

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° :



**DOMAINE : SCIENCES ET
TECHNOLOGIE**

FILIERE : ELECTRONIQUE
**OPTION : INSTRUMENTATION ET
MAINTENANCE INDUSTRIELLE**

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

Par: HAMIDI Amel & ALI SAOUCHE Nora

Intitulé

**Application de la STFT dans la détection des
fuites d'eau**

Soutenu devant le jury composé de:

Mr. GUERMAT Noubiel	Université de M'sila	Président
Mr. BENTOUMI Miloud & Mr. BAKHTI Haddi	Université de M'sila	Rapporteur
Mr. BRIK Youssef	Université de M'sila	Examineur

Année universitaire : 2016/2017

Remerciement

A l'issue de cette fin de travail nous adressons nos remerciements premièrement à ALLAH tout puissant pour la volonté, la santé et la patience qu'il nous a donnée durant toutes ces longues années d'études.

*Mon vifs remerciements, accompagnés de toute mon gratitude, vont tout d'abord à mon encadreur **Mr. BENTOUMI Miloud** et Co-encadreur **Mr. BAKHTI Haddi**, pour avoir proposé ce sujet et dirigé ce travail, pour toute leur aides, et le continuel suivi tout au long de la préparation de ce mémoire. Il est présenté un excellent exemple de la compétence scientifique, discipline et générosité.*

Nos remerciements s'étendent également à tous, nos enseignants durant les années des études.

J'exprime ma reconnaissance aux membres de jury pour bien vouloir accepter de présider et examiner ce travail.

Nous tenons à ne remercier vivement toute personne qui nous a aidées de près ou de loin à accomplir ce travail.

ALI SAOUCHA NORA



REMERCIEMENTS

Mes remerciements vont premièrement à ALLAH tout puissant pour la volonté, la santé, et la patience, qu'il m'a donné durant toutes ces années d'étude.

En second lieu, Je tiens à remercier particulièrement mes parents ; mon succès demeure de loin le fruit de leurs longues années de sacrifices et de patience. Ainsi qu'à mes frères et mes sœurs pour sa souplesse et patience pendant toute cette année.

Je tiens à exprimer mes vifs remerciements à mon encadreur Mr. BENTOUMI Miloud et Co-encadreur Mr. BAKHTI Haddi, pour leur entière disposition, leurs judicieux conseils, leur patience, leur rigueur persévérance tout au long de mon projet.

Je remercie aussi les membres du département d'électronique, et mes sentiments de profonde gratitude vont à mes professeurs qui tout au long des années d'études m'ont transmis leur savoir sans réserve.

J'exprime ma reconnaissance aux membres de jury pour bien vouloir accepter de présider et examiner ce travail.

Je remercie tous mes collègues et amis pour leur aide et leur soutien, et tous ceux qui ont contribué de proche ou de loin à la réalisation de ce travail.

HAMIDI AMEL

Dédicace

*Je dédie ce modeste travail ma chère mère,
à mon père qui m'ont toujours soutenu
Et aidé à affronter les difficultés,
Pour mes Frères (Salah, Rabia)
Et Mes sœurs (Aicha, Rahma, Mebarka, Fettoum)
Et leurs petites familles ;
À mon Fiancé: ADEL
À toute La famille HAMIDI et GHALEB
Et toute La famille AMER HEMMICHE
Pour tous ce qui ont fait pour que je puisse les honorer,
et leur patience durant ma vie.
À mes très chers frères et à mes chères sœurs, à toute
ma famille
À mes chers amis.*

HAMIDI AMEL

Dédicaces

Je dédie ce modeste et mémorable travail, plus particulièrement à mes aimables et respectueux parents qui m'ont accompagné dans toute ma vie, s'inquiétant énormément pour m'offrir une vie meilleure.

À toute La famille ALI SAOUCHA et MAGORA;

À mes sœurs ;

À mes amis, et toute la promotion d'électronique et spécialement le groupe d'option Instrumentation maintenance Industriel ;

Au personnel du hall technologique sans exception.

Au personnel de la faculté en particulier département d'électronique ;

Ainsi qu'à toutes les personnes qui m'ont aidé à la réalisation de ce travail.

ALI SAOUCHA NORA



TABLES DES MATIERES

Introduction générale	page1
Chapitre I. Les réseaux de distributions d'eau	
I.I. Introduction.....	page3
I.II. Présentation générale des réseaux.....	page3
I.II.1. Définition	page3
I.II.2. Les caractéristiques du réseau de distribution	page4
I.II.2.A .Age des canalisations.....	page4
I.II.2.B. Nature des canalisations.....	page4
I.II.2.B.1.Les matériaux métalliques.....	page4
I.II.2.B.2.Les matériaux à base de ciment	page5
I.II.2.B.3.Les matériaux organiques.....	page5
I.II.3.Type des réseaux de distribution d'eau	page5
I.II.3.A.Réseau ramifié.....	page6
I.II.3.B.Réseau maillé	page6
➤ I.II.4.Principes de calcul	page7
I.II.4.A.Cas d'un réseau ramifié	page7
I.II.4.B.Cas d'un réseau maillé	page8
➤ La méthode de Hardy Cross.....	page8
I.II.5.Eléments particulier des réseaux	page9
I.II.5.A.Pose des canalisations.....	page9
I.II.5.B.Branchements	page9
I.II.5.C.Pertes dans les réseaux.....	page9
I.II.6. Les pertes en production	page9
I.II.7. Les fuites sur les réseaux	page10
➤ Défauts de comptage	page10
I.II.8. Les accessoires de réseau.....	page10

I.II.8.A. La vanne	page10
I.II.8.B. La Pompe	page10
I.II.8.C. Le capteur de pression	page10
I.II.8.D. La conduite en matériaux plastiques	page11
I.II.8.E. Le réservoir	page11
I.II.9. Les bilans d'eau	page12
I.III.1. La recherche des fuites.....	page13
I.III.2. La détection de fuites	page13
I.III.3. Définition de la fuite	page13
I.III.4. Les types de fuite	page13
I.III.5. Configuration de détection.....	page14
I.III.6. Les cause des fuites.....	page14
I.III.7. Débits de fuites	page14
I.IV. Capteurs de mesure	page14
I.IV.1. Définition de capteur.....	page14
I.IV.2. Capteur de vibrations	page15
I.IV.3. Capteur acoustique	page15
I.IV.4. Capteur de pression	page15
I.IV.4.A. Capteurs de pression absolue.....	page16
I.IV.4.B. Capteurs de pression différentiels	page16
I.IV.5. Définition de la pression	page16
I.V. Les types des détecteurs de fuites	page16
Les appareils de détection utilisés	page17
I.VI. La transmission.....	page17
I.VI.1. Définition	page18
I.VI.2. Le capteur.....	page19
I.VI.3. L'émetteur.....	page19

I.VI.4. L'alimentation	page19
I.VI.5. La liaison filaire.....	page19
I.VI.6. Le récepteur	page19
I.VI.7. Câblage 4-20 mA (3 fils).....	page20
I.VII. Conclusion	page21

Chapitre II. Les différents types de détection des fuites d'eau

II.I. Introduction.....	page22
II.II. Contrôle discret du temps : Méthodes acoustiques.....	page23
II.II.1. Hors conduite.....	page23
II.II.1. A. Microphones au sol	page23
II.II.1. B. Les corrélateurs	page23
II.II.2. Dans la conduite.....	page25
II.II.2. A. Balle intelligente	page25
II.III. Contrôle discret du temps : Méthodes non acoustiques	page26
II.III.1. Imagerie souterraine	page26
II.III.1. A. Thermographie.....	page26
II.III.1.B. Le géoradar	page27
II.III.2. Test chimique	page28
II.III.2. A. Test de fluorure	page28
II.III.2. A.1. Produit moussant	page28
II.III.2. A.2. Eau savonneuse.....	page28
II.III.2. A .3. Fluide fluorescent.....	page29
II.III.2. B. Injonction de gaz.....	page30
II.III.2. B.1. La technique du gaz traceur	page30
II.III. Contrôle continu basé sur la mesure	page32
II.III.1. Contrôle acoustique	page32
II.III.1. A. Contrôle au manomètre	page32

II.III.1. B. Contrôle de variations de températures	page32
II.III.1. C. Détecteurs d'ambiance	page32
II.III.1. D. Reniflage avec détecteur-mesureur	page33
II.III.1. E. Reniflage avec détecteur électronique	page33
II.IV. Les nouvelles méthodes	page34
II.IV. A. Remontée de pression	page34
II.IV. B. Chute de pression.....	page34
II.IV. C. Capteur de pression.....	page34
• Définition	page34
• Capteurs de pression absolue	page35
➤ Principe de fonctionnement	page35
• Capteurs de pression différentiels	page36
II.V. Conclusion.....	page37
Chapitre III. Traitements du signal	
III.I. Introduction.	Page38
III.II. Définitions et représentation des signaux	page38
III.II.1. Définitions	page38
III.II.1.A. Un signal.....	page39
III.II.1.B. La théorie du signal.....	page39
III.II.1.C. Le traitement du signal	page39
III.III. Les fonctions principales du traitement du signal.....	page39
III.IV. Les types des fonctions	page40
III.IV.1. Fonctions linéaire et non-linéaire	page40
III.IV.2. Fonctions stationnaire et non-stationnaire	page40
III.V. Représentation spectrale d'un signal périodique.....	page41
III.V.1. Définition de la série de Fourier	page41
III.V.2. Développement en série de Fourier	page41
III.VI. Représentation spectrale d'un signal aperiodique.....	page41

III.VI.1. Transformation de Fourier	page42
III.VI.2. Transformation inverse de Fourier	page42
III.VI.3. Condition d'existence de la transformation de Fourier.....	page43
III.VI.4. Quelques propriétés de la transformée de fourier	page43
III.VII.1. Transformée de Fourier Discrète	page44
III.VII.1.A. La Transformée de Fourier Rapide (FFT).....	page45
III.VII.1.B. Analyse des signaux dans le domaine temps fréquence (STFT)	page46
III.VII.2. Les Ondelettes (WAVELETS)	page51
III.VII.2.A.Transformée en ondelettes	page52
III.VII. Conclusion	page53

Chapitre IV. Test et résultat

IV.1. Introduction	page54
IV.2. Système d'acquisition	page55
IV.3. Chaîne d'acquisition.....	page55
IV.3.1. Capteur pression	page55
IV.3.2. La boucle 4-20 mA.....	page58
IV.3.3. Etage d'amplification	page59
➤ Réalisation de la Montage d'amplification.....	page60
➤ Le premier étage (amplification)	page60
➤ Le deuxième étage (montage déphaseur)	page60
IV.4.Circuit hydraulique	page61
IV.5.Circuit électrique.....	page63
IV.6. Système de détection réalisé.....	page64
IV.7. Résultats et discussions	page64
IV.7. 1. Caractéristiques statistiques.....	page66
IV.7.2. Application de la FFT	page70
IV.7. 3. Application de l'ondelette	page71

Le premier test	page72
A. Signal sans fuite du capteur A avant débruitage	page72
B. Signal sans fuite du capteur A après débruitage	page72
Deuxième test	page73
A. Signal sans fuite du capteur A avant débruitage	page73
B. Signal sans fuite du capteur A après débruitage	page73
Le premier test	page73
A. Signal sans fuite du capteur B avant débruitage	page73
B. Signal sans fuite du capteur B après débruitage	page74
Deuxième test	page74
A. Signal sans fuite du capteur B avant débruitage	page74
B. Signal sans fuite du capteur B après débruitage	page74
Le premier test	page75
A. Signal avec fuite du capteur A avant débruitage.....	page75
B. Signal avec fuite du capteur A après débruitage	page75
Deuxième test	page76
A. Signal avec fuite du capteur A avant débruitage.....	page76
B. Signal avec fuite du capteur A après débruitage	page76
Le premier test	page76
A. Signal avec fuite du capteur B avant débruitage.....	page76
B. Signal avec fuite du capteur B après débruitage	page77
Deuxième test	page77
A. Signal avec fuite du capteur B avant débruitage	page77
B. Signal avec fuite du capteur B après débruitage	page77
Signal sans fuite du capteur A	page78
Signal sans fuite du capteur B	page79
Signal avec fuite du capteur A	page80
Signal avec fuite issue du capteur B	page81
IV.8.Conclusion.....	page82
Conclusion générale.....	page83

Liste des figures

Chapitre I

Fig. I.1. Réseau ramifié	page6
Fig.I.2.Réseau maillé	page6
Fig.I.3. Débit en route	page7
Fig.I.4. Calculer la perte de charge dans le tronçon	page7
Fig.I.5. loi de nœud	page8
Fig.I.6. loi de pertes de charge.....	page8
Fig.I.7. capteur de pression	page11
Fig. I.8. Schéma de principe de fonctionnement d'un capteur.....	page14
Fig.I.9. La boucle de courant 4-20 mA	page18
Fig.I.10. boucle 4-20 mA de 4 éléments	page18
Fig.I.11. Boucle 4-20 utilisée pour capteur de pression.....	page20

Chapitre II

Fig. II.1. Détection et technologies de localisation de fuites des conduites.....	page22
Fig. II.2. Parmi les appareils d'auscultation typiques se trouvent les tiges d'écoute	page23
Fig. II.3. Un corrélateur des bruits de fuites est un appareil portatif à microprocesseurs qui repère précisément et automatiquement les fuites.	page24
Fig.II.4. Illustration schématique de la méthode de la corrélation croisée pour le repérage.... précis des fuites dans les conduites d'eau	page24
Fig. II.5. En résumé la méthode dans cette image	page25
Fig.II.6.Schéma de la détection par immersion.....	page26
Fig. II.7. La détection thermographie par caméra infrarouge.....	page27
Fig. II.8. Les données GPR avant (a) et après (b) l'interprétation de l'image	page28
Fig. II.9. Recherche de fuite avec Fluorescéine	page30
Fig.II.10. techniques des gaz traceur	page31
Fig. II.11. Déplacement de la sonde « au plus près » des zones potentiellement fuyardes	Page33
Fig. II.12. Principe d'un capteur de pression	page35
Fig. II.13. Capteurs de pression absolue	page35
Fig. II.14. Principe de capteur à base de Jauges de contrainte	page35
Fig.II.15. Capteurs de pression différentiel.....	page36

Chapitre III

Fig.III.1. Relations de réciprocité temps-fréquence	page45
Fig.III.2. Représentation temporelle et fréquentielle de la somme de deux sinusoïdes.....	page46
Fig.III.3. Perte de localisation temporelle	page46
Fig.III.4. Fonctions de fenêtrage et leurs enveloppes de réponses fréquentielles	page48
Fig.III.5. Base de Gabor.....	page49
Fig.III.6. Base d'ondelette.....	page49
Fig.III.7. Représentation temporelle de la succession de deux sinusoïdes et leur STFT.....	page50
Fig.III.8. Représentations temporelles de la succession de deux sinusoïdes et leurs STFTs..	page51
Fig.III.9. Représentation temporelle de la succession de deux sinusoïdes et leur STFT.....	page51



Chapitre IV

Fig. IV.1 .La chaîne d'acquisition.....	page55
Fig. IV.2. La position des Capteurs de pression	page55
Fig. IV.3. Capteur de pression	page56
Fig. IV.4. Capteur de pression	page56
Fig. IV.5. Le câblage de la boucle 4-20mA.....	page58
Fig. IV.6. Le boucle 4-20 mA expérimentale	page59
Fig. IV.7. Montage d'amplification des signaux issus des capteurs	page59
Fig. IV.8. Réalisation de la Montage d'amplification des signaux issus des capteurs.....	page60
Fig. IV.9. Circuit hydraulique global	page61
Fig. IV.10. Le canal prototype	page61
Fig. IV.11. Électrovanne.....	page62
Fig. IV.12. Bouton poussoir	page62
Fig. IV.13. La pompe.....	page62
Fig. IV.14. Réservoir	page63
Fig. IV.15: Le circuit électrique global	page63
Fig. IV.16. Le circuit électrique du système d'acquisition réalisé	page64
Fig. IV. 17. Signaux temporels sans fuite issus des deux capteurs de pression.....	page65
Fig. IV. 18. Signaux temporels sans fuite de la deuxième acquisition.....	page65
Fig. IV. 19. signaux temporels sans fuite issus de capteur de pression A	page66
Fig. IV. 20. signaux temporels sans fuite issus de capteur de pression B	page67
Fig. IV.21. Signaux avec fuite des deux capteurs, 1 ^{ère} acquisition	page68
Fig. IV.22. Signaux avec fuite des deux capteurs, 2 ^{ième} acquisition.....	page68
Fig. IV. 23. Signaux temporels avec fuite issus de capteur de pression A.....	page69
Fig. IV. 24. Signaux temporels avec fuite issus de capteur de pression B.....	page69
Fig. IV.25. FFT des signaux issues des deux capteurs A et B. (a) signal sans fuite capteur A; (b) et (c) signaux avec fuite A et B.....	page70
Fig. IV. 26. FFT des signaux issues des deux capteurs A et B. (a) signal sans fuite capteur B; (b) et (c) signaux avec fuite A et B.....	page71
Fig. IV. 27. Le choix des seuils (Thresholds) sur les signaux	page72
Fig. IV. 28. Le signal sans fuite du capteur A avant débruitage	page72
Fig. IV. 29. Le signal sans fuite du capteur A après débruitage	page72
Fig. IV. 30. Le signal sans fuite du capteur A avant débruitage	page73
Fig. IV. 31. Le signal sans fuite du capteur A après débruitage	page73
Fig. IV. 32. Le signal sans fuite du capteur B avant débruitage	page73
Fig. IV. 33. Le signal sans fuite du capteur B après débruitage	page74
Fig. IV. 34. Le signal sans fuite du capteur B avant débruitage	page74
Fig. IV. 35. Le signal sans fuite du capteur B après débruitage	page74
Fig. IV. 36. Le signal avec fuite du capteur A avant débruitage.....	page75
Fig. IV. 37. Le signal avec fuite du capteur A après débruitage.....	page75
Fig. IV. 38. Le signal avec fuite du capteur B avant débruitage.....	page76
Fig. IV. 39. Le signal avec fuite du capteur B après débruitage	page76
Fig. IV. 40. Le signal avec fuite du capteur B avant débruitage.....	page76
Fig. IV. 41. Le signal avec fuite du capteur B après débruitage	page77

Fig. IV. 42. Le signal avec fuite du capteur B avant débruitage.....	page77
Fig. IV. 43. Le signal avec fuite du capteur B après débruitage	page77
Fig.IV.44. STFT du signal sans fuite issue du capteur A (a) premier test, (b) deuxième test.	page78
Fig.IV.45. STFT du signal sans fuite issue du capteur B (a) premier test, (b) deuxième test	page79
Fig.IV.46. STFT du signal sans fuite issue du capteur B (a) premier test, (b) deuxième test	Page80
Fig.IV.47. STFT du signal sans fuite issue du capteur B (a) premier test, (b) deuxième test	page81

LISTE DES TABLEAUX

Tableau. IV.1. les caractéristiques de capteur de pression	page57
Tableau. IV.2. les caractéristiques statiques de signal sans fuite de capteur A	page66
Tableau. IV.3. les caractéristiques statiques de signal sans fuite de capteur B	page67
Tableau. IV.4. les caractéristiques statiques de signal avec fuite de capteur A.....	page69
Tableau. IV.5. les caractéristiques statiques de signal avec fuite de capteur B	page70



INTRODUCTION GENERALE

Introduction générale

Les fuites sont habituellement la cause principale des pertes qui se produisent dans les réseaux de distribution d'eau. Pour réduire les pertes économiques et les risques pour la santé publique ainsi que pour économiser l'eau, les exploitants de réseaux de distribution d'eau vérifient régulièrement ceux-ci et procèdent à la détection des fuites. Les bilans d'eau donnent une idée globale des quantités perdues et permettent de cerner les zones du réseau où se produisent des fuites importantes. On détermine l'emplacement exact des fuites au moyen de matériel d'auscultation et d'appareils modernes de corrélation des bruits de fuites. Le matériel acoustique est efficace dans le cas des conduites métalliques, mais il peut être problématique dans le cas des tubes en plastique. Les fuites dans les conduites en métal et dans les tubes en plastique peuvent aussi être repérées à l'aide de techniques non acoustiques comme celles du gaz traceur, du géoradar et de chute de pression. Cependant, l'utilisation de ces techniques est encore très limitée et leur efficacité n'est pas aussi bien établie [1].

Dans le cadre de ce travail, nous cherchons à partir des signaux de pression acquis par expérimentation de déterminer exactement le temps de l'introduction du défaut qui signifie le moment de la présence de la fuite, par un algorithme basée sur STFT. On montre au début les limites d'analyse que présente la FFT (perte de localisation temporelle) ensuite nous introduisons la STFT pour déterminer ses performances dans le domaine de détection. Cette dernière a été utilisée pour surmonter le problème de fenêtrage. Afin de débruité les signaux acquis qui sont généralement noyés dans le bruit, nous avons utilisé les ondelettes discrètes (DWT). Plusieurs techniques sont exploitées dans le domaine de débruitage. Il s'avère que les ondelettes sont efficaces par rapport à d'autres techniques, à cause de leurs caractéristiques.

Le mémoire est réparti en quatre chapitres : Le premier chapitre comporte trois parties principales. Nous donnons un rappel général sur les réseaux d'alimentation en eau potable tenant compte que la réduction des fuites d'eau dans les réseaux de distribution peut contribuer à la préservation d'une ressource rare. La seconde partie aura pour objet la présentation des différents types des détecteurs de fuites. Enfin, la dernière partie est consacrée à la description de notre transmetteur de pression qui a pour fonction d'acquérir la pression et de la transformer en un signal électrique exploitable.

Dans le deuxième chapitre nous présentons plusieurs méthodes de détection de fuite existantes, qui 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.

Les méthodes sont : Chute de pression, remontée de pression, débitmétrie...etc.

- ✓ 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. Les méthodes sont : reniflage, immersion, Produit moussant...etc.

Dans le troisième chapitre, on donne quelques définitions générales sur les signaux, et les différentes techniques de traitement appliquées. Les différents types de signaux y ont été énumérés. On présente également la notion de représentation spectrale d'un signal qui nécessite l'étude de la série de Fourier et de la transformation de Fourier. On cite la classification des signaux : déterministes (périodique ou non) ou aléatoires (stationnaire ou non). On donne des exemples sur les techniques d'analyse telle que la FFT, STFT et ondelettes avec mise en œuvre d'un moyen efficace pour la détection de fuite dans les réseaux de distribution d'eau.

Le quatrième chapitre fera l'objet de différentes applications pour l'analyse des signaux obtenus par expérimentation. Cette analyse est basée sur : FFT, STFT, DWT.

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



CHAPITRE I



LES RESEAUX DE DISTRIBUTION D'EAU

I.1. Introduction

Dans la plupart des réseaux de distribution, une forte proportion de l'eau se perd pendant le transport entre les usines de traitement et les points de consommation. Le volume perdu est généralement de 20 à 30 % de la quantité produite selon une étude récente réalisée. Dans certains réseaux, en particulier les plus anciens, les pertes peuvent atteindre 50 %. Les pertes d'eau peuvent avoir plusieurs causes : Fuites, utilisation publique (p. ex. pour la lutte contre les incendies ou le nettoyage des conduites), vol. La cause principale est généralement les fuites.

Les fuites se produisent dans différents éléments du réseau de distribution : conduites de transmission, conduites de distribution, branchements, raccords, vannes, bouches d'incendie. Les causes des fuites sont la corrosion, les défauts des matériaux, une mauvaise installation, une pression d'eau excessive, les coups de bélier, les mouvements de terrain attribuables à la sécheresse ou au gel, ainsi que les vibrations et les charges excessives dues à la circulation.

Les programmes de contrôle systématique des fuites comportent deux grands volets : les bilans d'eau et la détection des fuites. Grâce à ces efforts, les exploitants de réseaux disposent maintenant de plusieurs techniques bien établies et d'appareils modernes qui les aident à limiter les pertes d'eau [1].

L'apparition d'une fuite dans un système industriel recouvre des réalités multiples de par la remise en cause de la sûreté du système. Le problème de la détection de fuite appliqué aux circuits secondaires des centrales à "Réacteurs à Eau Pressurisée" (REP) présente une spécificité propre et un "Cahier Des Charges" (CDC) précis. Le choix d'une méthode de détection doit répondre à des impératifs de sensibilité, de redondance, de précision, de portabilité, d'accessibilité et d'évolutivité [2].

I.2. Présentation générale des réseaux

I.2.1. Définition [3]

Le réseau d'adduction d'eau potable est le siège potentiel de dégradations diverses, responsables de mauvais fonctionnements et de dommages plus ou moins sérieux. Bien que ces risques de dégradation soient multiples, il est cependant nécessaire d'apporter une attention particulière :

- aux principaux facteurs de désordre ; à titre d'exemple un mauvais branchement des canalisations.
- à l'âge des canalisations (ancienneté des conduites enterrées).
- aux facteurs internes et externes qui influent sur les canalisations (effet de corrosion dû aux matériaux en contact avec de l'eau et la nature des terres comme effet externe).

I.2.2. Les caractéristiques du réseau de distribution

I.2.2.A .Age des canalisations

Le vieillissement des canalisations et de leurs accessoires est par nature, inévitable : les matériaux se dégradent ou se fragilisent au fil du temps, l'environnement évolue et les terrains bougent.

Cependant, le vieillissement ne dépend pas que de l'âge de la conduite mais aussi :

- de son environnement : il existe des canalisations de plus de cent ans d'âge en très bon état et d'autres de dix ans à peine qui sont déjà hors usage. Car ils sont situés en terrain instable ou agressif.
- des qualités intrinsèques des matériaux : résistance à la corrosion insuffisante, mauvais revêtement de surfaces ...etc.
- des conditions d'exploitation et de pose du réseau : remblayages exécutés avec des matériaux inadéquat et sans précautions, coups de béliet.

I.2.2.B. Nature des canalisations

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

I.2.2.B.1.Les matériaux métalliques

Conduites en métal ferreux nu (fontes ou aciers anciens), plomb, cuivre, acier galvanisé...etc.

Interactions complexes, les réactions de corrosion toutes à l'émission d'ions métalliques dans l'eau et entraînent :

- La formation d'hydroxycarbonates ou d'hydroxysphates peu solubles pour les matériaux comme le plomb, le cuivre et zinc.

- La précipitation des ions ferriques pouvant provoquer le percement des parois des conduites en métal ferreux.
- La formation d'incrustations (diminution du diamètre).

I.2.2.B.2.Les matériaux à base de ciment

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

I.2.2.B.3.Les matériaux organiques

Conduites en matériaux plastiques et revêtements organiques. Les interactions entre ces matériaux et l'eau se limitent le plus généralement à la migration de substances présentes dans le matériau ou provenant de l'environnement et ayant pu le traverser.

Les matériaux utilisables pour les réseaux d'eau potable sont les suivants :

- Acier : NF EN 10224 ;
- Béton : NF EN 639, 640, 641, 642 ;
- Fonte : NF EN 545 ;
- Polyester renforcé de fibres de verre (PRV) : NF EN 1796 ;
- Polyéthylène haute densité (PE-HD) : Norme NF EN 12201 ;
- Polychlorure de vinyle (PVC) : NF T54-034 [4].

I.2.3.Type des réseaux de distribution d'eau

L'eau est distribuée aux consommateurs par des réseaux de conduites locaux, à l'intérieur de la zone à alimenter.

Un réseau de distribution est un ensemble de tronçons délimités par des nœuds (points particuliers: réservoirs, croisement de conduites, prélèvements importants, changement de diamètre, extrémité du réseau, ...etc.)

Deux cas à étudier :

- Cas d'un réseau ramifié
- Cas d'un réseau maillé

Les principaux éléments d'un réseau de distribution sont: Les conduites, les branchements et les pièces spéciales (Coudes, Tés, vannes, compteurs, Bouches d'incendie,...etc.)

Selon la liaison entre les différents tronçons on distingue deux types de réseaux:

I.2.3.A. Réseau ramifié

L'eau circule dans les tronçons dans un seul sens: des conduites principales vers les conduites secondaires.

- **Avantage :** économique
- **Inconvénient :** Manque de sécurité (en cas de rupture d'une conduite principale tous les abonnés situés à l'aval seront privés d'eau)

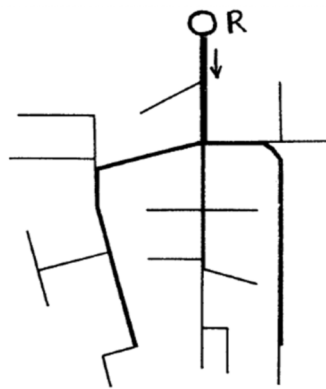


Fig. I.1. Réseau ramifié

I.2.3.B. Réseau maillé

Dérive du réseau ramifié par la connexion des extrémités des conduites permettant une alimentation de retour.

- **Avantage:** Plus de sécurité (en cas de rupture d'une conduite il suffit de l'isoler et tous les abonnés situés à l'aval seront alimentés par les autres tronçons) avec une répartition plus uniforme de pression et du débit.
- **Inconvénient:** Plus coûteux et plus difficile à calculer.

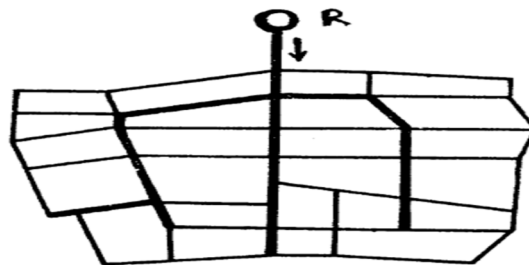


Fig.I.2. Réseau maillé

- Réseau mixte: Mélange d'un réseau maillé et d'un réseau ramifié.
- Réseau étagé
- Réseaux à alimentations distinctes : Eau potable et eau non potable.
- En générale on utilise un réseau maillé dans les zones urbaines et un réseau ramifié dans les zones rurales [5].

I.2.4.Principes de calcul

I.2.4.A.Cas d'un réseau ramifié

Dans une conduite d'adduction, le débit d'eau est constant. Dans les canalisations de distribution la situation est tout à fait différente. Chaque tronçon de conduite de distribution est caractérisé par deux débits:

- Un débit d'extrémité qui doit transiter par la canalisation noté Q_t .
- Un débit consommé par les branchements raccordés à la conduite, appelé débit en route noté Q_r . Le débit en route est supposé uniformément réparti le long de la conduite.

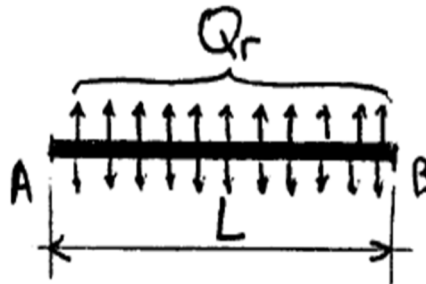


Fig.I.3. Débit en route

Cas simple d'un réseau ramifié: Le long d'un tronçon de distribution le débit est donc variable. A quel débit faut-il calculer la perte de charge dans le tronçon? Nous allons donc calculer la perte de charge d'un tronçon AB de longueur L, d'un débit distribué Q_r et d'un débit transité Q_t .

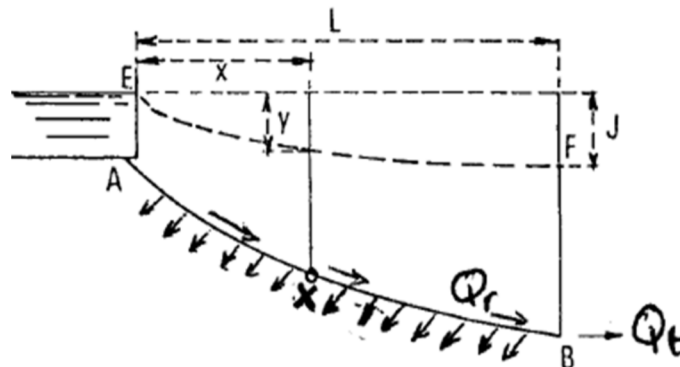


Fig.I.4. Calculer la perte de charge dans le tronçon

I.2.4.B. Cas d'un réseau maillé

- Pour un réseau maillé, après le calcul des débits aux nœuds (débits de pointe horaire) par la méthode de répartition nodale; il faut vérifier que la somme des débits aux nœuds est égale au débit de pointe horaire de l'agglomération.
- Une des méthodes la plus utilisée dans le calcul des réseaux maillés est la méthode de Hardy Cross; se basant sur les approximations successives.

➤ La méthode de Hardy Cross

Cette méthode repose sur les deux lois suivantes:

1ère loi: En un nœud quelconque du réseau, la somme des débits qui arrivent à ce nœud est égale à la somme des débits qui en sortent:

$$\sum Q_e = \sum Q_s$$

-Ainsi pour le nœud A par exemple:

$$Q_A = q_1 + q_6$$

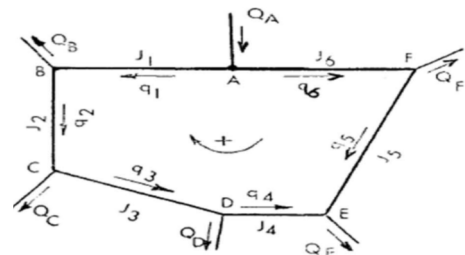


Fig.I.5. loi de nœud

2ème loi: Le long d'un parcours orienté est fermé (une maille) la somme algébrique des pertes de charge est nulle:

$$\sum J = 0$$

- Ainsi pour le parcours ABCDEF, où l'orientation positive est donnée par le sens des aiguilles d'une montre et pour le sens d'écoulement indiquée par les flèches:

$$J_6 + J_5 - J_4 - J_3 - J_2 - J_1 = 0$$

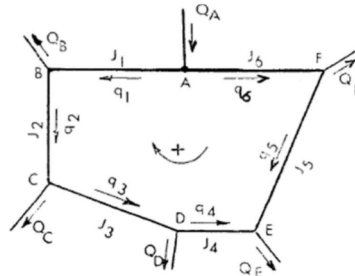


Fig.I.6. loi de pertes de charge

- La méthode de Hardy Cross consiste tout d'abord à se fixer une répartition provisoire des débits ainsi qu'un sens d'écoulement dans tout le réseau, tout en respectant la 1ère loi.
- Cette première répartition permet de choisir les diamètres provisoires des canalisations (avec des vitesses entre 0,9 et 1,1 m/s) et de calculer les pertes de charge correspondantes [5].

I.2.5.Eléments particulier des réseaux

I.2.5.A.Pose des canalisations

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

I.2.5.B.Branchements

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

I.2.5.C.Pertes dans les réseaux

La lutte contre les pertes et l'économie de l'eau nécessite d'abord la connaissance de toutes les formes de pertes, leurs quantifications par des outils fiables [5].

I.2.6. Les Pertes en production

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

- les fuites sur réseau (conduites et branchements)
- le défaut de comptage
- branchements clandestins [5].
- etc

I.2.7. Les fuites sur les réseaux : Ils sont dus

- Mouvement du sol
 - Corrosion la conduite
 - Trafic routier
 - Pression de service importante
 - Ages des conduites [5].
- **Défauts de comptage**
- Défectuosité des compteurs
 - Sous-comptage
 - Volume non comptabilise [5].

I.2.8. Les accessoires de réseau***I.2.8.A. La vanne***

Dispositif placé sur une conduite pour régler l'ouverture et le débit d'un fluide (eau, gaz). Vanne électrique, hydraulique, mélangeuse, volumétrique ; vanne d'arrêt, de sécurité ; vanne à papillon. Pour sortir la matière de la cuve, on commence par isoler celle-ci en fermant les deux vannes d'entrée et de sortie .Cette tuyauterie est également munie d'une vanne et d'un clapet de retenue.

- Vanne secteur. Vanne constituée par un secteur cylindrique pouvant pivoter autour de son axe.
- Vanne de décharge. Vanne servant à l'écoulement des excès d'eau.

I.2.8.B. La Pompe

Ces machines ont un fonctionnement alternatif et nécessitent un jeu de soupapes ou de clapets pour obtenir tantôt l'aspiration du fluide, tantôt le refoulement.

