

a-Page de Garde final.doc

a-REMERS.docx

a-sommer.docx

bt-introduction g.docx

chapitre 1.docx

chapitre 2.docx

chapitre 3 .docx

chapitre 4.docx

Conclusion général.docx

Références bibliographiques.docx

OpAmp_TL082_JFET_15mV_4MHz_Dual_DIP-8.pdf

x-Resumé.docx

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° :2017/IMI 01 /97/482



DOMAINE: SCIENCES ET TECHNOLOGIE
FILIERE : ELECTRONIQUE
OPTION : INSTRUMENTATION ET MAINTENANCE INDUSTRIEL

Mémoire présenté pour l'obtention
Du diplôme de Master Académique

Par : HAMMOUDI Dalila et MIHOUBI Faiza

Intitulé

Application des techniques CEEMDAN et auto-corrélation dans la détection et la localisation des fuites

Soutenu devant le jury composé de :

M ^r .MEZACHE Amar	Université Mohamed Boudiaf - M'sila	Président
M ^r .BAKHTI Haddi	Université Mohamed Boudiaf - M'sila	Rapporteur
M ^r . BENTOUMI Miloud	Université Mohamed Boudiaf - M'sila	Co-rapporteur
M ^r .DJERIOUI Mohamed	Université Mohamed Boudiaf - M'sila	Examineur

Année universitaire : 2016 /2017

Remerciement

Nos sincères remerciements s'adressent à Allah le grand merci lui revient, 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 de nous avoir éclairé notre chemin afin de réaliser ce modeste travail.

*Nous tiens à remercier **Mr. Haddi .Bakhti**, et **Mr. Miloud Bentoumi**, pour avoir accepté de diriger ce mémoire, pour les conseils qu'il m'a prodigué et pour les efforts qu'il a consenti tout au long de la réalisation de ce travail.*

*Nous tiens à exprimer notre gratitude à tous mon
Enseignants.*

Nous remercie également les membres de jury d'avoir accepté de juger ce modeste travail. Nous remercie chaleureusement mes familles, pour leur soutien inconditionnel tout au long de mes longues années d'études.

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

M. Faïza et H. Dalila

Dédicaces

Je dédie mon travail à qui m'ont donné la vie :

Mon père et ma mère

A mes sœur : Selma, síhem(Nina)

A mon frères : Karim et sont épouse Marwa

A ma sœur Sabrina et sons mari Tayab

ET ci enfants (Mohamed zisame, Jawed)

A ma sœur Djahida et sons mari Karim Et p'tite fille

(AMENI)

A mon Fiancé HACENE

*A mes amis et collègues : Manel, Rima, Fatima,
Mouna, Amouna, Maryam, Racha, Nadjet, Aicha,
Fatiha, Shayma, a toute ma famille,*

*Et toute la promotion d'électronique et spécialement
le groupe d'option Instrumentation et maintenance
Industriel ; Ainsi qu'à toutes les personnes qui m'a
aidé à la réalisation de ce travail.*

MIHOUBI FAIZA

Dédicaces

*A celle et celui qui m'ont donné
la vie : ma mère et mon père*

A mes frères : Kamel, Ahmed

A ma sœur : razika

A toute ma famille.

A mes amis et collègues.

*Et à toute personne qui m'a
soutenu dans mes études*

HAMMOUDI Dalila

Table des matières

Introduction générale	1
Chapitre I : Généralités sur les signaux	
I.1. Introduction.....	3
I.2. Les signaux.....	3
I.2.1. Classification des signaux.....	3
I.2.1.1. <i>Classification temporelle</i>	3
I.2.1.2. <i>Classification énergétique</i>	5
I.3. Les fuites.....	5
I.3.1. Définition d'une fuite.....	5
I.3.2. Théorie de propagation d'onde dans une conduite d'eau.....	6
I.3.2.1. <i>Caractéristiques de l'onde</i>	6
I.3.2.2. <i>Vitesse de propagation de l'onde</i>	6
I.3.3. Types de fuite.....	7
I.3.4. Les causes de fuites.....	8
I.3.5. Conséquences des fuites.....	8
I.3.6. Débits de fuites.....	8
I.4. La pression.....	9
I.4.1. Définition de la pression.....	9
I.4.2. Les différentes unités de pression.....	9
I.4.3. Pression pour les fluides (liquide et gaz).....	9
a. <i>Pression hydrostatique</i>	9
b. <i>Pression due à des forces extérieures</i>	10
c. <i>Pression totale (Charge)</i>	10
I.5. Généralités sur les capteurs.....	10
I.5.1. Définition d'un capteur.....	10
I.5.2. Définition d'un capteur de pression.....	10
I.5.2.1. <i>Le corps d'épreuve</i>	11
I.5.2.2. <i>Le transducteur</i>	11
I.5.2.3. <i>Le module électronique</i>	12
I.5.3. Jauges de contrainte.....	12
I.5.4. Les types de capteur de pression.....	13

1.5.4.1. <i>Capteurs de pression absolue</i>	13
1.5.4.2. <i>Capteurs de pression différentiels</i>	13
I.6. Conclusion.....	14
Chapitre II : Technique de détection des fuites	
II.1. Introduction.....	15
II. 2. Présentation générale des réseaux de distribution d'eau.....	15
II. 2.1. Définition.....	15
II.3. Caractéristiques du réseau.....	16
II. 3.1. Canalisations.....	16
II. 3.2. Nature des canalisations.....	17
II. 3.3. Réservoirs.....	17
II. 3.4. Pompes.....	18
II.4. Généralités sur les méthodes de détection de fuite.....	18
II. 4.1. Méthodes indirectes.....	18
II. 4.1.1. <i>Chute de pression</i>	18
II. 4.1.2. <i>Remontée de pression</i>	19
II. 4.1.3. <i>Contrôle au manomètre</i>	20
II. 4.1.4. <i>Contrôle de variations de températures</i>	20
II. 4.1.5. <i>Détecteurs d'ambiance</i>	20
II. 4.2. Méthodes directes	21
II.5. Conclusion	21
Chapitre III : Méthode de traitement de signal CEEMDAN et FFT	
III.1. Introduction	22
III.2. Définitions	23
III.2.1. Système linéaire et non-linéaire	23
III.2.2. Signal stationnaire et non-stationnaire.....	23
III.2.3. Bruit blanc	23
III.3. Méthodes d'analyse des signaux.....	24
III.3.1. Développement en série de Fourier.....	24
III.3.2. Transformée de Fourier.....	24
III. 3.2.1. <i>Détecteur de fuite basé sur la méthode FFT (Méthode proposée)</i>	26
III. 3.2.2. <i>Théorème de puissance</i>	27
III. 3.2.3. <i>Le théorème de Parseval</i>	27

III. 3.2.4. <i>Théorème dérivé</i>	27
III.3.3. Théorème de corrélation.....	28
III.3.4. <i>Théorème l'intercorrélation</i>	29
III.3.5. Développement chronologique de la méthode CEEMDAN	29
III. 3.5.1. <i>Décomposition modale empirique (EMD)</i>	30
III. 3.5. 2. <i>L'Ensemble EMD</i>	34
III. 3.5.3. <i>La méthode CEEMD</i>	36
III. 3.5. 4. <i>La méthode CEEMDAN</i>	37
III.4.Conclusion.....	38
 Chapitre IV : Analyse des résultats expérimentaux	
IV.1.Introduction	39
IV.2.Système d'acquisition.....	40
IV.3. Chaîne d'acquisition.....	40
IV 3.1. Transmetteur de pression.....	40
IV 3.2. La boucle de courant 4-20mA	42
IV 3.3. Etage d'amplification	44
IV.4.Circuit hydraulique.....	46
IV 4.1. Conduite.....	46
IV 4.2. Accessoires.....	46
IV 4.3. Fuite d'eau.....	47
IV 4.4. Electrovanne.....	47
IV 4.5. Pompe.....	47
IV 4.6. Réservoir.....	47
IV.5. Système de détection réalisé.....	48
IV.6. Résultats et discussions.....	48
IV 5.1. Caractéristiques statistiques.....	50
IV 5.2. Application de la FFT	54
IV 5.3. Débruitage par la technique de décomposition.....	55
IV 5.4. Application de l'auto-corrélation.....	58
5.5. Localisation de la fuite.....	59
IV.6. Conclusion.....	60
Conclusion générale.....	61

Liste de figure

Chapitre I

Fig. I.1.(a, b, c) Les catégories des signaux déterministes.....	4
Fig. I.2. Signal stationnaire.....	4
Fig. I.3. Signal non stationnaire.....	5
Fig. I.4. Pression hydrostatique.....	9
Fig. I.5.Synoptique d'un capteur de pression.....	11
Fig. I.6. Jauges de contraint.....	13
Fig. I.7.Capteur de pression.....	13
Fig. I.8. Capteur de pression différentielle.....	14

Chapitre II

Fig. II.1.cycle de production et distribution d'eau potable	16
Fig. II.2.Mesure de pression	19

Chapitre III

Fig.III .1.Allure d'un bruit blanc	23
Fig.III .2.Spectre d'amplitude $ S(f) $ et spectre de phase $\theta(f)$	25
Fig.III.3.Principe de tamisage pour l'estimation de la 1re IMF du signal test $x(t)$	32
Fig.III.4.L'algorithme de la méthode EMD.....	33
Fig.III.5.Décomposition EEMD du signal $x(t)$	35
Fig.III.6.Décomposition CEEMD du signal $x(t)$	36

Chapitre IV

Fig. IV.1. La chaîne d'acquisition.....	40
Fig. IV.2. Capteur de pression.....	40
Fig. IV.3. Capteur de pression	42
Fig. IV.4. Le câblage de la boucle.....	43
Fig. IV.5. Le boucla 4-20 mA expérimental	43
Fig. IV.6. Montage d'amplification des signaux des capteurs.....	44
Fig. IV.7. Montage d'adaptation expérimental.....	45
Fig. IV.8. Circuit hydraulique et électrique global.....	46
Fig. IV.9. Le canal prototype.....	46
Fig. IV.10. Électrovanne.....	47

Fig. IV.11. Bouton poussoir.....	47
Fig. IV.12. La pompe.....	47
Fig. IV.13. Réservoir.....	47
Fig. IV.14. Le circuit électrique du système d'acquisition réalisé.....	48
Fig. IV. 15. Signaux temporels sans fuite issus des deux capteurs de pression.....	49
Fig. IV. 16. Signaux temporels sans fuite de la deuxième acquisition.....	49
Fig. IV. 17. signaux temporels sans fuite issus de capteur de pression A.....	50
Fig. IV. 18. signaux temporels sans fuite issus de capteur de pression B.....	51
Fig. IV.19. Signaux avec fuite des deux capteurs, 1 ^{ère} acquisition.....	52
Fig. IV.20. Signaux avec fuite des deux capteurs, 2 ^{ième} acquisition.....	52
Fig. IV. 21. Signaux temporels avec fuite issus de capteur de pression A.....	53
Fig. IV. 22. Signaux temporels avec fuite issus de capteur de pression B.....	53
Fig. IV. 23. FFT des signaux issus(a) signal sans fuite capteur A ; (b), (c) signaux avec fuite des deux capteurs A et B.....	54
Fig. IV. 24. FFT des signaux issus (a) signal sans fuite capteur B; (b), (c) signaux avec fuite des deux capteurs A et B.....	55
Fig. IV.25. Signal avec fuite du capteur A.....	56
Fig. IV. 26. Résultats de décomposition avec CEEMDAN du signal avec fuite issue du capteur A.....	56
Fig. IV. 27. Signal avec fuite du capteur B.....	57
Fig. IV. 28. Résultats de décomposition avec CEEMDAN du signal avec fuite issue du capteur B.....	57
Fig. IV. 29. Signaux avec fuite débruités issues des deux capteurs A et B.....	58
Fig. IV. 30. L'auto corrélation des deux capteurs	59
Fig. IV .31. L'expérience d'auto-corrélation.....	59

Liste des tableaux

Chapitre I

Tableau I.1. La valeur de E pour différents types de matériaux	7
Tableau. I.2. Unités de pression.....	9

Chapitre III

Tableau III.1. Pseudo-code de l'EMD.....	34
--	----

Chapitre IV

Tableau. IV.1.....	41
Tableau. IV.2.....	50
Tableau. IV.3.....	51
Tableau. IV.4.....	53
Tableau. IV.5.....	54

Liste des abréviations

PVC : Polychlorure de vinyle.

COP : Coefficient de performance d'une pompe de chaleur.

Psig: pound Square per inch.

EMD: Empirical Mode Decomposition.

IMF : Intrinsic Mode Functions.

EEMD : Ensemble Empirical Mode Decomposition.

CEEMD: Complementary EEMD.

CEEMDAN: Complete EEMD with Adaptative Noise.

FFT: Fast Fourier Transform.

STFT: Short Time Fourier Transform.

WT : Wavelet Transform.

Std : standard déviation (écart type)

Introduction générale

Introduction générale

Le transport ou la distribution de fluides (liquide ou gaz) est devenu d'une importance particulière. Pour les responsables des réseaux de distribution, l'amélioration du rendement d'un réseau a toujours été un souci majeur. L'installation de réseaux de transport ou de distribution se trouve confrontée à de nombreux problèmes d'exploitation notamment les fuites comme étant la première cause aux problèmes d'environnement et aux pertes économiques liées aux fuites, s'ajoutant les risques pour la santé publique qu'engendre la pénétration des contaminants dans les réseaux dès qu'une chute de pression se produise.

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) [1]. Les méthodes conventionnelles (La FFT, corrélation) basées sur la transformée de Fourier plus utilisées dans le domaine de détection des fuites sont assez limitées et leurs sensibilité est aléatoire et dépend de nombreux facteurs (nature de fluide, géométrie de défaut, bruit environnant...etc.). La transformée en ondelettes permet de pallier ces difficultés mais son interprétation reste encore difficile à cause du choix de l'ondelette mère, afin de caractériser précisément les signaux. La CEEMDAN est une nouvelle technique utilisée pour la décomposition des signaux à des fins exploitables dans différents domaines. Cette dernière peut traiter efficacement des données non linéaires et non stationnaires, pour décomposer de manière adaptative les signaux à un ensemble de signaux appelés IMFs. Contrairement à la transformée de Fourier classique et la transformée en ondelettes qui utilisent des fonctions de base déterminés a priori, la méthode CEEMDAN construit directement les fonctions de base à partir du signal lui-même. Pour chaque signal étudié une nouvelle base de fonctions est construite. Elle a été appliquée immédiatement dans divers domaines du traitement du signal tels que le génie biomédical, le diagnostic de pannes mécaniques et les applications géophysiques et le traitement d'image.

Dans notre travail nous voulions impliquer cette technique pour le débruitage des signaux provenant des capteurs de pression qui sont généralement noyés dans le bruit. Plusieurs techniques pour la détection et la localisation de fuite d'eau ont été utilisées mais leur efficacité reste toujours un problème. La plupart des détecteurs se basent sur les signaux acoustiques, mais leur grand problème reste dans la détection de signal sans fuite . Dans ce but pour minimiser l'effet des fausses alarmes on a utilisé des capteurs de pression.

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

Dans le premier chapitre, nous présentons une généralité sur les fuites et les signaux de fuite d'eau, suivi d'un panorama des différents détecteurs de fuites actuellement utilisés.

Le deuxième chapitre est consacré aux différentes techniques de détection des fuites. Dans le troisième chapitre nous présentons les méthodes d'analyse de signal avec une étude détaillée de la nouvelle technique CEEMDAN. Enfin le quatrième chapitre est dédié pour l'application de ces techniques sur des signaux de fuite réels acquis sur un canal prototype dans le laboratoire. Les résultats obtenus vont être analysés pour voir les performances des méthodes employées.

Chapitre I

Généralités sur les signaux

I.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 [2]. 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, dans les domaines de l'électronique et de l'informatique.

Dans ce chapitre, une étude exhaustive sur le signal est présentée, qui sera ensuite suivi de définitions sur des signaux issus des capteurs de pression. Ces derniers donnent une image sur la fuite. Une importance particulière est dédié aux capteurs de pression, sans oublié ici de donner quelques définitions sur les fuites et leurs types ainsi que leurs causes.

I.2. Les signaux

Les signaux recueillis sur un dispositif expérimental sont des fonctions réelles ($S(x, \dots, t)$) de variables réelles (x, \dots, t). Afin d'alléger l'écriture, nous faisons l'hypothèse générale que les signaux sont adéquats au traitement.

I.2.1. Classification des signaux

Parmi les diverses classifications existantes, nous envisageant deux types

- Temporelle

- Energétique

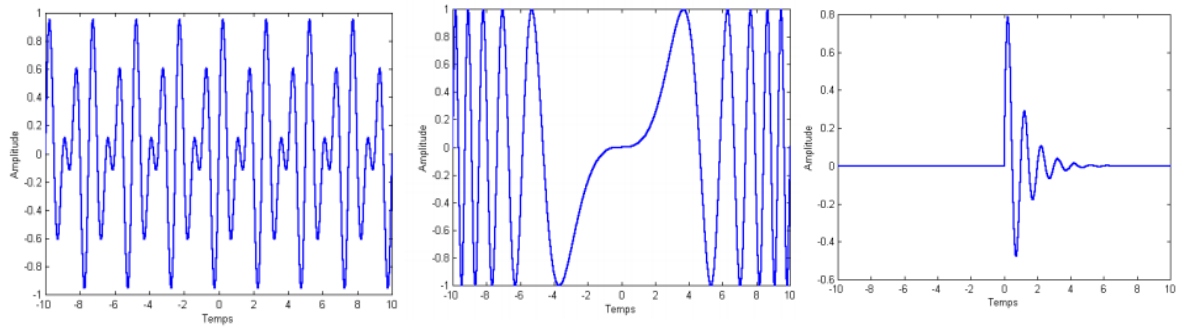
I.2.1.1. Classification temporelle

L'observation de l'évolution du signal en fonction du temps permet de savoir si le signal est déterministe ou aléatoire [3].

a. Signal déterministe (certains)

Un signal est dit déterministe si son évolution en fonction du temps peut être parfaitement décrite par un modèle mathématique. Ces signaux proviennent de phénomènes pour lesquels on connaît les lois physiques correspondantes et les conditions initiales, permettant ainsi de prévoir le résultat [3].

Parmi les signaux déterministes trois cas sont à envisager figure (I.1):



a- périodiques

b - aperiodiques

c - transitoire

Fig. I.1. (a, b, c). Les catégories des signaux déterministes [3].

b. Signal aléatoire (probabiliste)

Son comportement temporel est imprévisible et pour sa description il faut se contenter d'observations statistiques [3].

b.1. Signaux stationnaires

Les propriétés statistiques (moyenne, écart type, ...) du signal ne changent pas au cours du temps figure (I.2).

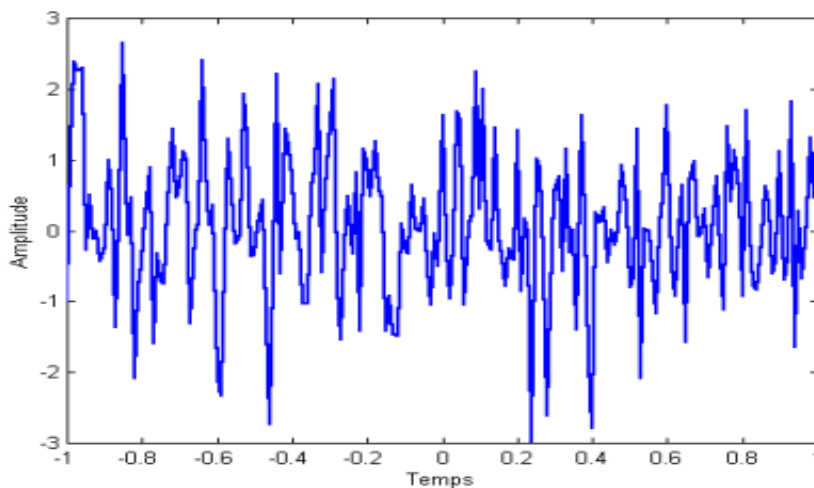


Fig. I.2. Signal stationnaire [3].

b.2. Signaux non stationnaires

Les propriétés statistiques du signal changent au cours du temps figure (I.3).

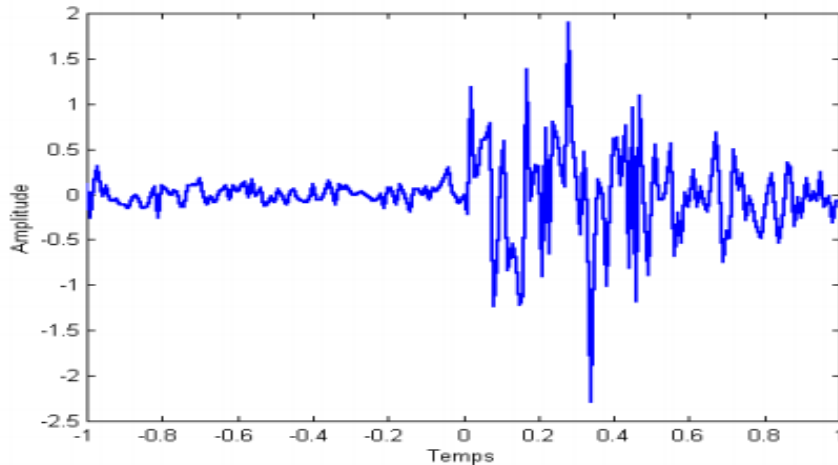


Fig. I.3. Signal non stationnaire [3].

I.2.1.2. 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 inférieur à l'infini [3].

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

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

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

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

$$0 < \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} |x(t)|^2 dt < \infty \quad (\text{I.3})$$

et dont l'énergie W tend vers l'infini

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

est dit à puissance finie.

