



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique Et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
جامعة العربي التبسي - تيسة
Université Larbi Tebessi - Tébessa
معهد المناجم
Institut des Mines
قسم الإلكتروميكانيك
Département Electromécanique



MEMOIRE

Présenté en vue de l'obtention d'un diplôme de Master

Filière : Electromécanique

Option : Electromécanique

Diagnostic et analyse des procédés industriel de Contrôle Non Destructif

Par :

NACER ROUMAÏSSA et KADRI SARA

Devant le jury :

FARES NOUR EDDINE	MAA	Président	Université Larbi Tebessi Tébessa
SOUDANI MED SALAH	MAA	Encadreur	Université Larbi Tebessi Tébessa
DOUADI RABEH	MAA	Examineur	Université Larbi Tebessi Tébessa

Promotion 2020-2021

REMERCIEMENTS

Nous remercions en premier lieu ALLAH le tout puissant de nous avoir accordé la volonté et le courage pour terminer ce modeste travail.

Il nous est agréable d'exprimer nos profondes reconnaissances ainsi que nous sincère gratitude à tous ceux qui nous ont encouragé et qui ont contribué directement ou

Indirectement à l'élaboration de ce modeste travail et particulièrement à :

Notre promoteur SOUDANI MED SALAH Pour sa disponibilité et ses précieux conseils répétés, d'être très serviable avec nous, et pour toute l'aide rapportée durant les étapes de réalisation de ce travail.

Nous tenons à remercier la président et les membres du jury de nous avoir fait l'honneur

D'évaluer notre travail

*L'ensemble des enseignants de L'UNIVERSITE
CHIKH LARBI TEBBESI.*

A tous les enseignants qui nous ont enseigné durant toutes les étapes scolaires de notre vie,

A tous les ingénieurs de ELHAJAR unité TSS

UN GRAND MERCI.

Dédicaces

*J'ai toujours voulu offrir quelque chose à
mes parents en guise de reconnaissance
pour avoir faits de moi la femme que je
suis aujourd'hui, Et voilà, l'occasion est
venue ;*

*A mes parents qui m'ont donné la vie,
symbole de fierté, de sagesse et de
patience,*

*A mes parents qui sont la source de mon
inspiration et de mon courage,*

*A qui je dois de l'amour et la
reconnaissance.*

*A mon frère TOUHA et ma sœur
HANAN*

A mes très chers frères et sœurs

*A toutes l'équipe du notre
classe*

Sara

Dédicaces

*J'ai toujours voulu offrir quelque chose à
mes parents en guise de reconnaissance
pour avoir faits de moi la femme que je
suis aujourd'hui, Et voilà, l'occasion est
venue ;*

*A mes parents qui m'ont donné la vie,
symbole de fierté, de sagesse et de
patience,*

*A mes parents qui sont la source de mon
inspiration et de mon courage,*

*A qui je dois de l'amour et la
reconnaissance.*

*A ma famille AICHA et AMIR et SALIM
ABDENOUR et ma sœur ZAINEB*

*A mes très chers frères et sœurs
ET ma grande mère AICHA ALLAH
YARHMHA*

*A toutes l'équipe du notre
classe*

Sommaire

Liste de tableaux

Table de figures

Résumé

Introduction générale.....1,2

CHAPITRE 1 : Généralités sur le contrôle non destructif

I-1 Introduction.....3

I-2 Domaine d'application3

I-3 But du contrôle non destructif.....3

I-4 Principe de la détection d'un défaut.....4

I-5 les différentes méthodes du contrôle non destructif.....5

I-5-1 Examen visuel.....5

I-5-2 Principe de contrôle6

I-5-3 Mise en œuvre du control6

I-6 Control par ressuage7

I-6-1 Principe du contrôle.....8

I-6-2 Méthode de contrôle.....9

I-6-3 Procédure de contrôle.....9

I-7 Contrôle par magnétoscopie.....10

I-7-1 Principe de contrôle10

I-7-2 Méthode contrôle (méthode de magnétisation).....11

I-7-3 Défauts détectables.....11

I-8 contrôle par rayons ionisants (Radiographie)12

I-8-1 Principe de contrôle.....12

I-9 Emission acoustique.....13

I-10 Thermographie.....14

I-11 courant de Foucault15

I-11-1 Principe du contrôle.....16

I-12 Ultrasons16

I-13 Conclusion17

Chapitre II : Contrôle non destructif par ultrasons

II-1 Introduction	18
II-2 Nature des ultrasons	18
II-2-1 Différent types d'ondes.....	19
II-2-2 Production des ultrasons de fréquence élevés.....	20
II-3-1 Propriétés des ultrasons	21
II-3-2 L'onde ultrasonore	21
II-3-2-1 Définition d'onde.....	21
II-3-2-2 Onde plane et onde sphérique.....	21
II-3-2-3 Caractéristiques de mouvements d'une particule.....	22
II-3-2-4 Longueur d'onde	23
II-3-2-5 Atténuation.....	23
II-3-3 Phénomène de propagation	24
II-3-3-1 Mode de propagation	24
II-3-4 La pression et l'impédance acoustique.....	25
II-3-4 -1 impédance acoustique.....	25
II-3-4-2 la pression acoustique	25
II-3-5 Transmission entre milieux.....	26
II-3-6 Description du faisceau ultrasonore.....	28
II-4 Le contrôle par ultrasons.....	28
II-4-1 Principe de contrôle	29
II-4-2 Détection du faisceau	29
II-4-3 Emission et réception des ultrasons.....	31
II-4-4 Les palpeurs.....	31
II-4-5 -1 Palpeur EMA.....	31
II-4-5-2 Palpeur laser	32
II-4-5-3 Palpeur d'angle.....	32
II-4-6 Méthode de contrôle.....	32
II-4-6-1 Méthode par réflexion ou par écho.....	32
II-4-6-2 Méthode par transmission.....	33

II-4-6-3 Méthode par émerision.....	33
II-4-7-1 le niveau d'examen.....	33
II-4-7-2 vérification des appareillages	33
II-4-7-2 -1 Le matériel de contrôle.....	34
II-4-7-2-2 Appareil ultrasonore.....	34
II-4-7-2-3 Le transducteur.....	34
II-4-8-1 Milieu de couplage	35
II-4-8-2 Etalonnage.....	35
II-4-8-3 Vérification des appareillages	36
II-4-9 Évaluations	36
II-5 Les avantages et les inconvénients du contrôle non destructif par ultrasons.....	36
II-6 Conclusion	37
 III- CHAPITRE 3 : Etude et modélisation du signal des contrôles non destructifs par ultrasons	
Introduction.....	38
III-1 traitement de signal.....	38
III-1-1 Définition de traitement des signaux.....	38
III-1-1-2 Le Signal.....	38
III-1-1-3 Bruit	38
III-1-1-4 Rapport signal sur bruit	38
III-1-1-5 Système	38
III-1-2 Classification des signaux	39
III-1-2-1 Classification phénoménologique	39
III-1-2-2 Classification énergétique	39
III-1-2-3 Classification morphologique.....	39
III-1-2-4 Signaux particuliers	40
4-1 Fonction signe.....	40
4-2 Fonction échelon.....	40
4-3 Fonction rectangulaire.....	40
4-4 Impulsion de Dirac	41

4-5 Peigne de Dirac.....	41
4-6 Fonction sinus cardinal.....	42
III-2 Domaines d'application.....	42
III-3 Principales fonctions du traitement de signal.....	42
III-5 Les différents signaux.....	43
III-5-1 Les signaux électriques	43
III-5-2 Les signaux lumineux	43
III-5-3 Les signaux sonores	43
III-5-4 Les signaux olfactifs.....	43
III-6 Représentation des signaux.....	43
III-6-1 Représentation temporelle.....	43
III-6-2 Représentation fréquentielle.....	44
III-7 Type de signaux.....	44
III-7-1 Signaux analogiques.....	44
III-7-2 Signal logique.....	45
III-7-3 Signal numérique.....	45
III-9 Rappel sur le développement en série de Fourier.....	46
III-10 Premier approche de la transformer de Fourier.....	47
III-11 Définition de filtrage.....	48
III-12 Filtrage analogique.....	48
III-12-1 Dirac.....	48
III -12-3 Réponse impulsionnelle.....	49
III-12-4 Causalité, stabilité.....	49
III-12-4-1 causalité.....	49
III-12-4-2 stabilité.....	49
III-12-5 Gain complexe, fonction de transfert.....	49
III-12-5-1 Gain complexe.....	49
III-12-5-2 Fonction de transfert, stabilité.....	50

III-13 Filtrage numérique.....	50
III-13-1 Transformée en z et fonction de transfert.....	51
III-13-2 Causalité, stabilité.....	51
III-14 Filtres Linéaires.....	51
III-14-1 Théorie des systèmes linéaires invariants dans le temps ou filtres... 	51
III-14-2 Les principaux types de filtres (idéaux).....	52
III-15 Simulation d'un test par CND.....	52
III-15-1 Méthode acoustique.....	53
III-15-2 Émission acoustique.....	53
III-15-3 Technique d'impact acoustique.....	53
III-15-4 Interprétation des résultats.....	59
III-16 Conclusion.....	60

Table des Figures

Chapitre I : Généralités sur le contrôle non destructif

Figure I.01 : Principe du CND.....	4
Figure I.02 : Contrôle visuel d'un agent.....	5
Figure I.03 : Contrôle visuel.....	6
Figure I.04 : Eclairage directif et observation dans direction proche de la réflexion spéculaire.....	7
Figure I.05 : Les étapes de contrôle par ressuage.....	8
Figure I.06 : Radiographie.....	13
Figure I.07 : Principe du contrôle par émission acoustique.....	14
Figure I.08 : Principe du contrôle par thermographie.....	15
Figure I.09 : Contrôle non destructif par courant de Foucauld.....	16
Figure I.10 : Principe de contrôle par ultrason.....	17

Chapitre II : : le contrôle par ultrasons

Figure II.01 : La gamme de fréquences des ultrasons.....	18
Figure II.02 : Onde longitudinale.....	19
Figure II.03 : Onde transversale.....	20
Figure II.04 : Défient onde ultrasonore.....	20
Figure II.05 : Onde plane et onde sphérique.....	22
Figure II.06 : Caractéristiques de mouvement d'une particule.....	22
Figure II.07 : oscillation des particule et Direction de propagation.....	24
Figure II.08 : Oscillation des particule et direction de propagation.....	24
Figure II.09 Illustration de la pression acoustique.....	26
Figure II.10 : Emission de l'onde.....	28
Figure II.11 : pièce sans défaut.....	29
Figure II.12 Appareil à ultrasons.....	34
Figure II.13 : Types de traducteur.....	35

Chapitre III : Étude et analyse spectrale d'une auscultation CND sous MATLAB

Figure III.01: Système.....	38
Figure III.02 : les signaux à variable continue et des signaux à variable discrète.....	39
Figure III.03 : Signal sonore de plusieurs secondes.....	44
Figure III.04 : Axe horizontal : temps - Axe vertical : signal.....	44
Figure III.05 : Exemple de représentation de signal électrique.....	44
Figure III.06 : Spectre de fréquence d'un signal périodique.....	47
Figure III.07 : système linéaires.....	51
Figure III.08 : Génération et filtrage du signal ultrasonore simulé.....	54
Figure III.09 : La forme du signal ultrasonore issu d'un test CND.....	54
Figure III.10 : Signal émis par le palpeur.....	55
Figure III.11 : Signal reflété par le défaut.....	55
Figure III.12 : Signal d'écho.....	56
Figure III.13 : Bloc d'analyse spectrale du signal issu palpeur ultrasonore.....	56
Figure III.14 : Analyse fréquentielle du signal émis dans le domaine continu.....	57
Figure III.15 : Analyse fréquentielle du signal défaut dans le domaine continu.....	57
Figure III.17 : Analyse fréquentielle du signal écho dans le domaine continu.....	58
Figure III.16 :Analyse fréquentielle du signal défaut dans le domaine continu.....	58
Figure III.18 : Analyse fréquentielle du signal écho dans le domaine continu.....	59

Liste des tableaux

Chapitre II : Control non destructif par les ultrasons

Tableau II 01 : types d'onde.....19

Tableau II 02 : Vitesses et impédance acous.....27

Chapitre III : Étude et analyse spectrale d'une auscultation CND sous MATLAB

Tableau III 03: Exemple d'octet.....45

Introduction

Général

Depuis les démineurs durant et après les guerres, jusqu'à l'identification des caractéristiques géométriques et physiques d'une pièce et son inspection (pendant sa mise en œuvre et au cours de son utilisation), les moyens de mesure et de contrôle suivent toutes les découvertes des lois physiques et les technologies apparentées. Les anciennes méthodes de mesure et de détection des défauts sont basées sur un prélèvement statistique ou la mise d'un échantillon sous des essais destructifs. Les techniques modernes permettent l'extraction des informations dans une structure sans porter atteinte à son intégrité. On les appelle Contrôle Non Destructif « CND ». [01]

Les méthodes de CND sont utilisées soit pour évaluer des grandeurs caractéristiques du produit (épaisseur, conductivité . . .), soit pour déceler la présence de défauts et les caractériser. Parmi les méthodes les plus utilisées, on peut citer les ultrasons, les méthodes utilisant des rayonnements ionisants (radioscopie) et les méthodes électromagnétiques (magnétoscopie, courants de Foucault . . .). Le choix d'une méthode dépend d'un grand nombre de facteurs tels que la nature des matériaux constituant les pièces à contrôler, la nature de l'information recherchée (défaut débouchant ou enfoui . . .), les conditions de mise en œuvre. [01]

La plus courante consiste à émettre des ondes ultrasonores et à détecter celles qui sont réfléchies ou diffractées par d'éventuels défauts.

Le contrôle par ultrasons de certains matériaux peut être gêné par des phénomènes de diffusion. C'est le cas notamment pour des aciers et pour des alliages de titane présents respectivement dans des éléments de centrales nucléaires et dans des moteurs d'avions. Les ondes ultrasonores ne se propagent pas dans ces métaux comme elles se propageraient dans des milieux homogènes. Des interactions entre la microstructure de ces matériaux et les ondes ultrasonores font qu'une partie de l'énergie des ondes est redirigée dans toutes les directions au cours de leur propagation. Une partie de l'énergie ainsi diffusée atteint le récepteur, ce qui est à l'origine de l'enregistrement d'un signal appelé bruit de structure. De plus, comme l'onde perd de l'énergie au cours de sa propagation, les échos des défauts sont affaiblis. La diffusion a donc un impact sur les performances de contrôle.

Plusieurs industriels sont demandeurs d'outils de simulation fiables permettant de prendre en compte les phénomènes de diffusion. La simulation est beaucoup utilisée en CND car elle aide à développer des méthodes de contrôle et à interpréter des mesures. Elle remplace avantageusement des études expérimentales longues et coûteuses dans de nombreux cas.

Dans ce travail modeste on essaie d'étudier le CND par ultrasons dans le but de reconnaître au moins quelque type de défauts et pour cela on a divisé ce mémoire en trois chapitres :

Chapitre I : Le premier chapitre présente des généralités sur le CND. Les principales méthodes de CND sont rappelées.

Chapitre II : Dans ce chapitre nous avons présenté les études théoriques du contrôle par les ultrasons et les bases théoriques des ondes ultrasonores. On a aussi mentionné la théorie sur la réflexion et la transmission des ondes, ainsi que les avantages et inconvénients de ce procédé.

Chapitre III : représente la modélisation du procédé CND par ultrason où on va simuler un signal d'auscultation par ultrason puis on va faire une étude spectrale afin d'extraire des informations utiles qui va nous permettre de reconnaître les défauts.

Chapitre : I

I-1 Introduction

Le Contrôle Non Destructif (C.N.D) est un ensemble de méthodes qui permettent de caractériser l'état d'intégrité de structures ou de matériaux, sans les dégrader, soit au cours de la production, soit en cours d'utilisation, soit dans le cadre de maintenances. On parle aussi d'Essais Non Destructifs (END) ou d'Examens Non Destructifs [02].

I-2 Domaine d'application

Les méthodes du CND sont très utilisées dans :

- L'industrie automobile (contrôle des blocs moteurs), spatiale et l'armée,
- L'industrie pétrolière (pipelines, tubes, barres, soudures, réservoirs),
- L'industrie navale (contrôle des coques),
- L'industrie de l'énergie (réacteurs, chaudières, tuyauterie, turbines, ...),
- L'aéronautique (poutres, ailes d'avion, nombreuses pièces moteurs, trains d'atterrissage.),
- Le ferroviaire en fabrication et en maintenance notamment pour les organes de sécurité (Essieux, roues, bogies),
- L'inspection alimentaire...

Et en règle générale dans tous les secteurs produisant :

- Des pièces à coût de production élevé en quantité faible (nucléaire, pétrochimique...),
- Des pièces dont la fiabilité de fonctionnement est critique (nucléaire, canalisation de gaz...) [06].

I-3 But du contrôle non destructif

- Voir ce qui n'est pas visible à l'œil nu.
- Permettre à la fabrication, d'améliorer la qualité des tubes. Et de trouver les procédés corrects de production,
- D'éviter le gaspillage de matériaux et diminuer les rebuts,
- D'éviter les accidents les pertes humaines et matérielles [06].

I-4 Principe de la détection d'un défaut

Le principe de la détection d'un défaut consiste à exciter celui-ci et à recueillir sa réponse. Schématiquement, on peut généralement distinguer les étapes suivantes, quelle que soit la méthode employée :

- ✓ Mise en œuvre d'un processus physique énergétique ;
- ✓ Modulation ou altération de ce processus par les défauts ;
- ✓ Détection de ces modifications par un capteur approprié ;
- ✓ Traitement des signaux et interprétation de l'information délivrée.

Différents types d'énergie sont employés en pratique : énergie mécanique (ultrasons, ressuage), électromagnétique (radioscopie, observation dans le visible, flux magnétique...).

On peut schématiquement distinguer deux groupes de méthodes de détection :

- Les méthodes de flux, avec une excitation et une détection de même nature et pour lesquelles le défaut introduit une perturbation de flux qui peut être relevée soit directement dans le flux transmis (radiographie) ou le flux rediffusé (ultrasons), soit par un effet de proximité (bobine de sonde à courants de Foucault, flux de fuite magnétique) comme illustré sur figure I-01 ; la grande majorité des procédés du contrôle non destructif se réfère à ce groupe de méthodes ;

E émetteur du flux ϕ_0 émis vers la pièce
Pa tester

ϕ_r flux réfléchi

ϕ_t flux transmis

ϕ_r ou ϕ_t sont les vecteurs de l'information

Utilisés par le contrôleur

D défaut

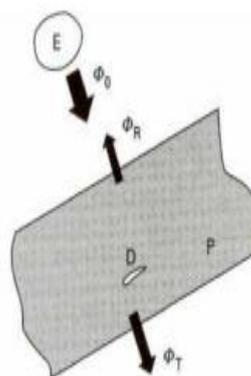


Figure I-01 : Principe du CND. [03]

- Les méthodes pour lesquelles l'excitation et la détection sont de natures différentes, chacune mettant en jeu un processus original et spécifique ; l'excitation la plus employée est la sollicitation mécanique ; elle conduit aux techniques d'analyse de vibrations mécaniques ou

de microdéformations (interférométrie holographique) ou encore à une technique d'émission provoquée dont la plus connue est l'émission acoustique [03].