I.2.8.C. Capteur de pression

Il existe deux types de capteur de pression : les capteurs de pression absolue, et les capteurs de pression différentiels. Ce type de composant est généralement construit autour d'une "puce" composée d'un élément piezorésistif au silicone, qui permet de délivrer une tension continue proportionnelle à la pression mesurée, avec une très bonne linéarité.

Les capteurs de pression peuvent être utilisés pour la réalisation d'altimètres ou de baromètres, mais leur usage ne s'arrête pas là : on en trouve aussi en robotique, dans le domaine médical, dans des systèmes de contrôle de pompes. Certains capteurs peuvent

travailler sur une plage de mesure de 0 à 100 hPa, d'autres sont capables de travailler entre 0 et 2 bars (200 kPa) [6].



Fig.I.7. capteur de pression [7]

1.2.8.D. La conduite en matériaux plastiques

Ce sont des tubes qui sont toujours de plus en plus employés grâce aux caractéristiques de légèreté, flexibilités, résistance à la corrosion, propriétés diélectriques. La limite de ces tubes est dans la basse valeur de pression et de température qu'ils peuvent supporter. Les matières les plus utilisées dans la réalisation de ces tubes sont :

- ✓ PVC (polychlorure de vinyle)
- ✓ PE (polyéthylène)
- ✓ PP (polypropylène)

Les tubes PVC sont très employés dans les installations sanitaires pour l'évacuation des eaux usées ou des eaux de pluie. Le raccordement se fait par emboîtement et collage (colle ou mastic silicone).

Il faut tenir compte que ces tubes subissent un vieillissement s'ils sont exposés à la lumière solaire. Pour leurs propriétés, ils sont employés dans le transport d'eaux potables ou de déchargement, de liquides alimentaires, de produits chimiques.

1.2.8.E. Le réservoir

Les réservoirs sont parmi les moyens de stockage les plus utilisés dans de nombreuses industries, notamment dans les industries pétrolières, gazières et pétrochimiques. Ils peuvent être de forme cylindrique, sphérique. Ils sont aériens ou enterrés, horizontaux ou verticaux, en fonction de la nature du produit stockée, son environnement et son utilisation. Les réservoirs sont plus complexes en matière de dimensionnement, d'étude et de prise en charge du volet sécurité. Ils sont en interaction avec le produit stocké, l'environnement extérieur tel que les conditions climatiques.

I.2.9. Les bilans d'eau

Les bilans d'eau permettent de déterminer les quantités d'eau qui se perdent dans les réseaux de distribution. Ils peuvent être effectués sur l'ensemble du réseau ou par secteur. Sur l'ensemble du réseau, ils donnent une idée globale des pertes d'eau.

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

Les zones où se produisent des fuites importantes peuvent être déterminées par la méthode du test par étapes. Celle-ci consiste à subdiviser le secteur, puis à mesurer les débits après avoir coupé successivement l'alimentation de chacun des sous-secteurs par fermeture des vannes correspondantes.

Une diminution marquée du débit indique que des fuites importantes se produisent dans le sous-secteur dont l'alimentation vient d'être coupée.

Les bilans par secteur sont coûteux et exigent beaucoup de travail, car ils se font la nuit. Depuis quelques années, on a tendance à installer de façon permanente des débitmètres raccordés au système SCADA par télémétrie. Les valeurs des débits ainsi transmises sont automatiquement analysées et permettent de déceler les augmentations inhabituelles de consommation d'eau. En connaissant le réseau, on peut savoir si une augmentation du débit est causée par de nouvelles fuites.

Les bilans par secteur et les tests par étapes permettent de déterminer les zones du réseau de distribution où il y a des fuites importantes, mais il reste ensuite aux équipes de réparation à repérer celles-ci [1].

I.3.1. La recherche des fuites

- Le mouvement de fluide, de hautes pressions vers de basses pressions, à travers un orifice, crée des variations de pressions aléatoires à proximité de la fuite. Ces variations de pressions génèrent un bruit de fuites.
- C'est ce phénomène qui a été utilisé pendant des années pour localiser les fuites à l'aide de stéthoscopes ou d'appareils électroniques (Triphone T80, Triphone T2000, Hydrolux 90, etc.), à partir du bruit produit.
- Les limites de ces méthodes traditionnelles restent la détection du bruit proprement dite et la précision de sa localisation.

I.3.2. La détection de fuites

Dans les zones où l'on sait que des fuites importantes se produisent, celles-ci sont généralement repérées au moyen d'appareils acoustiques. Ces derniers détectent les vibrations ou les bruits produits par l'eau qui s'échappe des canalisations sous pression.

Ces bruits se propagent le long de la conduite sur de grandes distances (selon le type et la taille de la conduite) et dans le sol environnant.

Les fuites peuvent également être détectées à l'aide de techniques non acoustiques (par exemple. gaz traceur, imagerie infrarouge et géoradar), mais celles-ci sont encore très peu utilisées et leur efficacité n'est pas aussi bien établie que celle des méthodes acoustiques [1].

I.3.3. Définition de la 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) [8].

I.3.4. Les types de fuite

Pour les réseaux de distribution d'eau potable nous pouvons constater deux catégories :

- En fonction de l'écoulement dans le tuyau.
- Sur l'utilisation de l'eau : petite fuite et grande fuite.

I.3.5. Configuration de détection

Les capteurs sont généralement placés sur les bouches d'incendie dont la distance est connue, On a accès à des analyses comparatives et à des détections relatives. La simultanéité des mesures permet d'entrevoir l'utilisation de techniques d'analyse en cohérence des signaux.

I.3.6. Les cause des 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 [8].

I.3.7. 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'égale étant le mètre cube par seconde (m^3/s)) [8].

I.4. Capteurs de mesure

I.4.1. Définition de capteur

Le capteur va mesurer des grandeurs physiques comme la température, la pression... et délivrer une tension de faible amplitude.

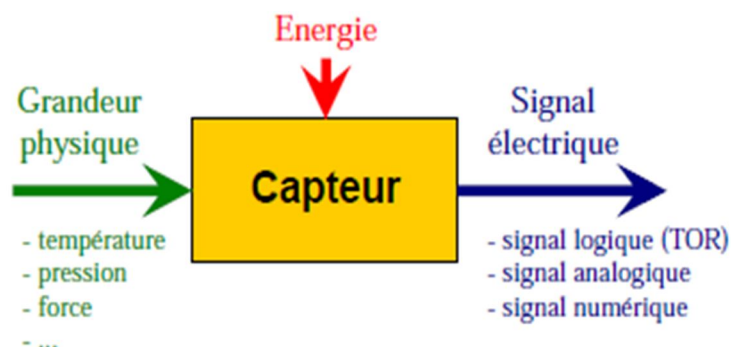


Fig. I.8. Schéma de principe de fonctionnement d'un capteur [9]

- Si l'on s'intéresse aux phénomènes physiques mis en jeu dans les capteurs, on peut classer ces derniers en deux catégories.
- Capteurs actifs
- Capteurs passifs.

I.4.2. Capteur de vibrations

C'est un transducteur capable de convertir en signal électrique le niveau de vibration qu'il subit à un instant donné. Il existe plusieurs types de capteurs pour apprécier les mouvements vibratoires:

- Sonde capacitive.
- Capteur piézo-résistif.
- L'accéléromètre piézo- électrique [8].

I.4.3. Capteur acoustique

Les capteurs acoustiques sont des transducteurs électroacoustiques transformant l'énergie des ondes acoustiques en énergie électrique. Les grandes classes de transducteurs électroacoustiques sont au nombre de trois:

- Les transducteurs électrodynamiques.
- Les transducteurs électrostatiques.
- Les transducteurs piézo- électriques [8].

I.4.4. Capteur de pression

Il existe deux types de capteur de pression : les capteurs de pression absolue, et les capteurs de pression différentiels. Ce type de composant est généralement construit autour d'une "puce" composée d'un élément piezorésistif au silicone, qui permet de délivrer une tension continue proportionnelle à la pression mesurée, avec une très bonne linéarité.

Les capteurs de pression peuvent être utilisés pour la réalisation d'altimètres ou de baromètres, mais leur usage ne s'arrête pas là : on en trouve aussi en robotique, dans le domaine médical, dans des systèmes de contrôle de pompes. Certains capteurs peuvent travailler sur une plage de mesure de 0 à 100 hPa, d'autres sont capables de travailler entre 0 et 2 bars (200 kPa).

I.4.4.A. 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.

I.4.4.B. 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.

Ces entrées peuvent être toutes deux raccordées par un tuyau jusqu'à l'emplacement où la mesure de pression d'air est désirée, mais on peut aussi laisser libre une des deux entrées pour effectuer une mesure différentielle directe par rapport à la pression d'air ambiante [6].

I.4.5. Définition de la pression

La pression est une grandeur dérivée du système international. Elle est définie comme le quotient d'une force par une surface. La pression s'exerce perpendiculairement à la surface considérée.

$$P[\text{Pa}] = \frac{F[\text{N}]}{S[\text{m}^2]} \quad (\text{I.1})$$

Où

P [Pa] : une pression en Pascal

F[N] : une force en Newton

S[m²] : une section en mètre carrée.

I.5. Les types des détecteurs de fuites

- Détecteur : dispositif ou substance qui indique la présence d'un phénomène sans nécessairement fournir une valeur d'une grandeur associée. On peut n'avoir une indication que si la valeur de la grandeur atteint un seuil donné, parfois appelé seuil de détection du détecteur.
- Les appareils sont soit mécaniques, soit électroniques. Ils utilisent des mécanismes ou des matériaux sensibles (comme les éléments piézoélectriques) pour capter les vibrations ou les bruits émis par les fuites. Les appareils électroniques modernes sont munis d'amplificateurs de signaux et de filtres antiparasites pour mettre en relief le

signal produit par la fuite. Le mode d'emploi des appareils d'auscultation est généralement simple mais leur efficacité dépend de l'expérience de l'opérateur.

➤ ***Les appareils de détection utilisés***

- aquaphone ;
- géophone ;
- microphones au sol ;
- Hydrophone ;
- Hydrosol ;
- Tiges d'écoute.
- détecteur **AQUAPHON-F** (à base d'écoute).
- détecteur **DFJUNIOR**.
- détecteur **SeCorr** (utilisant la technique de corrélation acoustique entre deux signaux provenant de deux capteurs placés de part et d'autre de la fuite).
- détecteur **PERMALOG**.
- détecteur **DF3000G**.
- détecteur **L'hydro lux HL5**.
- détecteur **DETEK-100**.
- détecteur **VARIOTEC 460 Tracergas** (non acoustique) [8].

I.6. La transmission

C'est de transmettre une information d'un endroit l'émetteur vers un autre le Récepteur, séparés d'une distance plus ou moins importante. Lorsque la distance est importante, la transmission d'une information analogique provenant d'un capteur est plus difficile et soumise à des perturbations. En effet l'utilisation d'une simple variation de tension comme grandeur de transmission n'est pas assez fiable, car un changement dans la longueur des fils et donc de leur résistance a pour conséquence de modifier la valeur transmise.

Au début les ingénieurs ont eu de grandes difficultés à trouver un signal électrique qui pouvait être transmis sur des fils sans introduire des erreurs.

Pour transmettre un signal à distance on dispose de plusieurs procédés, dont chacun des avantages et des inconvénients. Telles une par transmission d'impulsion PWM (Pulse Width Modulation) ou par variation proportionnelle d'une fréquence selon la valeur analogique. Ces deux solutions coûtaient cher et étaient difficiles à mettre en œuvre.

Lorsque la boucle 4-20 mA est arrivée, elle est rapidement devenue le standard par le fait d'être très précise et de ne pas être affectée par la résistance des fils et par les variations de la tension d'alimentation [10].

I.6.1. Définition

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.

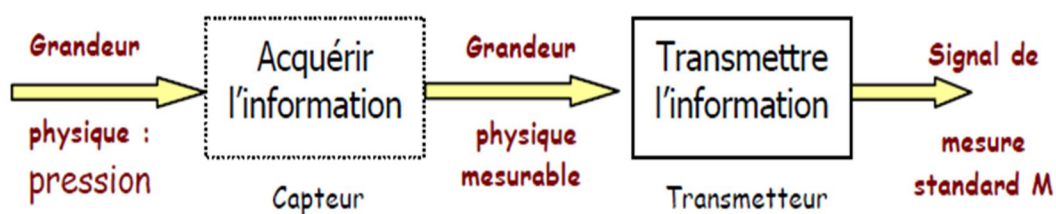


Fig.I.9. La boucle de courant 4-20 mA [11]

Pour réaliser la boucle 4-20 mA, il faut au moins 4 éléments : l'émetteur, l'alimentation de la boucle, les fils de la boucle et le récepteur. Ces 4 éléments sont connectés ensemble pour former une boucle.

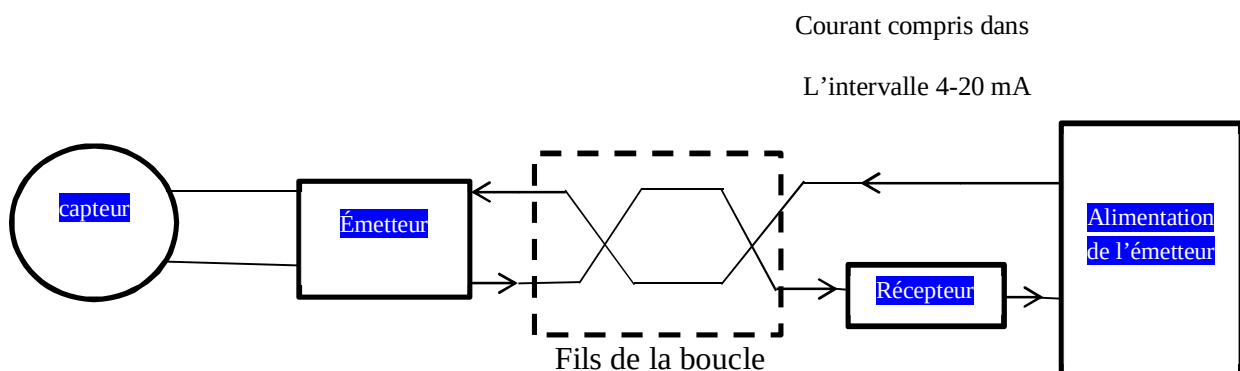


Fig.I.10. boucle 4-20 mA de 4 éléments

I.6.2. Le capteur

Le capteur va mesurer des grandeurs physiques comme la température, la pression... et délivrer une tension de faible amplitude.

I.6.3. L'émetteur

L'émetteur convertit la valeur mesurée par le capteur en un courant compris dans l'intervalle 4-20mA. On a un courant de 4mA pour la première valeur de l'échelle de mesure du capteur et 20mA pour la dernière mesure du capteur.

Exemple: si un capteur doit mesurer une température de -20°C à 75°C , alors 4mA correspondra à -20°C et 20mA à 75°C . Si on lit 0mA soit la boucle ne fonctionne plus, soit le capteur est en défaut.

I.6.4. L'alimentation

L'émetteur doit être alimenté pour fonctionner et ceci par une alimentation externe et par l'intermédiaire des deux fils de la boucle. Le courant minimum de la boucle étant de 4mA ceci impose que l'émetteur doit donc consommer moins de 4mA. La plupart des émetteurs sont alimentés en 24V mais certains n'ont besoin que de 12V.

I.6.5. La liaison filaire

Ce sont 2 fils qui relient tous les composants ensemble en respectant des conditions sur le choix de ces fils pour garantir une bonne transmission. Il faut qu'ils possèdent :

- une très faible résistance,
- une bonne protection contre la foudre,
- ne pas subir d'impulsion de tension induite par un moteur électrique ou un relais,
- avoir également une seule mise à la masse, car plusieurs masses rendrait la boucle

Inopérante. Il suffit d'une petite fuite de courant de masse dans la boucle pour affecter l'exactitude de la transmission.

I.6.6. Le récepteur

On a toujours au moins un récepteur dans la boucle. Il peut être un afficheur digital, une table d'enregistrement, un déclencheur de vanne...etc. Lorsque l'on utilise plusieurs récepteurs,

ces derniers sont câblés en série dans la boucle (1 boucle commun), mais il y a une contrainte à respecter.

Ils ont tous une chose en commun, une résistance d'entrée. Il peut y avoir plus d'un récepteur dans la boucle sous la condition que la tension pour alimenter cette boucle soit suffisante, on peut insérer autant de récepteur que l'on veut. Lorsque l'on utilise plusieurs récepteurs, ces derniers sont câblés en série dans la boucle (1 boucle commun), mais il y a une contrainte à respecter [10].

I.6.7. Câblage 4-20 mA (3 fils)

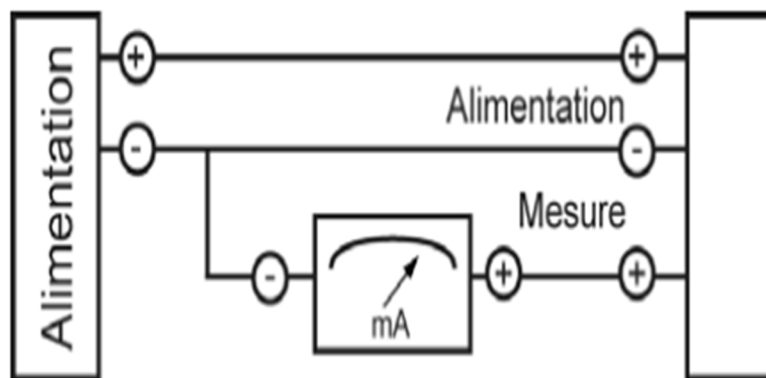


Fig.I.11. Boucle 4-20 utilisée pour capteur de pression

Le schéma ci-dessus est utilisé pour un capteur avec électronique (intégrée ou non) pour une sortie analogique en courant.

I.7. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons donnée quelques définitions sur les réseaux de distribution et montrée que leurs grands problèmes c'est la fuite. Les fuites et leurs causes principales ont été éclaircies, les différentes méthodes de détections de fuites ont été exposées. Il existe des méthodes indirectes qui ne peuvent pas se substituer aux méthodes directes. Nous avons donné un panorama des types des détecteurs de fuite existants. La méthode la plus utilisée est la méthode acoustique. La méthode 4-20 mA a fait l'objet d'une explication pour qu'elle soit utilisée ultérieurement. Les différentes méthodes de détection des fuites feront l'objet du chapitre suivant.



CHAPITRE II



LES DIFFERENTS TYPES DE DETECTION DES FUITES D'EAU

I.1. Introduction

Dans ce chapitre nous allons présenter les différentes techniques de détection des fuites d'eau dans les réseaux de distribution d'eau. La plus part des détecteurs à travers le monde travaillent selon le principe acoustiques. Les méthodes de détections non acoustiques font part de notre travail.

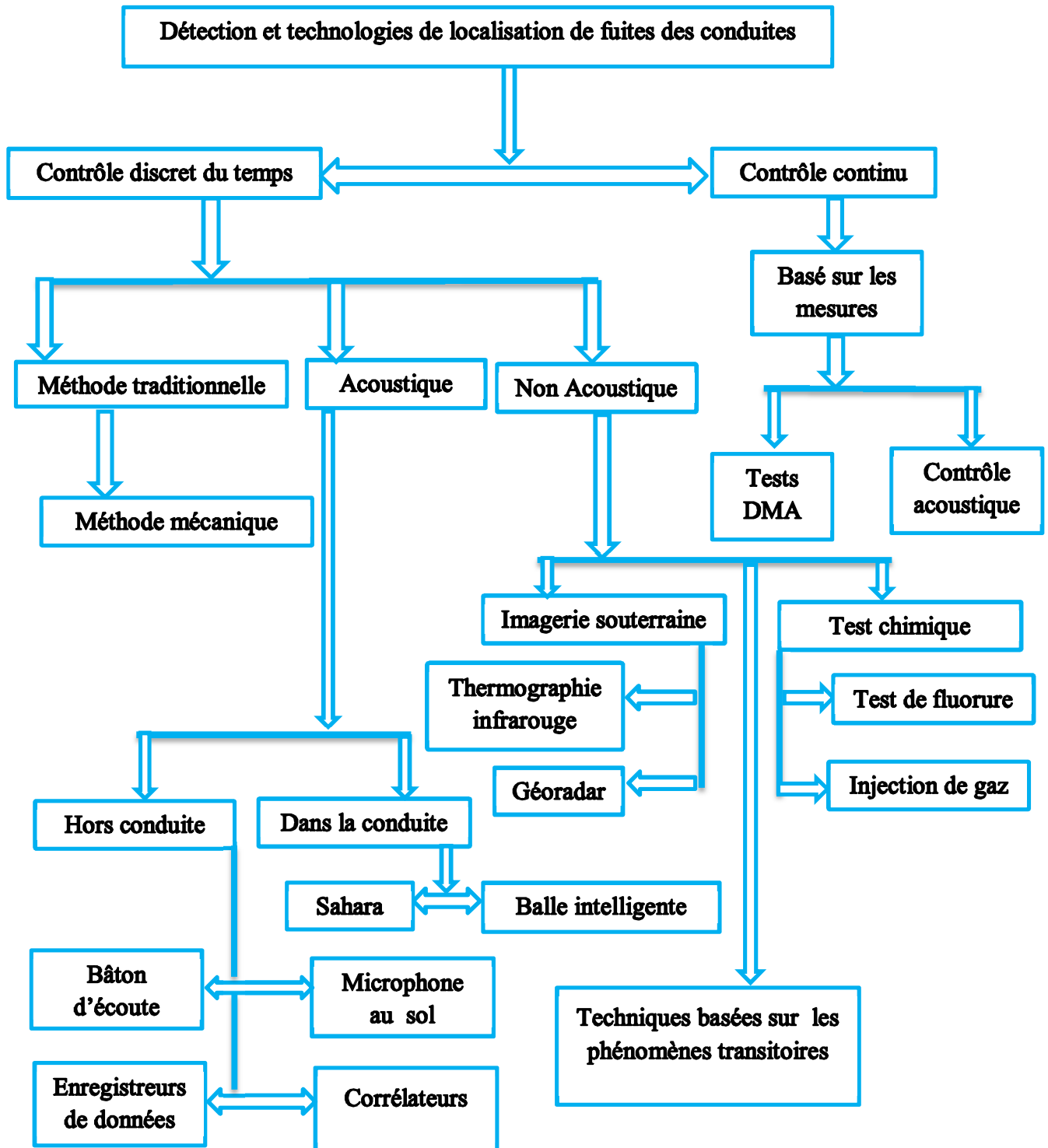


Fig. II.1. Détection et technologies de localisation de fuites des conduites [12]

II.2. Contrôle discret du temps (Méthodes acoustiques)

II.2.1. Hors conduite

II.2.1. A. Microphones au sol

Il s'agit des tiges d'écoute, des aquaphones et des géophones, ou microphones au sol ; ces appareils sont soit mécaniques, soit électroniques. Ils utilisent des mécanismes ou des matériaux sensibles (comme les éléments piézoélectriques) pour capter les vibrations ou les bruits émis par les fuites. Les appareils électroniques modernes sont munis d'amplificateurs de signaux et de filtres antiparasites pour mettre en relief le signal produit par la fuite. Le mode d'emploi des appareils d'auscultation figure (II.2) est généralement simple mais leur efficacité dépend de l'expérience de l'opérateur [1].

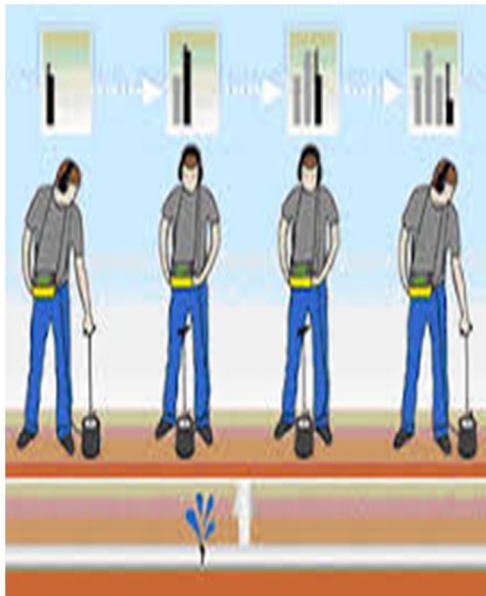


Fig. II.2. Parmi les appareils d'auscultation typiques se trouvent les tiges d'écoute

II.II.1. B. Les corrélateurs

Ce sont des appareils portatifs à microprocesseurs figure (II.3) qui repèrent précisément et automatiquement les fuites par la méthode d'auto corrélation. On mesure dans ce cas le signal acoustique émis par une fuite au moyen de capteurs de vibrations ou d'hydrophones disposés sur deux points de contact avec la conduite (généralement des bouches d'incendie ou des vannes), ce qui permet de déterminer l'emplacement de la fuite présumée. Les signaux produits par les fuites sont transmis, sans fil figure (II.4), des capteurs au corrélateur. Dans la plupart des cas, la fuite ne se trouve pas à égale distance des points de mesure [1].



Fig. II.3. Un corrélateur de bruits de fuites est un appareil portatif à microprocesseurs qui repère Précisément et automatiquement les fuites [8]

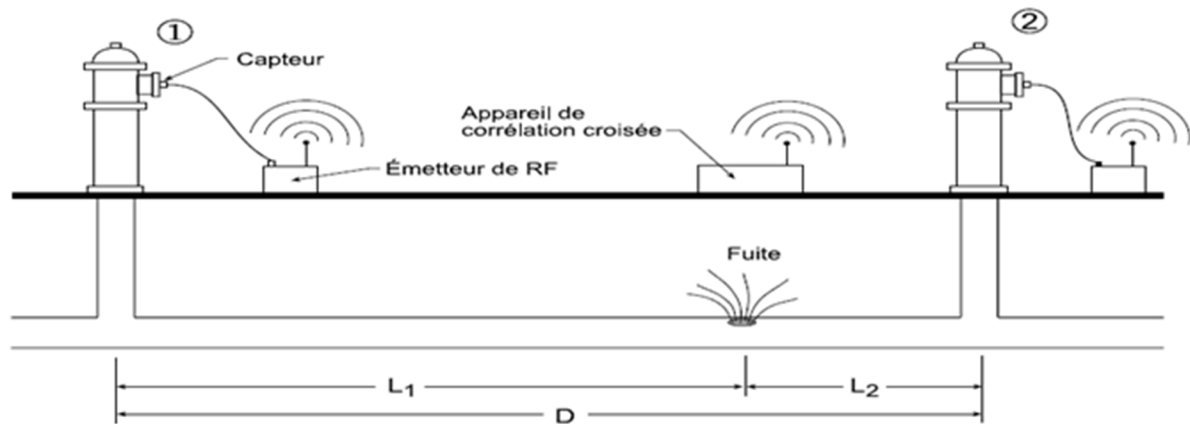


Fig.II.4. Illustration schématique de la méthode de la corrélation croisée pour le repérage précis des Fuites dans les conduites d'eau

Pour la détermination précise de l'endroit de la fuite, on se base sur quelques équations relatives à la propagation de l'onde dans l'eau. Tenant compte que la fuite se propage de part et d'autre de la fuite avec la même vitesse figure (II.5).

- Le temps mis par le signal (1) pour arriver au premier capteur :

$$T_1 = \frac{L_1}{V} \quad (\text{II.1})$$

Où V représente la vitesse de propagation du son dans la conduite.

- Temps mis par le signal (2) pour arriver au deuxième capteur:

$$T_2 = \frac{L_2}{V} \quad (\text{II.2})$$

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

$$\Delta T = T_2 - T_1 = (L_2 - L_1) / V$$

D'autre part nous savons que la distance totale entre les deux capteurs est D.

$$L_2 = D - L_1 \quad (\text{II.3})$$

Par conséquent

$$\Delta T = (D - 2 L_1) / V$$

La distance de la fuite par rapport au premier capteur peut être déduite facilement

$$L_1 = (D - V \Delta T) / 2 \quad [1].$$



Fig. II.5. En résumé la méthode dans cette image

Il existe donc un décalage dans la réception des signaux. Ce décalage temporel est calculé au moyen de la fonction de corrélation croisée des signaux produits par la fuite. La fonction d'autocorrélation donne alors une crête qui coïncide avec le décalage entre les signaux. L'emplacement de la fuite est déterminé au moyen d'une formule algébrique dans laquelle intervient le décalage, la distance entre les capteurs et la vitesse de propagation des ondes sonores dans la conduite figure (II. 5). La distance entre les capteurs est mesurée directement sur place ou relevée sur les cartes du réseau de distribution. La vitesse de propagation le long des conduites de différentes catégories et dimensions est généralement indiquée par la plupart des appareils vendus dans le commerce; elle peut aussi être calculée facilement sur place [1].

L'estimation du décalage temporel entre les deux signaux se détermine par plusieurs méthodes d'estimation.

II.2.2. Dans la conduite

II.2.2. A. Balle intelligente

Pour les conduites de grand diamètre, les problèmes posés par la détection par écoute peuvent être résolus par l'immersion d'hydrophones dans les conduites. Les inspecteurs immergent une sphère en aluminium enveloppée de mousse flottante contenant un hydrophone et ses accessoires électroniques figure (II.5), dans une conduite de grand diamètre, au niveau d'un robinet spécial. La sphère non captive est ensuite poussée dans la conduite par l'écoulement de l'eau puis repêchée à une vanne en aval. Les systèmes de

détection par immersion sont très spécialisés et très sophistiqués et conviennent plus particulièrement aux conduites de grand diamètre [13].

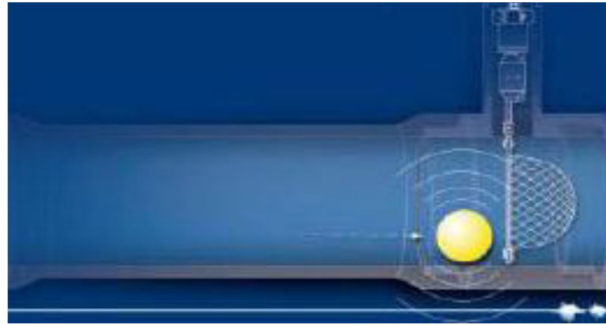


Fig.II.6.Schéma de la détection par immersion [13]

II.3. Contrôle discret du temps : Méthodes non acoustiques

II.3.1. Imagerie souterraine

II.3.1. A. Thermographie

Le principe d'utilisation de la thermographie pour la détection des fuites est le suivant : l'eau s'échappant d'une conduite souterraine modifie les caractéristiques thermiques du sol environnant. Elle crée une zone d'absorption thermique plus efficace que le sol sec environnant). Les anomalies thermiques produites au-dessus de la conduite sont décelées par des caméras infrarouges portatives ou embarquées dans un véhicule terrestre ou un avion [1].

La thermographie infrarouge est un outil de diagnostic non destructif qui permet dans le domaine de la recherche de fuite, de localiser avec précision les infiltrations d'eau dans la structure même des bâtiments.

Cette inspection thermographique sert à visualiser toutes les pertes de chaleur ou modification du substrat au niveau de la température.

Ce diagnostic est pratique pour les planchers chauffants, radiateurs et climatisations.

Elle est aussi utilisée pour:

- Contrôle électrique.
- Mécanique.
- Isolation des bâtiments.
- Planchers chauffants.
- Inspection des panneaux solaires.
- Recherche du point de rosée.
- Inspection thermographique avec caméra thermique.

Spécialiste de la recherche de fuite avec caméra thermique nous inspectons tout bâtiment, appartement ou maison. Une inspection thermographique peut être utilisée pour des recherches de fuite d'eau ou pour un audit thermique.



Fig. II.7. La détection thermographie par caméra infrarouge

Nous avons une solide expérience du bâti puisque nos techniciens sont certifiés par le bureau GINGER CATED pour les diagnostics immobiliers. Nous pouvons également faire une étude thermique en complément d'un diagnostic immobilier de performance énergétique. Cette étude sera complétée par des photos à imagerie thermique pour vous montrer les points faibles et les points à corriger [14].

II.3.1.B. Le géoradar

Les radars permettent de repérer de deux façons les fuites dans les conduites d'eau enfouies : ils détectent les vides créés dans le sol par l'eau qui fuit et circule autour de la conduite, ou bien les segments de canalisations qui semblent plus profonds qu'ils ne le sont en réalité à cause de l'augmentation de la valeur de la constante diélectrique du sol gorgé d'eau, aux alentours de la fuite. Les ondes du géoradar sont partiellement réfléchies vers la surface du sol lorsqu'elles rencontrent une anomalie dans les propriétés diélectriques (p. ex. un vide ou une conduite). En balayant la surface du sol, on obtient la taille et la forme de l'objet sur l'écran du radar. Le décalage entre le moment où l'onde est émise et le moment où elle est réfléchi détermine la profondeur de l'objet qui réfléchit l'onde [1].

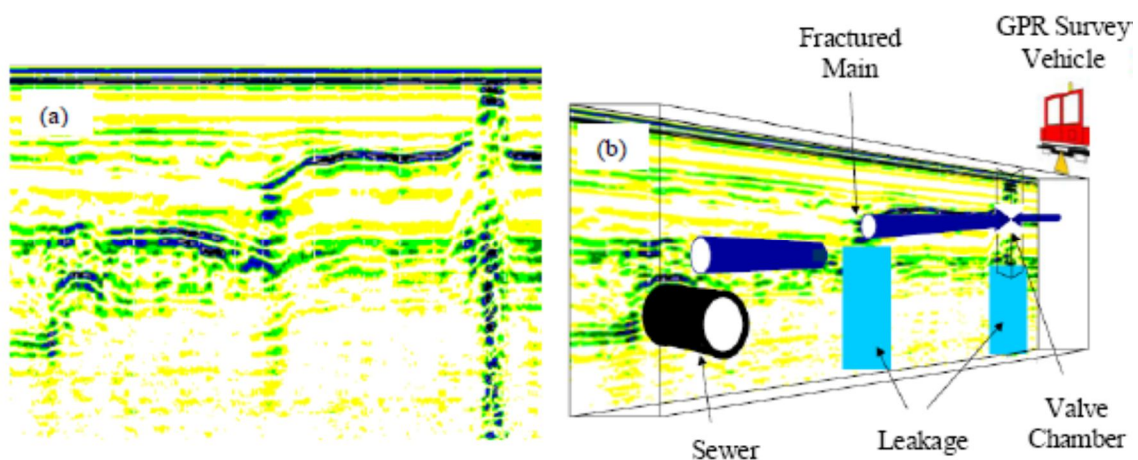


Fig. II.8. Les données GPR avant (a) et après (b) l'interprétation de l'image [8]

II.3.2. Test chimique

II.3.2. A. Test de fluorure [15]

II.3.2. A.1. Produit moussant

L'application d'un produit moussant est un moyen pour détecter et localiser une fuite. Cette méthode consiste à pulvériser un liquide avec tensio-actifs sur la surface extérieure d'éléments d'un circuit pressurisé. Les défauts d'étanchéité sont mis en évidence par la formation de bulles. L'addition de tensio-actifs permet de diminuer la tension superficielle du liquide et donc de laisser apparaître d'éventuelles bulles plus facilement : pour qu'une bulle de gaz puisse se former, il faut que la pression interne de la bulle soit supérieure à la tension superficielle du liquide.

L'avantage d'un tel produit par rapport à de l'eau savonneuse est qu'il est plus sensible, et cette sensibilité est plus reproductible.

La compatibilité du liquide de détection avec les matériaux des éléments contrôlés doit être vérifiée.

Ces produits permettent de détecter des fuites d'au moins quelques centaines de g/an, cependant ceci n'est qu'indicatif et n'est en aucun cas un seuil fixe établi. Ce seuil dépend de nombreux paramètres : nature du gaz, conditions de contrôle, attention de l'opérateur, etc. Cette méthode permet d'identifier des fuites importantes avant de passer à des contrôles faisant appel à des appareils plus sensibles et précis.

Des pulvérisations sont à appliquer, sans excès, à environ 10-20 cm (ou moins en cas de fuite très importante car le produit n'atteindrait pas la pièce) des éléments à contrôler en les couvrant de produit.