I.3. Les fuites

I.3.1. Définition d'une fuite

C'est une source de bruit, qui engendre des vibrations mécaniques et acoustiques due aux fluctuations de la pression du fluide dans la conduite. Ces vibrations se propagent avec une atténuation plus ou moins rapide le long de la conduite et dans le sol. Les fuites se produisent dans différents éléments du réseau de distribution d'eau (conduites de transmission, conduites de distribution, branchements, raccords, vannes, et bouches d'incendie).

I.3.2. 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 [4]. 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 [5].

I.3.2.1. 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 [5].

I.3.2.2. 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 [5].

Théoriquement, la vitesse de propagation des ondes peut être obtenue de l'équation ci-dessous:

$$c = \sqrt{\frac{1}{\rho \left[\frac{1}{K} + \frac{D}{eE} \phi \right]}} \quad (I.5)$$

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,

$\rho = 998,2$ kg/m³)

K : Module d'élasticité du liquide en [N/m²] (l'eau à 20 °C, K = 2,2 · 10⁹ 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]

ϕ : Facteur de retenue dépendant du rapport Poisson

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.

$$K = -V \frac{dP}{dV} \quad K > 0 \quad (\text{I.6})$$

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

$$c = \sqrt{\frac{K}{\rho}} \quad (\text{I.7})$$

Tableau I.1. La valeur de module de Young pour différents types de matériaux

Matériaux	E (Pa)
Acier	$(1,87 \div 2,16). 10^{11}$
Fonte	$(0,88 \div 1,47). 10^{11}$
Plomb	$(0,69 \div 0,71). 10^{11}$
Béton armé	$(2,31 \div 3,2). 10^{10}$
Béton précontraint	$2,08. 10^{10}$
Amiante – ciment	$1,89. 10^{10}$
PVC	$(2,6 \div 4,16). 10^9$
Polyéthylène	$(1,39 \div 2,08). 10^9$

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.3.3.Types de fuite

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 inférieure à 5 l / min,
- Grande fuite, où le débit de perte représente au moins 5 l / min [6].

I.3.4. Les causes de fuites

- La corrosion
- Les défauts des matériaux
- Mauvaise installation
- Pression d'eau excessive
- Les coups de bélier
- Les mouvements de terrain attribuables à la sécheresse ou au gel
- Les vibrations
- Les charges excessives dues à la circulation

I.3.5. Conséquences des fuites

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 [7].

I.3.6. Débits de fuites

Les fuites sont caractérisées quantitativement par le débit du fluide qui s'échappe du confinement. Il s'exprime par le volume qui circule à travers les fuites par unité de temps (l'unité l'égal étant le mètre cube par seconde (m^3/s)) [8].

I.4. La pression

I.4.1. Définition de la pression

La pression est définie comme le quotient d'une force par une surface. La pression s'exerce perpendiculairement à la surface considérée.

$$P_{pa} = F_n / S_m^2 \quad (I.8)$$

P_{pa} : La pression

F_n : force

S_m^2 : surface

I.4.2. Les différentes unités de pression

Tableau. I.2. Unités de pression [9].

Unités	Pa(N/m ²)	bar	kgf/cm ²	mm Hg	mmH ₂ O	atmosphère
1 psi =	6894,76	0,069	0,069	51,7	689,7	0,068

I.4.3. Pression pour les fluides (liquide et gaz)

a. Pression hydrostatique

A l'intérieur d'une colonne de fluide se crée une pression due au poids de la masse de fluide sur la surface considérée [9]. Pour chacun des quatre récipients représentés sur la figure (I.5), la pression au fond de ceux-ci est identique est égal à :

$$P_{Pa} = P_{Kg/m^3} \times g_{m/s^2} \times h_m \quad (I.9)$$

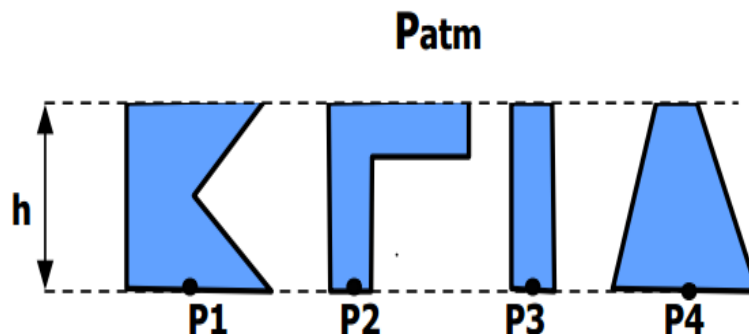


Fig. I.4. Pression hydrostatique [9].

b. Pression due à des forces extérieures

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

$$P_{Pa} = 0.5 \times P_{Kg/m^3} \times V_{m/s}^2 \quad (I.10)$$

c. 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 négligeable), c'est le théorème de Bernoulli [9].

I.5. Généralités sur les capteurs**I.5.1. Définition d'un capteur**

Un capteur est un transducteur capable de transformer une grandeur physique en une autre grandeur physique généralement électrique (tension) utilisable par l'homme ou par le biais d'un instrument approprié. Le capteur est le 1^{er} élément d'une chaîne de mesure ou d'instrumentation.

Un capteur n'est jamais parfait, il convient de connaître avec la plus grande précision possible son état d'imperfection. De plus, il faut prendre en compte la perturbation apportée au système par la mesure. Le concepteur d'une chaîne instrumentale aura donc des choix à opérer [9].

I.5.2. 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, 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 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.6) [10].

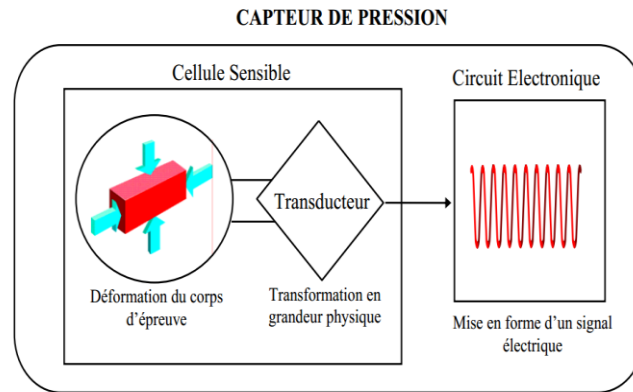


Fig. I.5. Synoptique d'un capteur de pression [10].

La figure(I.6) constitue trois blocs essentiels:

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

1.5.2.1. Le 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 [10].

1.5.2.2. Le 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

capacitives 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 [10].

1.5.2.3. Le 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 [11].

1.5.3. Jauges de contrainte

Quand un gage de contrainte, est utilisé, il sert à mesurer la déviation d'un diaphragme élastique ou un tube de bourdon, il fait partie des transducteurs de pression. Ce type de transducteurs basé sur les jauges de contrainte est largement utilisé.

Les transducteurs à base de jauge de contraintes sont largement utilisés pour la mesure des pressions et les pressions différentielles dans un intervalle restreint. Essentiellement, les jauges de contraintes utilisent pour la mesure de déplacement d'un diaphragme élastique dû à la différence de pression. Ces capteurs peuvent détecter les basses pressions s'ils sont ouverts en air ou bien la pression différentielle s'ils sont connectés sur deux pressions. Si l'une des orifices scellée sur le vide les capteurs donnent la pression absolue.

Les transducteurs de pression sont disponibles sur des gammes de pression très basses jusqu'aux 200000 psig. Ils ne sont pas précis dans la gamme allons 0,1% jusqu'à 0,25% de la pleine échelle. L'erreur additionnelle telle que la dérive à grande échelle dépassant les six mois est de 0,25% [12].

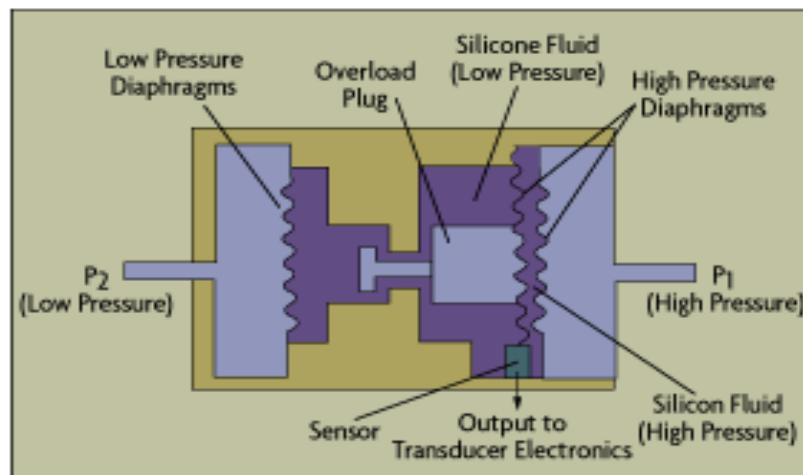


Fig. I.6. Jauges de contrainte [12].

I.5.4. Les types de capteur de pression

Il existe deux types de capteur de pression : les capteurs de pression absolue, et les capteurs de pression différentiels [9].

I.5.4.1. Capteurs de pression absolue

Les capteurs de pression absolue sont, comme leur nom l'indique, capables d'effectuer une mesure de pression en un point donné.



Fig. I.7. Capteur de pression [9].

I.5.4.2. Capteurs de pression différentiels

Les capteurs de pression différentielle sont dotés de deux entrées de mesure, et la tension qu'ils délivrent est proportionnelle à la différence de pression entre les deux entrées [13].



Fig. I.8. Capteur de pression différentiel [9].

I.6.Conclusion

Ce chapitre a fait l'objet de quelques définitions et généralités concernant le signal en général. Lorsqu'on souhaite traduire une grandeur physique en une autre grandeur (généralement électrique), on fait appel à ce que l'on nomme classiquement « capteur ». Son rôle est de donner une image interprétable d'un phénomène physique dans notre cas pression de manière à pouvoir l'intégrer dans un processus plus vaste.

Notre choix est orienté vers le meilleur technique pour la détection de fuite une technique qui peut donner des informations sur la fuite, et L'existence de la fuite dans les réseaux de distribution fait l'objet du chapitre suivant.

Chapitre II

Techniques de détection des fuites

II.1.Introduction

Pour les responsables des réseaux de distribution, l'amélioration du rendement d'un réseau a toujours représenté un souci majeur.

Les réseaux de distribution en eau constituent l'ensemble des canalisations interconnectées entre elles, et qui font suite à la bache principale. Ils sont utilisés pour permettre le transport et la distribution en eau aux différents consommateurs. Cependant une forte proportion d'eau se perd à cause des fuites durant le transport entre les usines de traitement et les différents points de consommation.

D'après une enquête réalisée en 1991 par l'AIDE (Association Internationale des Distributions d'Eau), la quantité d'eau perdue transportée par ces réseaux, se situerait entre 20 et 30 % de la production totale. Ces faibles rendements sont dus principalement aux fuites, dont les conséquences peuvent être graves. C'est la raison pour laquelle les exploitants ont été poussés à installer différents moyens permettant de détecter les fuites dans des meilleurs délais [2].

Dans ce chapitre nous présentons quelques généralités sur les réseaux de distribution d'eau, ainsi que les différentes canalisations d'eau potable utilisées à cet effet. Les méthodes et techniques utilisées pour la localisation de fuite vont être éclaircies. Ces dernières vont être suivies par une étude détaillée sur les différentes techniques de détection et quelques détecteurs de fuites d'eau.

II. 2.Présentation générale des réseaux de distribution d'eau

II.2.1. Définition

Les réseaux de distribution en eau constituent l'ensemble des canalisations interconnectées entre elles qui doivent être entièrement étanches. Les matériaux de construction utilisés ne doivent pas altérer la qualité de l'eau pour cela on utilise de la fonte, de l'acier galvanisé, PVC, du ciment, etc.

Une canalisation (ou conduite) ne doit donner, ni odeur désagréable, ni couleur à l'eau.

La pose des canalisations exige l'observation de certaines règles en général :

- On doit suivre le profil du terrain la tranchée doit être de 50 à 60 Cm de profondeur (protection contre les dommages dus à la circulation et aux intempéries).
- La vitesse de l'eau dans les canalisations doit être normalement : 1m/seconde, et jamais inférieure à 0.60m/seconde afin d'éviter le dépôt de boue.

- La pression dans le réseau doit être suffisante.

Chaque maison doit être branchée sur la conduite de l'eau. Dans la mesure du possible, il faut prévoir des bornes fontaines (une pour 150 à 200 habitants). la distance entre deux bornes fontaines ne doit pas dépasser 300 mètres [14].

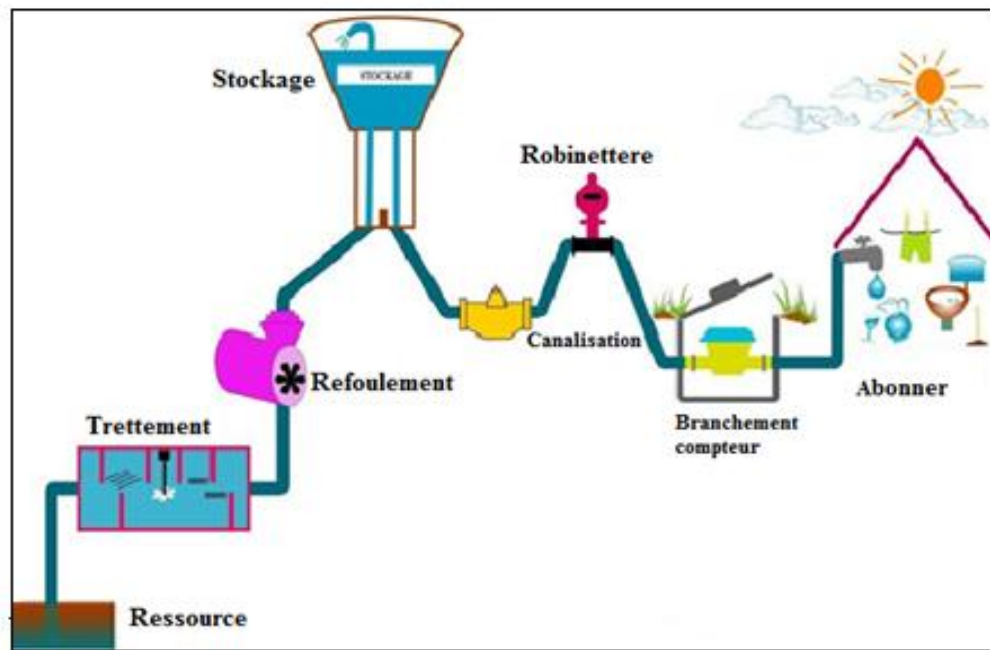


Fig. II.1. Cycle de production et distribution d'eau potable [14].

II.3. Caractéristiques du réseau

II.3.1. Canalisations

❖ Longueurs et diamètres

Le réseau que nous avons pris comme exemple est constitué d'environ 180 km de canalisation contenant un volume de 2100 m^3 soit l'équivalent d'une journée de consommation. Le diamètre des conduites est compris entre 40 et 300 mm, avec 60% des canalisations linéaire ayant un diamètre inférieur ou égale à 100 mm. Ces chiffres sont la traduction d'une structure ramifiée en antennes et d'un réseau dont la consommation est faible par canalisation linéaire.

❖ Age et matériau

52% du réseau est en fonte grise dont les dates de pose se situent entre 1954 et 1962. 8% du réseau est en fonte ductile dont 80% a un âge se situant entre 40 et 50 ans. 40% du réseau est en PVC dont 22% a été posé avant 1975 que l'on peut considérer comme du « vieux PVC ».

Les matériaux dits « à problèmes » [15], sont la fonte grise considérée comme cassante et le vieux PVC dont les joints collés sont fragiles et à l'origine de fuite.

Globalement les canalisations âgées de plus de 40 ans représentent 65% du linéaire. Mais, il faut noter que 17% du linéaire est âgé de moins de 10 ans ce qui s'explique par une extension du réseau mais surtout par une forte politique de renouvellement. En effet, le pourcentage de linéaire renouvelé atteint en moyenne 1,0% entre 2000 et 2007 soit 2,2km de canalisation posée par an. A titre de comparaison, 0,6% est la moyenne nationale de ce pays [16].

On rajoutera que les canalisations en fonte grise qui ont déjà une cinquantaine d'années ont connu une eau chargée en fer et manganèse. Des dépôts se forment à l'intérieur de la canalisation accélérant la corrosion et fragilisant encore plus un matériau déjà cassant. Ce problème de qualité d'eau est toujours d'actualité. et des moyens de contrôle de qualité d'eau sont instauré actuellement.

II.3.2. Nature des canalisations

Une canalisation sous pression est constituée par des tuyaux assemblés les uns aux autres. Les divers tuyaux peuvent être :

- métalliques : fonte ductile, acier;
- à base de ciment : béton armé, béton précontraint et amiante ciment;
- en matière plastique : polyéthylène, PVC, plastique thermodurcissable

II.3.3. Réservoirs

Les 4 réservoirs sont tous sur tour et présentent une capacité totale de stockage de $2100 m^3$ soit l'équivalent d'une journée de consommation:

- le point B ($600 m^3$, Côte trop plein : 253 m, Côte radier : 247)
- le point F ($500 m^3$, Côte trop plein : 225.20 m, Côte radier : 220 m)
- le point A ($800 m^3$, Côte trop plein : 230 m, Côte radier : 223.70 m)

Le marnage du réservoir de point B est habituellement de 60 cm, celui de point A d'un peu plus d'un mètre. Le réservoir de point F a un volume de marnage représentant 2 à 3% de sa capacité tandis que celui d'Ecuelles a un marnage quasi nul.

II.3.4. Pompes

Le pompage de l'eau traitée est assurée par deux pompes de 160 m³/h chacune qui refoulent vers le réservoir de point par une conduite en refoulement/distribution.

II.4. Généralités sur les méthodes de détection de fuite

Il y a Plusieurs méthodes de détection de fuite existent. Elles se divisent en deux catégories :

- Les méthodes permettant une quantification globale, c'est-à-dire une mesure de fuite sur un composant, assemblage ou même une installation et qui permet de connaître la valeur de fuite de l'ensemble, plus ou moins précisément selon la technique employée. Ici, elles peuvent être appelées méthodes indirectes. Les méthodes sont : enveloppe remplie de gaz, enveloppe sous vide (global ou partiel), accumulation, pressurisation-dépression (appelé aussi ressuage), chute de pression, remontée de pression, débitmètre.
- Les méthodes permettant une localisation, c'est-à-dire, une détection qui permet de localiser finement une source de fuite. Certaines techniques permettent d'estimer la valeur de niveau de fuite locale. D'autres techniques permettent d'apprécier le dépassement ou non d'un niveau de fuite par rapport à une valeur de fuite seuil, qui est fixée ou estimée. Ici, les techniques de localisation peuvent être appelées méthodes directes. Les méthodes sont : enveloppe sous vide (local), renfilage, aspersion, immersion, application d'un liquide [17].

II.4.1. Méthodes indirectes

Des méthodes techniquement indirectes mais qui ne sont pas mentionnées dans les règlements sont usuellement employées sur installations frigorifiques : les mesures par chute ou remontée de pression.

II.4.1.1. Chute de pression

Le contrôle d'étanchéité par la méthode de chute de pression est une méthode qui consiste à charger l'installation en gaz (azote ou fluide frigorigène) jusqu'à la pression maximale de service. Ensuite, la variation de pression est mesurée pendant une durée définie dépendant du volume de l'installation. La température doit être enregistrée, car la pression de l'installation varie avec la température alors que le but du contrôle est de mesurer d'éventuelles variations de pression dues à des fuites. Cette méthode de détection de fuites est le plus souvent utilisée sur le terrain, lors de l'installation comme en fin de production et avant la charge en fluide

frigorigène. Ce contrôle permet d'obtenir une connaissance de l'état global de l'étanchéité du système [17].



Fig. II.2. Mesure de pression [8].

II.4.1.2. Remontée de pression

Le contrôle d'étanchéité par la méthode de remontée de pression consiste à mettre l'installation sous vide primaire de l'ordre de 1 mbar absolu. L'écart de pression entre l'intérieur de l'installation et l'extérieur est donc d'environ 1 bar. Dans l'essai de remontée de pression, une fuite est une entrée d'air. La corrélation entre un taux de fuite d'air et un taux de fuite de fluide frigorigène passe par l'utilisation de facteurs de correction. La variation de pression est mesurée pendant une durée définie dépendant du volume de l'installation.

De même que pour la méthode par chute de pression, la température doit être enregistrée. Comme la mesure par chute de pression, la mesure de fuite par remontée de pression est le plus souvent utilisée sur le terrain, lors de l'installation, comme en fin de production et avant la charge en fluide frigorigène. Ce contrôle permet d'obtenir une connaissance de l'état global de l'étanchéité du système [17].

II.4.1.3. Contrôle au manomètre

Cette méthode permet de contrôler l'état du circuit de fluide frigorigène en fonctionnement. Si le niveau de pression du circuit chute, cela peut être dû à une perte de charge issue d'une

fuite. Le circuit fonctionne alors en mode dégradé. L'utilisation de cette méthode suppose que l'installation fonctionne suivant un régime stable. Or ceci n'est pas vrai pour la plupart des installations frigorifiques. Les exemples numériques suivants permettent de donner des ordres de grandeur sur le niveau de fuite par rapport au volume d'installation, la pression et le temps de mesure, en supposant que l'installation frigorifique contrôlée a un régime de fonctionnement très stable [17].

II.4.1.4. Contrôle de variations de températures

Le principe de l'essai était d'augmenter graduellement la charge de réfrigérant et de faire varier la consigne de niveau dans le condenseur (variation possible sur quelques centimètres) jusqu'à obtenir des conditions de fonctionnement optimum, à savoir une puissance frigorifique et un COP maximum. Or « Puissance frigorifique » et « COP », dans des conditions données, sont directement liés à un paramètre appelé ΔT_a (en anglais « Small Temperature Difference ») qui caractérise la qualité de l'échange dans les échangeurs:

- à l'évaporateur, $\Delta T_a \text{ évaporateur} = T \text{ sortie eau évap.} - T \text{ évaporation}$

- au condenseur, $\Delta T_a \text{ condenseur} = T \text{ sortie eau cond.} - T \text{ condensation}$

Lorsqu'on augmente la charge, les valeurs de ΔT_a diminuent jusqu'à atteindre une valeur minimum (il est alors encore possible d'ajouter du réfrigérant mais ce supplément de charge n'aura plus d'influence sur les ΔT_a) [17].

