduite, les caractéristiques du pipeline comme la jonction en T, et la fin de la conduite peuvent créer cette discontinuité [21].

I.9.2. Vitesse de propagation de l'onde

La vitesse de propagation des ondes à l'intérieur des pipelines est l'une des facteurs importants dans la détection des fuites. C'est l'un des principaux paramètres parce que pour analyser avec succès le signal de la fuite, la valeur est nécessaire pour déterminer la position exacte par rapport à l'un des capteurs. Mais, dans les pipelines, la valeur de la vitesse diffère en fonction du diamètre, de la rigidité et de la matière constituant le matériau de la conduite [21].

Théoriquement, la vitesse de propagation des ondes peut être obtenue de l'équation

Ci-dessous :

$$c = \sqrt{\frac{1}{\rho \left[\frac{1}{K} + \frac{D}{eE} \varnothing \right]}} \dots\dots\dots (I.24)$$

Où

c : La vitesse de propagation en [m/s]

ρ : Densité du fluide en [kg/m³] (par exemple, l'eau à 20 °C est 760 mm Hg,

$\rho = 998,2 \text{ kg/m}^3$

K : Module d'élasticité du liquide en [N/m²] (l'eau à 20 °C, $K = 2,2 \cdot 10^9 \text{ Pa}$)

E : Module de Young du matériau de la conduite [N/m²]

D : Diamètre intérieur de la conduite [m]

e : Epaisseur de la conduite [m]

\varnothing : Facteur de retenue dépendant du rapport Poisson 10^9

Le module d'élasticité K d'une substance est une mesure de l'incompressibilité / résistance à

La compressibilité de cette substance. Il est défini comme le rapport de l'augmentation de

La pression infinitésimale à la diminution relative résultante du volume. Il peut être définie également comme étant la constante qui relie la contrainte au taux de déformation d'un matériau isotrope soumis à une compression isostatique.

$$K = -V \frac{dP}{dV} \quad K > 0 \dots\dots\dots(I.25)$$

Selon la formule de Newton-Laplace, la vitesse de propagation est déterminée par le module d'élasticité K dans un fluide et sa densité ρ

$$c = \sqrt{\frac{K}{\rho}} \dots\dots\dots(I.26)$$

Tableau I.3. La valeur de module de Young pour différents types de matériaux

Matériaux	E (Pa)
Acier	(1,87 ÷ 2,16).10 ¹¹
Fonte	(0,88 ÷ 1,47).10 ¹¹
Plomb	(0,69 ÷ 0,71).10 ¹¹
Béton armé	(2,31 ÷ 3,2).10 ¹⁰
Béton précontraint	2,08.10 ¹⁰
Amiante – ciment	1,89.10 ¹⁰
PVC	(2,6 ÷ 4,16). 10 ⁹
Polyéthylène	(1,39 ÷ 2,08).10 ⁹

Dans les réseaux de distribution d'eau réels, la vitesse réelle de l'onde peut différer de la valeur théorique en raison de plusieurs facteurs tels que l'incertitude dans l'information sur les actifs des conduites enterrés depuis plusieurs années.

I.10.Généralités sur les capteurs

I.10.1.Définitions

Un capteur **Figure (I.13)** est un transducteur capable de transformer une grandeur physique en une autre grandeur généralement électrique (tension, courant, charge) utilisable par l'homme ou par le biais d'un instrument approprié

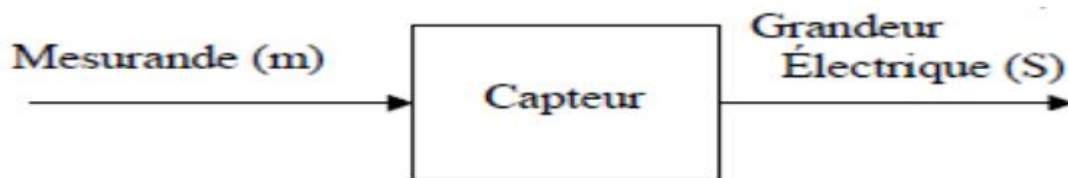


Fig.I.13. Schéma bloc d'un capteur

I.10.2. Définition d'un capteur de pression

La pression, comme chacun sait, constitue une variable essentielle pour l'étude métrologique d'un milieu environnant qui peut-être soit un gaz soit un fluide. La mesure de

cette variable est réalisée à l'aide d'un capteur de pression **Figure (I.14)**, dispositif capable d'associer à la grandeur mesurée, un signal électrique reconnaissable appelé « réponse ». Nous définirons, le capteur de pression comme étant un système constitué de deux parties : une partie détection que nous appellerons « Cellule sensible » et une partie traitement de l'information par l'intermédiaire d'un circuit électronique que l'on peut appeler « Circuit électronique de traitement » ou encore « Circuit convertisseur ». La partie détection est quant à elle est constituée d'un « Corps d'épreuve » et d'un « transducteur » qui transforme la déformation de ce corps d'épreuve en une grandeur physique, la plupart du temps électrique. Un capteur de pression peut donc être représenté par le schéma de la **Figure (I.14)** [22]

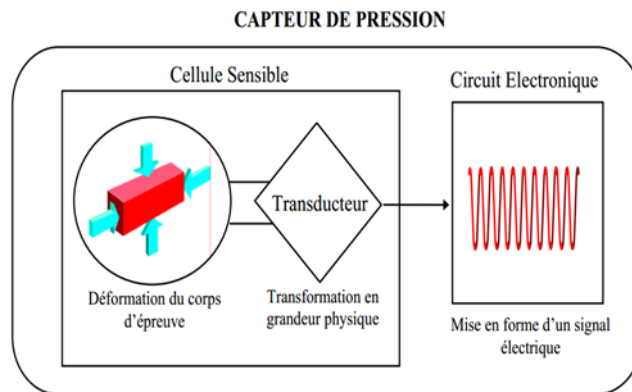


Fig.I.14. Synoptique d'un capteur de pression

La **Figure (I.14)** constitue trois blocs essentiels :

- Un corps d'épreuve.
- Un élément de transduction ou élément sensible ou transducteur.
- Module électronique de conditionnement ou circuit électronique.

a. Corps d'épreuve

Est l'élément mécanique qui, soumis aux variations de la grandeur à mesurer (mesurande), a pour rôle de la transformer en une grandeur physique mesurable. Pour les capteurs de pression cette grandeur est généralement une déformation. Les corps d'épreuve les plus utilisés sont les plaques, les poutres et les membranes. A partir des années 70, les nouveaux capteurs sont basés soit sur la déformation d'un substrat, soit sur celle d'une membrane de silicium qui, de nos jours, est le corps d'épreuve le plus répandu [23].

b. Transducteur

Est l'élément sensible qui, lié au corps d'épreuve, traduit les réactions de ce dernier en signal électrique. Pour effectuer la mesure de la pression, on a vu qu'il fallait convertir

la déformation du corps d'épreuve en une grandeur physique. Il existe plusieurs techniques pour mesurer un déplacement, une déformation ou une force. La plupart des grandeurs de sortie sont d'ailleurs de type électrique.

Depuis des années 80, la majeure partie des nouvelles cellules sensibles disponibles sur le marché, est basée sur le principe de détection de type piézorésistif. Cela signifie que la détection de la pression se fait par la mesure d'une variation de résistance. Ces composants sont extrêmement sensibles à la température et nécessitent un circuit de compensation spécifique. C'est pourquoi, des efforts de recherche ont été effectués sur des structures capacitatives dont les avantages potentiels sont une grande sensibilité à la pression et une faible sensibilité à la température. Le principe de détection de ces structures capacitatives est basé sur la variation d'une capacité [24].

c. Module électronique

Est le module de traitement du signal en vue d'une éventuelle exploitation. Comme nous l'avons vu dans la définition d'un capteur, le circuit de traitement sert à mettre en forme un signal électrique transportant l'information donnée par le transducteur. Autrement dit, ce signal doit être l'image de la déformation du corps d'épreuve et par suite, de la pression.

Le capteur est construit pour exploiter une propriété de la matière, décrite par une loi physique, permettant de connaître la correspondance entre la grandeur électrique à la sortie du capteur et la grandeur physique à mesurer. Par exemple, pour mesurer une pression, une loi physique permet de calculer la pression à partir de la mesure de la résistance du capteur.

Le capteur doit avoir les caractéristiques suivantes. :

- Une bonne linéarité.
- Une grande étendue de mesure.
- Une très bonne sensibilité au mesurande.
- Une insensibilité aux grandeurs d'influence [25].

I.10.3. Types de capteur de pression

Il existe deux types de capteur de pression : les capteurs de pression absolue, et les capteurs de pression différentiels.

a. Capteurs de pression absolue

Les capteurs de pression absolue **Figure (I.15)** sont, comme leur nom l'indique, capables d'effectuer une mesure de pression en un point donné. [26]



Fig.I.15. Capteur de pression.

b. Capteurs de pression différentiels

Les capteurs de pression différentielle **Figure (I.16)** sont dotés de deux entrées de mesure, et la tension qu'ils délivrent est proportionnelle à la différence de pression entre les deux entrées [27].



Fig.I.16. Capteur de pression différentiel.

I.11. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons donné des notions fondamentales sur la mécanique des fluides compressibles réelles pour comprendre le régime d'écoulement. Des connaissances sur les différentes pertes sur une canalisation ont été éclairci. L'interprétation des phénomènes physiques ne peut se faire qu'à travers des capteurs. Ces derniers traduit la grandeur physique en une autre grandeur (généralement électrique). La grandeur électrique obtenue est enregistrée, traitée et analysée par des programmes adéquats installés dans le PC.

Le filtrage numérique des signaux joue un rôle très important dans le domaine de traitement de signal. Il fera l'objet du chapitre suivant. Une étude détaillée des types des filtres va être présentée. Le but principal est de manipuler les signaux de pression captés expérimentalement qui sont noyés dans le bruit. Les signaux utiles après filtrages sont utilisés pour exprimer la position exacte de la fuite par rapport à l'un des capteurs.

Références

- [1] MECANIQUE DES FLUIDES I (Cours et Applications) ,Dr YUCEFI Sarra : P4
- [2] Notion de mécanique de fluide, RIADH BEN HAMOUDA : P2/3
- [3] Notion de mécanique de fluide, RIADH BEN HAMOUDA : P4/5/6
- [4] notion de mécanique de fluide, RIADH BEN HAMOUDA : P52/52/54
- [5] MECANIQUE DES FLUIDES I (Cours et Applications) ,Dr YUCEFI Sarra : P35
- [6] notion de mécanique de fluide, RIADH BEN HAMOUDA : P95/96
- [7] notion de mécanique de fluide, RIADH BEN HAMOUDA : P88
- [8] Mécanique de fluide-théorie et applications, M.ELGUERRI2015/P40
- [9] notion de mécanique de fluide, RIADH BEN HAMOUDA : P88/P89
- [10] notion de mécanique de fluide, RIADH BEN HAMOUDA : P54-P55
- [11] notion de mécanique de fluide, RIADH BEN HAMOUDA : P94/P95
- [12] Capteur de pression, R.HATTERER professeur de Physique Appliquée au lycée de la Méditerranée de la Ciotat : /P5
- [13] Capteur de pression, R.HATTERER professeur de Physique Appliquée au lycée de la Méditerranée de la Ciotat/P6/P7
- [14] François G. Brière, Distribution et collecte des eaux.3emeédition : P154
- [15] Y Labye, Conception et optimisation des réseaux d'irrigation : P5
- [16] Daoudi, A., Benbrahim , M., and Benjelloun , K., An Intelligent System to Classify Leaks in Water Distribution Pipes, proceedings of world academy of science, 2005:P1/P2
- [17] HAFSI, Lakhdar. : ‘Application de la technique EMD pour l’analyse des données des signaux de fuite dans les réseaux de distribution d’eau’, master, université Mohamed Boudiaf-M’sila, Juin 2016
- [18] <https://wikiwater.fr/e14-la-recherche-et-la-suppression>
- [19] Olivier Chesneau, Un outil d’aide à la maîtrise des pertes dans les réseaux d’eau potable : la modélisation dynamique de différentes composantes du débit de fuite, Thèse de doctorat en Sciences de l’ingénieur, l’Université Louis Pasteur, 2006.
- [20] Ghazali, M.F., Leak detection using instantaneous frequency analysis, University of S
- [21] Walski, T. M., al, advanced water distribution modeling and management, haested press, USA, haested methods, 2003.heffield, 2012.
- [22] Philippe, M., faisabilité d’un capteur de pression capacitif miniature sur silicium, thèse docteur, l’université paul sabatier, toulouse, 1998 : P4

[23] Philippe, M., faisabilité d'un capteur de pression capacitif miniature sur silicium, thèse docteur, l'université paul sabatier, toulouse, 1998 : P5

[24] Philippe, M., faisabilité d'un capteur de pression capacitif miniature sur silicium, thèse docteur, l'université paul sabatier, toulouse, 1998 : P6

[25] Merabet, K., étude et simulation d'un capteur de pression capacitif au silicium, mémoire de magister, 2010 : P5

[26] Capteurs de pression, preso. Numericable.fr/cira/pdf/cours/Instrumentation/pression.pdf.

[27] généralité sur les Capteurs, physiquemangin. pages perso organger. fr/BTSSE/cours/capteursetudiant.pdf.

A decorative border with four ornate floral corner pieces, each featuring intricate scrollwork and leaf-like patterns, framing the central text.

CHAPITRE II

Filtrage numérique

II.1. Introduction

Le filtrage des signaux est une opération primordiale en traitement du signal. Spécialement dans toute chaîne de mesure on a besoin d'un filtre passe bas appelé filtre anti repliement qui limite le spectre du signal acquis. La fréquence maximale limitée par le filtre est exploitée pour une éventuelle numérisation pour un traitement sous PC. Cette opération peut être réalisée soit par des systèmes analogiques (filtre RC, composants optiques, acoustiques...), soit par un algorithme informatique à condition que les signaux sont numérisés. La méthode numérique est d'autant plus intéressante que la puissance et la rapidité de calcul des microprocesseurs sont élevées.

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. Le deuxième chapitre est dédié au filtrage des signaux. Quelques notions préliminaires sur les filtres vont être présentées. Les types de filtres vont être éclaircis. Les avantages des filtres numériques par rapport à leurs homologues analogiques seront également traités. Enfin, une étude détaillée sur les filtres à valeur médiane va être exposée.

II.2. Définition d'un filtre

Un filtre est un circuit électronique qui réalise une opération de traitement du signal. Autrement dit, il atténue certaines composantes d'un signal et en laisse passer d'autres. Un exemple connu du grand public est l'égaliseur audio.

Un filtre modifie (ou filtre) certaines parties d'un signal d'entrée dans le domaine du temps et dans le domaine des fréquences. D'après la théorie de Fourier, tout signal réel peut être considéré comme composé d'une somme de signaux sinusoïdaux (en nombre infini si nécessaire) à des fréquences différentes ; le rôle du filtre est de modifier la phase et l'amplitude de la résultante de ces composantes. [1]

II.3. Filtrage [2]

Le filtrage d'un signal est l'opération qui consiste à séparer les composantes d'un signal selon leurs fréquences, le filtre est le circuit qui réalise cette opération. D'une manière générale, un filtre est un système linéaire dont le rôle est de modifier la composition spectrale d'un signal sans y ajouter de nouvelles composantes. Il permet le renforcement ou l'atténuation d'une ou plusieurs bandes de fréquence.

II.4. Gabarit d'un filtre

II.4.1. Définition du gabarit d'un filtre [3][4]

C'est une représentation graphique des conditions limites amplitude – fréquence, nécessaire pour réaliser un filtrage donné ; il délimite la bande de fréquence à l'intérieur de laquelle le gain doit être maintenant quasi constant c'est-à-dire avec une marge tolérable. Il donne les limites entre lesquelles, le gain peut fluctuer, ainsi que les fréquences au-delà desquelles le signal devra subir une atténuation spécifique.

On peut définir des filtres passe bas, passe haut, passe bande, coupe bande à l'aide de gabarit dans le domaine fréquentiel.

Comme le filtre idéal n'est pas réalisable, on spécifie un filtre à l'aide d'un gabarit qui donne les tolérances dans les différentes bandes de fréquence.

On distingue trois bandes de fréquence différentes : la bande de transition, la bande passante, et la bande coupée comme montre sur la **Figure (II.1)**.

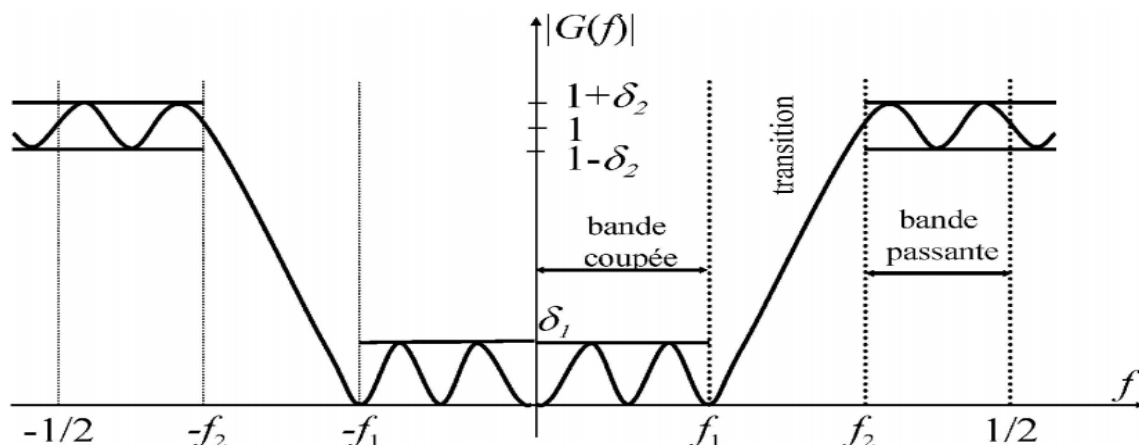


Fig.II.1 : Gabarit d'un filtre.

II.4.2. Paramètres de spécification

- f_1 et f_2 , fréquences de bord (bandes coupée et passante).
- Taux d'ondulation maximum en bande passante, souvent défini par $-20 \log_{10}(1 - \delta_2)$ dB.
- Atténuation minimum en bande coupée, souvent définie par $-20 \log_{10}(\delta_1)$ dB.

II.4.3. Réponse en fréquence des Gabarits de quelques filtres

La réponse fréquentielle des gabarits de quelques filtres présentant le gain en dB en fonction de la fréquence est donnée par la **Figure (II. 2)**.

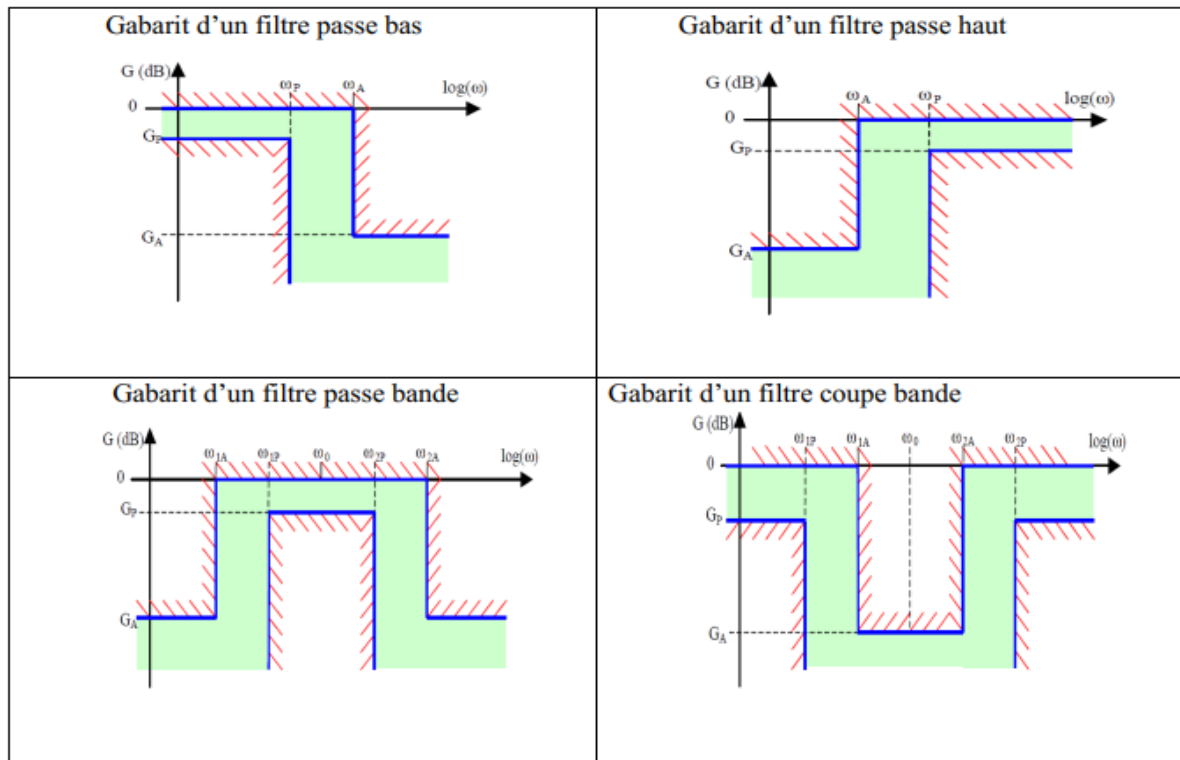


Fig.II.2. Réponse fréquentielle des Gabarits de quelques filtres

II.5. Différents types de filtres [5]

II.5.1. Filtres analogiques

Il existe deux types de filtres analogiques qui sont :

a. Filtres passifs Un filtre passif se caractérise par l'usage exclusif de composants passifs (résistances, condensateurs, bobines couplées ou non). Par conséquent, leur gain (rapport de puissance entre la sortie et l'entrée) ne peut excéder 1. Autrement dit, ils ne peuvent qu'atténuer en partie des signaux, mais pas les amplifier. Les réalisations les plus simples sont basées sur des circuits RC, RL, LC ou Circuit RLC. Mais il est bien sûr permis d'augmenter la complexité du filtre (et le nombre de composants). Moins il y aura de composants, plus il sera délicat d'être sélectif : l'atténuation se fera progressivement. Avec plus de composants, on peut espérer couper plus brutalement une fréquence en touchant moins les voisines.

La manière la plus simple de réaliser physiquement ce type de filtre est d'utiliser un circuit RLC. Comme son nom l'indique, ce circuit est constitué d'une résistance R , d'un condensateur de capacité C et d'une inductance L . Ces trois éléments sont placés en série avec la source v_i du signal. Le signal de sortie v_o est récupéré aux bornes du troisième et dernier élément, le condensateur. Pour retrouver la fonction de transfert de ce filtre, il faut travailler dans le domaine de Laplace en utilisant les impédances des éléments. Avec cette technique, le circuit devient un simple diviseur de tension, et on obtient

$$H(j\omega) = \frac{v_o}{v_i} = \frac{-1/LC}{\omega^2 - j\omega \frac{R}{L} - \frac{1}{LC}} \dots \dots \dots (II.1)$$

Avec

$$\omega_0 = \frac{1}{LC} \dots \dots \dots (II.2)$$

$$Q = \frac{1}{R} \sqrt{\frac{L}{C}} \dots \dots \dots (II.3)$$

b. Filtres actifs

Les filtres actifs se caractérisent par l'usage d'au moins d'un composant actif (par exemple transistor, amplificateur opérationnel, ou autre circuit intégré...).

Ces filtres ont l'avantage de pouvoir se passer de bobines qui sont chères, difficilement miniaturisables et imparfaites (angles de pertes, résonances propres, sensibilité aux parasites). De plus, ils ont un gain qui peut être supérieur à 1 (ils peuvent amplifier). Ce type de filtre convient bien aux signaux de faible amplitude et de faible puissance. Les filtres actifs sont donc largement utilisés dans les amplificateurs audio et instruments électroniques de toutes sortes.

Côté inconvénients, contrairement aux filtres passifs, ils nécessitent une alimentation électrique et sont limités en amplitude (saturation). Aujourd'hui ils peuvent couvrir de larges bandes de fréquences. Les composants actifs (ainsi que les résistances dans une moindre mesure) peuvent introduire du bruit parasite, ce qui au-delà d'un certain seuil, peut être gênant. Toutefois ce bruit peut souvent être maîtrisé.

Dans cette catégorie de filtres on peut à la rigueur ranger les filtres à capacités commutées, qui sont à mi-chemin entre les filtres passifs et actifs.

II.5.1.1 Avantages du filtrage analogique :

a. Filtrage passif :

- . Réalisable jusqu'à des fréquences élevées (quelques GHz)
- . Pas d'alimentation
- . Systèmes adaptés aux grandes séries.

b. Filtrage actif

- . Fréquence de coupure programmable (filtres à capacité commutée)
- . Systèmes intégrables (filtres à capacité commutée).

II.5.1.2 Les inconvénients du filtrage analogique :

a. Filtrage passif

- b. . Faibles tolérances des composants
- . Systèmes difficilement intégrables.

b. Filtrage actif

- . Filtrage limité à quelques MHz
- . Alimentation nécessaire
- . Excursion de la tension de sortie limitée
- . Nécessite des composants précis.