II.3.2. A.2. Eau savonneuse

Cette méthode consiste à couvrir au pinceau ou pulvériser d'eau savonneuse la surface extérieure d'éléments d'un circuit pressurisé. Les défauts d'étanchéité sont mis en évidence par la formation de mousse.

La compatibilité du liquide de détection avec les matériaux des éléments contrôlés doit être vérifiée.

L'eau savonneuse permet de détecter des fuites supérieures à plusieurs centaines de g/an, cependant ceci n'est qu'à titre informatif et n'est en aucun cas un seuil fixe établi. Ce seuil dépend de nombreux paramètres : nature du gaz, conditions de contrôle, attention de l'opérateur, etc.

L'eau savonneuse est préparée comme pour un lavage.

II.3.2. A .3. *Fluide fluorescent*

L'introduction de fluide fluorescent dans le circuit en fonctionnement avec le repérage à la lampe UV est un moyen pour détecter et localiser une fuite.

Cette technique, qui n'est pas normée, consiste à introduire un liquide fluorescent à l'intérieur d'un circuit en fonctionnement. Puis, une recherche à l'aide d'une lampe à ultraviolets permet de repérer d'éventuelles taches fluorescentes apparaissant aux endroits de fuites.

Les seuils de détection annoncés par les fabricants sont de l'ordre de 3 à 7 g/an. Cette technique ne permet cependant pas de s'assurer de l'application précise du traceur aux endroits susceptibles de fuir.

Une fois la recherche terminée et l'inventaire des éléments détectés fuyards ou non, tous les endroits comportant une trace fluorescente doivent être nettoyés. En effet, si une nouvelle recherche est effectuée après réparation, celle-ci ne doit pas être perturbée par des traces datant d'une recherche de fuites précédente. Il faut aussi porter des gants et des lunettes de protection contre les éventuelles coulées de liquide traceur. Une paire de lunettes anti-UV est nécessaire.

- [14] La recherche de fuite avec le colorant Fluorescéine est un traceur de référence qui peut être utilisé en faible concentration, avec un appareil de mesure de précision adéquat.

Il colore l'eau au contact de l'air en vert-jaune fluorescent ce qui permet de détecter plus facilement toutes fuites d'eau par infiltration, sur des joints détériorés et dans des canalisations.

La colorante fluorescéine pour une recherche de fuite

En revanche, ce colorant est difficilement utilisable en eaux acides, en raison de la perte de fluorescence, mesurée par un fluorimètre. C'est le colorant idéal pour une recherche de fuite dans les canalisations.

Aucune écotoxicité n'a été mise en évidence à partir des tests réalisés sur divers poissons, les résultats disponibles dans la littérature sur les daphnies, confirment ces conclusions.

Ce traceur peut être employé dans les eaux souterraines sans précaution particulière.

- Coloration de fontaines, bassins.
- Effets spéciaux, en lumière du jour ou UV.

Elle ne tache pas le marbre, ni le béton ou les matériaux comme la porcelaine. Des traces de ce colorant s'éliminent facilement à l'aide d'eau javellisée ou d'un détergent commercial alcalin.

Le colorant Rhodamine B pour une détection de fuite

D'une couleur différente, la Rhodamine B ne se confond pas, vous permettant d'utiliser les deux pour tracer différentes fuites sur un même site.

Le colorant est caractérisé par un pouvoir colorant très élevé, ainsi qu'un effet fluorescent, qui le rend intéressant pour des opérations de repérage en lumière du jour et/ou en lumière UV.

Notre société est spécialisée dans la détection de fuites sur tous les supports.

Dans tous les cas de figure nous nous adapterons en conséquence et nous établirons un rapport dument circonstancié.



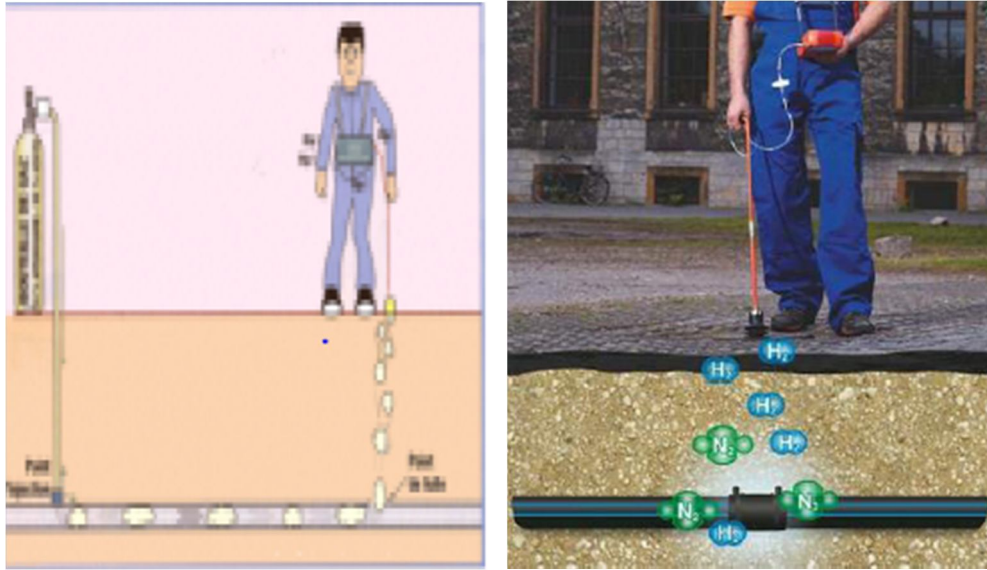
Fig. II.9. Recherche de fuite avec Fluorescéine

II.3.2. B. Injonction de gaz

II.3.2. B.1. La technique du gaz traceur

Le gaz-traceur est un gaz composé d'Azote et d'Hydrogène. Il est incolore, inodore et non toxique.

Le gaz est ensuite injecté dans la conduite et est mis en pression. S'il y a une fuite, le gaz s'échappe alors par l'orifice et remonte à la surface du sol, il est alors détecté grâce à un appareil qui filtre les molécules et permet de déterminer la présence d'une fuite.



(a)

(b)



(c)

Fig.II.10. techniques des gaz traceur

Notre société utilise pour une recherche de fuite, la technique du gaz traceur comme alternative très efficace et qui consiste à injecter un gaz, mélange d'hydrogène et d'azote, dans le réseau d'eau sous pression.

Ce gaz, plus léger que l'air, s'échappe verticalement par l'ouverture de la fuite, traverse les couches de matériaux rencontrés (terre, béton, joints de carrelage...) puis atteint la surface. Ce gaz (Azote Hydrogène) est employé pour diverses raisons.

Il permet d'une part de détecter les fuites d'eau sur les canalisations alimentées en eau, mais aussi pour les toits terrasse.

En effet en injectant ce gaz sous le revêtement du toit on arrive à déceler toutes les infiltrations qu'il pourrait y avoir suite à une malfaçon ou tout simplement par une usure prématurée des revêtements.

La fuite est repérée en balayant la surface du sol au-dessus de la conduite au moyen d'un détecteur de gaz très sensible. Cette sonde est très sensible et indique l'endroit précis de la fuite.

La technique de détection aux ultrasons connaît des limites sur les canalisations où il y a une absence de propagation de bruit, mais aussi sur des réseaux à faible pression d'eau.

Dans tous les cas de figure nous nous adapterons en conséquence et nous établirons un rapport circonstancié de l'origine du problème [14].

II.3. Contrôle continu basé sur la mesure

II.3.1. Contrôle acoustique [15]

II.3.1. A. 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..

II.3.1. B. 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 DTa (en anglais « Small Temperature Difference ») qui caractérise la qualité de l'échange dans les échangeurs:

- à l'évaporateur, $DTa_{\text{évaporateur}} = T_{\text{sortie eau évap.}} - T_{\text{évaporation}}$

- au condenseur, $DTa_{\text{condenseur}} = T_{\text{sortie eau cond.}} - T_{\text{condensation}}$

Lorsqu'on augmente la charge, les valeurs de DTa 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 DTa).

II.3.1. C. 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.

II.3.1. D. Reniflage avec détecteur-mesureur

Le reniflage avec un détecteur-mesureur est un moyen pour détecter, localiser et estimer le niveau de fuite (local) avec indication de la valeur de mesure.

La technique permet de déceler, avec un appareil de reniflage approprié (par exemple : spectromètre de masse, appareil à ionisation de flamme), le gaz fuyard avec lequel l'élément ou le circuit à contrôler a été pressurisé. Le gaz, qui s'échappe par les défauts d'étanchéité, est détecté au moyen d'une sonde de reniflage, reliée au détecteur de gaz, que l'on déplace manuellement lentement et au plus près des points à contrôler (maximum 20 mm/s et au plus 1 mm de distance). La sonde doit être placée au droit de la fuite. Des positionnements de la sonde en biais ou de travers peuvent entraîner une erreur de mesure ou même une non-détection. La valeur de fuite mesurée s'affiche sur l'appareil.



Fig. II.11. Déplacement de la sonde « au plus près » des zones potentiellement fuyardes

II.3.1. E. Reniflage avec détecteur électronique

Le reniflage avec un détecteur électronique est un moyen de détection et de localisation de fuite avec indication du dépassement d'une valeur seuil. La valeur de fuite détectée n'est pas indiquée.

Le dépassement du seuil de détection est signalé en général par une ou plusieurs diodes qui s'allument et par un bip sonore plus ou moins rapide ou fort. Ces appareils permettent en général de détecter des fuites supérieures à 1 g/an, parfois plus, mais leur sensibilité doit être inférieure ou égale à 5 g/an.

II.4. Les nouvelles méthodes

II.4. A. Remontée de pression [15]

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.

La méthode de chute de pression C'est l'objet de notre travail, alors on explique cette méthode :

II.4. B. 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.

II.4. C. Capteur de pression

- **Définition :** Lorsqu'un corps (gaz, liquide ou solide) exerce une force F sur une paroi S (surface); on peut définir la pression P exercée par ce corps avec la relation ci-dessous :

$$P \text{ [PA]} = \frac{F[N]}{S[m^2]} \quad \text{sachant que : } 1 \text{ Pascal(Pa)} = \frac{1\text{Newton(N)}}{1m^2}$$

Le capteur de force est inséré dans la paroi d'une enceinte où règne une pression P .

Une face du capteur est soumise à la force F (pression P) et l'autre face est soumise à la force F_0 (pression extérieure P_0).

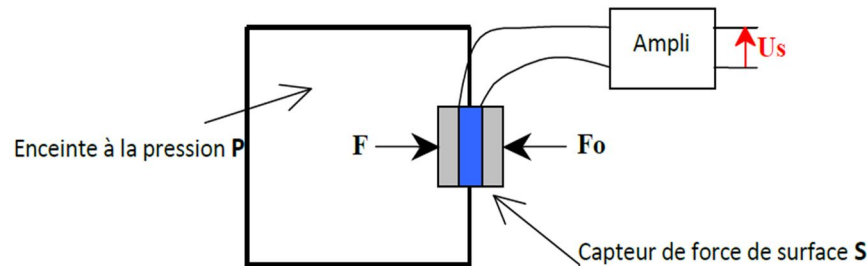


Fig. II.12. Principe d'un capteur de pression

On a : $F = P \cdot S$; $F_0 = P_0 \cdot S$ et $U_S = K (F + F_0)$ (capteur de force, $k = \text{constante}$).

Donc : $U_S = K \cdot S (P + P_0) = K' (P + P_0) \Rightarrow U_S = K' (P + P_0)$.

Il s'agit ici d'un capteur de pression qui mesure la somme de la pression extérieure P_0 et de la pression de l'enceinte P .

Il existe deux types de capteur de pression en utilisation dans notre montage ont cité :

- **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. II.13. Capteurs de pression absolue

❖ *Principe de fonctionnement*

➤ **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% [25].

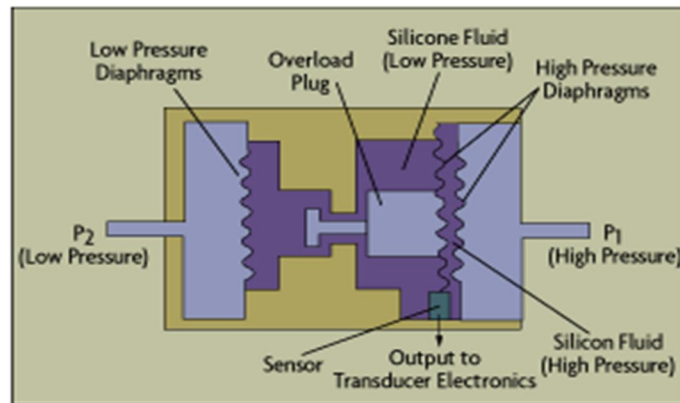


Fig. II.14. Principe de capteur à base de Jauges de contrainte

- **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.



Fig.II.15. Capteurs de pression différentiels

II.5. Conclusion

Pour contourner le problème des fuites, il existe plusieurs méthodes de détection des fuites d'eau potable d'une zone urbaine et industrielle. Une description sommaire a été guidée dans ce chapitre pour montrer les différentes méthodes de détection des fuites.

Les fuites sont habituellement la cause principale des pertes qui se produisent dans les réseaux de distribution d'eau. Pour réduire les pertes économiques et les risques pour la santé publique ainsi que pour économiser l'eau, les exploitants de réseaux de distribution d'eau vérifient régulièrement ceux-ci et procèdent à la détection des fuites. Le principe de fonctionnement sur lequel se base les capteurs de pression est aussi éclaircis.

Plusieurs techniques de traitement de signal sont appliquées. On cherche toujours à exploiter la méthode la plus précise et celle qui donne de bon résultat. Parmi les méthodes citées dans la littérature, on trouve la STFT qui est une méthode d'analyse temps-fréquence. La base théorique de cette méthode de traitement de signal fera le but du chapitre suivant.

CHAPITRE III



TRAITEMENT DU SIGNAL

III.1. Introduction

Dans ce chapitre, les méthodes de traitement du signal les plus appliquées dans la détection des fuites sur les conduites de distribution d'eau vont être décrites. L'analyse spectrale basée sur la transformée de Fourier est traitée. La FFT (FAST FOURIER TRANSFORM) est présentée. Il est judicieux avant d'introduire les bases théoriques des méthodes d'analyse temps-fréquence (STFT), de citer les inconvénients de la FFT. Les méthodes de traitement de signal les plus connues telles que : La transformée de Fourier à fenêtre glissante (Short term Fourier transformation STFT) va être exposée sans oublier de dire que la version discrète est obtenue en échantillonnant la version continue. Une description théorique sur les ondelettes est introduite.

III.2. Définitions et représentation des signaux

III.2.1. Définitions

III.2.1.A. Un signal

Un signal est la représentation physique de l'information, qu'il convoie de sa source à sa destination. C'est une expression d'un phénomène qui peut être mesurable par un appareil de mesure. Bien que la plupart des signaux soient des grandeurs électriques (généralement courant, tension, champ, ...etc.). La théorie du signal reste valable quelle que soit la nature physique du signal [16]. Autrement dit, un signal est un message simplifié et généralement codé. Nous citons quelques exemples de ces signaux physiques :

- ✓ Signaux lumineux sont employés depuis la nuit des temps par les hommes pour communiquer entre eux à distance.
- ✓ Signaux électriques sont une des formes les plus récentes de signal.
- ✓ Signal dans le domaine informatique et de la communication interprocessus.

On a l'habitude de représenter un signal par une fonction continue dans le temps et de visualiser le signal sur un oscilloscope ou un appareil représentant la variation d'amplitude d'un phénomène en fonction du temps (cardiogramme, sismographe, microphone, ...etc.) [17].

On définit deux classes principales de signaux :

- ✓ Signal déterministe : il s'agit d'un signal dont on peut représenter l'évolution grâce à une fonction mathématique. On peut citer le signal sinusoïdal, rampe, échelon,

impulsion de Dirac, ...etc. Un signal déterministe peut être périodique ou non périodique.

- ✓ Signal aléatoire : est un signal dont on ne peut deviner l'évolution. Néanmoins, tout signal aléatoire peut être caractérisé mathématiquement, mais aucune fonction mathématique ne permet de prédire l'évolution du signal à l'instant donné. Un signal aléatoire peut être stationnaire ou non stationnaire.

En règle générale tout signal réel est aléatoire, car tout signal est entaché d'un bruit. Mais, un signal aléatoire n'est pas un bruit et ce dernier peut être déterministe [17].

III.2.1.B. La théorie du signal

La théorie du signal fournit la description mathématique (ou modélisation) des signaux. Le traitement des signaux est la discipline technique s'appuyant sur la théorie du signal et de l'information, les ressources de l'électronique, de l'informatique et de la physique appliquée, a pour objet l'élaboration ou l'interprétation des signaux porteurs d'information. Elle trouve son application dans tous les domaines concernés par la perception, la transmission ou l'exploitation de ces informations.

L'objectif fondamental de la théorie du signal est la description mathématique des signaux. Elle fournit les moyens de mettre en évidence, sous forme mathématique commode les principales caractéristiques d'un signal (la distribution spectrale de son énergie ou la distribution statistique de son amplitude par exemple). Elle offre également les moyens d'analyser la nature des altérations ou modifications subies par les signaux lors de leur passage au travers de blocs fonctionnels (dispositifs généralement électriques ou électroniques) [16].

III.2.1.C. Le traitement du signal

Le traitement du signal est devenu une science incontournable de nos jours (Toutes applications de mesures, de traitement d'information mettent en œuvre des techniques de traitement sur le signal pour extraire l'information désirée). Initialement destiné à extraire le signal immergé dans un bruit lors de mesures (capteurs), le traitement du signal est largement appliqué en télécommunication et dans des applications diverses et variées [17].

III.3. Les fonctions principales du traitement du signal

Les principales fonctions du traitement de signal sont :

a. L'analyse : On cherche à isoler les composantes essentielles d'un signal de forme complexe, afin d'en mieux comprendre la nature et origines.

b. La mesure : mesurer un signal, en particulier aléatoire, c'est essayer d'estimer la valeur d'une grandeur caractéristique qui lui est associée avec un certain degré de confiance.

c. Le filtrage : c'est une fonction qui consiste à éliminer d'un signal de certaines composantes indésirables.

d. La détection : par cette opération on tente d'extraire un signal utile du bruit de fond qui lui est superposé.

e. L'identification : c'est un procédé souvent complémentaire qui permet d'effectuer un classement du signal observé.

f. La synthèse : opération inverse de l'analyse, consiste à créer un signal de forme appropriée en procédant, par exemple, à une combinaison de signaux élémentaires.

g. Le codage : outre sa fonction de traduction en langage numérique, est utilisé soit pour lutter contre le bruit de fond, soit pour tenter de réaliser des économies de largeur de bande ou de mémoire d'ordinateur.

h. La modulation et le changement de fréquence : sont essentiellement des moyens permettant d'adapter un signal aux caractéristiques fréquentielles d'une voie de transmission, d'un filtre d'analyse ou d'un rapport d'enregistrement [16].

III.4. Les types des fonctions

III.4.1. Fonctions linéaire et non-linéaire

Un signal linéaire est un système pour lequel à une combinaison linéaire appliquée à son entrée fait correspondre la même combinaison linéaire à sa sortie. Un signal non-linéaire est un système pour lequel le principe de superposition précédent ne s'applique pas [16].

III.4.2. Fonctions stationnaire et non-stationnaire

Un signal est dit stationnaire si ses composantes de fréquences ne changent pas avec le temps en particulier la moyenne statistique et la variance. Par contre, un signal non stationnaire est celui dont les composantes de fréquences changent avec le temps (le contenu de fréquences change d'un intervalle à un autre). La majorité des phénomènes physiques ne vérifient pas l'hypothèse de stationnarité et par conséquent l'analyse de Fourier devient inefficace [16].

III.5. Représentation spectrale d'un signal périodique

L'idée de représentation fréquentielle est maintenant formulée de manière plus précise avec quelques notions mathématiques. Dans un premier temps, seuls les signaux périodiques sont traités et le concept de décompositions en série de Fourier est introduit. Ensuite, le cas des signaux apériodiques est également traité grâce à la notion de transformation de Fourier [18].

III.5.1. Définition de la série de Fourier

Les séries de Fourier permettent de passer du domaine temporel au domaine, fréquentiel pour des signaux périodiques, dans le cas contraire, on utilisera la Transformée de Fourier. Nous avons vu qu'un analyseur de spectre permettait de représenter un signal comme sommation de signaux à des fréquences différentes. En fait, la décomposition en série de Fourier permet de représenter un signal comme une somme infinie de signaux sinusoïdaux et cosinusoïdaux.

Soit $x(t)$, un signal périodique de période T , quelconque alors x peut s'écrire de la manière suivante :

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

Avec :

$$a_0 = \frac{1}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} x(t) dt \quad (\text{III.2})$$

$$a_n = \frac{2}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} x(t) \cos(n\omega_p t) dt ; \quad b_n = \frac{2}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} x(t) \sin(n\omega_p t) dt ; \quad n > 1 \quad (\text{III.3})$$

Les coefficients a_n et b_n sont appelés les coefficients de la série de Fourier, $\omega_p = 2\pi f_p$ est la pulsation avec $f_p = \frac{1}{T}$ [17]. f_p est appelée la fondamentale.

III.5.2. Développement en série de Fourier

Les signaux périodiques seront considérés. On dit d'un signal $s(t)$ qu'il est périodique s'il est reproduit à l'identique à intervalles de temps régulier. Cet intervalle est la période. Mathématiquement, un signal $s(t)$ est périodique de période T_p si et seulement si :

$$s(t + T_p) = s(t), \forall t. \quad (\text{III.4})$$

Tout (ou presque tout) signal périodique $s(t)$ de pulsation ω_p (donc de fréquence f_p et de pulsation T_p) est décomposable en une somme infinie de sinusoïdes [18].

III.6I. Représentation spectrale d'un signal apériodique

Les résultats de la partie précédente ne sont valables que pour des signaux périodiques. Or, en traitement du signal, on peut rencontrer des signaux qui ne le sont pas. Ce n'est pas

pour autant qu'il soit exclu de leur trouver une représentation fréquentielle. Il faut simplement changer d'outil et envisager les choses de façon un peu plus générale, grâce à la transformation de Fourier... [18].

III.6.1. Transformation de Fourier

Tout signal continu et périodique de période T_p présente un spectre discret dont les raies sont espacées par des multiples de f_p .

Lorsqu'un signal est périodique de période $T_p = \frac{1}{f_p}$, son spectre fait apparaître des raies distantes de f_p et correspondant aux diverses harmoniques présentes dans le signal, plus la période T_p est élevée, plus les raies se rapprochent. Si l'on pousse le raisonnement à sa limite, un signal apériodique peut être interprété comme un signal périodique de période infinie. L'espace entre les raies se réduit alors à zéro et le spectre, au lieu d'être composé de plusieurs raies espacées, se transforme en une courbe continue où tous les points viennent se toucher. On ne peut alors plus vraiment parler d'harmoniques de rang n . L'espace fréquentiel n'est plus discret mais continu (le spectre, quel qu'il soit, est défini pour toute valeur de f).

Tout (ou presque tout) signal apériodique $s(t)$ borné et d'énergie bornée (finie) admet une transformée de Fourier :

$$F(s)(f) = S(f) = \int_{-\infty}^{+\infty} s(t) e^{-2j\pi ft} dt \quad (\text{III.5})$$

Qui permet d'établir un spectre continu du signal $s(t)$ [18].

III.6.2. Transformation inverse de Fourier

Il existe un moyen de revenir du domaine fréquentiel au domaine temporel en utilisant la transformation de Fourier inverse.

Tout (ou presque tout) spectre $S(f)$ admet une transformée de Fourier inverse :

$$F^{-}(s)(f) = S(f) = \int_{-\infty}^{+\infty} s(t) e^{2j\pi ft} dt \quad [\text{18}]. \quad (\text{III.6})$$

Lorsque le signal n'est pas périodique, on peut supposer qu'il est périodique à l'infini. Si le signal n'est pas périodique (ou périodique à l'infini), le spectre est continu.

La Transformée de Fourier s'obtient de manière équivalente à la série de Fourier, mais en faisant tendre la période T vers l'infini. La sommation devient une intégrale.

Ainsi on obtient :

$$X(f) = \lim_{T \rightarrow \infty} \int_{T/2}^{T/2} x(t) e^{-2j\pi ft} dt \quad (\text{III.7})$$

A partir de $x(t)$ on peut calculer le spectre du signal par Transformée de Fourier.

Par conséquent, on peut écrire :

$$X(f) = \int_{-\infty}^{+\infty} x(t) e^{-2j\pi ft} dt \quad (\text{III.8})$$

Mais, on peut aussi passer du domaine fréquentiel au domaine temporel : A partir de la Transformée de Fourier $X(f)$, on peut calculer le signal $x(t)$:

$$x(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} X(f) e^{+j2\pi ft} df \quad (\text{III.9})$$

Il s'agit de la transformée de Fourier Inverse [16].

III.6.3. Condition d'existence de la transformation de Fourier

L'existence de la TF est liée à la convergence absolue de l'intégrale $\int_{-\infty}^{+\infty} |x(t)|^2 dt < \infty$.
 Toutefois : $\int_{-\infty}^{+\infty} |x(t)|^2 dt \leq (\int_{-\infty}^{+\infty} |x(t)| dt)^2$. ce qui implique la convergence des signaux de carré sommables, c'est à dire les signaux à énergie finie (ceci est le cas de tous les signaux en pratique).

➤ Pour résumer

Si $x(t) \in L^2$: la TF de $x(t)$ est donnée par :

$$X(f) = \text{TF}[x(t)] = \langle x, \exp(-j2\pi ft) \rangle = \int_{-\infty}^{+\infty} x(t) \cdot \exp(-j2\pi ft) dt \quad (\text{III.10})$$

De même la TF inverse est donnée par :

$$x(t) = \text{TF}^{-1}[X(f)] = \langle X, \exp(+j2\pi ft) \rangle = \int_{-\infty}^{+\infty} X(f) \cdot \exp(+j2\pi ft) dt \quad [16] \quad (\text{III.11})$$

III.6.4. Quelques propriétés de la transformée de Fourier

➤ Propriétés de linéarité :

La TF est une opération linéaire c-à-d :

$$x(t) \leftrightarrow X(f) \quad (\text{III.12})$$

$$y(t) \leftrightarrow Y(f) \quad (\text{III.13})$$

Ceci entraîne :

$$a x(t) + b y(t) \leftrightarrow a X(f) + b Y(f) \quad (\text{III.14})$$

➤ Propriétés de parité :

Si x est paire alors : $x(-t) = x(t)$

$$X(f) = \text{TF}[x(t)] = 2 \cdot \int_0^{+\infty} x(t) \cdot \cos(j2\pi ft) dt \quad (\text{III.15})$$

Si x est impaire : $x(-t) = -x(t)$

$$X(f) = \text{TF}[x(t)] = -2 \cdot \int_0^{+\infty} x(t) \cdot \sin(j2\pi ft) dt \quad (\text{III.16})$$

➤ Propriétés de similitude :

$$x(t) \leftrightarrow X(f) \Rightarrow x(at) \leftrightarrow \frac{1}{|a|} X\left(\frac{f}{a}\right) \quad (\text{III.17})$$

➤ Propriétés de translation :

$$x(t) \leftrightarrow X(f)$$

$$x(t-a) \leftrightarrow \exp(-j2\pi af) X(f) \quad (\text{III.18})$$

Cette propriété de translation est évidemment réciproque, c'est-à-dire :

$$X(f-a) \leftrightarrow \exp(+j2\pi at) x(t) \quad (\text{III.19})$$

➤ Dérivation :

$$\text{Si } x(t) \leftrightarrow X(f)$$

$$\frac{dx(t)}{dt} \leftrightarrow (j2\pi f) X(f) \quad (\text{III.20})$$

$$\frac{d^n x(t)}{dt^n} \leftrightarrow (j2\pi f)^n X(f) \quad (\text{III.21})$$

➤ Propriétés liées à la convolution :

$$x(t) \leftrightarrow X(f)$$

$$y(t) \leftrightarrow Y(f)$$

$$x(t)*y(t) \leftrightarrow X(f).Y(f), \text{ de même : } x(t).y(t) \leftrightarrow X(f)*Y(f) \quad [16] \quad (\text{III.22})$$

III.7.1. Transformée de Fourier Discrète

La transformée de Fourier Discrète, généralement notée TFD, assigne à la séquence finie de N termes d'index k, $0 \leq k \leq N-1$ d'un signal dans le domaine temporel

$$\{x(k)\}_{0 \leq k \leq N-1} = \{x(0), x(1), x(2), \dots, x(N-1)\}$$

La séquence finie de N termes d'index ℓ , $0 \leq \ell \leq N-1$

$$\{X(\ell)\}_{0 \leq \ell \leq N-1} = \{X(0), X(1), \dots, X(N-1)\} \text{ Dans le domaine spectral telle que :}$$

$$X(\ell) = DFT\{x(k)\} = \sum_{k=0}^{N-1} x(k) e^{-j\frac{2\pi k\ell}{N}} \quad (\text{III.23})$$

Où le terme N représente le nombre de points de calcul de la TFD. Ce terme joue sur la précision du tracé alors que le terme X est lié à la résolution en fréquence [19].

La transformée de Fourier inverse est donnée par :

$$x(k) = IDFT\{X(\ell)\} = \frac{1}{N} \sum_{\ell=0}^{N-1} X(\ell) \cdot e^{j\frac{2\pi k\ell}{N}} \quad (\text{III.24})$$

Le passage d'un plan à un autre est illustré par la figure (III.1)

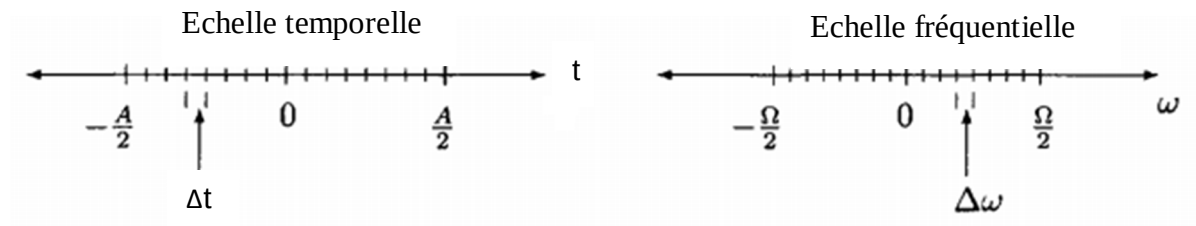


Fig.III.1. Relations de réciprocité temps-fréquence [20]

Tenant compte que l'échelle temporelle de la DFT est associée avec l'échelle fréquentielle à travers les relations de réciprocité.

$$A. \Omega = N \quad (III.25)$$

$$\Delta t. \Delta \omega = \frac{1}{N} \quad (III.26)$$

III.7.1.A. La Transformée de Fourier Rapide (FFT)

La transformée de Fourier rapide, est une technique mathématique de calcul rapide élaborée en 1965 par J. W. Cooley et J. W. Tuckey. C'est une méthode très efficace pour déterminer le spectre de n'importe quel signal. La FFT permet de ramener le calcul de la transformée de Fourier discrète de N^2 à $N \cdot \log(N)$ opérations. Ainsi une TFD calculée sur $N=1000$ points nécessiterait 10^6 cycles machine. Même sur un DSP (pourtant optimisé pour ce type d'opération), ayant un temps de cycle de 50ns cela prendrait 50ms, soit une fréquence f_e de 20Hz. Cette réduction de la complexité de calcul a suffi à faire passer facilement résolubles de nombreux problèmes liés à l'analyse spectrale. Pour une meilleure visualisation d'une analyse fréquentielle, la FFT est utilisée au travers d'une fenêtre glissante d'observation. Malgré sa célébrité et son succès, la FFT reste inadaptable pour les signaux non stationnaires et elle montre assez vite ses limitations, à cause de la perte de la localisation temporelle.

Un premier exemple sur un signal stationnaire est donné. Ce signal est composé d'une somme de deux sinusoïdes de fréquences (50 et 150 Hertz) de même amplitude, dont la FFT voir figure (III.2-a), et d'amplitude différente, dont la FFT voir figure (III.2-b).

On constate qu'avec l'analyse de Fourier, les deux signaux sont identiques en raies spectrales et bien sûr les amplitudes diffèrent.

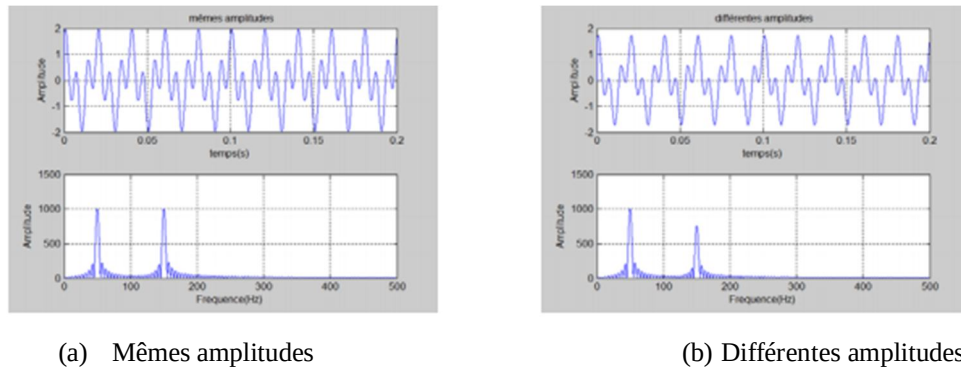
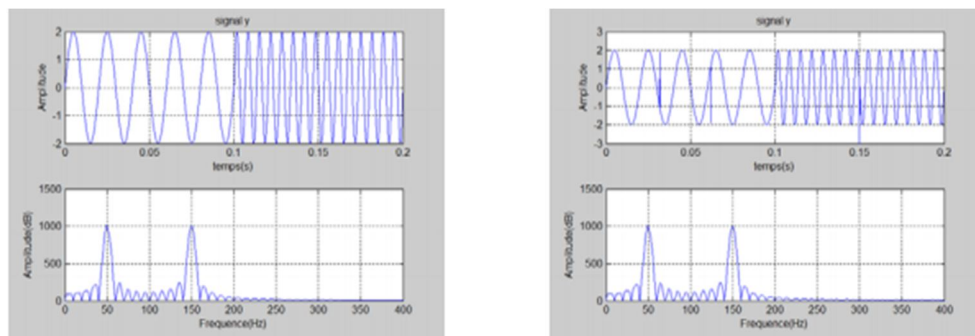


Fig.III.2. Représentation temporelle et fréquentielle de la somme de deux sinusoïdes [21]

Un deuxième exemple sur un signal non stationnaire, changeant l'allure fréquentielle dans le temps, en passant d'une sinusoïde de 50 Hz à une autre de 150 Hz en gardant la même amplitude. On remarque que l'analyse en fréquence est incapable de donner l'information sur la localisation temporelle du changement de régime dans le signal de la figure (III.3). On le constate aussi que dans la figure (III.3-b) une impulsion est ajoutée par rapport à la figure (III.2-a), mais sans aucun impact sur la FFT.