II.4.1.5. Détecteurs d'ambiance

La fonction essentielle des détecteurs d'ambiance est de contrôler les teneurs en gaz de fluides frigorigènes dans l'ambiance de locaux. En effet, pour la sécurité des personnes, les concentrations de gaz ne doivent pas dépasser certaines teneurs maximales. Le détecteur d'ambiance a donc un rôle initial de sécurité des personnes. Cependant, les contrôleurs d'ambiance sont également utilisés en tant que détecteurs de fuite dans les locaux contenant des installations frigorifiques. Vis-à-vis de la sécurité des personnes, l'agencement (ventilation, ouverture de porte, fenêtre) d'un local contenant une installation frigorifique va être conçu de manière à diluer rapidement les éventuelles fuites de fluides frigorigènes, ceci afin que la concentration de gaz dans l'air de ce local ne soit pas dangereuse pour les hommes qui sont amenés à y entrer. Dans ce cas, les contrôleurs d'ambiance sont là pour alerter le personnel sur la qualité de l'air du local. Vis-à-vis des contrôles d'étanchéité des installations frigorifiques, l'agencement d'un local contenant une installation frigorifique

devrait être conçu de manière à confiner les éventuelles fuites de fluides frigorigènes, c'est-à-dire un local dont le volume est le plus petit possible, sans ouverture et sans ventilation.

Les contrôleurs d'ambiance, s'ils sont fiables, permettent d'effectuer une maintenance conditionnelle basée sur le constat effectif d'un défaut. Il est donc particulièrement intéressant de connaître les performances des contrôleurs d'ambiance. Il existe plusieurs technologies de détecteurs d'ambiance. Cependant, les détecteurs d'ambiance ayant les meilleurs niveaux de « sensibilité » (10 ppm) sont les détecteurs d'ambiance de type infrarouge [17].

II.4.2. Méthodes directes

Les méthodes de localisation de fuites sont nombreuses. Certaines permettent de réaliser une mesure et donc d'estimer un niveau de fuite locale, d'autres indiquent le dépassement ou non d'un seuil soit prédéfini soit estimé [17].

Les méthodes directes sont liées à des techniques et des appareils de différents types. Elles sont regroupées via l'utilisation de certains appareils de détection comme suit :

- le détecteur-mesureur,
- le détecteur électronique,
- le produit moussant,
- l'eau savonneuse,
- le fluide fluorescent.

II.5. Conclusion

Dans ce chapitre, après avoir décrit les canalisations. Une description sommaire introduite pour l'ensemble des techniques existantes actuellement. Quelques détecteurs de fuites modernes les plus connus à travers le monde sont donné brièvement.

Les techniques du domaine de traitement du signal utilisé pour la détection de fuites, fera l'objet du chapitre suivant, avec une étude détaillée de quelques méthodes, dans un but de les utiliser pour traiter le signal de pression capté expérimentalement par les deux capteurs utilisé dans notre application.

Chapitre III

*Méthode de traitement de
signal CEEMDAN et
FFT*

III.1. Introduction

La décomposition en modes empiriques appelée EMD (Empirical Mode Decomposition) a été introduite en 1998 par Huang et al, pour décomposer de manière adaptative les signaux non linéaires et non stationnaires dans le but de proposer une méthode simple d'emploi [18]. Contrairement à la transformée de Fourier classique et la transformée en ondelettes qui utilisent des fonctions de base déterminés a priori, la méthode EMD construit directement les fonctions de base à partir du signal lui-même. Pour tout signal traité une nouvelle base est construite. Son principe est de décomposer le signal en une collection de fonctions oscillantes ou modes appelés en anglais IMF (Intrinsic Mode Functions) par un processus de tamisage.

Pour surmonter le problème de mélange de modes d'EMD, qui veut dire l'obtention de différentes fréquences en une seule IMF, la méthode EEMD (Ensemble Empirical Mode Decomposition) a été proposée par Wu et Huang en 2009.

L'EEMD est une méthode d'analyse de données assistée par du bruit dans laquelle les IMFs sont définis comme la moyenne d'un ensemble d'essais, chaque est la somme du signal à décomposer et d'un bruit blanc [1].

La décomposition par la méthode EEMD présente un inconvénient major qui est la nécessité d'un grand nombre d'essais pour réduire l'amplitude relative du bruit ajouté .Il existe plusieurs possibilités d'améliorations de la méthode EEMD pour réduire le nombre d'essais. Chaque essai ou réalisation comprend les résultats de la décomposition de l'ensemble « signal plus un bruit blanc d'amplitude finie ».Parmi ces méthodes nous citons la méthode CEEMD (Complementary EEMD 2010), et la méthode CEEMDAN (Complementary EEMD with Adaptative Noise, 2011).

Ce chapitre est dédié à quelques définitions de caractérisation des signaux, telle que la linéarité et la non-linéarité et la stationnarité et la non-stationnarité. Quelques méthodes d'analyse des signaux sont éclaircies. Intuitivement, on se base sur la FFT (Transformer de Fourier Rapide) et auto-corrélation, pour analyser les signaux issus des capteurs de pression. Enfin une description de la méthode appelée Mode Empirique de l'Ensemble Complémentaire Décomposition (CEEMDAN) prendra une partie importante afin d'être utilisée comme moyen de débruitage de notre signal.

III.2. Définitions

III.2.1. Système linéaire et non-linéaire

Un système est linéaire quand sa réponse à une combinaison linéaire de signaux d'entrée est égale à la même combinaison linéaire des réponses individuelles à chacun des signaux d'entrées. Autrement dit en général, les termes signaux linéaires et non linéaires sont largement utilisés dans la littérature d'ingénierie, en particulier dans le contexte des techniques d'analyse de signaux qui traitent de tels signaux [18].

A cet égard, nous pouvons nous référer à une fonction comme étant linéaire si elle satisfait la condition ci-dessous :

$$f: \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R} \quad \forall x, y, n \in \mathbb{R}, f(x + y) = f(x) + f(y) \text{ et } f(nx) = nf(x) \quad (\text{III.1})$$

Par conséquent, il est prudent de considérer les signaux linéaires et non linéaires comme ceux qui proviennent respectivement de systèmes linéaires et non linéaires. Par exemple, les signaux non linéaires peuvent être considérés comme ceux générés par les systèmes dynamiques qui obéissent à des équations non linéaires.

Un système est dit non-linéaire si le principe de superposition précédent ne s'applique pas.

III.2.2. Signal stationnaire et non-stationnaire

On dit qu'un signal aléatoire est stationnaire si ses propriétés statistiques sont invariantes par translation dans le temps.

Un signal non stationnaire est celui dont les composantes de fréquences changent avec le temps (le contenu de fréquences change d'un intervalle à un autre). D'une manière plus explicite la moyenne statistique et l'écart type des signaux changent sur les fenêtres temporelles prises.

III.2.3. Bruit blanc

Séquence de variables aléatoires indépendantes et identiquement distribuées figure (III.1).

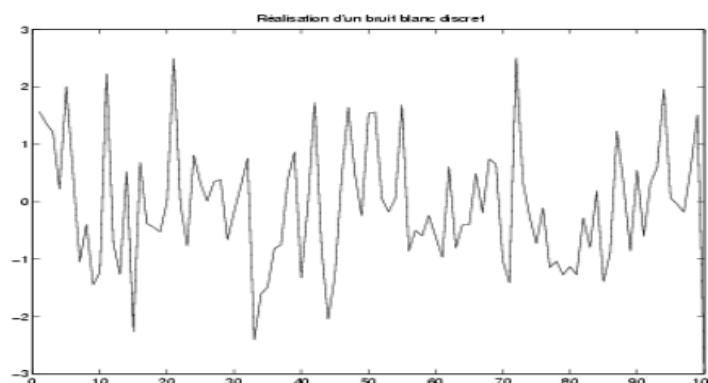


Fig.III .1.Allure d'un bruit blanc [3].

III.3.Méthodes d'analyse des signaux

III.3.1. Développement en série de Fourier

L'une des méthodes les plus anciennes pour le traitement des signaux. Si $s(t)$ est une fonction périodique de t , de période T_0 ($= 1/F_0$), elle peut s'écrire sous la forme d'une somme de fonctions sinusoïdales et cosinusoïdales de fréquences f multiple de la fréquence F_0 , dite fréquence fondamentale. Ces dernières sont appelés les harmoniques.

Soit :

$$s(t) = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} (a_n \cos 2n\pi f_0 t + b_n \sin 2n\pi f_0 t) \quad (\text{III.2})$$

Où a_n et b_n sont les coefficients de la série de Fourier. Ils se calculent à partir des relations suivantes :

$$a_0 = \frac{1}{T_0} \int_0^{T_0} S(t) dt \quad (\text{III.3})$$

Avec a_0 appelé valeur moyenne ou composante continue

$$a_n = \frac{2}{T_0} \int_0^{T_0} s(t) \cos(2n\pi F_0 t) dt \quad (\text{III.4})$$

$$b_n = \frac{2}{T_0} \int_0^{T_0} s(t) \sin(2n\pi F_0 t) dt \quad (\text{III.5})$$

III.3.2. Transformée de Fourier

On peut considérer la transformée de Fourier des fonctions non-périodiques comme une extension de la transformation précédente pour laquelle la période est infinie. L'intervalle de fréquence F_0 tend alors vers zéro et le spectre devient alors une fonction continue. D'où, la transformée de Fourier de $S(t)$, notée $S(f)$ ou $F\{s(t)\}$ et la transformée de Fourier inverse, notée F^{-1}

$$S(f) = F\{s(t)\} = \int_{-\infty}^{+\infty} S(t). e^{-j.2.\pi.f.t} dt \quad (\text{III.6})$$

$$s(t) = F^{-1}\{s(t)\} = \int_{-\infty}^{+\infty} S(f). e^{+j.2.\pi.f.t} df \quad (\text{III.7})$$

$S(f)$ est appelé le spectre du signal temporel $s(t)$ [19]. L'opérateur de la transformée de Fourier inverse F^{-1} génère le spectre à partir d'un signal, et l'opérateur F de la transformée de Fourier rétablit le signal d'un spectre. Un seul point du spectre correspond à une seule onde exponentielle dans le signal, et vice versa. Le signal est souvent défini dans le domaine temporel (domaine temporel t) et le spectre dans le domaine fréquentiel (domaine des fréquences f), comme ci-dessus.

Usuellement, le signal $s(t)$ est réel. Le spectre $S(f)$ peut être encore complexe car

$$\begin{aligned} S(f) &= \int_{-\infty}^{+\infty} s(t) e^{-j2\pi f t} dt = F^{-1}\{s(t)\} = \int_{-\infty}^{+\infty} s(t) \cos(2\pi f t) dt \\ &\quad - j \int_{-\infty}^{+\infty} s(t) \sin(2\pi f t) dt = F_{\cos}\{s(t)\} - j F_{\sin}\{s(t)\} \end{aligned} \quad (\text{III.8})$$

$F_{\cos}\{s(t)\}$ et $F_{\sin}\{s(t)\}$ sont appelées la transformée cosinus, et la transformée sinus respectivement de $s(t)$.

$$|S(f)| = \sqrt{[F_{\cos}\{s(t)\}]^2 + [F_{\sin}\{s(t)\}]^2} \quad (\text{III.9})$$

$|S(f)|$ est appelé l'amplitude du spectre et

$$\theta(f) = \arctang \frac{F_{\sin}\{s(t)\}}{F_{\cos}\{s(t)\}} \quad (\text{III.10})$$

$\theta(f)$ est appelée la phase du spectre (l'équation III.10) est valable seulement si $-\frac{\pi}{2} \leq \theta \leq +\frac{\pi}{2}$. Le spectre d'amplitude et le spectre de phase sont illustrés par la Figure (III.2). La transformée de Fourier inverse et la transformée de Fourier peuvent être exprimées à l'aide de la transformation du cosinus et de la transformée sinus comme

$$F^{-1}\{s(t)\} = F_{\cos}\{s(t)\} - j F_{\sin}\{s(t)\} \quad (\text{III.11})$$

et

$$F\{S(f)\} = F_{\cos}\{S(f)\} + j F_{\sin}\{S(f)\} \quad (\text{III.12})$$

Souvent $j F_{\sin}\{S(f)\}$ égalent à zéro.

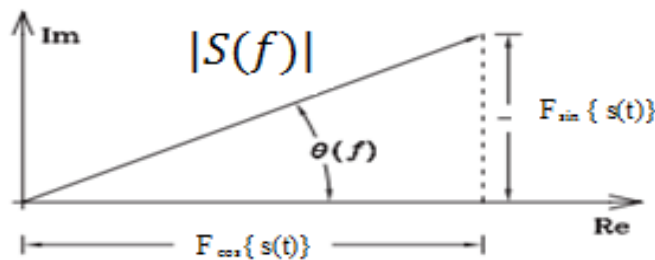


Fig.III.2: Spectre d'amplitude $|S(f)|$ et spectre de phase $\theta(f)$ [19].

Dans les mesures pratiques, nous ne traitons pas les fonctions qui sont exprimées sous forme d'expressions mathématiques explicites dont les transformées de Fourier sont connues. Au lieu de cela, les transformées de Fourier sont calculées numériquement. En pratique, la mesure d'un signal nous donne habituellement un nombre fini de données, mesuré à des points discrets (un nombre d'échantillons bien déterminé). En conséquence, aussi les intégrales des transformées de Fourier doivent être approximées par des sommes finies. L'intégrale de $-\infty$ à $+\infty$ est remplacée par une somme de $-N$ à $N-1$.

Le calcul d'une transformée de Fourier discrète est possible, si l'on enregistre le signal $s(t)$ à $2N$ échantillons également espacés.

$$t_m = m\Delta t, \quad m = -N, -N + 1, -N + 2, \dots, N - 1 \quad (\text{III.13})$$

Généralement, le signal enregistré est une fonction réelle. Si le signal est réel et symétrique, alors, selon l'équation (III.7), le spectre $S(f)$ est aussi réel et symétrique.

$$S(-f) = S(f) \quad (\text{III.14})$$

Le spectre calculé à partir des échantillons de signaux discrets est donné par une approximation discrète de $S(f)$ dans l'équation (III.7). Le spectre obtenu est

$$S_T^{\Delta t}(f) = \Delta t \sum_{m=-N}^{N-1} s(m\Delta t) e^{-j2\pi f m \Delta t} \quad (\text{III.15})$$

Où

$$T = N \Delta t \quad (\text{III.16})$$

Il est clair qu'un signal qui se compose d'un nombre fini de points discrets ne peut pas contenir la même quantité d'informations qu'un signal continu à l'infini. Ceci, inévitablement, conduit à des distorsions, par rapport au cas réel.

III.3.2.1. Détecteur de fuite basé sur la méthode FFT (Méthode proposée)

Dans la plupart des expériences, la méthode FFT a été appliquée à des canalisations principalement longues et non enterrées ayant quelques coudes. Basé sur des systèmes de détection rapide, la réponse à l'analyse spectrale est d'un grand intérêt. L'utilisation de la méthode FFT permet de détecter des fuites avec une précision insatisfaisante. En outre, cette méthode nécessite un petit signal transitoire. Cependant, comme l'impact de la non-linéarité sur le système du pipeline est négligeable, il peut être considéré comme linéaire.

La méthode de détection des fuites utilisant l'analyse FFT est effectuée pour tous les échantillons reçus. Un seuil est alors appliqué pour prendre une décision binaire sur l'absence ou la présence de fuites. La méthodologie de détection des fuites consiste à capturer les données expérimentales puis à utiliser l'analyse FFT. Cela génère la réponse en fréquence (spectre) qui montre les fréquences prédominantes de chaque situation de fonctionnement. Dans les situations où des fuites existent, des pics apparaissent dans le spectre de fréquence du signal reçu. Néanmoins, ces pics ne doivent pas être observés dans une situation sans fuite. Cependant, il est montré que la détection de fuites basée sur la FFT en utilisant le maximum du spectre résultant n'est pas toujours fiable. Par conséquent, une étape de seuillage est nécessaire pour améliorer les performances de la détection des fuites [19].

III.3.2.2. Théorème de puissance

Le conjugué u^* d'un nombre complexe u est obtenu en changeant le signe de sa partie imaginaire, c'est-à-dire en remplaçant i par $-i$. Si $s(t)$ et $S(f)$, et $g(t)$ et $G(f)$ sont des paires de transformées de Fourier dans l'équation (III.17), alors Ce résultat est appelé théorème de puissance des transformées de Fourier [19] L'intégrale globale du produit d'une fonction et le conjugué complexe d'une seconde fonction est égal à l'intégrale globale du produit de la transformation de la fonction et du conjugué complexe de la transformée de la seconde fonction dans l'équation (III.18).

$$\begin{aligned} \int_{-\infty}^{+\infty} s(t)g^*(t)dt &= \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} [S(f)e^{i2\pi ft} df]g^*(t)dt \\ &= \int_{-\infty}^{+\infty} S(f)[\int_{-\infty}^{+\infty} g(t)e^{-i2\pi ft} dt]^* df \\ &= \int_{-\infty}^{+\infty} S(f)G(f)^* df \end{aligned} \quad (III.17)$$

$$\int_{-\infty}^{+\infty} s(t)g^*(t)dt = \int_{-\infty}^{+\infty} S(f)G(f)^* df \quad (III.18)$$

III.3.2.3. Le théorème de Parseval

Le théorème de Parseval peut être déduit du théorème de puissance (équation III.18) en choisissant que $s = g$. Nous obtenons que la zone sous la valeur absolue carrée d'une fonction est la même que la zone sous la valeur absolue carrée de la transformée de Fourier de la fonction [19].

$$\int_{-\infty}^{+\infty} |s(t)|^2 dt = \int_{-\infty}^{+\infty} |S(f)|^2 df \quad (III.19)$$

III.3.2.4. Théorème dérivé

Le théorème dérivé indique la forme de la transformée de Fourier de la dérivée d'une fonction. Différencier, en ce qui concerne t , les deux côtés de l'équation (III.20)

$$s(t) = f\{S(f)\} = \int_{-\infty}^{+\infty} e^{i2\pi ft} S(f)df \quad (III.20)$$

Nous obtenons cela

$$\frac{ds(t)}{dt} = h^{(1)}(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} (i2\pi f)e^{i2\pi ft} S(f)df \quad (III.21)$$

Répétition de cette opération k fois rendant

$$\frac{ds(t)^k}{dt^k} = h^{(k)}(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} (i2\pi f)^k e^{i2\pi ft} S(f)df \quad (III.22)$$

D'autre part

$$\int_{-\infty}^{+\infty} (i2\pi f)^k e^{i2\pi f t} S(f) df = \mathcal{F}\{(i2\pi f)^k S(f)\} \quad (\text{III.23})$$

Prendre la transformé inverse de Fourier des deux côtés des équations (III.22) et (III.23) donne

$$\mathcal{F}^{-1}\left\{\frac{ds(t)^k}{dt^k}\right\} = (i2\pi f)^k S(f) \quad (\text{III.24})$$

Si une fonction est différenciée k fois, sa transformée de Fourier inverse est multipliée par $(i2\pi f)^k$. De même, on peut montrer que :

$$\mathcal{F}^{-1}\left\{\frac{d^k S(f)}{df^k}\right\} = (i2\pi t)^k S(t) \quad (\text{III.25})$$

III.3.3. Théorème de corrélation

L'intercorrélation entre deux fonctions $s(t)$ et $g(t)$ est défini comme :

$$x(t) = s(t) \circledast g(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} s^*(u - t) g(u) du = \int_{-\infty}^{+\infty} s^*(u) g(t + u) du \quad (\text{III.26})$$

La fonction d'intercorrélation est essentiellement différente de la fonction de convolution, car en intercorrélation, aucune des fonctions n'est repliée (pas de repliement spectral). Généralement l'intercorrélation n'est pas une fonction commutative :

$$s(t) \circledast g(t) \neq g(t) \circledast s(t) \quad (\text{III.27})$$

Le théorème de corrélation indique que si $s(t)$ et $S(f)$, et $g(t)$ et $G(f)$ ont des transformées de Fourier paires, alors

$$\begin{cases} \mathcal{F}\{S^*(f)G(f)\} = s(t) \circledast g(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} s^*(u)g(u + t)du \\ \mathcal{F}^{-1}\{s^*(t)g(t)\} = S(f) \circledast G(f) = \int_{-\infty}^{+\infty} S^*(v)g(v + f)dv \end{cases} \quad (\text{III.28})$$

La première fonction $S(f)$ du produit $S(f)G(f)$ est remplacé par son conjugué complexe $S^*(f)$. Le théorème de corrélation peut être vérifié soit par changement de variables d'intégration, soit par application la fonction de Dirac. Il peut également être dérivé du théorème de convolution [19].

III.3.4. Théorème l'intercorrélacion

Si l'intercorrélacion d'une fonction équation (III.26) est prise avec la fonction elle-même, l'opération s'appelle auto-corrélacion [19]. La fonction d'auto-corrélacion de la fonction $s(t)$

$$\text{est :} \quad a(t) = s(t) \otimes s(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} s^*(u-t)s(u)du \quad (\text{III.29})$$

Si on définit $S(f) = \mathcal{F}\{s(t)\}$ dans le théorème de corrélation (équation III.28), on obtient que

$$\mathcal{F}\{|S(f)|^2\} = s(t) \otimes s(t) \quad (\text{III.30})$$

De même

$$\mathcal{F}^{-1}\{|S(t)|^2\} = S(f) \otimes S(f) \quad (\text{III.31})$$

Ces équations sont le théorème d'auto-corrélacion des transformées de Fourier. Le spectre de puissance $|S(f)|^2$ du signal $s(t)$ est le carré du spectre d'amplitude $|S(f)|$. C'est la transformée de Fourier inverse de la fonction d'auto-corrélacion

$$|S(t)|^2 = \mathcal{F}^{-1}\{s(t) \otimes s(t)\} \quad (\text{III.32})$$

Le spectre de puissance est utilisé par contre le spectre de phase $\theta(f)$ peut être omis.