II.6. Les filtres numériques

II.6.1. Définition [6] [7]

Un filtre numérique est un élément qui effectue un filtrage à l'aide d'une succession d'opérations mathématiques sur un signal discret. Les filtres numériques sont les homologues des filtres analogiques, leur principale fonction est d'isoler, de renforcer ou d'atténuer certaines composantes fréquentielles d'un signal numérique. Un signal numérique est représenté par une suite ordonnée de valeurs qui, en pratique, sont des nombres réels. Ces valeurs sont le plus souvent issues de l'échantillonnage, à une cadence régulière, d'un signal analogique.

Les filtres numériques sont réalisés soit par des circuits intégrés dédiés, des processeurs programmables (microprocesseur, microcontrôleur, ...etc.), soit par logiciel dans un ordinateur

II.6.2. Filtrage numérique

L'introduction du filtrage numérique est imposée par un nombre de contraintes parmi lesquelles :

- Une fiabilité douteuse des filtres analogiques due à un risque de "vieillessement" des composants constitutifs (échauffement, détérioration par suite de réaction électroniques, ...).
- Un encombrement de l'espace de montage dû à la multiplication des éléments électriques et au câblage.
- Une description mathématique ou algorithmique assez lourde principalement dans les circuits assez élaborés.

Par opposition, le filtrage numérique pallie non seulement aux inconvénients du filtrage analogique cités ci-dessus mais répond aussi au développement des technologies de calcul

essentiellement informatiques et la mise au point de composants électroniques performants, réduits tels que les microprocesseurs.

II.6.3. Forme générale d'un filtre numérique [8]

De façon générale, un filtre numérique **Figure (II.3)** peut être vu comme une boîte fonctionnelle, qui transforme un signal d'entrée $x(k)$ en un signal de sortie $y(k)$.

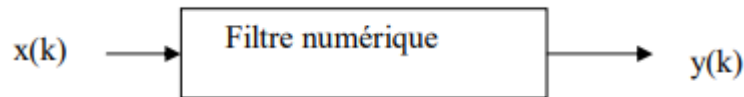


Fig.II.3. Schéma symbolique d'un filtre numérique

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 $y(n) = b_0 \cdot x(n) + b_1 \cdot x(n - 1) + \dots + b_q \cdot x(n - q) - a_1 \cdot y(n - 1) + a_2 \cdot y(n - 2) + \dots + a_p \cdot y(n - p)$ (II.4)

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

$$Y(n) = \sum_{m=0}^M b_m \cdot x[k - m] - \sum_{n=1}^N a_n \cdot [k - n] \dots\dots\dots(II.5)$$

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

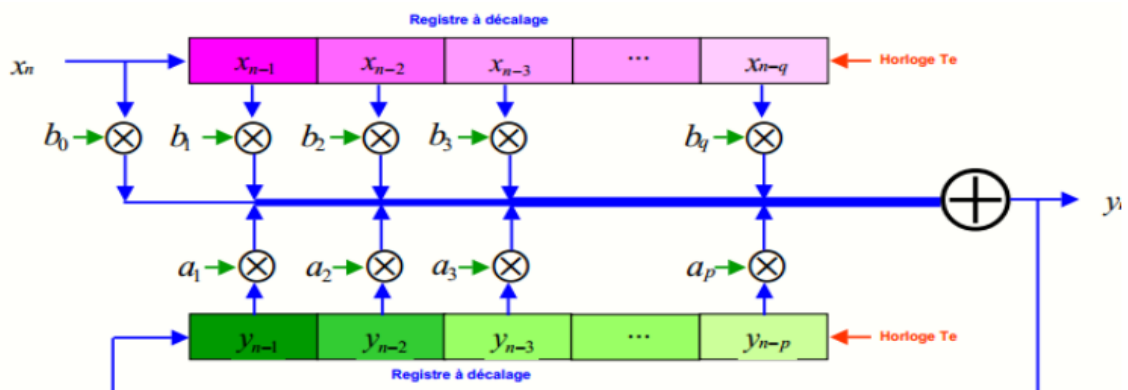


Fig.II.4. La structure générale d'un filtre numérique

II.6.4. Fonction de transfert [6]

Le signal d'entrée $x(k)$ et le signal de sortie $y(k)$ d'un filtre numérique sont liées généralement par une équation aux différences du type :

$$\sum_{n=0}^N a_n \cdot [k - n] = \sum_{m=0}^M b_m \cdot x[k - m] \dots\dots\dots(II.6)$$

Par l'application de la transformée en Z, avec des conditions initiales nulles on a :

$$H(Z) = \frac{Y(z)}{X(z)} = \frac{[\sum_{m=0}^M b_m \cdot z^m]}{[\sum_{n=1}^N a_n \cdot z^{-n}]} \dots\dots\dots(II.7)$$

$$[\sum_{n=1}^N a_n \cdot z^{-n}]Y(z) = [\sum_{m=0}^M B_m \cdot z^m]X(z) \dots\dots\dots(II.8)$$

$H(z)$ est la fonction de transfert du filtre numérique.

II.6.5. Les propriétés principales du filtrage numérique

a. Linéarité

Un filtre linéaire est caractérisé par l'existence d'une fonction $h(t)$ telle que la réponse du filtre à tout signal d'entrée $e(t)$ est:

$$s(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} h(t) \cdot e(t - \tau) \cdot dt \dots \dots \dots (II.9)$$

Il s'agit bien du produit de convolution des fonctions h et e que l'on peut aussi noter :

$$s = h * e \dots \dots \dots (II.10)$$

Où h est appelée la réponse impulsionnelle du filtre. La connaître permet de caractériser totalement le filtre

b. Stabilité

Un système est stable si après la fin d'une perturbation appliquée en entrée, la sortie retrouve sa position d'équilibre initiale $h(t) \xrightarrow[t \rightarrow \infty]{} 0$

Il existe différentes façons de vérifier la stabilité d'un système. Si l'on connaît $h(t)$, il faut s'assurer qu'elle tend vers 0 lorsque t tend vers l'infini. A partir de la fonction de transfert, il faut que tous ses pôles soient à parties réelles négatives. Les pôles de $H(p)$ sont les valeurs de P qui permettent d'annuler le dénominateur de $H(p)$. [5]

II.6.6. Classification des filtres numériques [9]

On peut classer les filtres numériques selon deux catégories :

a) Suivant la réalisation du filtre

- Réalisation non récursive

Un filtre est non récursif **Figure (II.5)** si la sortie ne dépend que des valeurs du signal d'entrée, soit :

$$Y(k) = \sum_{m=0}^M b_m \cdot x[k - m] \dots \dots \dots (II.11)$$

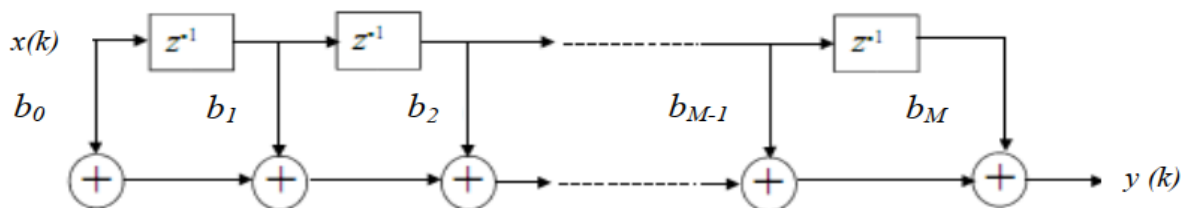


Fig.II.5 Structure d'un filtre numérique non récursif

- Réalisation récursive

Un filtre est récursif **Figure (II.6)** si la sortie dépend des valeurs du signal d'entrée et des valeurs précédentes du signal de sortie, soit :

$$Y(K) = \sum_{m=0}^M b_m \cdot x[k - m] - \sum_{n=1}^N a_n \cdot y[k - n] \dots\dots\dots(II.12)$$

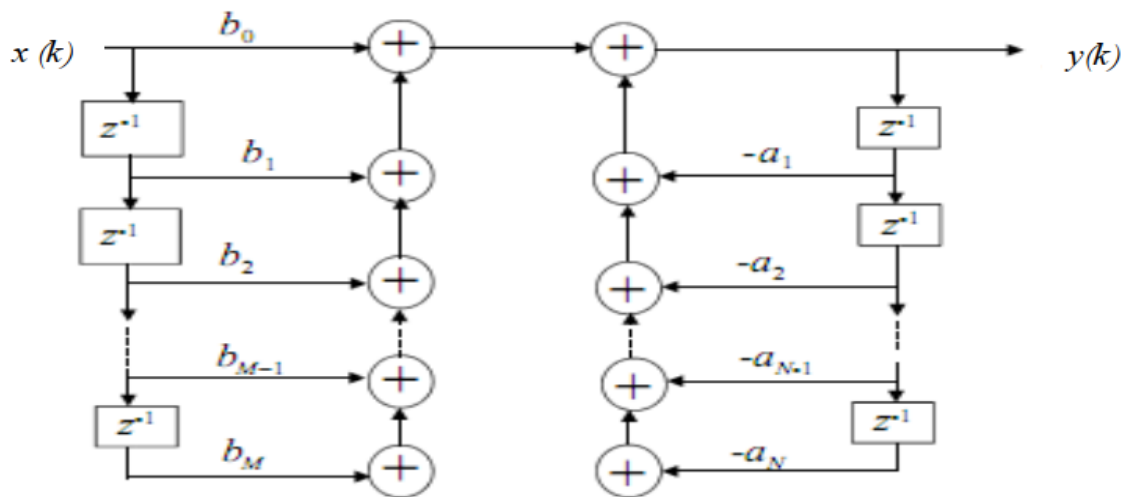


Fig.II.6 Structure d'un filtre numérique récursif

b) Suivant la réponse impulsionnelle

Il y a deux grandes familles de filtres numériques ; la première les filtres à réponse impulsionnelle finie (RIF) et la deuxième les filtres à réponse impulsionnelle infinie (RII).

II.6.1. Filtre à Réponse Impulsionnelle Finie (RIF) [10] [11]

Le nom donné au filtre RIF **Figure (II.7)**, filtre à réponse impulsionnelle finie (en anglais finite impulse response filter ou FIR filter) provient naturellement de la manière dont ce filtre répond à une impulsion. Une impulsion est un signal de valeur 1 maintenue pendant une durée suffisamment courte pour être échantillonnée une et une seule fois. Si un filtre présente une réponse absolument finie, alors ce filtre est un RIF. D'un point de vue pratique, la réponse.

Finie signifie que le signal de sortie du filtre excité par cette impulsion unitaire, retourne à zéro au bout d'un temps raisonnable.

Il est fréquemment désigné par filtre non récursif, en raison de sa structure, car il ne nécessite pas de boucle de réaction dans sa réalisation, comme c'est le cas pour une autre catégorie de filtres, celle des filtres à réponse impulsionnelle infinie.

a. Forme générale d'un filtre RIF

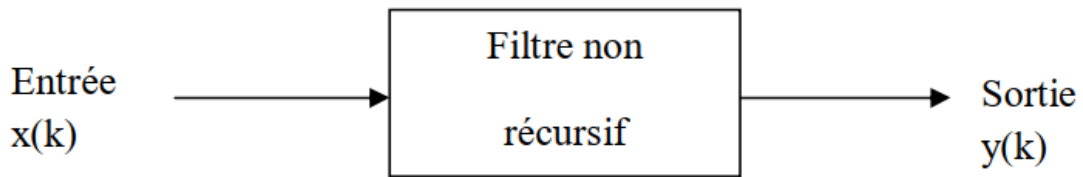


Fig.II.7. Schéma de principe d'un filtre RIF

b. Description d'un filtre RIF [12]

De façon générale le filtre à réponse impulsionnelle finie est décrit par l'équation aux différences suivante où x représente les valeurs du signal d'entrée et y les valeurs du signal de sortie ; dans laquelle $N=0$. Pour faciliter la notation ; $a_0=1$;

$$Y(K) = \sum_{m=0}^M b_m \cdot x[k - m] \dots\dots\dots (II.13)$$

Par suite :

$$H(z) = \sum_{m=0}^M b_m z^{-m} \dots\dots\dots (II.14)$$

$H(z)$ est la fonction de transfert du filtre RIF.

c. Réalisation [11] [12]

Les filtres numériques peuvent être réalisés à l'aide de trois éléments ou opérations de base. Soit ; l'élément gain, l'élément de sommation et le retard unitaire. Ces éléments sont suffisants pour réaliser tous les filtres numériques linéaires possibles. La réalisation présentée dans la figure suivante est une réalisation directe de type 1 du filtre RIF.

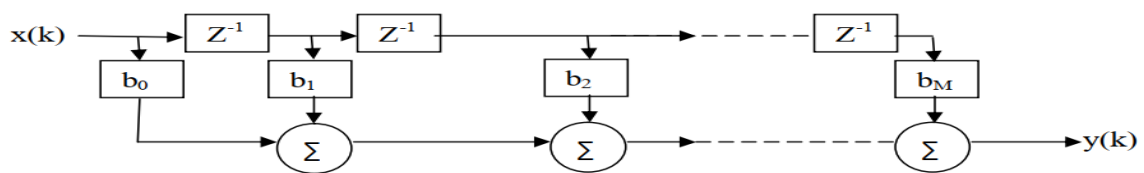


Fig.II.8. Schéma de structure d'un filtre RIF

d. Avantages [10]

- Les filtres RIF sont forcément stables, peu importe les coefficients utilisés.
- La simplicité de sa conception et son implantation sur calculateur.
- Il est possible de concevoir facilement un filtre RIF à phase linéaire
- L'absence de récursivité empêche les erreurs cumulatives.

e. Inconvénients [10]

- Retard important, voire inacceptable, dû à la propagation du signal à travers un filtre de grande taille.

- Augmentation de la durée de calcul de l’algorithme de filtrage étant donné le nombre important d’opérations.

II.6.2. Filtre à Réponse Impulsionnelle Infinie (RII) [10] [11]

Cependant, pour des applications nécessitant la mise en œuvre d’un filtre à réponse impulsionnelle longue **Figure (II.9)**, le volume de calcul devient important et la convergence plus lente. On pourrait alors songer à utiliser des filtres à réponse impulsionnelle infinie RII (en anglais infinité impulse réponse filtre ou IIR filtre), est un type de filtre électronique caractérisé par une réponse basée sur les valeurs du signal d’entrée ainsi que les valeurs antérieures de cette réponse. Il est nommé ainsi parce que dans la majorité des cas la réponse impulsionnelle de ce type de filtre est de durée théoriquement infinie.

Il est aussi désigné par l’appellation de filtre récursif, car chaque élément de la suite des nombres de sortie est calculé par sommation pondérée d’un certain nombre d’éléments de la suite d’entrée et d’un certain nombre d’élément de la suite de sortie précédent.

a. Forme générale d’un filtre RII

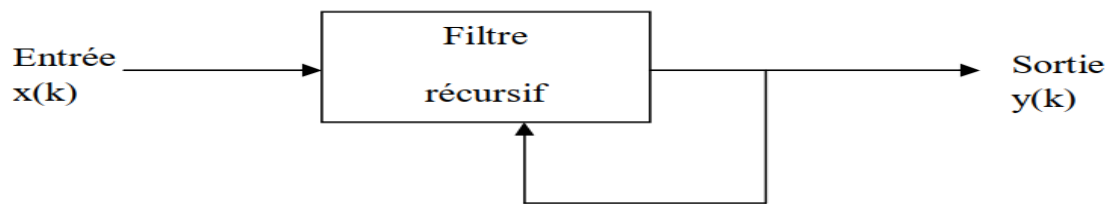


Fig.II.9.Schéma de principe d’un filtre RI

b. Description d’un filtre RII [12]

De façon générale le filtre à réponse impulsionnelle infinie est décrit par l’équation aux différences suivante où x représente les valeurs du signal d’entrée et y les valeurs du signal de sortie. Dans laquelle $N \neq 0$ et $M \neq 0$ et où, par facilité de notation, on prend $a_0=1$.

$$Y(K) + \sum_{n=1}^N a_n [k - n] = \sum_{m=0}^M b_m \cdot x[k - m] \dots\dots\dots(II.15)$$

Par suite :

$$H(Z) = \frac{Y(z)}{X(z)} = \frac{[\sum_{m=0}^M b_m \cdot z^m]}{1 + [\sum_{n=1}^N a_n z^{-n}]} \dots\dots\dots(II.16)$$

c. Réalisation [12]

A transformée en Z de l’équation aux différences du filtre RII montre qu’on réalise ces filtres avec trois opérations élémentaires : l’addition, la multiplication et le retard Z^{-1} . La **Figure (II.10)** représente la structure d’un filtre RII.

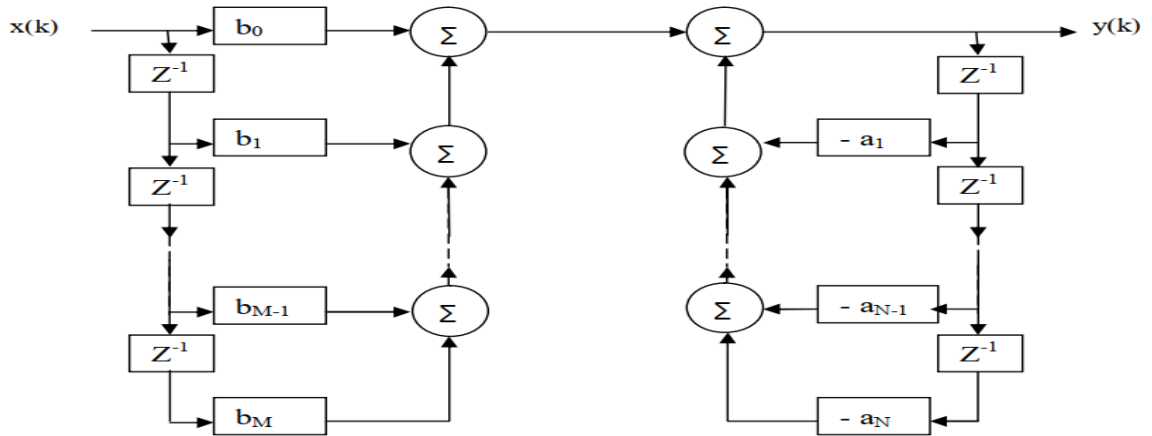


Fig.II.10. Schéma de structure d'un filtre RII

d. Avantages [10]

- La transition entre la bande passante et la bande rejetée plus rapide.
- Limitation en puissance de calcul.

e. Inconvénients [10]

- Les filtres RII ne sont pas forcément stables, la stabilité dépend de la position des pôles dans le plan complexe
- La récursivité peut générer des erreurs cumulatives

II.6.3.Comparaison RIF- RII [17] [13]

La première question qui se pose pour la méthode de réalisation d'un filtre discrète est celles du choix d'un filtre RIF ou d'un filtre RII. Un grand nombre de facteurs entrent en jeu ici, de sorte qu'il n'est pas toujours clair à l'avance de savoir quel sera le choix final. Pour prendre une décision bien pesée, il peut parfois être utile de considérer les deux solutions: un filtre RIF et un filtre RII On évalue alors les deux possibilités pour savoir laquelle donnera la meilleure solution pour une application particulière. Ce sont ici des facteurs très pratique comme la complexité, la consommation d'énergie, la rapidité de calcul, la facilité d'intégration et la disponibilité de certain modules de circuits qui peuvent faire pencher la balance [13]

• **RII**

– Peuvent être instables s'il y a des pôles à l'extérieur du cercle unité.

Phase non linéaire

– Moins de places mémoire

– Plus efficaces que RIF.

– Complexité Faible

- **RIF**

- Toujours stable.
- Phase linéaire.
- Facile à concevoir.
- La durée des transitoires = longueur du filtre
- Complexité Très faible

Aussi :

- Généralement, les filtres RII sont plus sensibles aux erreurs de quantification que les filtres RIF.
- Un filtre RII est plus sélectif qu'un filtre RIF du même ordre.

II.7. Synthèse des filtres numériques [14] [15] [9]

La synthèse d'un filtre numérique est son étude complète. Elle comprend donc les étapes suivantes :

- La détermination d'une réponse en fréquence idéale cible.
- La Contrainte de stabilité.
- Le choix d'une structure de calcul réalisant cette transmittance approchée.
- Quand il s'agit vraiment de filtres numériques, quantification des paramètres et étude des erreurs d'arrondi.

La synthèse d'un filtre numérique consiste à construire un filtre discret répondant à un ensemble de contraintes et d'hypothèses et supposé être la version numérique d'un modèle analogique. On dispose de trois domaines d'application :

a) Le domaine temporel (t)

Le filtre analogique est défini par sa RI. Si la RI est de support fini, il suffit de l'échantillonner ; si non, il faut tout d'abord la tronquer convenablement en tenant compte de l'effet de cette troncature sur la fonction de transfert.

b) Le domaine fréquentiel (f)

Le filtre analogique est défini par sa fonction de transfert. Pour construire le filtre numérique associé, on choisit au préalable le gabarit du filtre où les 3 zones : bande passante, bande de transition et bande atténuée ou affaiblie sont bien spécifiées :

- **Bande passante** : où le gain normalisé approche la valeur 1 avec une précision δ_1 .
- **Bande de transition** : de largeur $\beta \omega = \Delta$.
- **Bande atténuée** : où le gain normalisé approche la valeur 0 avec une précision δ_2 .

c) Le domaine en P

Connaissant la réponse en P du filtre analogique.

Cette synthèse peut être faite à l'aide de différentes méthodes comme il est décrit dans ce tableau :

<i>Méthodes d'application</i>	<i>Domaines concernés</i>	<i>Filtres</i>
Approximation impulsionnelle	t	RIF
Invariance impulsionnelle	p	RII
Transformation $H(p) \rightarrow H(z)$	p	RII
Echantillonnage en fréquence	ω	RIF
Série de Fourier	ω	RIF
Optimisation par Moindre Carré	t, ω	RIF

II.8. Caractéristiques des filtres numériques [15]

Les filtres numériques apportent une solution aux problèmes de :

- Reproductibilité d'élément à élément.
- Dérives en fonction de la température.
- Dispersion des valeurs et vieillissement de composants.
- Réglage de paramètres.
- Evolution et adaptation du système.

II.9. Propriétés des filtres numériques [16]

La préférence d'un filtre numérique ou digital par rapport au filtre analogique équivalent relève d'un certain nombre d'avantages tel que :

- La Stabilité : La détérioration des composants est limitée malgré la sollicitation et les effets des fonctionnements du filtre
- La précision : basée sur la manipulation de nombres, les risques d'altération étant alors limités.
- La souplesse : un filtre numérique est entièrement défini par ses coefficients arithmétiques dont dépend la fonction gain on peut alors construire, à partir d'un modèle de filtre numérique donnée, d'autres version de ce dernier par simple modification de ces coefficients.
- Reproductibilité : deux filtres numériques de même configuration admettent deux modes de fonctionnement rigoureusement identiques.