(a) Représentation temporelle et fréquentielle d'une succession de deux sinusoïdes

(b) Représentation temporelle et fréquentielle d'une succession de deux sinusoïdes + une impulsion

Fig.III.3. Perte de localisation temporelle [21]

III.7.1.B. Analyse des signaux dans le domaine temps fréquence (STFT)

Pour surmonter les problèmes de stationnarité, L'analyse, par cette méthode, est introduite Elle est connue en anglais sous le nom STFT (Short Time Fourier Transform). L'idée originale sur laquelle est basée cette méthode est apparue en 1946 grâce au physicien Denis Gabor. Il s'agit de calculer la transformée de Fourier du signal temporel découpée en morceaux. Multiplication du signal $x(t)$ par une fenêtre glissante $h(t - b)$ (réelle) et calcul de la transformée de Fourier de ce produit.

$$F(f, b) = \int_{-\infty}^{+\infty} x(t)h(t - b)e^{-j2\pi ft} dt \quad (\text{III.27})$$

Par conséquent, la STFT décompose le signal dans le domaine temporel en deux dimensions temps et fréquence (f , b). Le module de ce plan qui est le carré de l'amplitude de la STFT. $|F(f, b)|^2$ est appelé le spectrogramme. Le problème, pour cette représentation, est le fenêtrage où le signal ne peut être représenté fidèlement et il se retrouve, donc, dans les mêmes limites que la transformée de Fourier. La résolution en temps et en fréquence du spectrogramme est limitée par le principe d'incertitude de Heisenberg-Gabor qui stipule que l'on ne peut être infiniment précis en temps et en fréquence, la formulation mathématique du principe d'incertitude de Heisenberg-Gabor est donnée par l'inégalité (III.28):

$$\Delta t \cdot \Delta f \geq \frac{1}{4\pi} \quad (\text{III.28})$$

Où Δt et Δf sont respectivement la résolution temporelle et la résolution fréquentielle et sont définis par (III.29) et (III.30) :

$$\Delta t = \sqrt{\frac{1}{E} \int (t - C_t)^2 |x(t)|^2 dt} \quad (\text{III.29})$$

$$\Delta f = \sqrt{\frac{1}{E} \int (f - C_f)^2 |X(f)|^2 df} \quad (\text{III.30})$$

E étant l'énergie du signal C_f et C_t , correspondent respectivement au centre temporel et fréquentiel de l'énergie. Ces quantités sont définies par les équations (III.31) et (III.32).

$$C_t = \frac{1}{E} \int t \cdot |x(t)|^2 dt \quad (\text{III.31})$$

$$C_f = \frac{1}{E} \int f \cdot |X(f)|^2 df \quad (\text{III.32})$$

Le spectrogramme est une analyse mono-résolution; on ne peut être à la fois « précis » en temps et en fréquence. Cependant, pour une large classe de signaux réels, les zones d'énergie sont non-stationnaires sur des périodes courtes à haute fréquence d'où l'intérêt d'une analyse multi-résolution

Il est à noter qu'il est impossible d'analyser le signal sur une période infinie d'où il faut choisir une fonction de pondération (Hamming, Hanning, Blackmann, Kaiser...) pour corriger les effets d'un fenêtrage fini comme illustré sur la figure (III.3). De nombreuses fenêtres existent, certaines possèdent des paramètres de taille permettant de sélectionner la région la plus intéressante du signal (sachant que cela a une influence alors sur les lobes secondaires et la taille du lobe principal). Parmi les fonctions de fenêtrage on cite :

$$\text{Hamming : } w_{\text{hamming}}(n) = 0.54 - 0.46 \cos\left(2\pi \frac{n}{N}\right), \text{ pour } 0 \leq n \leq N \quad (\text{III.33})$$

$$\text{Blackman: } w_{\text{blackmann}}(n) = 0.42 - 0.5 \cos\left(2\pi \frac{n}{N}\right) + 0.08 \cos\left(2\pi \frac{n}{N}\right) \quad (\text{III.34})$$

pour $0 \leq n \leq N$

$$\text{Triangulaire : } w_{\text{tri}}(n) = \begin{cases} \frac{2n}{N} & \text{pour } 0 \leq n \leq \frac{N}{2} \\ \frac{2-2n}{N} & \text{pour } \frac{N}{2} \leq n \leq N \end{cases} \quad (\text{III.35})$$

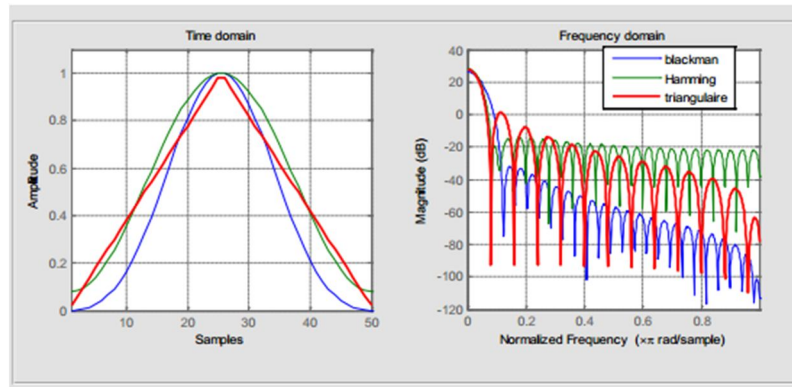


Fig.III.4. Fonctions de fenêtrage et leurs enveloppes de réponses fréquentielles [21]

Ainsi, l'étude d'un signal avec la STFT permet d'obtenir à la fois une information sur le temps et sur la fréquence, mais la résolution d'analyse est fixée par le choix de la taille de l'enveloppe :

- Si la fenêtre est trop petite, les basses fréquences n'y seront pas contenues.
- Si la fenêtre est trop grande, l'information sur les hautes fréquences est noyée dans l'information concernant la totalité de l'intervalle contenu dans la fenêtre.

Donc la taille fixe de la fenêtre est un gros inconvénient. L'outil idéal serait une fenêtre qui s'adapte aux variations de fréquence dans le signal à analyser. Cet outil existe, il s'agit de l'analyse par ondelettes.

Dans la transformée de Gabor, la fenêtre h est une Gaussienne d'échelle (a):

$$h(x) = \frac{1}{a} e^{-\pi(\frac{x}{a})^2} \cdot e^{2j\pi x}$$

Les fonctions de Gabor sont alors ($a=1$) : $e^{-\pi(x)^2} \cdot e^{2j\pi f x}$

Fonctions de Gabor pour $f = 1, 2, 6$ et 10 Hz (partie réelle). La taille de la fenêtre est fixe et le nombre d'oscillations varie, principe présenté par la figure (III.5). C'est au contraire à base de l'ondelette où la taille de la fenêtre qui varie et le nombre d'oscillations est fixe, principe illustré par la figure (III.6) par ondelette complexe de Morlet $\Psi_{a,f}(x) e^{-\pi(x)^2} \cdot e^{j2\pi f x}$

Ondelettes de Morlet d'échelles $a = 2, 1, 1/2$ et $1/4$ (partie réelle). L'échelle (a) donne la taille du support. Lorsque $a > 1$ on a une dilatation, et si $a < 1$ on a une contraction.

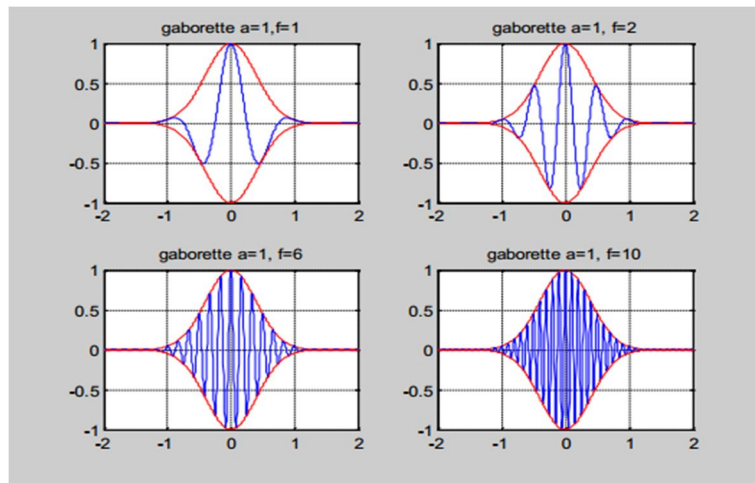


Fig.III.5. Base de Gabor

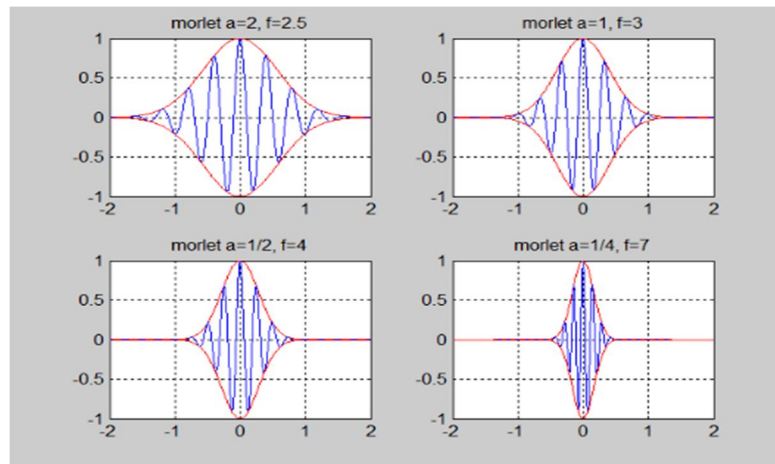
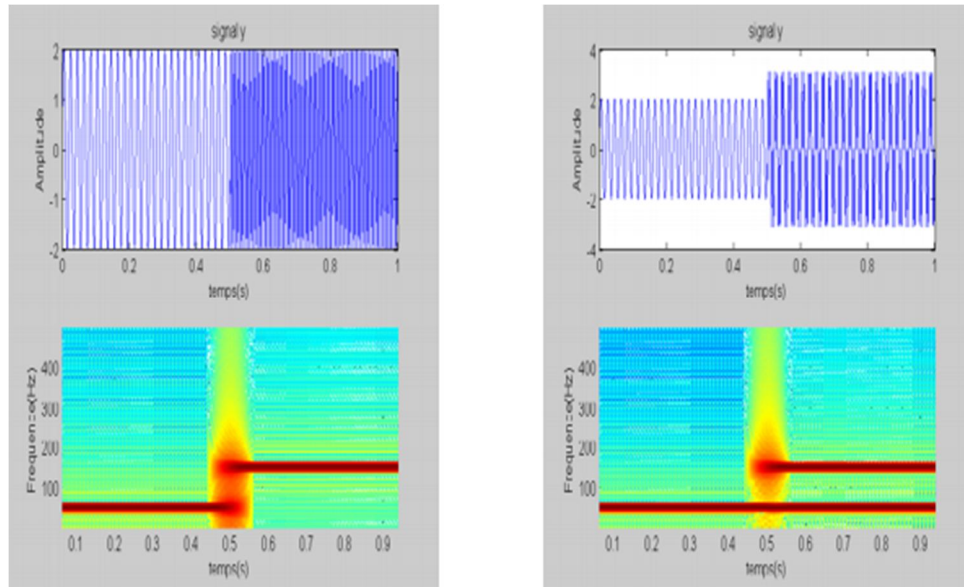


Fig.III.6. Base d'ondelette

Si nous comparons la STFT à la TF, nous pouvons dire que cette perte de résolution est due au fait que les fonctions $e^{j\omega t}$ ne sont plus multipliées et intégrées de $-\infty$ à $+\infty$ mais de $-T/2$ à $T/2$. Pour obtenir une résolution fréquentielle parfaite, il nous faudrait une fenêtre de longueur infinie, mais alors, nous aurions le même problème qu'au départ au sujet de la stationnarité du signal. Donc,

- La fenêtre ne doit pas être trop grande pour que le signal fenêtré soit stationnaire et que la résolution temporelle soit correcte.
- Mais elle ne doit pas être trop petite non plus pour que les lobes correspondant à la TF de la fenêtre ne soient pas trop larges et pour que la résolution fréquentielle soit correcte.

Le troisième exemple illustre la succession de deux signaux. La figure (III.7-a) représente la succession de deux sinusoïdes de 50Hz à 150Hz. La figure (III.7-b) représente une sinusoïde de 50Hz puis sa somme avec une autre sinusoïde de 150Hz. On peut remarquer clairement que l'analyse temps-fréquence permet cette fois-ci de retrouver à la fois les fréquences et l'information temporelle du changement.

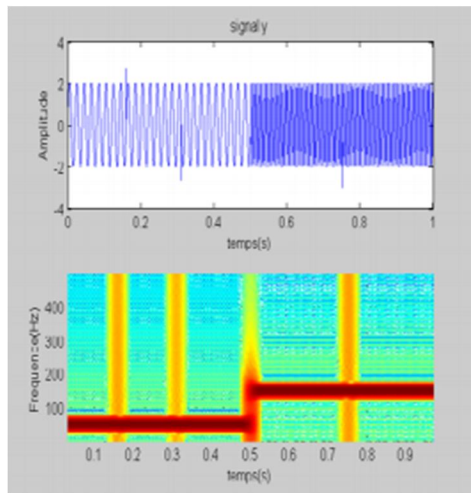
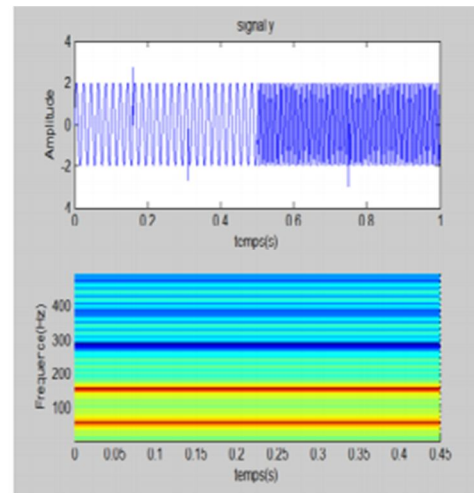
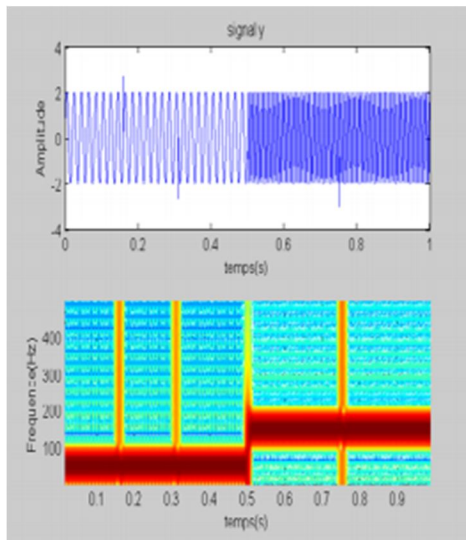
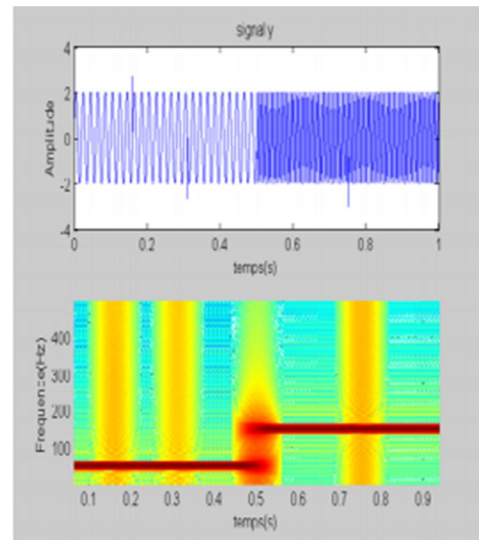


(a) : La succession de deux sinusoïdes.

(b) : La somme de deux sinusoïdes.

Fig.III.7. Représentation temporelle de la succession de deux sinusoïdes et leur STFT

Un quatrième exemple montre où la STFT trouve ses limites, voir figure (III.8). La figure (III.6-a) donne les informations sur sa composition fréquentielle, la variation du signal ainsi que sur les impulsions introduites aux différents instants et ceci par un choix adéquat de la fenêtre d'analyse. La figure (III.8-a) montre le bon choix, la taille de la fenêtre est de 128 points. Par contre la figure (III.8-b) illustre un mauvais choix de la fenêtre donc le spectrogramme ne peut rien identifier, taille de la fenêtre est de 1024 points. La figure (III.9-a) présente la fenêtre de 64 points et qui est précise en temps mais pas en fréquence alors que celle de 256 points est précise en fréquence mais pas en temps, voir figure (III.9-b). Il est à noter que le pas d'échantillonnage est de 0.1ms pour tous les exemples.

(a) : Excellent choix $nfft=128$ points(b) : Mauvais choix $nfft=1024$ points**Fig.III.8.** Représentations temporelles de la succession de deux sinusôides et leurs STFTs(a) : Précision en temps $nfft=64$ points(b) : Précision en fréquence $nfft=256$ points**Fig.III.9.** Représentation temporelle de la succession de deux sinusôides et leur STFT [21]

III.7.2. Les Ondelettes (WAVELETS)

Il est apparu que la décomposition obtenue par la transformée de Fourier et de Gabor (STFT), n'était pas toujours la plus satisfaisante et la première transformation en ondelettes (le nom n'est pas encore utilisé) est proposée par Haar en 1910 ; il serait plus judicieux de parler alors de «paléo-ondelette». Les précurseurs conscients de cette technique ont été des mathématiciens (Calderon 1964), des physiciens (Aslaken et Klauder en 1968, Paul en 1985), et surtout des ingénieurs (ou des chercheurs en sciences pour l'ingénieur) comme Esteban et Galand (1977), Smith et Barnwell (1986), Vetterli (1986), nous pourrions parler dans leur cas

de «pré-ondelette». Mais le premier à avoir utilisé la méthode et le premier à avoir proposé le nom d'ondelettes fut Jean Morlet (1983) [22].

Le terme ondelette désigne une fonction $\psi \in L^2(\mathbb{R})$ qui oscille sur un intervalle de longueur finie, donc d'intégrale nulle. Au-delà, la fonction décroît très vite vers zéro. Elle est normée $|\psi| = 1$ et elle vérifie la condition d'admissibilité :

$$\int_{\mathbb{R}^+} \frac{|\hat{\psi}^*(t)|^2}{|t|} dt = \int_{\mathbb{R}^-} \frac{|\hat{\psi}(t)|^2}{|t|} dt < +\infty \quad (\text{III.36})$$

Où $\hat{\psi}$ désigner-la transformée de Fourier de ψ .

A partir de l'unique fonction ψ , on construit par translation et dilatation une famille d'ondelettes :

$$\psi_{(a,b)}(t) = \frac{1}{\sqrt{a}} \psi \left(\frac{t-b}{a} \right), a \in \mathbb{R}^+, b \in \mathbb{R} \quad (\text{III.37})$$

Dans cette expression, a est le facteur d'échelle et b le paramètre de translation. La variable a joue le rôle de l'inverse de la fréquence : plus a est petit moins l'ondelette (la fonction analysante) est étendue temporellement, donc plus la fréquence centrale de son spectre est élevée.

III.7.2.A. Transformée en ondelettes

La transformée en ondelettes est un outil qui découpe les données, les fonctions ou les opérateurs en composantes fréquentielles suivant une résolution adaptée à l'échelle. C'est un moyen efficace de réaliser une analyse temps-fréquence et un outil pour la détection des singularités. Autrement dit les deux résolutions doivent varier en sens inverse en conservant un produit constant pour un pavage énergétiquement régulier de l'espace temps-fréquence. Ceci doit conduire à une utilisation rationnelle de cet espace par la réalisation dans tous les cas du meilleur compromis possible entre la résolution temporelle et la résolution fréquentielle.

Il existe aussi de nombreuses manières de classer les types de transformées en ondelettes. On peut utiliser les ondelettes orthogonales pour le développement en ondelettes discret et les ondelettes non orthogonales pour le développement en ondelettes continu. D'une autre manière, on peut classer les transformées en ondelettes selon la famille à laquelle appartiennent les fonctions analysantes choisies. Les transformées obtenues sont suivant les cas discrètes ou continues, redondantes ou non [22].

Dans la littérature l'ondelette a été utilisée comme moyenne efficace de débruitage. Pour cela, elle a été éclairci afin d'être appliquée dans notre cas sur les deux signaux acquis des deux capteurs de vibration.

III.8. Conclusion

Un panorama des différentes méthodes appliquées dans le domaine de traitement de signal à fait l'objet de ce chapitre. Sans oublier de donner des notions sur le signal et leurs caractéristiques. Les signaux aléatoires peuvent être stationnaires ou non stationnaires. Dans la majorité des cas les signaux physiques sont des signaux non stationnaires. Le traitement du signal est devenu une science incontournable de nos jours. Toutes applications de mesures, de traitement d'information mettent en œuvre des techniques de traitement sur le signal pour extraire l'information pertinente.

L'analyse en ondelettes convient mieux pour les signaux non stationnaires où chaque composante de fréquence existe à tout instant.

L'application de cette technique fait l'objet du prochain chapitre.

CHAPITRE IV



TESTS ET RESULTATS

IV.1. Introduction

Après une étude théorique des différentes méthodes utilisées en traitement de signal et dans le cadre de notre travail on a voulu exploité la technique de fenêtrage appelée STFT (Short Time Fourier Transform) dans le domaine de la détection des fuites dans les réseaux de distribution d'eau. Afin de voir la robustesse de cette technique, une comparaison va être faite avec une autre méthode prise comme étant de base telle que la FFT. On a opté pour cette méthode car elle montre une forte adhésion avec les signaux non stationnaires et non linéaires.

Nous avons conçu et réalisé au niveau du laboratoire un prototype composé de deux parties. Une partie hydraulique pour faire circuler l'eau avec une pression bien définie et une partie électronique pour l'acquisition des données. On a percé la conduite par une mèche pour simuler la fuite. La chaîne permettant l'acquisition des signaux de fuite provenant des deux capteurs de pression permet le conditionnement de nos signaux car généralement les signaux physiques provenant des capteurs ont des faibles amplitudes. Généralement ses signaux sont toujours immergés dans un bruit. On a opté à l'ondelette comme moyen de débruitage de nos signaux. L'information va être transmise à un oscilloscope numérique. Ce dernier permet l'enregistrement sur deux canaux, de nos deux signaux tenant compte que ce dernier intègre une carte d'acquisition interne. Les signaux qui sont enregistrés dans des fichiers Excel seront par la suite chargés et traités par des programmes élaboré sous Matlab. Les résultats obtenus de l'application de la STFT vont être analysés.

IV.2. Système d'acquisition

Notre système de détection de fuite est basé principalement sur 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

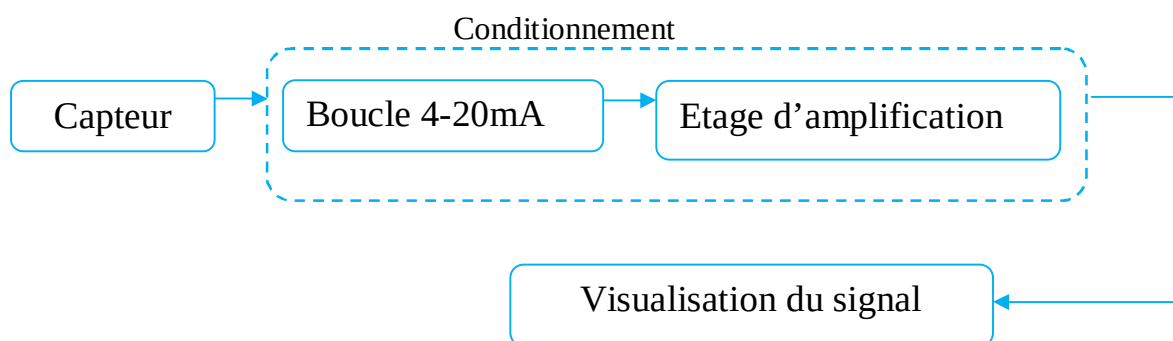


Fig. IV.1 .La chaîne d'acquisition

IV.3.1. Capteur 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 3.61 m
- La distance entre le capteur B et la fuite est 21.37 m

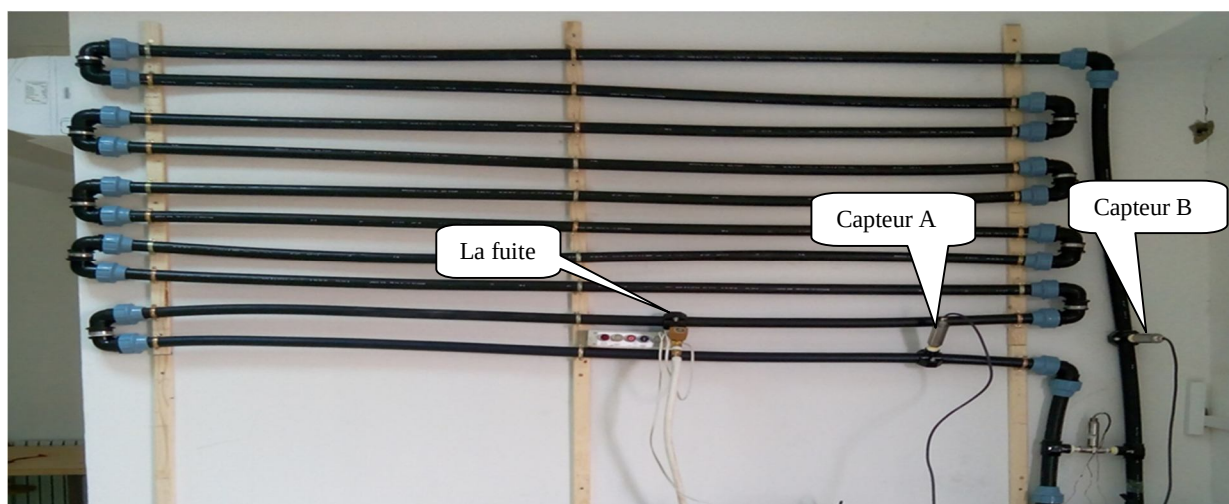


Fig. IV.2. La position des Capteurs de pression

❖ Caractéristiques

Selon les consignes du constructeur, les capteurs qui sont utilisées comporte trois fils tel que :

Fil Noir —————→ Présente la sortie

Blanc —————→ La masse

Rouge —————→ Alimentation



Fig. IV.3. Capteur de pression

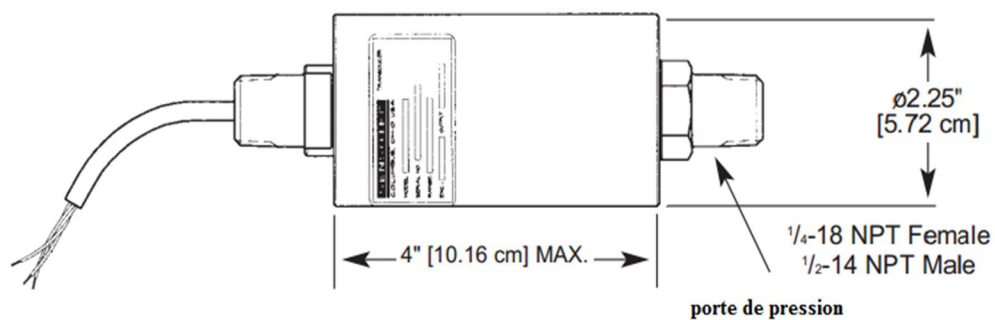


Fig. IV.4. Capteur de pression

❖ *Spécifications techniques***Tableau. IV.1.** les caractéristiques de capteur de pression

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	Feuille collée 15 a40 VDC 5000migaohm@50VDC #22(See Pg.AP-8) 1/2-14NPT male w/7/8"
mécanique	médias Surcharge sécuritaire Port de pression Matériau de pièces mouillées type Matière céréalière	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 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.5).

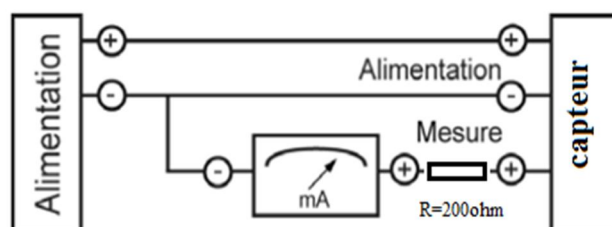


Fig. IV.5. Le câblage de la boucle 4-20mA

❖ *Réalisation de boucle 4-20mA*

Le capteur contient trois fil (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 extrémité de la boucle 4-20 mA.

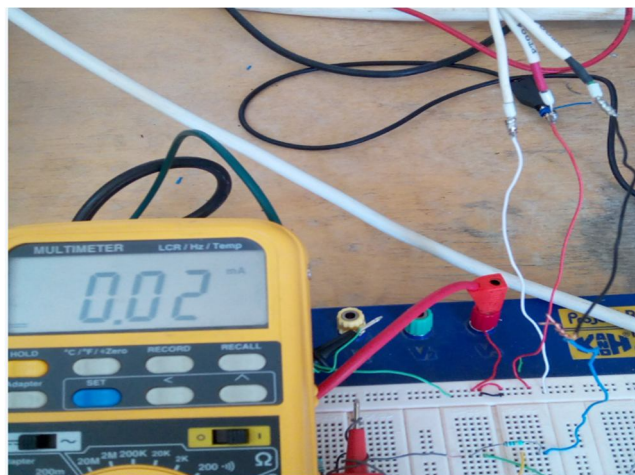


Fig. IV.6. Le boucle 4-20 mA expérimentale

Avant d'appliquer la pression sur le capteur, on alimente ce dernier avec une tension de (+24 V). On mesure la valeur de courant sur l'ampermètre, il doit donner un courant égal à 4mA, si on applique une pression P sur le capteur, la valeur de courant augmente, au fur et à mesure que la pression augmente.

IV.3.3. Etage d'amplification

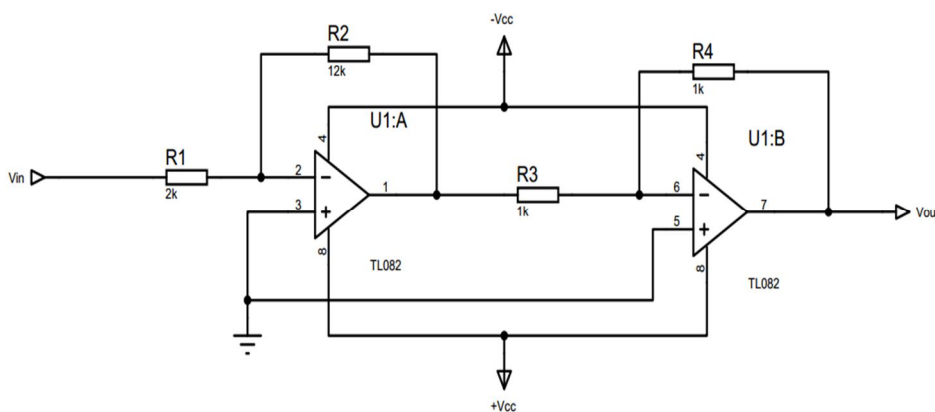


Fig. IV.7. Montage d'amplification des signaux issus des capteurs

Les signaux électriques issus des capteurs sont généralement de faible amplitude. 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 ne doit concerner que le signal utile.

Pour amplifier le signal on a utilisé l'AOP TL082 et les résistances ($R1=2K$, $R2=12K$, $R3=R4=1K$).

❖ **Réalisation de la Montage d'amplification**

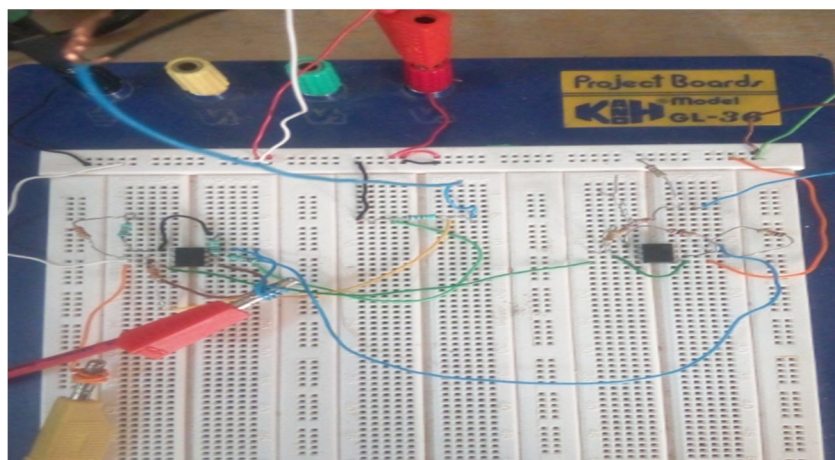


Fig. IV.8. Réalisation de la Montage d'amplification des signaux issus des capteurs

❖ **Le premier étage (amplification)**

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

$$*V^+ = 0$$

$$*V^+ = V^- \quad \longrightarrow \quad \frac{R_1}{R_2 + R_1} V_{s1} = -\frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{in} \quad (IV.2)$$

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

Par cet étage le signal de sortie est amplifié avec un gain égal 6 et un déphasage de π .

❖ **Le deuxième étage (montage déphaseur)**

$$V^- = \frac{\frac{V_{s1}}{R_3} + \frac{V_{out}}{R_4}}{\frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4}} = \frac{R_4 \times V_{s1} + R_3 \times V_{out}}{R_4 + R_3} \quad (IV.4)$$

$$*V^+ = 0$$

$$V^+ = V^- \quad \longrightarrow \quad \frac{R_4 \times V_{s1} + R_3 \times V_{out}}{R_4 + R_3} = 0 \quad \longrightarrow$$

$$\frac{R_3}{R_3 + R_4} V_{out} = -\frac{R_4}{R_3 + R_4} V_{s1} \quad (IV.5)$$

$$V_{out} = -\frac{R_4}{R_3} V_{s1} \quad (IV.6)$$

$$\text{Donc } V_{out} = -V_{s1} \quad \longrightarrow \quad V_{out} = \frac{R_2}{R_1} V_{in} \quad (IV.7)$$

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.9).

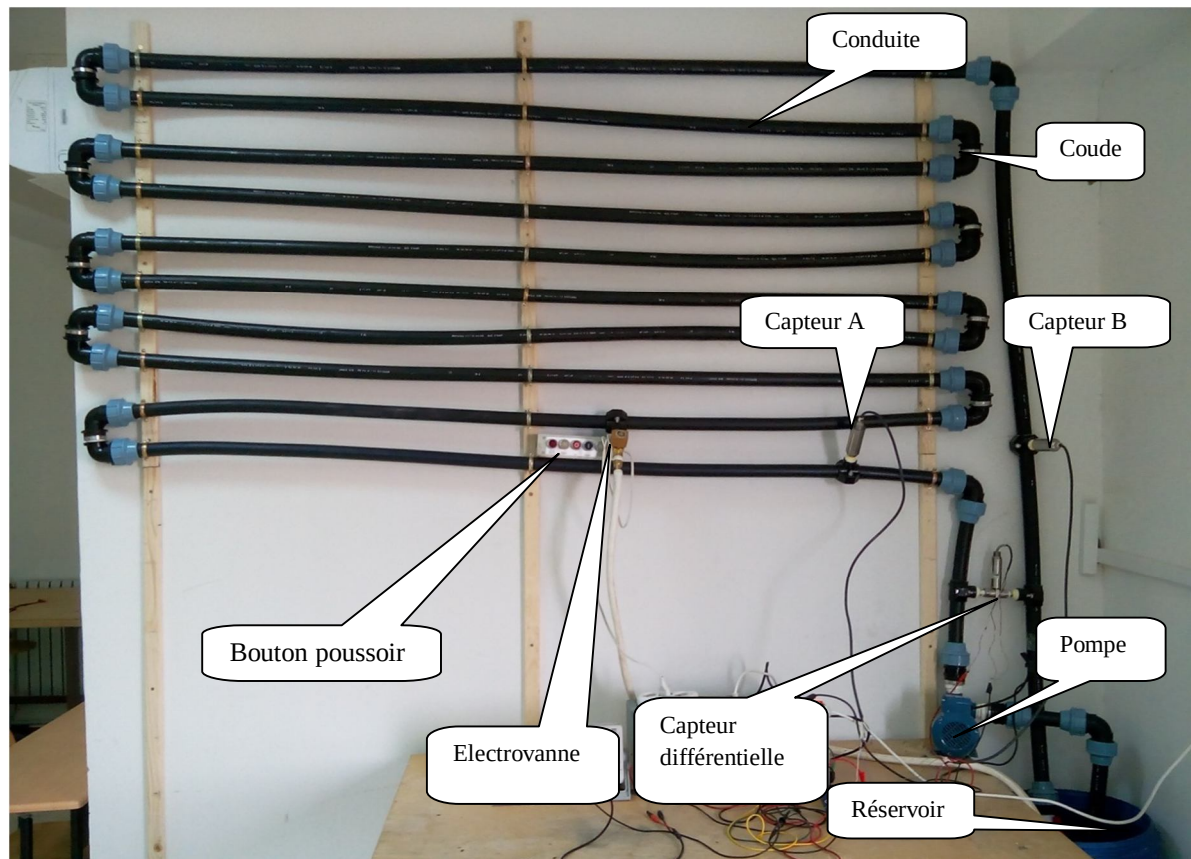


Fig. IV.9. Circuit hydraulique global

❖ Conduite

On a utilisé un tuyau en PVC Figure (IV.10) de diamètre $\varnothing = 4\text{cm}$, avec une longueur de 26m.