III.3.5. Développement chronologique de la méthode CEEMDAN

Généralement, le bruit affecte la quantification des coefficients d'ondelettes. La méthode du seuil d'ondelette, est capable de filtrer les signaux, afin de résoudre ce problème. Cependant, le procédé nécessite la prédéfinition des fonctions de base d'ondelettes. Théoriquement, son processus de filtrage n'est pas adaptatif. Récemment, Wu et Huang ont développé une méthode appelée décomposition empirique modal (EMD) pour analyser les données provenant de systèmes non stationnaires et non linéaires. Cet algorithme décompose le signal en une série de fonctions oscillatoires, connues sous le nom de fonctions de mode intrinsèque (IMF). Le puissant outil EMD adaptatif se comporte comme un banc de filtres dyadique et est utile pour filtrer le bruit dans les domaines de mesure. Cependant, l'EMD a des inconvénients, tels que le mélange de mode. Les oscillations de différentes amplitudes se trouvent dans un mode ou des oscillations similaires se rencontrent dans différents modes. Pour éviter ce problème, Wu et Huang ont proposés Ensemble EMD (EEMD), une méthode basée sur l'algorithme EMD. La méthode proposée suit une étude des caractéristiques statistiques du bruit blanc, ce qui implique une analyse assistée par un bruit. Cette dernière ajoute un bruit

blanc d'une distribution de fréquence uniforme dans EMD pour éviter le mélange en mode. Actuellement, les méthodes de filtrage basées sur l'EEMD sont disponibles. Toutefois, l'EEMD introduit de nouveaux problèmes, le bruit blanc ajouté n'est pas complètement éliminé, et différents modes peuvent être produits par l'interaction entre le signal et le bruit. Pour résoudre ces problèmes, l'Ensemble Empirique Décomposition Modal Complémentaire (CEEMD) a été introduite, l'IMF final peut être obtenu en faisant la moyenne des IMF produits dans la décomposition des EEMD pour les signaux ayant des valeurs positives et négatives des bruits blancs. Néanmoins, cette méthode nécessite un coût de calcul élevé et ne résout pas les Modes. Ainsi, l'EEMD complet avec bruit adaptatif (CEEMDAN) a été proposé. Cette méthode réduit la charge de calcul et surmonte les modes supplémentaires [20]. Il est judicieux avant d'éclaircir la CEEMD de donner un panorama des différentes méthodes qui ont précédé cette dernière.

III.3.5.1. Décomposition modale empirique (EMD)

L'EMD décompose d'une façon adaptative un signal en une somme de composantes oscillantes par l'utilisation d'un processus de tamisage. Chaque composante est une forme d'onde de moyenne nulle, modulée en amplitude et en fréquence nommée IMF (Intrinsic Mode Function) traduite par la fonction modale intrinsèque (Sifting Process) (Fig.III.3). Contrairement aux représentations temps-fréquence précédentes, la décomposition EMD est locale, itérative et entièrement pilotée par les données (Data driven approach) intrinsèque au signal. L'extraction des IMFs est non linéaire, mais leur recombinaison pour la reconstruction exacte du signal est linéaire. L'EMD a montré ses capacités comme outil d'analyse adaptative multi-échelles des signaux non-stationnaires [21].

III. 1.1. Principe de la décomposition

Le signal $x(t)$ peut alors s'écrire :

$$x(t) = \sum_{j=1}^N \text{IMF}_j(t) + r(t) \quad (\text{III.33})$$

Où $\text{IMF}_j(t)$ est la $j^{\text{ème}}$ oscillation, $r(t)$ est le résidu de la décomposition et N est le nombre d'IMFs. Même si la notion d'IMFs repose plus sur une intuition que sur une définition très rigoureuse, cette fonction doit respecter certains critères comme précisé ci-dessous. Une IMF (ou mode empirique) est une fonction telle que :

$$\text{IMF} : \begin{cases} R \rightarrow R \\ t \rightarrow \text{IMF}_j(t) \end{cases} \quad (\text{III.34})$$

Qui vérifie les conditions suivantes :

a) De moyenne nulle.

b) Les nombres d'extrema et de passages à zéro diffèrent au plus de un (en d'autres termes, cela signifie qu'entre un minimum et un maximum successifs, une IMF passe par zéro). Cette condition est nécessaire pour que la fréquence instantanée n'ait pas de fluctuations indésirables dues à l'asymétrie du signal. Les deux conditions précédentes assurent l'unicité du mode oscillatoire de l'IMF à chaque instant.

c) Une IMF suit une loi de modulation en amplitude et en fréquence (comportement oscillant) naturellement de type mono-composante [8].

III.1.2. Processus de tamisage

- Principe algorithmique

Les différentes étapes du procédé de tamisage peuvent s'écrire sous la forme du pseudo-code développé dans le tableau III.1. L'organigramme de la méthode EMD est représenté dans la figure III.4. Il est important de mentionner que le tamisage est répété plusieurs fois (i) jusqu'à ce que $h_{j,i}(t)$ vérifie les conditions nécessaires d'une IMF. Nous commentons les différentes étapes du pseudo-code (Tableau 1.1) en analysant la décomposition du signal suivant :

$$x(t) = \cos(20\pi t) + \cos(2\pi t) \quad (\text{III.35})$$

où t varie de 0 à 2 s (période d'échantillonnage de 10^{-3} s). Le signal est constitué de deux oscillations distinctes, l'une rapide et l'autre plus lente figure III.3 (a).

De manière plus littérale, l'extraction des IMFs suit le schéma général suivant (Tab. 1.1)

- Trouver les extrema locaux (maximum et minimum) du signal (étape 3b). Ceux-ci sont symbolisés par des points sur la figure III.3(b).
- Estimer les enveloppes supérieures et inférieures par interpolation respective des maxima et minima locaux (étape 3.c). Ceux-ci sont indiqués par les courbes de la figure (III.3(c)). L'interpolation utilisée dans ce cas est basée sur les splines cubiques.
- Estimer l'enveloppe moyenne locale à partir des enveloppes supérieures et inférieures (étape 3.d). Celle-ci est représentée sur la figure (III.3(d)) [1].

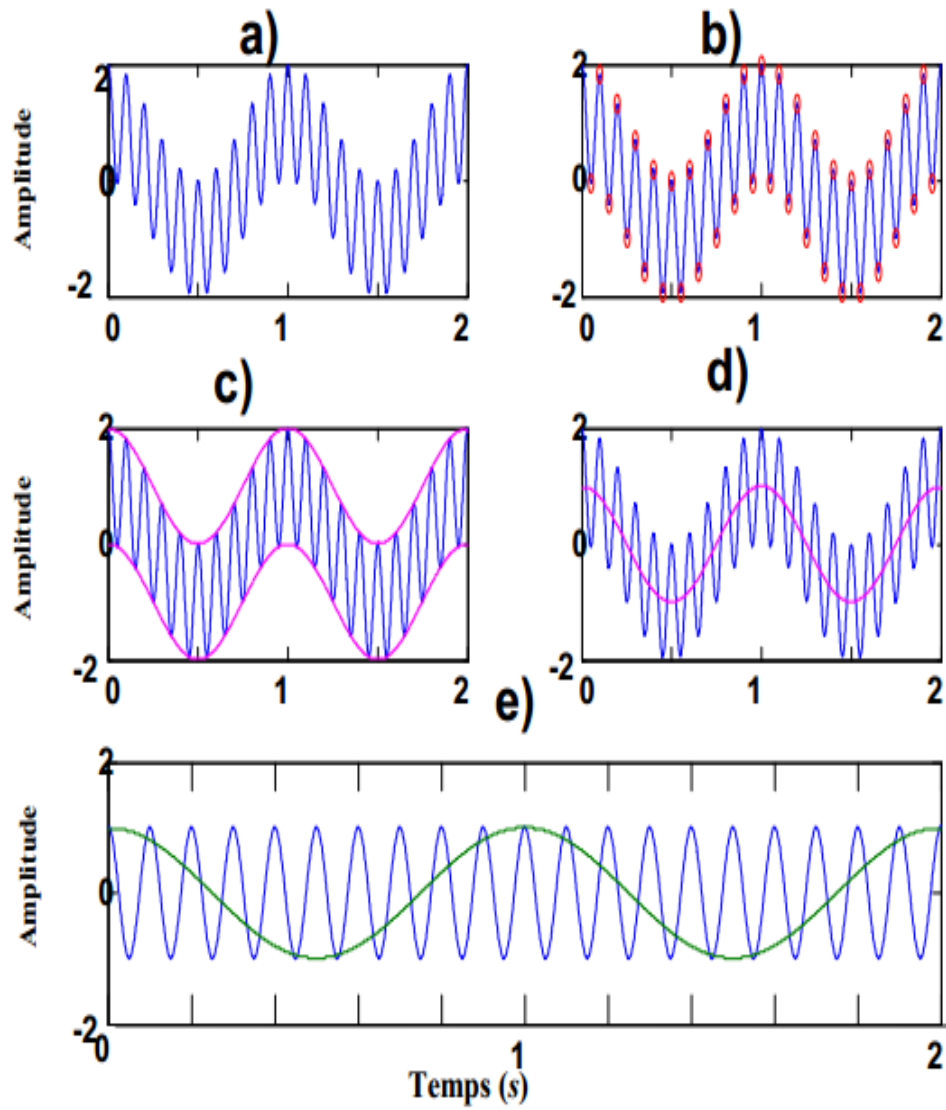


Fig.III.3. Principe de tamisage pour l'estimation de la 1^{ère} IMF du signal $x(t)$ [1].

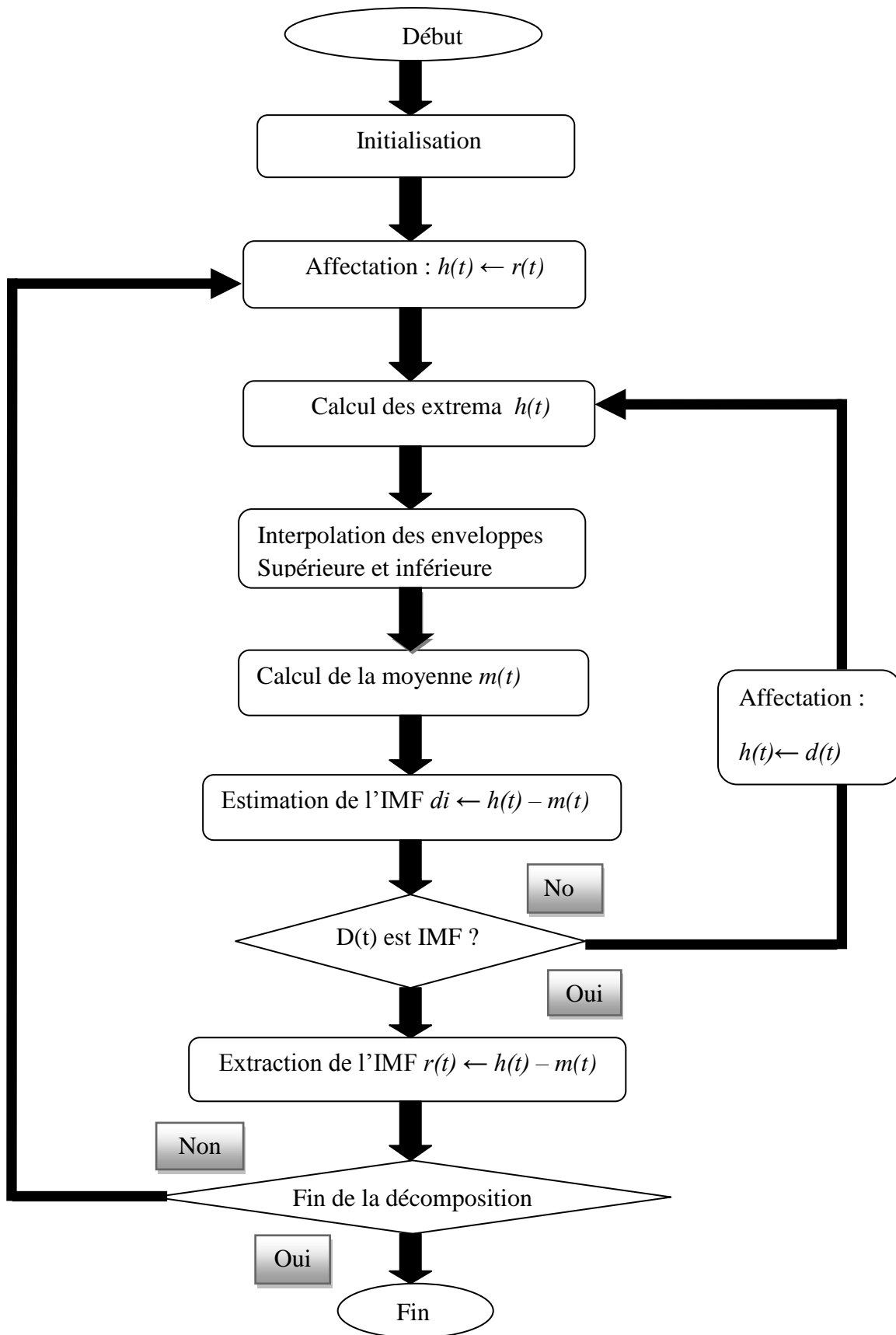


Fig.III.4. Algorithme de la méthode EMD [8].

Tableau III.1. Pseudo-code de l'EMD [13]

Etape	Instruction
1	Fixer ε , $j \leftarrow 1$ ($j^{\text{ème}}$ IMF) $\varepsilon=0.3$
2	$r_{j-1}(t) \leftarrow x(t)$ (résidu)
3	<p>Extraire la $j^{\text{ème}}$ IMF :</p> <p>(a) $h_{j,i-1}(t) \leftarrow r_{j-1}(t)$, $i \leftarrow 1$, (i, itération de la boucle de shifting)</p> <p>(b) Extraire les maxima et minima locaux de $h_{j,i-1}(t)$</p> <p>(c) Calculer les enveloppes supérieure et inférieure : $U_{j,i-1}(t)$ et $L_{j,i-1}(t)$</p> <p>(d) Calculer l'enveloppe moyenne :</p> $\mu_{j,i}(t) \leftarrow \frac{U_{j,i-1}(t) + L_{j,i-1}(t)}{2}$ <p>(e) Mettre à jour : $h_{j,i}(t) \leftarrow h_{j,i-1}(t) - \mu_{j,i-1}(t)$, $i \leftarrow i + 1$.</p> <p>(f) Calculer le critère d'arrêt (par exemple) :</p> $SD(i) = \sum_{t=0}^T \frac{ h_{j,i-1}(t) - h_{j,i}(t) ^2}{h_{j,i-1}(t)^2},$ <p>où T représente le nombre d'échantillons du signal.</p> <p>(g) Décider : répéter l'étape (b)-(f) tant que $SD(i) < \varepsilon$ et alors mettre :</p> $IMF_j(t) \leftarrow h_{j,i}(t) \text{ (} j^{\text{ième}} \text{ IMF)}.$
4	Mettre à jour le résidu : $r_j(t) \leftarrow r_{j-1}(t) - IMF_j(t)$.
5	Répéter l'étape 3 avec $j \leftarrow j + 1$ jusqu'à ce que le nombre d'extrema dans $r_j(t)$ soit inférieur à 2.

III.3.5. 2. L'Ensemble EMD

Un problème gênant associé à la méthode EMD est le mixage des modes dû à l'intermittence, défini comme un IMF unique composée d'échelles très disparates ou d'une Signal résidant

dans différentes composantes de l'IMF. Pour surmonter les imperfections de la méthode EMD, l'ensemble EMD (EEMD), est proposée. C'est une méthode assistée par bruit.

La méthode EEMD peut être énoncée comme suit:

$$1) \quad x(t) = x(t) + w_m(t), \quad m=1, 2, \dots, N \quad (\text{III.36})$$

$$2) \quad x(t) = \sum_{i=1}^L C_{m,i}(t) + r_{m,L}(t), \quad m=1, 2, \dots, N \quad (\text{III.37})$$

$$3) \quad x(t) = \sum_{i=1}^L C_{m,i}(t) + r_{m,L}(t), \quad m=1, 2, \dots, N \quad (\text{III.38})$$

Où $x(t)$ est le signal d'origine, $w_m(t)$ est le $m^{\text{ème}}$ bruit blanc ajouté. $x_m(t)$ est le signal bruité du $m^{\text{ème}}$ essai, $c_{m,i}(t)$ est le $i^{\text{ème}}$ IMF du $m^{\text{ème}}$ essai, L est le nombre des IMF's de la méthode EMD, et N le nombre total de la méthode EEMD.

La méthode EEMD ajoute du bruit blanc aux amplitudes finis du signal, en profitant suffisamment des caractéristiques statistiques uniformes du bruit blanc dans le domaine de fréquence, projette les différentes composantes fréquentielles du signal sur les bancs de fréquence correspondants et, en conséquence, surmonte efficacement le mélange en mode dû à l'existence de l'intermittence. Néanmoins, pour effacer le résidu du bruit blanc ajouté aux IMF's [22].

❖ Inconvénient de la méthode EEMD

Théoriquement, le bruit blanc ajouté est complètement éliminé par une décomposition utilisant un nombre d'essais très élevé (infini) qui pose un problème dans la méthode EEMD [1]. Ainsi, cette méthode possède deux inconvénients :

- Difficulté d'éliminer complètement du bruit.
- Grand temps de calcul.

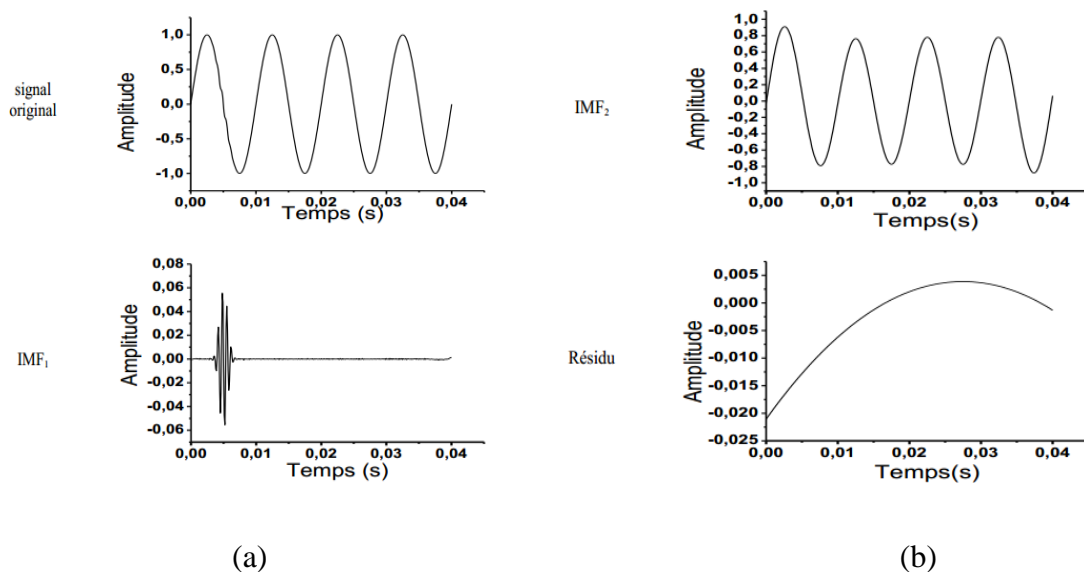


Fig.III.5. (a), (b). Décomposition EEMD du signal $x(t)$ [1].

III.3.5.3. La méthode CEEMD

Pour bien éliminer le résidu du bruit blanc ajouté qui est entaché aux IMF's de la méthode EEMD et augmenter l'efficacité de calcul, l'Ensemble Empirique Décomposition Modal Complémentaire (CEEMD) a été destinée à remplacer la méthode EEMD en tant que nouvelle version de la méthode EMD [22].

❖ Algorithme de la méthode CEEMD

Dans la méthode CEEMD, du bruit blanc gaussien est ajouté et soustrait au signal original pour générer des ensembles d'IMFs. Par conséquent, deux mélanges composés des données originales sont obtenus par :

$$\begin{bmatrix} M_1 \\ M_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} S \\ B \end{bmatrix} \quad (\text{III.39})$$

Où :

- S est le signal original.
- B est le bruit blanc gaussien ajouté.
- M_1 est la somme du signal original avec le bruit blanc gaussien ajouté.
- M_2 la différence entre le signal original et le bruit blanc gaussien.

Ainsi, les IMF's obtenues en additionnant du bruit blanc au signal contribuent à une série des IMF's contaminées par des résidus dus au bruit blanc gaussien ajouté.

De même, les IMF's obtenues en soustrayant du bruit blanc au signal contribuent à une autre série des IMF's contaminées des résidus dus au bruit blanc soustrait.

Les IMF's finales est la moyenne de l'ensemble des deux séries IMF's [1].