II.10. Filtres numériques de la valeur médiane:

Les filtres numériques classiques linéaires ont pour fonction de base d'éliminer certaines composantes fréquentielles qui gênent l'interprétation du signal informatif. Pour cela il est nécessaire que les fréquences à éliminer se situent dans une zone de fréquences hors de la zone occupée par le signal utile. Pour répondre à cette limitation, il est possible de mettre en place des traitements non linéaires, appelés abusivement « filtres » numériques non linéaires. Un de ces traitements non linéaires est le filtre de la valeur médiane : étant donné $2N + 1$ échantillons x_k , la valeur médiane $x_{med,k}$ de cet ensemble est l'échantillon qui se trouve au milieu de l'ensemble ordonné selon un ordre croissant :

Ordre croissant

$$\{x_k, x_{k-1}, \dots, x_{k-2N}\} \{x'_k, x'_{k-1}, \dots, x'_{k-2N} ; \text{avec } x'_i = x_{i+1}\} \dots \dots \dots (II.17)$$

D'où : $x_{med,k} = x'_{k-N} \dots \dots \dots (II.18)$

Ce type de filtre numérique non linéaire permet de conserver les transitions rapides mais maintenues d'un signal et d'éliminer complètement des transitions de type impulsion courte. De façon plus générale, le calcul de la valeur médiane s'effectuait sur $2N+1$ échantillons, cette technique permettra de sauvegarder toutes transitions rapides suivies par un plateau dont la durée est supérieure ou égale à $N.T_e$ (T_e : période des échantillons). Dans le cas contraire cette transition sera éliminée

a. Filtre moyen à deux termes :

$$y_n = \frac{x_n + x_{n-1}}{2} \dots \dots \dots (II.19)$$

La sortie est la moyenne (moyenne arithmétique) de l'entrée actuelle et précédente.

$$y_0 = \frac{x_0 + x_{-1}}{2} \dots \dots \dots (II.20)$$

$$y_1 = \frac{x_1 + x_0}{2} \dots \dots \dots (II.21)$$

$$y_2 = \frac{x_2 + x_1}{2} \dots \dots \dots (II.22)$$

Il s'agit d'un type simple de filtre passe-bas car il a tendance à lisser les variations haute fréquence d'un signal.

b. Filtre moyen à trois termes :

$$y_n = \frac{x_n + x_{n-1} + x_{n-2}}{3} \dots \dots \dots (II.23)$$

Ceci est similaire à Filtre moyen de deux termes, la moyenne étant prise du courant et des deux précédents.

$$y_0 = \frac{x_0 + x_{-1} + x_{-2}}{3} \dots \dots \dots (II.24)$$

$$y_1 = \frac{x_n + x_{n-1} + x_{n-2}}{3} \dots\dots\dots(\text{II.25})$$

$$y_2 = \frac{x_n + x_{n-1} + x_{n-2}}{3} \dots\dots\dots(\text{II.26})$$

Comme précédemment, X. et x.2 sont pris nuls.

c. Filtre de différence centrale :

$$y_n = \frac{x_n - x_{n-1}}{2} \dots\dots\dots(\text{II.27})$$

La sortie est égale à la moitié de la variation du signal d'entrée sur les deux intervalles d'échantillonnage précédents :

$$y_0 = \frac{x_0 - x_{-1}}{2} \dots\dots\dots(\text{II.28})$$

$$y_1 = \frac{x_1 - x_0}{2} \dots\dots\dots(\text{II.29})$$

$$y_2 = \frac{x_2 - x_1}{2} \dots\dots\dots(\text{II.30})$$

II.11. Conclusion

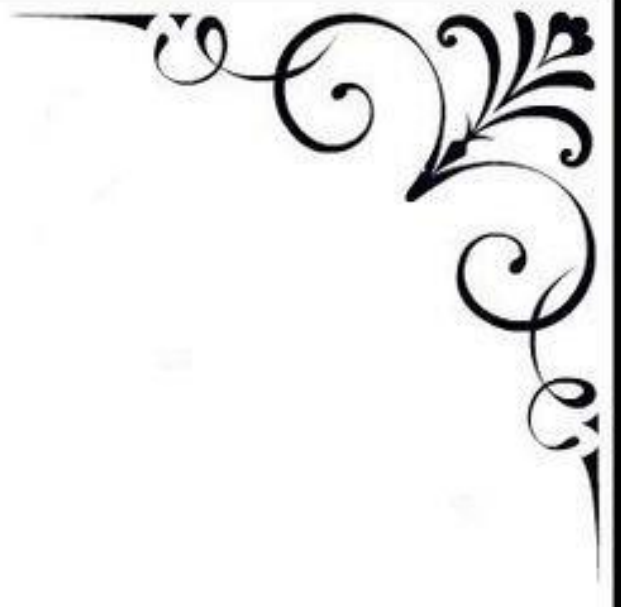
Dans ce chapitre, nous avons étudié les principales caractéristiques des filtres numériques et leurs applications.

Après les généralités mathématiques, les principales classifications et structures des filtres numériques sont faite selon la durée finie ou infinie de la réponse impulsionnelle d'un filtre. Ceci se justifie par la différence de, caractéristiques entre ces deux types de système nécessitant des méthodes de synthèse et de réalisation différentes.

Avec l'amélioration rapide de la technologie informatique, le traitement du signal numérique est devenu plus important, nous citons parmi eux la méthode de corrélation, la base théorique de cette derrière va être exposée au chapitre suivant.

Références

- [1] A.Agatep,Xlinix Spartan-II FIR Filter Solution ,W P 116(V1.0)April 5 2000.
- [2] Maurice Bellanger, " Traitement numérique du signal théorie et pratique ", édition Dunod, 2006.
- [3] : OLIVIER Sentiys_le 28mais2014.
- [4] M. B. Derras, Etude et simulation des filtres numériques RIF ,mémoire de pfd, E.N.P, 1993, P.P.13-98. Electrotechnique, M'sila 2007.
- [5]Artech House, I. Les Thede, Practical Analog and Digital Filter Design, 2004, pp.1-160
- [6] Gerard Blanchet & Maurice Chabarit, " Digital signal and image Processing using MATLAB", ISTE Ltd, 2006.
- [7] Etienne Tisserand & Jean-François Pautex & Patrick Schweitzer, " Analyse et traitement Des signaux", édition Dunod, 2008.
- [8] Kamel Belloulata, "Introduction au traitement numérique du signal sous ", édition OPU, 2009.
- [9] Gérard BLANCHET & Maurice CHARBIT, " Traitement numérique du signal“, Edition Hermès 1998.
- [10] James Broesch, " Comprendre le traitement numérique de signal ", Publitrone pour L'édition française, 1999.
- [11] .Fondaneche & P.Gilbertas, " Filtres numériques principes et réalisation", édition Masson, 1981.
- [12] Sanjit K.Mitra, " Digital signal processing A computer-Based Approach", édition PW publishing company, 1998.
- [13] A.WM.Van Den Enden, N.A.M.Verhoeckx, Traitement Numérique du signal, Dunod, 2003, P.P. 188-269.
- [14] Denis Prêtre, "Filtrage numérique", Haute Ecole Arc, Ingénierie, 2004.
- [15] Denis PRÊTRE, " Filtrage numérique “, Haute Ecole Arc, Ingénierie, 2004.
- [16] Djeddi.M & Baddari.K & Aitouche .M.A, " Filtrage analogique-numérique", Université de Boumerdes.
- [17] Isabel JELINSKI, " Signaux et systèmes numériques : Filtres et modulation“, Edition VUIBERT, 1996.
- .



CHAPITRE III

Traitement de signal



III.1. Introduction

Le traitement du signal est une discipline en plein essor, elle consiste en un ensemble de théories et de méthodes, relativement indépendantes du signal traité, permettant de créer, d'analyser, de modifier, de classifier et finalement de reconnaître les signaux. Ces applications sont nombreuses dans des domaines aussi variés que les télécommunications, le traitement du son, le traitement de la parole, le radar, le sonar, le biomédical, l'imagerie,...etc. D'une manière générale, le traitement de signal constitue le cœur des applications dans les domaines de l'électronique et de l'informatique.

Dans ce chapitre nous exposons des notions fondamentales sur le traitement de signal. Une étude exhaustive sur le signal est présentée. Finalement, des notions sur la corrélation sont éclairci. La corrélation est utilisée dans notre application comme moyen déterminant parmi plusieurs pour la localisation. Une fuite introduit inéluctablement une vibration ou un signal sonore qui se propage le long de la conduite à des grandes distances de part et d'autre de la fuite avec une vitesse liée aux paramètres du réseau utilisé. Cette dernière joue un rôle prépondérant pour la connaissance de la position de la fuite dans le système de détection proposé.

III.2. Traitement de signal

Le traitement du signal est la discipline technique qui, s'appuyant sur les ressources de l'électronique, de l'informatique et de la physique appliquée, a pour objet l'élaboration ou l'interprétation des signaux. Son champ d'application se situe donc dans tous les domaines concernés par la perception, la transmission ou l'exploitation des informations véhiculées par ces signaux.

III.3. Principales fonctions du traitement du signal [1]

Les fonctions du traitement du signal peuvent se diviser en deux catégories : l'élaboration des signaux (incorporation des informations) et l'interprétation des signaux (extraction des informations). Les principales fonctions intégrées dans ces deux parties sont les suivantes :

III.3.1. Élaboration des signaux

- Synthèse : création de signaux de forme appropriée en procédant exemple à une combinaison de signaux élémentaires.
- Modulation, changement de fréquence : moyen permettant d'adapter un signal aux caractéristiques fréquentielles d'une voie de transmission.
- Codage : traduction en code binaire (quantification), etc.

III.3.2. Interprétation des signaux

- Filtrage : élimination de certaines composantes indésirables.
- Détection : extraction du signal d'un bruit de fond (corrélation).
- Identification : classement d'un signal dans des catégories préalablement définies.
- Analyse : isolement des composantes essentielles ou utiles d'un signal de forme complexe (transformée de Fourier).
- Mesure : estimation d'une grandeur caractéristique d'un signal avec un certain degré de confiance (valeur moyenne, etc.).

III.4. Définition et représentation des signaux

III.4.1. Définition d'un signal

Un signal est la représentation physique de l'information, qu'il convoie de sa source à sa destination. C'est une expression d'un phénomène qui peut être mesurable par un appareil de mesure. Bien que la plupart des signaux soient des grandeurs électriques (généralement courant, tension, champ, ...) la théorie du signal reste valable quelle que soit la nature physique du signal

III.4.2. Définition d'un bruit

Le bruit est défini comme tout phénomène perturbateur gênant la perception ou l'interprétation d'un signal, par analogie avec les nuisances acoustiques (interférence, bruit de fond, etc.). La différenciation entre le signal et le bruit est artificielle et dépend de l'intérêt de l'utilisateur : les ondes électromagnétiques d'origine galactique sont du bruit pour un ingénieur des télécommunications par satellites et un signal pour les radioastronomes [2].

III.5. Classification des signaux [3]

Plusieurs approches sont possibles concernant la classification des signaux, parmi celles-ci on citera :

- La classification phénoménologique qui met l'accent sur le comportement temporel du signal.
- La classification énergétique où l'on classe les signaux suivant qu'ils sont à énergie finie ou à puissance finie
- La classification morphologique.

III.5.1. Classification phénoménologique des signaux

Dans cette classification on répartit généralement les signaux en deux classes principales et quatre sous-classes illustrées par la **Figure (III.1)** ci-dessous :

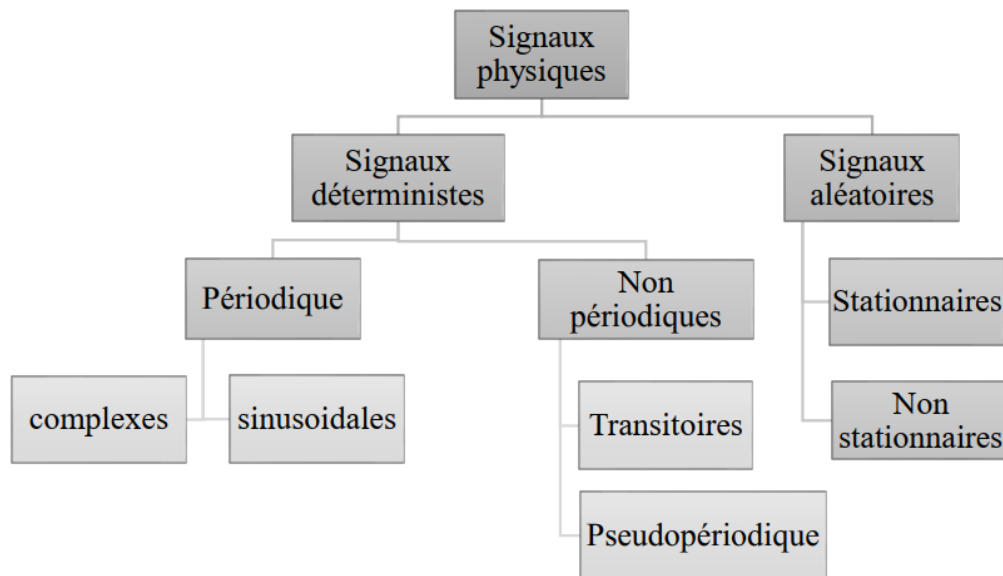


Fig.III.1. Classification phénoménologique des signaux

a. Signaux déterministes

Signaux dont l'évolution en fonction du temps t peut être parfaitement décrite grâce à une description mathématique ou graphique.

Parmi les signaux déterministes trois cas sont à envisager **Figure (III. 2)** :

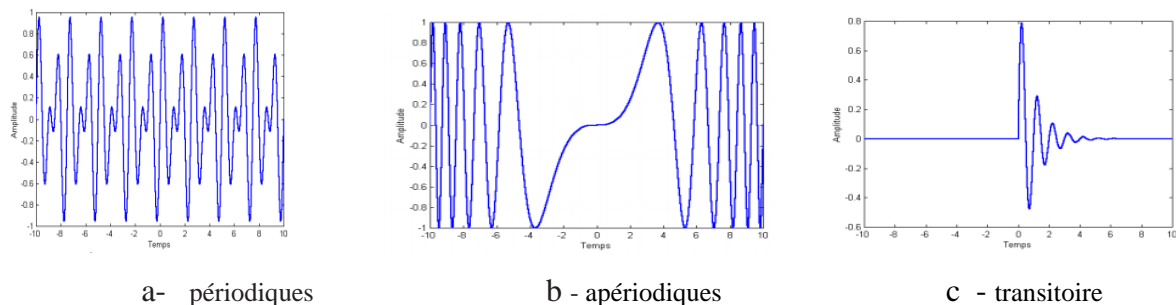


Fig. III.2. (a, b, c). Signaux déterministes

b. Signaux aléatoires

Signaux dont l'évolution temporelle est imprévisible et dont on ne peut pas prédire la valeur à un temps t . La description est basée sur les propriétés statistiques des signaux (moyenne, variance, loi de probabilité, ...)

•Sous catégories

Un signal est dit stationnaire **Figure (III. 3)** si ses composantes de fréquences ne changent pas avec le temps en particulier la moyenne statistique et la variance. Par contre, un signal non stationnaire **Figure (III.4)** est celui dont les composantes de fréquences changent avec le temps (le contenu de fréquences change d'un intervalle à un autre).

La majorité des phénomènes physiques ne vérifient pas l'hypothèse de stationnarité et par conséquent l'analyse de Fourier devient inefficace.

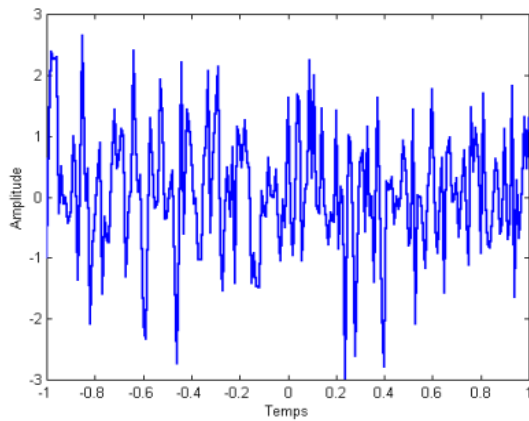


Fig. III.3. Signal stationnaire

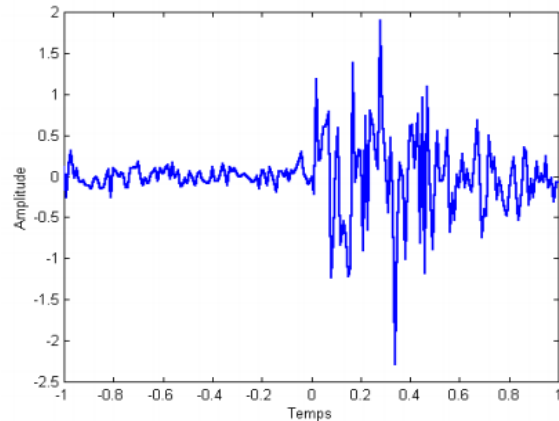


Fig. III.4. Signal non stationnaire

III.5.2. Classification énergétique

Le calcul de la puissance ou de l'énergie contenue dans le signal, permet de le classer dans l'une des deux catégories à savoir énergie finie ou puissance finie.

-En dit que le signal $x(t)$ est bornée si son énergie est inférieure à l'infini [4].

$$W = \int_{-\infty}^{+\infty} |x(t)|^2 dt < \infty \dots \dots \dots (III.1)$$

-Si la puissance moyenne du signal $x(t)$ est nulle donc $x(t)$ est dit à énergie finie

$$P = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} |x(t)|^2 dt = 0 \dots \dots \dots (III.2)$$

-Tout signal $x(t)$ dont la puissance moyenne est entre zéro et l'infinie est finie

$$0 < \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} |x(t)|^2 dt < \infty$$

.....(III.3)

et dont l'énergie W tend vers l'infini

$$W = \int_{-\infty}^{+\infty} |x(t)|^2 dt \rightarrow \infty \dots \dots \dots (III.4)$$

Est dit à puissance finie.

III.5.3. Classification morphologique des signaux

On distingue les signaux à évolution temporelle continue et des signaux à évolution temporelle discrète ainsi que ceux dont l'amplitude est continue ou discrète **Figure (III.5)**.

On obtient donc 4 classes de signaux [5]

- Les signaux analogiques dont l'amplitude et le temps continus
- les signaux quantifiés dont l'amplitude est discrète et le temps continu.
- Les signaux échantillonnés dont l'amplitude est continue et le temps discret.
- Les signaux numériques dont l'amplitude et le temps discrets.

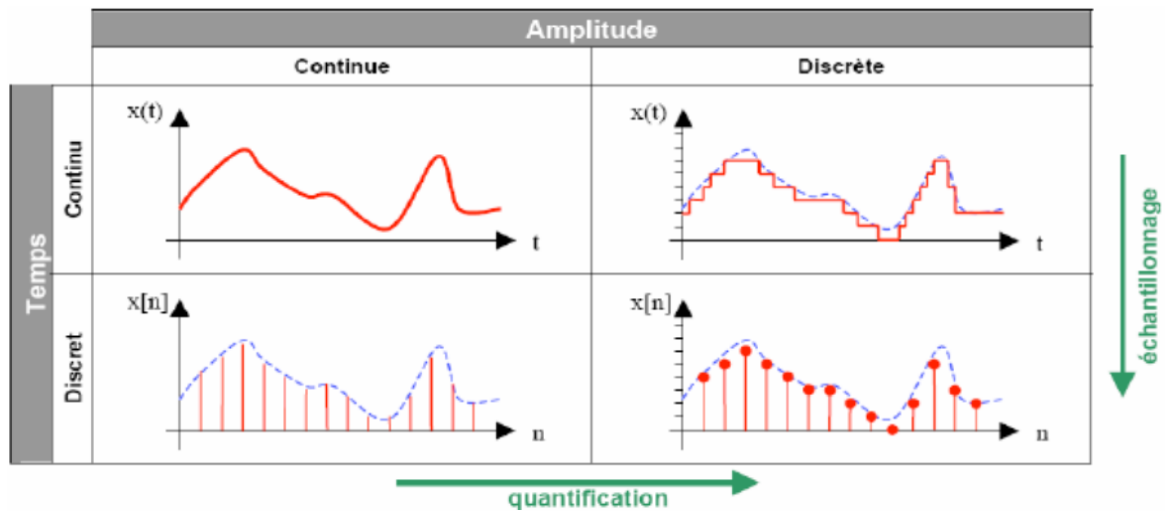


Fig.III.5. Classification morphologique

III.6. Corrélation [6]

Une opération mathématique qui par sa forme est très proche de la convolution est la fonction de corrélation de deux signaux. Cependant, contrairement à la convolution, le but de la corrélation est de mesurer le degré de ressemblance de ces signaux et d’extraire des informations qui, dans une large mesure, dépendent de l’application considérée. La corrélation est utilisée dans les radars, les sonars, les communications numériques, la détection de signaux noyés dans du bruit, la mesure de temps de transmission, le GPS (Global Positioning System), etc. Dans chaque cas, on dispose de deux fonctions : le signal de référence $x(t)$ et le signal reçu $y(t)$. Il faut alors trouver une opération mathématique permettant de comparer ces signaux et d’en mesurer la ressemblance ou corrélation. Ceci se fait simplement en effectuant l’intégrale du produit des signaux que l’on décale progressivement l’un par rapport à l’autre.

III.6.1. Cross-correlation [7]

La corrélation croisée de deux fonctions continues réelles, ϕ_{xy} est définie par

$$\phi_{xy}(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} x(\tau - t) y(\tau) d\tau \dots\dots\dots (III.5)$$

III.6.2. Autocorrélation d'un signal [8]

Dans le cas particulier où $y(t) = x(t)$, on obtient la fonction d'autocorrélation (FAC) du Signal

$$c_{xx}(\tau) = \int_{-\infty}^{+\infty} x(t).x(t + \tau) dt \dots\dots\dots (III.6)$$

Qui pour un décalage nul, donne l'énergie du signal $x(t)$

$$c_{xx}(0) = \int_{-\infty}^{+\infty} x(t)^2 dt = W_x \dots\dots\dots (III.7)$$

III.6.3. Intercorrélation de deux signaux [8]

Considérant deux signaux $x(t)$ et $y(t)$ à énergie finie, on définit la fonction d’intercorrél

(FIC) comme l'intégrale du produit du signal $x(t)$ avec le signal $y(t)$ décalé d'une valeur τ :

$$C_{xy}(\tau) = \int_{-\infty}^{+\infty} x(t) \cdot y(t + \tau) dt \dots\dots\dots (III.8)$$

Par changement de variable $\theta = t + \tau$, on montre que

$$C_x(\tau) = \int_{-\infty}^{+\infty} x(\theta - \tau) \cdot y(\theta) d\theta = C_{yx}(-\tau) \dots\dots\dots (III.9)$$

On voit ainsi que la fonction $C_x(\tau)$ est aussi la version retournée de $C_{yx}(\tau)$ autour de l'ordonnée

Oy. Comme on peut le constater, les fonctions d'intercorrélation :

$$C_{xy}(\tau) = \int_{-\infty}^{+\infty} x(t) \cdot y(t + \tau) dt \dots\dots\dots (III.10)$$

et de convolution

$$C_x(\tau) = \int_{-\infty}^{+\infty} x(\theta) \cdot y(t - \theta) dt = x(t) * y(t) \dots\dots\dots (III.11)$$

sont formellement très proche. On montre qu'elles sont reliées entre elles par :

$$C_x(\tau) = x(-\tau) * y(\tau) \dots\dots\dots (III.12)$$

III.8. Conclusion

Le traitement du signal est devenu une science incontournable de nos jours. Toutes les applications de mesures, de traitement d'information mettent en œuvre des techniques de traitement sur le signal pour extraire l'information pertinente.

Un panorama des notions sur le signal et leurs caractéristiques a été présentée. Les signaux aléatoires peuvent être stationnaires ou non stationnaires. Dans la majorité des cas les signaux physiques sont des signaux non stationnaires. Les signaux physiques contrôlant la conduite vont être acquis par un dispositif numérique innovant orienté à faire cette application. Ensuite, les signaux vont être traité et analysé. Ces taches feront l'objet du chapitre d'expérimentation.

Références

- [1] Francis Cottet-Aide-mémoire Traitement de signal .p4-p5
- [2] Francis Cottet-Aide-mémoire Traitement de signal .p4
- [3] Adel A.mimi. Support de cours traitement de signal/P6
- [4] Cours de techniques des mesures Aperçu des chaines d'acquisition de données Et Traitement des signaux, docplayer, fr /12287833-Aprcu-des-chaines-d-aquisition-de-donnes-et-des-signaux.html.
- [5] Sonde Abdelmouleh/Cours traitement de signal -P5
- [6] Adel Amimi. Support de cours traitement de signal/P21/P22
- [7] https://www.ocean.washington.edu/courses/ess522/lectures/08_xcorr.pdf
- [8] Adel Amimi. Support de cours traitement de signal/P22

A decorative border with intricate floral and scrollwork patterns in the corners of the page.

CHAPITRE IV

Résultats et discussions

IV.1. Introduction

Après avoir pris connaissance des méthodes d'analyse des signaux telles que les notions de traitement de signal comme la convolution et la corrélation numérique, que nous allons introduire pour analyser nos signaux obtenus à partir d'une conduite prototype réalisée au niveau de notre laboratoire et simulant un réseau de distribution d'eau. L'idée de base est d'utiliser un nouveau dispositif électronique pour l'acquisition simultanée de deux signaux issues de deux transmetteurs de pression. Ces signaux sont généralement noyés dans le bruit. Pour cela un filtrage est nécessaire. Nous avons validé les critères de performances du filtre médiane que nous avons utilisé par le SNR rapport signal sur bruit après plusieurs tests de filtrage avec des filtres numériques (filtre FIR) tel que Tchebychev et Buter Worth. Nous avons constaté que le filtre médiane a donné un meilleur rapport signal sur bruit pour cela nous l'avons adopté pour notre système. La conduite prototype va être décrite, elle se compose de deux partie : partie hydraulique et partie électrique. La partie hydraulique est constituée d'un circuit hydraulique fermé formant un serpentins et composé d'un certains nombres éléments tels que (tuyau, réservoir, pompe, coudes, accessoires etc.). Nous l'avons déposé horizontalement pour éliminer les paramètres ayant une relation avec les distances dans les équations de continuité et conservation de masse dans les modèles mathématiques de la conduite. La partie électrique comprend un étage de conditionnement du signal. L'acquisition a été faite via une carte Arduino due. A l'aide de deux transmetteurs de pression installés à deux endroits différents de la conduite nous avons pris à des différentes positions deux signaux. Ces derniers reflètent l'état de la conduite, pour cela ils vont être enregistrés et analyser. Afin de faire une acquisition une partie software est nécessaire. Pour cela nous avons utilisé Simulink de Matlab pour exploiter des blocks fonctionnels pour la communication et le transfert des données. Le traitement des données pour la localisation de la position est effectué par des programmes élaborés sous Matlab.

IV.2. Système d'acquisition

Notre système de détection de fuites repose principalement sur des transmetteurs de pression, d'une grande précision. L'image de la pression à un endroit de la conduite donnée par les transmetteurs de pression est un courant en utilisant la boucle 4-20 mA. Ce dernier va être converti à une tension. Cette tension est visualisée sur un PC en utilisant une carte ARDUINO DUE pour qu'on puisse suivre l'évolution temporelle de cette pression. Les signaux visualisés peuvent être numérisés et stockés sous la forme d'un fichier Excel qui sera traité par nos programmes développés sous MATLAB.