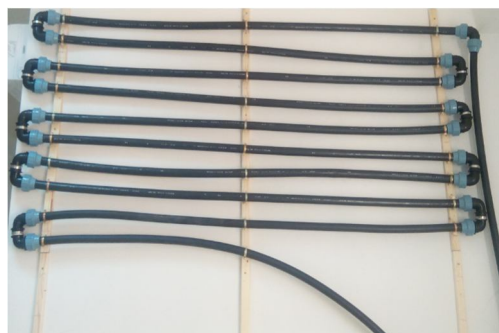


Fig. IV.10. Le canal prototype

❖ 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.

❖ Fuite d'eau

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

❖ 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.11)

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.12).



Fig. IV.11. Électrovanne

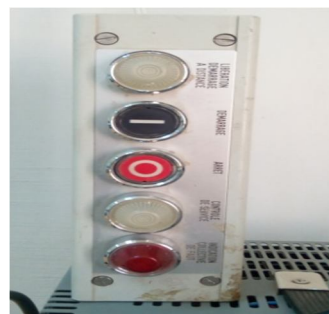


Fig. IV.12. Bouton poussoir

❖ 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.13. La pompe

❖ Réservoir

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



Fig. IV.14. Réservoir

IV.5.Circuit électrique

Le circuit électrique du système d'acquisition réalisé au laboratoire est donné comme indiqué par la figure ci-dessous :

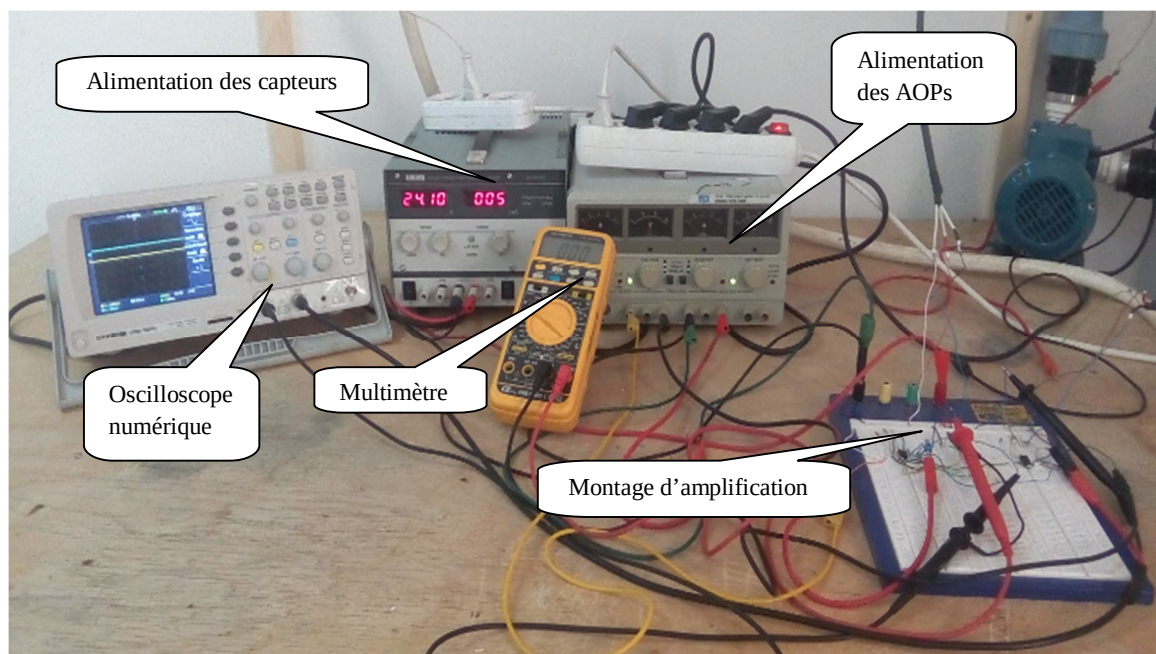


Fig. IV.15: Le circuit électrique global

IV.6. Système de détection réalisé

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

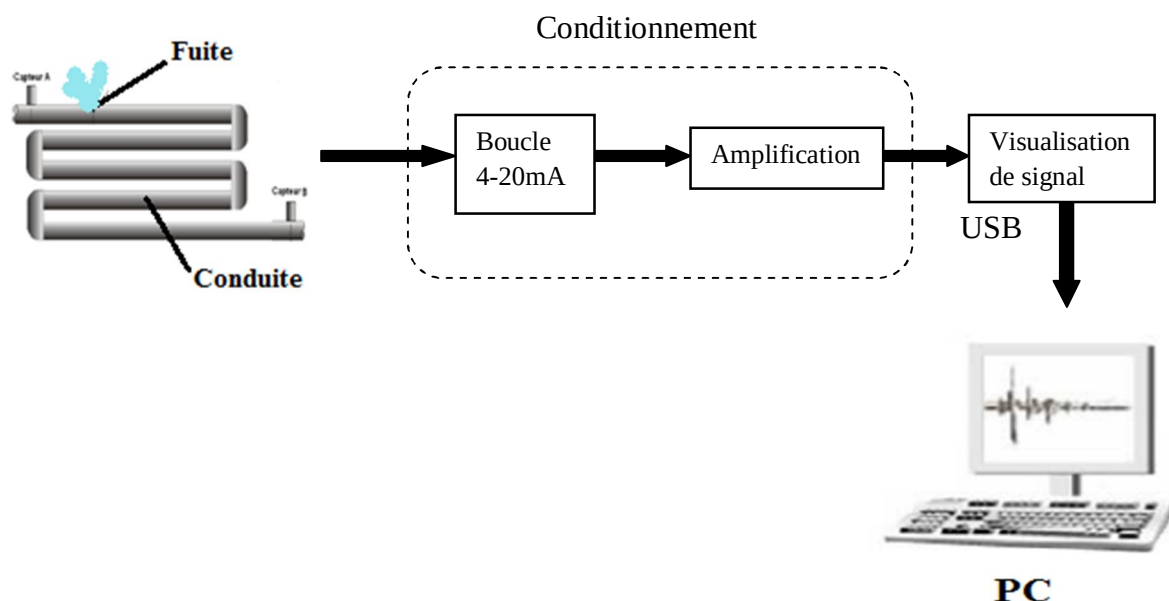


Fig. IV.16. Le circuit électrique du système d'acquisition réalisé

Les signaux obtenus à partir des deux capteurs de pressions ou des transmetteurs sont basé sur des transducteurs, Ces derniers transforment le signal de pression à des signaux électriques.

Les signaux générés par les capteurs vont passer premièrement par la boucle 4-20mA ensuite 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 apparait sur l'oscilloscope, sur l'icône signal configure, on choisit la rubrique destination (c.à.d. L'endroit ou 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.7. 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 amener 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.17). 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.

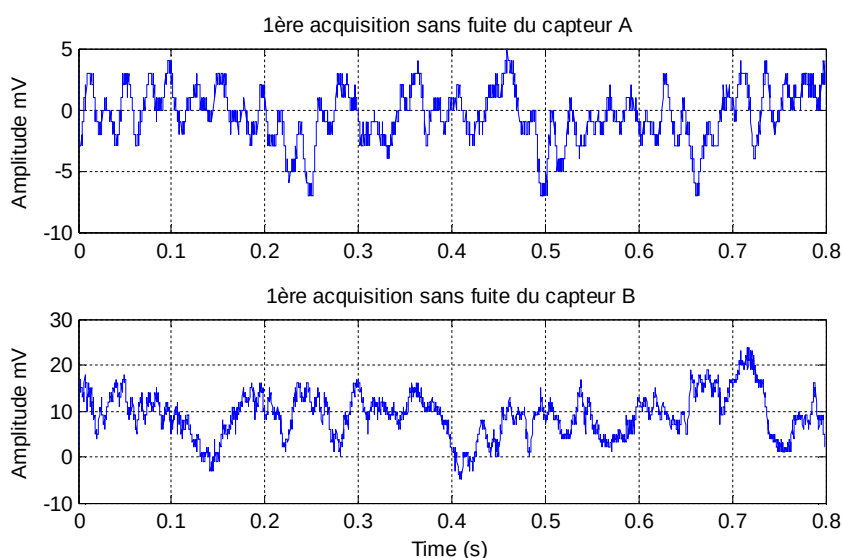


Fig. IV. 17. Signaux temporels sans fuite issus des deux capteurs de pression

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. 18).

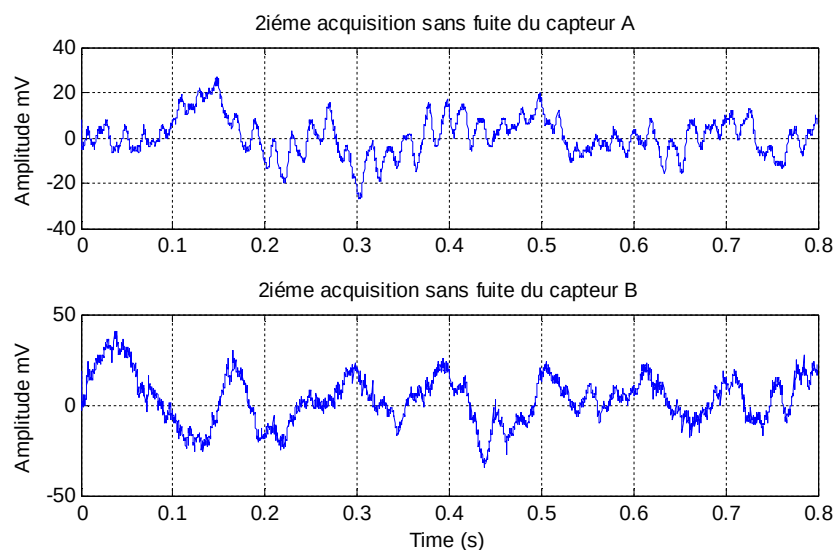


Fig. IV. 18. Signaux temporels sans fuite de la deuxième acquisition

IV.7. 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)*

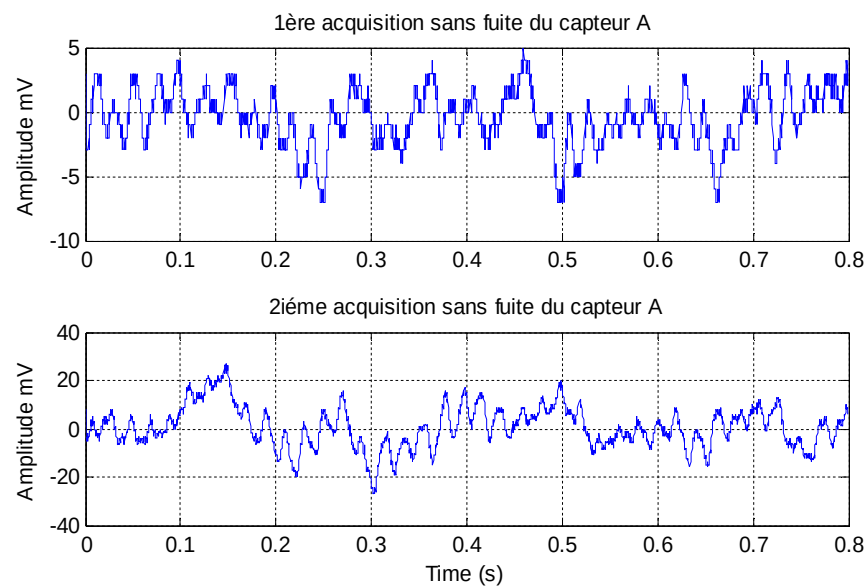


Fig. IV. 19. signaux temporels sans fuite issus de capteur de pression A

Les valeurs obtenues sont regroupées dans le tableau IV.2 tel que

M : Moyenne

σ : Ecart type

Tableau. IV.2. les caractéristiques statiques de signal sans fuite de capteur A

	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^{ième} acquisition)**

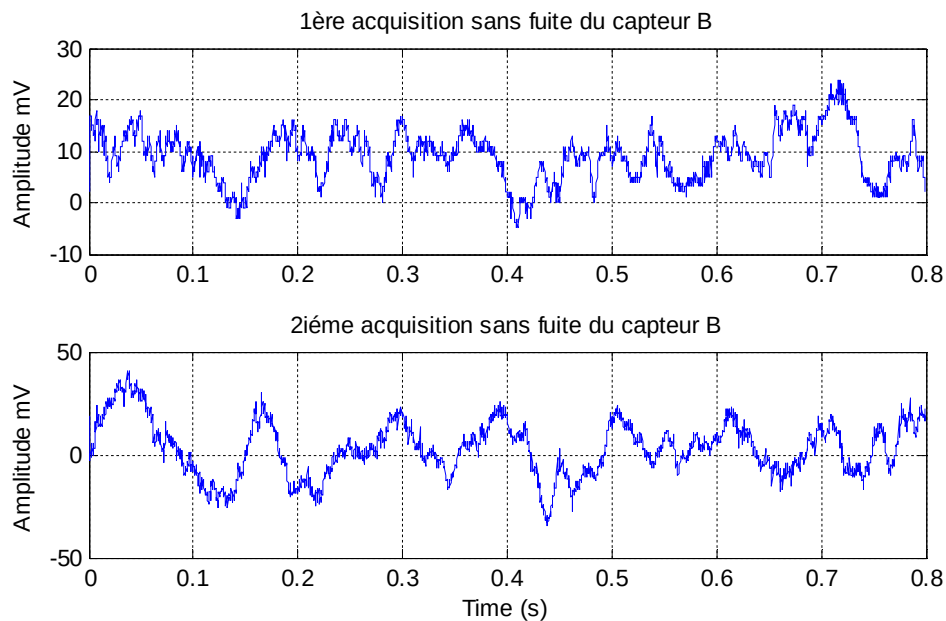


Fig. IV. 20. signaux temporels sans fuite issus de capteur de pression B

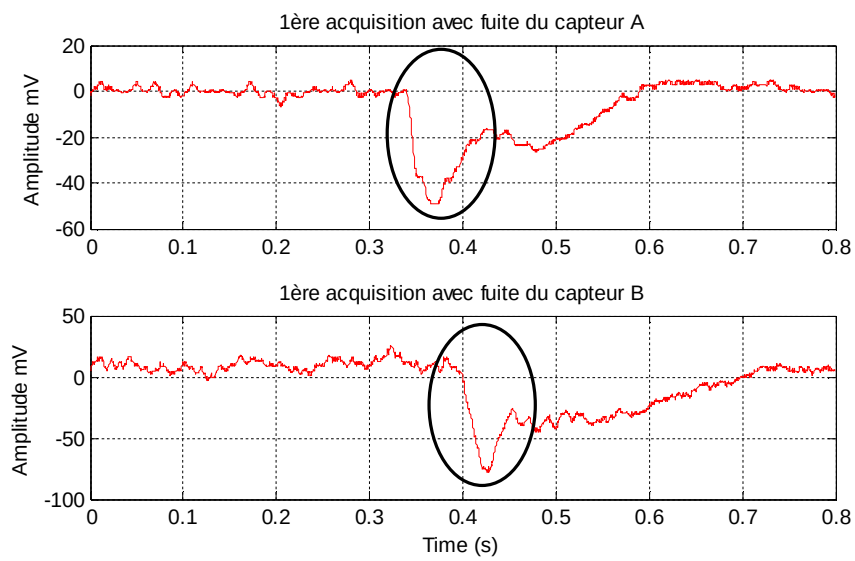
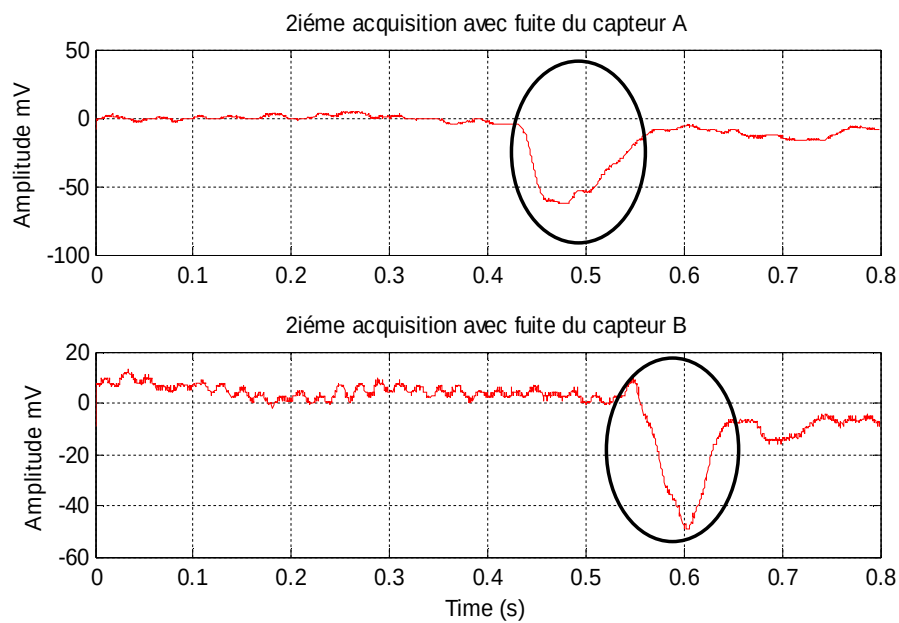
Les valeurs obtenues sont regroupées dans le tableau IV.3

Tableau. IV.3. les caractéristiques statiques de signal sans fuite de capteur B

	M	σ
1 ^{ère} acquisition	9.1487	4.8536
2 ^{ième} 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.21.** Signaux avec fuite des deux capteurs, 1^{ère} acquisition**Fig. IV.22.** Signaux avec fuite des deux capteurs, 2^{ième} acquisition

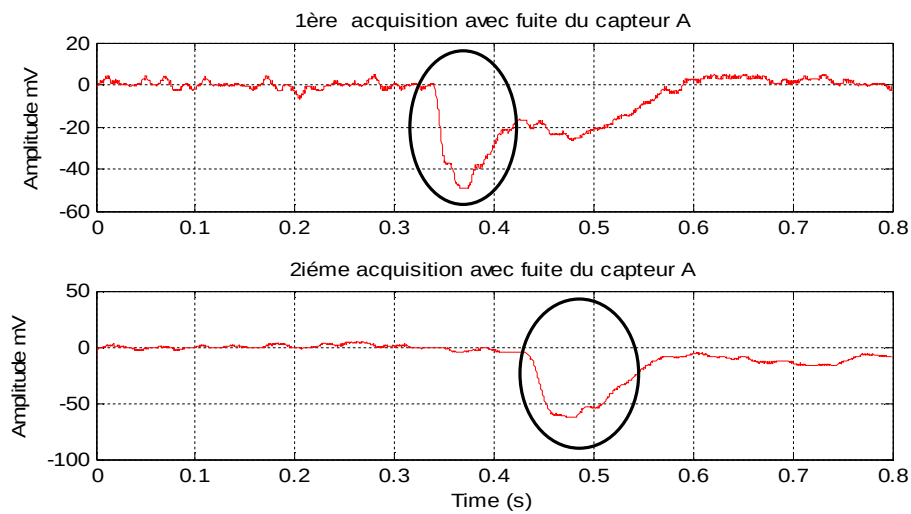
❖ *Capteur A avec fuite (1^{ère} et 2^{ème} acquisition)*

Fig. IV. 23. Signaux temporels avec fuite issus de capteur de pression A

Les valeurs obtenues sont regroupées dans le tableau IV.4.

Tableau. IV.4. les caractéristiques statiques de signal avec fuite de capteur A

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

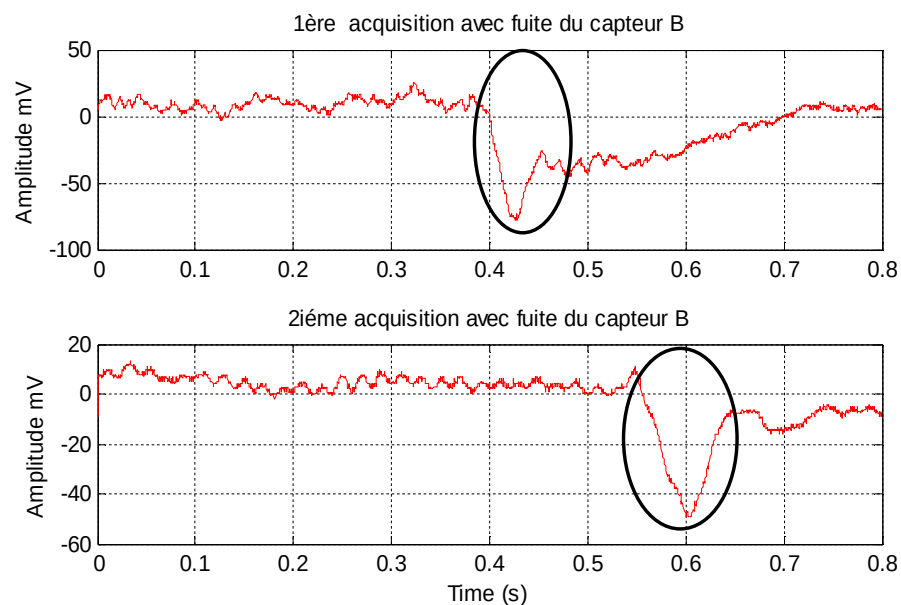
❖ *Signaux avec fuite issus du capteur B (1^{ère} et 2^{ème} acquisition)*

Fig. IV. 24. Signaux temporels avec fuite issus de capteur de pression B

Les valeurs obtenues sont regroupées dans le tableau IV.5.

Tableau. IV.5. les caractéristiques statiques de signal avec fuite de capteur B

	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.7.2. 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 fréquentiel 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 et sans fuite issues des deux capteurs A et B.

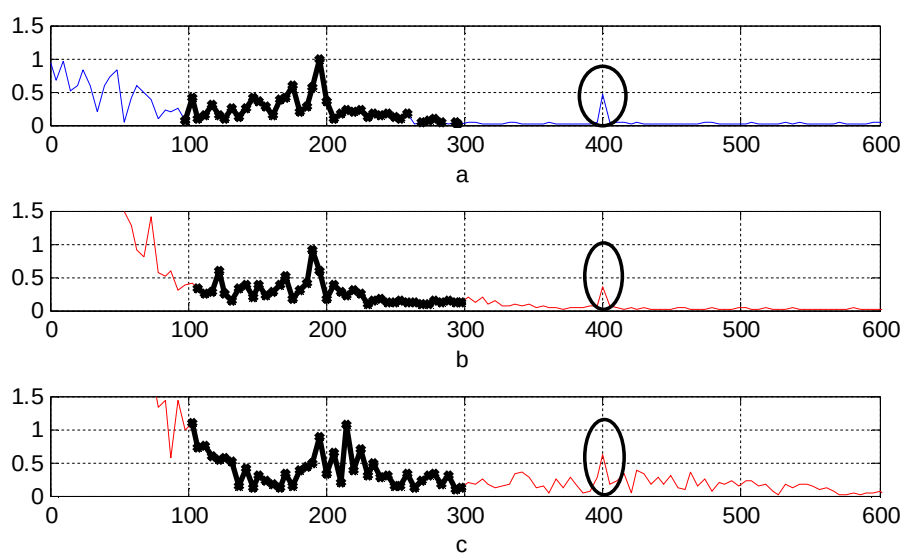


Fig. IV.25. FFT des signaux issues des deux capteurs A et B. (a) signal sans fuite capteur A; (b) et (c) signaux avec fuite A et B

Le spectre fréquentiel (FFT) des deux signaux avec et sans fuite des deux capteurs montrent 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.

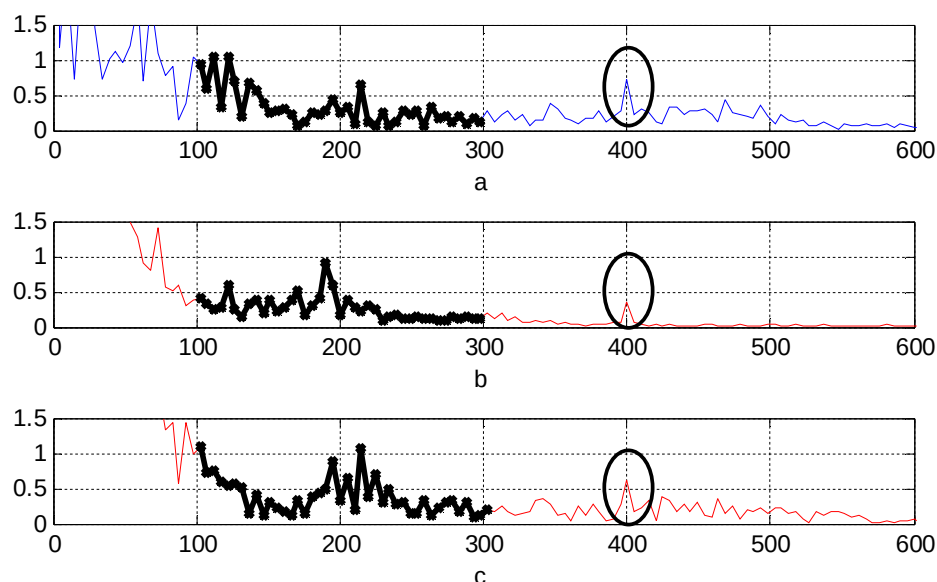


Fig. IV. 26. FFT des signaux issues des deux capteurs A et B. (a) signal sans fuite capteur B; (b) et (c) signaux avec fuite A et B

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.

Afin de n'exploiter que le signal utile on a besoin d'utiliser un moyen de débruitage. Nous avons trouvé dans la littérature que le meilleur moyen pour débruité ce type de signaux est d'utiliser l'ondelette discrète.

IV.7. 3. Application de l'ondelette

Dans cette étape, nous avons appliqué l'ondelette discrète (DWT) Daubechies 40 (db40), de niveau 5 et très utilisée dans la littérature pour le débruitage de ces types de signaux. Après l'application de l'ondelette choisie et un choix judicieux des seuils (Thresholds) sur les deux signaux. Comme indique par la figure ci-dessous :

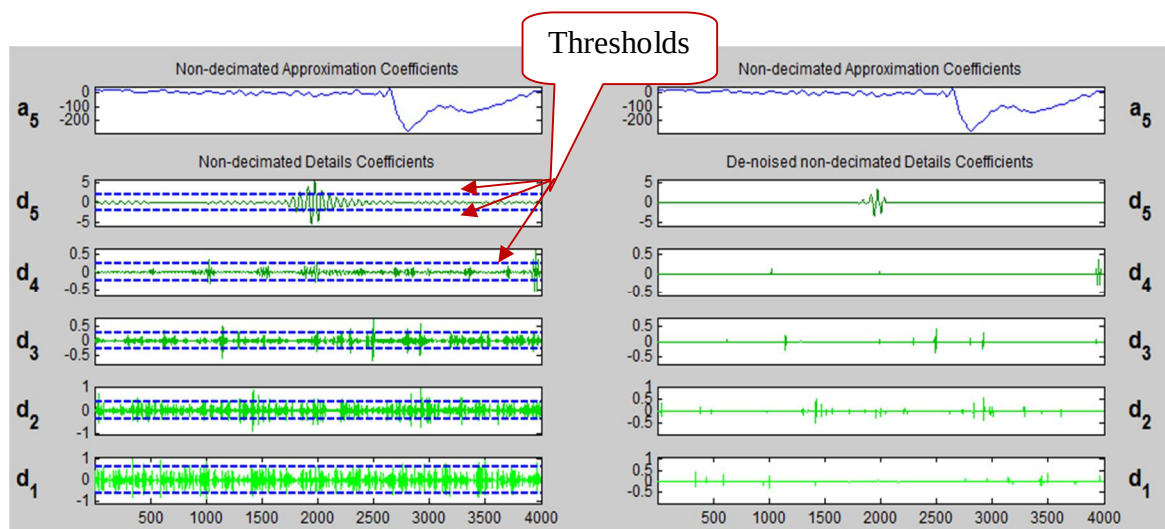


Fig. IV. 27. Le choix des seuils (Thresholds) sur les signaux

Les résultats obtenus sont présentés par les figures ci-dessous.

Le premier test

A. Signal sans fuite du capteur A avant débruitage

Le signal du capteur A avant débruitage est représenté par la figure (IV.28).

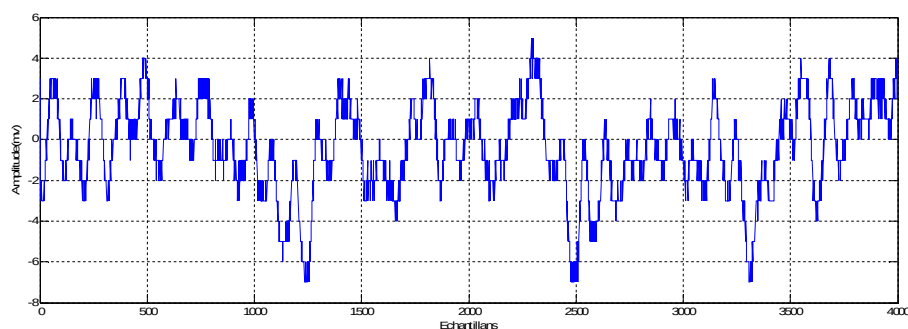


Fig. IV. 28. Le signal sans fuite du capteur A avant débruitage

$$Th_1 = 2.747, \quad Th_2 = 1.045, \quad Th_3 = 0.897, \quad Th_4 = 0.892, \quad Th_5 = 0.752.$$

B. Signal sans fuite du capteur A après débruitage

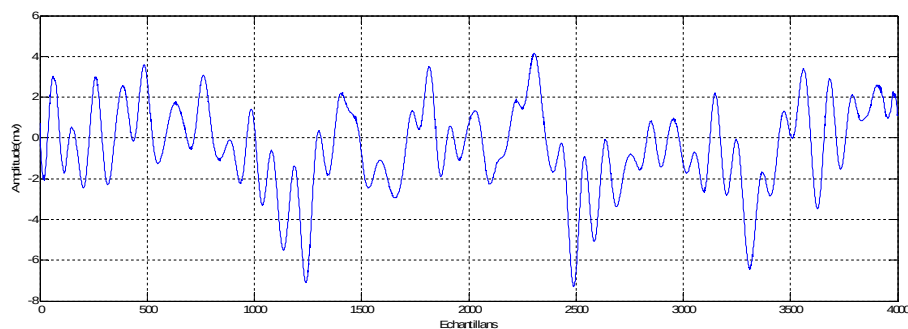


Fig. IV. 29. Le signal sans fuite du capteur A après débruitage.

Deuxième test

A. Signal sans fuite du capteur A avant débruitage

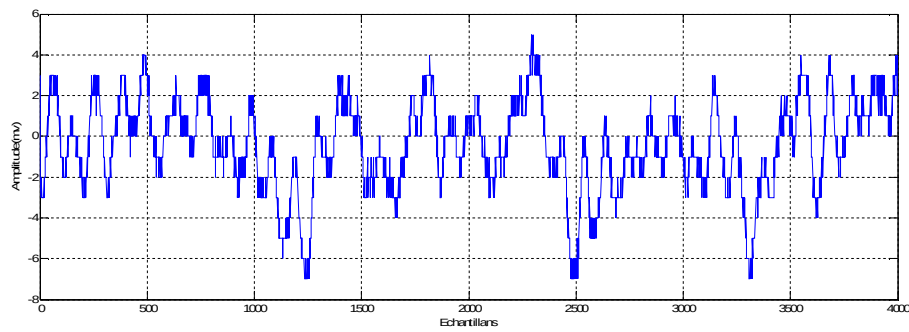


Fig. IV. 30. Le signal sans fuite du capteur A avant débruitage

$Th_1 = 2.747$, $Th_2 = 1.307$, $Th_3 = 0.897$, $Th_4 = 0.713$, $Th_5 = 0.752$.

B. Signal sans fuite du capteur A après débruitage

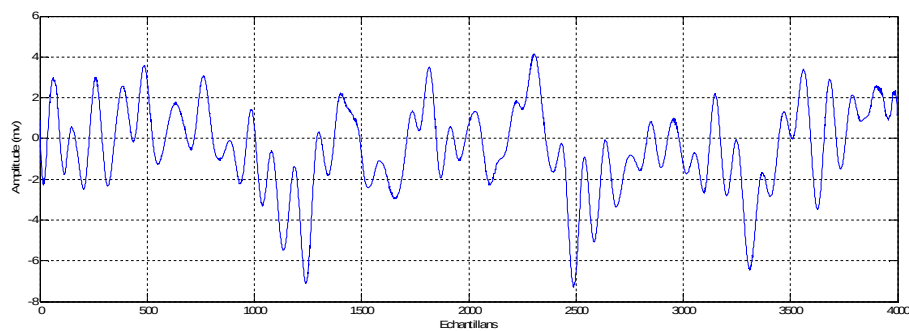


Fig. IV. 31. Le signal sans fuite du capteur A après débruitage

Le premier test

A. Signal sans fuite du capteur B avant débruitage

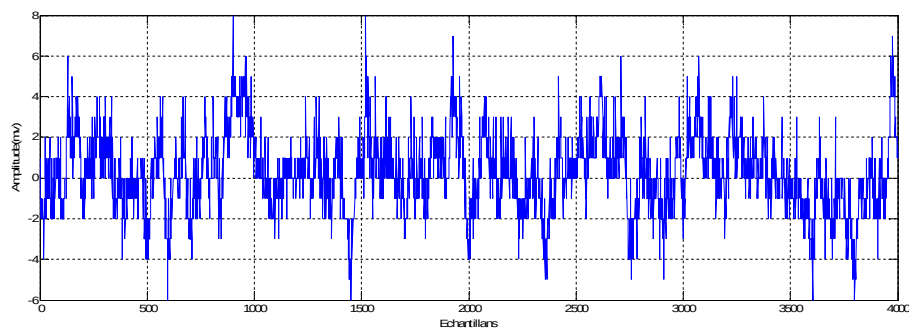


Fig. IV. 32. Le signal sans fuite du capteur B avant débruitage

$Th_1= 4.065$, $Th_2= 1.483$, $Th_3= 2.038$, $Th_4= 1.793$, $Th_5= 2.088$.

B. Signal sans fuite du capteur B après débruitage

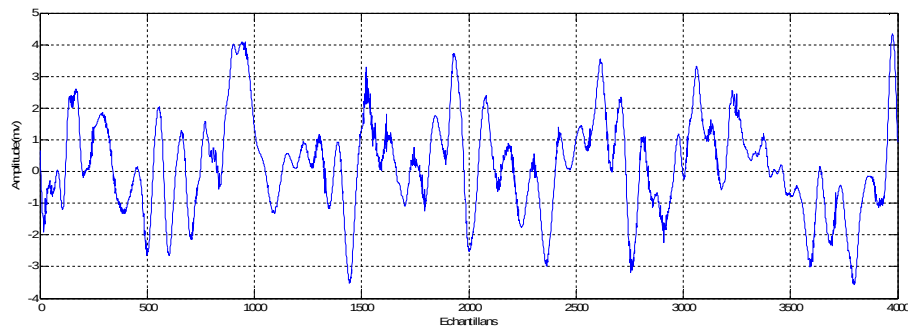


Fig. IV. 33. Le signal sans fuite du capteur B après débruitage

Deuxième test

A. Signal sans fuite du capteur B avant débruitage

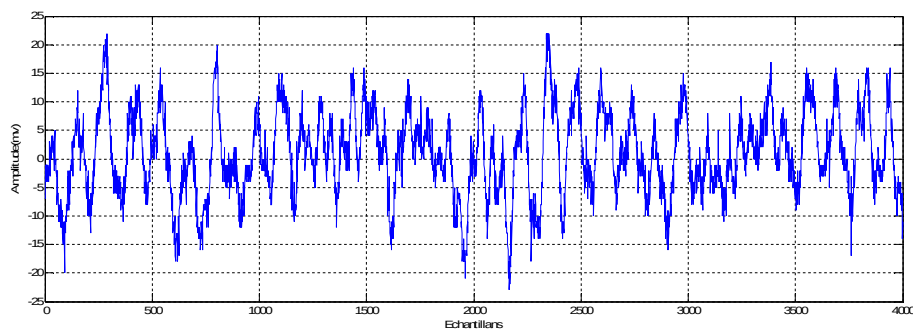


Fig. IV. 34. Le signal sans fuite du capteur B avant débruitage

$Th_1= 15.888$, $Th_2= 3.232$, $Th_3= 2.762$, $Th_4= 3.334$, $Th_5= 3.223$.