I-5 Les différentes méthodes du CND

I-5-1 Examen visuel

Le contrôle visuel est une technique essentielle qui donne un aperçu de l'état extérieur d'une pièce. Il est destiné à déceler les défauts tels que les fissures, les inclusions, et le manque de pénétration dans la soudure. Il implique l'utilisation de gabarits et de calibres. Pour le cas de la soudure on utilise des loupes, des caméras vidéo, des calibres et des règles graduées [06].



Figure I.02 : Contrôle visuel d'un agent.[14]

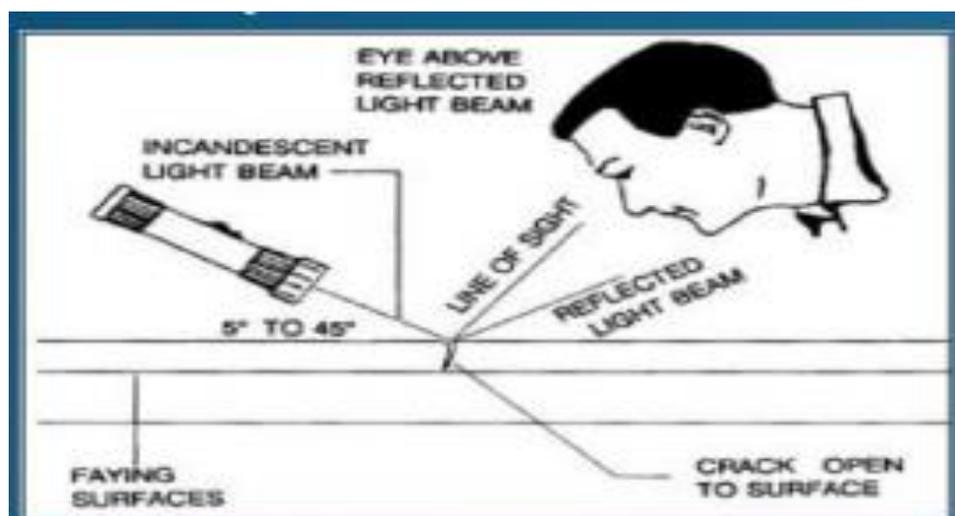


Figure I.03 : Contrôle visuel. [03]

I-5-2 Principe du contrôle

Ce type de contrôle non destructif se met en œuvre avant toute autre technique CND. Son mode opératoire est établi en référence à la norme de principe général de la méthode: NF EN 13018/A1.

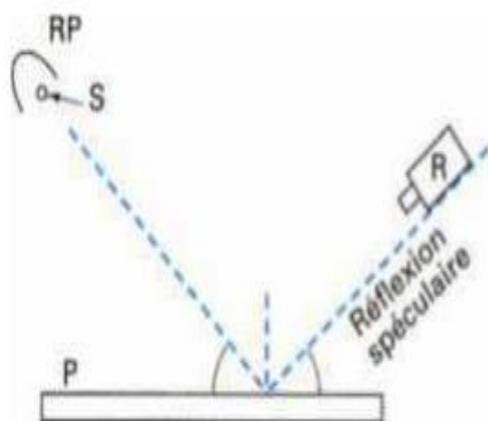
Cette technique de contrôle est effectuée à l'œil nu et permet de détecter toute anomalie de surface. Elle peut être classée dans la famille des contrôles CND. Toutefois, ce contrôle est le seul qui ne fasse pas appel à une technique particulière. Il est basé sur l'observation: il convient donc de définir des conditions d'observations et de les optimiser [06].

I-5-3 Mise en œuvre du contrôle

✓ Eclairage

Dans tous les cas d'observation d'un objet, les conditions d'éclairage sont essentielles pour la fiabilité du contrôle optique. Il s'agit d'abord de se placer dans ces conditions énergétiques, luminosité et longueur d'onde permettant à l'œil de travailler avec la meilleure acuité ; ainsi un éclairage de plus de 300 lux en lumière vert-jaune à 0,55 μm est optimal. Il s'agit ensuite d'adapter le type et l'orientation de l'éclairage à la nature des défauts en vue d'améliorer le contraste [02].

L'éclairage diffus, fourni par exemple par un ensemble de sources lumineuses placées derrière un écran dépoli, est utilisé dans la recherche de défauts variés, sans orientation définie [02].



P : pièce à examiner ;
 R : récepteur ;
 RP : réflecteur parabolique ;
 S : source d'éclairage.

Figure I.04 Éclairage directif et observation dans une direction proche de la réflexion spéculaire. [03]

✓ L'œil et ses limitations

L'œil est un capteur optique certes remarquable à bien des points de vue mais possédant toutefois des limitations dont il faut tenir compte en contrôle non destructif [02].

I-6 Contrôle par ressuage

Le contrôle par ressuage est limité à la détection de défauts débouchant à la surface des pièces. Il consiste à révéler le défaut à l'aide d'un liquide pénétrant et d'un révélateur. Son efficacité est fonction de la taille du défaut recherché. Plus celui-ci est fin plus la détection est difficile [02].

I-6-1 Principe du contrôle

Le ressuage comprend trois phases illustrées sur la « figure I.05 » : Application du pénétrant suivie d'un temps d'imprégnation, élimination de l'excès du pénétrant sur la surface de la pièce, ressuage du pénétrant par disposition d'une couche de « Révélateur » sur la surface. À la suite de quoi, l'image des défauts apparaîtra à l'observateur dans la mesure où l'étalement du pénétrant sur le révélateur conduit à une nette variation de couleur ou de luminance [02].

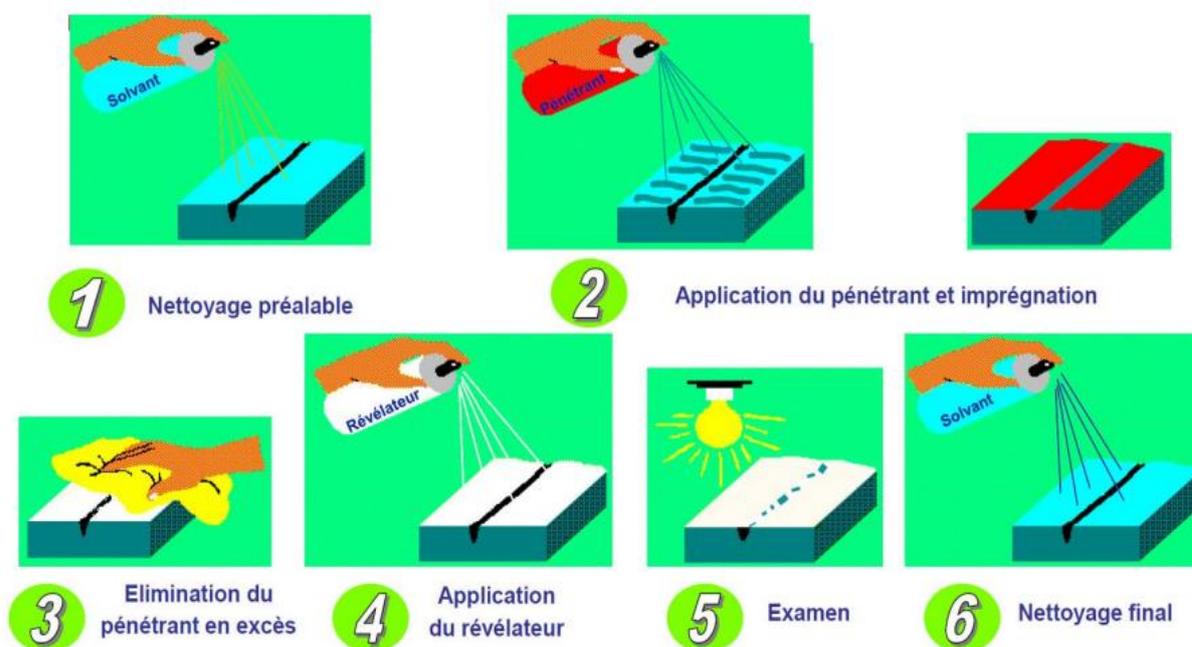


Figure I.05 : Les étapes de contrôle par ressuage. [14]

I-6-2 Méthode de contrôle

- ✓ Le dégraissage : par solvants chlorés en phase vapeur, par alcalins ou encore au jet d'eau chaude, s'effectue dans des installations adaptées et est complété, si nécessaire, par une opération de séchage.
- ✓ La déposition du pénétrant : peut se faire par trois techniques correspondant bien
- ✓ Entendu à du matériel différent : immersion dans une cuve adaptée à la taille des pièces ou des paniers de pièces, installation de pulvérisation électrostatique (technique très intéressante en particulier pour l'économie de produit qu'elle entraîne), installation de pulvérisation conventionnelle. L'élimination de l'excès de pénétrant : correspondant à un rinçage, qui peut se faire en cuve avec agitation d'eau par air comprimé, en cuve avec pulvérisation par rangées de buses ou en pulvérisation par pistolet air-eau ; on adjoint à l'équipement de rinçage une lampe à ultraviolets de façon à pouvoir contrôler l'efficacité de l'opération.
- ✓ Le séchage intermédiaire : s'effectue en étuve à circulation d'air réglée entre 65°C et 80 ° C.
- ✓ L'application du révélateur : se fait dans une enceinte appropriée lorsqu'il s'agit d'un révélateur sec se présentant sous forme d'une poudre qu'il faut agiter, ou dans une cuve chauffée lorsqu'il s'agit d'un révélateur en suspension aqueuse.
- ✓ Le poste d'inspection visuelle : doit être conçu pour répondre aux meilleures

Conditions d'observation en lumière blanche ou en fluorescence UV.

Dans le Premier cas, il faut réunir deux facteurs : « un contraste maximum et un éclairage correct », les normes indiquant un minimum de 350 lux pour ce paramètre qui devra être vérifié avec un luxmètre.

Pour l'examen sous rayonnement ultraviolet, le poste d'inspection doit être isolé de la lumière blanche ; il doit être très propre et exempt de surfaces réfléchissantes, moyennant quoi l'œil sera attiré par les petites sources de fluorescence pour lesquelles on choisit d'ailleurs la zone spectrale la plus appropriée, le jaune vert à 555 nm. Le rayonnement UV d'excitation se situe vers 365 nm, raie intense de la décharge dans la vapeur de mercure.

L'intensité des tubes luminescents UV à basse pression est insuffisante pour fournir la densité énergétique requise de 8 W/m² minimum (15 W/m² souhaitable) à la surface de la pièce. Il faut donc utiliser un projecteur à vapeur de mercure à haute intensité, muni d'un filtre incorporé à la source pour arrêter les UV courts et la lumière visible [02].

I-6-3 Procédure de contrôle

La mise au point d'un contrôle par ressuage réclame la détermination précise:

- ✓ Des conditions de préparation de la pièce,
- ✓ De la nature des produits de ressuage,
- ✓ Des conditions d'application du pénétrant,
- ✓ Des conditions de nettoyage,
- ✓ Des conditions d'application du révélateur,
- ✓ Des conditions d'examen.

Pour chaque contrôle, il existe un cahier des charges ou une norme à respecter. Pour ce on peut se reporter aux normes NF A 09-120, NF A 09-122, NF A 09-123, NF A 09-130[02].

I-7 Contrôle par magnétoscopie

C'est une méthode applicable seulement aux matériaux magnétiques pour la détection des défauts débouchant en surface ou proche à la surface. À l'instar du ressuage, la magnétoscopie complète l'examen visuel. On a recours à la magnétoscopie lorsque le ressuage est insuffisant (les imperfections de surface restent peu visibles malgré tout le soin apporté). La pièce est aimantée localement ou totalement à une valeur proche de la saturation magnétique.

En l'absence de défaut, les fuites dans l'air sont insignifiantes (la perméabilité du matériau étant beaucoup plus grande que celle de l'air). Toute discontinuité du matériau provoquera une diminution de la section de passage et donc une augmentation du champ d'induction magnétique (conservation du flux). Cette augmentation provoquera une fuite magnétique à la surface de la pièce. Des particules ferromagnétiques contenues dans un révélateur s'accumulent au droit du défaut. On observe le spectre résultant sous un éclairage adapté [06].

I-7-1 Principe de contrôle

La théorie des circuits magnétiques indique que la présence d'un entrefer correspond à un fort accroissement local de la réluctance du circuit et donc de la différence de potentiel magnétique (d.p.m.), constituant ainsi un obstacle au flux magnétique dont les lignes de force doivent alors s'épanouir latéralement selon un flux de fuite comme l'indique. Cet effet de dispersion des lignes de flux s'exerce même pour un entrefer minime, dans la mesure où le rapport des réluctances entre l'entrefer et le circuit est inversement proportionnel à la perméabilité relative de celui-ci, Cet effet de dispersion d'un flux magnétique hors d'une pièce ferromagnétique, au droit d'une fissure débouchant ou sous-cutanée (ou toute autre hétérogénéité non ferromagnétique se comportant comme un entrefer), est à la base d'une gamme de procédés magnétiques de détection des défauts de surface dans les aciers dont le plus connu et le plus employé est la magnétoscopie[03].

I-7-2 Méthode de contrôle (Méthode de magnétisation)

La nature et l'orientation générale du champ magnétique vont dépendre de celles du courant électrique utilisé pour le produire soit par magnétisation directe à l'aide d'un électroaimant, soit par le passage du courant lui-même dans la pièce à contrôler (délivrant un champ circulaire). Un courant continu produira un champ magnétique continu favorable à la détection des défauts sous-cutanés.

En pratique, on cherche à utiliser des générateurs économiques, et cela conduit à l'emploi de courants alternatifs redressés sur une ou deux alternances. L'utilisation d'un courant, donc d'un champ magnétique alternatif, est fréquente ; dans ce cas, la présence d'un effet de peau renforce le champ magnétique à la surface de la pièce et accroît, toutes choses égales par ailleurs, le pouvoir de détection des très fines fissures débouchantes. En magnétoscopie, on utilise la fréquence industrielle de 50 Hz, alors que certains procédés de flux de fuite utilisent des fréquences nettement plus élevées, de quelques milliers de hertz [06].

I-7-3 Défauts détectables

Les défauts détectables sont ceux qui introduisent suffisamment de perturbation dans le champ magnétique. Pour cela il faut prendre en compte.

- La géométrie du défaut les défauts doivent introduire une variation de section de passage suffisante.
- Sa position dans la pièce le défaut doit être proche de la surface. Plus il sera proche de la surface, plus l'indication donnée par le révélateur sera nette.
- Son orientation par rapport au champ magnétique seules les anomalies orientées presque perpendiculairement (Au moins 45° et plus efficacement au-dessus de 60°) aux flux seront décelables [02].

I-7-4 Produits révélateurs

Les caractéristiques de base de ces produits sont :

- Ils doivent être suffisamment fins et légers pour ne pas nécessiter de grandes forces d'attraction.
- Ils doivent être suffisamment mobiles pour circuler sur toute la pièce.

Pour améliorer la visibilité, la poudre et la pièce pourront être colorées de façon à obtenir

Un contraste maximum suffisant. Des poudres à base de produits fluorescents sont utilisées

Pour un examen en "lumière noire".

On distingue :

- La voie sèche

La poudre est appliquée au cours de la magnétisation par saupoudrage manuel ou mécanique ou soufflage. Après application on enlève l'excès de poudre par un léger soufflage.

- La voie humide

On utilise un porteur de poudre qui peut être un produit pétrolier ou de l'eau. Outre les propriétés de viscosité de ce liquide, la qualité du contrôle est conditionnée par la granulométrie

et la concentration de la poudre. La voie sèche permet des contrôles à des températures plus élevées et les indications apparaissent plus nettement tandis que la voie humide est d'usage plus facile et permet des images plus fines.

L'information donnée par l'image magnétique peut être conservée :

- Sous forme de clichés photographiques,
- Sous forme de prélèvements à l'aide de papiers [03].

I-7-5 Démagnétisation

Le magnétisme résiduel, conservé par les pièces, peut présenter des inconvénients pour les phases ultérieures d'élaboration (usinage, soudage...) ou pour l'utilisation (pièces mobiles, ...). Il convient dans ce cas de démagnétiser les pièces.

Le principe consiste à soumettre la pièce à un champ magnétique dont on diminue très progressivement l'intensité en inversant chaque fois son sens. On parcourt ainsi des cycles d'hystérésis de plus en plus petits. Cette opération peut se faire avec l'appareil de magnétisation ou dans un tunnel [03].

I-7-6 Procédure de contrôle

La mise au point d'un contrôle magnétoscopique réclame la détermination précise :

- Des conditions de préparation de la pièce ;
- Des conditions d'aimantation ;
- Des conditions d'application du révélateur ;
- Des conditions d'examen ;
- Des conditionnements des pièces après contrôle.

Pour chaque contrôle, il existe un cahier des charges ou une norme à respecter (normes NF A 09-125, NF A 04-121, NF A 09-130, NF A 09-170) [02].

I-8 Contrôle par rayons ionisants (Radiographie)

La radiographie est la technique de production de radiogramme. Le radiogramme est une image sur une émulsion sensible d'un objet traversé par un rayonnement ionisant. Le principe de la formation de l'image est en fonction de l'absorption des rayonnements aux différentes épaisseurs et densités du matériau à contrôler [04].

Donc pour un matériau donné (densité donnée) l'absorption sera d'autant plus forte que la matière à traverser sera épaisse. Tout défaut, tout manque, ou surplus de matière aura une action sur cette absorption [04].

I-8-1 Principe de contrôle

Une source d'émission de rayonnement est placée d'un côté de la pièce à contrôler et un film radiographique est mis de l'autre côté. Plusieurs paramètres vont intervenir dans la prise de clichés afin de pouvoir déterminer le temps d'exposition de la pièce aux rayonnements afin d'obtenir une image. La nature de l'ouvrage à contrôler ainsi que la norme ou code de référence vont imposer et fixer certains paramètres, tels que la classe de films à utiliser, les dimensions de la source de rayonnement, le flou géométrique, la densité du cliché, le contraste ...etc.

A partir de ces paramètres, le temps d'exposition est établi et la pièce est irradiée. Le film obtenu est développé et traité en chambre noire, une fois sèche ce cliché est lu sur un négatoscope et les résultats de cette interprétation sont consignés sur un rapport de contrôle. Toutefois, l'interprétation reste soumise aux recommandations du code ou la norme de référence qui définira l'acceptabilité ou le refus de la pièce à contrôler [04].