IV.3. Chaîne d'acquisition

Le schéma synoptique de la chaîne d'acquisition **Figure (VI.1)** regroupe sept blocs fonctionnels. Elle comporte un bloc représentant le circuit hydraulique sur lequel on a placé deux transmetteurs de pression et une électrovanne. Le principe de fonctionnement des différents blocs va être décrit

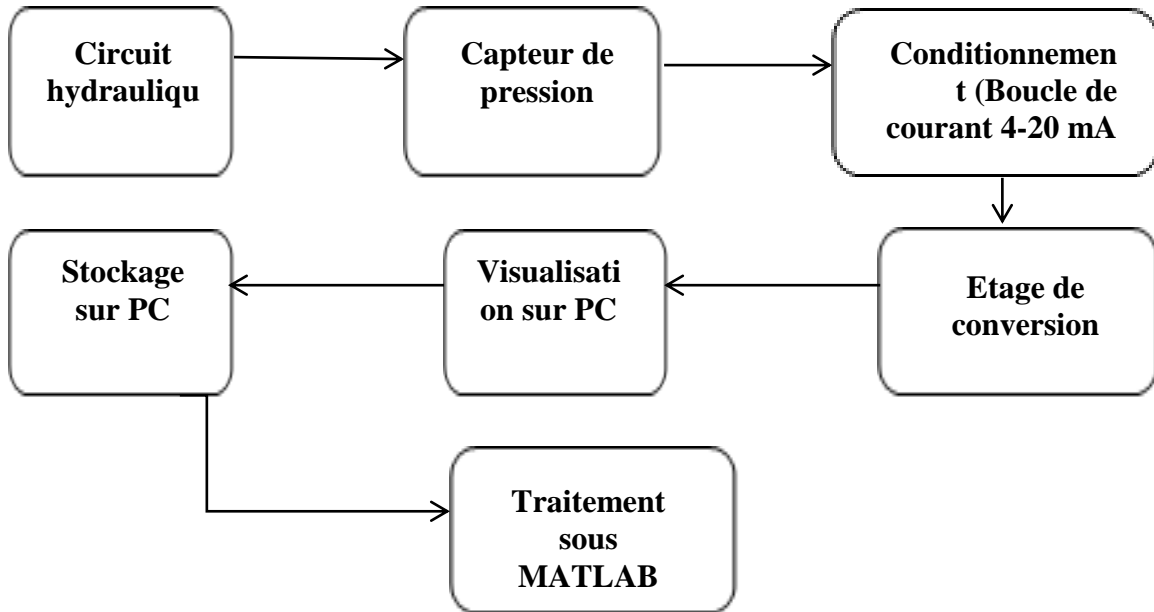


Fig. IV.1. Schéma synoptique du système d'acquisition

Ce schéma synoptique présente les différents blocs opératoires utilisés pour acquérir les signaux de fuite des transmetteurs de pression.

IV.3.1. Capteur de pression

Nous avons placé un capteur de pression au début du canal et un autre à une distance de 24,36 m du premier capteur. Nous avons ensuite fait des trous de 10 mm dans le canal à des distances prédéterminées de l'un des capteurs pour simuler des fuites à l'aide d'une électrovanne **Figure (VI.2)**.



Fig. IV.2. Différentes positions des capteurs de pression

Les caractéristiques techniques du capteur de pression

Selon les consignes du constructeur, les capteurs qui sont utilisés comportent trois fils **Figure (VI.3)**:

- Fil noir : La sortie du signal.
- Fil blanc : La masse.
- Fil rouge : Alimentation du capteur.



Fig. IV.3. Capteur de pression

Ces dimensions sont décrites par la Figure (VI.3).

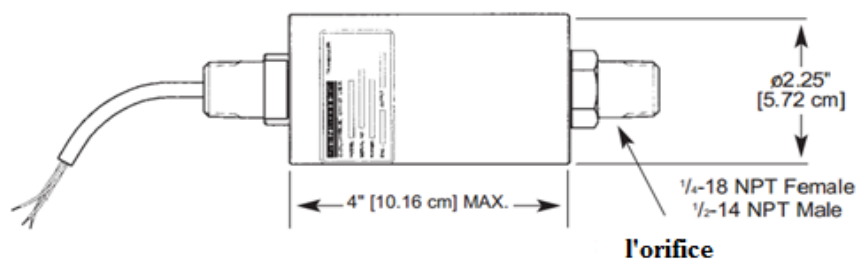


Fig. IV.4. Capteur de pression.

❖ **Spécifications techniques**

Tableau. IV.1. Caractéristiques du capteur de pression

Les caractéristiques techniques les plus importantes sont résumé par le Tableau (VI.1).

Performance	Plage de pression	0-2 a10, 000psi
	Précision (min)	±0.25%F.S.
	Non linéarité (max)	±0.15%F.S.
	Hystérésis (max)	±0.10%F.S.
	Non adaptable (max)	±0.05%F.S.
	Sortie (std) résolution...	4-20mA Infini
Environnementale	Température, fonctionnement	0°F a180°F
	Température compensée	60°F a160°F
	Effet de température Zéro (max)	.01%F.S./°F

	Span (max)	.01%Rdg./°F
Électrique	Type de strain gage excitation la résistance d'isolement Code de câblage (std) Terminaison électrique (std)...	Feuille collée 15 a40 VDC 5000migaohm@50VDC #22(See Pg.AP-8) 1/2-14NPT male w/7/8" Clé à plat .20GA 2ft.cable avec masse
Mécanique	médias Surcharge sécuritaire Port de pression Matériau de pièces mouillées type Matière céralière	Gaz, liquide 50% capacité 1/4-18NPT famale 1/2-14NPT male w/1 "Hex 17-4 PH inoxydable Calibre ou absolu acier inoxydable

IV.3.2. Boucle de courant 4-20 mA

La boucle de courant 4-20 mA est un support de transmission fiable pour transmettre un signal analogique sur une longue distance sans perte ou modification de ce signal. Pour réaliser la boucle 4-20mA, il faut utilisée au moins 4 éléments, l'alimentation, capteur les câbles et une résistance **Figure (IV.5)**.

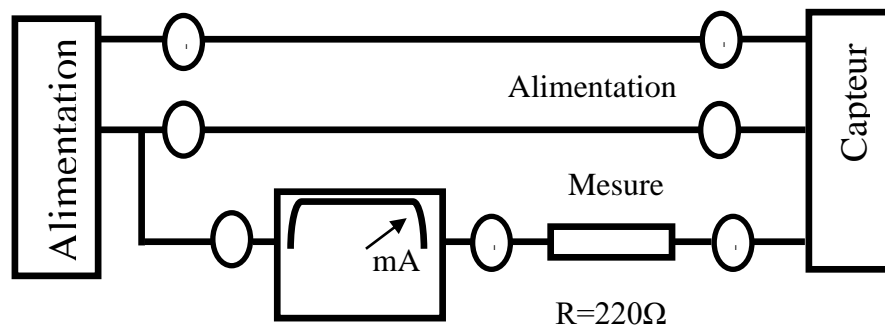


Fig. IV.5. Câblage de la boucle.

Pour calibrer le capteur de pression, nous devons l'alimenter avec une tension de 24 volts et fermer la sortie sur un ampèremètre. Si le transmetteur est en bon état, il doit indiquer 4 mA lorsqu'il n'est soumis à aucune pression externe (Pression atmosphérique uniquement). On dit que notre transmetteur est calibré si la pression correspondant à 20mA est la valeur maximale donnée par le constructeur sur le corps du transmetteur.

Réalisation de boucle 4-20mA

Avant de placer les transducteurs de pression sur la conduite directement on doit les étalonner. Les étapes d'étalonnage sont mentionnées en bas.

- Du capteur ou transducteur sort trois fils (blanc, noir, rouge) auxquels le fil blanc doit être relié à la masse, le fil rouge doit être relié à l'alimentation (+24 V) et le fil noir est mis en série avec une résistance de $R=220\Omega$. Cette dernière est également relié en série avec un ampèremètre, l'autre extrémité de l'ampèremètre est attachée à la masse qui représente l'extrémité finale de la boucle 4-20 mA.

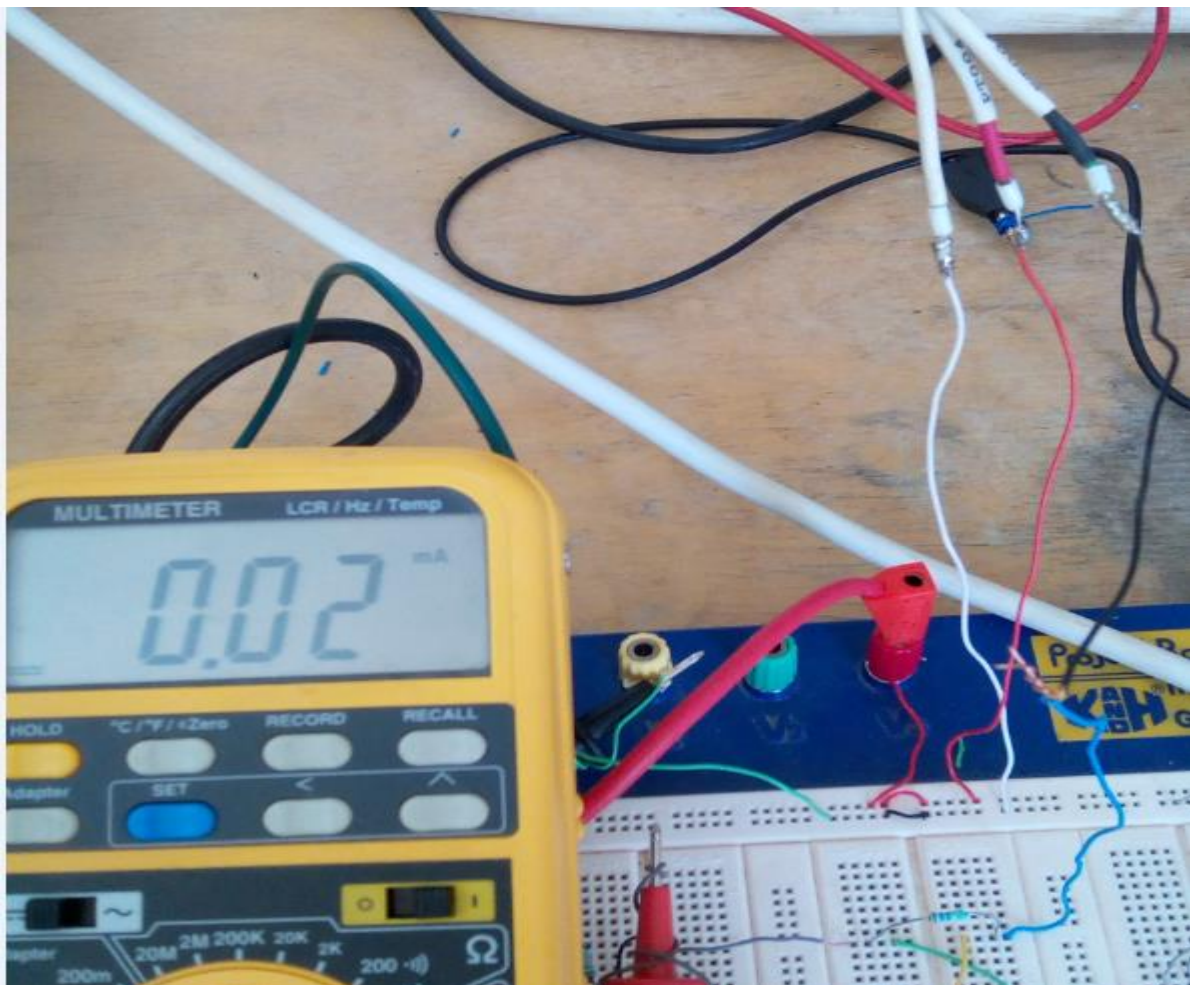


Fig. IV.6. Etalonnage pratique du capteur.

Avant d'appliquer la pression sur le capteur on l'alimente avec une tension de (+24 V) . La mesure du courant traversant l'ampèremètre, à vide doit être égal à 4mA. Si on applique une pression P sur les deux capteurs, le courant traversant les capteurs va augmenter au fur et à mesure que la pression augmente.

IV.3.3. Etage de conversion courant-tension

Le bloc de résistance signifie la conversion courant-tension de la boucle 4-20mA, de sorte que

$U = R (220\Omega) \times I$ donc l'image du courant minimal est $U_{\min} = 880\text{mV}$ et pour le courant maximal est de $U_{\max} = 4,4\text{V}$.

IV.4. Circuit hydraulique

Le circuit hydraulique représenté par la **Figure (IV.6)** est réalisé au niveau du laboratoire.



Fig. IV.7. Circuit hydraulique global

Le circuit hydraulique est composé de plusieurs éléments

IV.4.1. Conduite

Nous avons utilisé une conduite en PEHD **Figure (IV.7)** de diamètre $\varnothing=4$ cm, avec une longueur de 26 m.



Fig. IV.8. Canal prototype.

IV.4.2. Accessoires

Pour créer un circuit hydraulique fermé, nous devons utiliser des coudes et des joints pour éliminer les fuites qui peuvent se produire.

IV.4.3. Fuite d'eau

Pour simuler une fuite nous avons percé des trous de diamètre de $\varnothing=10$ mm au niveau de la conduite.

IV.4.4. Electrovanne

L'électrovanne ou électrovalve **Figure (IV.8)** est une vanne commandée électriquement, qui peut être utilisée pour contrôler le débit de fluide dans des cas. Grâce à ce dispositif, il est possible de commander l'ouverture ou la fermeture d'un appareil électrique par un signal ou une commande. L'électrovanne que nous avons utilisée à une puissance de 8 watts et fonctionne avec une tension de 220 volts. Elle est placée sur la conduite pour simuler la fuite. Pour notre application, nous l'avons commandée à partir d'un bouton poussoir **Figure (IV.9)**.



Fig. IV.9. Électrovanne

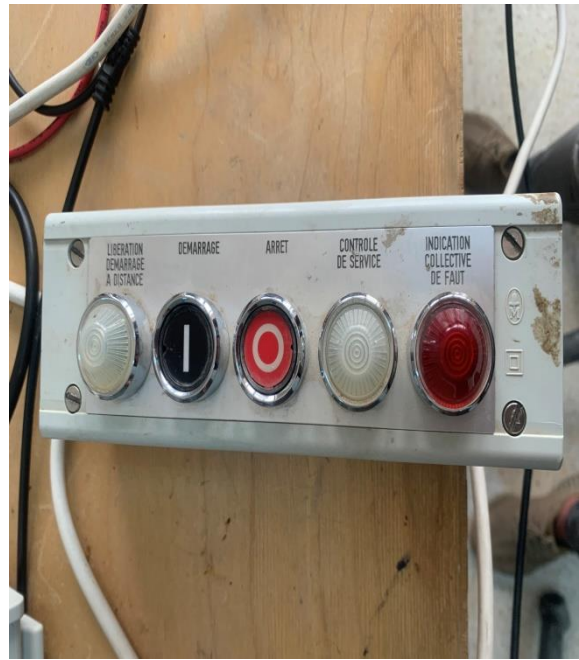


Fig. IV.10. Bouton poussoir

IV.4.5. Pompe

La pompe d'eau **Figure (IV.10)** que nous avons utilisée est de la marque **PENTAX JM100** ayant les caractéristiques suivantes :

- 1- Débit : 10 – 50 (l/min)
- 2- Puissance : 0,74 Kw
- 3- Vitesse de rotation : 2800 tr/min
- 4- $H_{\min}=27$ m $H_{\max}=52$ m



Fig. IV.11. Pompe à eau

IV.4.6. Réservoir

Notre réservoir **Figure (IV.11)** est en plastique d'une capacité de 100 litres, elle est utilisée pour stocker l'eau qui circule dans la conduite. Elle simule la bache à eau.



Fig. IV.12. Réservoir

IV.5. Circuit électronique de conditionnement

Le circuit électronique du signal provenant des capteurs de pression du système d'acquisition réalisé au laboratoire est indiqué sur le schéma synoptique ci-dessous **Figure(VI.12)**.

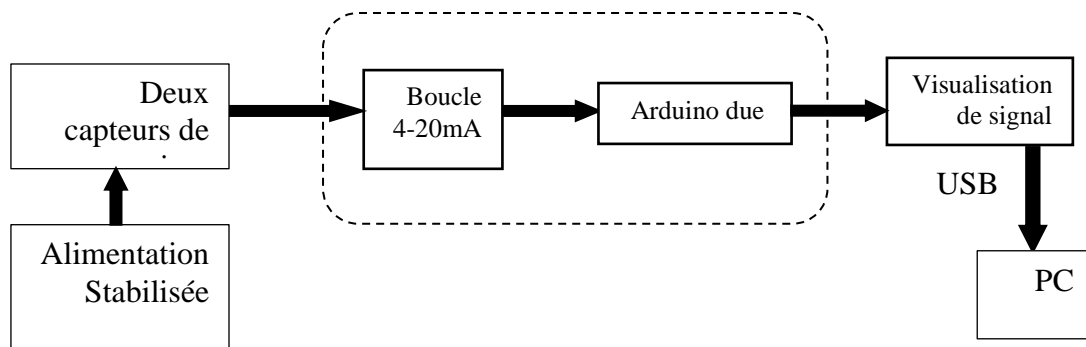


Fig. IV.13. Synoptique du système électronique de conditionnement**IV.5.3. Arduino due [1]**

L'arduino due est utilisé pour la visualisation et la mémorisation des signaux provenant des capteurs de pression après la boucle de conditionnement à travers le PC, pour les stocker sous forme des fichiers numériques exploitables. Pour cela on a réalisé un block dans Simulink lié avec un programme élaboré sous MATLAB

L'Arduino due est une carte à microcontrôleur basée sur sur l'Atmel SAM3X8E ARM Cortex-M3. Il s'agit de la première carte Arduino basée sur un microcontrôleur ARM 32 bits. Il a 54 broches d'entrée/sortie numériques (dont 12 peuvent être utilisées comme sorties PWM), 12 entrées analogiques, 4 UART (ports série matériels), une horloge 84 MHz, une connexion compatible USB OTG, 2 DAC (numérique à analogique), 2 TWI, une prise d'alimentation, un en-tête SPI, un en-tête JTAG, un bouton de réinitialisation et un bouton d'effacement. Il contient tous les éléments nécessaires pour prendre en charge le microcontrôleur ; Il suffit de le connecter simplement à un ordinateur avec un câble USB ou l'alimenter avec un adaptateur AC-DC ou une batterie. Sur le PC on installe son driver pour pouvoir obtenir son interface de travail appelé IDE.

Caractéristiques techniques

Les caractéristiques techniques sont données par le **Tableau (VI.2)**.

Tableau. IV.2. Caractéristiques Techniques de l'Arduino due

Microcontrôleur	AT91SAM3X8E
Tension de fonctionnement	3.3V
Tension d'entrée (recommandée)	7-12V
Tension d'entrée (limites)	6-16V
Broches d'E/S numériques	54 (dont 6 fournissent une sortie PWM)
Broches d'entrée analogique	12
Broches de sortie analogique	2 (DAC)
Courant DC par broche d'E/S	130 mA
Mémoire Flash	512 Ko (tous disponibles pour les applications utilisateur)
SRAM	96 Ko
Vitesse de l'horloge	84 MHz
Longueur	101,52 mm
Largeur	53,3 mm
Poids	36 g

On a besoin également pour notre application de quelques blocs de Simulink de Matlab **Figure (VI.13)**. La communication avec les ports doit être effectuée au préalable. Avant la compilation le buildage est nécessaire. Les données sont sauvegardées dans Workspace de Matlab.

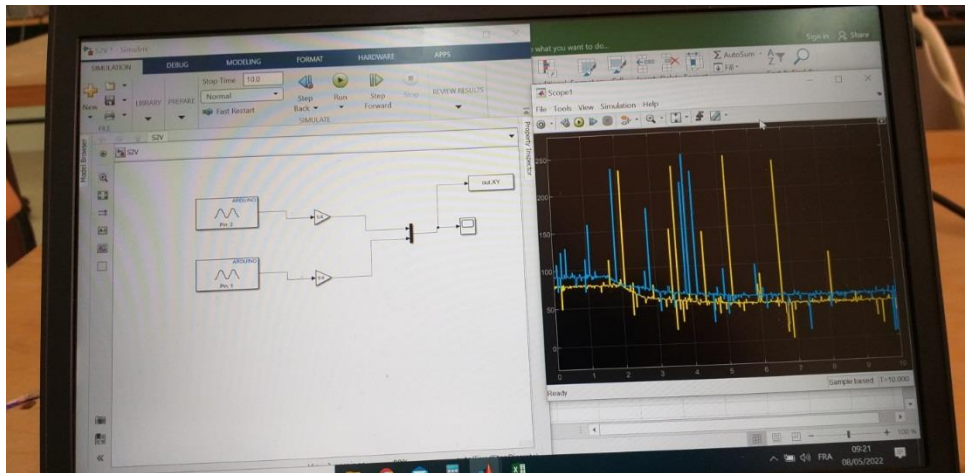


Fig. IV.14. Blocs Simulink pour l'acquisition des signaux de pression

IV.5.2. Alimentation stabilisée

Nous avons utilisé une alimentation stabilisée GW INSTEK modèle GPC-30-20 pour alimenter les différents étages de notre système d'acquisition **Figure (VI.14)**.



Fig. IV.15. Alimentation stabilisée GW modèle 3020

IV.6. Système de détection réalisé

Notre système de détection de fuites est composé de deux parties : un système hydraulique contenant les canalisations et leurs accessoires, et l'autre des composants électroniques comprenant des capteurs, des systèmes de conditionnement et un système d'affichage et de stockage

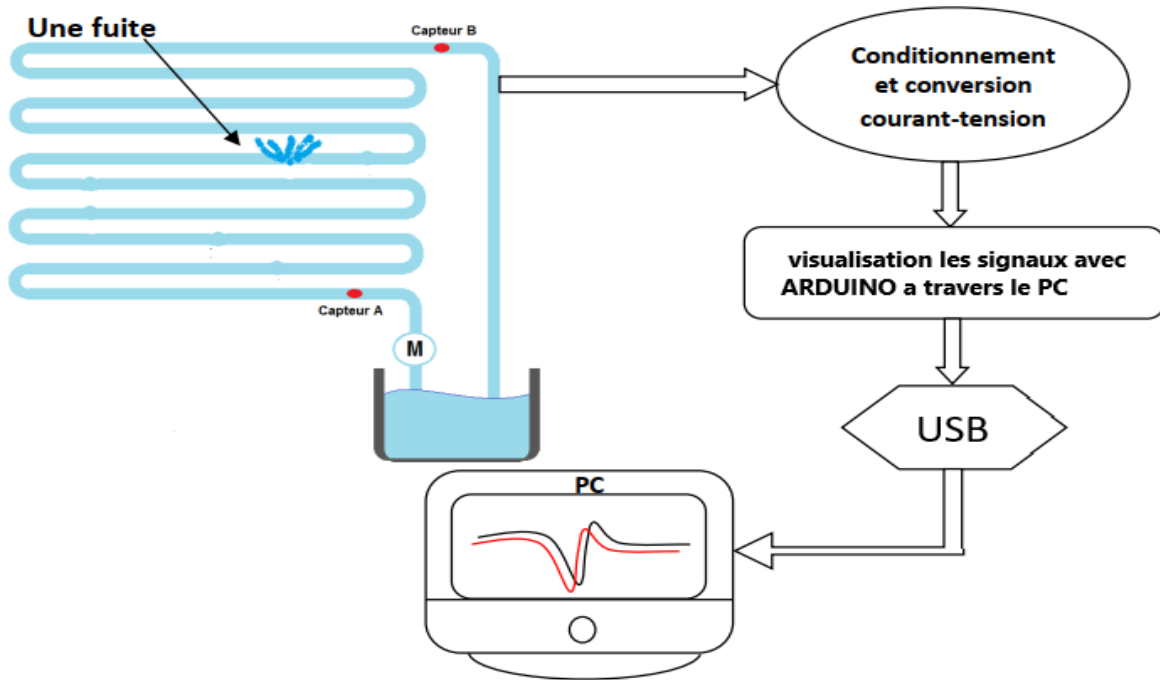


Fig. IV.16. Circuit électrique du système d'acquisition réalisé

Les capteurs de pressions utilisés sont basés sur des transducteurs, ces derniers transforment les signaux de pressions à des signaux électriques sous forme de courant, par la suite en tension via une résistance pour rendre le signal visualisable sur l'oscilloscope et exploitable, la plage linéaire de fonctionnement des transmetteurs utilisés est

$$4mA \rightarrow 0 \text{ PSIG et } 20mA \rightarrow 100PSI \dots\dots\dots(IV.1)$$

La modélisation de la fonction de notre transmetteur est donnée par la fonction suivante

$$I = 0.16P + 4 [mA] \dots\dots\dots(IV.2)$$

- I : courant en mA
- P : pression en PSI

L'information pour qu'elle soit visualiser par l'oscilloscope on a besoin d'une conversion courant- tension. Cette dernière est obtenue en utilisant une résistance d'une valeur égale à $R=220 \Omega$, par conséquent

Pour 0 PSIG , U_{min} correspondante est de $= 880 \text{ mV}$)

Également pour (100 PSIG, U_{max} correspondante est de $= 4400mV$).