B. Signal sans fuite du capteur B après débruitage

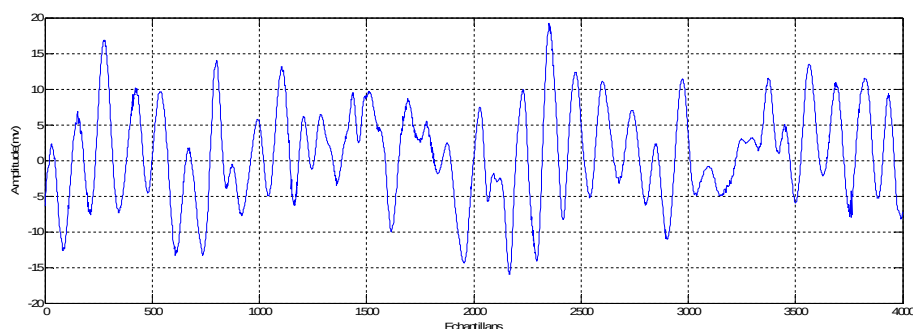


Fig. IV. 35. Le signal sans fuite du capteur B après débruitage

Le premier test

A. Signal avec fuite du capteur A avant débruitage

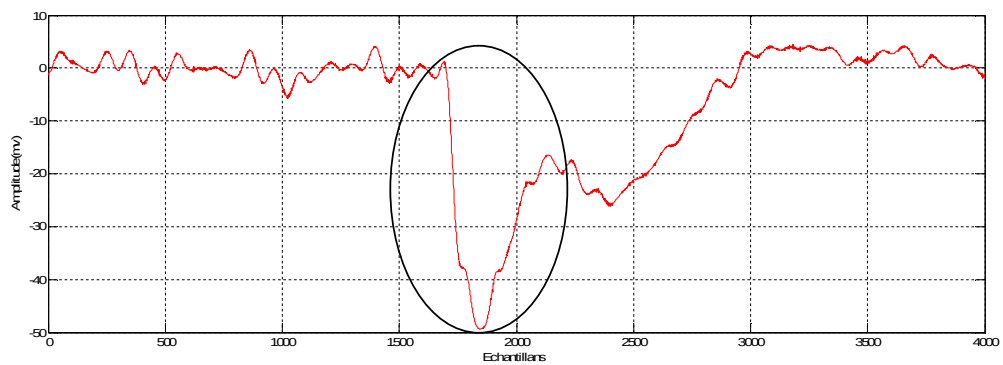


Fig. IV. 36. Le signal avec fuite du capteur A avant débruitage

$Th_1 = 1.959$, $Th_2 = 0.237$, $Th_3 = 0.212$, $Th_4 = 0.376$, $Th_5 = 0.399$.

B. Signal avec fuite du capteur A après débruitage

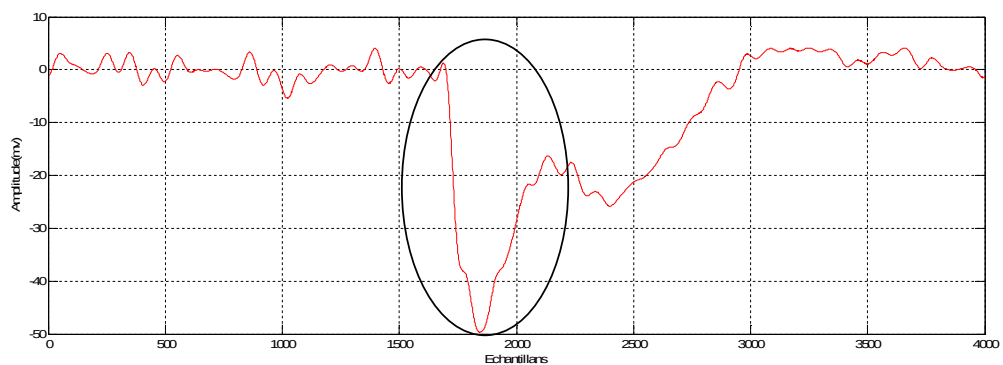


Fig. IV. 37. Le signal avec fuite du capteur A après débruitage

Deuxième test

A. Signal avec fuite du capteur A avant débruitage

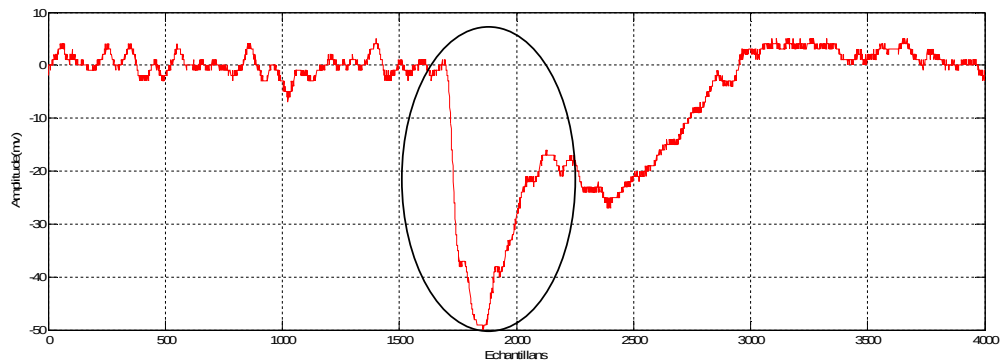


Fig. IV. 38. Le signal avec fuite du capteur B avant débruitage

$Th_1 = 3.210$, $Th_2 = 0.786$, $Th_3 = 0.826$, $Th_4 = 0.896$, $Th_5 = 0.799$.

B. Signal avec fuite du capteur A après débruitage

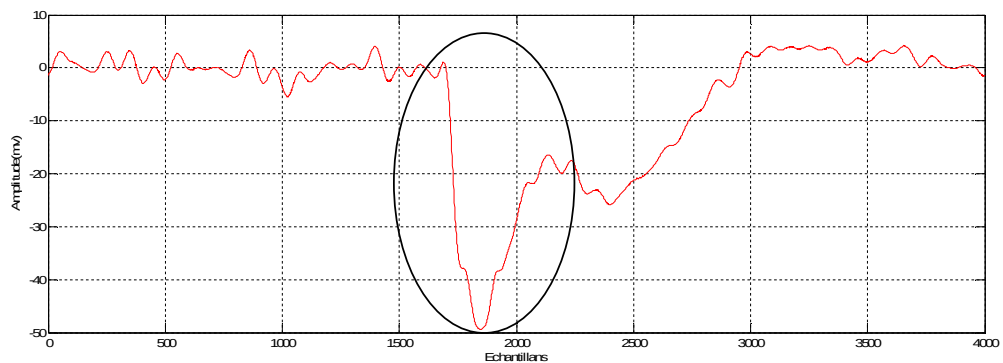


Fig. IV. 39. Le signal avec fuite du capteur B après débruitage

Le premier test

A. Signal avec fuite du capteur B avant débruitage

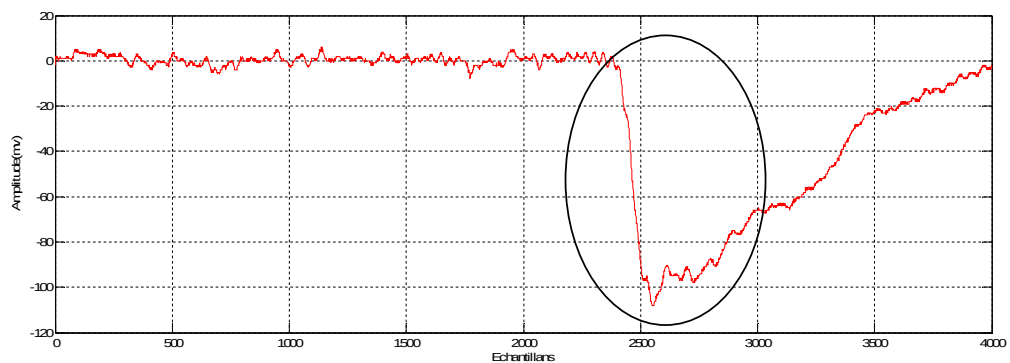


Fig. IV. 40. Le signal avec fuite du capteur B avant débruitage

$Th_1= 7.550$, $Th_2= 1.367$, $Th_3= 1.025$, $Th_4= 0.929$, $Th_5= 1.083$.

B. Signal avec fuite du capteur B après débruitage

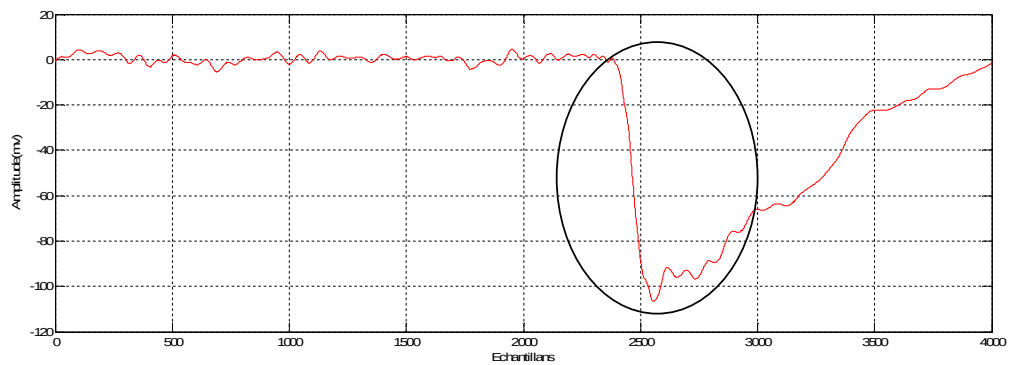


Fig. IV. 41. Le signal avec fuite du capteur B après débruitage

Deuxième test

A. Signal avec fuite du capteur B avant débruitage

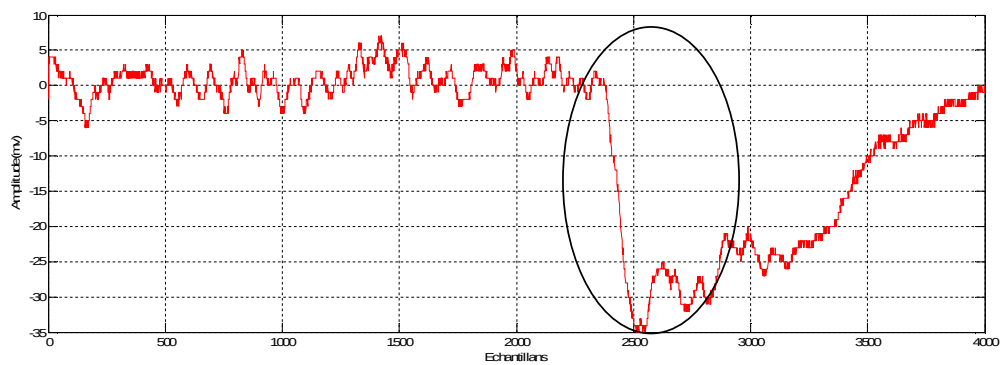


Fig. IV. 42. Le signal avec fuite du capteur B avant débruitage

$Th_1= 4.065$, $Th_2= 1.167$, $Th_3= 1.100$, $Th_4= 1.058$, $Th_5= 0.841$.

B. Signal avec fuite du capteur B après débruitage

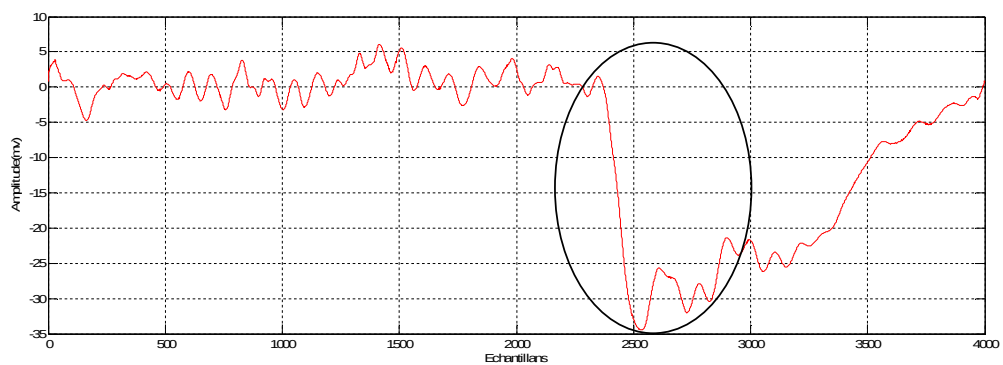
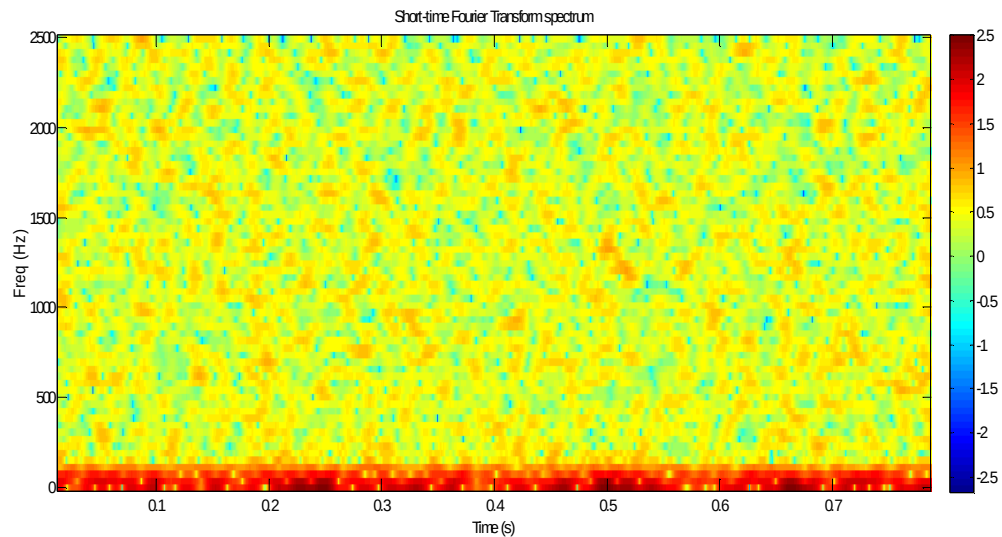


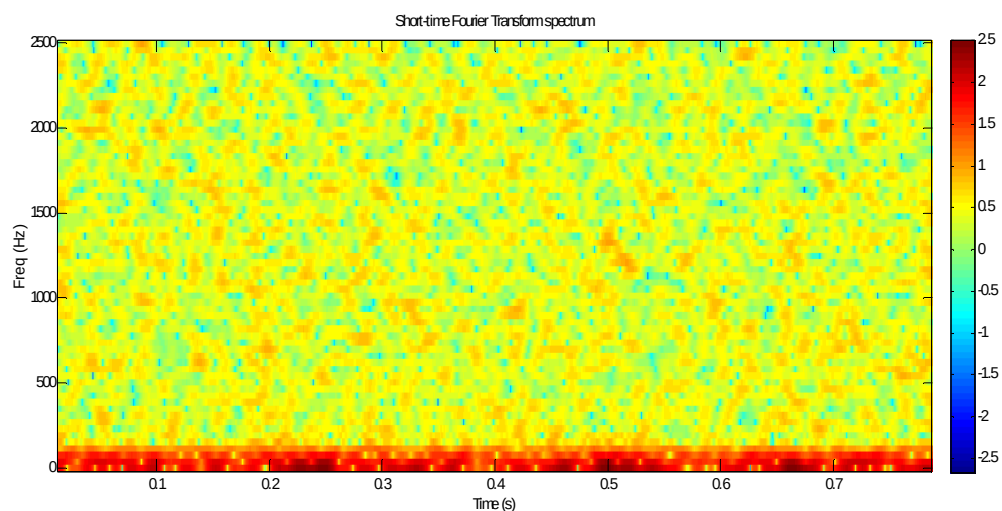
Fig. IV. 43. Le signal avec fuite du capteur B après débruitage

Après avoir élaboré un programme sous Matlab de la STFT et en utilisant une fenêtre de Hanning, avec une taille de 128 et avec une fréquence d'échantillonnage égale à 5KHz nous avons obtenus les figures suivantes pour les signaux sans et avec fuite des deux capteurs A et B.

A. Signal sans fuite du capteur A



(a)



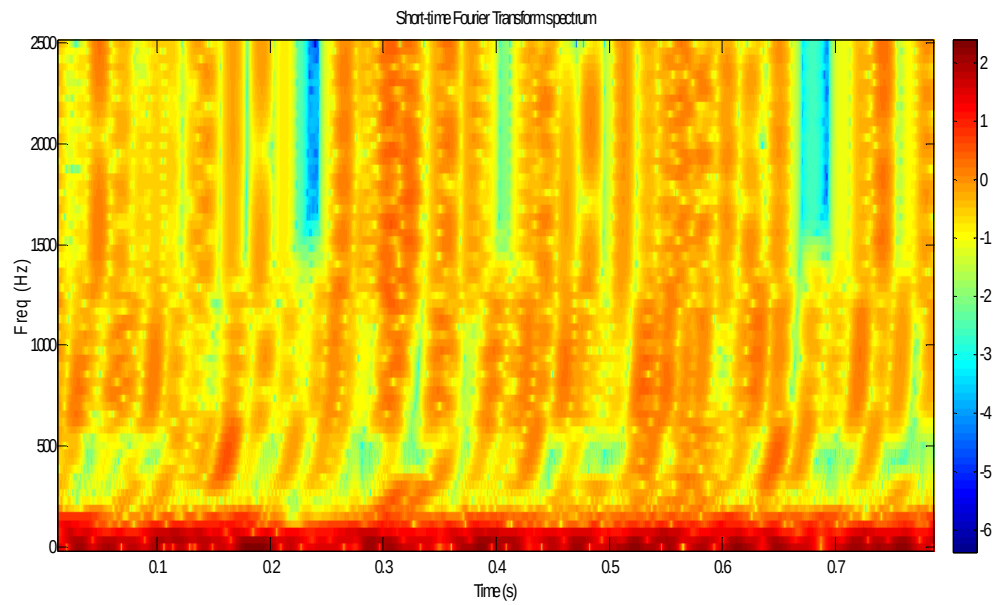
(b)

Fig.IV.44. STFT du signal sans fuite issue du capteur A

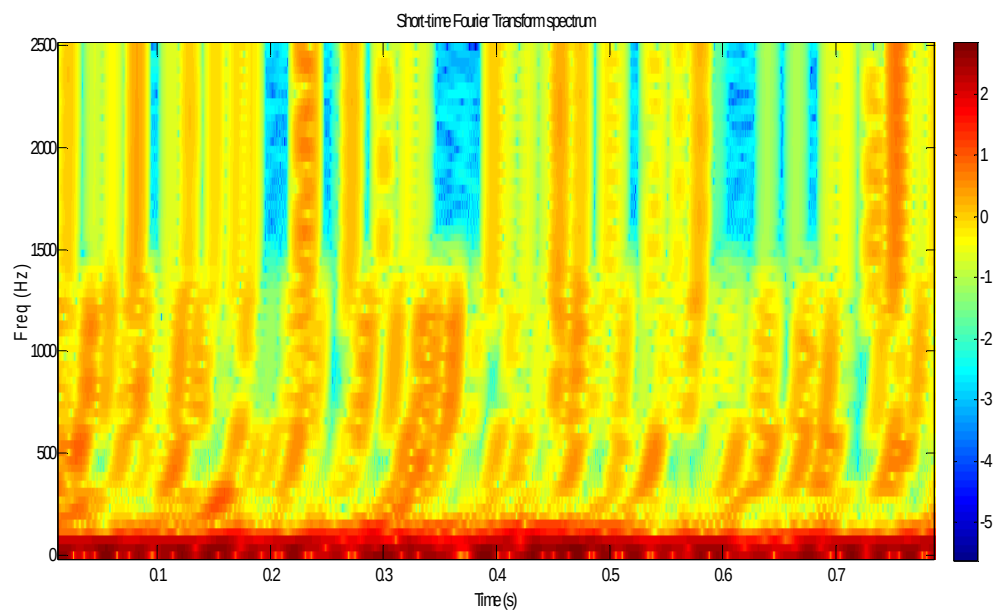
(a) premier test, (b) deuxième test

En analysant les deux spectrogrammes (a) et (b) des deux tests du capteur A on constate que le long de la durée de la fenêtre temporelle qui est de 800ms qu'il n'y a pas un évènement qui s'est produit dans l'intervalle fréquentiel allant de 100 à 300 Hz. Cette dernière a été trouvée à partir de notre analyse spectrale.

B. Signal sans fuite du capteur B



(a)

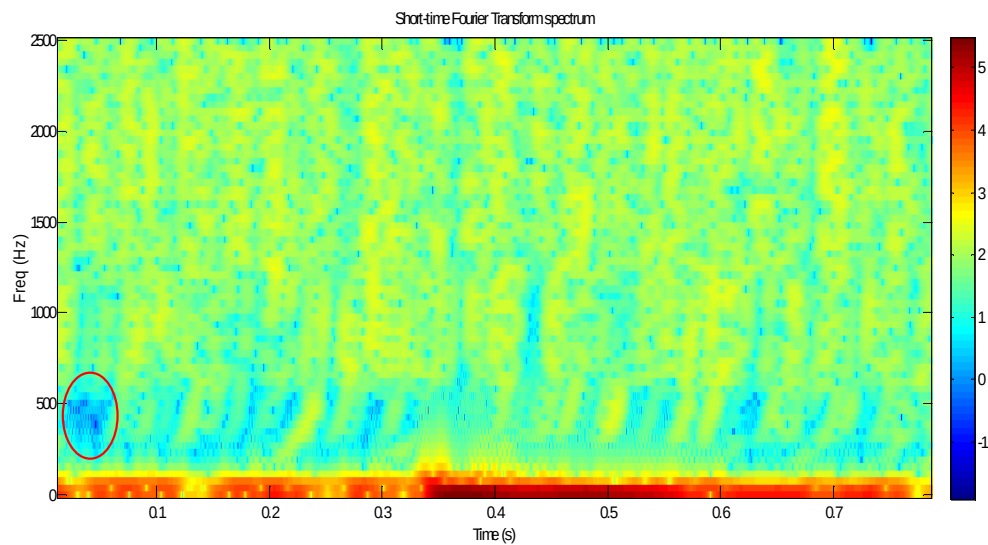


(b)

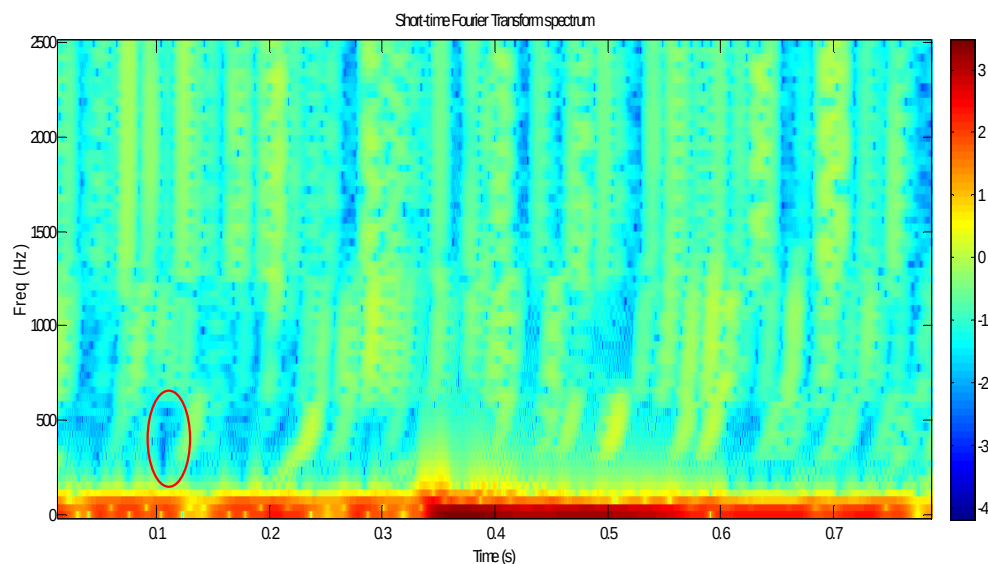
Fig.IV.45. STFT du signal sans fuite issue du capteur B

(a) premier test, (b) deuxième test

De la même manière, malgré que le capteur B est soumis à une pression supérieure par rapport au capteur A puisqu'il est juste très proche du robinet d'arrêt. On constate qu'il n'a présenté aucun évènement transitoire dans la zone indiquée auparavant le long de toute la durée de la fenêtre temporelle.

A .Signal avec fuite du capteur A

(a)



(b)

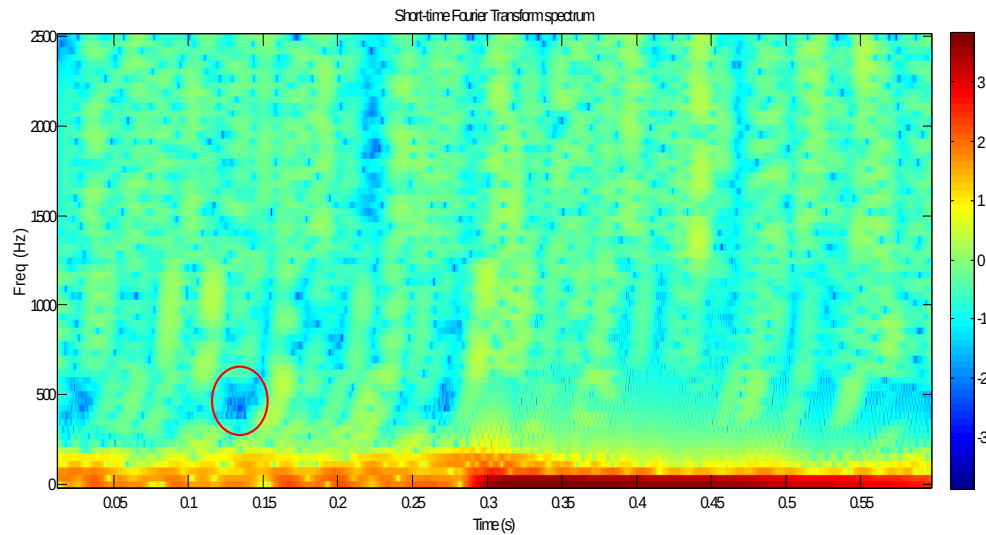
Fig.IV.46. STFT du signal sans fuite issue du capteur B

(a) premier test, (b) deuxième test

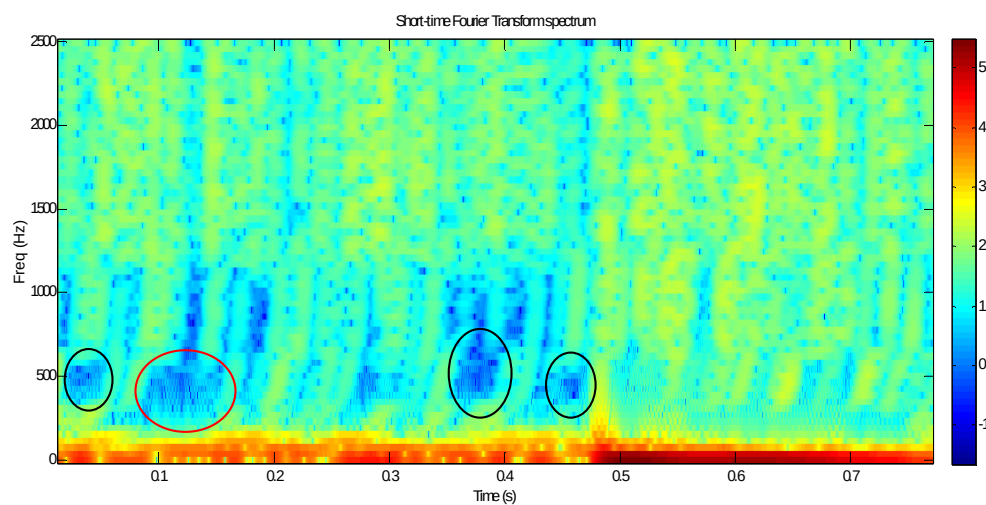
Afin de créer la fuite dans notre conduite, un bouton poussoir est utilisé à cet effet. Une fois que nous agissons sur ce dernier une électrovanne s'actionne, permettant ainsi l'ouverture de l'orifice de la fuite. En analysant les spectrogrammes (a) et (b), on constate une dépression marquée par un cercle rouge aux instants $t = 30 \text{ ms}$ et $t = 100 \text{ ms}$ respectivement et une énergie égale à -1 db sur le premier test et -3 db pour le deuxième test. On peut en déduire la valeur du seuil de puissance en faisant plusieurs tests et en calculant une valeur moyenne correspondante. Cela est dû

aux enregistrements de l'oscilloscope. Tenant compte qu'on vise toujours la bande fréquentielle qui nous a été donnée par le spectre de la FFT.

B. Signal avec fuite issue du capteur B



(a)



(b)

Fig.IV.47. STFT du signal sans fuite issue du capteur B

(a) premier test, (b) deuxième test

De la même façon en analysant les deux spectrogrammes on constate que sur la zone que nous avons sélectionnée auparavant on a trouvé plusieurs dépressions surtout sur la dernière figure. Cela est dû aux relevés avec fuite antérieurs qui provoquent des zones de dépression détectable par notre transmetteur. En outre, nous pouvons dire que ces zones représentent des fausses alarmes.

IV.8.Conclusion

Dans ce chapitre, dans un premier temps, un panorama des outils de traitement de signal a été présenté, en mode progressif, de la transformée de Fourier aux ondelettes. L'analyse des signaux a été illustrée didactiquement par des exemples montrant clairement l'apport de chacun de ces outils du traitement du signal. L'analyse du spectre par FFT trouve ses limites par son incapacité de reconnaissance des signaux non stationnaires alors que la STFT semble avoir résoudre cet inconvénient dans le plans temps-fréquence. Mais, malheureusement, le problème de fenêtrage reste insurmontable à cause du problème de l'incertitude de Heinsenberg, ce qui n'est pas le cas pour les ondelettes qui ont trouvé leur suprématie par rapport aux outils précédents. Ces dernières sont largement appliquées pour des signaux non stationnaires et non linéaires, cas de la majorité des signaux physiques afin de surmonter le problème de la FFT. L'ondelette discrète Daubechies 40 a été utilisée pour le débruitage des signaux provenant des deux transmetteurs. L'application de la technique STFT sur des signaux réels a fait part de notre travail. L'incapacité de l'application de la FFT pour la prise de décision discriminative de la présence de fuite est explicitée. Enfin les résultats trouvés en appliquant la STFT pour la détection des fuites dans les réseaux de distribution d'eau sont prometteuse.



CONCLUSION GENERALE

Conclusion générale

Dans un premier temps, les équipes de détection des fuites déterminent grossièrement l'emplacement des fuites dans le réseau de distribution en auscultant tous les points accessibles du réseau (par exemple, les bouches d'incendie et les vannes). Elles repèrent ensuite plus précisément les zones suspectes en auscultant la surface du sol, directement au-dessus de la conduite et à intervalles rapprochés (environ 1 m). Une autre méthode de repérage exact et automatique des fuites consiste à utiliser des appareils modernes de corrélation des bruits de fuites. Ces appareils sont employés couramment depuis quelques années. Ils sont normalement plus précis que les appareils d'auscultation. Le travail qui a été présenté dans ce mémoire expose l'apport de la STFT dans le domaine de détection des fuites en se basant sur les ondelettes pour le débruitage de nos signaux.

Les ondelettes discrètes ont montrés leurs efficacités pour le traitement des signaux non stationnaire et non linéaire dans des conduits remplis d'eau tuyaux. Cela peut être fait lorsque l'ondelette mère pour la transformée d'ondelettes (WT) est correctement choisie. Nous avons montré que la STFT utilise les fenêtres coulissantes à courte durée. Cette technique a montré son efficacité pour localiser une fuite d'eau. Une fois le signal reconnu, une recherche parmi les ondelettes disponibles peut pointer vers les ondelettes ayant la plus grande ressemblance avec le signal de fuite. Nous avons montré que les spectrogrammes produits par une ondelette mère bien choisie, et l'inspection subséquente de la résistance des transformées d'ondelettes (WT) dans toute la bande de fréquences peut être utilisé pratiquement dans la détection des fuites.

L'analyse du spectre par FFT trouve ses limites par son incapacité de reconnaissance des signaux non stationnaires alors que la STFT a pu résoudre cet inconvénient dans le plan temps-fréquence.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1]: Osama. Hunaidi. : ' La détection des fuites dans les conduites de distribution d'eau', ISSN 1206-1239, Conseil national de recherches du Canada, Octobre 2000.
- [2] : Pascal. BOULANGER. : ' Nouvelles méthodes de détection et de localisation de fuites par émission acoustique', These présentée pour obtenir Le grade de docteur en sciences l'université de Paris XI Orsay, le Mercredi 8 Décembre 1993.
- [3]: extrait du référentiel technique national EPA, république d'Haiti : Fascicule technique/directives techniques/eec. 2.5.1 DIT1 (projet Dinépa-Oieau-Unicef 2012/2013)
- [4]: 'Guide d'aide au choix des matériaux des réseaux d'eau potable et/ou d'assainissement', Charte Qualité des réseaux d'eau potable et d'assainissement Languedoc-Roussillon - Swelia, Septembre 2015.
- [5]: A. Bedjaoui, B. Achour. : 'Détermination des débits en route dans un réseau maille par la méthode du modèle rugueux de référence (MMR)', Courrier du Savoir – N°19, Mars 2015, pp.139-146
- [6]: H. BUYSE, 'Les capteurs', Université catholique de Louvain.
- [7] : Rév. A. : 'Capteurs de pression électroniques série P499- Fiche produit', Référence LIT-12011190, Pièce 24-7664-2659, Edition Juin 2007, Remplace Décembre 2006.
- [8]: HAFSI, Lakhdar. : 'Application de la technique EMD pour l'analyse des données des signaux de fuite dans les réseaux de distribution d'eau', master, université Mohamed Boudiaf - M'sila, Juin 2016.
- [9] : Christian Bissiere. : ' Cours Thème I : Acquisition d'une grandeur physique (Capteurs)', TS IRIS (Physique Appliquée) <http://cbissprof.free.fr>
- [10]:La Boucle de courant 4-20mA, Sources: vcyprien@wanadoo.fr <http://www.sensorique.fr.st/>, Contrôleur pH / Conductivité, Projet Baccalauréat 2005.
- [11] : FARA. Vincent; Brideau. Eloïse; Garel. Lorraine; Lamarche Marine, - Elèves de 1ère STL Optique-. : 'Transmetteurs de Pression'.
- [12] : Maninder Pal. : ' Leak Detection & Location in Polyethylene Pipes', A Thesis submitted for the Degree of Doctor of Philosophy, Department of Civil and Building Engineering Loughborough University, July 2008.
- [13] : Salah. Hantaz. : 'Etude et réalisation d'un système de détection de plusieurs fuites d'eau dans un canal prototype', mémoire de master, université Mohamed Boudiaf - M'sila, Juin 2016.
- [14] :. : 'recherche de fuite d'eau, détection et inspection', Atlantic

[15]: X. Cazauran, J. Pioger. : 'Détection de fuite : méthodes directes et indirectes', AFCE - Colloque Effet de Serre VIII – Courbevoie – 15 octobre 2009.

[16]: Essid.Chaker.: 'Support de cours de Systèmes et Signaux : partie 1'.