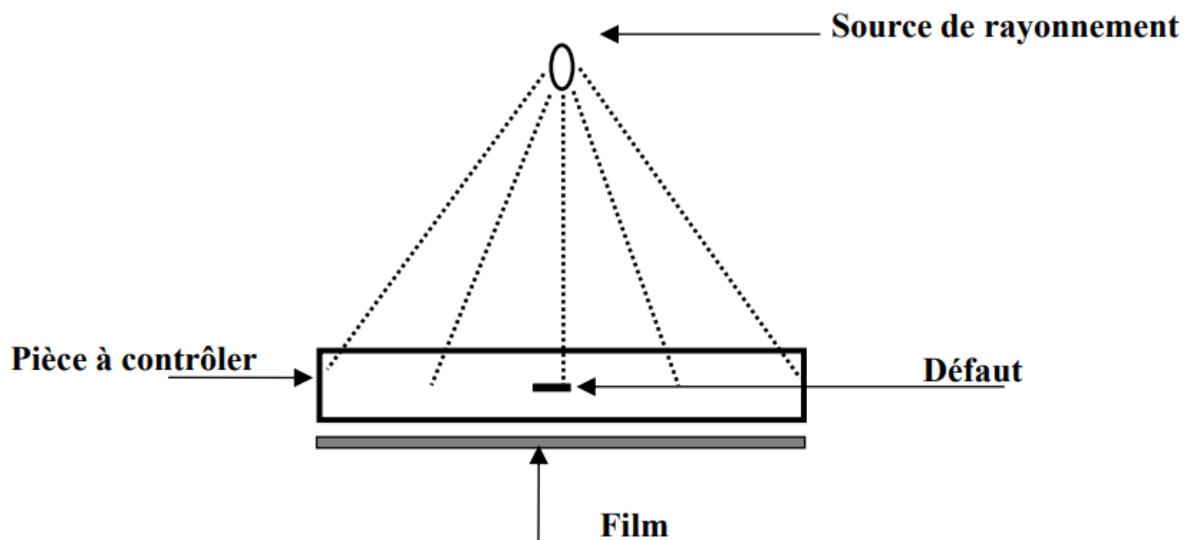


Figure I.06 Radiographie [04].

I-9 Emission acoustique

C'est une technique expérimentale permettant de détecter en temps réel l'amorçage ou la propagation d'un défaut dans un matériau sous sollicitation mécanique.

Selon AFNOR « le phénomène d'émission acoustique correspond à un phénomène de libération d'énergie élastique sous forme d'ondes élastiques transitoires au sein d'un matériau ayant des processus dynamiques de déformation » (Vocabulaire utilisé en émission acoustique).

Cette libération d'énergie sous forme acoustique sera détectée par des capteurs résonnants ou large bande disposés à la surface de la structure et permettent d'enregistrer le signal émis, comme montrer dans la Figure I-07 auparavant, le contrôle par EA était destiné aux structures en matériau conventionnel soumises à des contraintes mécaniques, telles que les réservoirs ou bien les canalisations pour détecter l'évolution des microfissures et anticiper d'éventuelles fuites de liquide ou une ruine de la structure.

L'utilisation des composites dans ces structures avec leurs caractères anisotropes complique l'identification des micro-défauts, sachant que ces derniers peuvent être différents (Ruptures de fibres, décohésion fibres/matrice, délaminages), d'où la nécessité d'associer d'autres techniques on trouve deux types d'émission :

- ✓ Emission discrète : lorsque chaque phénomène donne lieu à une salve discriminable du bruit de fond dans le temps ;
- ✓ Emission en continu : lorsque la superposition des événements donne lieu à un signal unique [04].

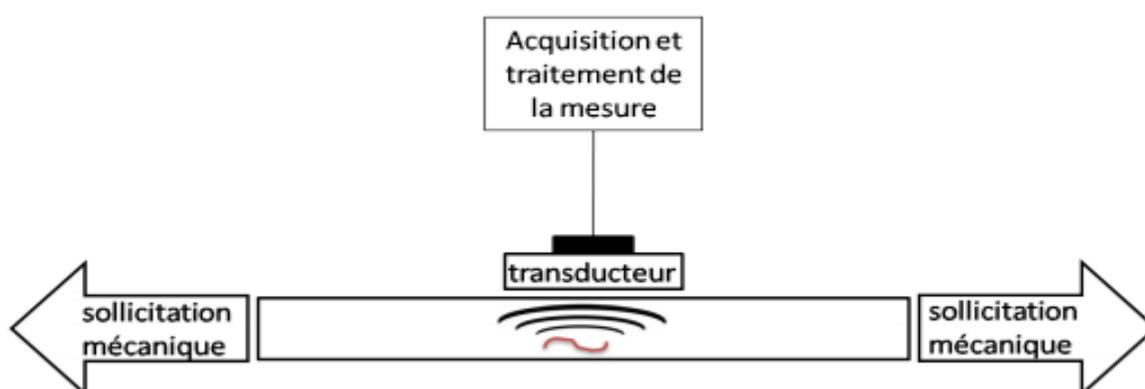


Figure I-07 Principe de contrôle par émission acoustique [04].

I-10 Thermographie

Cette méthode repose sur la mesure d'un flux thermique ou le rayonnement électromagnétique émis dans l'infrarouge de tous corps chauds. Cela se fait après l'application d'une source de

chaleur (faisceau laser, air chaud, . . .) sur la cible. Le rayonnement, émis sera lié à la distribution de la température, elle-même est fonction des propriétés thermiques et géométriques.

Tout défaut sera rendu visible par une caméra à infrarouge qui mesure ce rayonnement thermique (Figure I.08). Selon l'excitation thermique deux techniques peuvent se trouver :

- ✓ Thermographie pulsée : la source utilisée peut être des lampes flashes avec une durée d'impulsion de quelques microsecondes ou bien des lampes halogènes avec des impulsions de l'ordre du dixième de seconde. Les principaux défauts détectés par cette méthode sont les délaminages et les porosités sur des composites de faibles épaisseurs;
- ✓ La thermographie Lock-in : est basée sur la génération d'une onde thermique grâce à une excitation périodique (modulation sinusoïdale de l'excitation thermique). Elle permet la mesure de la phase de l'onde thermique qui est fonction de sa propagation. La fréquence de modulation étant inversement proportionnelle à la profondeur d'inspection du matériau, il est possible d'évaluer la profondeur d'un défaut [04].

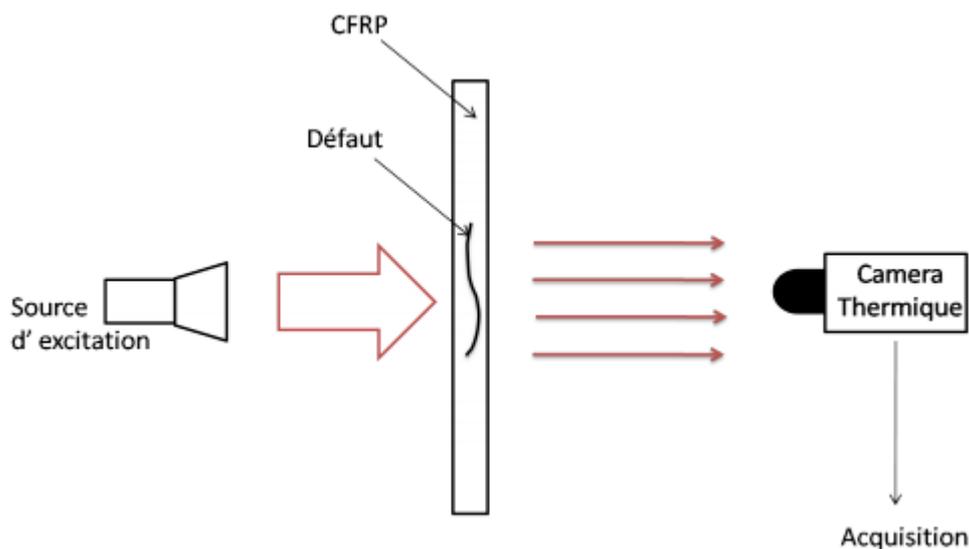


Figure I.08 Principe de contrôle par thermographie [04].

I-11 Courant de Foucault

I-11-1 Principe du contrôle

Les techniques de contrôle par courants de Foucault sont utilisées depuis 1926, Le principe du contrôle non destructif par courants de Foucault est basé sur les phénomènes de L'induction électromagnétique.

D'après la loi de Lenz, une variation de flux d'un champ magnétique (champ primaire) à travers un conducteur induit dans celui-ci une force électromotrice. Cette force électromotrice donne naissance à des courants induits appelés courants de Foucault. Ces courants créent un champ magnétique (champ secondaire) ; qui s'oppose à celui qui leur a donné naissance, comme illustré sur la figure (I-09).

La technique du contrôle non destructif par courants de Foucault consiste à produire un champ magnétique primaire variable et à mesurer le flux du champ magnétique secondaire produit par les courants induits. Le champ magnétique primaire est produit par un enroulement de fil, appelé « bobine excitatrice », parcouru par un courant variable dans le temps [02].

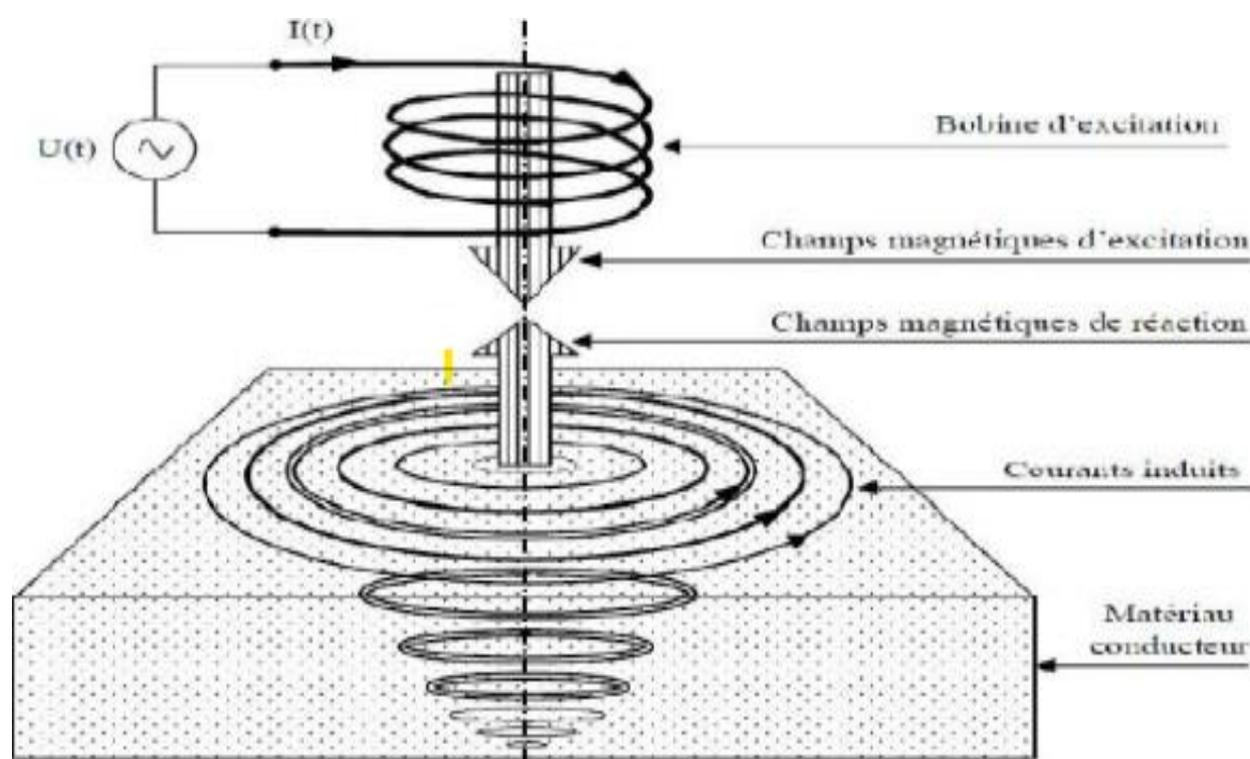


Figure I.09 : contrôle non destructif par courant de Foucault [02].

I-12 Ultrasons

Le contrôle ultrasonore est basé sur la propagation d'ondes ultrasonores dans un matériau. L'évaluation des défauts se fait par l'analyse des perturbations du signal provenant de la surface du défaut. La méthode la plus classique pour effectuer un contrôle ultrasonore est d'utiliser des transducteurs.

Deux types de configurations peuvent être utilisés :

- ✓ Cas du Mono-élément : deux techniques sont généralement utilisées : l'échographie ou la technique de transmission. Dans l'échographie, le transducteur émet et reçoit le signal ultrasonore, par contre dans la technique de transmission l'émission et la réception du signal se fait par des transducteurs distincts. Les types de défaut détectés par ces techniques sont : délaminages, porosités ou inclusions.
- ✓ Cas du Multiéléments phased array : le principe repose sur l'utilisation de transducteurs décomposés en éléments individuels pouvant être pilotés indépendamment. Ceci permet un balayage plus rapide par rapport au mono-élément. Ainsi la résolution se trouve augmentée et les zones non contrôlées sont réduites. Cette technique permet de détecter les délaminages, les fissures, les décohésions fibre/matrice, les manques de fibres, la corrosion et les dommages dus à un impact [06].

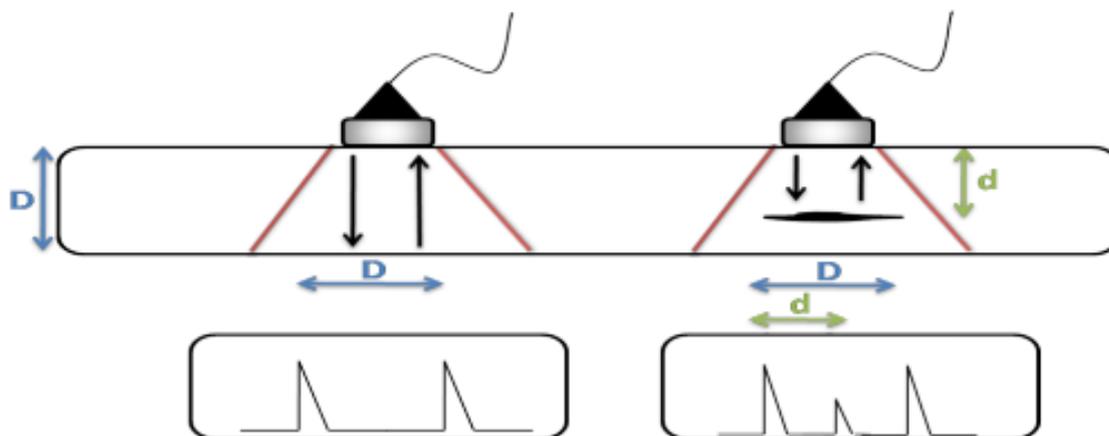


Figure I-10 : principe de contrôle par ultrason [14].

I-13 Conclusion

Dans ce chapitre on a présenté les principes de contrôle non destructif et ces huit méthodes de contrôle : Contrôle visuel, contrôle par ressuage, Contrôle par magnétoscopie, Contrôle par rayons ionisants (Radiographie) Emission acoustique, Courant de Foucault, Ultrasons...etc.

Chapitre : II

II-1 Introduction

L'ultrason est une onde mécanique et élastique, qui se propage au travers de supports Fluides, solides, gazeux ou liquides. La gamme de fréquences des ultrasons se situe Entre 16 KHZ et 160 MHZ, trop élevées pour être perçues par l'oreille humaine. Le contrôle par ultrason est appliqué aux fabrications, aux demi-produits et éventuellement aux produits finis, en petite ou grande série, il est capable de mettre en évidence les défauts en préservant l'intégrité des produits contrôlés[02].



Figure II.01 La gamme de fréquences des ultrasons.[04]

II-2 Nature des ultrasons

Les ultrasons sont des vibrations mécaniques prenant naissance et se propageant dans tout support matériel (solide, liquide ou gaz présentant une certaine élasticité. En continuation de la gamme sonore, les ultrasons correspondent à des fréquences oscillatoires supérieures à la limite d'audibilité humaine et s'étendant dans une large gamme allant de 15 kilohertz (nettoyage) à plus de 100 MHz (microscopie acoustique, application électronique). La gamme 1 à 10 MHz couvre la grande majorité des applications des ultrasons en contrôle non destructif industriel. Cela n'est pas un hasard car ces fréquences correspondent, pour les matériaux courants, à des longueurs d'onde ultrasonore de l'ordre du millimètre, valeur réalisant un bon compromis entre directivité, absorption, détectabilité des petits défauts, facilité de réalisation d'appareillages électroniques et de transducteurs fiables et économiques[03].

❖ Caractéristique physiques des Ultrasons :

- Fréquence f (Hz) : 20 kHz et 100 MHz
- Période T (s) : $T=1/f$ (1)
- Longueur d'onde (m) : $\lambda = c/f = c \cdot T$ (2)
- Célérité c (m/s) : $c=f \cdot \lambda$ (3)

II-2-1 Différents types d'ondes

Tableau II 01 : types d'onde.[15]

Types d'ondes dans les solides	Vibration de particule
Longitudinal	Parallèle au sens de propagation
transversal (cisaillement)	Perpendiculaire au sens de propagation
Surface (Rayleigh)	Orbite elliptique - mode symétrique
Surface	Bleustein-Gulyaev
Onde de surface – Lamb	Composante Perpendiculaire sur la surface (onde d'extension)
Onde de surface – Love	Parallèle to plane layer, perpendiculaire au sens de propagation
Stanley (Leaky Rayleigh Waves)	onde guidée le long de l'interface
Sezawa	Mode antisymétrique

- ✓ Onde longitudinale ou de compression : la direction des vibrations des particules est parallèle à la direction de propagation de l'onde[05].

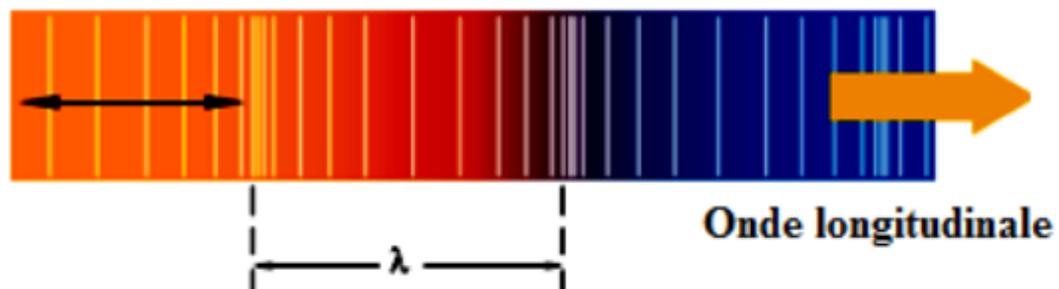


Figure II.02 onde longitudinale.[05]

- ✓ Onde transversale ou de cisaillement : la direction des vibrations des particules est perpendiculaire à la direction de propagation de l'onde[05].