Nos signaux acquis seront stockés via un câble USB. D'abord, vous devez brancher l'USB sur l'ordinateur Avant de faire l'enregistrement des signaux, La vanne est réglée sur une certaine position par rapport à la valeur de pression pour obtenir un résultat souhaité. L'image de cette dernière est un courant indiqué par un ampèremètre. Afin de sauvegarder les données de notre signal, nous appuyons sur le bouton "save" du programme Arduino. Les données sont enregistrées dans un fichier Excel.

IV.7. Résultats et discussions

Les signaux que nous avons acquis seront stockés via le port USB. Les signaux des capteurs de pression obtenue précédemment seront traités à l'aide de la technique de cross-corrélation entre les deux signaux qui arrivent à des temps différés, qui permet la détection et localisation de la fuite.

Sachant que la difficulté d'acquérir des signaux porteurs d'informations nous a mené à faire plusieurs acquisitions au même endroit pour les différentes positions. La représentation du signal échantillonné peut se faire à l'aide du programme élaboré sous MATLAB en utilisant les données enregistrées dans le fichier Excel. Après exécution du programme élaboré sous Matlab

IV.7.1. Signaux acquis

Nous avons acquis plusieurs signaux, afin de détecter et localiser les différentes positions des fuites, ces signaux sont traités en utilisant logiciel MATLAB.

Nous donnons un exemple de mesure dans laquelle plusieurs acquisitions ont été faites à différentes positions choisis de manière aléatoire

Les signaux temporels de pression des deux capteurs pour une conduite sans fuite sont représentés par la **Figure (VI.16)**.

a. Signaux sans fuite

Dans cet exemple nous avons présentés les signaux sans fuite pour une position choisie aléatoirement. L'axe des x représente le temps en s et l'axe des y représente la pression. Pour notre cas les valeurs sont numérisés. Pour cela une conversion est nécessaire. Pour mieux comprendre le cas. La valeur donnée est une valeur quantifiée. Elle est donnée sur 8 bits. Pour obtenir la valeur réelle de la pression on doit multiplier la valeur donnée par le pas de quantification qui est dans notre cas de $q = \frac{2U_{max}}{2^N}$, U_{max} la valeur en pleine échelle et N le nombre de bits.

Le pas de quantification est de l'ordre de $q=3.3V/2^8 = 0.01289V$

La tension correspondante à la pression du 1^{er} capteur va être de l'ordre de : $120 * 0.01289 =$
1.54 V.

La tension correspondante à la pression du 2^{ème} capteur va être de l'ordre de : $75 * 0.01289 =$
0.966 V

La valeur de la tension correspond à une certaine pression donnée en **PSIG**.

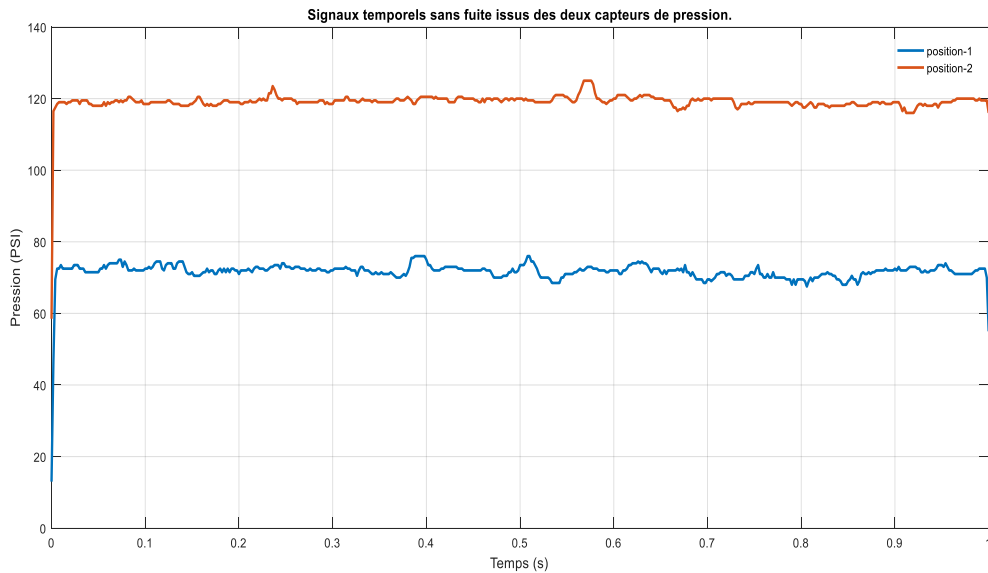


Fig. IV. 17. Signaux temporels sans fuite issus des deux capteurs de pression.

En analysant les deux signaux nous constatons que les pressions détectées par les deux capteurs sont pratiquement fixes. Les petites fluctuations sont dû à la nature du mode turbulent de l'écoulement.

b. Signaux avec fuite

Les signaux temporels de pression brutes (sans filtrages) provenant des deux capteurs pour le cas d'une conduite avec fuite sont représentés par la **Figure (VI.18)**.

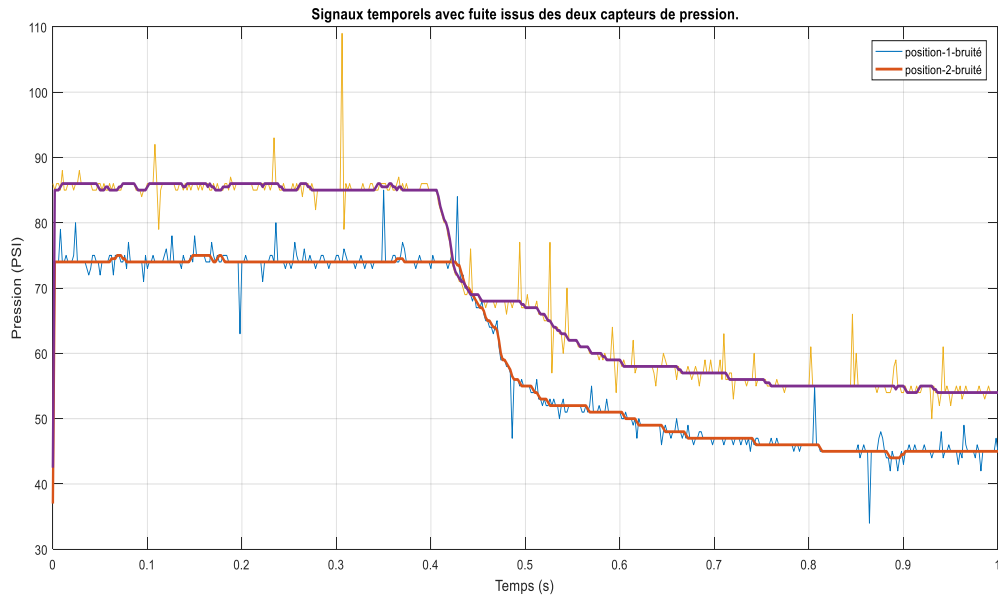


Fig. IV. 18. Signaux temporels avec fuite issus des deux capteurs de pression.

L'analyse des signaux montre qu'une **singularité** s'est produite à $t = 0.4S$ pour le premier signal (signal coloré en violet) et $t = 0.43S$ pour le deuxième capteur (signal coloré en orange). Nous constatons également que les deux signaux sont entachés de bruit. Pour cela un filtrage est indispensable.

IV.7.2. Filtrage des signaux par le filtre médian

Afin de débruiter les signaux de fuite on a appliqué le filtre médian sur chaque signal avec fuite issue des deux capteurs (capteur A et B). Après l'exécution du programme élaboré sous Matlab de ce filtre, les résultats obtenus sont représentés par la **Figure (VI.19)**.

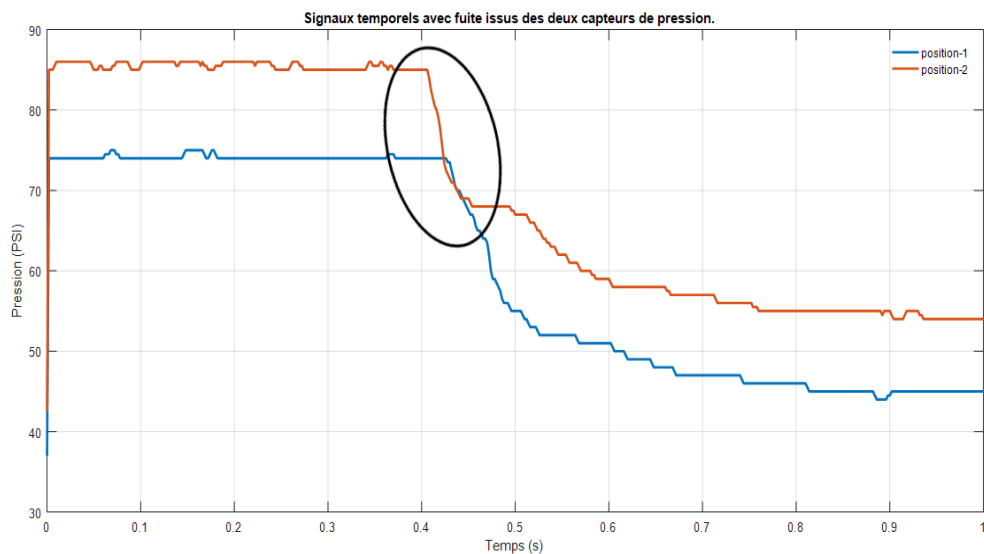


Fig. IV. 19. Signaux temporels avec fuite issus des deux capteurs de pression après filtrage

Nous avons constaté que le filtrage des deux signaux a été efficace par le filtre médian. Nous constatons également en analysant les deux signaux temporels filtrés qu'il y a un décalage temporel entre eux représentant qu'ils arrivent à des temps différés aux capteurs. A l'instant $t = 0.4$ s s'y produit une dépression signalant la production d'une fuite détectée par le capteur le plus proche de la fuite et à l'instant $t = 0.43$ s le phénomène de dépression est détecté par le deuxième capteur.

IV.7.2. Calcul des performances du signal filtré par SNR

Afin de connaître les performances de filtrage de nos signaux on a utilisé le SNR (Signal Noise Ratio) comme moyen de discrimination très utilisé dans ces cas. Pour cela on a besoin de calculer les Puissance des signaux, avant et après filtrage et calculer leurs rapports de puissances pour pouvoir déterminer leur SNR et par la suite leur SNR en décibels (dB) sur une fenêtre temporelle donnée.

On a :

Puissance de signal

$$P_s = \frac{1}{N} \sum x_i^2 \dots\dots\dots(IV.3)$$

Puissance de bruit

La puissance de bruit est obtenue en faisant la soustraction entre la puissance du signal avant filtrage avec celle de la puissance du signal après filtrage.

$$P_B = \frac{1}{N} \sum x_i^2 - y_i^2 \dots\dots\dots(IV.4)$$

S_{nr}

$$SNR = \frac{P_s}{P_b} \dots\dots\dots(IV.5)$$

SNR(dB)

$$SNR(dB) = 10\log(SNR) \dots\dots\dots(IV.6)$$

Trois acquisitions ont été choisis arbitrairement parmi les signaux acquis, Le **Tableau. IV.3** ci-dessous regroupe les différentes positions des fuites choisies

Tableau. IV.3. Les performances du signal par SNR

Position	signal	Capteur A	Capteur B
2	Puissance de signal	5.33×10^3	6.97×10^3
	Puissance de bruit	3.97×10^2	1.77×10^2
	Snr	13.42	39.40
	Snr(dB)	11.2	15.95
	Position	signal	Capteur A

4	Puissance de signal	5.74×10^3	7.03×10^3
	Puissance de bruit	2.66×10^2	79.37
	Snr	21.59	89.03
	Snr(db)	13.34	19.49
Position 7	signal	Capteur A	Capteur B
	Puissance de signal	6.24×10^3	7.34×10^3
	Puissance de bruit	1.98×10^2	2.16×10^2
	Snr	31.54	33.98
	Snr(db)	14.98	15.31

En analysant les performances de nos signaux des deux capteurs on constate que ces derniers sont des signaux performant avec moins de bruit, des puissances élevée et SNR important

5.5. Localisation de la fuite

La **Figure (IV.19)** ci-dessous montre un tronçon de la conduite avec deux transmetteurs de pression éloignés de D. Nous avons simulé une fuite à une position pris arbitrairement de telles sortes qu'elle ne soit pas au milieu de notre tronçon. Une fois qu'il y a une singularité constatée sur nos signaux correspondants à une dépression, nous disons que nous avons détecté une anomalie sur notre tronçon (détecter une fuite). Il existe plusieurs façons de localiser les fuites. On s'y basé sur la technique de cross-corrélation, l'une des méthodes les plus utilisé dans les détecteurs bon marché.

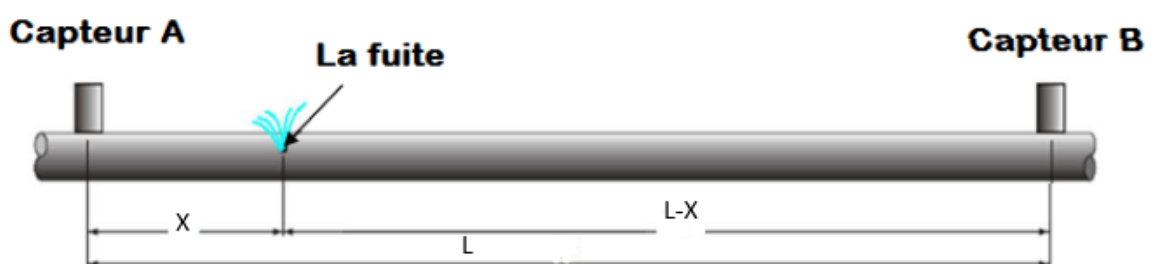


Fig. IV.20. Schéma synoptique d'une portion de circuit réalisé

Dans notre application, nous avons pris une distance entre les deux capteurs égale à $L=24.36\text{m}$. La vitesse à laquelle une onde de pression se propage dans un tuyau dépend du type de matériau à partir duquel le tuyau est fabriqué (PEHD, PVC, ACIER) ainsi que des dimensions du tuyau.

X et L-X représentent les distances entre la fuite et les deux capteurs A et B respectivement. Dans notre étude, nous avons choisi arbitrairement deux emplacement de la fuite, le tableau ci-dessous regroupe les différentes distances des fuites choisies par rapport au capteur A.

Tableau. IV.4. Les distances des fuites par rapport au capteur A

Position 1 = 20.92 m	Position 2 = 15.89 m
----------------------	----------------------

Le distance par rapport au capteur A est donné par

$$X = V \cdot t_1 \dots\dots\dots(IV.7)$$

D'une même façon pour le capteur B:

$$L - X = V \cdot t_2 \dots\dots\dots(IV.8)$$

Selon la **Figure (IV.19)** on a :

$$L - X - X = V(t_1 - t_2) \rightarrow L - 2X = V \cdot \Delta t \dots\dots\dots(IV.9)$$

Avec :

$$\Delta t = t_2 - t_1 \dots\dots\dots(IV.10)$$

$$X = \frac{L - V \cdot \Delta t}{2} \dots\dots\dots(IV.11)$$

L : distance entre les deux capteurs (m)

Δt : différence de temps entre les deux signaux (s)

V : La vitesse de propagation de l'onde de pression

X, L-x : distance entre la fuite et le capteur

❖ **Différence de temps entre les deux signaux**

Selon la Figure (IV.20) ci-dessous la différence de temps entre les deux signaux va être

$$\Delta_t = t_2 - t_1 \rightarrow \Delta t = 0.43 - 0.402 \dots\dots\dots(IV.12)$$

$$\Delta t = 0.028 S$$

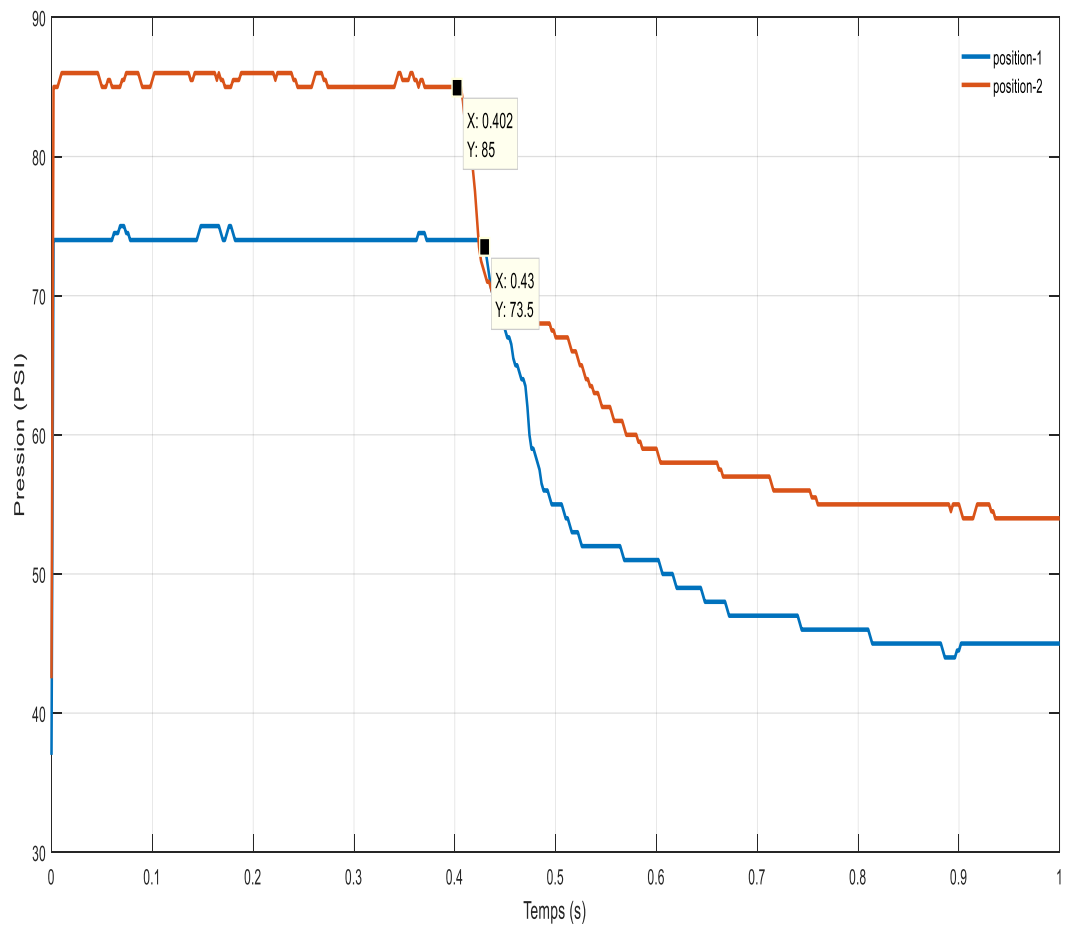


Fig. IV.21. Différence de temps entre les deux signaux (position 1)

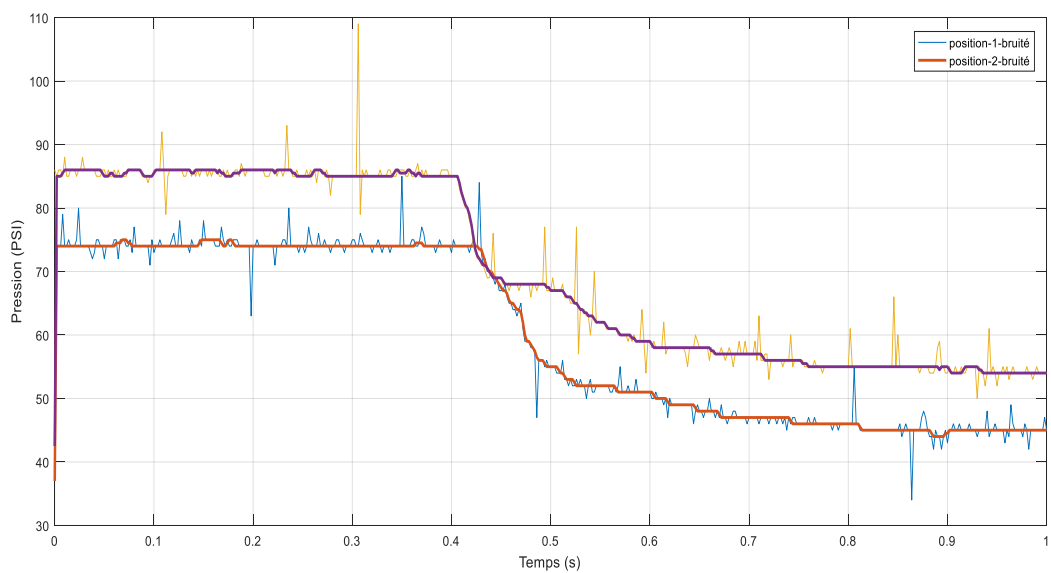


Fig. IV. 22. Signaux temporels issus des deux capteurs de pression (position 1)

❖ **La vitesse de propagation de l'onde de pression**

Selon [2], la vitesse de propagation de l'onde de pression doit être dans la plage de 470 m/s à 520 m/s pour les réseaux sans singularité. Les singularités provoquent des coups de bélier.

Selon l'équation on trouve :

$$V = \frac{L-2X}{\Delta t} \dots\dots\dots(IV.13)$$

Nous avons trouvé pratiquement la vitesse de propagation de l'onde de pression dans notre conduite en utilisant la pompe PENTAX est de l'ordre de

$$V = 576 \text{ m/s}$$

❖ **Validation**

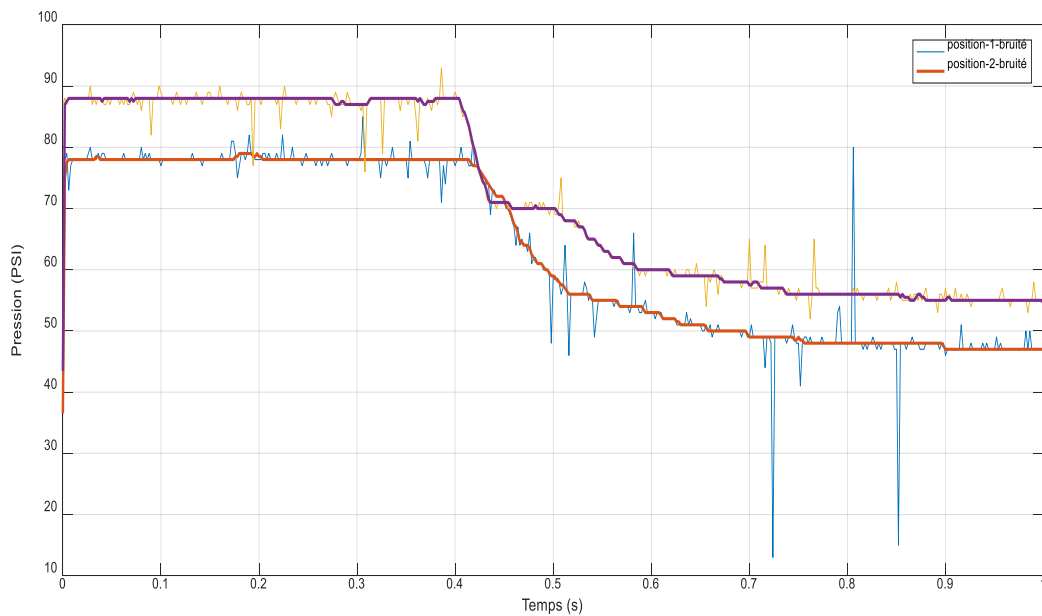


Fig. IV. 23. Signaux temporels issus des deux capteurs de pression (position 2)

Selon la **Figure (IV.24)** ci-dessous la différence de temps entre les deux signaux va être

$$\Delta t = t_2 - t_1 \rightarrow \Delta t = 0.422 - 0.402 \dots\dots\dots(IV.14)$$

$$\Delta t = 0.020 \text{ S}$$

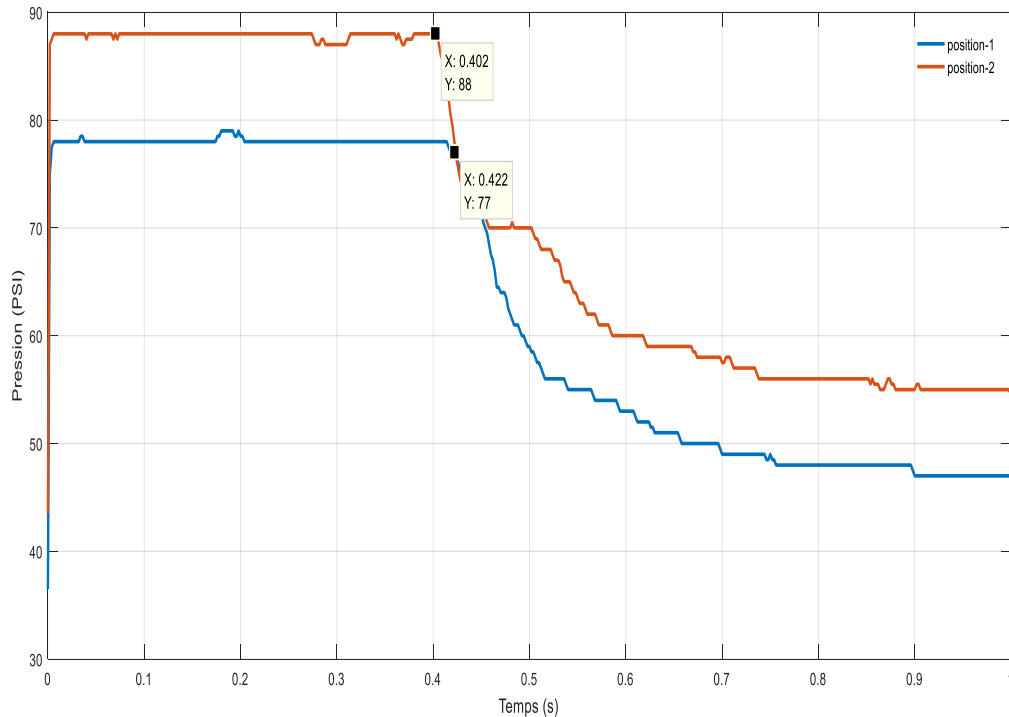


Fig. IV.24. Différence de temps entre les deux signaux (position 2)

L'application numérique de l'équation (IV.15) dans la position 7 a permis d'obtenir la position exacte par rapport au capteur A

$$\begin{cases} X = V \times \Delta t \\ X = 576 \times 0,02 = 11.52 \end{cases} \dots\dots\dots(IV.15)$$

Pour obtenir la position exacte de la fuite on doit ajouter 3.63 m qui présente la distance entre la fuite et le capteur A

Nous avons trouvé la position exacte par rapport au capteur A égale à

$$X = 15.15 \text{ m}$$

5.4. Application de cross-corrélation

Avant d'utiliser la méthode de cross-corrélation il faut d'abord normaliser les signaux obtenus à partir des transmetteurs de pression.