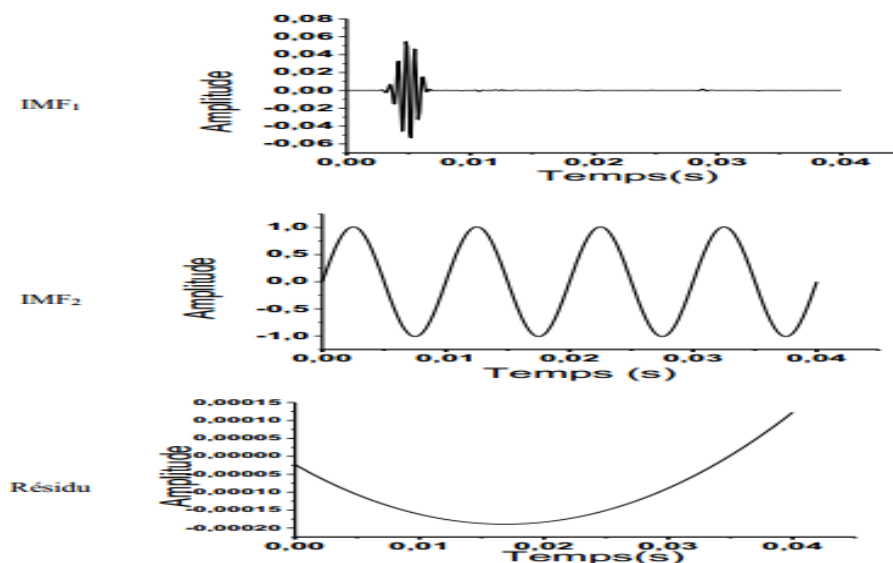


Fig.III.6. Décomposition CEEMD du signal $x(t)$ [1].

III.3.5. 4. La méthode CEEMDAN

La méthode CEEMDAN permettant une amélioration de l'algorithme EEMD qui décompose un signal avec un nombre d'essais N inférieur à celui obtenu par la méthode EEMD.

❖ Algorithme de la méthode CEEMDAN

La méthode précédente conduit à un nouveau problème, qui est la charge de calcul élevée dans la décomposition CEEMD. Pour réduire le coût de calcul et conserver la capacité d'éliminer le mélange en mode, un algorithme CEEMDAN est proposé [20]. Les étapes de décomposition du CEEMDAN sont les suivantes:

1) Décomposer le signal $x(t) + W_0 \varepsilon^i(t)$ pour obtenir le premier mode en utilisant l'algorithme EMD

$$C_1(t) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N C_1^i(t) \quad i \in \{1, \dots, N\} \quad (\text{III.40})$$

Où W_0 est l'amplitude du bruit blanc ajouté, et $\varepsilon(t)$ est le bruit blanc avec la variance unitaire.

2) Calculer le signal de différence;

$$r_1(t) = x(t) - c_1(t) \quad E \quad (\text{III.41})$$

3) Décomposer $r_1(t) + w_1 E_1(\varepsilon^i(t))$ pour obtenir le premier mode et définir le second mode

$$C_2(t) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N E_1(r_1(t) + w_1 E_1(\varepsilon^i(t))) \quad (\text{III.42})$$

4) Pour $k = 2, \dots, K$, calculez le $k^{\text{ième}}$ résidu et obtenez le premier mode.

Définissez le $(k + 1)^{\text{ième}}$ mode comme suit:

$$C_{k+1}(t) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N E_1(r_k(t) + w_k E_k(\varepsilon^i(t))) \quad (\text{III.43})$$

Où E_j est une fonction pour extraire le $j^{\text{ième}}$ IMF décomposé par EMD.

5) Répétez l'étape 4 jusqu'à ce que le résidu ne contienne pas plus de deux extrema. Le mode résidu est alors défini comme:

$$R(t) = x(t) - \sum_{k=1}^k C_k(t) \quad (\text{III.44})$$

Par conséquent, le signal $x(t)$ peut être exprimé comme suit:

$$x(t) = \sum_{k=1}^k C_k(t) + R(t) \quad (\text{III.45})$$

III.4.Conclusion

Les principales méthodes utilisées dans l'analyse des signaux de fuite ont fait l'objet de ce chapitre. Ces méthodes peuvent être classées en trois catégories : les méthodes de débruitage, les méthodes de détection et les méthodes de localisation. La méthode de débruitage CEEMDAN est une nouvelle technique appliquée récemment dans les domaines de détections de défaut particulièrement les défauts de roulements et coussinets. Elle est très bien adaptée à l'étude des signaux non-stationnaires et non-linéaire. L'analyse temps fréquence d'un signal a permis de combler les lacunes de la transformée de Fourier. Parmi les méthodes temps-fréquences les plus utilisées dans l'analyse des signaux de fuite on trouve la Transformée de Fourier rapide. L'analyse des signaux impose un choix judicieux de la méthode de débruitage, les détections et les méthodes de localisation. Les résultats des deux méthodes utilisées vont être analysés dans le prochain chapitre.

Chapitre IV

*Analyse des résultats
expérimentaux*

IV.1.Introduction

Après le bagage théorique que nous avons eu concernant la méthode CCEMDAN, cette dernière va être appliquée à nos signaux acquis par un banc essai qui a été réalisé à cet effet au niveau de notre laboratoire. Ce banc essai va être décrit, il est composé de deux parties : une partie hydraulique et une partie électrique. La partie hydraulique comporte certains éléments tels que (conduite, réservoir, une pompe...etc.), et la partie électrique comporte un étage de conditionnement de signaux. L'acquisition a été faite à base de deux capteurs de pression via un oscilloscope qui utilise une carte mémoire pour l'enregistrement des données.

La description va être donnée en bas.

IV.2.Système d'acquisition

Notre système de détection de fuites est basé principalement sur l'effet de la pression (capteur de pression) pour le captage et le conditionnement des signaux analogiques de pression, ainsi sur l'oscilloscope pour la visualisation et la numérisation des données avant la phase de traitement dans un PC sous Matlab.

IV.3. Chaîne d'acquisition

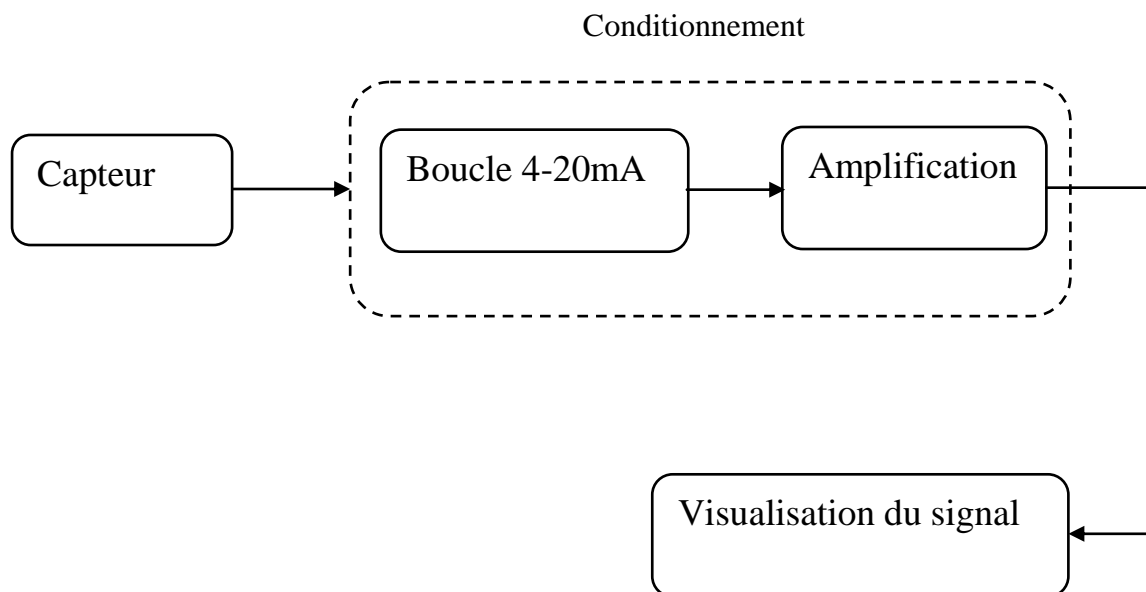


Fig. IV.1. La chaîne d'acquisition.

IV .3.1. Transmetteur de pression

On place les deux capteurs de pression avant et après la fuite telle que :

- La distance entre le capteur A et la fuite est de 3.61 m
- La distance entre le capteur B et la fuite est de 21.37m

❖ Caractéristiques

Selon les consignes du constructeur le transmetteur dispose de trois fils qui représentent :

- Noir → La sortie
- Blanc → La masse
- Rouge → Alimentation



Fig. IV.2. Capteur de pression.

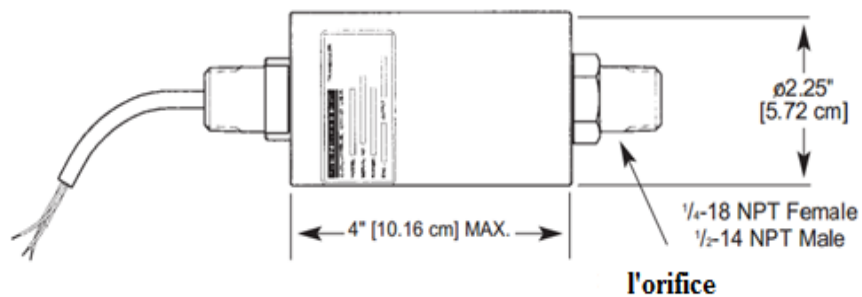


Fig. IV.3. Capteur de pression.

❖ **Spécifications techniques****Tableau. IV.1**

performance	Plage de pression Précision (min) Non linéarité (max) Hystérésis (max) Non adaptable (max) Sortie (std) résolution...	0-2 a10, 000psi ±0.25% F.S. ±0.15% F.S. ±0.10% F.S. ±0.05% F.S. 4-20mA Infini
Environnementale	Température, fonctionnement Température compensée Effet de température Zéro (max) Span (max)	0°F a180°F 60°F a160°F .01% F.S./°F .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 céramique	Gaz, liquide 50% capacité 1/4-18NPT female 1/2-14NPT male w/1 "Hex 17-4 PH inoxydable Calibre ou absolu acier inoxydable

❖ Etalonnage du transmetteur de pression

Pour étalonner le transmetteur de pression nous devons faire les tests suivants:

1. Alimenter le capteur de pression par une tension de 24 volts et fermer la sortie sur un milliampèremètre. Si le transmetteur est en bon état il doit indiquer 4mA quand il n'est pas soumis à aucune pression extérieure (c.-à.-d sous pression atmosphérique uniquement).
2. Je lie l'orifice du transmetteur à un ballon. Une fois presser sur le ballon ce qui veut dire donner une pression au transmetteur. Je règle la pression en agissant sur le ballon jusqu'à ce que le milliampèremètre indique la valeur de 20mA. Cette dernière doit correspondre à une certaine valeur de pression. Nous disons que notre transmetteur est étalonné si cette pression équivalente à 20mA correspond à la valeur maximale donner par le constructeur sur le corps du transmetteur.

IV .3.2. La boucle de courant 4-20 mA

La boucle de courant 4-20 mA est un moyen de transmission permettant de transmettre un signal analogique sur une grande 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 câble et résistance Figure (IV.4).

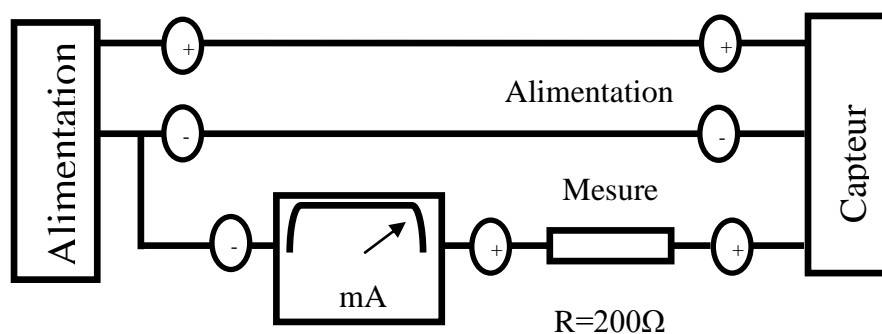


Fig. IV.4. Le câblage de la boucle.

❖ Réalisation de boucle 4-20mA

-Le capteur dispose de trois fils (blanc, noire et rouge) tel que le fil blanc doit être relié à la masse , le fil rouge est relié avec l'alimentation (+24 V) et le fil noir est mis en série

avec une résistance $R=200\Omega$. Cette dernière est aussi liée à l'ampèremètre ce dernier est attaché à la masse qui représente l'extrémité de la boucle 4-20 mA.

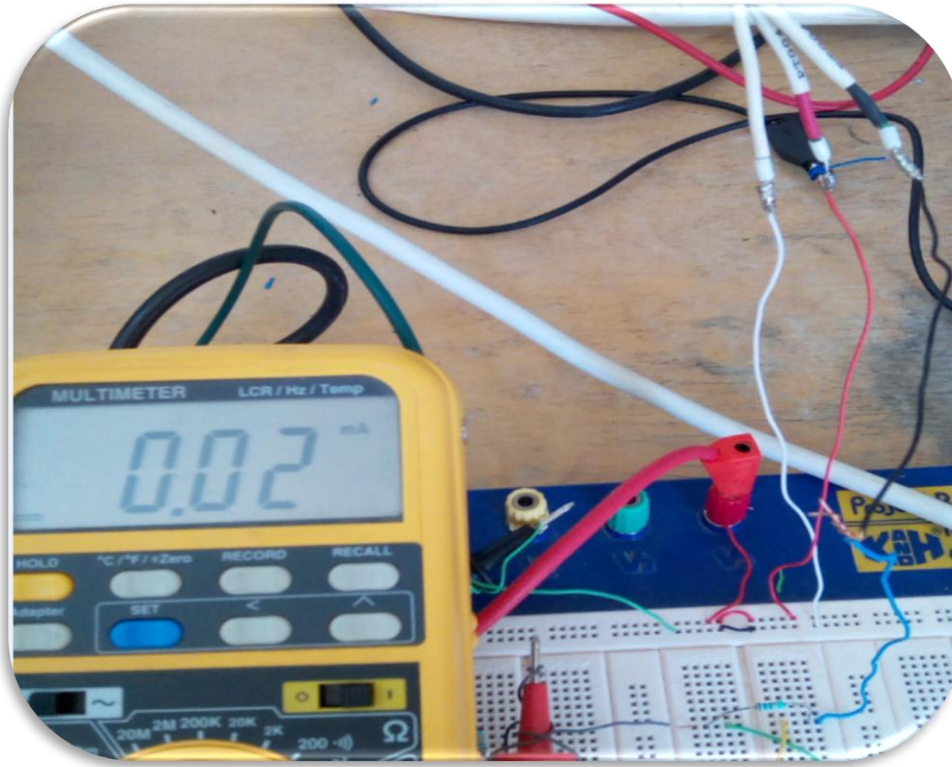


Fig. IV.5. La boucle 4-20 mA expérimental.

Avant d'appliquer la pression sur le capteur on l'alimente avec une tension de (+24 V). On mesure la valeur de courant sur l'ampèremètre, il doit donner un courant égale à 4mA, si on applique une pression P sur les deux capteurs, la valeur de courant augmente. Au fur et à mesure que la pression augmente

IV .3.3. Etage d'amplification

Les signaux électriques issus de capteurs sont généralement de faible niveau. Si l'on souhaite travailler avec une bonne précision, il est nécessaire de faire une amplification, donc on a besoin de réaliser un circuit d'amplification. Cette amplification se répercute aussi sur le signal utile. Pour amplifier le signal on a utilisé l'AOP, TL082 et les résistances ($R_1=2K$, $R_2=12K$, $R_3=R_4=1K$)

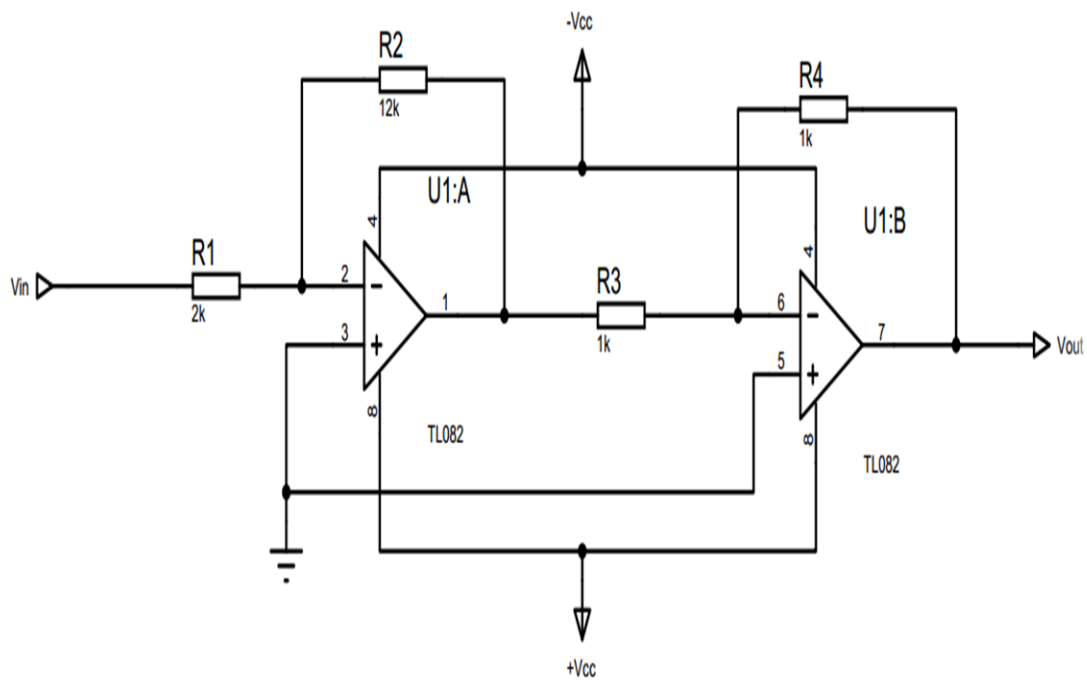


Fig. IV.6. Montage d'amplification des signaux des capteurs.

❖ Le premier étage (amplification)

$$V^- = \frac{V_{in} + \frac{V_{s1}}{R_2}}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}} = \frac{R_2 \times V_{in} + R_1 \times V_{s1}}{R_1 + R_2} \quad (\text{IV.1})$$

$$* V^+ = 0$$

$$* V^+ = V^- \longrightarrow \frac{R_2 \times V_{in} + R_1 \times V_{s1}}{R_1 + R_2} = 0 \longrightarrow$$

$$\frac{R_1}{R_2 + R_1} V_{s1} = -\frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{in} \quad (\text{IV.2})$$

$$V_{s1} = -\frac{R_2}{R_1} V_{in} \quad (\text{IV.3})$$

On pose : $R_1 = 2\text{k}\Omega$, $R_2 = 12\text{k}\Omega$.

Alors $V_{s1} = 6 V_{in}$

Par cet étage le signal de sortie est amplifié avec un gain égal à six et un déphasage de π

❖ Le deuxième étage (montage inverseur)

$$V^- = \frac{\frac{Vs1}{R3} + \frac{Vout}{R4}}{\frac{1}{R3} + \frac{1}{R4}} = \frac{R4 \times Vs1 + R3 \times Vout}{R4 + R3} \quad (IV.4)$$

* $V^+ = 0$

$$V^+ = V^- \longrightarrow \frac{R4 \times Vs1 + R3 \times Vout}{R4 + R3} = 0 \longrightarrow$$

$$\frac{R3}{R3 + R4} Vout = - \frac{R4}{R3 + R4} Vs1 \quad (IV.5)$$

$$Vout = - \frac{R4}{R3} Vs1 \quad (IV.6)$$

On pose. $R3 = 1k\Omega$, $R4 = 1k\Omega$.

$$\text{Donc } Vout = - Vs1 \longrightarrow Vout = \frac{R2}{R1} Vin \quad (IV.7)$$

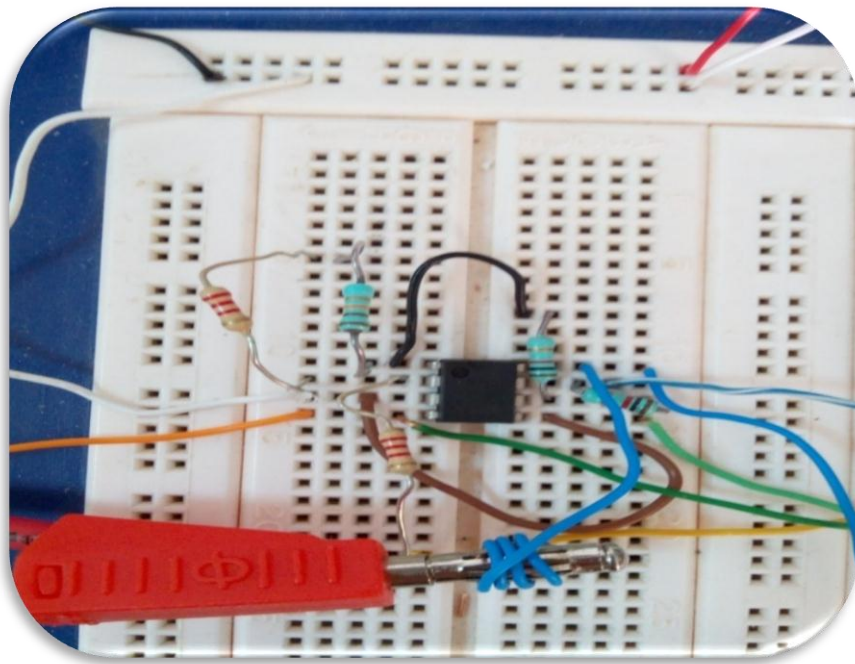


Fig. IV.7. Montage d'adaptation expérimental.

IV.4.Circuit hydraulique

Un circuit hydraulique a été réalisé à cet effet au niveau du laboratoire. Il est composé des éléments indiqués par la figure (IV.8).