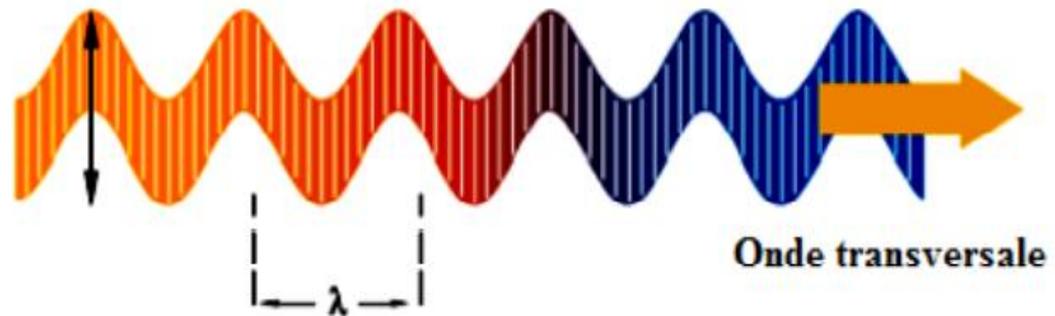


Figure II.03 Onde transversale.[05]

- ✓ Onde de surface : ondes obtenues par superposition des deux ondes longitudinale et transversale parallèle à la surface du solide. Sur la figure suivante, on illustre les trois types d'onde[05] :

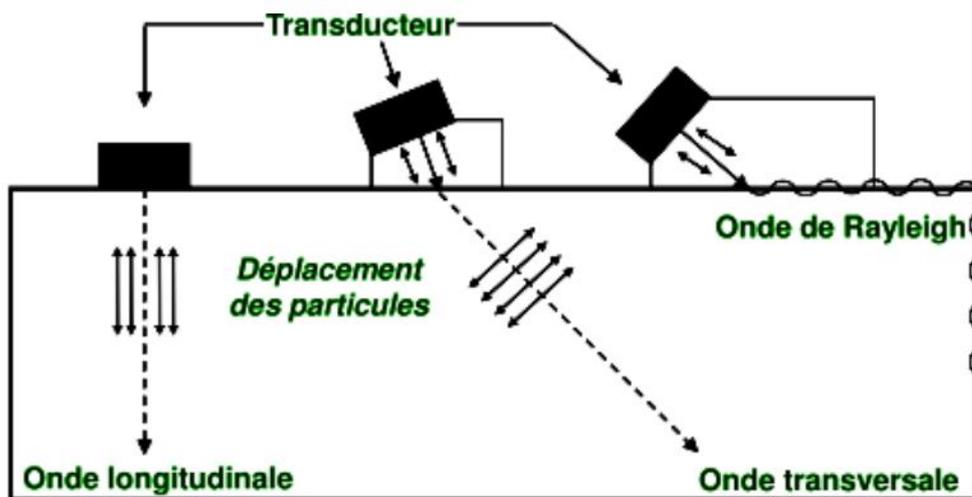


Figure II.04 différents types d'ondes ultrasonores.[05]

II-2-2 Productions des ultrasons de fréquence élevés

On part par des oscillations électriques pour les traduire ensuite en vibrations mécaniques, la piézoélectricité est pratiquement la seule méthode utilisée dans l'industrie.

❖ Principe de la piézoélectricité

- ✓ Effet direct : une action mécanique provoque l'apparition d'un dipôle électrique dans chaque maille cristalline d'un matériau, par déplacement des centres des charges positives et négatives.

- ✓ Effet inverse : l'application d'une certaine tension entre les faces métallisées du cristal le dilate ou le contracte suivant le sens de la tension appliquée.

Une tension de 500 volts par exemple provoque une contraction d'une lame de quartz.

❖ Substances piézoélectriques

- ✓ Naturels

Ces substances ne peuvent fournir que de faibles puissances à l'émission, mais présentent par contre une bonne sensibilité électrique et mécanique dans le temps, on trouve des éléments naturels tel que : Quartz, sel de rochelle.

- ✓ Artificielles

Les chercheurs ont obtenu des propriétés piézoélectriques analogues à celles des monocristaux, en utilisant des (céramiques artificielles) élaborés à partir d'agrégats de microcristaux ferroélectriques poly domaines.

a- Les éléments chimiques

On retrouve le sulfate de lithium, le titane de baryum et le phosphate d'ammonium des hydrogéné.[02]

II-3-1 Propriétés des ultrasons

II-3-2 L'onde ultrasonore

II-3-2-1 Définition d'onde

Nous parlons d'ondes quand il s'agit d'un phénomène périodique, c'est-à-dire un phénomène qui est répété après un certain temps (T) appelé la période dans les liquide et les gaz les ondes ultrasonores sont des ondes longitudinales les particules matérielles se déplacent par rapport à leur position d'équilibre parallèlement à la direction de propagation de l'onde eux même perpendiculaire à la direction de propagation de l'onde ce type d'onde se trouve dans les solides[06].

II-3-2-2 Onde plane et onde sphérique

Lorsque les lieux des particules dans un même état de vibration sont contenus dans des plans parallèles, on dit que l'onde est plane. Lorsqu'ils sont contenus dans des plans sphériques et concentriques l'onde est sphérique.[04]

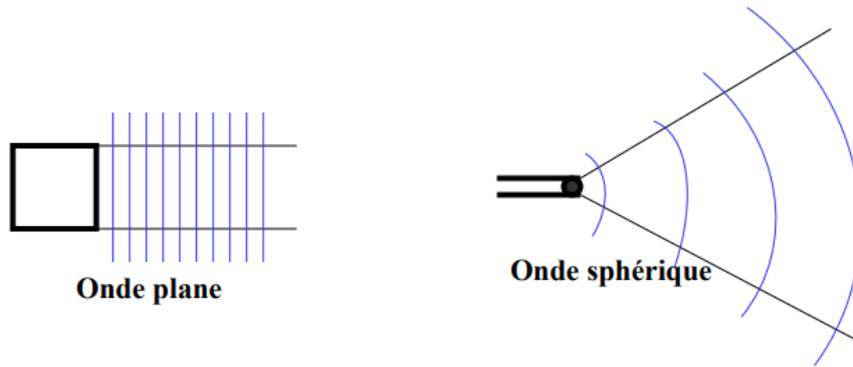


Figure II.05 Onde plane et onde sphérique.[04]

II-3-2-3 Caractéristiques de mouvement d'une particule

L'équation du mouvement d'une particule dans le temps qui oscille par rapport à sa position d'équilibre est la suivante :

$$a = A \sin wt \dots\dots\dots(4)$$

- a*: élongation,
- A* : amplitude,
- w*: pulsation,
- t* : temps.

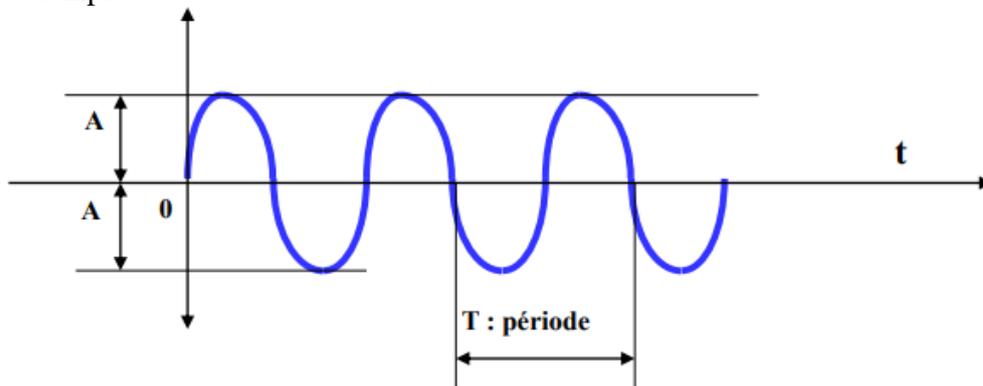


Figure II.06 Caractéristiques de mouvement d'une particule.[04]

En CND, *A* est de l'ordre de 9 à 10 nm ou nanomètre.

Période *T* : temps en secondes écoulé par une particule entre deux passages à la même position.

Fréquence *F*: nombre de cycles par seconde ou l'inverse de la période, unités: Hz

$$F = \frac{1}{T} \dots\dots\dots(5)$$

En CND, F varie de 0.1 à 20 MHz (par contact de 1 à 10 MHz).

Pulsation w : C'est la vitesse angulaire en radians par sec.

$$w = 2\pi F = \frac{2\pi}{T} \dots\dots\dots(6)$$

Vitesse de propagation de l'onde :

La propagation se fait grâce aux liaisons inter atomiques (ressorts) du matériau. C'est la

Distance parcourue par l'onde pendant 1 seconde.[04]

$$v = \frac{d}{s} \text{ (m/s)} \dots\dots\dots (7)$$

II-3-2-4 Longueur d'onde

La longueur d'onde λ d'un train d'onde ultrasonore se déduit de la vitesse de propagation par la relation simple suivante :

$$\lambda = \frac{v}{f} \dots\dots\dots(8)$$

Où f est la fréquence de la vibration.[03]

II-3-2-5 Atténuation

Tout onde se propageant dans un matériau Subit une résistance a ce mouvement il se traduit par une décroissance en exponentielle alors le signal est en générale soumis à une atténuation de son amplitude l'absorption, la diffusion, la diffraction[06].

En général toute onde se propageant dans un matériau subit une résistance à ce Mouvement. Il se traduit par une décroissance en exponentielle.

$$\alpha = A_0 e^{(-\alpha x)} \dots\dots\dots(9)$$

α : coefficient d'atténuation ;

A_0 : Amplitude de l'onde émise[04]

II-3-3 Phénomène de propagation

On applique les lois physiques rappelées ici au cas simple d'une onde monochromatique (de fréquence unique). En réalité le contrôle ultrasonore est plus complexe, parce que les transducteurs génèrent des trains d'ondes correspondant à un spectre de fréquence d'une certaine forme et d'une étendue plus ou moins bien connues. C'est une remarque qu'il ne faut pas perdre de vue, lorsque l'on veut mettre en pratique ces bases physiques par ailleurs indispensables à la bonne compréhension des mécanismes mis en jeu dans tout contrôle ultrasonore[15].

II-3-3-1 Mode de propagation

a- Onde longitudinale ou de compression

Les particules du milieu vibrent suivant la direction de propagation de l'onde[06].

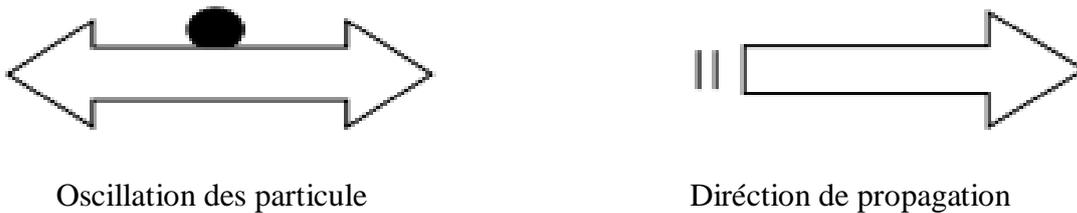


Figure II.07 Oscillation des particule et direction de propagation[06].

b- Onde transversale ou de cisaillement

Les particules du milieu vibrent suivant l'axe perpendiculaire à la direction de propagation[06].

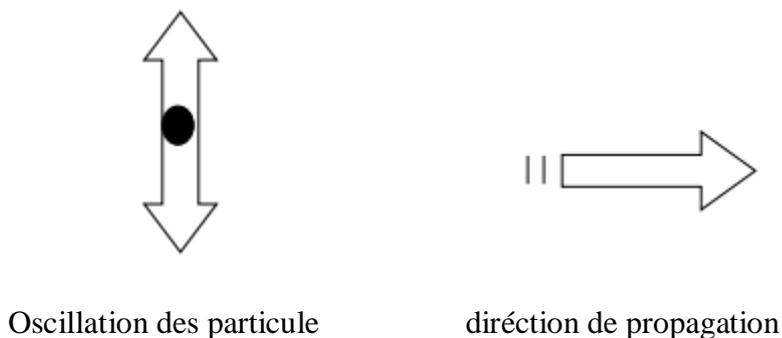


Figure II.08 Oscillation des particule et diréction de propagation[06].

II-3-4 La pression et l'impédance acoustique

II-3-4-1 Impédance acoustique

$$Z = \rho \cdot C \dots\dots\dots (10)$$

ρ : Masse volumique [kg/m³].

C : Célérité du son [m/s].

Z : impédance acoustique [kg/m². S].

Caractérise la nature du milieu traversé (Z en kg/m².s ou rayl)

II-3-4-2 La pression acoustique

La pression acoustique correspond à la variation de la pression de l'air au passage de l'onde sonore, qui crée des compressions et dilatations du milieu.

$$P(t)_{\text{acous}} = P(t) - P_{\text{atm}} \dots\dots\dots (11)$$

1atm = 1,013 10⁵ Pa (Pascal).

Les pressions acoustiques (en pascal) sont comprises entre 20 µPa (seuil d'audibilité) et 20 Pa (seuil de douleur).

On distingue deux valeurs remarquables :

- P_c : la pression de crête est la pression acoustique maximale sur la durée de l'échantillon étudié.

- P_{eff} : la pression efficace, elle se calcule par la formule.

$$P_{\text{eff}} = \frac{P_c}{\sqrt{2}} \dots\dots\dots (12)$$

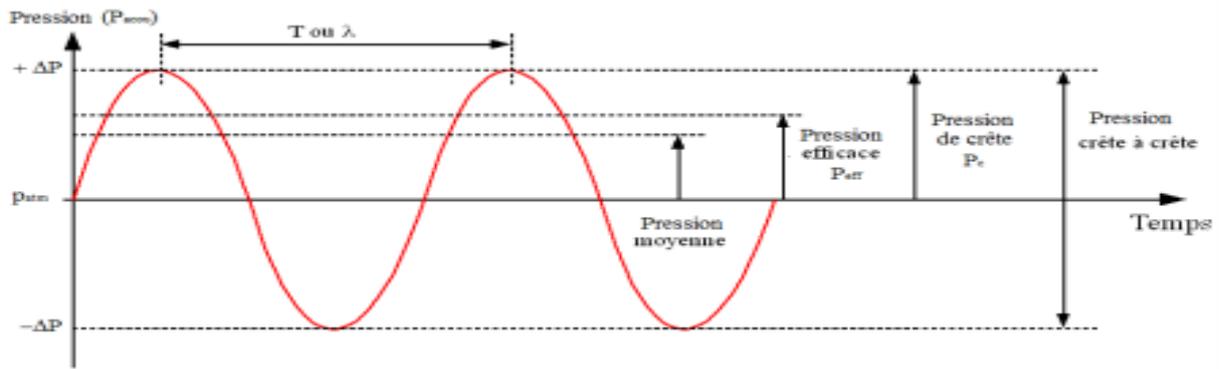


Figure II.09 illustration de la pression acoustique[03].

II-3-5 Transmission entre milieux

Optique, une partie de l'onde incidente est transmise dans le second, alors que l'autre partie est réfléchiée en sens inverse dans le premier milieu. Ces phénomènes de réflexion/transmission sont régis par un concept d'impédance acoustique, produit de la masse volumique ρ du matériau par la vitesse V des ultrasons dans ce milieu considéré (noter que l'impédance acoustique utilisée dans le domaine sonore est définie différemment). Les intensités acoustiques réfléchies (I_r) et transmises (I_t), relativement à l'intensité initiale I_0 , sont données par les relations suivantes :

$$Z = \rho \cdot V \dots\dots\dots (13)$$

$$\frac{I_r}{I_0} = \left[\frac{(Z_1 - Z_2)}{(Z_1 + Z_2)} \right] \dots\dots\dots (14)$$

$$\frac{I_t}{I_r} = \left[\frac{(4 \cdot Z_1 \cdot Z_2)}{(Z_1 + Z_2)^2} \right] \dots\dots\dots (15)$$

Avec Z_1 et Z_2 impédances acoustiques des milieux 1 et 2, l'onde se propageant du milieu 1 vers le milieu 2. Il est facile d'en déduire qu'une onde sera transmise intégralement si $Z_1 = Z_2$ c'est-à-dire si l'on a réalisé une parfaite adaptation d'impédance, condition bien connue en électronique des circuits. En fait, les couplages acoustiques en CND par ultrasons mettent souvent en jeu des matériaux à impédances acoustiques éloignées comme l'eau, l'acier, le plexiglas (Tableau II. 4) ; on doit donc tolérer en pratique une perte importante d'énergie aux interfaces, perte qui devra être compensée par une grande sensibilité à la réception de l'onde en retour[03].

Tableau II 02 – Vitesses et impédance acous[03].

Matériau	Masse Volumique 10^3kg/m^3	Vitesse des ondes longitudinales m/s	Vitesse des ondes transversales m/s	Impédance Acoustique $10^{-6} \text{kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$
Aciers	7.8	5900	3250	46
Fonte	7.2	4600	250	33
Aluminium	2.7	6300	2150	17
Cuivre	8.9	4700	3100	42
Laiton	8.5	4500	2250	38
Béton	2.5	4500	2100	11
Muscle	1.0	1600		1.6
Araldite	1.2	2500		3
Plexiglas	1.2	2700	1050	3.2
Verre	2.5	5650	1100	14
Huile	0.8	1500	3400	1.2
Glycérine	1.3	1900		2.5
Eau	1.0	1480		1.5
Mercure	13.6	1450		20
Quartz	2.7	5750		15
Titanate de baryum	5.7	4400		35
Air	$1.3 \cdot 10^{-3}$	330		$4 \cdot 10^{-4}$

Dans des cas particuliers, comme la microscopie acoustique, on devra choisir un couplant liquide mieux adapté, à forte impédance, comme le mercure par exemple. Ces relations montrent, par ailleurs, et cette fois-ci de façon favorable, que la sensibilité de la détection ultrasonore par échos sur un défaut est très grande, puisqu'en général le rapport Z_1/Z_2 de l'impédance du matériau solide testé (métal par exemple, avec $Z_1 > 15 \times 10^6 \text{ kg m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) à celle du défaut (porosité ou fissure remplies d'air avec $Z_2 = 10^{-3} \times 10^6 \text{ kg m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) sera très grande correspondant à une réflexion totale de l'énergie ultrasonore.

De plus, l'expérience montre que cette réflexion reste totale même lorsque l'épaisseur de la fissure est infime et bien inférieure à la longueur d'onde λ [03].

II-3-6 Description du faisceau ultrasonore émis

La théorie de la diffraction montre qu'un faisceau ultrasonore émis par une source plane, circulaire de rayon r répondant à la condition $r > \lambda$, (r est le rayon de la source, λ est la longueur d'onde) comprend deux parties, une zone initiale cylindrique et une zone distale conique où le faisceau diverge que l'on nomme respectivement la zone de Fresnel et La zone de Fraunhofer[06].