Notre ARDUINO DUE fonctionne à une tension de 3.3 V et contient 8 bits pour ces buffers de sortie et selon le schéma block de Simulink que nous avons proposé nos signaux sont multipliés par un facteur égal à $\frac{1}{4}$.

Les signaux obtenus à partir des transmetteurs de pression sont des nombres quantifiés. Ces derniers seront multipliés par un facteur calculé à partir de cette relation

$$p(V) = \frac{3,3 \times 4}{2^n} \dots\dots\dots(IV.16)$$

Avec

3.3 : La tension de fonctionnement d’Arduino due

n : le nombre des entrée d’Arduino due

Après avoir obtenu les valeurs des signaux en volts on va déterminer la valeur moyenne et l’écarte type pour cela nous avons utilisé un programme élaboré sous MATLAB.

Les signaux acquis doivent être normalisés. Le signal normalisé peut être obtenu par

$$y[n] = \frac{x[n]-\mu}{\sigma} \dots\dots\dots(IV.17)$$

Avec

$x[n]$: le signal acquis

μ : La valeur moyenne

σ : l’écarte type

La méthode de cross-corrélation pour la localisation de la fuite est appliquée sur les signaux normalisée obtenus auparavant.

On va appliquer la cross-corrélation a la deuxième position qui est loin du capteur A d’une distance de 15.89 m

Premièrement on doit trouver la valeur de k à partir de cette relation

$$\rho_{x_1x_2}[k] = \frac{R_{x_1x_2}[k]}{\sqrt{R_{x_1x_1}[0] \times R_{x_2x_2}[0]}} \dots\dots\dots(IV.18)$$

Avec

$R_{x_1x_2}[k]$ La valeur maximale obtenue à partir de la cross-corrélation des signaux de capteur A et B

$R_{x_1x_1}[0]$ La valeur initiale obtenue à partir de la corrélation de signal de capteur A avec lui-même

$R_{x_2x_2}[0]$ La valeur initiale obtenue à partir la corrélation de signal de capteur B avec lui-même

On va appliquer cette relation à la position choisie à l’aide d’un programme élaboré sous MATLAB et en obtient :

$$R_{x_1x_2}[k] = 480.3861$$

$$R_{x_1x_1}[0] = -1.1957$$

$$R_{x_2x_2}[0] = -1.3205$$

Donc

$$\rho_{x_1x_2}[k] = \frac{480.3861}{\sqrt{(-1.1957 \times -1.3205)}} = 382,30$$

On a trouvé La valeur de K est égale à 382 **Figure (VI.23)**.

Ensuite on va calculer la fréquence d'échantillonnage f_s et le temps de retard Δt

❖ **Fréquence d'échantillonnage f_s**

Les signaux acquis de part et d'autre de la fuite sont sous la forme de vecteurs $X1[n]$ et $X2[n]$.

Ils ont la même taille correspondant à un nombre d'échantillons $N=500$. Ces deux signaux possèdent la même fréquence d'échantillonnage f_s .

$$\Delta t = N \cdot \Delta_{ts} \dots\dots\dots(IV.19)$$

$$\Delta_{ts} = \frac{\Delta t}{N} = \frac{10 \times 10^{-3}}{500} = 2 \times 10^{-5} \text{ s} \dots\dots\dots(IV.20)$$

$$f_s = \frac{1}{\Delta_{ts}} = \frac{1}{2 \times 10^{-5}} = 50 \text{ KHZ} \dots\dots\dots(IV.21)$$

Les signaux issus des deux capteurs sont identiques et proviennent à ces derniers à des temps différés. L'existence d'une fuite dans la conduite est décelée par un pic dans le graphe de cross-corrélation (R_{X_1, X_2}, k) connaissant la valeur k pour laquelle la fonction de cross-corrélation est maximale, on peut en déduire le temps de retard par l'équation ci-dessous :

$$\Delta t = \frac{N-1-k_{pic}}{f_s} \dots\dots\dots(IV.22)$$

$$\Delta t = \frac{500 - 1 - 382}{50000} = 2.34 \times 10^{-3} \text{ s}$$

L'application numérique de l'équation (IV.11) dans la position 2 a permis d'obtenir la position exacte par rapport au capteur A

$$X = \frac{24.36 - 576 \times 2.34 \times 10^{-3}}{2} = 11.5 \text{ m}$$

Pour obtenir la localisation exacte de fuite on doit ajouter 3.63 m qui présente la distance entre la fuite et le capteur A

Nous avons trouvé la position exacte par rapport au capteur A dans cette position égale à $X = 15.13 \text{ m}$

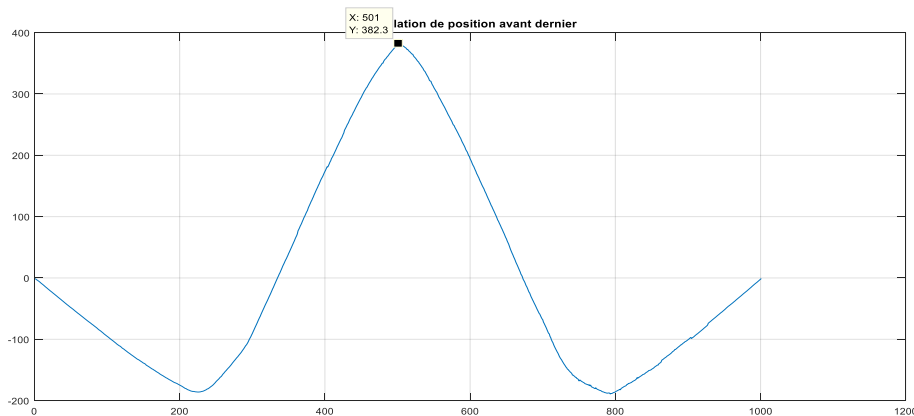


Fig.VI.25. Coefficients de la cross corrélation

IV.8. Conclusion

L'application de la cross-corrélation aux deux signaux de pression nous a donné une estimation de la distance à la fuite par rapport à l'un des capteurs, le résultat obtenu comporte des erreurs par rapport aux distances effectives. Après l'application de filtrage sur nos signaux, on a constaté un rapprochement des valeurs réelles. Les résultats obtenus diffèrent légèrement en raison d'erreurs dans les mesures effectuées.



Conclusion Générale

Conclusion générale

Les réseaux de distribution subissent des dégradations au cours du temps lié à plusieurs facteurs telles que la pression et les matériaux constitutifs des conduites. Ajouté à cela les problèmes liés à l'erreur humaine tel que les problèmes de pose. Tous cela sont des sources de la création des fuites. Ce qui présente un problème majeur pour la distribution continue de l'eau. Les responsables d'eau appliquent des efforts considérables pour assurer un bon fonctionnement du RDD afin de minimiser les fuites qui causent des pertes d'eau et des risques sur la santé publique une fois la pression chute. Ces fuites provoquent également des pertes économiques pour les entreprises nationales comme l'algérienne des eaux. Les détecteurs qui se vend à travers le monde sont chers pour nos entreprises. Pour cela on a trouvé que le meilleur moyen est de penser à un détecteur de fuite efficace et moins couteux pour minimiser les pertes d'eau qui coute des sommes colossales pour le trésor public.

Ce travail de recherche nous a permis d'élaborer et de concevoir un détecteur qu'il est possible toujours de l'améliorer afin de l'exploiter convenablement au future avec des meilleures conditions. Par conséquent, notre but principal est de détecter et localisation une fuite dans un réseau de distribution d'eau. Pour cela on a installé des transmetteurs de pression pour capter les signaux de pression dans notre conduite prototype. De plus cette méthode de localisation est basée essentiellement sur le traitement du signal pour connaitre la position de la fuite. La propagation de l'onde de pression dépend de la nature du matériau de la conduite utilisée et la matière transportée. On doit toujours la calculer au début et l'utiliser comme un paramètre connu. La technique de corrélation est appliquée pour la détermination de la position par rapport à l'un des capteurs.

Pour aborder le problème des fuites, il était nécessaire de toucher dans le premier chapitre les notions des fluides et ces caractéristiques physiques les différents types de pressions ainsi que la dynamique de fluide compressible, suivi par une présentation générale sur les réseaux de distributions et les fuites d'eau.

Dans le deuxième chapitre, une étude des filtres numériques a été éclairci. Ainsi que le filtrage par un filtre médian a été utilisé.

Le troisième chapitre a pour but de présenter la technique de cross-corrélation avec quelques définitions générales sur les signaux, et les différentes techniques de traitement appliquées.

Enfin le quatrième chapitre est réservé au travail pratique et à l'application de cross-corrélation sur des signaux de fuite réels acquis sur une conduite prototype réalisée dans notre laboratoire. Des éventuelles perspectives sont mentionnées.

A decorative border with intricate black and white floral and scrollwork patterns in the corners of the page.

Bibliographiques

Références bibliographiques**Chapitre I**

- [1] MECANIQUE DES FLUIDES I (Cours et Applications) ,Dr YOUCEFI Sarra : P4
- [2] Notion de mécanique de fluide, RIADH BEN HAMOUDA : P2/3
- [3] Notion de mécanique de fluide, RIADH BEN HAMOUDA : P4/5/6
- [4] notion de mécanique de fluide, RIADH BEN HAMOUDA : P52/52/54
- [5] MECANIQUE DES FLUIDES I (Cours et Applications) ,Dr YOUCEFI Sarra : P35
- [6] notion de mécanique de fluide, RIADH BEN HAMOUDA : P95/96
- [7] notion de mécanique de fluide, RIADH BEN HAMOUDA : P88
- [8] Mécanique de fluide-théorie et applications, M.ELGUERRI2015/P40
- [9] notion de mécanique de fluide, RIADH BEN HAMOUDA : P88/P89
- [10] notion de mécanique de fluide, RIADH BEN HAMOUDA : P54-P55
- [11] notion de mécanique de fluide, RIADH BEN HAMOUDA :P94/P95
- [12] Capteur de pression, R.HATTERER professeur de Physique Appliquée au lycée de la Méditerranée de la Ciotat : /P5
- [13] Capteur de pression, R.HATTERER professeur de Physique Appliquée au lycée de la Méditerranée de la Ciotat/P6/P7
- [14] François G. Brière, Distribution et collecte des eaux.3emeédition : P154
- [15] Y Labye, Conception et optimisation des réseaux d'irrigation : P5
- [16] Daoudi, A., Benbrahim , M., and Benjelloun , K., An Intelligent System to Classify Leaks in Water Distribution Pipes, proceedings of world academy of science, 2005:P1/P2
- [17] HAFSI, Lakhdar. : ‘Application de la technique EMD pour l’analyse des données des signaux de fuite dans les réseaux de distribution d’eau’, master, université Mohamed Boudiaf-M’sila, Juin 2016
- [18] <https://wikiwater.fr/e14-la-recherche-et-la-suppression>
- [19] Olivier Chesneau, Un outil d’aide à la maîtrise des pertes dans les réseaux d’eau potable : la modélisation dynamique de différentes composantes du débit de fuite, Thèse de doctorat en Sciences de l’ingénieur, l’Université Louis Pasteur, 2006.
- [20] Ghazali, M.F., Leak detection using instantaneous frequency analysis, University of S
- [21] Walski, T. M., al, advanced water distribution modeling and management, haested press, USA, haested methods, 2003.heffield, 2012.
- [22] Philippe, M., faisabilité d’un capteur de pression capacitif miniature sur silicium, thèse docteur, l’université paul sabatier, toulouse, 1998 : P4

- [23] Philippe, M., faisabilité d'un capteur de pression capacitif miniature sur silicium, thèse docteur, l'université paul sabatier, toulouse, 1998 : P5
- [24] Philippe, M., faisabilité d'un capteur de pression capacitif miniature sur silicium, thèse docteur, l'université paul sabatier, toulouse, 1998 : P6
- [25] Merabet, K., étude et simulation d'un capteur de pression capacitif au silicium, mémoire de magister, 2010 : P5
- [26] Capteurs de pression, preso. Numericable.fr/cira/pdf/cours/Instrumentation/pression.pdf.
- [27] généralité sur les Capteurs, physiquemangin. pages perso-organger.fr/BTSSE/cours/capteursetudiant.pdf.

Chapitre II

- [1] A.Agatep,Xlinix Spartan-II FIR Filter Solution ,W P 116(V1.0)April 5 2000.
- [2] Maurice Bellanger, " Traitement numérique du signal théorie et pratique ", édition Dunod, 2006.
- [3] : OLIVIER Sentiys_le 28mais2014.
- [4] M. B. Derras, Etude et simulation des filtres numériques RIF ,mémoire de pfd, E.N.P, 1993, P.P.13-98. Electrotechnique, M'sila 2007.
- [5]Artech House, I. Les Thede, Practical Analog and Digital Filter Design, 2004, pp.1-160
- [6] Gerard Blanchet & Maurice Chabarit, " Digital signal and image Processing using MATLAB", ISTE Ltd, 2006.
- [7] Etienne Tisserand & Jean-François Pautex & Patrick Schweitzer, " Analyse et traitement Des signaux", édition Dunod, 2008.
- [8] Kamel Belloulata, "Introduction au traitement numérique du signal sous ", édition OPU, 2009.
- [9] Gérard BLANCHET & Maurice CHARBIT, " Traitement numérique du signal“, Edition Hermès 1998.
- [10] James Broesch, " Comprendre le traitement numérique de signal ", Publitronic pour L'édition française, 1999.
- [11] .Fondaneche & P.Gilbertas, " Filtres numériques principes et réalisation", édition Masson, 1981.
- [12] Sanjit K.Mitra, " Digital signal processing A computer-Based Approach", édition PW publishing company, 1998.
- [13] A.WM.Van Den Enden, N.A.M.Verhoeckx, Traitement Numérique du signal, Dunod, 2003, P.P. 188-269.
- [14] Denis Prêtre, "Filtrage numérique", Haute Ecole Arc, Ingénierie, 2004.
- [15] Denis PRÊTRE, " Filtrage numérique “, Haute Ecole Arc, Ingénierie, 2004.

[16] Djeddi.M & Baddari.K & Aitouche .M.A, " Filtrage analogique-numérique", Université de Boumerdes.

[17] Isabel JELINSKI, " Signaux et systèmes numériques : Filtres et modulation", Edition VUIBERT, 1996.

Chapitre III

[1] Francis Cottet-Aide-mémoire Traitement de signal .p4-p5

[2] Francis Cottet-Aide-mémoire Traitement de signal .p4 [3] Adel A.mimi. Support de cours traitement de signal/P6

[4] Cours de techniques des mesures Aperçu des chaînes d'acquisition de données Et Traitement des signaux, docplayer, fr /12287833-Aprcu-des-chaines-d-aquisition-de-donnes-et-des-signaux.html.

[5] Sonde Abdelmouleh/Cours traitement de signal -P5

[6] Adel Amimi. Support de cours traitement de signal/P21/P22

[7] https://www.ocean.washington.edu/courses/ess522/lectures/08_xcorr.pdf

[8] Adel Amimi. Support de cours traitement de signal/P22



Annexe

Two Wire Gage/Absolute Pressure Transmitters

Model 811 FMG and 811 FMA

HAZARDOUS LOCATIONS

4-20mA, 2 WIRE

BULKHEAD MOUNTING



The Two Wire Factory Mutual Approved Models 811 FMA and 811 FMG transmitters have welded, stainless steel diaphragms for use with liquid, gas, or corrosive vapors. Both models have hermetically sealed, stainless steel cases which require no adjustments. These transducers are corrosion and shock resistant, as well as reverse polarity protected. The two wire 4-20mA output permits cable runs up to 10 miles long with high signal to noise ratio. Model 811 FMG utilizes SENSOTEC's proprietary "true gage" design. Both models are approved for outdoor hazardous Class 1, Division 1, Groups A, B, C and D; Class 2, Dust ignition proof Division 1, Groups E, F, and G; and Class 3. A dual pipe thread pressure fitting is provided for easy bulkhead mounting.

Model 811 FMG (Gage): Order Code BP421
Model 811 FMA (Absolute): Order Code BP422

PERFORMANCE

Pressure Range	0-2 to 10,000 psi
Accuracy (min)	±0.25% F.S.
Non-linearity (max)	±0.15% F.S.
Hysteresis (max)	±0.10% F.S.
Non-repeatability (max)	±0.05% F.S.
Output (std)	4.20mA
Resolution	Infinite

ENVIRONMENTAL

Temperature, Operating	0° F to 180° F
Temperature, Compensated	60° F to 160° F
Temperature Effect	
- Zero (max)01% F.S./° F
- Span (max)01% Rdg./° F

ELECTRICAL

Strain Gage Type	Bonded foil
Excitation	15 to 40VDC
Insulation Resistance	5000 megohm @ 50VDC
Wiring Code (std)	#22 (See Pg. AP-8)
Electrical Termination (std)	1/2-14NPT male w/7/8" wrench flat. 20GA, 2 ft. cable with case ground

MECHANICAL

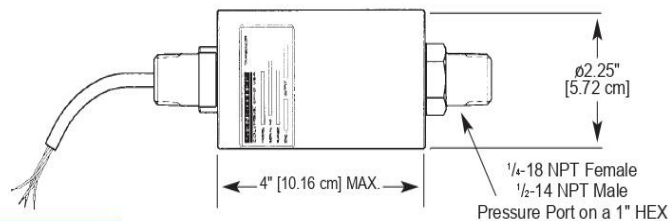
Media	Gas, Liquid
Overload-Safe	50% over capacity
Pressure Port	1/4-18NPT female
	1/2-14NPT male w/1" Hex
Wetted Parts Material	17-4 PH Stainless
Type	Gage or Absolute
Case Material	Stainless steel

SENSOTEC

Dimensions

Available Ranges

2; 5; 10; 15; 25; 50; 75; 100; 150; 200; 300; 500; 750; 1000; 1500; 2000; 3000; 5000; 7500; 10,000 psi



Options (See Appendix)

Wetted diaphragm 10a (25-1000 psi only)

PR-16

[Homepage](#)

Not subject to the EAR per 15 C.F.R. Chapter 1, Part 734.3(b)(3).

[Previous Document](#)

Field Set-up of Transducer and Instrument

The most common method for quick field calibration is the "shunt calibration" technique. This method applies a known, accurate resistance across one leg of the transducer, which simulates an actual physical stimulus when one is not present. Upon application of this resistance, the output of the transducer changes exactly as it would if a known pressure or load were applied.

In performing shunt calibration, the transducer should have no pressure or load applied, so that it is at "zero" initially. The data instrument's ZERO control can then be adjusted to give a zero output on its indicator, or a zero voltage on its output terminals. (In the case of 4-20 milliampere outputs, this value would be a 4 milliamperes.) The shunt calibration circuitry may then be activated by use of the front-panel SHUNT CAL button. A step change in amplifier out put or reading will occur. If the amount of the step change does not agree with the expected change as indicated by the Transducer Calibration Data sheet, adjust the SPAN or GAIN control until it does. This will insure that the amplification given by the data device will be correct, so that an actual stimulus will give correct readings.

It is advisable to recheck the zero when the shunt calibration resistance is removed, since there may be some interaction if the GAIN or SPAN control adjustments were large.

Strain gage transducers with internal amplifiers usually have a shunt calibration resistor installed. The shunt calibration resistor may be activated by interconnecting two terminals on the connector. The wiring code section of the Transducer Calibration Data sheet will indicate which terminals are to be interconnected to activate the shunt calibration. For current output units (4-20 milliamperes), several full cycles of adjusting the ZERO and SPAN controls may be required, since these controls interact greatly in such units.

Shown is a typical Transducer Calibration Data sheet. This sheet will be used as an example to illustrate the setup procedure for both unamplified transducers, as well as instruments with an amplified output. The calibration record for amplified transducers includes the "amplified" shunt cal value so no calculation is required.


SENSOTEC

Calibration
Data Sheet

UNAMPLIFIED	
PIN	DESIGNATION
A	(+)EXCITATION
B	(+)SIGNATURE
C	(-)EXCITATION
D	(-)SIGNATURE
E	(-)OUTPUT
F	(+)OUTPUT

MODEL: TJE/9278-03TJD	CAPACITY: 30 PSID
SERIAL NUMBER: 597642	PRESSURE
CALIBRATION DATE: Dec 03/1998	CALIBRATED AT: 30 PSID
INPUT RESISTANCE: 358.Ω	EXCITATION: 10.0 VOLTS
OUTPUT RESISTANCE: 352.Ω	CALIBRATION FACTOR: 2.0065 MV/V
LEAKAGE: ∞	SHUNT RESISTOR: 59KΩ
	SHUNT CAL FACTOR: 1.5090 MV/V

WIRING CODE



Accepted and Certified by: *Michael A. Stanley*
Date Printed: 6/2/1999

Step-by-Step Procedure for Shunt Cal

1. Make all required connections between the transducer and the instrument.
2. Apply power and allow 10 to 20 minutes for stabilization.
3. Turn the ZERO adjustment so that the indicator reads zero. (If you are working with a PSIA transducer, the transducer must be evacuated to get zero. However, the unit can be shunt calibrated at atmosphere, and the atmospheric reading added to the shunt calibration reading.)
4. From the Transducer Calibration Data sheet, obtain the transducer full scale output in millivolts per volt, and the shunt calibration output in millivolts per volt.
5. Select and perform the proper calculation from the discussion below.
6. Depress the SHUNT CAL switch and turn the SPAN or GAIN adjustment to obtain the value calculated in step 5.