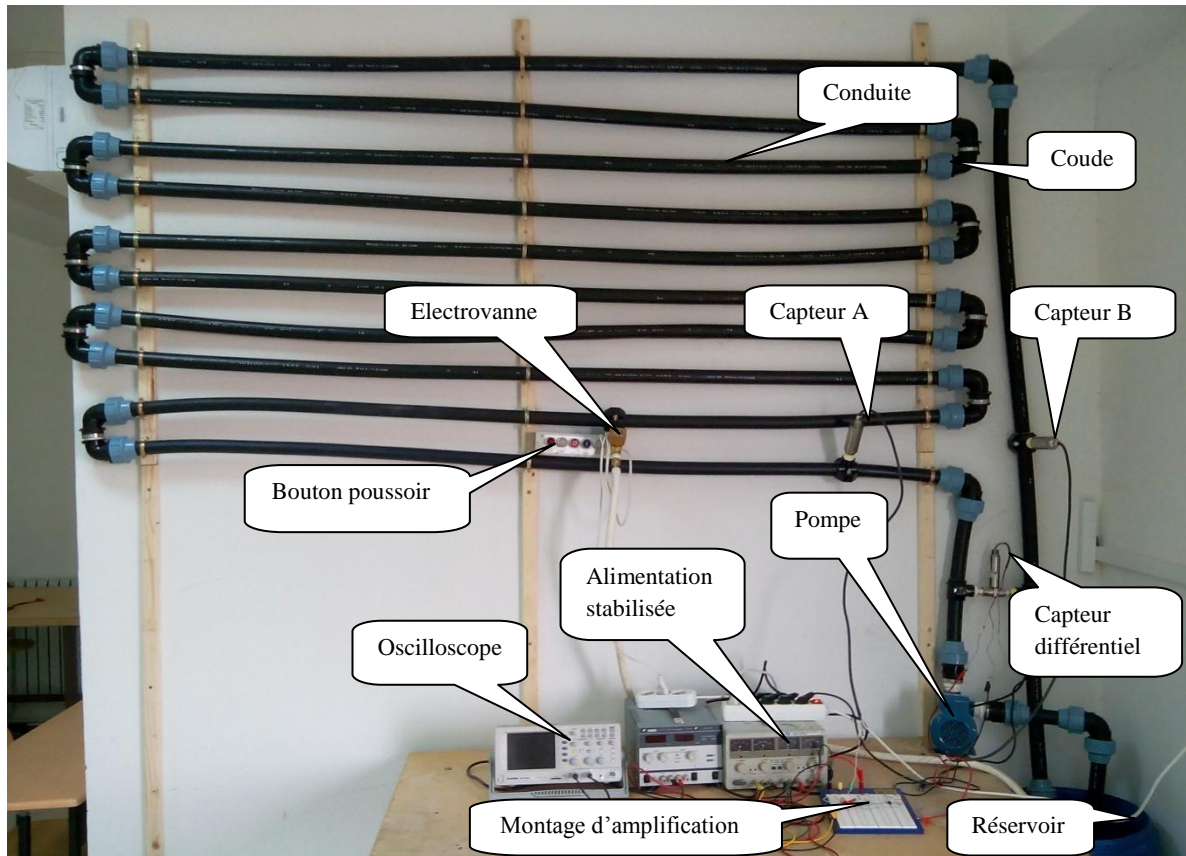


Fig. IV.8. Circuit hydraulique et électrique global.

4.1. Conduite

On a utilisé un tuyau en PVC

(Fig. IV.9) de diamètre de tuyau est

$\varnothing = 4\text{cm}$, avec une longueur de tuyau de 26m

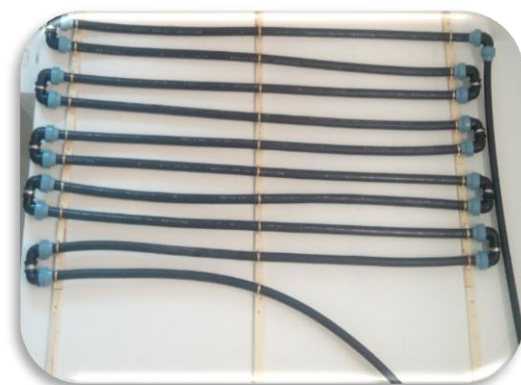


Fig. IV.9. Le canal prototype.

IV .4.2. Accessoires

Pour former un circuit hydraulique fermé on a besoin utiliser des coudes et des joints. Afin de fixer les tuyaux au mur on a utilisé également des colliers.

IV .4.3. Fuite d'eau

Pour simuler une fuite on a percé un trou d'un diamètre de 10 mm au niveau de la conduite.

IV .4.4. Electrovanne

Une électrovanne ou électrovalve est une vanne commandée électriquement. Grâce à cet organe il est possible d'agir sur le débit d'un fluide dans un circuit par un signal électrique Figure (IV.10)

- Une électrovanne d'une puissance de 8 watts avec un débit de 0 .7 bars fonctionnant sous une tension de 220V a été placée au niveau du trou percé à cet effet.

-Sa commande se fait à partir d'un bouton poussoir. Pour créer la fuite il suffit d'appuyer sur le bouton poussoir Figure (IV.11).



Fig. IV.10. Électrovanne.



Fig. IV.11. Bouton poussoir.

IV .4.5. Pompe

Une pompe d'eau de la marque (CALPEDA), ayant les caractéristiques suivantes :

- 1- Débit : $Q_{\min/\max} = 0,4/2,3 \text{ m}^3/\text{h}$
- 2- Puissance : 0,33 kw
- 3- Vitesse de rotation : 2900 tr/min

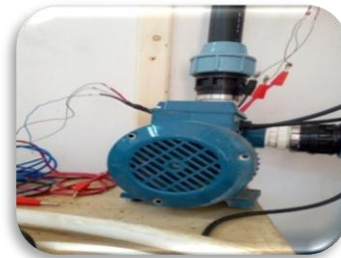


Fig. IV.12. La pompe.

IV .4.6. Réservoir

Un réservoir en plastique de capacité 100 litres est utilisée pour stocker l'eau qui circule dans le tuyau.



Fig. IV.13. Réservoir.

IV.5. Système de détection réalisé

Le système de détection de fuite que nous avons réalisé est composé de deux parties

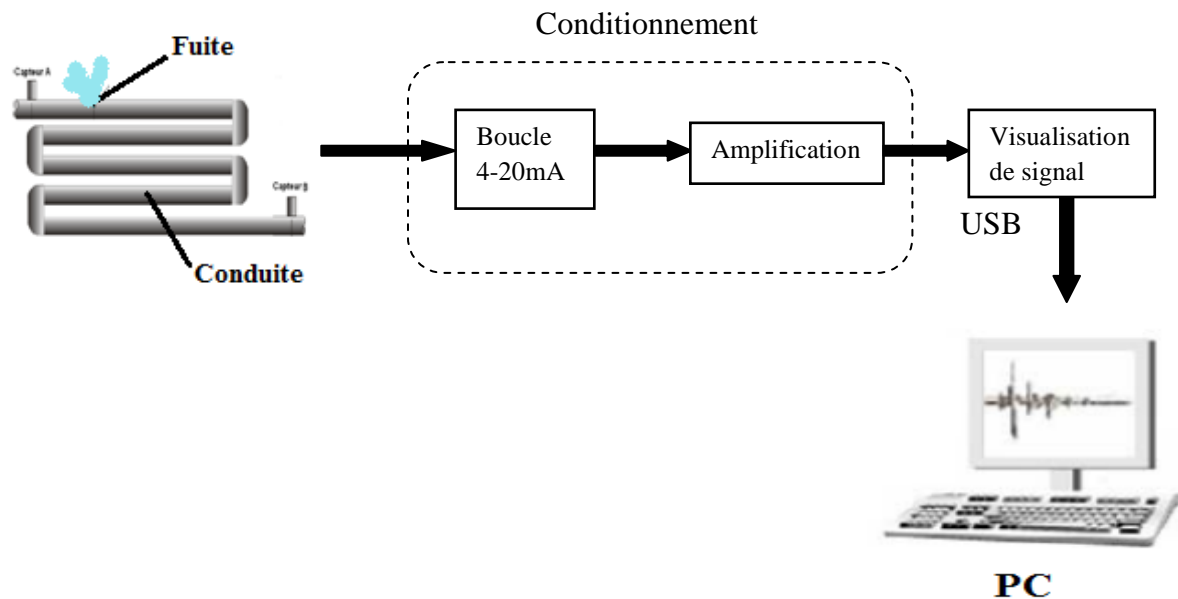


Fig. IV.14. Le circuit électrique du système d'acquisition réalisé.

Les signaux obtenus à partir des deux capteurs de pressions ou des transmetteurs sont basés sur des transducteurs. Ces derniers transforment le signal de pression en signaux électriques. Les signaux générés par les capteurs vont passer d'abord par la boucle 4-20mA, puis ils subissent une amplification pour rendre le signal exploitable. La liaison avec le PC est effectuée via une carte mémoire SD. Avant de faire l'enregistrement des signaux, on doit mettre en place la carte mémoire SD à l'endroit indiqué sur l'oscilloscope. Ensuite, on agit sur le bouton sauvegarde, puis une liste apparaît sur l'oscilloscope. Sur l'icône *signal configure*, on choisit la rubrique destination (c.à.d. l'endroit où le signal est sauvegardé), ensuite, nous agissons sur le bouton *sauvegarder* pour enregistrer le signal sous forme d'un fichier Excel. Les signaux stockés dans la carte seront utilisés ultérieurement.

IV.6. Résultats et discussions

Les signaux issus des capteurs de pression relevés auparavant seront traités en utilisant des différentes techniques permettant la détection et la localisation des fuites. Sachant les difficultés d'acquisitions des signaux portant l'information, nous avons mené à faire plusieurs acquisitions. La représentation des signaux temporels peut se faire en exploitant les données enregistrées dans un fichier Excel, en utilisant un programme élaboré sous MATLAB.

Après exécution du programme élaboré sous Matlab, les signaux temporels sont représentés par les figures ci-dessous

Les deux signaux temporels de pression provenant des deux capteurs pour une conduite sans fuite sont représentés par la figure (VI.15). On constate que ces signaux ont l'allure d'un bruit ayant une amplitude comprise entre -7 et 5 mV. En outre, ces acquisitions ont été prises sur une fenêtre temporelle de 800ms.

❖ Signaux sans fuite de la première acquisition

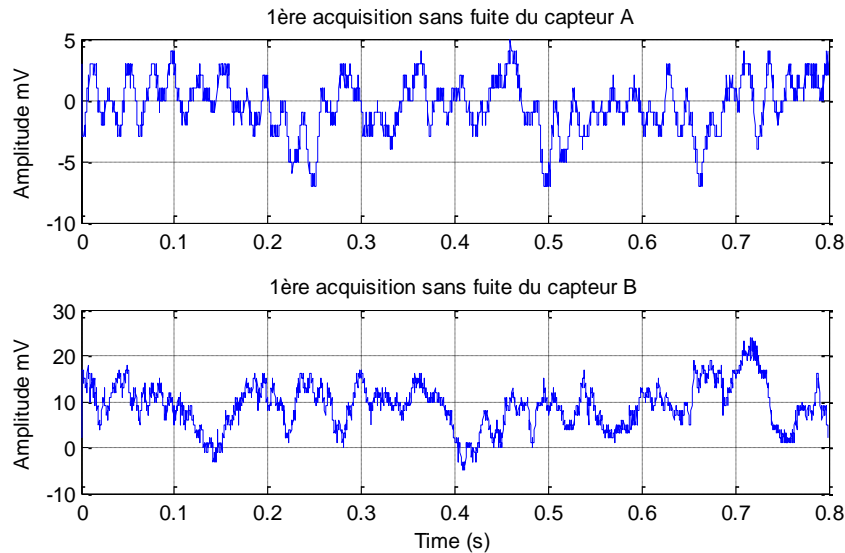


Fig. IV. 15. Signaux temporels sans fuite issus des deux capteurs de pression.

Pour avoir une idée générale de la forme des signaux temporels sans fuite une autre acquisition a été ajoutée (deuxième acquisition) des deux capteurs Figure (IV. 16).

❖ Signaux sans fuite de la deuxième acquisition

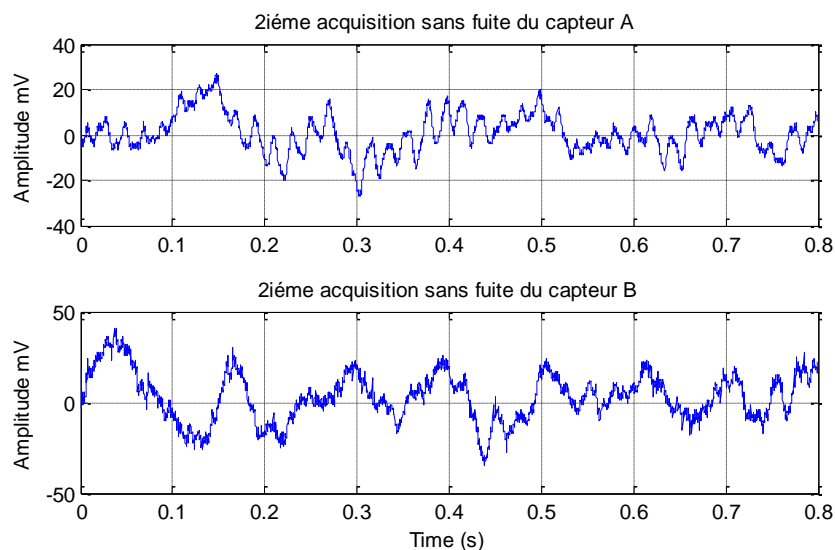


Fig. IV. 16. Signaux temporels sans fuite de la deuxième acquisition.

IV .5.1. Caractéristiques statistiques

Afin de connaître les caractéristiques statiques de nos signaux on a besoin de calculer la moyenne et l'écart type sur une fenêtre temporelle donnée. Pour confirmer le non stationnarité de nos signaux.

❖ Signaux issus du capteur A (1^{ère} et 2^{ème} acquisition)

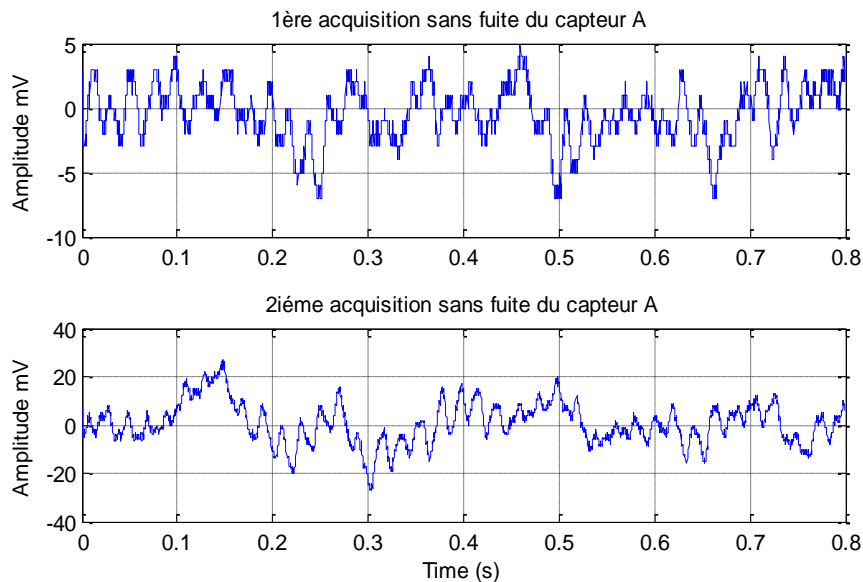


Fig. IV. 17. signaux temporels sans fuite issus de capteur de pression A.

M : Moyenne

σ : Ecart type

Tableau. IV.2

	M	σ
1 ^{er} acquisition	-0.4663	2.1824
2 ^{ème} acquisition	0.6963	8.6170

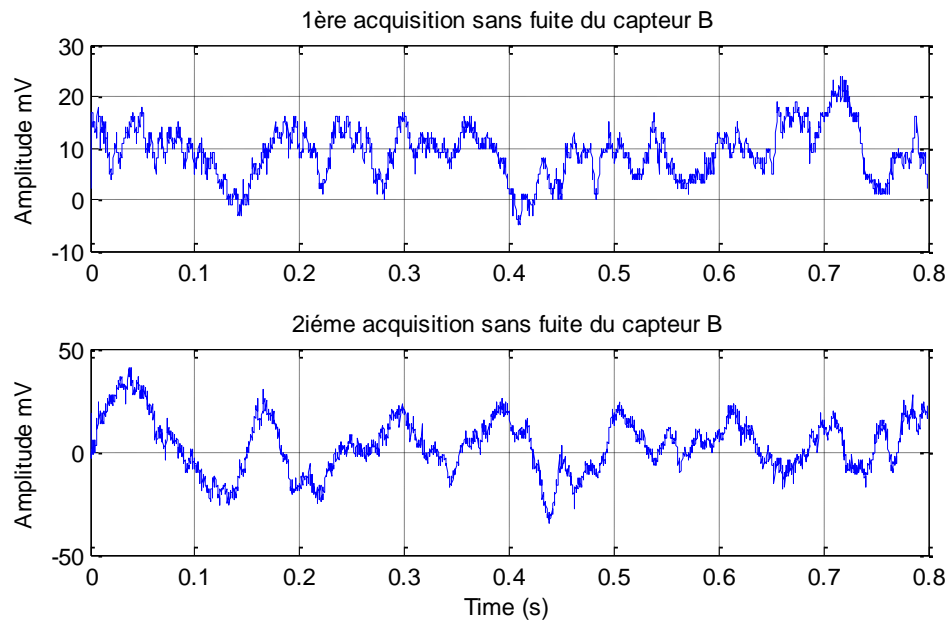
❖ Signaux issus du capteur B (1^{ère} et 2^{ème} acquisition)

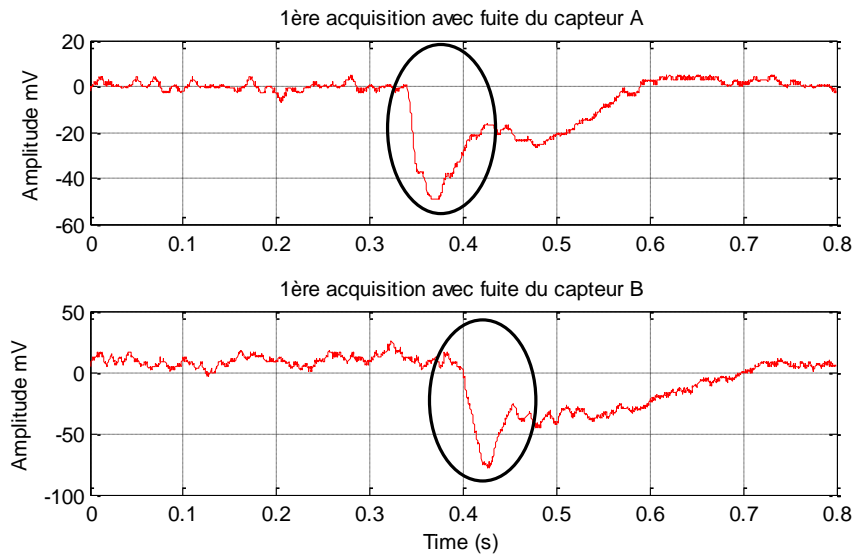
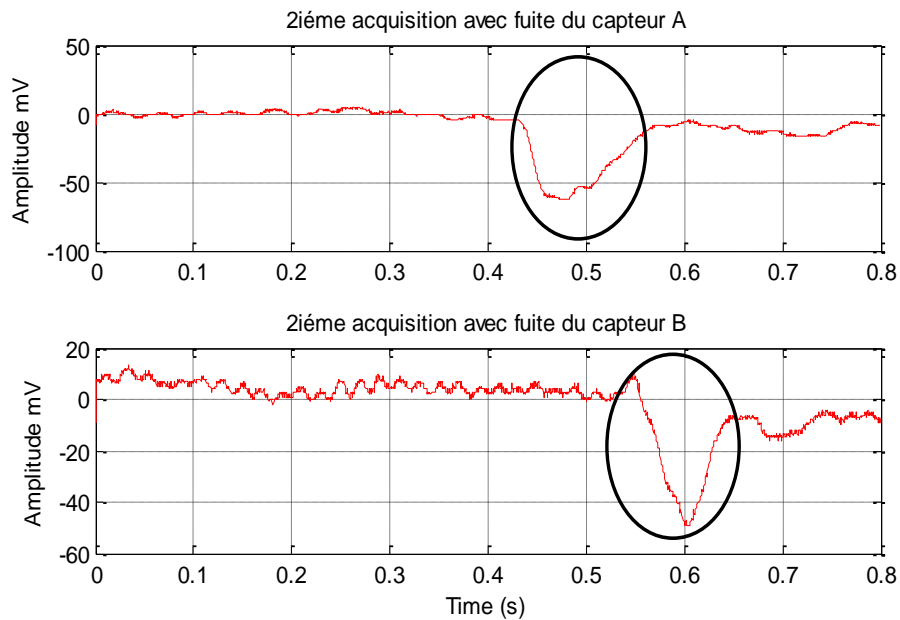
Fig. IV. 18. signaux temporels sans fuite issus de capteur de pression B.

Tableau. IV.3

	M	σ
1 ^{ère} acquisition	9.1487	4.8536
2 ^{ème} acquisition	3.0033	13.2281

On analysant les caractéristiques statistiques des signaux sans fuite des deux capteurs on constate que ces derniers sont des signaux non stationnaires.

Pour confirmer le non stationnarité de nos signaux avec fuite des deux capteurs on procède de la même façon. Deux acquisitions ont été choisies arbitrairement parmi les signaux acquis

❖ Signaux avec fuite de la première acquisition**Fig. IV.19.** Signaux avec fuite des deux capteurs, 1^{ère} acquisition.**❖ Signaux avec fuite de la deuxième acquisition****Fig. IV.20.** Signaux avec fuite des deux capteurs, 2^{ième} acquisition.