II-4 Le contrôle par ultrason

II-4-1 Principe de contrôle par ultrasons

a- Principe

Une onde ultrasonore est émise par un palpeur placé sur la surface du matériau à contrôler et se propage dans celui-ci. Il est nécessaire d'ajouter un couplant (gel) entre le palpeur et la pièce pour assurer la transmission des ondes. Lorsque ces ultrasons rencontrent une interface délimitant deux milieux ayant des impédances acoustiques différentes, il y a réflexion.

- Les ultrasons réfléchis sont captés par un palpeur (qui peut être le même que l'émetteur). Il y a création d'un « écho »[05].



Figure II.10 Emission de l'onde[05].

- Dans le cas d'une pièce comportant deux surfaces, la détection de défaut se fait en comparant le temps mis pour faire un aller-retour dans l'épaisseur de la pièce et le temps mis pour la réflexion sur un défaut.



Figure II.11 pièce sans défaut[05].

b- Temps de pose (temps de silence)

C'est le temps nécessaire pour lequel l'onde soit perturbée (se réfléchisse) par le fond de la pièce ou par le défaut[05].

II-4-2 Détection des défauts

La détection des défauts internes par ultrasons est très pratiquée en contrôle de fabrication, en contrôle de recette, en surveillance de structure en service ainsi qu'en maintenance. Le contrôle par ultrasons est une méthode de contrôle original à cause de sa remarquable sensibilité de l'échographie ultrasonore à moindre discontinuité ou hétérogénéité interne dans les matériaux, en particulier métallique. Toutefois, en échographie ultrasonore, le choix des paramètres de sondage et l'interprétation des signaux recueillis ne sont pas toujours aisés et requièrent l'intervention d'un personnel spécialement qualifié.

Localisation des défauts en profondeur : elle est aisée lorsqu'on travaille en échographie. Il existe toutefois une zone sous la surface de couplage pour laquelle l'écho de défaut peut être noyé dans l'écho d'émission ou d'interface, ce qui peut rendre à la fois la détection et la localisation aléatoires. La localisation en plan se fera en relation avec le relevé manuel de la position du palpeur[[02].

II-4-3 Émission et réception des ultrasons

L'émission doit se faire par impulsions pour que la réception puisse être effectuée entre deux impulsions. Pour cela un appareil à ultrason est utilisé, qui permet de visualiser sur un écran, le

parcours des ultrasons entre deux impulsions successives. Les appareils à ultrason sont deux types principaux,

Appareils de chantier : qui possèdent un faible encombrement, un faible poids et des possibilités réduite.

Appareils de laboratoire : lourds, encombrement, complexes.

Ils permettent grâce à leur multiples possibilités la mise au point de méthodes de recherches. La chaîne de mesure qui englobe les différentes parties d'un appareil doit comporter :

- Un élément d'excitation ou de commande
Pour fixer le déroulement du cycle de contrôle, à quel moment émettre et à quel moment écouter (recevoir et évaluer).
- Un générateur d'impulsions
Il délivre l'impulsion grâce à laquelle le palpeur sera excité pour engendrer les oscillations mécaniques.
- Un palpeur (ou des palpeurs)

Il transforme les impulsions électriques d'excitation en oscillations mécaniques (ultrasons) et, à l'inverse, les oscillations ultrasonores en impulsions électriques. Les palpeurs peuvent être au même temps émetteur-récepteur ou séparés.

- Un amplificateur

A la réception, le signal provoqué par l'écho est très faible (0.01V) pour être visualisé sur l'écran, il faut l'amplifier et filtrer, alors l'amplificateur lui associe avec un gain suffisant pour la visualisation.

- Un tube cathodique (ou écran de visualisation)

Après le traitement du signal, les résultats sont affichés sur un écran d'un tube cathodique, les distances et les amplitudes des échos sont obtenues grâce à un balayage horizontal et vertical[03].

II-4-4 les palpeurs

- La pastille piézoélectrique

Le choix de la nature des pastilles piézoélectriques est déterminé par des critères des prix, de fragilité de sensibilité, de tension d'excitation, de coefficient de couplage piézoélectrique et de résistance à la température. Actuellement les matériaux les plus utilisés pour réaliser industriellement les éléments sensibles sont à la base de zirconite-titanate de plomb et de titanate de Baryum. On joint à ces deux matériaux de base des produits qui améliorent leur sensibilité.

- L'amortisseur

L'amortisseur a pour but de supprimer la transmission, il permet d'obtenir un signal bref, son impédance acoustique étant égale à celle de la pastille, la vibration est très rapidement amortie (pas de réflexion sur la face arrière).

- Les connections électriques

Les faces de l'élément sensible sont métallisées pour permettre un bon couplage électrique avec les fils de connexion à l'aide de soudure, colles conductrices, ressorts...

- Le boîtier

Permet une manipulation simple et des montages spécifiques, il protège la pastille, assure l'étanchéité et la résistance à l'usure[02].

II-4-5 Les type des palpeurs

II-4-5-1-1 Palpeur EMA

Ce nouveau type de transducteur met en œuvre les interactions champ magnétique-courants de Foucault induits dans un métal pour créer des forces donnant naissance à des vibrations ultrasonores, d'où son appellation de palpeur électro-magnéto-acoustique (EMA).

L'effet étant réversible, on peut concevoir ainsi un palpeur émetteur-récepteur utilisable sans contact avec le produit sondé et avant des possibilités très larges de réglage en fréquence et en largeur de bande ; cependant, sa faible sensibilité oblige à le maintenir à une très faible distance de la surface du produit à contrôler (quelques millimètres) et à utiliser une électronique

particulière. Ces handicaps font que son développement commercial est aujourd'hui très limité bien que des applications intéressantes existent en laboratoire et dans certaines industries comme la sidérurgie[15].

II-4-5-2 Palpeurs lasers

L'impact d'un faisceau laser impulsionnel de puissance sur la surface d'un matériau, et en particulier d'un métal, constitue une source ultrasonore généralement omnidirectionnelle et pouvant comporter un large spectre de fréquences vibratoires.

On peut, par certains artifices, favoriser un mode de propagation et donner une certaine directivité au faisceau, obtenant ainsi un émetteur d'ultrasons sans contact. La réception optique, sans contact, peut être réalisée par un interféromètre optique de haute sensibilité, détectant les infimes variations géométriques de la surface où émergent les ultrasons.

En pratique, il est difficile de réaliser un tel interféromètre apte à fonctionner hors du laboratoire, aussi pour l'instant ce type de transducteur, au demeurant beaucoup plus coûteux qu'un simple palpeur piézoélectrique ne connaît pas d'application industrielle notable[15].

II-4-5-3 Palpeurs d'angle

Les palpeurs d'angle produisent des ondes transversales dans les matériaux en envoyant une onde longitudinale incidente entre le 1^{er} et le 2^{ème} angle critique. En pratique, on construit des palpeurs d'angle avec des valeurs angulaires de réfraction dans l'acier de 350°, 450°, 600°, 700° et 800°[02].

II-4-6 Méthodes de contrôle

II-4-6-1 Méthodes par réflexion ou par échographie

Par échographie

Cette méthode est utilisée pour détecter le défaut et localiser le défaut et dimensionnement de ce défaut et identifier le défaut et plans et volumiques de défaut

-Par réflexion

Cette méthode est la plus utilisée dans le domaine du contrôle par ultrason. Elle a l'avantage d'être facilement applicable et possibilité de localiser les défauts détectés avec précision dans

le volume à contrôler, Donc possibilité de réparer et de caractériser les défauts alors connaître leurs tailles, et pouvoirs réfléchissants ainsi que leurs caractères « volumique ou non volumique ». Elle peut être utilisée en manuel ou en automatique .[04]

II-4-6-2 Méthode par transmission

Cette méthode est appliquée sur les plaques de faible épaisseur, elle nécessite deux capteurs ultrasonores (un émetteur et un récepteur). La diminution du signal transmis par rapport au signal émis indique la présence d'un défaut, or sa position est impossible à détecter[04].

II-4-6-3 Méthode par émerison

La pièce à contrôler est immergée dans un liquide de couplage le plus souvent de l'eau parfois du pétrole plus rarement de l'huile. Le palpeur n'étant pas en contact avec la pièce à contrôler la hauteur du fluide intervient dans le trajet parcouru par les ultrasons. Le contrôle par immersion peut s'effectuer selon la position de la pièce de trois manières :

- ✓ Immersion totale.
- ✓ Immersion locale.
- ✓ Méthode par jets.[07]

II-4-7-1 Le niveau d'examen

Les contrôles par ultrasons peuvent s'effectuer sur quatre niveaux d'examen selon la précision voulue pour le contrôle des assemblages.

Niveau 1 : Niveau économique conférant une probabilité modérée de détection.

Niveau 2 : Niveau moyen mais de détection élevée.

Niveau 3 : Niveau élevé d'examen assurant le taux de détection le plus élevé.

Niveau 4 : Non défini et doit faire l'objet d'un mode opératoire écrit[02].

II-4-7-2 Vérification des appareillages

II-4-7-2-1 le matériel de contrôle

Le matériel comprend au minimum :

- L'appareil a ultrason ;

- Le traducteur ;
- Le câble de liaison.

Et pour l'exécution du contrôle proprement dit nous avons en plus :

- La cale d'étalonnage,
- Le bloc de référence,
- Le milieu de couplage.

Et les matériels divers[07].

II-4-7-2-2 Appareil ultrasonore

D'une façon très simple on dira que l'appareil ultrasonore possède trois principales fonctions :

- A- L'émission,
- B- La réception,
- C- La visualisation[07].



Figure II.12 Appareil à ultrasons [06].

II-4-7-2-3 Le transducteur

On appelle transducteur ou palpeur l'outil qui permet d'émettre et de recevoir les ondes ultrasonores. Il est composé de 5 parties principales :



a) Palpeur transversal.



b) Palpeur longitudinale.

Figure II.13 types de transducteur[07].

- a) Transducteur d'angle (ondes transversales) pour le contrôle de la soudure.
- b) Transducteur droit (ondes longitudinales) pour le contrôle de métal de base de la pièce à contrôlée[07].

II-4-8-1 Milieu de couplage

Un milieu de couplage ayant de bonnes propriétés de mouillage doit être utilisé afin de permettre la transmission des ultrasons entre le transducteur et la pièce.

Les milieux de couplage couramment utilisés sont :

L'eau (additionnée ou non d'un agent mouillant), la pâte de contact, les huiles, les graisses, la colle cellulosique additionnée d'eau, le gel thixotropique, etc[07].

II-4-8-2 Etalonnage

L'étalonnage de l'ensemble appareillage et palpeur ultrasonore présente une grande importance, dans la mesure où l'on cherche à fournir des résultats de contrôle pertinents.

On pourra, dans un premier temps, déterminer les caractéristiques de l'électronique et du palpeur : cela ne dispensera pas toutefois d'effectuer un tarage de l'ensemble, selon les procédures normalisées adaptées aux types de contrôles et d'industries concernés. Soit on utilisera un bloc étalon comme la cale AFNOR NF A 09.310 qui permet, en particulier, de vérifier aisément les caractéristiques des palpeurs d'angle, soit on fera appel à des pièces de référence du type de celles à contrôler et possédant des défauts connus, naturels ou artificiellement créés. Signalons qu'un large débat reste ouvert entre spécialistes quant aux

mérites respectifs de ces deux catégories de défaut étalons[07].

II-4-8-3 Vérification des appareillages

Un appareil de contrôle par ultrason doit être vérifiée et réglée avant chaque examen à cause de ses caractéristiques qui peuvent être changées et selon les conditions exigées par l'examen[07].

II-4-9 Evaluation

L'évaluation du contrôle ultrasonore va vers un plus grand recours à l'automatisation des opérations, avec l'objectif de simplifier, de fiabiliser les procédures, d'accroître la reproductibilité et la productivité des essais. Cela est rendu possible grâce aux progrès du matériel et des moyens de traitement de l'information. Il n'en reste pas moins que la qualification du contrôleur reste primordiale pour les raisons exprimées plus haut Notons enfin le développement de l'utilisation en laboratoire d'un nouvel outil d'investigation et d'étude de la microstructure des matériaux : le microscope acoustique utilisant de très hautes fréquences ultrasonores, ce qui conduit à un fort pouvoir de résolution (quelques micromètres) accompagné malheureusement d'une faible pénétration des ondes dans la matière (quelques dixièmes de millimètre). Qualification du contrôleur reste primordiale pour les raisons exprimées plus haut[03].

II-5 Les avantages et les inconvénients du CND par ultrasons

- Les avantages

- Contrôle sur métaux, plastiques, matériaux divers ;
- La détection des défauts à l'intérieur des matériaux ;
- Grande précision possible ;
- Localisation et dimensionnement des défauts ;
- Rapidité de mise en œuvre et transportabilité ;
- Contrôle en service possible, large domaine d'application ;
- Contrôle en temps réel.

- Inconvénients

- La sensibilité de la méthode est fortement influencée par l'orientation de la surface du défaut vis-à-vis de la direction principale du faisceau acoustique ;
- Il est nécessaire d'interposer un milieu de couplage intermédiaire entre le traducteur et la pièce pour assurer la continuité de la propagation ;

- L'interprétation de la nature des défauts et de leur dimension nécessite du personnel qualifié ayant une grande expérience ;
- La mise en œuvre est difficile sur certains matériaux (matériaux absorbants)[04].

II-6 conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté les études théoriques du contrôle par les ultrasons et les bases théoriques des ondes ultrasonores. On a décrit la nature de ultrasons, le phénomène de propagation des ondes dans les solides sont données permettent la pénétration de ces dernières dans la matière, on a aussi mentionné la théorie sur la réflexion et la transmission des ondes, ainsi que les avantages et inconvénients de ce procédés.

Chapitre : III

Introduction

La théorie du signal fournit la description mathématique (ou modélisation) des signaux. Le traitement des signaux est la discipline technique qui, s'appuyant sur la théorie du signal et de l'information, les ressources de l'électronique, de l'informatique et de la physique appliquée, ont 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.

III-1 traitement de signale

III-1-1 Définition de traitement des signaux

La théorie du signal fournit la description mathématique (ou modélisation) des signaux. Le traitement des signaux est la discipline technique qui, s'appuyant sur la théorie du signal et de l'information, les ressources de l'électronique, de l'informatique et de la physique appliquée, ont 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 [14].

III-1-1-2 Signal

Le signal correspond à la mesure d'une grandeur physique. Mesures de grandeur physique : signal sismique, mesure du pouls, déplacement, voltage, intensité, etc... La plupart des grandeurs physiques sont aujourd'hui converties en signaux électriques puis codées en signal numérique binaires. Il existe très peu de mesures totalement analogiques [13].

III-1-1-3 Bruit

Un bruit correspond à tout phénomène perturbateur gênant la transmission ou l'interprétation d'un signal [11].

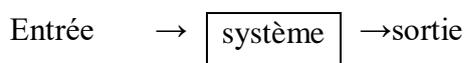
III-1-1-4 Rapport signal sur bruit

Le rapport signal sur bruit mesure la quantité de bruit contenue dans le signal. Il s'exprime par le rapport des puissances du signal (PS) et du bruit (PN). Il est souvent donné en décibels (dB) [11].

$$\left(\frac{S}{N}\right) db = 10 \log \frac{P_s}{P_n} \dots\dots\dots (17)$$

III-1-1-5 Système

Un système est un dispositif représenté par un modèle mathématique de type Entrée/Sortie qui apporte une déformation au signal (Ex: modulateur, filtre, etc...).



III-1-2 Classification des signaux

On peut envisager plusieurs modes de classification pour les signaux suivant leurs propriétés.

III-1-2-1 Classification phénoménologique

On considère la nature de l'évolution du signal en fonction du temps. Il apparaît deux types de signaux :

- Les signaux déterministes : ou signaux certains, leur évolution en fonction du temps peut être parfaitement modéliser par une fonction mathématique. On retrouve dans cette classe les signaux périodiques, les signaux transitoires, les signaux pseudo-aléatoires, etc...
- Les signaux aléatoires : leur comportement temporel est imprévisible. Il faut faire appel à leurs propriétés statistiques pour les décrire. Si leurs propriétés statistiques sont invariantes dans le temps, on dit qu'ils sont stationnaires.

III-1-2-2 Classification énergétique

On considère l'énergie des signaux. On distingue :

Les signaux à énergie finie : il possède une puissance moyenne nulle et une énergie finie.

Les signaux à puissance moyenne finie : il possède une énergie infinie et sont donc physiquement irréalisable.

III-1-2-3 Classification morphologique

On distingue les signaux à variable continue des signaux à variable discrète ainsi que ceux dont l'amplitude est discrète ou continue.

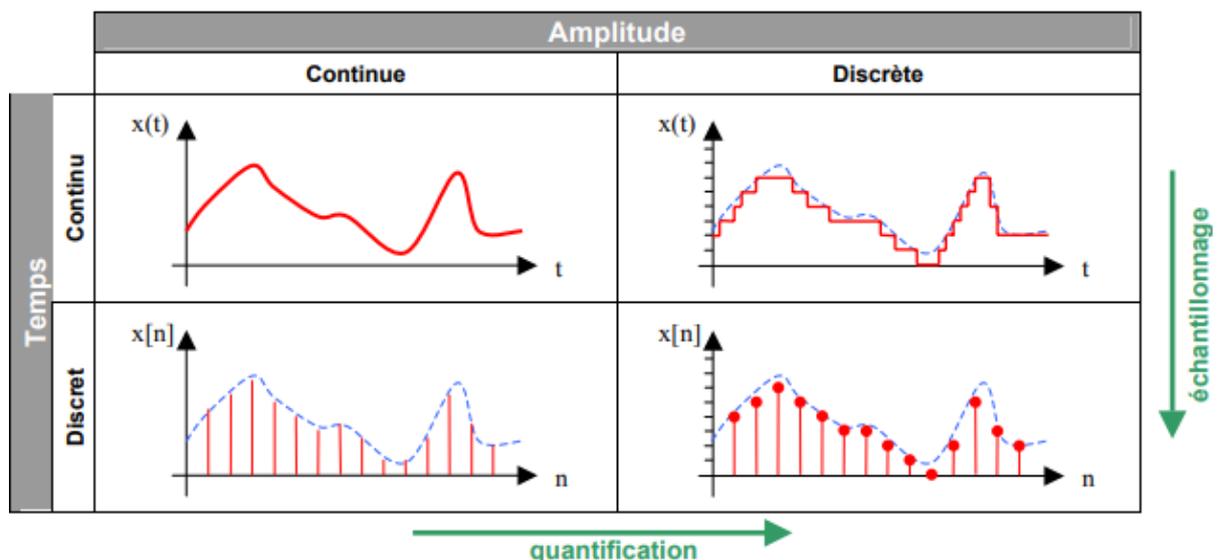


Figure III.02 les signaux à variable continue et des signaux à variable discrète

On obtient donc 4 classes de signaux :

Les signaux analogiques dont l'amplitude et le temps sont continus

Les signaux quantifiés dont l'amplitude est discrète et le temps continu

Les signaux échantillonnés dont l'amplitude est continue et le temps discret

Les signaux numériques dont l'amplitude et le temps sont discrets

III-1-2-4 Signaux particuliers

Afin de simplifier les opérations ainsi que les formules obtenues, certains signaux fréquemment Rencontrés en traitement du signal dispose d'une modélisation propre.