Unamplified Transducers

Transducers with millivolt outputs usually do not have internal shunt calibration circuitry, but the effect of a known shunt calibration resistor being connected across the leads will be noted on the Transducer Calibration Data sheet. To determine the output of an unamplified transducer under shunt calibration conditions, perform the following calculation:

$$(\text{Shunt Cal Value in mv/v}) \times \text{Excitation Voltage} = \text{Output Voltage}$$

Substituting the values from the sample Transducer Calibration Data sheet into the above equation provides the following:

$$(1.4848 \text{ mv/v}) \times (10 \text{ V}) = 14.848 \text{ millivolts}$$

Instrument with 0 to 5 Volt Output

Consider next an amplified transducer with a 0 to 5 volt output, or an instrument which has been factory calibrated with a transducer. Determining the output under shunt calibration conditions is done with the following equation:

$$\frac{\text{Shunt Cal Output in mv/v}}{\text{Full-Scale Output in mv/v}} \times \text{Full-Scale Output} = \text{Output Voltage}$$

Using the same data sheet as before, and assuming an amplified transducer with a 5 volt full scale provides:

$$\frac{(1.4848 \text{ mv/v})}{(3.0057 \text{ mv/v})} \times 5 \text{ volts} = 2.469 \text{ volts}$$

Instrument with 4-20 Milliampere Output

Consider next the case of a 4-20 milliampere output from an amplified transducer. Notice that this represents a span of 16 milliamperes, offset upward by 4 milliamperes. To calculate the shunt cal output, use the following equation:

$$\frac{\text{Shunt Cal Output in mv/v}}{\text{Full-Scale Output in mv/v}} \times 16 \text{ ma.} + 4 \text{ ma.} = \text{Output Current}$$

Using the same data sheet again, and assuming a 4-20 ma. case,

$$\frac{(1.4848 \text{ mv/v})}{(3.0057 \text{ mv/v})} \times 16 \text{ ma.} + 4 \text{ ma.} = 11.904 \text{ ma.}$$

Instrument Display

The following equation applies to instruments with a display:

$$\frac{\text{Shunt Cal Output in mv/v}}{\text{Full-Scale Output in mv/v}} \times \frac{\text{Full-Scale Display Value}}{\text{Value}} = \frac{\text{Shunt Cal Display Value}}{\text{Value}}$$

Since the transducer shown on the Transducer Calibration Data sheet is a 1,000-pound unit, the display should read:

$$\frac{(1.4848 \text{ mv/v})}{(3.0057 \text{ mv/v})} \times 1,000 \text{ lbs.} = 494 \text{ lbs.}$$

SENSOTEC Wiring Codes

STANDARD WIRING CODES

	Standard Cable	Standard Connector	Submersible Cable
Unamplified – no shunt cal.			
– no shunt cal.	#1	#2	#3
– with shunt cal. (50%)*	#4	#5	#6
– with sense leads	#7	#8	#9
OPTION 2c Voltage amp. (Vehicle powered) 0-5 VDC with 11-28 VDC supply @ 25mA			
– with shunt cal. (80%)*	#14	#15	#16
OPTION 2t Voltage amp. 0-10 VDC with 15-28 VDC supply @ 40mA			
– with shunt cal. (80%)	#46	#47	#48
OPTION 2j Current amp. (3wire, 4-20mA) with 22-32 VDC supply @ 65mA			
– no shunt cal.	#17	#29	#18
– with shunt cal. (75%)*	#19	#20	#21
OPTION 2k Current amp. (2-wire, 4-20mA), Not FM approved			
– no shunt cal.	#22	#23	S
OPTION 2n (2N) Current amp. (2-wire, 4-20mA), FM approved			
– no shunt cal**	#22	#23	S

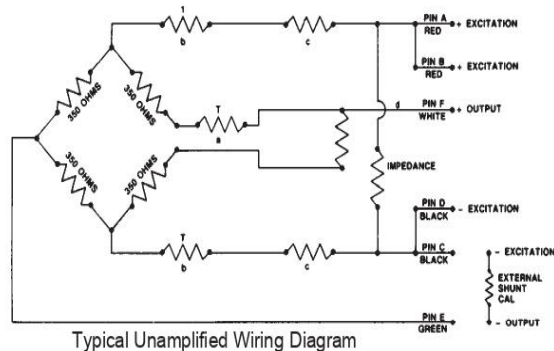
* Interconnecting shunt cal. 1 terminal with shunt cal. 2 terminal (see wiring code) provides 50% (unamplified units) or 75% (4-20mA 3 wire only), .80% (voltage amp) of full scale output for quick calibration.

** Relay buffered shunt cal is optional consult Sensotec.

S Special (consult factory)

DEFINITIONS

- Supply: Positive lead of source (power supply) used to drive amplified transducer.
- Supply Return: Negative lead of source (power supply) used to drive amplified transducer.
- + Output or Output: Signal side of output.
- Output or Output Return: Reference side of output signal.
- Supply Common: Center terminal if bipolar supplies (i.e. ±15VDC) are used.
- + Excitation: Positive lead of source (power supply) used to drive unamplified transducer.
- Excitation: Negative lead of source (power supply) used to drive unamplified transducer.
- + Sense: Positive lead used for sensing bridge excitation with long cables.
- Sense: Negative lead used for sensing bridge excitation with long cables.



- a - Zero temperature compensation resistor
- b - Span temperature compensation resistors
- c - Trim resistors for output standardization
- d - Zero balance trim resistors

SENSOTEC

- #1 Cable/Unamplified**
 Red (+) Excitation
 Black (-) Excitation
 Green (-) Output
 White (+) Output
- #2 Connector/Unamplified**
 A & B (+) Excitation
 C & D (-) Excitation
 E (-) Output
 F (+) Output
- #3 Cable/Unamplified/Submersible**
 Red (+) Excitation
 Brown (-) Excitation
 Yellow (-) Output
 Orange (+) Output
- #4 Cable/Unamplified/Int. Shunt Cal**
 Red (+) Excitation
 Black (-) Excitation
 Green (-) Output
 White (+) Output
 Blue Shunt Cal 1*
 Brown Shunt Cal 2*
- #5 Connector/Unamplified/Int. Shunt Cal**
 A (+) Excitation
 B (-) Excitation
 C (+) Output
 D (-) Output
 E Shunt Cal 1*
 F Shunt Cal 2*
- #6 Cable/Unamplified/Int. Shunt Cal/ Submersible**
 Red (+) Excitation
 Blue (-) Excitation
 Orange (+) Output
 Green (-) Output
 Brown Shunt Cal 1*
 Yellow Shunt Cal 2*
- #7 Cable/Unamplified/Sense Leads**
 Red (+) Excitation
 Black (-) Excitation
 Green (-) Output
 White (+) Output
 Blue (-) Sense
 Brown (+) Sense
- #8 Connector/Unamplified/Sense Leads**
 A (+) Excitation
 B (+) Sense
 C (-) Excitation
 D (-) Sense
 E (-) Output
 F (+) Output
- #9 Cable/Unamplified/Sense/Leads/Submersible**
 Red (+) Excitation
 Blue (-) Excitation
 Orange (+) Output
 Green (-) Output
 Brown (+) Sense
 Yellow (-) Sense
- #10 Cable/Voltage (+/-5VDC Output with +/-15VDC supply) /Submersible**

+/-15VDC Supply	Wire
(+) Supply (+15VDC)	Red
(-) Supply (-15VDC)	Orange
(+) Output (+/-5VDC)	Yellow
(-) Output/Supply Com.	Brown
- #11 Cable/Voltage (+/-5VDC Output with +/-15VDC supply) /Int. Shunt Cal**

+/-15VDC Supply	Wire
(+) Supply (+15VDC)	Red
(-) Supply (-15VDC)	Black
(-) Output/Supply com.	Green
(+) Output (+/-5VDC)	White
Shunt cal 1*	Blue
Shunt cal 2*	Brown
- #12 Connector/Voltage (+/-5VDC Output with +/-15VDC /Int. Shunt Cal**

+/-15VDC Supply	Pin
(+) Supply (+15VDC)	A
(-) Output/Supply com.	B
(-) Supply (-15VDC)	C
(+) Output (+/-5VDC)	D
Shunt cal 1*	E
Shunt cal 2*	F
- #13 Cable/Voltage (+/-5VDC Output with +/-15VDC /Int. Shunt Cal/Submersible**

+/-15VDC Supply	Wire
(+) Supply (+15VDC)	Red
(-) Supply (-15VDC)	Brown
(-) Output/Supply com.	Orange
(+) Output (+/-5VDC)	Green
Shunt cal 1*	Blue
Shunt cal 2*	Yellow
- #14 Cable/Vehicle Voltage 0-5VDC Supply/Internal Shunt Cal**
 Red (+) Supply (+11-26VDC)
 Black, Green Output Common/Supply Return (Internal Connection)
 White (+) Output (0-5VDC)
 Blue Shunt Cal 1*
 Brown Shunt Cal 2*
- #15 Connector/Vehicle Voltage 0-5VDC w/11-26VDC Supply/Internal Shunt Cal**
 A (+) Supply (+11-26VDC)
 B, C Output Common/Supply Return (Internal Connection)
 D (+) Output (0-5VDC)
 E Shunt Cal 1*
 F Shunt Cal 2*
- #16 Cable/Vehicle Voltage 0-5VDC w/11-26VDC Supply/Internal Shunt Cal/Submersible**
 Red (+) Supply (+11-26VDC)
 Brown, Orange Output Common/Supply Return (Internal Connection)
 Green (+) Output (0-5VDC)
 Blue Shunt Cal 1*
 Yellow Shunt Cal 2*
- #17 Cable/3 wire current**
 Red (+) Supply
 Black Output common/
 Green Supply return (Internal Connection)
 White (+) Output
- #18 Cable/3 wire current, 4-20mA/Submersible**
 Red (+) Supply
 Brown, Output common/
 Yellow Supply return (Internal Connection)
 Green for outputs
 Orange (+) Output (4-20mA)
- #19 Cable/3 wire current, 4-20mA/Shunt Cal**
 Red (+) Supply
 Black, Output common/
 Green Supply return (Internal Connection)
 White (+) Output (4-20mA)
 Blue Shunt Cal 1*
 Brown Shunt Cal 2*
- #20 Connector/3 wire current, 4-20mA/Shunt Cal**
 A (+) Supply
 B, C Output common/Supply return (Internal connection)
 D (+) Output (4-20mA)
 E Shunt Cal 1*
 F Shunt Cal 2*

SENSOTEC

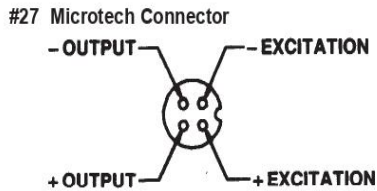
- #21 Cable/3 wire current, 4-20mA/
Int. Shunt Cal/Submersible**
 Red (+) Supply
 Brown, Output common/
 Green Supply return (Internal Connection)
 Orange (+) Output (4-20mA)
 Blue Shunt Cal 1*
 Yellow Shunt Cal 2*

- #22 Cable/2 wire current, 4-20mA**
 Red (+) Supply
 Black (+) Output (4-20mA)
 White Case Ground

- #23 Connector/2 wire current, 4-20mA**
 A (+) Supply
 B, C & F No Connection
 D (+) Output (4-20mA)
 E Case Ground

- #24 Cable/Frequency Output/
Internal Shunt Cal**
 Red (+) Supply
 Black, Output common/
 Green Supply return (Internal Connection)
 White (+) Output
 Blue Shunt Cal 1*
 Brown Shunt Cal 2*

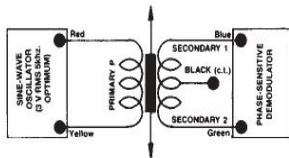
- #25 Connector/Frequency Output/
Internal Shunt Cal**
 A (+) Supply
 B, C Output common/Supply return
 (Internal Connection)
 D (+) Output
 E Shunt Cal 1*
 F Shunt Cal 2*



#28 Consult Sensotec

- #29 Connector/3 wire current, 4-20mA/w/22-32VDC Supply**
 A (+) Supply (+22-32VDC)
 B, C Output common/Supply return
 (Internal Connection)
 D (+) Output (4-20mA)
 E & F No Connection

- #30 AC/AC LVDT**
 Red Supply (Calibrated @ 3V RMS 5 KHz)
 Yellow Supply return
 Blue Output
 Green Output return
 Black Secondary Center Tap (normally not connected)
 Cable shield is not connected to transducer.



- #31 DC/DC LVDT (single power supply)
Reverse polarity protected w/voltage regulator**

Dual Supply
 Red +12 to +20V input
 Blue -12 to -20V input
 Black OV common

Single Supply
 Red +24 to 40V input
 Blue Supply negative

Outputs
 Yellow 0-5-10 Volt
 Green ±5 VDC

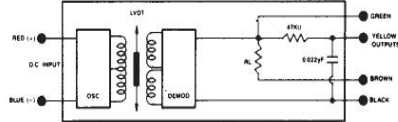
* Must be floating output common = 1/2 supply voltage

- #32 DC/DC LVDT (single power supply) without reverse polarity protection or voltage regulation**

Red (+) Supply (+6 to +12VDC)
 Blue Supply return
 Yellow Note: See below
 Green for outputs
 Black
 Brown

- Short Black and Brown for internal 10,000 ohm load
- Filtered output - Yellow and Black/Brown
- Unfiltered output - Green and Black/Brown

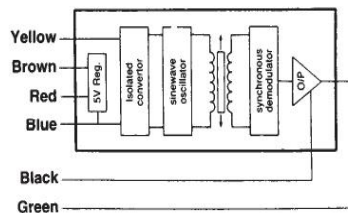
Cable shield is not connected to transducer.



- #35 DC/DC LVDT (single power supply)
Reverse polarity protected w/voltage regulator**

Yellow +5V, Regulated Input
 Brown +5V, Regulated Output
 Red +6V to 18V, Unregulated
 Blue OV, supply common/ground
 Black Output (lo)
 Green Output (hi)
 Shield Connect to Instrument ground

Link the Yellow and Brown wires together when using the +6V./+18V. Input Option. Ensure the Red and Brown wires are disconnected when using the 5V. The D.C. Output signal is electrically isolated from the Input voltage.



- #36 Connector/2 wire current, 4-20 mA**

1 + Supply
 2 + Output
 3 N/C
 Case Ground

- #37 Connector/Unamplified**
 1 + Excitation
 2 + Output
 3 - Output
 - Excitation
- #38 Connector/Voltage**
 1 + Supply
 2 + Output
 3 Supply/Output Common
 N/C to Case
- #39 Connector/Unamplified**
 A + Excitation
 B + Output
 C - Output
 D - Excitation
- #40 Unamplified, 6 pin Connector with Signature Module**
 A (+)Excitation
 B (+)Signature
 C (-)Excitation
 D (-)Signature
 E (-)Output
 F (+)Output
- #41 Unamplified, 6 Conductor for Signature Module**
 Red (+)Excitation
 Black (-)Excitation
 Green (-)Output
 White (+)Output
 Blue (-)Signature (Memory -)
 Brown (+)Signature (Memory +)
- #44 Cable, 4-20mA out**
 Red (+)Supply
 Black (+)Output (4-20mA)
 White Case Ground
- #45 Unamplified, 6 pin header for coil connections on LVDT**
 1 & 6 Primary Coil
 2 & 5 Secondary Coils
 3 or 4 Secondary Centre Tap (whichever is longer)
- #46 Vehicle amplifier 0-10VDC**
 Red (+)Supply
 Black Supply return
 Green (-)Output
 White (+)Output (0-10VDC)
 Blue Shunt Cal 1
 Brown Shunt Cal 2
- #47 Vehicle amplifier 0-10VDC**
 A (+)Supply
 B (-)Output
 C Supply return
 D (+)Output (0-10VDC)
 E Shunt Cal 1
 F Shunt Cal 2
- #48 Vehicle amplifier 0-10VDC/
 Submersible Cable**
 Red (+)Supply
 Brown (-)Output
 Orange Supply return
 Green (+)Output (0-10VDC)
 Blue Shunt Cal 1
 Yellow Shunt Cal 2
- #49 FP2000, current output, Bendix connector**
 A (+)Supply 9-28VDC (red)
 B N/C
 C N/C
 D (+) Output 4-20 (black)
 E N/C
 F N/C
- #50 FP2000, voltage output, Bendix connector**
 A (+) Supply 9-28VDC (red)
 B (-) Supply return (black)
 C (-) Output (green)
 D (+) Output 0-5VDC (white)
 E N/C
 F N/C
- #51 FP2000, current output, cable exit**
 (+) Supply 9-28VDC (red)
 (-) Output 4-20 mA (black)
- #52 FP2000, voltage output, cable exit**
 (+) Supply 9-28VDC (red)
 Supply return (black)
 (-) 0VDC output (green)
 (+) 5VDC output (white)
- #53 FP2000, current output, I.S., DIN connector, opt 2N**
 1 (+) Supply
 2 (+) Output
 3 Case ground
- #54 FP2000 current output DIN connector, option 2p**
 1 + supply
 2 + output 4-20 mA
 3 No connection
 GND No connection
- #55 FP2000 current output DIN connector, option 2y
 with shunt cal.**
 1 + supply
 2 + output 4-20 mA
 3 N/C
 GND Shunt Cal
- #56 FP2000 voltage output pin conn opt. 2e/2f
 with shunt calibration**
 1 + supply
 2 + output 4-20 mA
 3 Supply ret/-output
 GND Shunt Cal
- #57 FP2000 Millivolt output Bendix conn opt. 2u**
 A + excitation
 B - excitation
 C + output
 D - output
 E N/C
 F Shunt Cal
- #58 FP2000 current output Bendix conn opt. 2y**
 A + supply
 B N/C
 C N/C
 D + output (4-20mA)
 E N/C
 F Shunt Cal
- #59 FP2000 current output Bendix connector shunt cal
 opt. 2N IS**
 A + supply
 B N/C
 C N/C
 D + output (4-20mA)
 E Case ground
 F Shunt Cal
- #60 Voltage output with shunt cal Bendix conn. opts. 2e/2f**
 A + supply
 B - supply return
 C - output
 D + output
 E N/C
 F Shunt Cal
- #61 Current output with shunt cal & integral cable opt. 2y/6r**
 Red + supply
 Black + output
 Green Shunt Cal
- #62 Current output with shunt cal & integral cable
 opt. 2N IS/6r**
 Red + supply
 Black + output (4-20mA IS)
 Green Shunt
 White Case ground
- #63 Voltage output with shunt cal & integral cable opt.
 2e/2f/6r**
 Red + supply
 Black - supply return
 Green Shunt Cal
 White + output
- #64 Current output 2N is with shunt cal & DIN connector**
 1 + supply
 2 + output (4-20mA)
 3 Case ground
 GMP Shunt Cal

Troubleshooting Guide

Unamplified Transducers

Symptom/Problem	Action/Troubleshooting
No Output	<p>Verify correct wiring</p> <p>Verify excitation per calibration sheet.</p> <p>Make sure pressure, load, etc. is being applied.</p> <p>Check strain gage bridge for continuity per calibration sheet.</p>
Erratic/Intermittent Output or Zero Drift	<p>Check electrical connections for discontinuity or damage.</p> <p>Check for isolation resistance between bridge wiring and transducer body.</p> <p>Make sure pressure, load, etc. is constant.</p> <p>Check stability of excitation power supply.</p> <p>Check millivolt output with volt meter.</p> <p>Check for RFI/EMI interference.</p> <p>Make sure there are no rapid changes in temperature.</p>
Incorrect Output	<p>Check actual input and output resistance against calibration sheet data for possible change or open bridge.</p> <p>Check Zero offset to see if high.</p>
High Zero Offset	<p>Usually indicates transducer was overranged beyond specifications. Overranged transducers should be recalibrated.</p> <p>Check actual input and output resistance measurements against calibration sheet for possible changes or open bridge.</p> <p>Check for possible mechanical preload or damping on transducer body.</p>

SENSOTEC

Amplified Transducers

Symptom/Problem	Action/Troubleshooting
No Output	<p>Make sure power supply voltage meets transducer requirements.</p> <p>Check wiring connections and wiring code.</p> <p>Check transducer specifications for type of output provided (i.e. voltage, frequency, etc.)</p> <p>Make sure pressure, load, etc. is being applied.</p> <p>Make sure that the output load is not shorted.</p>
Incorrect Zero Level	<p>Check for pre-load on transducer.</p> <p>Adjust zero or balance control.</p> <p>For load cells check mounting fixture bias.</p> <p>For pressure transducers, check for orientation bias.</p>
Erratic/Intermittent Output or Zero Drift	<p>Make sure pressure, load, etc. is constant.</p> <p>Make sure power supply remains within specifications.</p> <p>Check for RFI interference.</p> <p>Make sure there are no rapid changes in temperature.</p> <p>Check electrical connections for discontinuity or damage.</p> <p>Check output with volt meter.</p> <p>Check for insulation resistance between amplifier wiring and transducer shell.</p>
Incorrect Output	<p>Check "shunt" calibration output value against calibration sheet and adjust span control per instructions.</p> <p>Verify that transducer is being operated within its temperature compensated range.</p> <p>Check transducer range on label.</p> <p>Check for insulation resistance between amplifier wiring and transducer shell.</p>

Transducers with Instrument Readout

Symptom/Problem	Action/Troubleshooting
Erratic Display No Display/No Output Voltage	<p>Check electrical connections for continuity and wiring code for pin layout.</p> <p>Check powerline fuse per instrument instructions.</p>
Blinking Display	<p>Indicated overload; make sure wires are all connected, and transducer is within its range.</p>
Incorrect Readout Value	<p>Check transducer range on label.</p> <p>Verify that system was set-up per instructions. Review set-up procedure.</p> <p>Refer to transducer troubleshooting guide and verify that transducer operates properly.</p> <p>Use Shunt-Cal to verify calibration.</p>

AP-26

[Homepage](#)

[Previous Document](#)

Arduino Due



Arduino Due

The Arduino Due is the first Arduino board based on a 32-bit ARM core microcontroller. With 54 digital input/output pins, 12 analog inputs, it is the perfect board for powerful larger scale Arduino projects.

- [Overview](#)
- [Technical Specs](#)
- [Documentation](#)

Overview 3.3V

32-bit

84 MHz

ARM Core

The Arduino Due is a microcontroller board based on the [Atmel SAM3X8E ARM Cortex-M3 CPU](#). It is the first Arduino board based on a 32-bit ARM core microcontroller. It has 54 digital input/output pins (of which 12 can be used as PWM outputs), 12 analog inputs, 4 UARTs (hardware serial ports), a 84 MHz clock, an USB OTG capable connection, 2 DAC (digital to analog), 2 TWI, a power jack, an SPI header, a JTAG header, a reset button and an erase button.

Warning: Unlike most Arduino boards, the Arduino Due board runs at 3.3V. The maximum voltage that the I/O pins can tolerate is 3.3V. Applying voltages higher than 3.3V to any I/O pin could damage the board.

The board contains everything needed to support the microcontroller; simply connect it to a computer with a micro-USB cable or power it with a AC-to-DC adapter or battery to get started. The Due is compatible with all Arduino shields that work at 3.3V and are compliant with the 1.0 Arduino pinout.

The Due follows the 1.0 pinout:

- **TWI:** SDA and SCL pins that are near to the AREF pin.
- **IOREF:** allows an attached shield with the proper configuration to adapt to the voltage provided by the board. This enables shield compatibility with a 3.3V board like the Due and AVR-based boards which operate at 5V.
- An unconnected pin, reserved for future use.

You can find your board warranty information [here](#).

Getting Started

In the [Getting Started section](#), you can find all the information you need to configure your board, use the [Arduino Software \(IDE\)](#), and start to tinker with coding and electronics.

Get Inspired

Looking for ideas? Use your Arduino Due with an Arduino Motor Shield [in this tutorial](#), [make a simple waveform generator](#) using the Arduino Due and its DAC features, and a [simple audio player](#). Need Help?

- On the Software [on the Arduino Forum](#)
- On Projects [on the Arduino Forum](#)
- On the Product itself through [our Customer Support](#)

Technical specs

AVR Arduino microcontroller

Microcontroller	AT91SAM3X8E
Operating Voltage	3.3V
Input Voltage (recommended)	7-12V
Input Voltage (limits)	6-16V
Digital I/O Pins	54 (of which 12 provide PWM output)
Analog Input Pins	12
Analog Output Pins	2 (DAC)
Total DC Output Current on all I/O lines	130 mA
DC Current for 3.3V Pin	800 mA
DC Current for 5V Pin	800 mA
Flash Memory	512 KB all available for the user applications
SRAM	96 KB (two banks: 64KB and 32KB)
Clock Speed	84 MHz
Length	101.52 mm
Width	53.3 mm
Weight	36 g

Documentation

OSH: Schematics

Arduino Due is open-source hardware! You can build your own board using the following files:

ARM Core Benefits □ A 32-bit core, that allows operations on 4 bytes wide data within a single CPU clock. (for more information go to [int type](#) page).

- CPU Clock at 84Mhz.
- 96 KBytes of SRAM.
- 512 KBytes of Flash memory for code.
- A DMA controller, that can relieve the CPU from doing memory intensive tasks.

Power

The Arduino Due can be powered via the USB connector or with an external power supply. The power source is selected automatically.

External (non-USB) power can come either from an AC-to-DC adapter (wall-wart) or battery. The adapter can be connected by plugging a 2.1mm center-positive plug into the board's power jack. Leads from a battery can be inserted in the Gnd and Vin pin headers of the POWER connector.

The board can operate on an external supply of 6 to 20 volts. If supplied with less than 7V, however, the 5V pin may supply less than five volts and the board may be unstable. If using more than 12V, the voltage regulator may overheat and damage the board. The recommended range is 7 to 12 volts. The power pins are as follows:

- **Vin.** The input voltage to the Arduino board when it's using an external power source (as opposed to 5 volts from the USB connection or other regulated power source). You can supply voltage through this pin, or if supplying voltage via the power jack, access it through this pin.
- **5V.** This pin outputs a regulated 5V from the regulator on the board. The board can be supplied with power either from the DC power jack (7 - 12V), the USB connector (5V), or the VIN pin of the board (7-12V). Supplying voltage via the 5V or 3.3V pins bypasses the regulator, and can damage your board. We don't advise it.
- **3V3.** A 3.3 volt supply generated by the on-board regulator. Maximum current draw is 800 mA. This regulator also provides the power supply to the SAM3X microcontroller.
- **GND.** Ground pins.
- **IOREF.** This pin on the Arduino board provides the voltage reference with which the microcontroller operates. A properly configured shield can read the IOREF pin voltage and select the appropriate power source or enable voltage translators on the outputs for working with the 5V or 3.3V.