[17]: Frederic. Launay, Cours traitement du signal ; Cours 1ere Année : Télécommunication TEL1, le 12/11/2007 Département R&T – IUT de Poitiers site de Chatellerault.

[18]: Olivier. Bacheier. : ' Cours : Un premier pas en traitement du signal ; 2ème année d'IUT de Mesures Physiques, Courriel : Olivier.Bachelier@univ-poitiers.fr

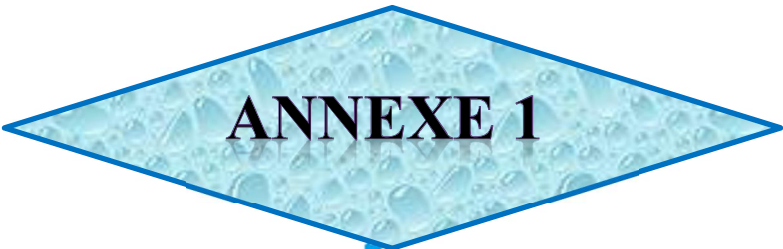
Tel : 05-49-45-36-79 ; Fax : 05-49-45-40-34

[19] : André. Neubauer. : 'DFT–Diskrete Fourier-Transformation', Labor für Informationsverarbeitende Systeme, Elementare Einführung Mit 118 Abbildungen, 2011.

[20] : L. William, Manual. : 'The Discrete Fourier Transform', Briggs University of Colorado, Boulder, Van Emden Henson Naval Postgraduate School.

[21] : M. Bazi Smail. : 'Contribution à la détection et au diagnostic des défauts dans un Système Machine à Induction-Convertisseur', Thèse en vue de l'obtention du diplôme de doctorat en sciences, l'Université de Batna, 08/12/2016.

[22] : Frédéric, Truchetet. : 'Ondelettes pour le signal numérique', Editions Hermes, Paris, 1998.



ANNEXE 1



DATA SHEET DU CAPTEUR UTILISE

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

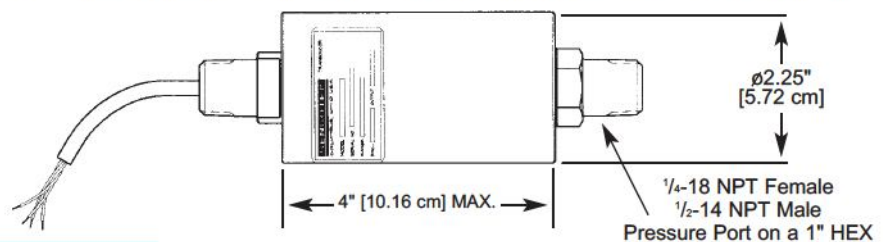
MECHANICAL

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).

Calibration
Data Sheet

Field Set-up of Transducer and Instrument

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

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

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

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

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

SENSOTEC																	
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																	
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">UNAMPLIFIED</th> </tr> <tr> <th>PIN</th> <th>DESIGNATION</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>A</td> <td>(+) EXCITATION</td> </tr> <tr> <td>B</td> <td>(+) SIGNATURE</td> </tr> <tr> <td>C</td> <td>(-) EXCITATION</td> </tr> <tr> <td>D</td> <td>(-) SIGNATURE</td> </tr> <tr> <td>E</td> <td>(-) OUTPUT</td> </tr> <tr> <td>F</td> <td>(+) OUTPUT</td> </tr> </tbody> </table>		UNAMPLIFIED		PIN	DESIGNATION	A	(+) EXCITATION	B	(+) SIGNATURE	C	(-) EXCITATION	D	(-) SIGNATURE	E	(-) OUTPUT	F	(+) OUTPUT
UNAMPLIFIED																	
PIN	DESIGNATION																
A	(+) EXCITATION																
B	(+) SIGNATURE																
C	(-) EXCITATION																
D	(-) SIGNATURE																
E	(-) OUTPUT																
F	(+) OUTPUT																
																	
Accepted and Certified by: <i>Michael A. Stanley</i> Date Printed: 6/2/1999																	

Step-by-Step Procedure for Shunt Cal

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

Unamplified Transducers

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

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

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

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

Instrument with 0 to 5 Volt Output

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

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

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

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

Instrument with 4-20 Milliampere Output

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

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

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

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

Instrument Display

The following equation applies to instruments with a display:

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

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

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

SENSOTEC Wiring Codes

STANDARD WIRING CODES

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

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

** Relay buffered shunt cal is optional consult Sensotec.

S Special (consult factory)

DEFINITIONS

Supply: Positive lead of source (power supply) used to drive amplified transducer.

Supply Return: Negative lead of source (power supply) used to drive amplified transducer.

+ **Output or Output:** Signal side of output.

– **Output or Output Return:** Reference side of output signal.

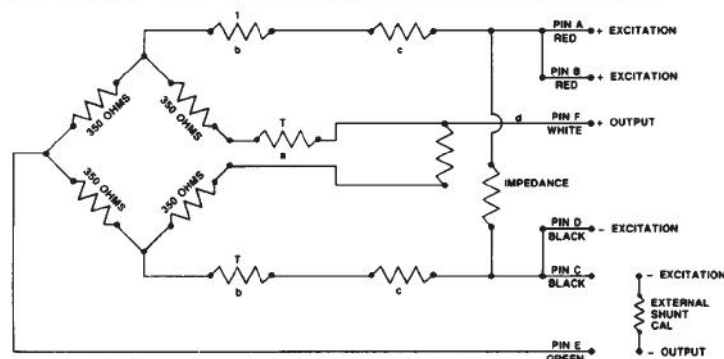
Supply Common: Center terminal if bipolar supplies (i.e. $\pm 15\text{VDC}$) are used.

+ **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*

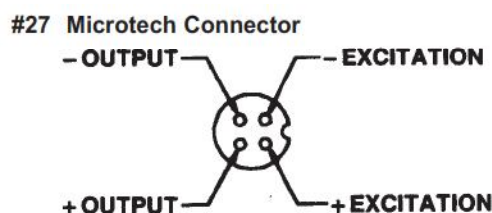
**#21 Cable/3 wire current, 4-20mA/
Int. Shunt Cal/Submersible**
Red (+) Supply
Brown, Output common/
Green Supply return (Internal Connection)
Orange (+) Output (4-20mA)
Blue Shunt Cal 1*
Yellow Shunt Cal 2*

#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*

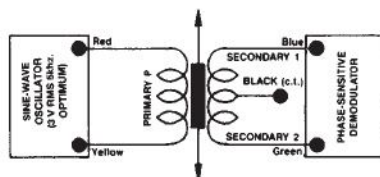
**#25 Connector/Frequency Output/
Internal Shunt Cal**
A (+) Supply
B, C Output common/Supply return
(Internal Connection)
D (+) Output
E Shunt Cal 1*
F Shunt Cal 2*



#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

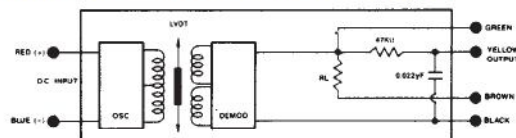
* Must be floating output common = $\frac{1}{2}$ supply voltage

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

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

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

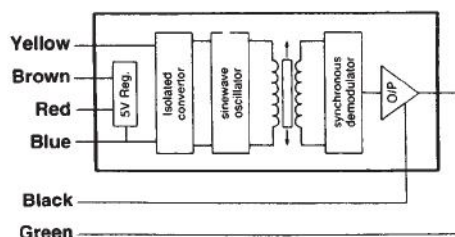
Cable shield is not connected to transducer.



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

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

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



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

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

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

Troubleshooting Guide

Unamplified Transducers

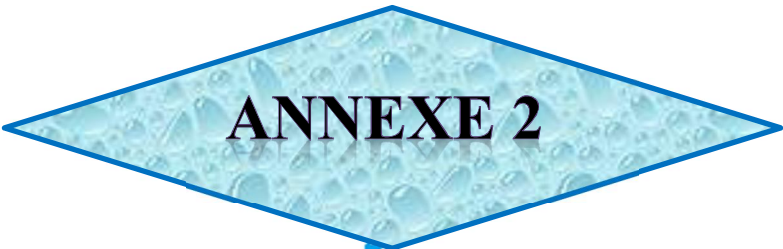
Symptom/Problem	Action/Troubleshooting
No Output	Verify correct wiring Verify excitation per calibration sheet. Make sure pressure, load, etc. is being applied. Check strain gage bridge for continuity per calibration sheet.
Erratic/Intermittent Output or Zero Drift	Check electrical connections for discontinuity 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	Action/Troubleshooting
No Output	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	Action/Troubleshooting
Erratic Display	Check electrical connections for continuity and wiring code for pin layout.
No Display/No Output Voltage	Check powerline fuse per instrument instructions.
Blinking Display	Indicated overload; make sure wires are all connected, and transducer is within its range.
Incorrect Readout Value	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.



ANNEXE 2



DATA SHEET D'AOP UTILISE

TL082 Wide Bandwidth Dual JFET Input Operational Amplifier

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

FEATURES

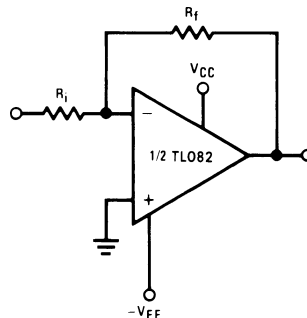
- Internally Trimmed Offset Voltage: 15 mV
- Low Input Bias Current: 50 pA
- Low Input Noise Voltage: 16nV/√Hz
- Low Input Noise Current: 0.01 pA/√Hz
- Wide Gain Bandwidth: 4 MHz
- High Slew Rate: 13 V/μs
- Low Supply Current: 3.6 mA
- High Input Impedance: $10^{12}\Omega$
- Low Total Harmonic Distortion: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

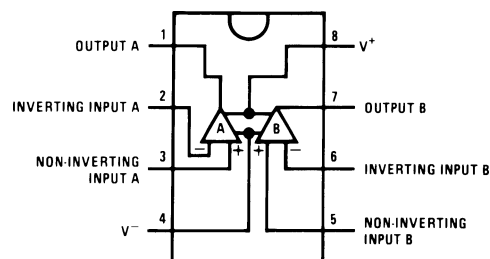


Figure 1. PDIP/SOIC Package (Top View)
See Package Number D0008A or P0008E



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.

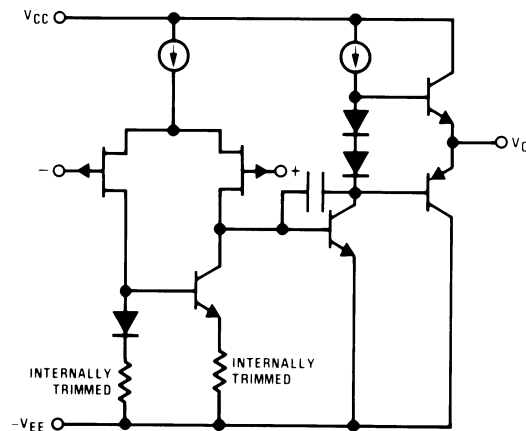
BI-FET II is a trademark of dcl_owner.

All other trademarks are the property of their respective owners.

PRODUCTION DATA information is current as of publication date. Products conform to specifications per the terms of the Texas Instruments standard warranty. Production processing does not necessarily include testing of all parameters.

Copyright © 1998–2013, Texas Instruments Incorporated

Simplified Schematic



These devices have limited built-in ESD protection. The leads should be shorted together or the device placed in conductive foam during storage or handling to prevent electrostatic damage to the MOS gates.

Absolute Maximum Ratings ⁽¹⁾⁽²⁾

Supply Voltage	±18V
Power Dissipation ⁽³⁾	⁽⁴⁾
Operating Temperature Range	0°C to +70°C
T _J (MAX)	150°C
Differential Input Voltage	±30V
Input Voltage Range ⁽⁵⁾	±15V
Output Short Circuit Duration	Continuous
Storage Temperature Range	-65°C to +150°C
Lead Temp. (Soldering, 10 seconds)	260°C
ESD rating to be determined.	

- (1) "Absolute Maximum Ratings" indicate limits beyond which damage to the device may occur. Operating Ratings indicate conditions for which the device is functional, but do not ensure specific performance limits.
- (2) If Military/Aerospace specified devices are required, please contact the Texas Instruments Sales Office/ Distributors for availability and specifications.
- (3) The power dissipation limit, however, cannot be exceeded.
- (4) For operating at elevated temperature, the device must be derated based on a thermal resistance of 115°C/W junction to ambient for the P0008E package.
- (5) Unless otherwise specified the absolute maximum negative input voltage is equal to the negative power supply voltage.

DC Electrical Characteristics ⁽¹⁾

Symbol	Parameter	Conditions	TL082C			Units
			Min	Typ	Max	
V _{OS}	Input Offset Voltage	R _S = 10 kΩ, T _A = 25°C Over Temperature		5	15 20	mV mV
ΔV _{OS} /ΔT	Average TC of Input Offset Voltage	R _S = 10 kΩ		10		μV/°C
I _{OS}	Input Offset Current	T _J = 25°C, ⁽¹⁾ ⁽²⁾ T _J ≤ 70°C		25	200 4	pA nA
I _B	Input Bias Current	T _J = 25°C, ⁽¹⁾ ⁽²⁾ T _J ≤ 70°C		50	400 8	pA nA
R _{IN}	Input Resistance	T _J = 25°C		10 ¹²		Ω
A _{VOL}	Large Signal Voltage Gain	V _S = ±15V, T _A = 25°C, V _O = ±10V, R _L = 2 kΩ Over Temperature	25 15	100		V/mV V/mV
V _O	Output Voltage Swing	V _S = ±15V, R _L = 10 kΩ	±12	±13.5		V
V _{CM}	Input Common-Mode Voltage Range	V _S = ±15V	±11	+15 -12		V V
CMRR	Common-Mode Rejection Ratio	R _S ≤ 10 kΩ	70	100		dB
PSRR	Supply Voltage Rejection Ratio	⁽³⁾	70	100		dB
I _S	Supply Current			3.6	5.6	mA

- (1) These specifications apply for V_S = ±15V and 0°C ≤ T_A ≤ +70°C. V_{OS}, I_B and I_{OS} are measured at V_{CM} = 0.
- (2) The input bias currents are junction leakage currents which approximately double for every 10°C increase in the junction temperature, T_J. Due to the limited production test time, the input bias currents measured are correlated to junction temperature. In normal operation the junction temperature rises above the ambient temperature as a result of internal power dissipation, P_D. T_J = T_A + θ_{JA} P_D where θ_{JA} is the thermal resistance from junction to ambient. Use of a heat sink is recommended if input bias current is to be kept to a minimum.
- (3) Supply voltage rejection ratio is measured for both supply magnitudes increasing or decreasing simultaneously in accordance with common practice. V_S = ±6V to ±15V.

AC Electrical Characteristics ⁽¹⁾

Symbol	Parameter	Conditions	TL082C			Units
			Min	Typ	Max	
	Amplifier to Amplifier Coupling	T _A = 25°C, f = 1Hz-20 kHz (Input Referred)		-120		dB
SR	Slew Rate	V _S = ±15V, T _A = 25°C	8	13		V/μs
GBW	Gain Bandwidth Product	V _S = ±15V, T _A = 25°C		4		MHz
e _n	Equivalent Input Noise Voltage	T _A = 25°C, R _S = 100Ω, f = 1000 Hz		25		nV/√Hz
i _n	Equivalent Input Noise Current	T _J = 25°C, f = 1000 Hz		0.01		pA/√Hz
THD	Total Harmonic Distortion	A _V = +10, R _L = 10k, V _O = 20 V _p - p, BW = 20 Hz-20 kHz		<0.02		%

- (1) These specifications apply for V_S = ±15V and 0°C ≤ T_A ≤ +70°C. V_{OS}, I_B and I_{OS} are measured at V_{CM} = 0.

Typical Performance Characteristics

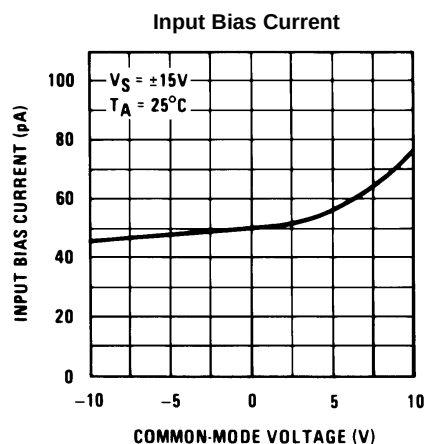


Figure 2.

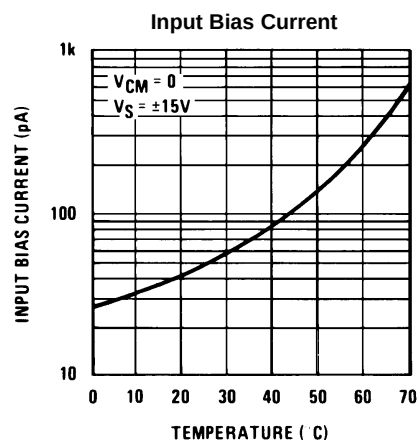


Figure 3.

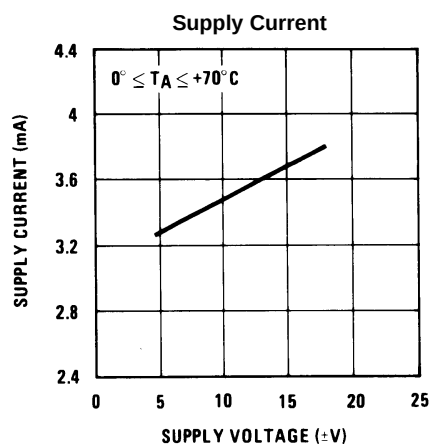


Figure 4.

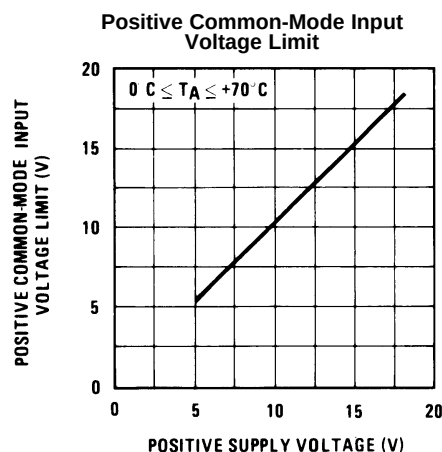


Figure 5.

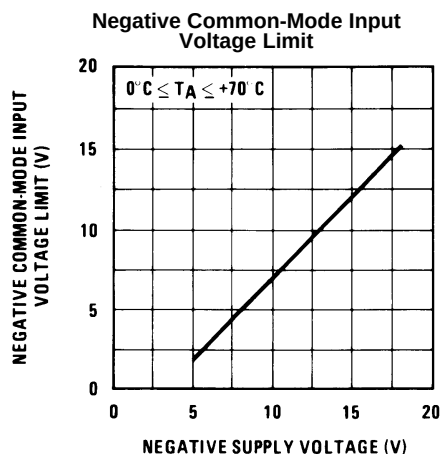


Figure 6.

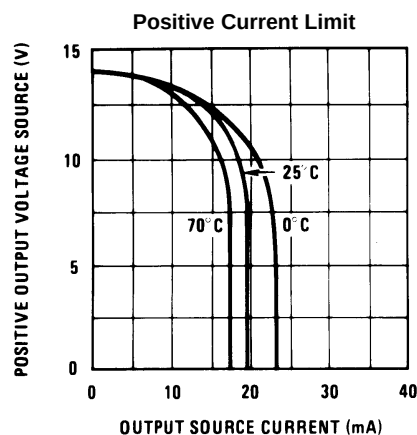


Figure 7.

Typical Performance Characteristics (continued)

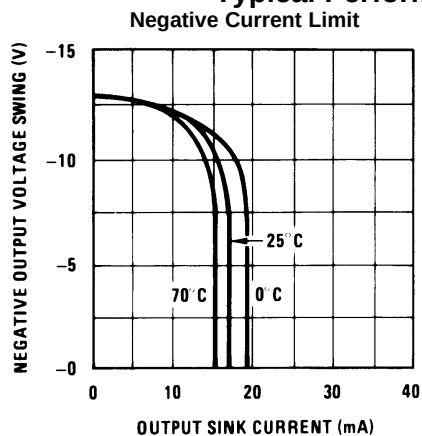


Figure 8.

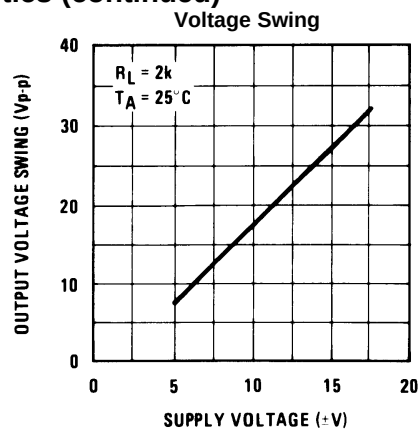


Figure 9.

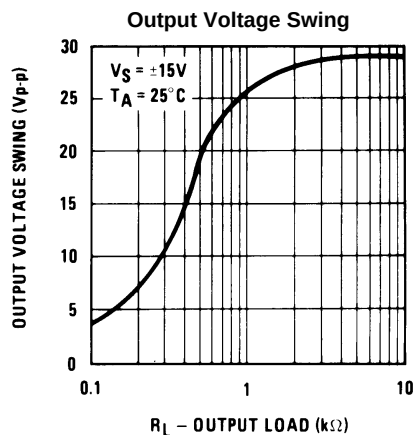


Figure 10.

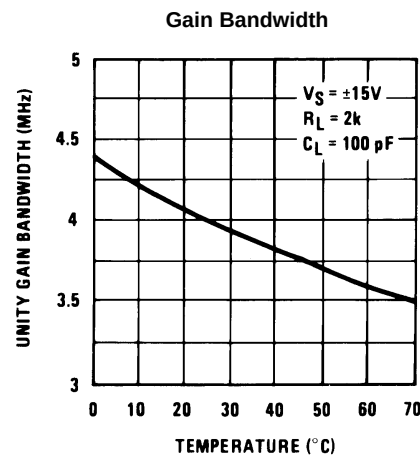


Figure 11.

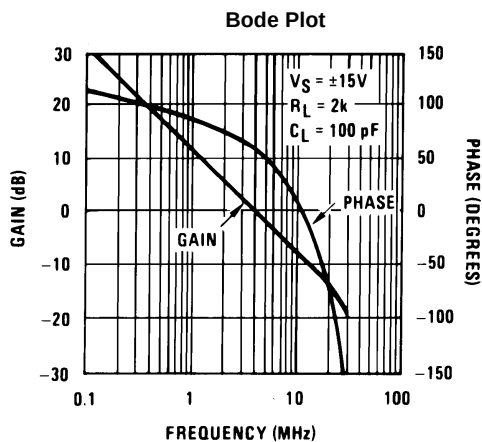


Figure 12.

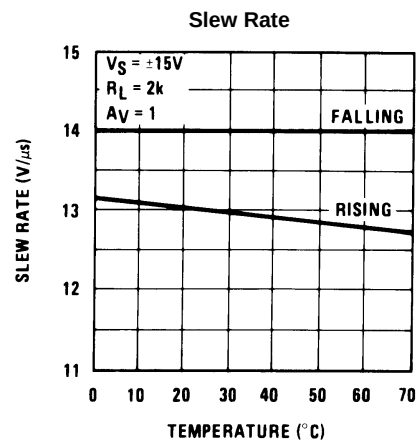


Figure 13.

Typical Performance Characteristics (continued)

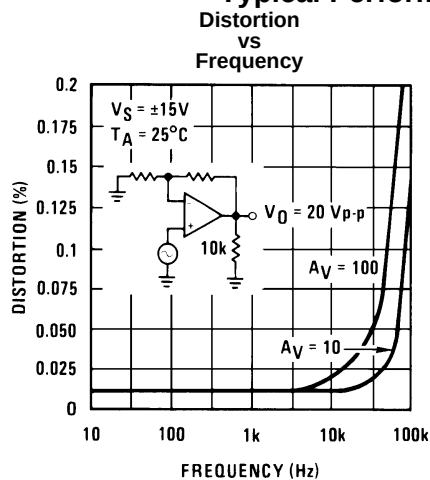


Figure 14.

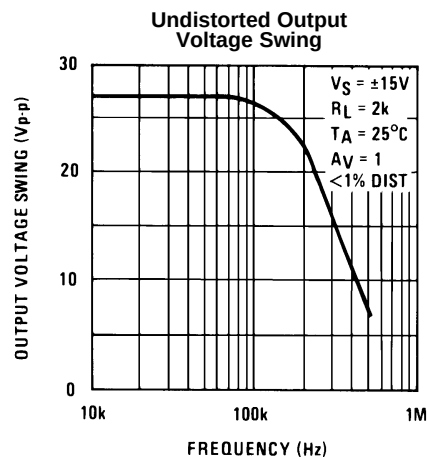


Figure 15.

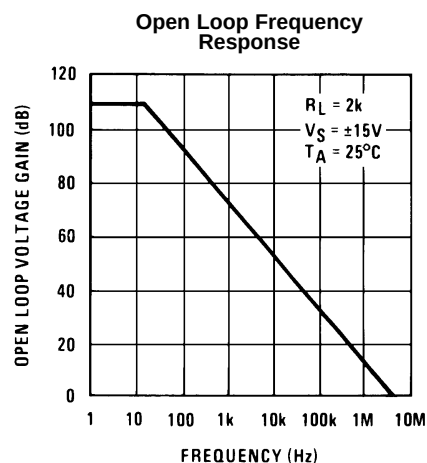


Figure 16.

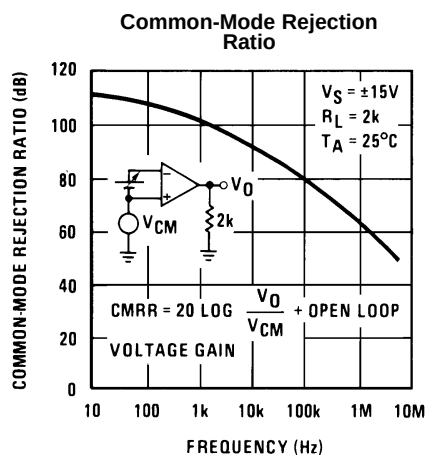


Figure 17.

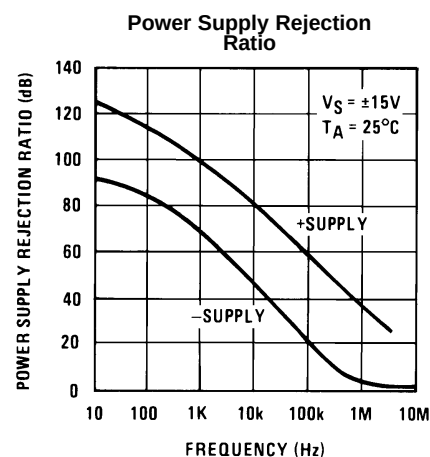


Figure 18.

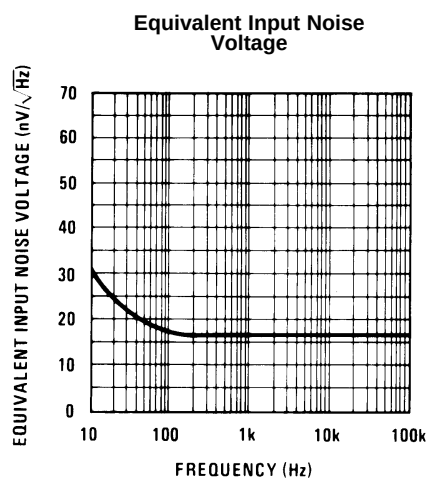


Figure 19.

Typical Performance Characteristics (continued)

Open Loop Voltage
Gain (V/V)

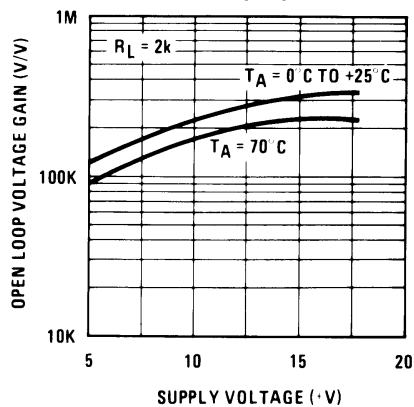


Figure 20.

Output Impedance

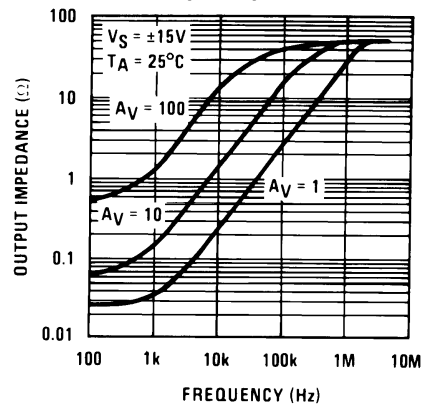


Figure 21.

Inverter Setting Time

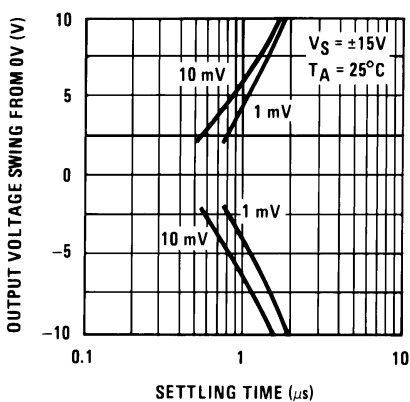


Figure 22.

Pulse Response

Small Signal Inverting

Large Signal Inverting

Figure 23.

Small Signal Non-Inverting

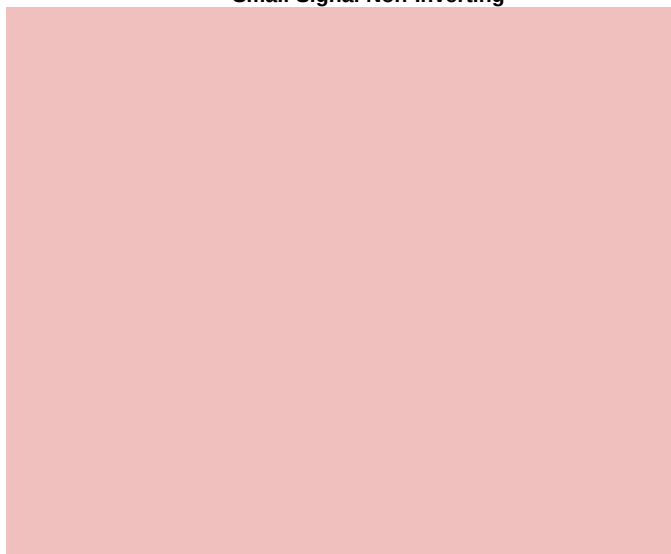


Figure 25.

Figure 24.

Large Signal Non-Inverting

Figure 26.

Pulse Response (continued)

Current Limit ($R_L = 100\Omega$)

Figure 27.

APPLICATION HINTS

These devices are op amps with an internally trimmed input offset voltage and JFET input devices (BI-FET II). These JFETs have large reverse breakdown voltages from gate to source and drain eliminating the need for clamps across the inputs. Therefore, large differential input voltages can easily be accommodated without a large increase in input current. The maximum differential input voltage is independent of the supply voltages. However, neither of the input voltages should be allowed to exceed the negative supply as this will cause large currents to flow which can result in a destroyed unit.

Exceeding the negative common-mode limit on either input will cause a reversal of the phase to the output and force the amplifier output to the corresponding high or low state. Exceeding the negative common-mode limit on both inputs will force the amplifier output to a high state. In neither case does a latch occur since raising the input back within the common-mode range again puts the input stage and thus the amplifier in a normal operating mode.

Exceeding the positive common-mode limit on a single input will not change the phase of the output; however, if both inputs exceed the limit, the output of the amplifier will be forced to a high state.

The amplifiers will operate with a common-mode input voltage equal to the positive supply; however, the gain bandwidth and slew rate may be decreased in this condition. When the negative common-mode voltage swings to within 3V of the negative supply, an increase in input offset voltage may occur.

Each amplifier is individually biased by a zener reference which allows normal circuit operation on $\pm 6\text{V}$ power supplies. Supply voltages less than these may result in lower gain bandwidth and slew rate.

The amplifiers will drive a 2 k Ω load resistance to $\pm 10\text{V}$ over the full temperature range of 0°C to $+70^\circ\text{C}$. If the amplifier is forced to drive heavier load currents, however, an increase in input offset voltage may occur on the negative voltage swing and finally reach an active current limit on both positive and negative swings.

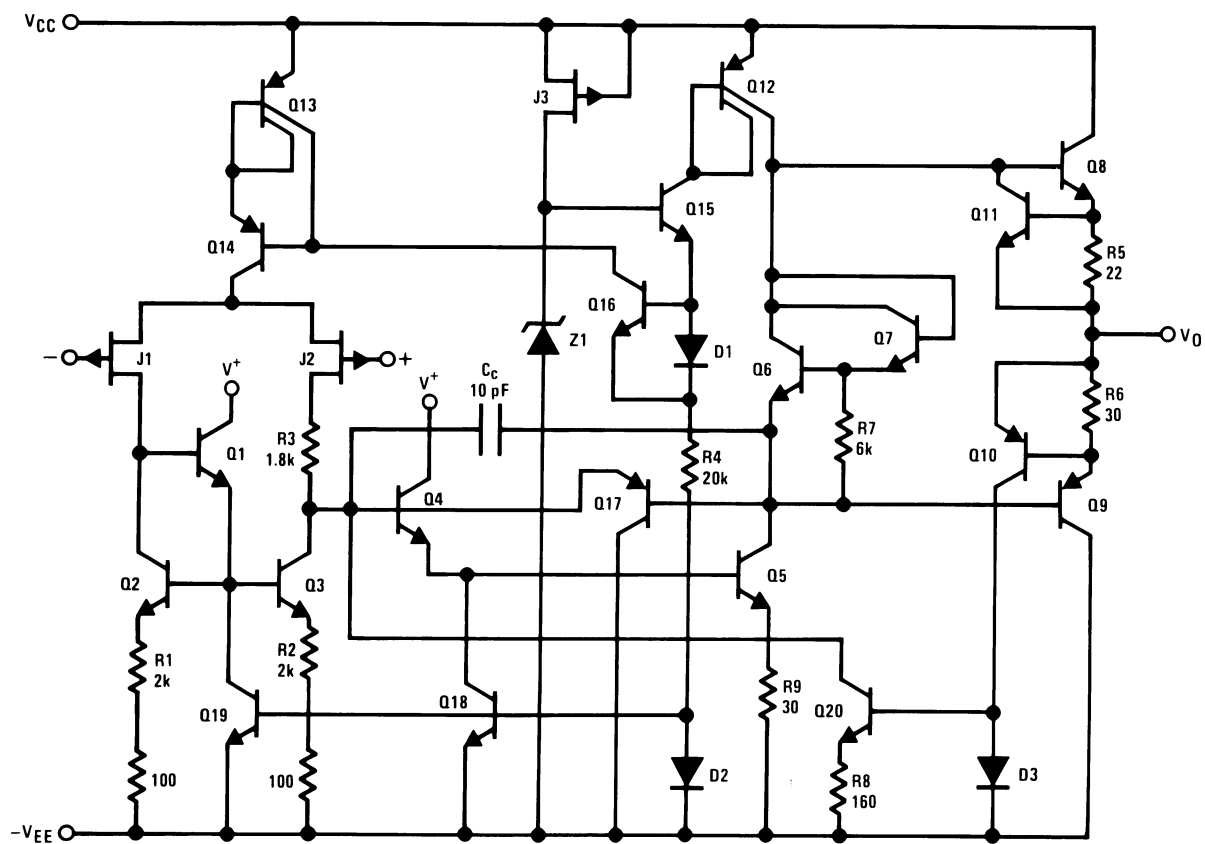
Precautions should be taken to ensure that the power supply for the integrated circuit never becomes reversed in polarity or that the unit is not inadvertently installed backwards in a socket as an unlimited current surge through the resulting forward diode within the IC could cause fusing of the internal conductors and result in a destroyed unit.