4-1 Fonction signe

$$\text{sgn}(t) = \begin{cases} -1 & \text{pour } t < 0 \\ +1 & \text{pour } t > 0 \end{cases}$$



Par convention, on admet pour valeur à l'origine : $\text{sgn}(t) = 0$ pour $t=0$.

4-2 Fonction échelon

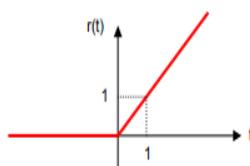
$$u(t) = \begin{cases} 0 & \text{pour } t < 0 \\ 1 & \text{pour } t > 0 \end{cases}$$



Par convention, on admet pour valeur à l'origine: $u(t) = \frac{1}{2}$ pour $t=0$. Dans certains, il sera préférable de lui donner la valeur 1.

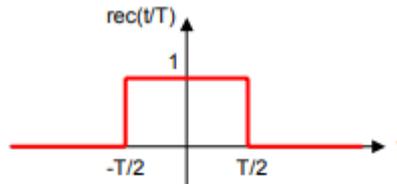
$$r(t) = t \cdot u(t)$$

$$= \int_{-\infty}^t u(\tau) d\tau$$



4-3 Fonction rectangulaire

$$\text{rect}\left(\frac{t}{T}\right) = \begin{cases} 1 & \text{pour } \left|\frac{t}{T}\right| < \frac{1}{2} \\ 0 & \text{pour } \left|\frac{t}{T}\right| > \frac{1}{2} \end{cases}$$

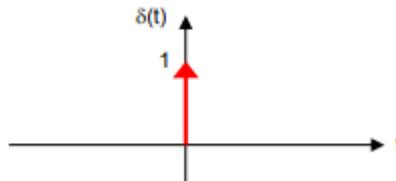


On l'appelle aussi fonction porte. Elle sert de fonction de fenêtrage élémentaire.

4-4 Impulsion de Dirac

L'impulsion de Dirac correspond à une fonction porte dont la largeur T tendrait vers 0 et dont l'aire est égale à 1.

$$\delta(t) = \begin{cases} \infty & \text{pour } t = 0 \\ 0 & \text{pour } t \neq 0 \end{cases}$$



$\delta(t)$ ne peut être représentée graphiquement. On la schématise par le symbole \uparrow

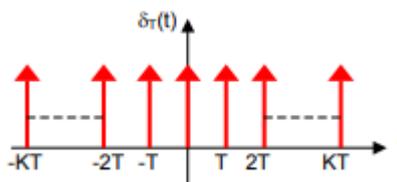
Attention: le 1 marqué sur la flèche pleine représente l'aire de cette impulsion (et non la hauteur de l'impulsion).

On peut encore considérer $\delta(t)$ comme la dérivée de la fonction échelon : $\delta(t) = \frac{du(t)}{dt}$

4-5 Peigne de Dirac

On appelle peigne de Dirac une succession périodique d'impulsions de Dirac.

$$\delta_T(t) = \sum_{k \rightarrow -\infty}^{+\infty} \delta(t - kT)$$

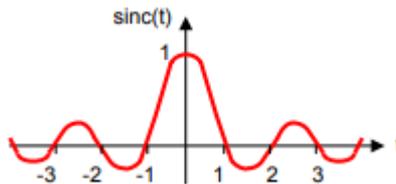


T est la période du peigne.

Cette suite est parfois appelée train d'impulsions ou fonction d'échantillonnage. Ce type de signal est principalement utilisé en échantillonnage.

4-5 Fonction sinus cardinal

$$\text{Sinc}(t) = \frac{\sin(\pi t)}{\pi t}$$



Cette fonction joue un rôle très important en traitement du signal.

III-2 Domaines d'application

- Télécommunication.
- Technique de mesures.
- Etude de vibrations mécaniques.
- Surveillance de processus industriels.
- Radar.
- Acoustique
- Reconnaissance de formes.
- Traitement d'images.
- Analyses biomédicales.
- Géophysique.
- Astronomie.
- Etc. [14].

III-3 Principales fonctions du traitement de signal

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

- Le filtrage : c'est une fonction qui consiste à éliminer d'un signal certaines composantes indésirables.
- La régénération : c'est une opération par laquelle on tente de redonner sa forme initiale à un signal ayant subi diverses distorsions.
- La détection : par cette opération on tente d'extraire un signal utile du bruit de fond qui lui est superposé.
- L'identification : c'est un procédé souvent complémentaire qui permet d'effectuer un classement du signal observé.
- La synthèse : opération inverse de l'analyse, consiste à créer un signal de forme approprié en procédant, par exemple, à une combinaison de signaux élémentaires.
- 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.
- 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 [14].

III-5 Les différents signaux

III-5-1 Les signaux électriques : Un signal électrique est une grandeur électrique dont la variation dans le temps transporte une information, d'une source à une destination.

III-5-2 Les signaux lumineux

- Les signaux lumineux visibles : Les enseignes lumineuses émettent des signaux lumineux pour donner envie aux passants d'entrer dans les commerces ou dans les restaurants afin de consommer.
- Les signaux lumineux non visibles : Différents appareils émettent un signal lumineux invisible à l'œil. Ils permettent de transmettre des informations sans se déplacer. Ce signal est capté par des récepteurs.

III-5-3 Les signaux sonores

Les signaux sonores audibles : Les êtres humains et les animaux émettent des signaux qui leur permettent d'échanger dans un type de langage reconnu en eux. Ces signaux ont aussi appelé la parole.

-Les signaux inaudibles : Tous les sons ne sont pas audibles par tout le monde. Les fréquences émises ne sont entendues que par une certaine catégorie d'êtres vivants.

III-5-4 Les signaux olfactifs

La plupart des signaux olfactifs sont captés par les individus de la même espèce. Ce phénomène est lié à des substances chimiques odorantes émises par les êtres humains, les animaux et certains végétaux.

III-6 Représentation des signaux

III-6-1 Représentation temporelle

La représentation temporelle d'un signal est la représentation la plus naturelle possible. En effet, l'axe des abscisses (horizontale) représente le temps (ou durée) du signal, tandis que l'axe des ordonnées représente l'amplitude (ou puissance) du signal.



Figure III.03 Signal sonore de plusieurs secondes



Figure III.4 Axe horizontal : temps - Axe vertical : signal

III-6-2 Représentation fréquentielle

Dans ce cas, le signal est représenté en fonction de la fréquence des signaux qui le composent. La représentation temporelle d'un signal s'obtient avec un oscilloscope : elle donne l'évolution de l'amplitude d'une tension en fonction du temps. Cette représentation conduit au calcul de tensions, de période, de fréquence et de pulsation. Cette représentation ne nous renseigne pas sur les fréquences contenues dans le signal. Le spectre d'un signal, c'est la représentation en fonction de la fréquence des amplitudes différentes composantes présentes dans le signal.

III-7 Type de signaux

III-7-1 Signaux analogiques

La représentation temporelle d'un signal analogique est la représentation la plus naturelle possible. En effet, sur l'axe des abscisses (horizontal) figure la variable temps, tandis que l'axe des ordonnées représente l'amplitude (ou puissance) du signal.

Exemple de représentation d'un signal électrique :

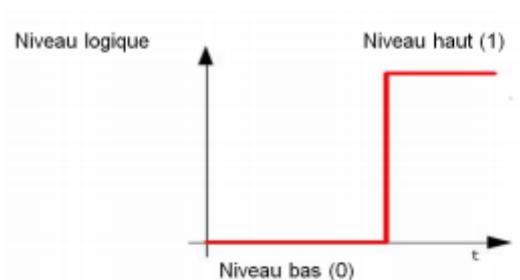


Figure III.05 Exemple de représentation de signal électrique [12]

Pour un signal analogique, le signal est une fonction continue de la variable temps. La grandeur analogique étudiée peut prendre une infinité de valeurs différentes. Dans certains cas, l'information est portée par la valeur de la fréquence du signal [12].

III-7-2 Signal logique

Pour un signal logique, l'information est portée par l'état du signal, valeur basse ou valeur haute que l'on traduit par 0 ou 1.



Deux événements peuvent être associés à ce signal logique :

- le front montant, passage du signal de l'état bas (0) à l'état haut (1).
- le front descendant, passage du signal de l'état haut (1) à l'état bas (0).

La détection du changement d'état est un événement souvent utilisé dans la commande des systèmes. Lorsqu'il y a un seul signal n'ayant que deux états possibles, état haut ou état bas, il est qualifié de « bit »[12].

III-7-3 Signal numérique

Un signal numérique est une association de 0 et de 1, appelés bits. On dit qu'il est binaire. Si l'on associe 8 états binaires, cela constitue un octet qui permet de coder une information. Cette information numérique est exploitable au cours du temps par des moyens informatiques pour le transport, le stockage et le traitement des données.

1	0	0	0	1	0	1	0
---	---	---	---	---	---	---	---

Tableau III.03 Exemple d'octet[12].

Un signal numérique est beaucoup plus facile à reproduire qu'un signal analogique :

La copie numérique produit un clone parfait de l'original, ce qui se réalise aisément par l'outil informatique [12].

III-8 Comment passer d'un signal analogique à un signal numérique ?

La transformation d'un signal analogique en signal numérique est appelée conversion analogique numérique ou encore numérisation. Un signal analogique, pour être converti en signal numérique, doit être numérisé par un convertisseur analogique numérique (CAN). La numérisation consiste à prélever un certain nombre d'échantillons à une « fréquence d'échantillonnage », puis à les coder sur un certain nombre de bits, « la quantification ». Le processus de numérisation s'appelle « l'échantillonnage » : c'est la transformation du signal en échantillons. La quantification affecte une valeur numérique à chaque échantillon prélevé. La représentation temporelle d'un signal s'obtient avec un oscilloscope : elle donne l'évolution de l'amplitude du signal en fonction du temps.

III-9 Rappel sur le développement en série de Fourier

Soit f une fonction (ou signal) périodique de période T . Joseph FOURIER, mathématicien français, affirma, dans un mémoire daté de 1807, qu'il était possible, dans certaines conditions, de décomposer une fonction périodique f sous la forme d'une somme infinie de signaux sinusoïdaux [01]:

$$f(x) = a_0 + \sum_{n=1}^{+\infty} (a_n \cos nwt + b_n \sin nwt) \quad (17)$$

Ainsi on a, dans certaines conditions (par exemple si f est de classe C_1 par morceaux):

Avec

$$T = \frac{2\pi}{\omega} \quad (18)$$

On peut donc considérer f comme la somme

- d'un terme constant a_0
- d'un nombre infini de termes sinusoïdaux appelés harmoniques.

L'harmonique de rang n est :

$$U_n(t) = a_n \cos n\omega t + b_n \sin n\omega t \quad (19)$$

Il peut s'écrire sous la forme

$$U_n(t) = A_n \cos(n\omega t - \varphi) \quad (20)$$

Avec

$$A_n = \sqrt{a_n^2 + b_n^2} \quad \text{et} \quad \tan(\varphi_n) = \frac{b_n}{a_n} \quad (\text{si } a_n \neq 0) \quad (21)$$

A_n représente l'amplitude ;

$\frac{2\pi}{n\omega}$ la période ;

φ_n la phase et la fréquence[01].

Remarque: si on utilise les coefficients de Fourier complexes, on obtient alors une décomposition:

$$f(t) = \sum_{n=-\infty}^{+\infty} C_n e^{in\omega t} \quad (22)$$

Avec C_n coefficient de Fourier complexe de $f(t)$. En fait, on démontre que

$$C_n = \frac{|A_n|}{2} \quad \text{Arg}(C_n) = -\varphi \quad [2\pi] \quad \text{si} \quad n \in \mathbb{N}$$

Si on représente l'amplitude A_n des différentes harmoniques en fonction de leurs fréquences

$\frac{n\omega}{2\pi} = nf_0$ (n pouvant varier théoriquement de $-\infty$ à $+\infty$), $f_0 = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{1}{T}$ on obtient un diagramme en bâtons appelé spectre de fréquence du signal[01].

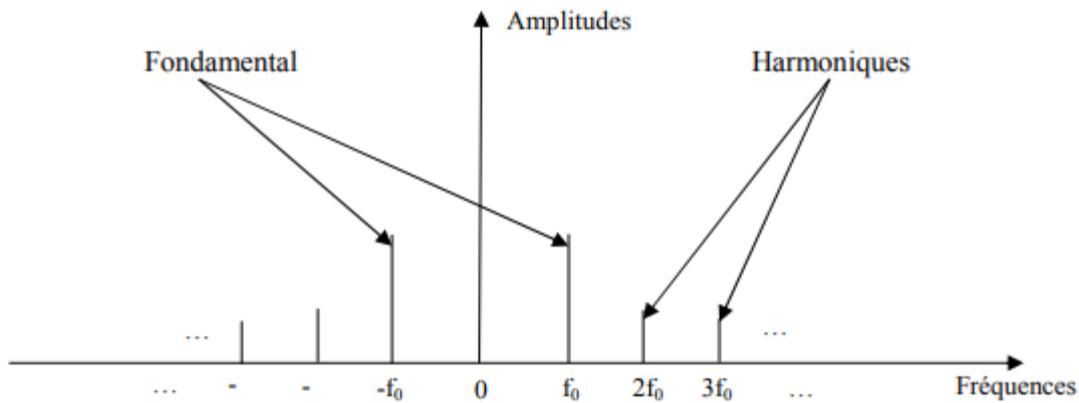


Figure III.01 spectre de fréquence d'un signal périodique [15]

Il est souvent intéressant de caractériser un signal par son spectre de fréquence. En effet, celui-ci met en évidence l'importance du fondamental ainsi que la décroissance plus ou moins rapide des amplitudes des harmoniques de rang élevé. Il peut aussi servir à déterminer le nombre d'harmoniques nécessaires pour transmettre la quasi-totalité de l'énergie du signal (notion de bande passante...) [15].

III-10 Premier approche de la transformer de Fourier

Pour une fonction périodique f , on obtient une relation de la forme:

$$f(t) = \sum_{n=-\infty}^{+\infty} C_n e^{in\omega t} \quad (23)$$

Qui peut être interprétée comme la décomposition du signal f sur la famille de fonctions ($e^{in\omega t}$) $n \in \mathbb{Z}$ jouant un rôle analogue à celui d'une base.

On peut écrire, pour marquer le fait que les coefficients de Fourier dépendent de la fonction f :

$$f(t) = \sum_{n=-\infty}^{+\infty} C_n f(t) e^{in\frac{2\pi}{T}t} \quad (24)$$

On remarquera $\frac{n}{T}$ qu'a une dimension de fréquence. Lorsque n décrit l'ensemble $\frac{n}{T}$ des entiers relatifs, écrit un ensemble de fréquences qui dépend de T .

Pour une fonction f qui n'est pas périodique, il est évidemment exclu d'utiliser la relation. On peut cependant considérer qu'une fonction qui n'est pas périodique est une fonction dont la période est infinie. Ou si T est "très grand", l'ensemble des fréquences $\frac{n}{T}$ (que l'on notera s) est un ensemble qui couvre presque toutes les fréquences possibles. On est passé d'une succession de fréquences à un ensemble continu de fréquences; aussi quand il s'agit de faire la somme, il faut passer d'une somme discrète, au sens des séries, à une somme continue, c'est-à-dire au sens du calcul intégral [15]:

$$f(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} C_s(f) e^{2i\pi s\omega t} T ds \quad (25)$$

On peut remarquer la présence de T . On est en fait passé de la variable n à la variable s . On a :

$$S = \frac{n}{T} \quad d'où \quad ds = \frac{dn}{T} \quad (26)$$

En reprenant la définition des coefficients de Fourier,

$$C_n(f) = \frac{1}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^{+\frac{T}{2}} f(u) e^{-2i\pi\frac{n}{T}u} du \quad (27)$$

Et en faisant tendre T vers $+\infty$, la relation (27) s'écrit:

$$f(t) = \int_{+\infty}^{-\infty} \left(\int_{-\infty}^{+\infty} (u) e^{-2i\pi st} du \right) e^{2i\pi st} ds \quad (28)$$

La fonction [01]:

$$S \rightarrow FT[f(t)] = \int_{-\infty}^{+\infty} f(u) e^{-2i\pi su} du \quad (29)$$

III-11 Définition de filtrage

Le filtrage est une forme de traitement de signal, obtenu en envoyant le signal à travers un ensemble électronique pour :

- ✓ Modifier son spectre de fréquence et donc sa forme ;
- ✓ Modifier sa phase et donc sa forme ;
- ✓ Extraire une partie de l'information liée à ce signal ;
- ✓ Eliminer ou affaiblir des fréquences parasites indésirables ;
- ✓ Isoler dans un signal complexe la ou les bandes de fréquence utiles [[10].

III-12 Filtrage analogique

III-12-1 Dirac

Les Dirac sont utiles pour faire le lien entre les fonctions continues et les suites discrètes. Ils interviennent grandement en traitement du signal et leur maniement est justifiée par la théorie des distributions. Un Dirac δ a un support réduit à $t = 0$ et associe à toute fonction continue φ sa valeur en $t = 0$,

$$\int \varphi(t) \delta(t) dt = \varphi(0) \quad (30)$$

Un Dirac n'est pas une fonction puisqu'il est nul pour $t \neq 0$ bien que son « intégrale » soit égale à 1. D'ailleurs, l'intégrale (30) est juste une notation symbolique signifiant qu'appliquer δ à φ nous donne $\varphi(0)$. Notons à passage que δ appartient à l'ensemble des distributions qui ne sera pas décrit ici, si ce n'est qu'au travers de ajoutons que « l'intégrale » symbolique employant δ est une notation très utile dans la mesure où elle possède les mêmes propriétés qu'une intégrale classique, incluant changements de variables et intégration par partie. Un Dirac translaté de τ , $\delta(t-\tau)$, a une masse concentrée en τ , associant ainsi à toute fonction continue φ sa valeur en $t=\tau$,

$$\int \phi(t) \delta(t-\tau) dt = \phi(\tau) \dots \dots \dots (31)$$

En outre, comme $\delta(t-\tau)$ est nul excepté pour $t = \tau$, nous avons $\phi(t) \delta(t-\tau) = \phi(\tau) \delta(t-\tau)$. Pour terminer, citons la formule de Poisson, égalité prise au sens des distributions,

$$T \sum_m e^{-j2\pi n T f} = 2\pi \sum_k \delta(f - \frac{k}{T}) \dots \dots \dots (32)$$

Rem : par convention on appelle fréquence la variable f et pulsation la variable ω vérifiant $\omega = 2\pi f$

III -12-3 Réponse impulsionnelle

Nous définissons la réponse impulsionnelle h d'un filtre H LCI comme la sortie correspondant à l'entrée e autrement dit $H(\delta) = h$. La réponse impulsionnelle caractérise parfaitement le système, et dans le cas d'un filtre analogique, est le plus souvent une fonction de $L1(\mathbb{R})$ bien de $L2(\mathbb{R})$, c'est ce que nous supposons ici. Si de plus, e est une fonction de $L1(\mathbb{R})$ ou de $L2(\mathbb{R})$, nous obtenons comme expression de la sortie $s = H(e)$:

$$s(t) = H(e(t)) = \int e(u) h(t - u) du = \int h(u) e(t - u) du = h(t) * e(t) \dots \dots (33)$$

III-12-4 Causalité, stabilité

III-12-4-1 causalité

Un filtre est dit causal si et seulement si à une entrée e nulle pour $t < 0$ correspond une sortie $s = H(e)$ nulle pour $t < 0$, autrement dit si et seulement si $H(t)$ est nulle pour tout $t < 0$. Une telle réponse impulsionnelle H est dite causale.