Memory

The SAM3X has 512 KB (2 blocks of 256 KB) of flash memory for storing code. The bootloader is preburned in factory from Atmel and is stored in a dedicated ROM memory. The available SRAM is 96 KB in two contiguous bank of 64 KB and 32 KB. All the available memory (Flash, RAM and ROM) can be accessed directly as a flat addressing space.

It is possible to erase the Flash memory of the SAM3X with the onboard erase button. This will remove the currently loaded sketch from the MCU. To erase, press and hold the Erase button for a few seconds while the board is powered.

Input and Output

- **Digital I/O: pins from 0 to 53**

- Each of the 54 digital pins on the Due can be used as an input or output, using [pinMode\(\)](#), [digitalWrite\(\)](#), and [digitalRead\(\)](#) functions. They operate at 3.3 volts. Each pin can provide (source) a current of 3 mA or 15 mA, depending on the pin, or receive (sink) a current of 6 mA or 9 mA, depending on the pin. They also have an internal pull-up resistor (disconnected by default) of 100 KOhm. In addition, some pins have specialized functions:
 - **Serial: 0 (RX) and 1 (TX)**
 - **Serial 1: 19 (RX) and 18 (TX)**
 - **Serial 2: 17 (RX) and 16 (TX)**
 - **Serial 3: 15 (RX) and 14 (TX)**Used to receive (RX) and transmit (TX) TTL serial data (with 3.3 V level). Pins 0 and 1 are connected to the corresponding pins of the ATmega16U2 USB-to-TTL Serial chip.
- **PWM: Pins 2 to 13**

Provide 8-bit PWM output with the [analogWrite\(\)](#) function. the resolution of the PWM can be changed with the [analogWriteResolution\(\) function](#).
- **SPI: SPI header (ICSP header on other Arduino boards)**

These pins support SPI communication using the [SPI library](#). The SPI pins are broken out on the central 6-pin header, which is physically compatible with the Uno, Leonardo and Mega2560. The SPI header can be used only to communicate with other SPI devices, not for programming the SAM3X with the In-Circuit-Serial-Programming technique. The SPI of the Due has also advanced features that can be used with the [Extended SPI methods for Due](#).
- **CAN: CANRX and CANTX**

These pins support the CAN communication protocol but are not yet supported by Arduino APIs.
- **"L" LED: 13**

There is a built-in LED connected to digital pin 13. When the pin is HIGH, the LED is on, when the pin is LOW, it's off. It is also possible to dim the LED because the digital pin 13 is also a PWM output. □ **TWI 1: 20 (SDA) and 21 (SCL)** □ **TWI 2: SDA1 and SCL1.**

Support TWI communication using the Wire library. SDA1 and SCL1 can be controlled using the Wire1 class provided by the [Wire library](#). While SDA and SCL have internal pullup resistors, SDA1 and SCL1 have not. Adding two pullup resistor on SDA1 and SCL1 lines is required for using Wire1.
- **Analog Inputs: pins from A0 to A11**

The Due has 12 analog inputs, each of which can provide 12 bits of resolution (i.e. 4096 different values). By default, the resolution of the readings is set at 10 bits, for compatibility with other Arduino boards. It is possible to change the resolution of the ADC with [analogReadResolution\(\)](#). The Due's analog inputs pins measure from ground to a maximum value of 3.3V. Applying more than 3.3V on the Due's pins will damage the SAM3X chip. The [analogReference\(\)](#) function is ignored on the Due. The AREF pin is connected to the SAM3X analog reference pin through a resistor bridge. To use the AREF pin, resistor BR1 must be desoldered from the PCB.
- **DAC1 and DAC2**

These pins provides true analog outputs with 12-bits resolution (4096 levels) with the [analogWrite\(\)](#) function. These pins can be used to create an audio output using the [Audio library](#).

Other pins on the board:

- **AREF**
Reference voltage for the analog inputs. Used with [analogReference\(\)](#).
- **Reset**
Bring this line LOW to reset the microcontroller. Typically used to add a reset button to shields which block the one on the board.

See also the mapping between Arduino pins and SAM3X ports:

Communication

The Arduino Due has a number of facilities for communicating with a computer, another Arduino or other microcontrollers, and different devices like phones, tablets, cameras and so on. The SAM3X provides one hardware UART and three hardware USARTs for TTL (3.3V) serial communication.

The Programming port is connected to an ATmega16U2, which provides a virtual COM port to software on a connected computer (To recognize the device, Windows machines will need a .inf file, but OSX and Linux machines will recognize the board as a COM port automatically). The 16U2 is also connected to the SAM3X hardware UART. Serial on pins RX0 and TX0 provides Serial-to-USB communication for programming the board through the ATmega16U2 microcontroller. The Arduino software includes a serial monitor which allows simple textual data to be sent to and from the board. The RX and TX LEDs on the board will flash when data is being transmitted via the ATmega16U2 chip and USB connection to the computer (but not for serial communication on pins 0 and 1).

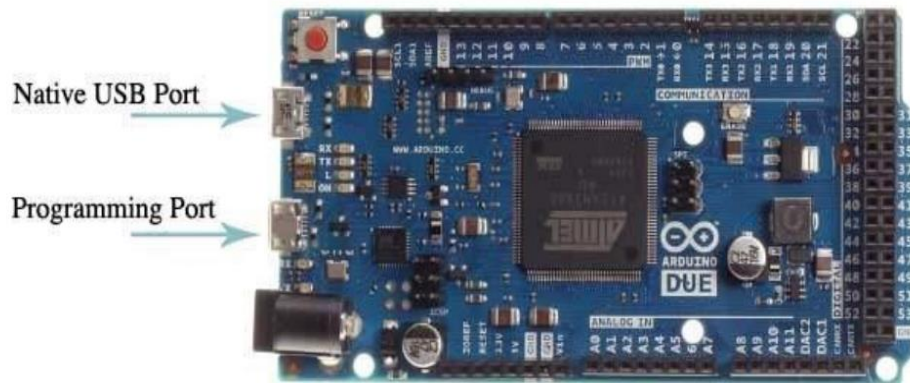
The Native USB port is connected to the SAM3X. It allows for serial (CDC) communication over USB. This provides a serial connection to the Serial Monitor or other applications on your computer. It also enables the Due to emulate a USB mouse or keyboard to an attached computer. To use these features, see the [Mouse and Keyboard library reference pages](#). The Native USB port can also act as a USB host for connected peripherals such as mice, keyboards, and smartphones. To use these features, see the [USBHost reference pages](#). The SAM3X also supports TWI and SPI communication. The Arduino software includes a Wire library to simplify use of the TWI bus; see the [documentation for details. For SPI communication, use the SPI library](#).

Programming

The Due can be programmed with the Arduino [Arduino Software](#) (IDE). For details, see the [reference](#) and [tutorials](#).

Uploading sketches to the SAM3X is different than the AVR microcontrollers found in other Arduino boards because the flash memory needs to be erased before being re-programmed.

Upload to the chip is managed by ROM on the SAM3X, which is run only when the chip's flash memory is empty.



Either of the USB ports can be used for programming the board, though it is recommended to use the Programming port due to the way the erasing of the chip is handled :

- Programming port: To use this port, select "Arduino Due (Programming Port)" as your board in the Arduino IDE. Connect the Due's programming port (the one closest to the DC power jack) to your computer. The programming port uses the 16U2 as a USB-to-serial chip connected to the first UART of the SAM3X (RX0 and TX0). The 16U2 has two pins connected to the Reset and Erase pins of the SAM3X. Opening and closing the Programming port connected at 1200bps triggers a "hard erase" procedure of the SAM3X chip, activating the Erase and Reset pins on the SAM3X before communicating with the UART. This is the recommended port for programming the Due. It is more reliable than the "soft erase" that occurs on the Native port, and it should work even if the main MCU has crashed.
- Native port: To use this port, select "Arduino Due (Native USB Port)" as your board in the Arduino IDE. The Native USB port is connected directly to the SAM3X. Connect the Due's Native USB port (the one closest to the reset button) to your computer. Opening and closing the Native port at 1200bps triggers a 'soft erase' procedure: the flash memory is erased and the board is restarted with the bootloader. If the MCU crashed for some reason it is likely that the soft erase procedure won't work as this procedure happens entirely in software on the SAM3X. Opening and closing the native port at a different baudrate will not reset the SAM3X.

Unlike other Arduino boards which use avrdude for uploading, the Due relies on [bossac](#).

The ATmega16U2 firmware source code is available in the [Arduino repository](#). You can use the ISP header with an external programmer (overwriting the DFU bootloader). See this [usercontributed tutorial](#) for more information.

USB Overcurrent Protection

The Arduino Due has a resettable polyfuse that protects your computer's USB ports from shorts and overcurrent. Although most computers provide their own internal protection, the fuse provides an extra layer of protection. If more than 500 mA is applied to the USB port, the fuse will automatically break the connection until the short or overload is removed.

Physical Characteristics and Shield Compatibility

The maximum length and width of the Arduino Due PCB are 4 and 2.1 inches respectively, with the USB connectors and power jack extending beyond the former dimension. Three screw holes allow the board to be attached to a surface or case. Note that the distance between digital pins 7 and 8 is 160 mil (0.16"), not an even multiple of the 100 mil spacing of the other pins.

The Arduino Due is designed to be compatible with most shields designed for the Uno, Diecimila or Duemilanove. Digital pins 0 to 13 (and the adjacent AREF and GND pins), analog inputs 0 to 5, the power header, and "ICSP" (SPI) header are all in equivalent locations. Further the main UART (serial port) is located on the same pins (0 and 1). ***Please note that I2C is not located on the same pins on the Due (20 and 21) as the Duemilanove / Diecimila (analog inputs 4 and 5).***

CAM



CAM 50N+140



CAM 150+300

Pompa auto-adescante di tipo centrifugo adatta per approvvigionamento d'acqua (anche se miscelata a gas) in piccoli impianti domestici, accoppiate a serbatoi autoclave, per il trasferimento di liquidi e svuotamento di serbatoi; utilizzate anche per il giardinaggio.

Self-priming centrifugal pump for water supplies (even if mixed with gas) in small household systems, connected to autoclave tanks, for transferring liquids and emptying tanks; also used for gardening.

Bomba auto-aspirante de tipo centrifugo apropiada para el suministro de agua (aunque esté mezclada con gas) en pequeñas instalaciones domésticas, acopladas a tanques, para la transferencia de líquidos y el vaciado de grupos; utilizadas también para la jardinería.

Pompe auto-amorçante de type centrifuge, apte à l'approvisionnement d'eau (même si mélangée à des gaz) dans les petites installations domestiques, l'accouplement à des réservoirs, le transfert de liquides et le vidage de réservoirs; peut également être utilisée pour le jardinage.

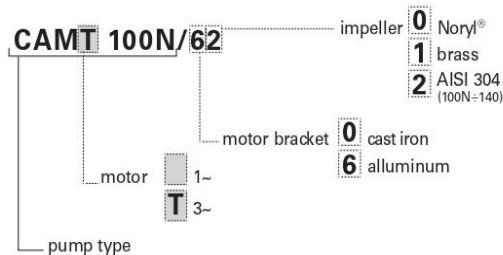
**CARATTERISTICHE COSTRUTTIVE / CONSTRUCTION FEATURES
CARACTERÍSTICAS CONSTRUCTIVAS / CARACTERISTIQUES D'EXÉCUTION**

Corpo pompa	ghisa
Pump body	cast iron
Cuerpo bomba	fundición
Corps de pompe	fonte
Supporto motore	alluminio (50N+140) ghisa (150+300)
Motor bracket	aluminium (50N+140) cast iron (150+300)
Soporte motor	aluminio (50N+140) fundición (150+300)
Support moteur	aluminium (50N+140) fonte (150+300)
Girante	Noryl®; ottone; 100N+140 anche AISI 304
Impeller	Noryl®; brass; also AISI 304 for 100N+140
Rodete	Noryl®; latón; también AISI 304 para 100N+140
Turbine	Noryl®; laiton; aussi AISI 304 pour 100N+140
Tenuta meccanica	ceramica-grafite
Mechanical seal	ceramic-graphite
Sello mecánico	cerámica-grafito
Garniture mécanique	céramique-graphite
Albero motore	acciaio AISI 416
Motor shaft	stainless steel AISI 416
Eje motor	acero AISI 416
Arbre moteur	acier AISI 416
Temperatura del liquido	0 - 50 °C
Liquid temperature	
Temperatura del liquido	
Température du liquide	
Pressione di esercizio	max 6 bar (50N+75N) max 7 bar (100N+140) max 8 bar (150+300)
Operating pressure	
Presión de trabajo	
Pression de fonctionnement	

MOTORE / MOTOR / MOTOR / MOTEUR

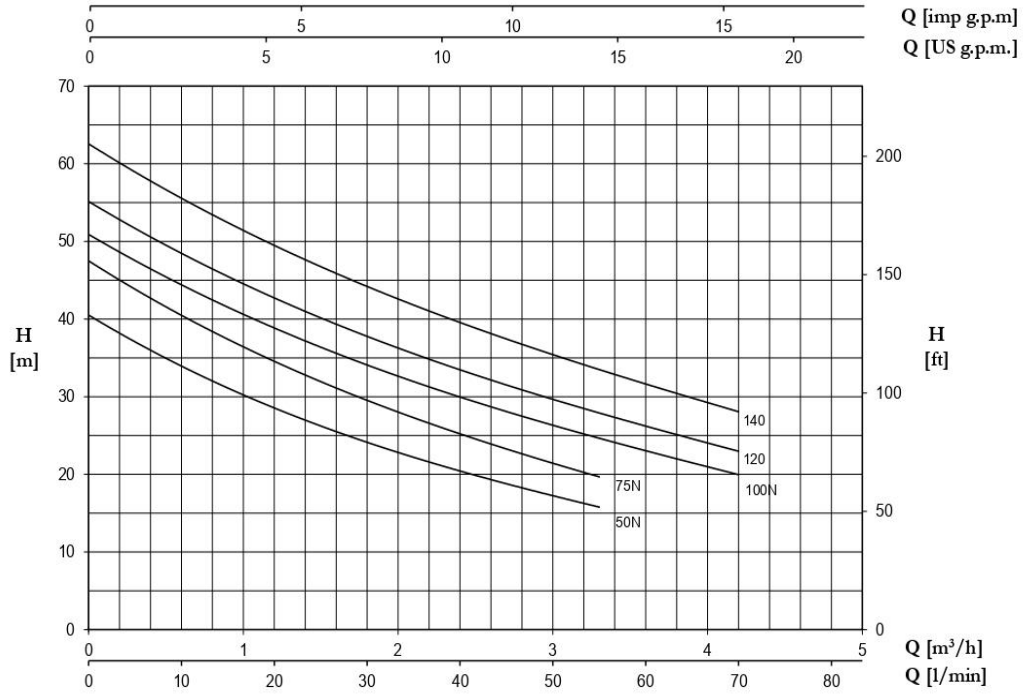
Motore 2 poli a induzione	3~ 230/400V-50Hz
2 pole induction motor	
Motor de 2 polos a inducción	1~ 230V-50Hz (con termoprotettore) (with thermal protection) (con protección térmica) (avec protection thermique)
Moteur à induction à 2 pôles	
Classe di isolamento	F
Insulation class	
Clase de aislamiento	
Classe d'isolation	
Grado di protezione	IP44
Protection degree	
Grado de protección	
Protection	

Pump model code

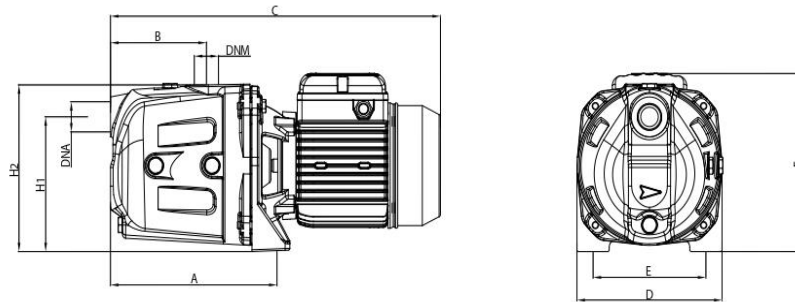


TYPE	TRUCK		CONTAINER	
	PALLET (cm)	N° pumps	PALLET (cm)	N° pumps
CAM 50N-140	85x110x145	60	85x110x190	80
CAM 50N-140	-	-	80X120X190	64
CAM 150-300	80X120X145	35	80X120X180	49

CAM



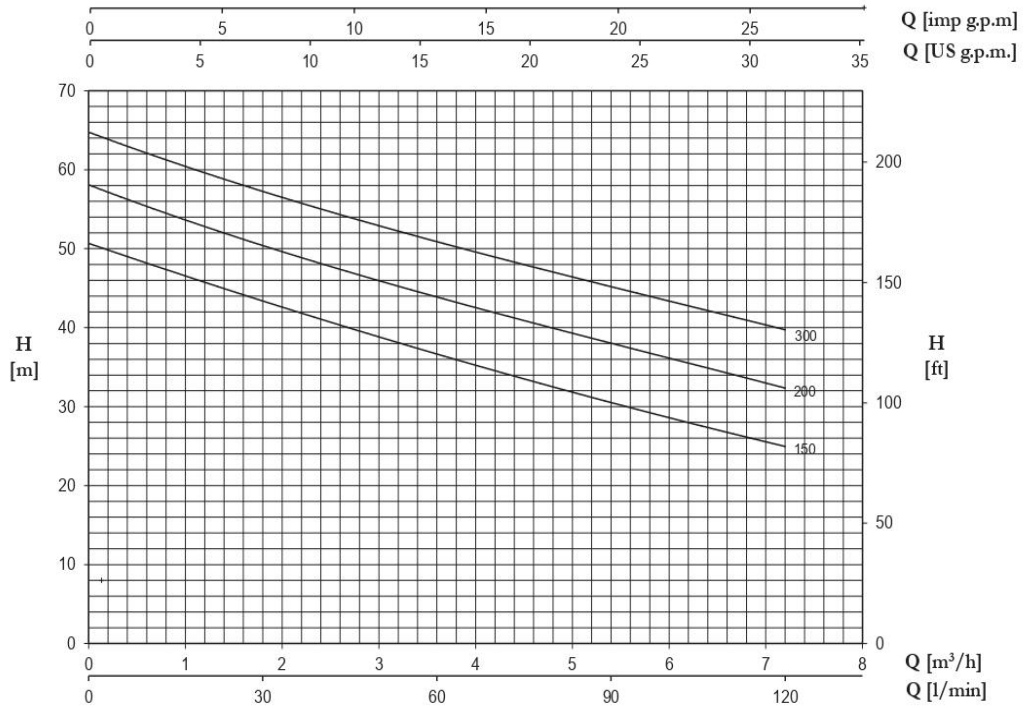
TYPE		P2		P1 (kW)		AMPERE		Q (m³/h - l/min)									
1~	3~	(HP)	(kW)	1~	3~	1~	3~	0	0,6	1,2	1,8	2,4	3	3,3	3,6	4,2	
						1x230 V 50 Hz	3x400 V 50 Hz	0	10	20	30	40	50	55	60	70	
								H (m)									
CAM 50N	CAMT 50N	0,6	0,44	0,7	0,67	3,1	1,3	40,5	34,0	28,5	24,1	20,5	17,2	15,8	-	-	
CAM 75N	CAMT 75N	0,8	0,59	0,82	0,78	3,6	1,4	47,5	40,5	34,5	29,6	25,2	21,4	19,7	-	-	
CAM 100N	CAMT 100N	1	0,74	1,04	0,92	4,7	1,7	50,9	44,3	38,9	34,1	30,1	26,3	24,6	23,0	20,0	
CAM 120	CAMT 120	1,2	0,88	1,14	1,07	5,2	1,9	55,1	48,5	42,6	37,8	33,5	29,7	27,9	26,2	23,0	
CAM 140	CAMT 140	1,5	1,1	1,3	1,25	6	2,5	62,5	55,7	49,4	44,2	39,5	35,5	33,5	31,6	28,1	



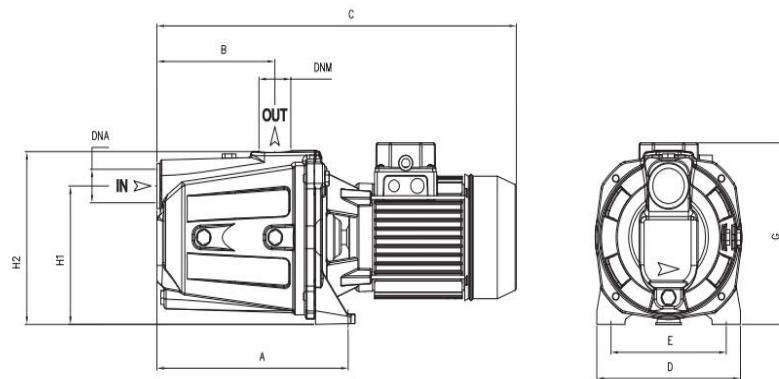
TYPE	DIMENSIONS (mm)											Kg			
	A	B	C	D	E	F	H1	H2	DNA	DNM	I	L	M	Kg	
CAM 50N	214	119	410	180	140	195	150	185	1" G	1" G	440	194	215	12	
CAM 75N	214	119	410	180	140	195	150	185	1" G	1" G	440	194	215	12,5	
CAM 100N	214	119	410	180	140	195	150	185	1" G	1" G	440	194	215	14	
CAM 120	214	119	410	180	140	195	150	185	1" G	1" G	440	194	215	14,5	
CAM 140	214	119	410	180	140	195	150	185	1" G	1" G	440	194	215	15	



CAM



TYPE		P2		P1 (kW)		AMPERE		Q (m³/h - l/min)						
1~	3~	(HP)	(kW)	1~	3~	1~	3~	0	1,2	2,4	3,6	4,8	6	7,2
								0	20	40	60	80	100	120
								H (m)						
						1x230V 50 Hz	3x400V 50 Hz							
CAM 150	CAMT 150	1,5	1,1	1,9	1,8	8,2	3,4	50,7	45,7	41	36,8	32,5	28,5	25
CAM 200	CAMT 200	2	1,5	2,2	2,1	9,8	3,9	58,1	52,8	48	44	40	36	32,4
-	CAMT 300	3	2,2	-	2,5	-	4,8	64,8	59,5	55	51	47,1	43,2	39,8



TYPE	DIMENSIONS (mm)													Kg	
	A	B	C	D	E	F	G	H1	H2	DNA	DNM	I	L		M
CAM 150	269,6	167	506	203	165	220	231,5	175	220	1"1/2G	1"1/4G	535	235	230	26
CAM 200	269,6	167	506	203	165	220	231,5	175	220	1"1/2G	1"1/4G	535	235	230	27
CAM 300	269,6	167	506	203	165	220	231,5	175	220	1"1/2G	1"1/4G	535	235	230	26,5



Résumé

Le travail présenté dans ce mémoire a été consacré à la détection de fuite dans les réseaux de distribution, pour simuler le réseau de distribution. On a réalisé une conduite prototype au niveau de notre laboratoire, elle se compose de deux parties : partie hydraulique et partie électrique. L'idée de base est d'utiliser un nouveau dispositif électronique pour l'acquisition de deux signaux issus de deux transmetteurs de pression, Ces signaux sont généralement noyés dans le bruit. Pour cela un filtrage est nécessaire. Après élimination des bruits entachés au signal utile on a appliqué la cross-corrélation pour connaître la position exacte de la fuite par rapport à l'un des capteurs.

Mots clés : Eau, Fuite, cross-corrélation, Détection, Localisation, Réseau de distribution, transmetteurs de pression

Absract

The work presented in this brief was devoted to the detection of leakage in the distribution networks, to simulate the distribution network we carried out prototype pipe at our laboratory, it consists of two parts: hydraulic part and electrical part. The basic idea is to use a new electronic device for the acquisition of two signals came from two pressure transmitters, these signals are generally drowned in noise. For this a filtering is necessary. After removing the noise from the useful signal, the cross-correlation was applied to determine the exact position of the leak with respect to one of the sensors.

Keywords: Water, Leakage, Cross Correlation, Detection, Location, Distribution Network, Pressure Transmitters

ملخص:

العمل المقدم في هذه المذكرة مكرس على اكتشاف تسرب في شبكة توزيع المياه من اجل محاكاة شبكة التوزيع

قمنا بصناعة نموذج تجريبي على مستوى مخبرنا يتكون هذا النموذج من جزئين جزء هيدروليكي وجزء كهربائي الفكرة

الأساسية هي استعمال جهاز الكتروني جديد من اجل معالجة الإشارات القادمة من مستشعرين للضغط تكون هذه الإشارات

مدموجة بالضوضاء له ذا التصفية تكون ضرورية بعد تصفية الضوضاء الملوثة للإشارة المفيدة بعد ذلك نقوم بتطبيق تقنية

الارتباط المتبادل لمعرفة الموقع الدقيق للتسرب بالنسبة لاجد أجهزة الاستشعار .

الكلمات المفتاحية: المياه ، التسرب ، الارتباط المتبادل ، الكشف ، الموقع ، شبكة التوزيع ، مستشعرات الضغط.