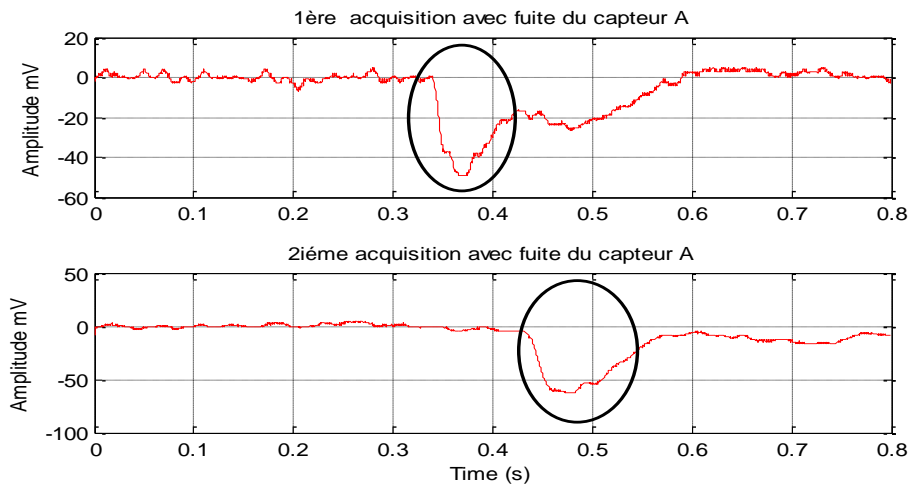
❖ Signaux avec fuite issus du capteur B (1^{ère} et 2^{ième} acquisition)

Fig. IV. 21. Signaux temporels avec fuite issus de capteur de pression A.

Tableau. IV.4

	M	σ
1 ^{ère} acquisition	-6.1952	12.4416
2 ^{ième} acquisition	-9.9965	16.2512

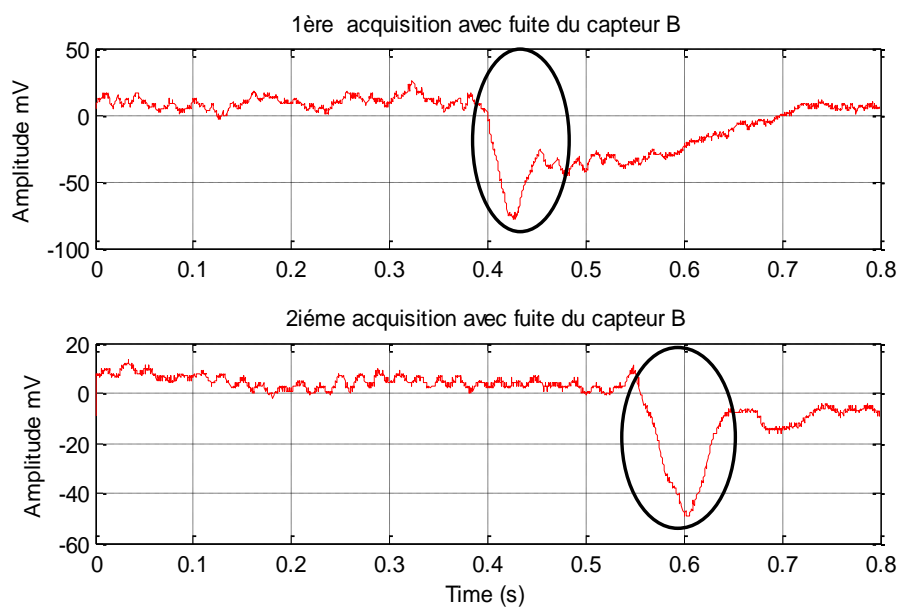
❖ Signaux avec fuite issus du capteur B (1^{ère} et 2^{ième} acquisition)

Fig. IV. 22. Signaux temporels avec fuite issus de capteur de pression B.

Tableau. IV.5

	M	σ
1 ^{ère} acquisition	-5.4108	21.1886
2 ^{ème} acquisition	-1.6105	11.6912

De la même manière on analysant les caractéristiques statistiques on constate que ces signaux sont des signaux non stationnaires.

IV .5.2. Application de la FFT

L'analyse temporelle des deux signaux ne peut pas nous renseigner ni sur la position de la fuite ni des composantes spectrales que comportent ces signaux. Dans ce but on a besoin de passer du domaine temporel au domaine fréquentielle en appliquant la FFT aux signaux sans fuite et avec fuite respectivement.

Pour ce faire la FFT va être appliquée sur les deux signaux avec fuite et sans fuite issus des deux capteurs A et B.

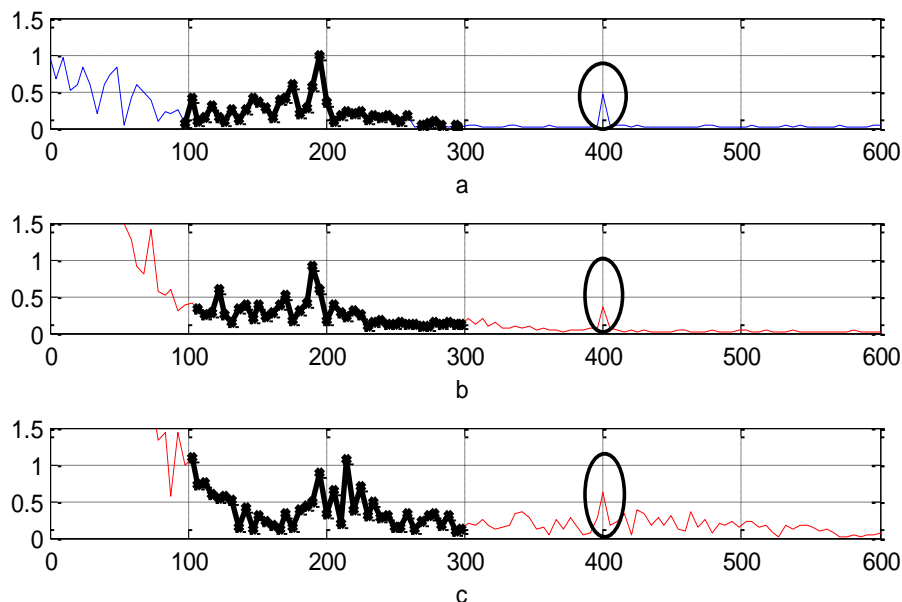


Fig. IV. 23. FFT des signaux issus.

(a) signal sans fuite capteur A ; (b), (c) signaux avec fuite des deux capteurs A et B.

Le spectre fréquentiel (FFT) des deux signaux avec et sans fuite des deux capteurs montre clairement qu'un phénomène se reproduit au niveau de la fréquence $f=400\text{Hz}$. Ainsi que la bande fréquentielle allant de 100 à 300Hz portant sûrement la fréquence de la fuite.

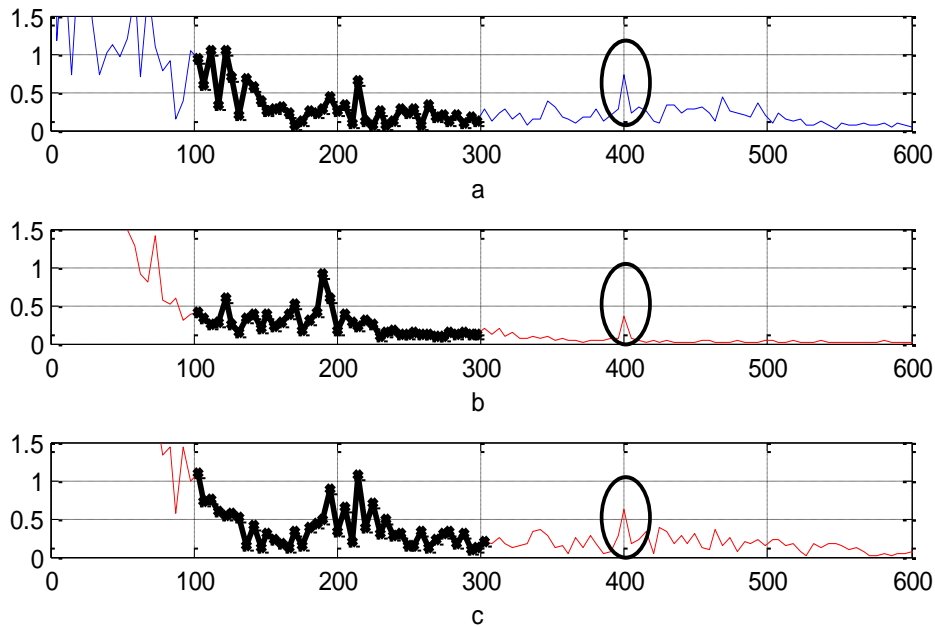


Fig. IV. 24. FFT des signaux issus.
(a) signal sans fuite capteur B; (b), (c) signaux avec fuite des deux capteurs A et B.

De la même façon, pour la confirmation de la position de la fuite on a opté pour un autre essai. On constate qu'à la fréquence 400 Hz un phénomène se reproduit et que la bande fréquentielle allant de 100 à 300 Hz comporte des pics parmi eux existe un pic représentant la fuite.

IV .5.3. Débruitage par la technique de décomposition

On applique la technique CEEMDAN sur chaque signal avec fuite issue des deux capteurs (capteur A et B) pour faire le débruitage des signaux. Après l'exécution d'un programme élaboré sous Matlab de cette technique, les résultats obtenus sont représentés par les Figures (IV.25) et(IV.26) ci-dessous.

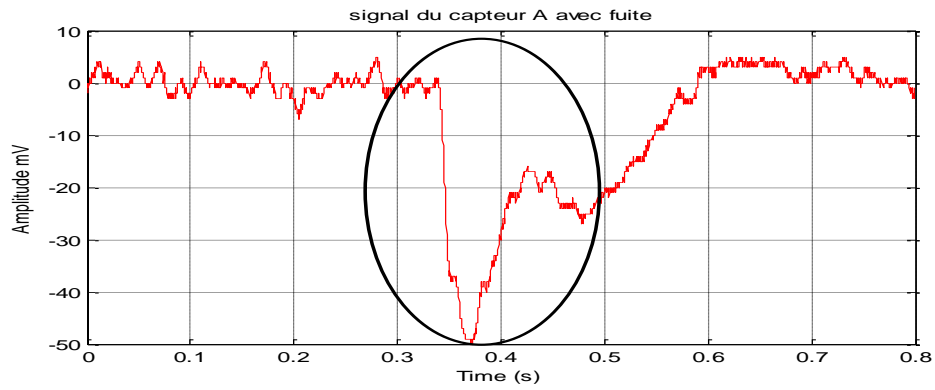


Fig. IV.25. Signal avec fuite du capteur A.

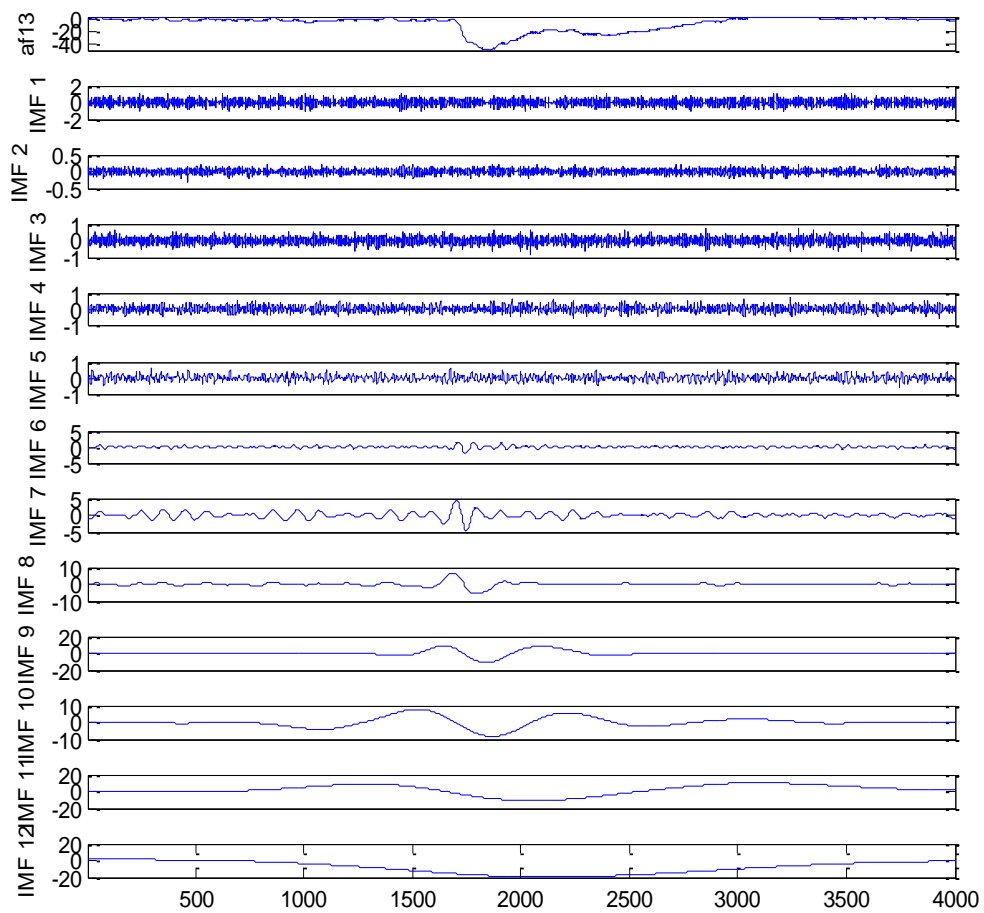


Fig. IV.26. Résultats de décomposition avec CEEMDAN du signal avec fuite issue du capteur A.

Après application de la technique CEEMDAN sur le signal avec fuite du capteur A, nous avons obtenus 12 IMFs. Après l'observation des IMFs obtenues par la décomposition, On

distingue que les IMFs de 1 jusqu'à 6, sont des signaux hautes fréquences; qui vont être éliminés. On doit reconstruire le signal à partir de l'IMF 7 jusqu' au 12, pour obtenir le signal de fuite débruité.

De la même façon, on applique la méthode CEEMDAN sur le signal issue du capteur B Figure (IV.28).

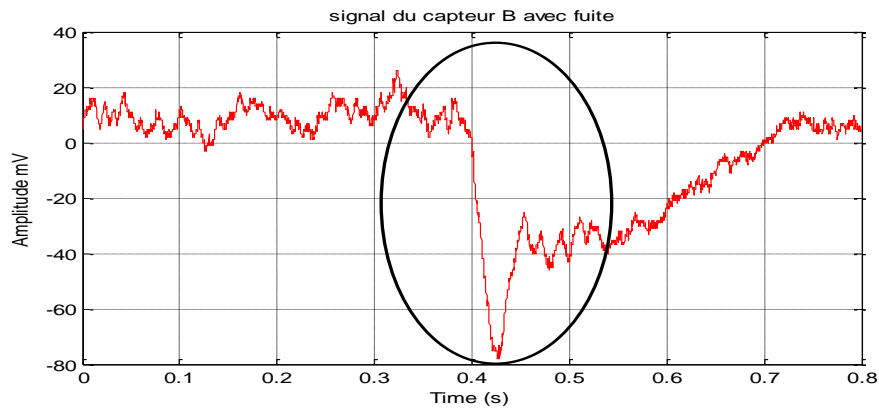


Fig. IV. 27. Signal avec fuite du capteur B.

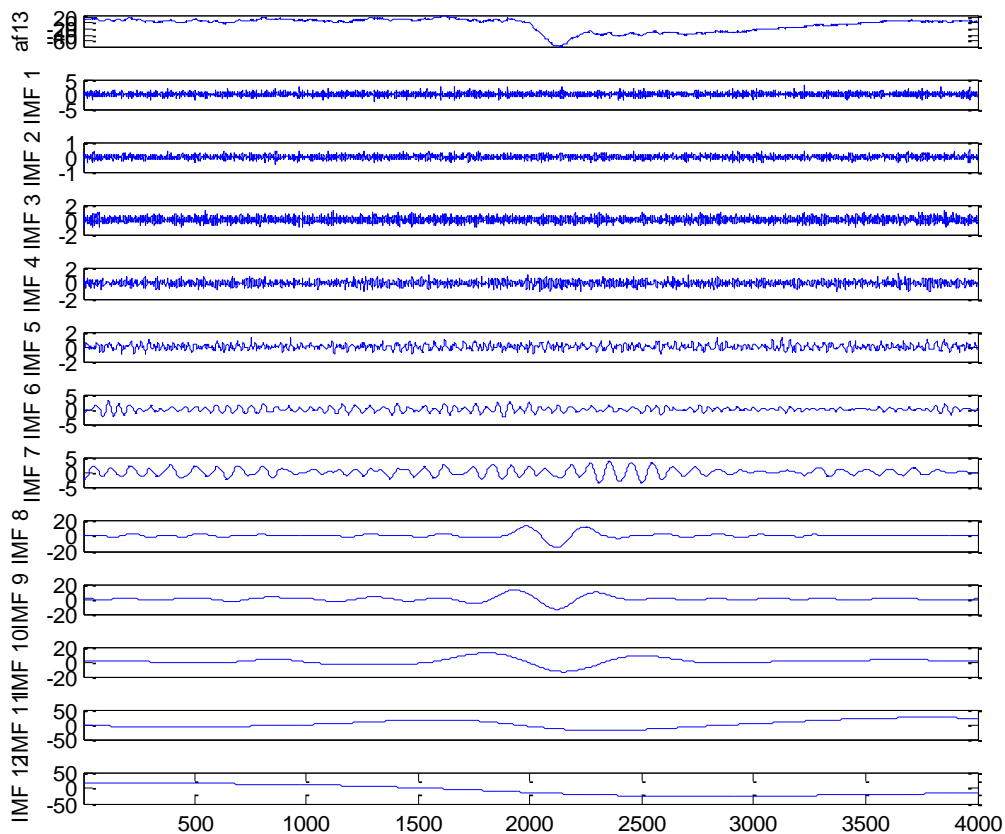


Fig. IV. 28. Résultats de décomposition avec CEEMDAN du signal avec fuite issue du capteur B.

De la même manière, on applique la technique de décomposition CEEMDAN sur le signal de fuite issue du capteur B. De la même façon on trouve 12 IMF, de l'IMF 1 jusqu'à l'IMF 6 ce sont des signaux hautes fréquence qui ne sont pas utiles. La reconstruction du signal débruité est obtenu par la sommation de l'IMF 7 jusqu'au 12 Figure (VI.28).

IV .5.4. Application de l'auto-corrélation

La méthode d'auto-corrélation pour la localisation de la fuite est appliquée sur les signaux débruités obtenus auparavant voir figure (IV.29).

Dans la littérature le débruitage par CEEMDAN s'effectue de la manière suivante :

- 1- Appliquer CEEMDAN au signal.
- 2- Choisir les IMFs utiles.
- 3- Additionner les IMFs de 7 à 12 pour obtenir le signal utile débruité. L'auto-corrélation des deux signaux après le traitement par l'CEEMDAN, nous permet de connaître la position exacte de la fuite à partir de la différence temporelle (τ_{delay}) entre les deux signaux. Ce dernier est obtenu à partir de l'équation (IV.8). L'exécution du programme d'auto-corrélation nous a donné les résultats représentés par les figures (IV.30) ci-dessous.

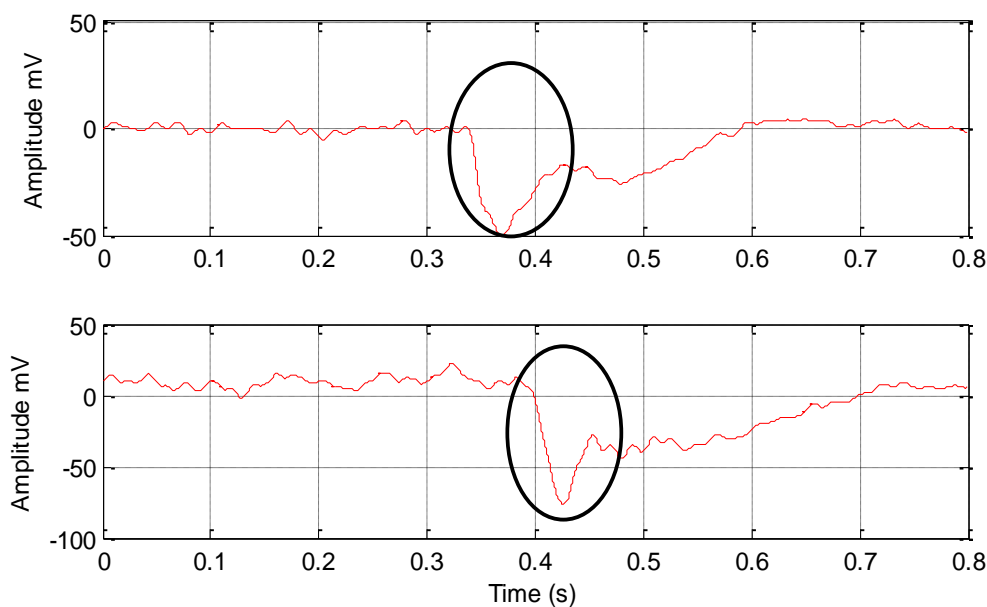


Fig. IV. 29. Signaux avec fuite débruités issues des deux capteurs A et B.

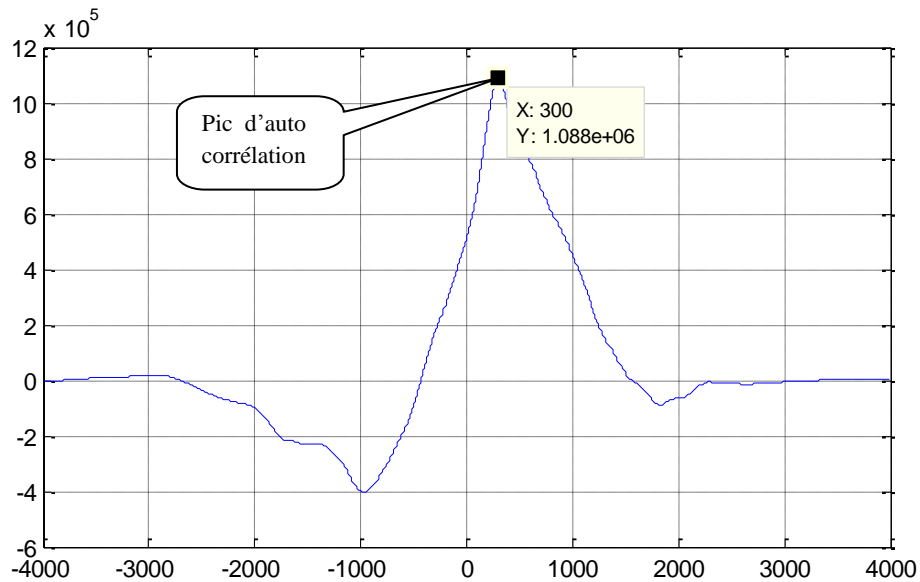


Fig. IV. 30. L'auto corrélation des deux capteurs.