III-12-4-2 stabilité

Un filtre est stable si pour toute entrée e bornée, la sortie $s = H(e)$ est elle aussi bornée.

III-12-5 Gain complexe, fonction de transfert

III-12-5-1 Gain complexe

On appelle gain complexe du filtre la transformée de Fourier $TF\{h\}(f)$ de la réponse impulsionnelle h , $|TF\{h\}(f)|$ s'appelle le gain en amplitude et $\text{Arg}\{TF\{h\}(f)\}$ le déphasage. Le gain complexe pour l'ensemble des fréquences f caractérise également le filtre, on parle de représentation dans le domaine fréquentiel par opposition à domaine temporel. Ce passage dans

le domaine fréquentiel a pour conséquence de transformer le produit de convolution en un produit classique, c'est le théorème de Plancherel :

$$TF\{H(e(t))\}(f) = TF\{h(t) * e(t)\}(f) = TF\{h(t)\}(f) TF\{e(t)\}(f) \dots \dots \dots (34)$$

Par ailleurs, la représentation fréquentielle permet d'observer l'effet du filtre sur l'entrée. Ainsi, en définissant la Bande passante (Δf) d'un filtre analogique comme l'intervalle $[f_1, f_2]$ dans lequel la quantité $20 \log |TF\{h\}(f)|$ reste supérieur ou égal à une valeur de référence (par exemple -3dB), on distingue les filtres passe bas ($\Delta f = [0, f_1]$), les filtres passent haut ($\Delta f = [f_2, +\infty]$), les filtres passent bande ($\Delta f = [f_1, f_2]$) et les filtres coupe bande ($\Delta f = [0, f_1] \cup [f_2, +\infty]$). Les notations précédentes insinuent que le filtre considéré est réel, son gain complexe est donc symétrique par rapport à l'axe des imaginaires purs : on ne regarde alors généralement que l'intervalle de fréquences $[0, +\infty[$, la représentation sur l'autre moitié d'intervalle s'obtenant facilement par symétrie axiale.

$$TF\{\gamma_s(\tau)\}(f) = |TF\{h(t)\}(f)|^2 TF\{\gamma_e(\tau)\}(f) \dots \dots \dots (35)$$

Où $\gamma_s(\tau)$ est l'auto covariance temporelle du signal $y(t)$. A noter que la définition de $\gamma_s(\tau)$ varie selon que $y(t)$ est déterministe ou non, si le signal est stochastique, il sera supposé stationnaire au sens large.

III-12-5-2 Fonction de transfert, stabilité

On appelle fonction de transfert du filtre H la transformée de Laplace mono latérale de la fonction h , elle se définit ainsi :

$$TL\{h\}(p) = \int h(t) e^{-pt} dt \dots \dots \dots (36)$$

En intégrant sur $[0, +\infty[$

On a alors le théorème de Borel, non sans rappeler celui de Plancherel pour la transformée de Fourier, en supposant que les fonctions $h(t)$ et $e(t)$ sont nulles pour $t < 0$:

$$TL\{H(e(t))\}(p) = TL\{h(t) * e(t)\}(p) = TL\{h(t)\}(p) TL\{e(t)\}(p) \dots \dots \dots (37)$$

La transformée de Laplace a plusieurs utilités, elle sert principalement à étudier les propriétés asymptotiques et de stabilité des filtres analogiques, notamment quand ces derniers sont causaux. Par ailleurs, elle permet par passage à la limite sur l'abscisse de convergence, de calculer les transformées de Fourier qui ne sont pas accessibles directement.

Revenons au problème de stabilité d'un filtre analogique : lorsqu'on a accès à sa fonction de transfert en p , le système est dit stable si cette dernière possède tous ses pôles dans l'ensemble des réels strictement négatifs.

III-13 Filtrage numérique

Soient $e(n) = e(t)$ le signal numérique d'entrée où T est la période d'échantillonnage et $s(n)$ la sortie du filtre. Le système dit numérique, est également caractérisé par la réponse impulsionnelle $H(\delta) = h$ et vérif.

$$S(n) = H(e(n)) = \sum_p h(p) e(n-p) = \sum_p h(n-p) e(p) = h(n) * e(n) \dots \dots \dots (38)$$

Cette formule est parfois appelée formule de « convolution discrète » [09].

III-13-1 Transformée en z et fonction de transfert

Soit $y(n)$, n appartenant à l'ensemble des entiers relatifs, une suite, on lui associe de façon unique la fonction $\{y(n)\} (z) = \sum_{-n} y(n) z^{-n}$ Définie dans le plan complexe C .

On démontre qu'une telle série converge pour $0 \leq R_1 < |z| < R_2 \leq +\infty$. La fonction de transfert du filtre H s'écrit alors :

$$TZ\{h(n)\} (z) = \sum_n h(n)z^{-n} \dots \dots \dots (39)$$

. Elle permet l'étude des propriétés asymptotiques et de stabilité du système.

Par ailleurs, on retrouve le résultat du théorème de Borel dans le cadre de la transformée en z [09]:

$$TZ\{s(n)\} (z) = TZ\{h(n)\} (z) TZ\{e(n)\} (z) \dots \dots \dots (40)$$

III-13-2 Causalité, stabilité

Un signal y est causal si et seulement si $TZ\{y(n)\} (z)$ converge pour $|z| > R_1 \geq 0$. Il est anti-causal si $TZ\{y(n)\} (z)$ converge pour $|z| < R_2 \leq +\infty$. Quant au filtre, il est causal si et seulement si $h(n)$ s'annule pour tout $n < 0$, donc si $TZ\{h(n)\} (z)$ converge pour $|z| > R_1 \geq 0$.

Notons que si un système H est causal, ainsi que son entrée e , alors on a $H(e(n))$ On démontre qu'il est stable si et seulement si $\sum_{n \geq 0} |h(n)| < +\infty$.

Rajoutons que la condition de stabilité portant sur la fonction transfert en z d'un système causal est que tous ses pôles complexes soient de module strictement inférieurs à 1, c'est-à-dire qu'ils se trouvent à l'intérieur du cercle unit [09].

III-14 Filtres Linéaires

III-14-1 Théorie des systèmes linéaires invariants dans le temps ou filtres

Définition : un système peut être considéré comme un dispositif qui transforme un signal d'entrée $e(t)$ en un signal de sortie $s(t)$ [10]. (Figure III.02)



Figure III.02 système linéaires [10].

Un système est qualifié de linéaire s'il respecte les deux propriétés suivantes :

- **Homogénéité** : si pour un signal d'entrée $e(t)$, le système produit un signal de sortie $s(t)$, alors pour tout signal $ke(t)$, le signal de sortie sera $ks(t)$.

$$E(t) \rightarrow s(t) ;$$

$$Ke(t) \rightarrow ks(t) ;$$

- **Additivité** : Si deux signaux $e_1(t)$ et $e_2(t)$ le système produit respectivement en sortie les signaux $s_1(t)$ et $s_2(t)$ alors pour toute entrée du type $e(t) = e_1(t) + e_2(t)$, le système produira la sortie $s(t) = s_1(t) + s_2(t)$ [10].

III-14-2 Les principaux types de filtres (idéaux)

- **Filtre passe-bas**

Par définition, un filtre passe-bas est un circuit offrant un passage aisé aux signaux basse fréquence et un passage difficile aux signaux haute fréquence.

- Filtre passe haut

La définition du filtre passe-haut est un filtre qui ne laisse passer que les signaux dont les fréquences sont supérieures aux fréquences de coupure, atténuant ainsi les signaux de fréquences plus basses. La valeur de la fréquence de coupure dépend de la conception du filtre.

- Filtre passe bande

Un filtre passe-bande (également connu sous le nom de BPF ou filtre passe-bande) est défini comme un dispositif qui autorise les fréquences dans une plage de fréquences spécifique et rejette (atténue) les fréquences en dehors de cette plage.

Simulation d'un test par CND

Les tests par ultrasons (UT) utilisent une énergie sonore à haute fréquence pour effectuer des examens et effectuer des mesures. L'inspection par ultrasons peut être utilisée pour la détection de défauts, l'évaluation, les mesures dimensionnelles, la caractérisation des matériaux, etc.

Un système d'inspection UT typique se compose de plusieurs unités fonctionnelles, telles que le générateur d'impulsions/récepteur, le transducteur et les dispositifs d'affichage.

Un générateur d'impulsions/récepteur est un appareil électronique qui peut produire des impulsions électriques à haute tension. Poussé par le pulseur, le transducteur de divers types et formes génère une énergie ultrasonore à haute fréquence fonctionnant sur la base de la technologie piézoélectrique avec l'utilisation de quartz, de sulfate de lithium ou de diverses céramiques. La plupart des inspections sont effectuées dans la gamme de fréquences de 1 à 25 MHz.

Des couplant sont utilisés pour transmettre les ondes ultrasonores du transducteur à l'éprouvette; les couplant typiques sont l'eau, l'huile, la glycérine et la graisse. L'énergie sonore est introduite et se propage à travers les matériaux sous forme d'ondes et réfléchi par la surface opposée. Un défaut interne tel qu'une fissure ou un vide interrompt la propagation des ondes et renvoie une partie de l'onde ultrasonore.

Méthode acoustique

Il existe deux types différents de méthodes acoustiques :

- (a) l'émission acoustique ;
- (b) impact acoustique technique.

Émission acoustique

Cette technique est typiquement réalisée en sollicitant élastiquement la pièce ou la structure, par exemple, plier une poutre, appliquer un couple à un arbre ou pressuriser un récipient et surveiller les réponses acoustiques émises par le matériau. Lors des changements structurels, le matériau tels que la déformation plastique, l'initiation et la propagation des fissures, la transformation de phase, réorientation des joints de grains, formation de bulles lors de l'ébullition en cavitation, frottement et l'usure des interfaces de glissement, sont à l'origine de signaux acoustiques. Les émissions acoustiques sont détectées avec des capteurs constitués d'éléments céramiques piézoélectriques. Cette méthode est particulièrement efficace pour la surveillance continue des structures porteuses.

Technique d'impact acoustique

Cette technique consiste à tapoter la surface d'un objet et à écouter et analyser les signaux pour détecter les discontinuités et les défauts. Le principe est fondamentalement le même que lorsqu'on tape sur les murs, les bureaux ou les plans de travail à divers endroits avec un doigt ou un marteau et écoute au son émis. Les meules vitrifiées sont testées de la même manière pour détecter les fissures dans la roue qui peut ne pas être visible à l'œil nu. Cette technique est facile à réaliser et peuvent être instrumentés et automatisés. Cependant, les résultats dépendent de la géométrie et de la masse de la pièce, une norme de référence est donc nécessaire pour identifier les défauts.

Dans ce travail on va comprendre le procédé industriel nommé CND, en particulier celui qui utilise les ultrasons, pour cela nous avons générer un signal ultrasonore en utilisant SIMULINK-MATLAB La figure suivante représente la simulation du test d'ultrasonore par Simulink (Matlab), où nous avons crée le signal du test.

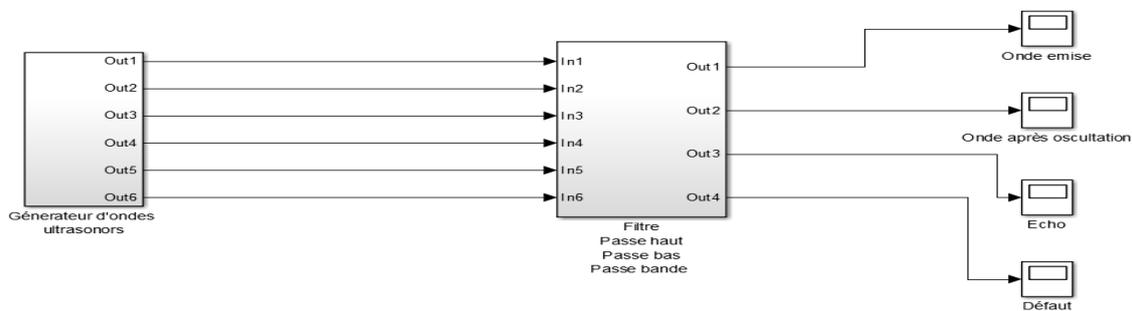


Figure Génration et filtrage du signal ultrasonore simulé.

La figure suivante représente le signal issu du test CND par ultrason. Ce signal se compose de trois parties : l'émission, le défaut et l'écho.

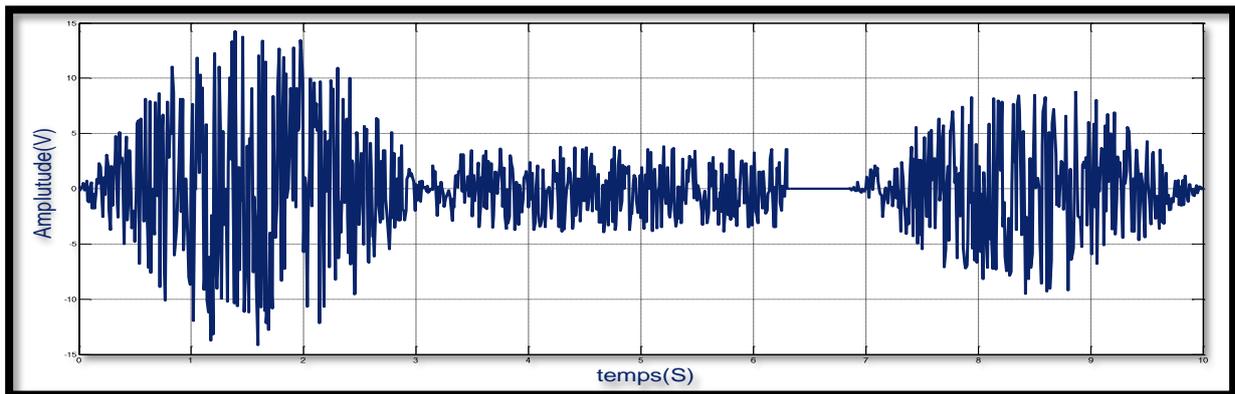


Figure III.1 La forme du signal ultrasonore issu d'un test CND.

Sur le signal de la figures III.1 le signal ultrasonore a détecté un défaut entre [3.15set 6.3s]. L'analyse du signal c'est l'extraction des informations utiles pour les traitées. Le signal doit passer par trois filtres :

Le filtre passe bas : extraire le signal émis voir figure III.2

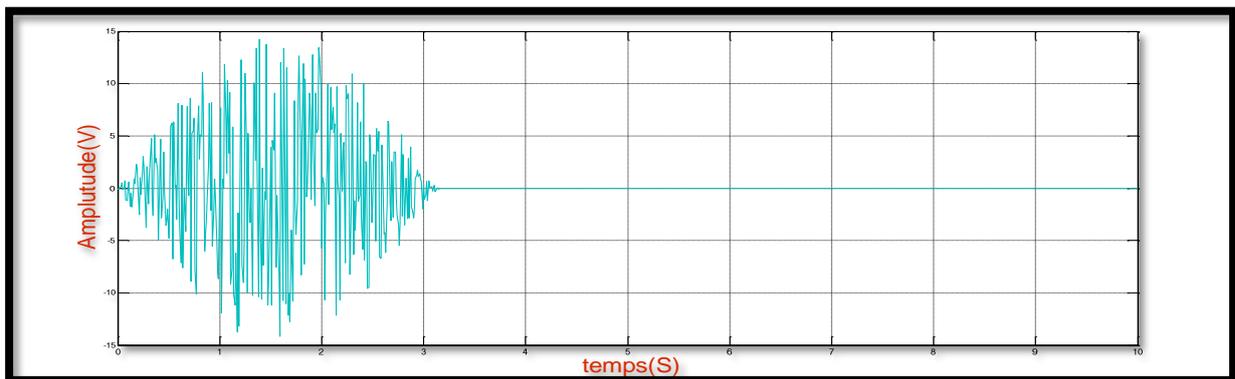


Figure III.2 Signal émis par le palpeur.

Depuis ce signal on peut extraire ces informations (fréquence,Longueur d'onde, la période).

Le filtre passe bande : extraire le signal du défaut voir figure III.3.

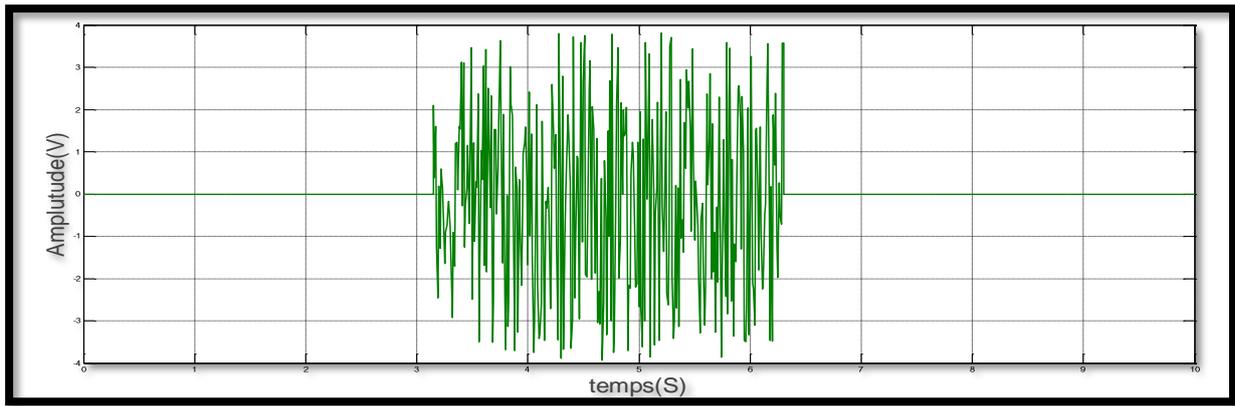


Figure III.3 Signal reflété par le défaut

Le signal du défaut peut contenir des informations qui nous permettent d'étudier les caractéristiques du défaut (fréquence, Longueur d'onde, la période).