Because these amplifiers are JFET rather than MOSFET input op amps they do not require special handling.

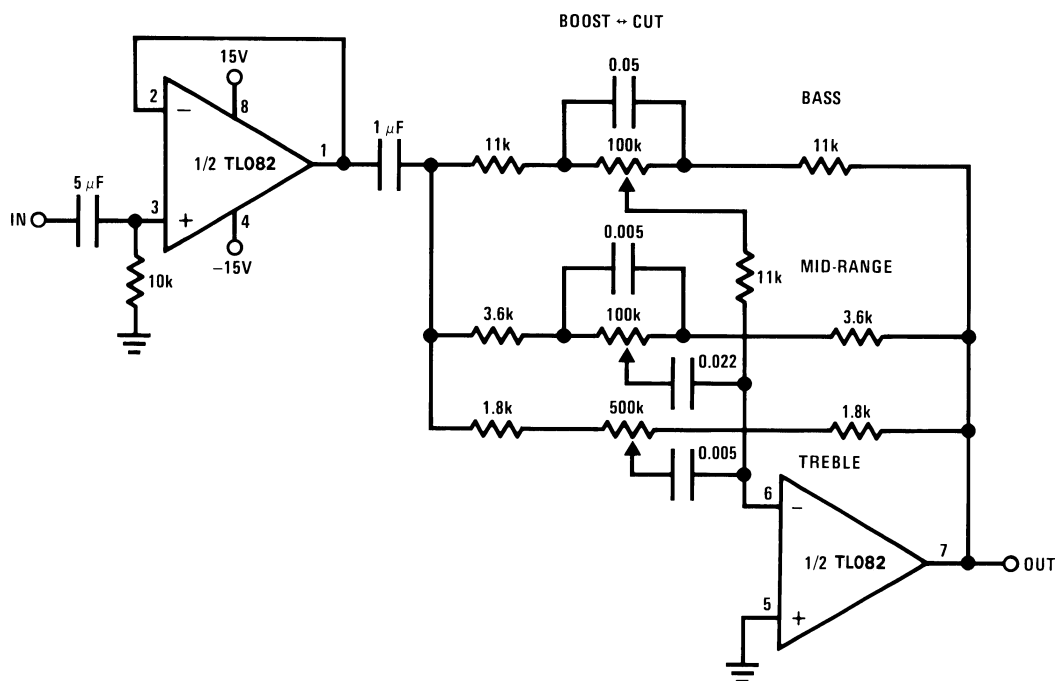
As with most amplifiers, care should be taken with lead dress, component placement and supply decoupling in order to ensure stability. For example, resistors from the output to an input should be placed with the body close to the input to minimize "pick-up" and maximize the frequency of the feedback pole by minimizing the capacitance from the input to ground.

A feedback pole is created when the feedback around any amplifier is resistive. The parallel resistance and capacitance from the input of the device (usually the inverting input) to AC ground set the frequency of the pole. In many instances the frequency of this pole is much greater than the expected 3 dB frequency of the closed loop gain and consequently there is negligible effect on stability margin. However, if the feedback pole is less than approximately 6 times the expected 3 dB frequency a lead capacitor should be placed from the output to the input of the op amp. The value of the added capacitor should be such that the RC time constant of this capacitor and the resistance it parallels is greater than or equal to the original feedback pole time constant.

Detailed Schematic



Typical Applications



- All potentiometers are linear taper
- Use the LF347 Quad for stereo applications

All controls flat.

Bass and treble boost, mid flat.

Bass and treble cut, mid flat.

Mid boost, bass and treble flat.

Mid cut, bass and treble flat.

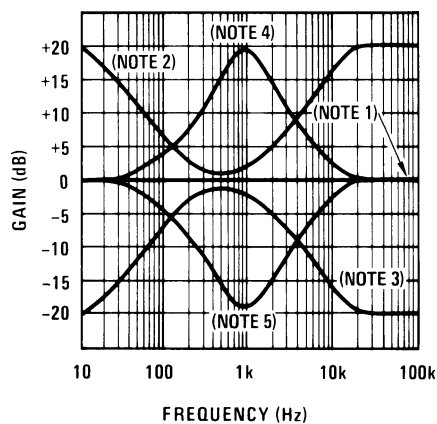
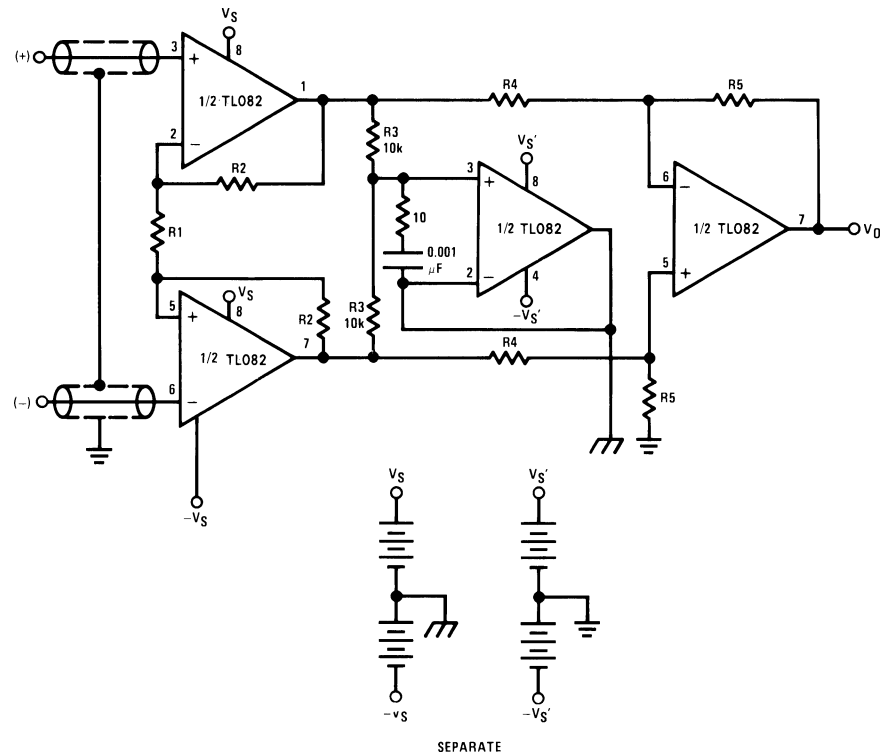


Figure 28. Three-Band Active Tone Control



$$A_V = \left(\frac{2R_2}{R_1} + 1 \right) \frac{R_5}{R_4}$$

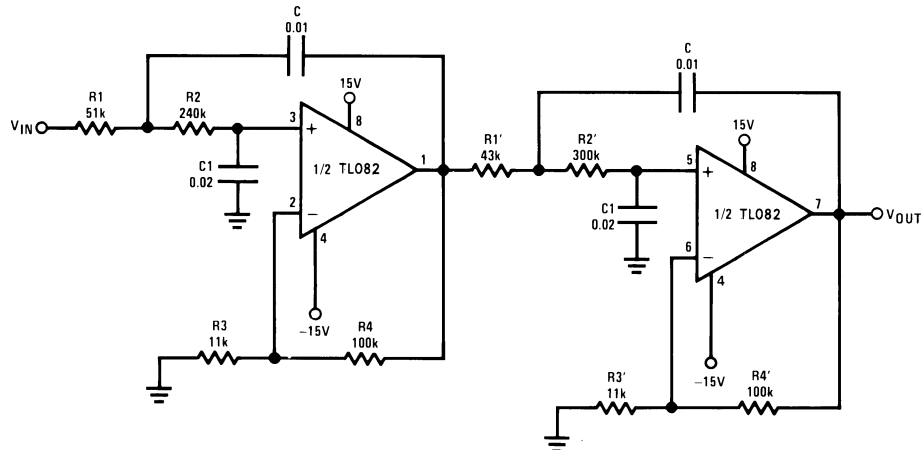
and are separate isolated grounds

Matching of R2's, R4's and R5's control CMRR

With $A_{VT} = 1400$, resistor matching = 0.01%: CMRR = 136 dB

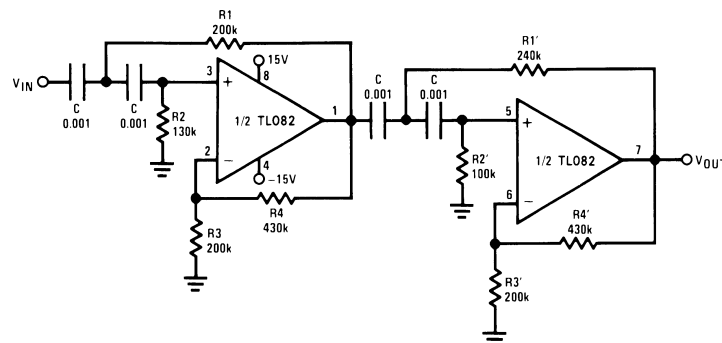
- Very high input impedance
- Super high CMRR

Figure 29. Improved CMRR Instrumentation Amplifier



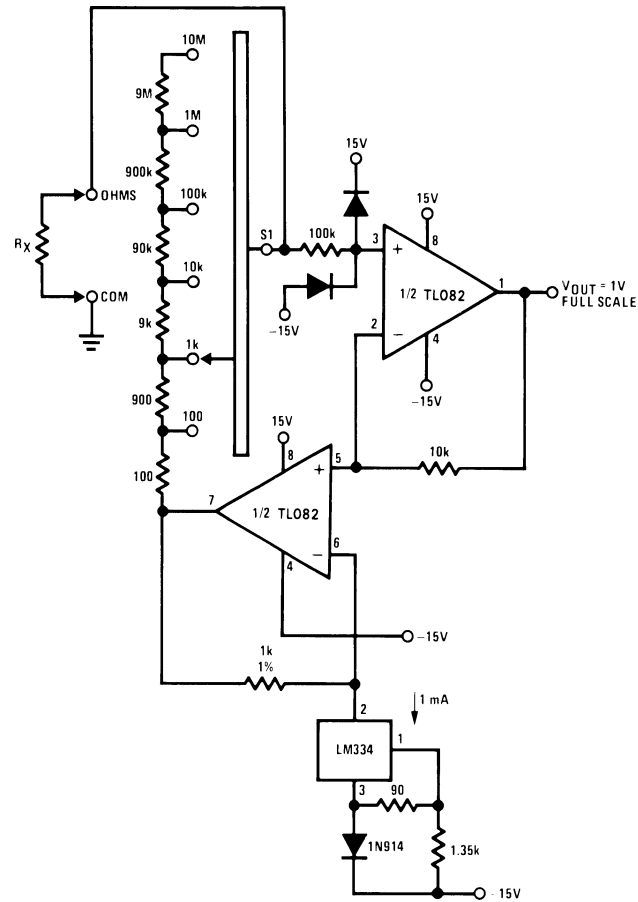
- Corner frequency (f_c) = $\sqrt{\frac{1}{R_1 R_2 C C_1}} \cdot \frac{1}{2\pi} = \sqrt{\frac{1}{R_1' R_2' C C_1}} \cdot \frac{1}{2\pi}$
- Passband gain (H_O) = $(1 + R_4/R_3) (1 + R_4'/R_3')$
- First stage $Q = 1.31$
- Second stage $Q = 0.541$
- Circuit shown uses nearest 5% tolerance resistor values for a filter with a corner frequency of 100 Hz and a passband gain of 100
- Offset nulling necessary for accurate DC performance

Figure 30. Fourth Order Low Pass Butterworth Filter



- Corner frequency (f_c) = $\sqrt{\frac{1}{R_1 R_2 C^2}} \cdot \frac{1}{2\pi} = \sqrt{\frac{1}{R_1' R_2' C^2}} \cdot \frac{1}{2\pi}$
- Passband gain (H_O) = $(1 + R_4/R_3) (1 + R_4'/R_3')$
- First stage $Q = 1.31$
- Second stage $Q = 0.541$
- Circuit shown uses closest 5% tolerance resistor values for a filter with a corner frequency of 1 kHz and a passband gain of 10

Figure 31. Fourth Order High Pass Butterworth Filter



$$V_O = \frac{1V}{R_{LADDER}} \times R_X$$

Where R_{LADDER} is the resistance from switch S1 pole to pin 7 of the TL082CP.

Figure 32. Ohms to Volts Converter

REVISION HISTORY

Changes from Revision B (April 2013) to Revision C	Page
Changed layout of National Data Sheet to TI format	15

PACKAGING INFORMATION

Orderable Device	Status (1)	Package Type	Package Drawing	Pins	Package Qty	Eco Plan (2)	Lead/Ball Finish (6)	MSL Peak Temp (3)	Op Temp (°C)	Device Marking (4/5)	Samples
TL082CM/NOPB	ACTIVE	SOIC	D	8	95	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU SN	Level-1-260C-UNLIM	0 to 70	TL 082CM	Samples
TL082CMX	NRND	SOIC	D	8	2500	TBD	Call TI	Call TI	0 to 70	TL 082CM	
TL082CMX/NOPB	ACTIVE	SOIC	D	8	2500	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU SN	Level-1-260C-UNLIM	0 to 70	TL 082CM	Samples
TL082CP/NOPB	ACTIVE	PDIP	P	8	40	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU SN	Level-1-NA-UNLIM	0 to 70	TL082 CP	Samples

(1) The marketing status values are defined as follows:

ACTIVE: Product device recommended for new designs.

LIFEBUY: TI has announced that the device will be discontinued, and a lifetime-buy period is in effect.

NRND: Not recommended for new designs. Device is in production to support existing customers, but TI does not recommend using this part in a new design.

PREVIEW: Device has been announced but is not in production. Samples may or may not be available.

OBSOLETE: TI has discontinued the production of the device.

(2) Eco Plan - The planned eco-friendly classification: Pb-Free (RoHS), Pb-Free (RoHS Exempt), or Green (RoHS & no Sb/Br) - please check <http://www.ti.com/productcontent> for the latest availability information and additional product content details.

TBD: The Pb-Free/Green conversion plan has not been defined.

Pb-Free (RoHS): TI's terms "Lead-Free" or "Pb-Free" mean semiconductor products that are compatible with the current RoHS requirements for all 6 substances, including the requirement that lead not exceed 0.1% by weight in homogeneous materials. Where designed to be soldered at high temperatures, TI Pb-Free products are suitable for use in specified lead-free processes.

Pb-Free (RoHS Exempt): This component has a RoHS exemption for either 1) lead-based flip-chip solder bumps used between the die and package, or 2) lead-based die adhesive used between the die and leadframe. The component is otherwise considered Pb-Free (RoHS compatible) as defined above.

Green (RoHS & no Sb/Br): TI defines "Green" to mean Pb-Free (RoHS compatible), and free of Bromine (Br) and Antimony (Sb) based flame retardants (Br or Sb do not exceed 0.1% by weight in homogeneous material)

(3) MSL, Peak Temp. - The Moisture Sensitivity Level rating according to the JEDEC industry standard classifications, and peak solder temperature.

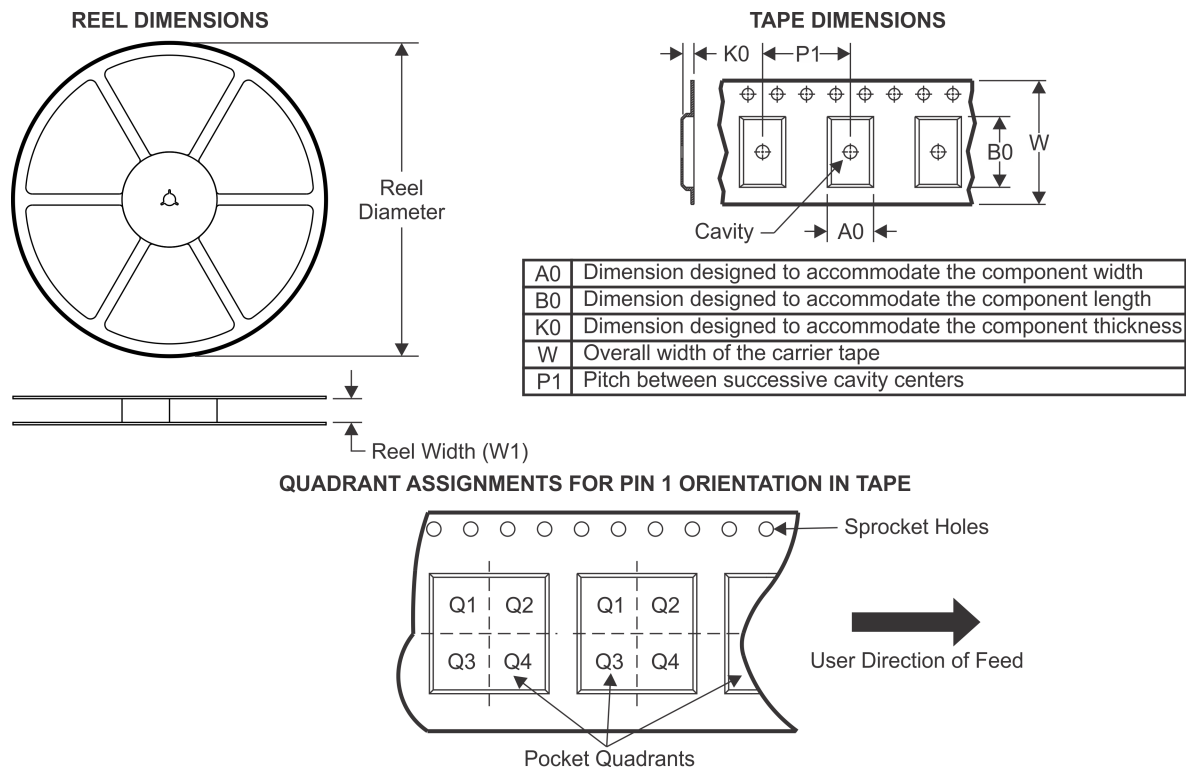
(4) There may be additional marking, which relates to the logo, the lot trace code information, or the environmental category on the device.

(5) Multiple Device Markings will be inside parentheses. Only one Device Marking contained in parentheses and separated by a "~" will appear on a device. If a line is indented then it is a continuation of the previous line and the two combined represent the entire Device Marking for that device.

(6) Lead/Ball Finish - Orderable Devices may have multiple material finish options. Finish options are separated by a vertical ruled line. Lead/Ball Finish values may wrap to two lines if the finish value exceeds the maximum column width.

Important Information and Disclaimer: The information provided on this page represents TI's knowledge and belief as of the date that it is provided. TI bases its knowledge and belief on information provided by third parties, and makes no representation or warranty as to the accuracy of such information. Efforts are underway to better integrate information from third parties. TI has taken and continues to take reasonable steps to provide representative and accurate information but may not have conducted destructive testing or chemical analysis on incoming materials and chemicals. TI and TI suppliers consider certain information to be proprietary, and thus CAS numbers and other limited information may not be available for release.

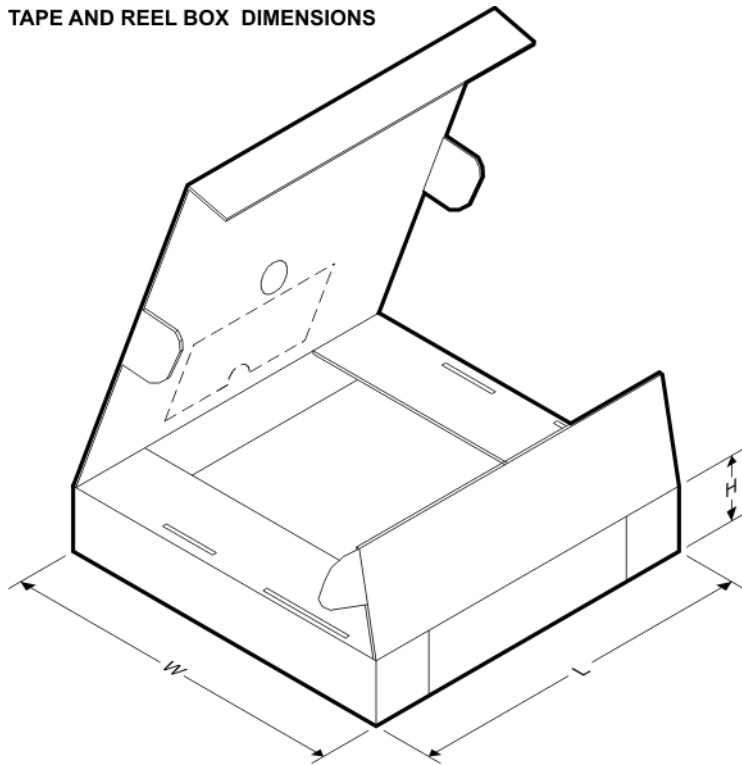
In no event shall TI's liability arising out of such information exceed the total purchase price of the TI part(s) at issue in this document sold by TI to Customer on an annual basis.

TAPE AND REEL INFORMATION


*All dimensions are nominal

Device	Package Type	Package Drawing	Pins	SPQ	Reel Diameter (mm)	Reel Width W1 (mm)	A0 (mm)	B0 (mm)	K0 (mm)	P1 (mm)	W (mm)	Pin1 Quadrant
TL082CMX	SOIC	D	8	2500	330.0	12.4	6.5	5.4	2.0	8.0	12.0	Q1
TL082CMX/NOPB	SOIC	D	8	2500	330.0	12.4	6.5	5.4	2.0	8.0	12.0	Q1

TAPE AND REEL BOX DIMENSIONS

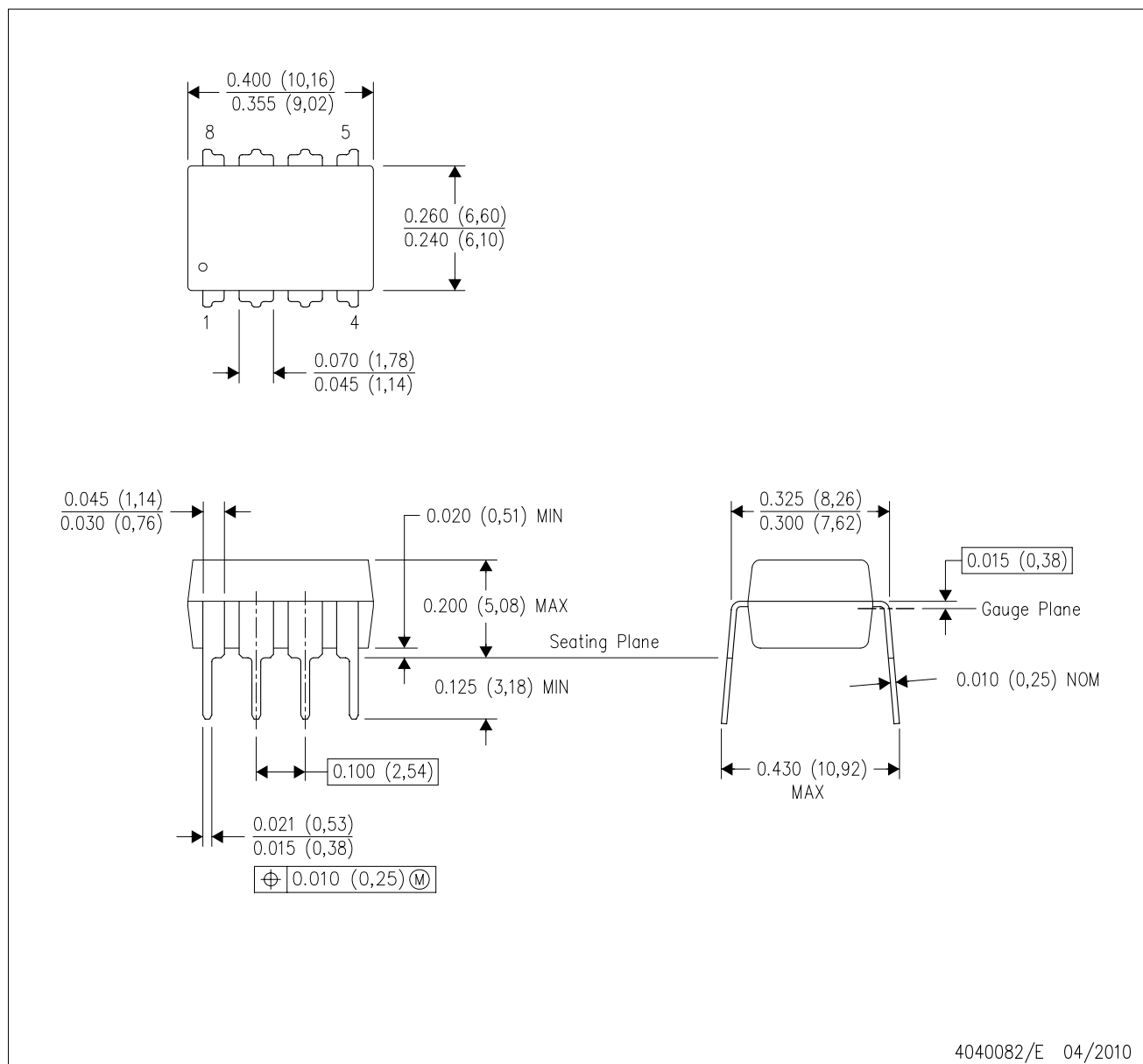


*All dimensions are nominal

Device	Package Type	Package Drawing	Pins	SPQ	Length (mm)	Width (mm)	Height (mm)
TL082CMX	SOIC	D	8	2500	367.0	367.0	35.0
TL082CMX/NOPB	SOIC	D	8	2500	367.0	367.0	35.0

P (R-PDIP-T8)

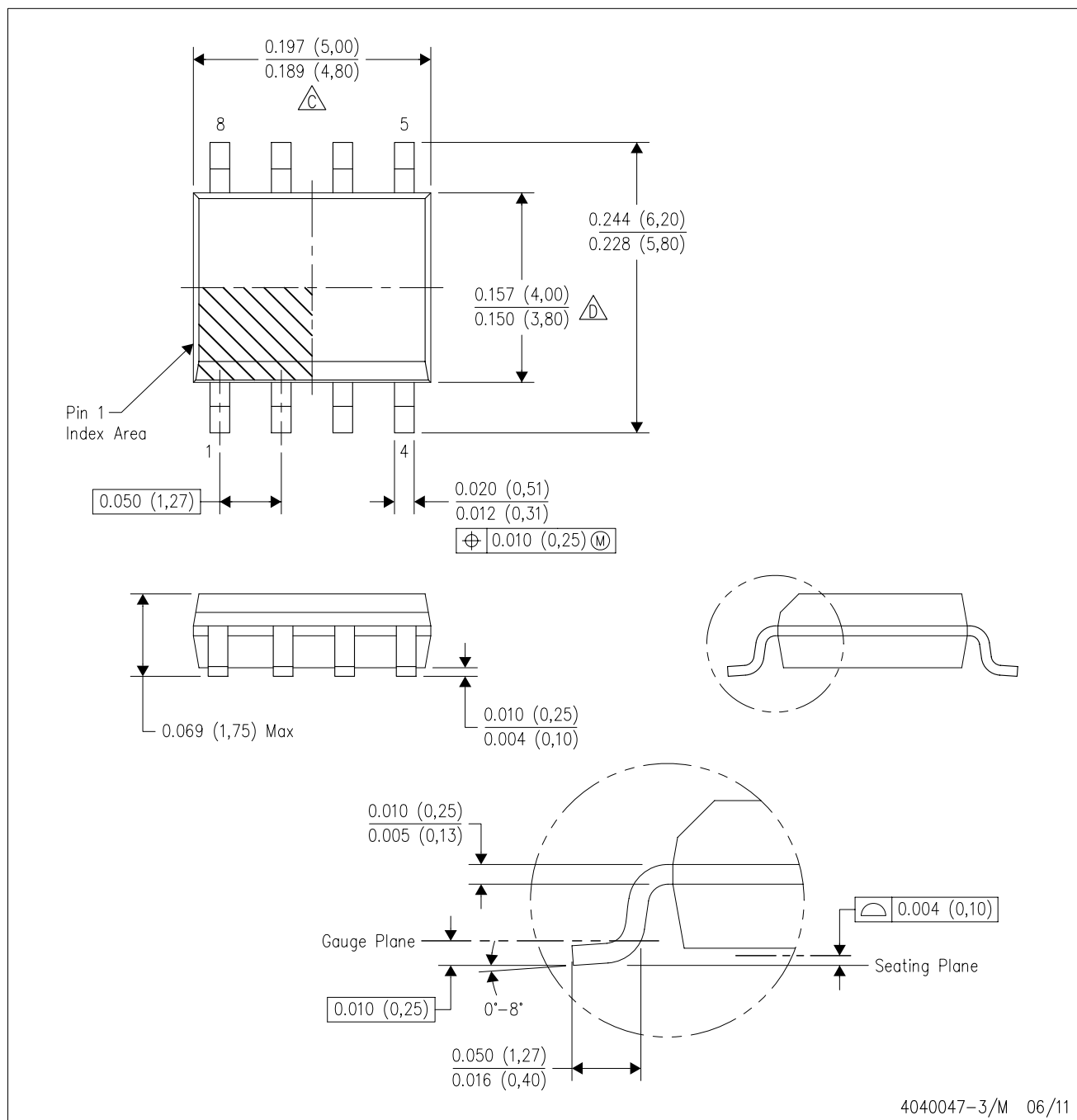
PLASTIC DUAL-IN-LINE PACKAGE



- NOTES:
- A. All linear dimensions are in inches (millimeters).
 - B. This drawing is subject to change without notice.
 - C. Falls within JEDEC MS-001 variation BA.

D (R-PDSO-G8)

PLASTIC SMALL OUTLINE



NOTES:

- A. All linear dimensions are in inches (millimeters).
- B. This drawing is subject to change without notice.
- $\triangle C$ Body length does not include mold flash, protrusions, or gate burrs. Mold flash, protrusions, or gate burrs shall not exceed 0.006 (0,15) each side.
- $\triangle D$ Body width does not include interlead flash. Interlead flash shall not exceed 0.017 (0,43) each side.
- E. Reference JEDEC MS-012 variation AA.

IMPORTANT NOTICE

Texas Instruments Incorporated and its subsidiaries (TI) reserve the right to make corrections, enhancements, improvements and other changes to its semiconductor products and services per JESD46, latest issue, and to discontinue any product or service per JESD48, latest issue. Buyers should obtain the latest relevant information before placing orders and should verify that such information is current and complete. All semiconductor products (also referred to herein as "components") are sold subject to TI's terms and conditions of sale supplied at the time of order acknowledgment.

TI warrants performance of its components to the specifications applicable at the time of sale, in accordance with the warranty in TI's terms and conditions of sale of semiconductor products. Testing and other quality control techniques are used to the extent TI deems necessary to support this warranty. Except where mandated by applicable law, testing of all parameters of each component is not necessarily performed.

TI assumes no liability for applications assistance or the design of Buyers' products. Buyers are responsible for their products and applications using TI components. To minimize the risks associated with Buyers' products and applications, Buyers should provide adequate design and operating safeguards.

TI does not warrant or represent that any license, either express or implied, is granted under any patent right, copyright, mask work right, or other intellectual property right relating to any combination, machine, or process in which TI components or services are used. Information published by TI regarding third-party products or services does not constitute a license to use such products or services or a warranty or endorsement thereof. Use of such information may require a license from a third party under the patents or other intellectual property of the third party, or a license from TI under the patents or other intellectual property of TI.

Reproduction of significant portions of TI information in TI data books or data sheets is permissible only if reproduction is without alteration and is accompanied by all associated warranties, conditions, limitations, and notices. TI is not responsible or liable for such altered documentation. Information of third parties may be subject to additional restrictions.

Resale of TI components or services with statements different from or beyond the parameters stated by TI for that component or service voids all express and any implied warranties for the associated TI component or service and is an unfair and deceptive business practice. TI is not responsible or liable for any such statements.

Buyer acknowledges and agrees that it is solely responsible for compliance with all legal, regulatory and safety-related requirements concerning its products, and any use of TI components in its applications, notwithstanding any applications-related information or support that may be provided by TI. Buyer represents and agrees that it has all the necessary expertise to create and implement safeguards which anticipate dangerous consequences of failures, monitor failures and their consequences, lessen the likelihood of failures that might cause harm and take appropriate remedial actions. Buyer will fully indemnify TI and its representatives against any damages arising out of the use of any TI components in safety-critical applications.

In some cases, TI components may be promoted specifically to facilitate safety-related applications. With such components, TI's goal is to help enable customers to design and create their own end-product solutions that meet applicable functional safety standards and requirements. Nonetheless, such components are subject to these terms.

No TI components are authorized for use in FDA Class III (or similar life-critical medical equipment) unless authorized officers of the parties have executed a special agreement specifically governing such use.

Only those TI components which TI has specifically designated as military grade or "enhanced plastic" are designed and intended for use in military/aerospace applications or environments. Buyer acknowledges and agrees that any military or aerospace use of TI components which have **not** been so designated is solely at the Buyer's risk, and that Buyer is solely responsible for compliance with all legal and regulatory requirements in connection with such use.

TI has specifically designated certain components as meeting ISO/TS16949 requirements, mainly for automotive use. In any case of use of non-designated products, TI will not be responsible for any failure to meet ISO/TS16949.

Products

Audio	www.ti.com/audio
Amplifiers	amplifier.ti.com
Data Converters	dataconverter.ti.com
DLP® Products	www.dlp.com
DSP	dsp.ti.com
Clocks and Timers	www.ti.com/clocks
Interface	interface.ti.com
Logic	logic.ti.com
Power Mgmt	power.ti.com
Microcontrollers	microcontroller.ti.com
RFID	www.ti-rfid.com
OMAP Applications Processors	www.ti.com/omap
Wireless Connectivity	www.ti.com/wirelessconnectivity

Applications

Automotive and Transportation	www.ti.com/automotive
Communications and Telecom	www.ti.com/communications
Computers and Peripherals	www.ti.com/computers
Consumer Electronics	www.ti.com/consumer-apps
Energy and Lighting	www.ti.com/energy
Industrial	www.ti.com/industrial
Medical	www.ti.com/medical
Security	www.ti.com/security
Space, Avionics and Defense	www.ti.com/space-avionics-defense
Video and Imaging	www.ti.com/video

TI E2E Community

e2e.ti.com

Résumé

Pour minimiser les défauts de fausse alarme qui sont dû à l'utilisation des anciens détecteurs acoustiques basés généralement sur la technique de corrélation des signaux. Nous avons réalisé au niveau du laboratoire d'électronique, un nouveau détecteur de fuites en utilisant des capteurs de pression très sensible. A cet effet, nous avons appliqué la technique d'ondelette pour le débruitage de nos signaux et la STFT (Short term Fourier transformation) pour l'analyse des signaux non stationnaires et non linéaire provenant des fuites au niveau des conduites des réseaux de distribution d'eau. Des tests de validation ont prouvé l'efficacité de notre détecteur.

Mots clés : Fuite d'eau, FFT, Ondelette, STFT.

Abstract

To minimize false alarm defects which are due to the use of old acoustic detectors based generally on the signal correlation technique. We have developed a new leak detector at the electronics laboratory using very sensitive pressure sensors. For this purpose, we applied the wavelet technique for the denoising of our signals and the STFT (Short Time Fourier Transform) for the analysis of the non-stationary and non-linear signals coming from the leaks in the pipes of the distribution networks. 'water. Validation tests proved the effectiveness of our detector.

Key words: leak water, FFT, wavelet, STFT.

ملخص

لتقليل عيوب الإنذار الكاذب التي هي نتيجة لاستخدام أجهزة الكشف الصوتية القديمة المستندة عموماً على تقنية الإشارات. أنجزنا على مستوى مخبر الإلكترونيك جهاز جديد كاشف للتسرب يعتمد على الضغط. لهذا قمنا بتطبيق تقنية الموجات لإزالة الضوضاء من الإشارات و STFT لتحليل الإشارات غير ثابتة و غير خطية الناتجة عن التسرب على مستوى الأنابيب في شبكات توزيع المياه. وقد أثبتت التجارب فعالية جهازنا المنجز.

كلمات مفتاحية: تسرب المياه, FFT, الموجات, STFT.