Le signal du capteur B est en retard par rapport au signal du capteur A. L'auto-corrélation donne la différence temporelle entre les deux signaux et à partir de cette différence on calcule la distance entre la fuite et l'un des capteurs. Dans notre cas on a choisit le capteur A pour la localisation de la fuite.

IV .5.5. Localisation de la fuite

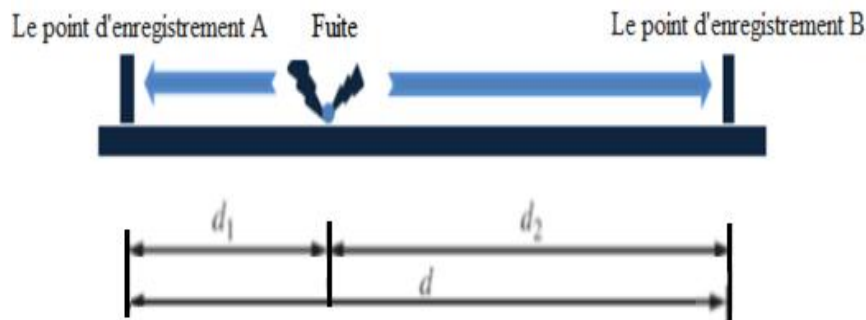


Fig. IV .31. L'expérience d'auto-corrélation.

Sachant que la distance

$$\begin{cases} d=d_1 + d_2 \\ d_1 = V \times t_1 \\ d_2 = V \times t_2 \end{cases} \tag{IV.8}$$

$$d_2 - d_1 = V (t_2 - t_1) = V \tau_{\text{delay}} \quad \longrightarrow \quad d_2 = d_1 + V \tau_{\text{delay}} \tag{IV.9}$$

$$\begin{aligned}
 d &= d_1 + d_1 + V \tau_{\text{delay}} \\
 &= 2 \times d_1 + \tau_{\text{delay}} \times V
 \end{aligned}
 \tag{IV.10}$$

En exploitant la relation (IV.11) et les caractéristiques de la conduite tel que la matière, les diamètres intérieure et extérieure, la densité volumique du fluide (l'eau dans notre cas), le facteur de Young ont permis de calculer la vitesse de propagation V pour obtenir la position exacte de la fuite par rapport au capteur A. En outre, le τ_{delay} est obtenu par l'application d'un programme élaboré sous Matlab.

d : Longueur de canal prototype est 26 mètres

τ_{delay} : Timediff est égale à 0.0602 s

V : Vitesse de propagation 311.63 m/s

$$d_1 = \frac{1}{2} (d - \tau_{\text{delay}} \times V) \tag{IV.11}$$

L'application numérique a permis d'obtenir la position exacte par rapport au capteur A

$$\begin{cases}
 d_1 = \frac{1}{2} (26 - 0.0602 \times 311.63) \\
 d_1 = 3.61 \text{ m}
 \end{cases}
 \tag{IV.12}$$

IV.6. Conclusion

CEEMDAN est une technique très récente spécialisée pour l'analyse des signaux non linéaires et non stationnaires. Dans notre travail cette technique a été appliquée sur les signaux de fuite d'eau issue des réseaux de distribution pour pouvoir analyser les fuites qui surviennent sur ces derniers. En premier lieu la technique FFT a montré son incapacité dans la détection. Parmi les différentes méthodes utilisées pour le débruitage des signaux de fuites, nous avons trouvé que CEEMDAN est efficace à cet effet. L'application de l'auto-corrélation a été utilisée par la suite pour la localisation.

Conclusion générale

Conclusion générale

Le travail présenté dans ce mémoire a été consacré à la détection et la localisation de fuite. A cet effet, on a utilisé la technique : CEEMDAN, la FFT et l'auto corrélation. Cette étude découle des progrès technologiques importants qui ont été enregistrés ces dernières années. De telle sorte que l'intérêt de la détection des fuites sur canalisations est devenu une nécessité incontournable.

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

Cette technique qui porte le nom CEEMDAN est appelée Mode Empirique de l'Ensemble Complémentaire Décomposition a été proposée récemment comme méthode d'analyse du signal. CEEMDAN permet de décomposer un signal non stationnaire et non linéaire en un ensemble de signaux mono composante dite IMF. Il permet d'estimer l'amplitude et la fréquence instantanée pour chaque composante. Cette technique innovante et plus avantageuse pour la débruitage des singularités des signaux par rapport aux autres techniques d'analyse de signaux non linéaires et non stationnaires telles que la transformée en FFT, STFT, WT...etc.

Pour aborder le problème des fuites, il a bien fallu évoquer dans le premier chapitre quelques généralités sur les signaux, suivi définitions sur des signaux issus des capteurs de pression. On a introduit dans le deuxième chapitre les différentes techniques utilisées dans le domaine de détection de fuites. Dans le troisième chapitre une étude détaillée de la nouvelle technique (CEEMDAN) a été présentée ainsi que la FFT et en appliquant ces dernières sur des signaux bruités réels. Ensuite on applique sur les signaux débruité l'auto corrélation.

Enfin le quatrième chapitre est réservé a l'application des trois techniques pour la validation de la méthode choisis sur des signaux de fuite réels acquis sur un canal prototype réalisé au le laboratoire. Les résultats obtenus ont montrés les performances de la technique employée.

Références bibliographiques

- [1] Mohguen, W., Améliorations de la méthode EEMD, magister communication, université ferhat abbas, setif, 2014.
- [2] Haouassi, A., mise en œuvre de la technique de cepstre et son application sur la détection de fuites d'eau, mémoire de master, université Mohamed Boudiaf, juin 2011.
- [3] 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.
- [4] Ghazali, M.F., Leak detection using instantaneous frequency analysis, University of Sheffield, 2012.
- [5] Walski, T. M., al, advanced water distribution modeling and management, haested press, USA, haested methods, 2003.
- [6] Daoudi, A., Benbrahim, M., and Benjelloun, K., An Intelligent System to Classify Leaks in Water Distribution Pipes, proceedings of world academy of science, 2005
- [7] 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.
- [8] HAFSI, L., Application de la technique EMD pour l'analyse des données des signaux de fuite dans les réseaux de distribution d'eau, mémoire de master, université Mohamed Boudiaf, M'sila, 2016.
- [9] Capteurs de pression, preso. Numericable.fr/cira/pdf/cours/Instrumentation/pression.pdf.
- [10] Philippe, M., faisabilité d'un capteur de pression capacitif miniature sur silicium, thèse docteur, l'université paul sabatier, toulouse, 1998.
- [11] Merabet, K., étude et simulation d'un capteur de pression capacitif au silicium, mémoire de magister, 2010.
- [12] process pressure measurement, <file:///C:/Users/micro%20star/m%C3%A9moire/donner%20de%20prof/Process%20Pressure%20Measurement.htm>
- [13] généralité sur les Capteurs, physiquemangin. pages.perso-organger.fr/BTSSE/cours/capteursetudiant.pdf.
- [14] GOMILA, C., GUERREE, H., La distribution d'eau dans les agglomérations urbaines et rurales, 2^{ème} édition Paris, 19.

- [15] M CADOR, J., Le renouvellement du patrimoine en canalisation d'eau potable en France, Université de Caen Basse Normandie, juin 2002. p.14-18.
- [16] L'EAU POUR LE COMPTE DU MEDD (Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable), Inventaire et scénario de renouvellement du patrimoine d'infrastructures des services publics d'eau et d'assainissement. Rapport final et synthèse, avril 2002 Kanada.
- [17] Cazauran, X., Pioger, J., Détection de fuite : méthodes directes et indirectes, CETIM (Centre Technique des Industries Mécaniques) Pôle Technologies de l'Etanchéité 74 route de la Jonelière, 44326 Nantes, 15 octobre 2009.
- [18] Muhammad F. K., B.Sc., M.Sc., empirical analysis for non-stationary signal de-noising, de-trending and discrimination applications, mémoire de Doctorat, Université de Ryerson, Toronto, Ontario, Canada, 2014.
- [19] Jyrki, K., Jari, P., Fourier Transforms in Spectroscopy, WILEY-VCH Verlag Berlin GmbH (1st edition), Berlin, 2001.
- [20] Chengwei, L., Liwei Z., and Liqun S., Friction Signal Denoising Using Complete Ensemble EMD with Adaptive Noise and Mutual Information, Harbin 150001, E-Mails: cwlhit@163.com (C.L.); shenliqun@hit.edu.cn (L.S.).
- [21] Mahgoun, H., analyse non stationnaire des signaux vibratoires dans la surveillance des machines et la prévention des défaillances, Thèse de doctorat, Université Ferhat Abbas, setifufas, 2013.
- [22] Jinshan, L., Improved Ensemble Empirical Mode Decomposition and its Applications to Gearbox Fault Signal Processing, IJCSI International Journal of Computer Science Issues, Vo 9, 6, November 2012, 1694-0814.

Annexe-1-

TL082 Wide Bandwidth Dual JFET Input Operational Amplifier

Check for Samples: [TL082-N](#)

FEATURES

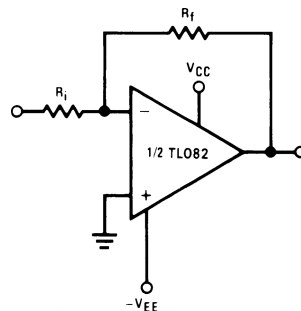
- Internally Trimmed Offset Voltage: 15 mV
- Low Input Bias Current: 50 pA
- Low Input Noise Voltage: 16nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$
- Low Input Noise Current: 0.01 pA/ $\sqrt{\text{Hz}}$
- Wide Gain Bandwidth: 4 MHz
- High Slew Rate: 13 V/ μs
- Low Supply Current: 3.6 mA
- High Input Impedance: $10^{12}\Omega$
- Low Total Harmonic Distortion: $\leq 0.02\%$
- Low 1/f Noise Corner: 50 Hz
- Fast Settling Time to 0.01%: 2 μs

DESCRIPTION

These devices are low cost, high speed, dual JFET input operational amplifiers with an internally trimmed input offset voltage (BI-FET II™ technology). They require low supply current yet maintain a large gain bandwidth product and fast slew rate. In addition, well matched high voltage JFET input devices provide very low input bias and offset currents. The TL082 is pin compatible with the standard LM1558 allowing designers to immediately upgrade the overall performance of existing LM1558 and most LM358 designs.

These amplifiers may be used in applications such as high speed integrators, fast D/A converters, sample and hold circuits and many other circuits requiring low input offset voltage, low input bias current, high input impedance, high slew rate and wide bandwidth. The devices also exhibit low noise and offset voltage drift.

Typical Connection



Connection Diagram

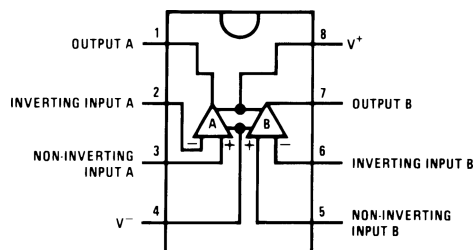


Figure 1. PDIP/SOIC Package (Top View)
See Package Number D0008A or P0008E



Please be aware that an important notice concerning availability, standard warranty, and use in critical applications of Texas Instruments semiconductor products and disclaimers thereto appears at the end of this data sheet.

BI-FET II is a trademark of dcj_owner.

All other trademarks are the property of their respective owners.

Annexe-2-

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

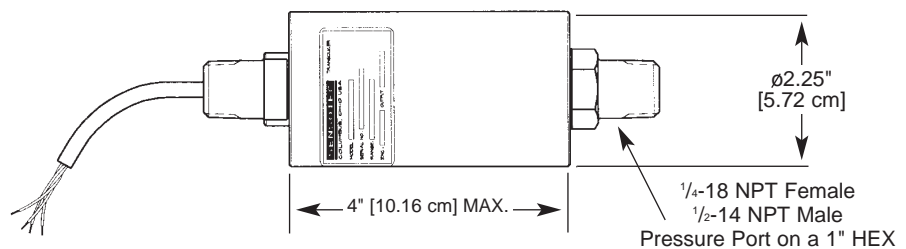
MECHANICAL

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

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)

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

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 output 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.

Calibration Data Sheet

SENSOTEC

CERTIFICATE OF CALIBRATION

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

WIRING CODE

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

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:

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

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.			
	#1	#2	#3
	#4	#5	#6
	#7	#8	#9
OPTION 2c	Voltage amp. (Vehicle powered) 0-5 VDC with 11-28 VDC supply @ 25mA		
	#14	#15	#16
OPTION 2t	Voltage amp. 0-10 VDC with 15-28 VDC supply @ 40mA		
	#46	#47	#48
OPTION 2j	Current amp. (3wire, 4-20mA) with 22-32 VDC supply @ 65mA		
	#17	#29	#18
	#19	#20	#21
OPTION 2k	Current amp. (2-wire, 4-20mA), Not FM approved		
	#22	#23	S
OPTION 2n (2N)	Current amp. (2-wire, 4-20mA), FM approved		
	#22	#23	S

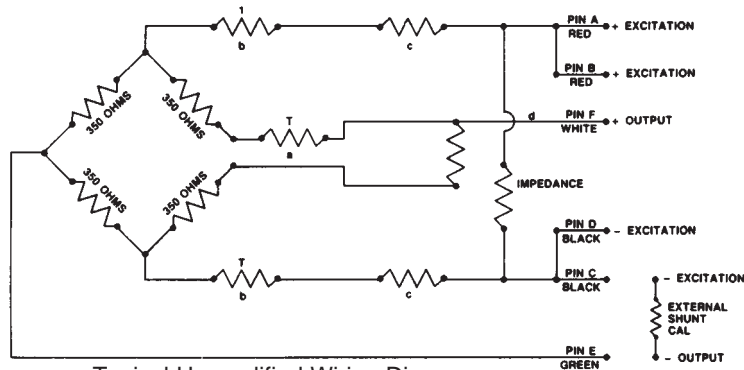
* Interconnecting shunt cal. 1 terminal with shunt cal. 2 terminal (see wiring code) provides 50% (unamplified units) or 75% (4-20mA 3 wire only), .80% (voltage amp) of full scale output for quick calibration.

** 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. $\pm 15\text{VDC}$) 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.



Typical Unamplified Wiring Diagram

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

- #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*

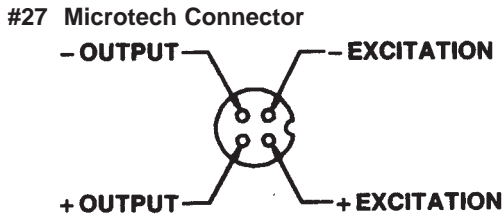
- #21 Cable/3 wire current, 4-20mA/
Int. Shunt Cal/Submersible**
 Red (+) Supply
 Brown, Output common/
 Green Supply return (Internal Connection)
 Orange (+) Output (4-20mA)
 Blue Shunt Cal 1*
 Yellow Shunt Cal 2*

- #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*

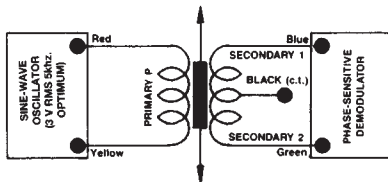
- #25 Connector/Frequency Output/
Internal Shunt Cal**
 A (+) Supply
 B, C Output common/Supply return
 (Internal Connection)
 D (+) Output
 E Shunt Cal 1*
 F Shunt Cal 2*



#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

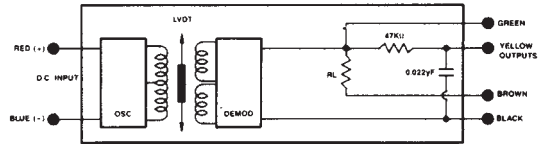
* Must be floating output common = 1/2 supply voltage

- #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

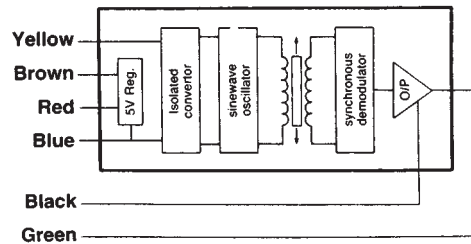
Cable shield is not connected to transducer.



- #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

No Output

Action/Troubleshooting

Verify correct wiring
 Verify excitation per calibration sheet.
 Make sure pressure, load, etc. is being applied.
 Check strain gage bridge for continuity per calibration sheet.

Erratic/Intermittent Output or Zero Drift

Check electrical connections for discontinuity or damage.
 Check for isolation resistance between bridge wiring and transducer body.
 Make sure pressure, load, etc. is constant.
 Check stability of excitation power supply.
 Check millivolt output with volt meter.
 Check for RFI/EMI interference.
 Make sure there are no rapid changes in temperature.

Incorrect Output

Check actual input and output resistance against calibration sheet data for possible change or open bridge.
 Check Zero offset to see if high.

High Zero Offset

Usually indicates transducer was overranged beyond specifications. Overranged transducers should be recalibrated.
 Check actual input and output resistance measurements against calibration sheet for possible changes or open bridge.
 Check for possible mechanical preload or damping on transducer body.

Amplified Transducers

Symptom/Problem

No Output

Action/Troubleshooting

Make sure power supply voltage meets transducer requirements.
 Check wiring connections and wiring code.
 Check transducer specifications for type of output provided (i.e. voltage, frequency, etc.)
 Make sure pressure, load, etc. is being applied.
 Make sure that the output load is not shorted.

Incorrect Zero Level

Check for pre-load on transducer.
 Adjust zero or balance control.
 For load cells check mounting fixture bias.
 For pressure transducers, check for orientation bias.

Erratic/Intermittent Output or Zero Drift

Make sure pressure, load, etc. is constant.
 Make sure power supply remains within specifications.
 Check for RFI interference.
 Make sure there are no rapid changes in temperature.
 Check electrical connections for discontinuity or damage.
 Check output with volt meter.
 Check for insulation resistance between amplifier wiring and transducer shell.

Incorrect Output

Check "shunt" calibration output value against calibration sheet and adjust span control per instructions.
 Verify that transducer is being operated within its temperature compensated range.
 Check transducer range on label.
 Check for insulation resistance between amplifier wiring and transducer shell.

Transducers with Instrument Readout

Symptom/Problem

Erratic Display

No Display/No Output Voltage

Action/Troubleshooting

Check electrical connections for continuity and wiring code for pin layout.

Blinking Display

Check powerline fuse per instrument instructions.

Incorrect Readout Value

Indicated overload; make sure wires are all connected, and transducer is within its range.

Check transducer range on label.
 Verify that system was set-up per instructions. Review set-up procedure.
 Refer to transducer troubleshooting guide and verify that transducer operates properly.
 Use Shunt-Cal to verify calibration.

Résumé

Le travail présenté dans ce mémoire a été consacré à la détection de fuite dans les réseaux de distribution. On a appliqué une nouvelle technique appelée CEEMDAN (Complementary Ensemble Empirical Mode Decomposition Adaptive Noise) pour l'analyse des signaux non stationnaires et non linéaire provenant des fuites au niveau des conduites des réseaux de distribution d'eau. L'application a été faite au niveau du laboratoire d'électronique. A fin de simuler le réseau de distribution on a réalisé un court canal prototype. Après l'acquisition des signaux de fuite par deux capteurs de pression et un système de conditionnement. On a appliqué la méthode CEEMDAN afin d'éliminer les bruits entaché au signal utile puis on a appliqué l'auto-corrélation pour connaître la position exacte de la fuite par rapport à l'un des capteurs.

Mots clés : Eau, prototype, Fuite, CEEMDAN, Auto-corrélation, Détection, Localisation, Réseau de distribution.

ملخص

العمل المقدم في هذه المذكرة مكرس على اكتشاف تسرب في شبكة توزيع المياه. وقمنا بتطبيق تقنية جديدة تسمى (CEEMDAN) من اجل تحليل إشارة غير خطية وغير ثابتة ناتجة عن تسرب على مستوى شبكة توزيع المياه. وقمنا بتجسيد نموذج من شبكة توزيع المياه، وتم التطبيق على مستوى مخبر الإلكترونيك. بعد الحصول على إشارة تسرب المياه من جهازين لاستشعار الضغط ونظام التكبير طبقنا. (CEEMDAN) من اجل حذف الضوضاء واستعمال الإشارة المفيدة والتي طبقنا عليها تقنية الارتباط الذاتي من أجل معرفة موقع التسرب بدقة بالنسبة لإحدى أجهزة الاستشعار.

الكلمات المفتاحية : المياه، نموذج، تسرب، الارتباط الذاتي، أجهزة الاستشعار، موقع، شبكة توزيع المياه.

Abstract

The work presented in this paper was devoted to the detection of leakage in distribution networks. A new technique called CEEMDAN (Complementary Ensemble Empirical Mode Decomposition Adaptive Noise) has been applied to the analysis of non-stationary and non-linear signals from leaks in water mains. The application was made at the level of the electronics laboratory. In order to simulate the distribution network, a short prototype channel. After acquisition of the leakage signals by two pressure sensors and a conditioning system. The CEEMDAN method was applied in order to eliminate the tainted noise at the useful signal and then the autocorrelation was applied to know the exact position of the leak with respect to one of the sensors.

Keywords: Water, prototype, Leak, CEEMDAN, Auto-correlation, Detection, Distribution network, Pressure sensors.