Le filtre passe haut : extraire le signal du retour (écho du fond de la pièce). Représenté sur la figure III.4

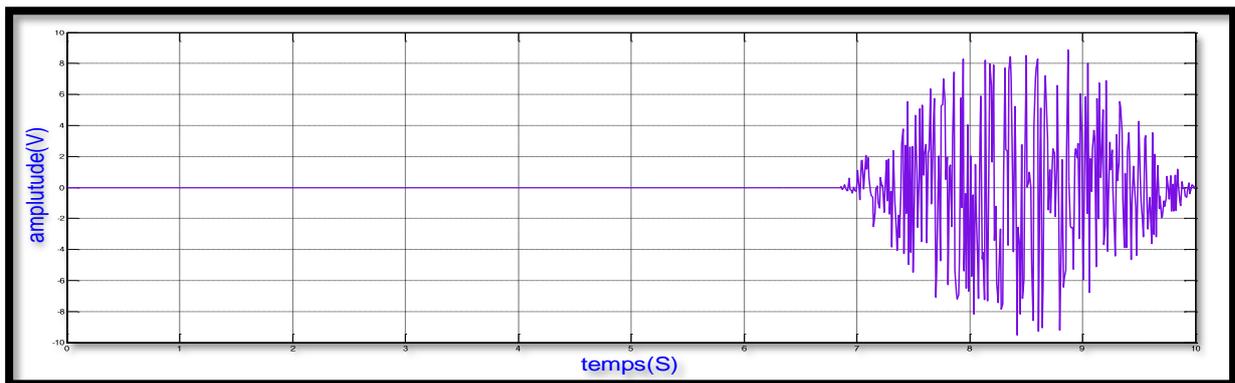


Figure III.4 signal d'écho

D'après les figures précédentes on remarque ce qui suit :

- L'amplitude du signal émis est la plus élevée ;
- Le signal en traversant la pièce à ausculter perd de l'énergie ce qui explique la diminution de l'amplitude du signal de défaut ainsi que le signal d'écho.

L'étape suivante est l'étude spectrale.

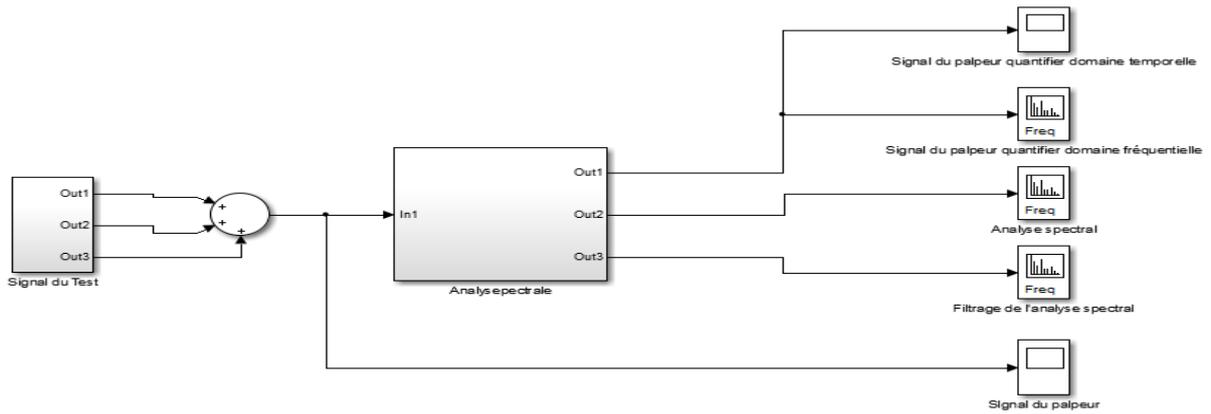


Figure III.5 Bloc d'analyse spectrale du signal issu palpeur ultrasonore.

Après le filtrage du signal d'auscultation on va faire une analyse spectrale les résultats seront illustrés sur les figures suivantes où nous avons effectué une étude dans le domaine fréquentiel afin d'extraire des informations de chaque signal pour nous permettre d'identifier le défaut.

Le signal émis:

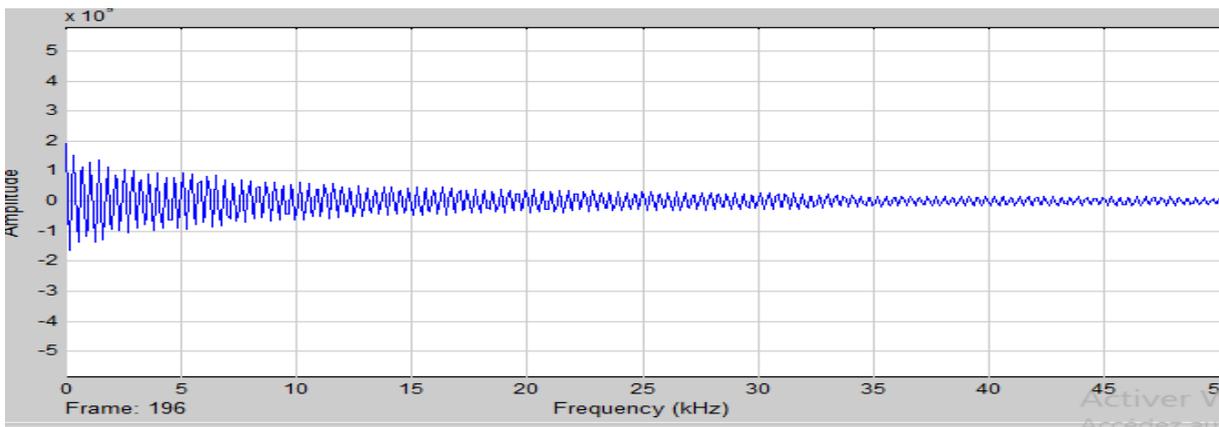


Figure III.6 analyse fréquentielle du signal émis dans le domaine continu.

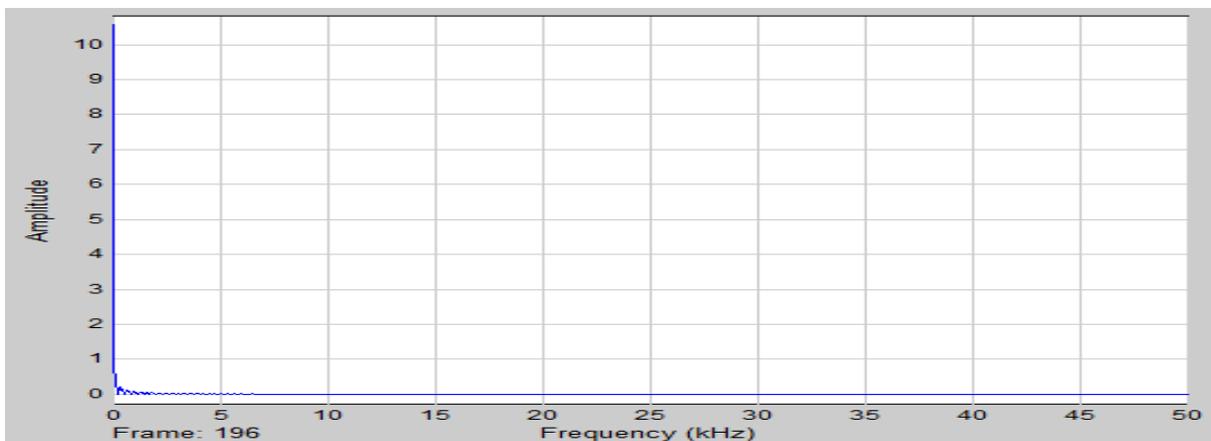


Figure III.7 analyse fréquentielle du signal émis dans le domaine discret.

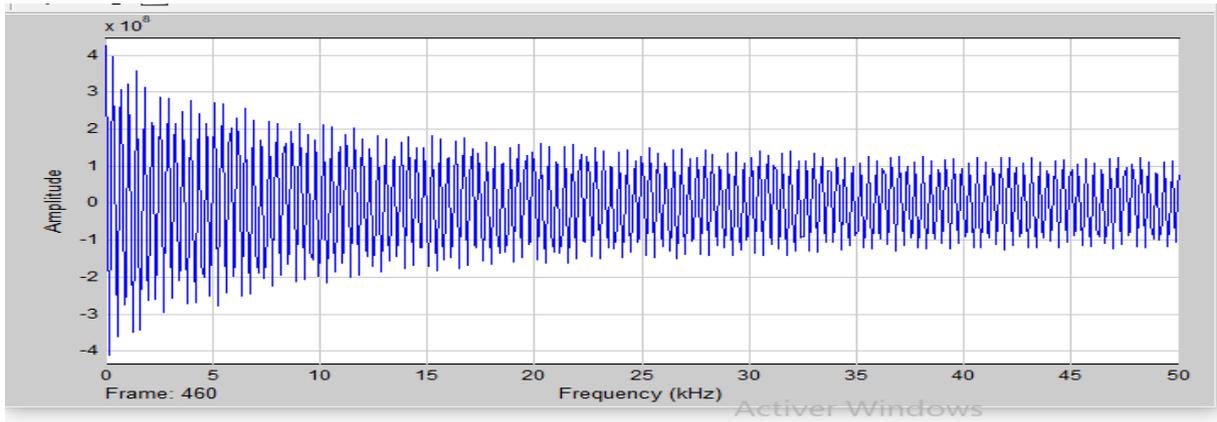


Figure III.8 analyse fréquentielle du signal défaut dans le domaine continu.

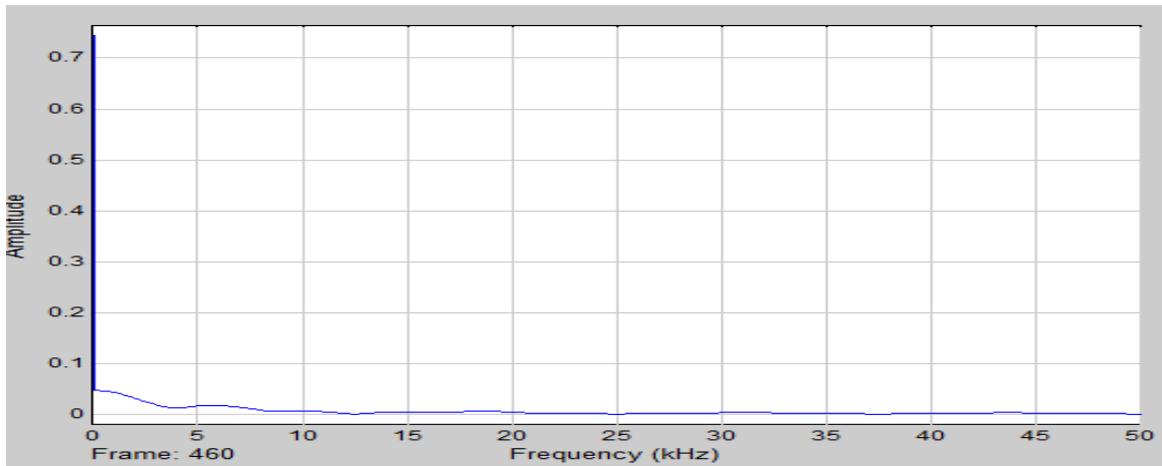


Figure III.9 analyse fréquentielle du signal défaut dans le domaine continu.

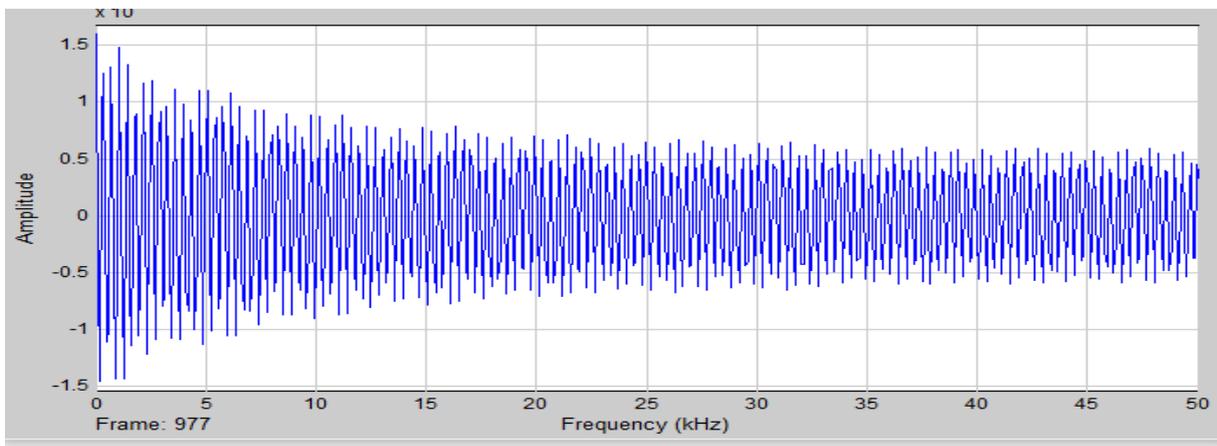


Figure III.10 analyse fréquentielle du signal écho dans le domaine continu.

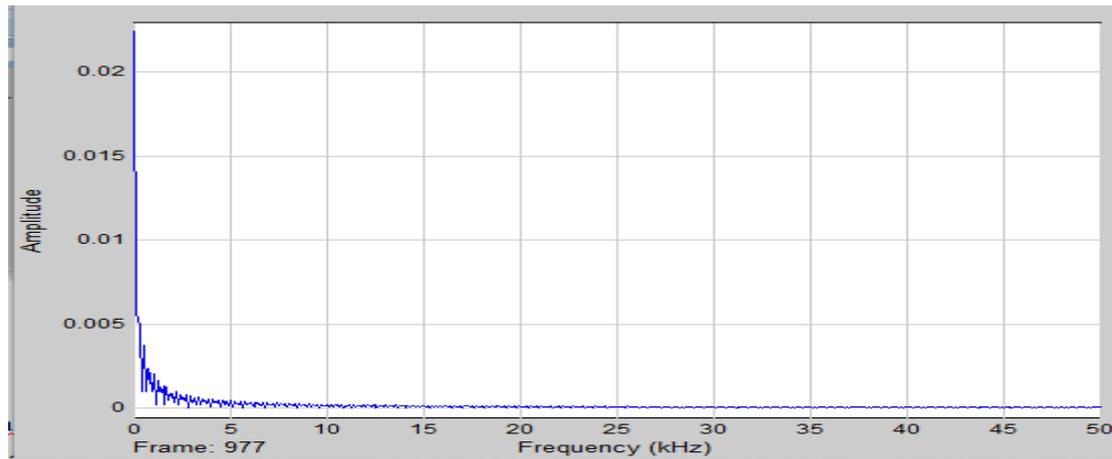


Figure III.10 analyse fréquentielle du signal écho dans le domaine continu.

Interpretation des résultats

L'amplitude du signal diminue au cours du temps à cause des frottements qui amortissent les oscillations du au passage des ondes ultrasonores à travers la matière. Ainsi, c'est sûr que le signal ne va pas changer la vitesse de propagation parce que le milieu n'a pas changé, ce qui a été affecté c'est bien la fréquence et l'amplitude, ces deux paramètres vont nous permettre d'identifier les défauts.

Le problème qu'on a rencontré c'est le manque de données réelles d'auscultation malgré que nous avons effectué un stage pratique au complexe Elhadjar mais le service n'a pas pu nous fournir les données dont on a besoin et cela pour aller plus loin dans ce sujet.

Conclusion

Dans ce chapitre nous avons simulé une auscultation d'un test CND par ultrason dans le but de préparer l'outil de travail sur lequel on va se baser dans notre étude des ondes ultrasonores propres au défaut détectés dans ce type de procédés, le manque de données réelles nous a empêché de pouvoir aller jusqu'au bout.

Conclusion

Général

L'objectif de ce travail était la réalisation et l'utilisation d'une technique de contrôle non destructif capable de distinguer les principaux types de défauts se produisant dans un matériau. La méthodologie utilisée consistait en l'analyse des signaux de palpeur reçus lors d'essais CND par ultrasons. L'étude consistait à extraire les caractéristiques spectrales du signal (dans notre cas les fréquences émises et reçues), puis passer à la phase de reconnaissance et cela à travers la base de données acquise dans les tests des données de base dont on reconnaît le défaut.

La reconnaissance de défaut par ultrasons disponible actuellement presque dans tous les domaines industriels. Nous avons pris les CND par ultrasons comme application dans notre mémoire, l'idée de reconnaissance de défaut peut être appliquée comme dans le domaine médical (tumeur, fracture,), comme dans L'archéologie (détection de défaut dans les antiquités,), et encore dans le Génie civil (défauts dans les structures soit fabriqué en béton soit en charpente...).

Il convient d'emblée d'en mesurer les limites, si l'on veut comprendre pourquoi le contrôle non destructif fait appel à de nombreuses règles et données empiriques qu'il est indispensable de prendre en compte pour définir ou exécuter un examen satisfaisant. Ainsi, l'aspect spectral est à considérer : les bases théoriques prennent le cas simple du rayonnement monochromatique alors qu'en pratique le rayonnement possède un spectre plus ou moins complexe (rayonnements ionisants) et de largeur de bande importante (ultrasons). L'aspect homogénéité et isotropie du matériau engendre les mêmes difficultés de passage de la théorie à la pratique, d'autant que l'on a de plus en plus souvent affaire à des matériaux de structure complexe.

Ce que nous reconnaitre comme problèmes dans ce travail c'est la disponibilité d'une base de données fiables qui doit nous permettre d'avancer dans nos recherches.

A la fin ce qui rest c'est le choix d'une méthode d'intelligence artificielle tel logique floue ou réseau de norme ou même l'algorithme génétique pour créer une base de données de défauts reconnue.

Références

- [01] Thèse doctorat présenter par Hamel Mazaine (étude et caractérisation des fissures fines en évaluation non destructif)
- [02] Mémoire Master Belacel bahe eddine et Bouchria soufyane (Contrôle des joints de Soudure des pipelines par ultrasons).
- [03] Technique d'ingénieure.
- [04] Dr. Badidi Bouda Ali ; Dr Draï Redouane (Le Contrôle Non Destructif (CND) Des matériaux par ultrasons NIVEAU II).
- [05] Hadj Brahim Boujemaa ISET Siliana 2017/2018 (contrôle non destructif).
- [06] Documentation de stage complexe Hadjar Annaba.
- [07] -Mlle.CHOUIKH Messaouda Mémoire de fin d'études
MASTER (Contrôle non destructif des joints de soudure des pièces métalliques par ultrasons)
- [08] Mémoire Master MERDES Mohamed Seghir Khaldoune (ÉTUDE COMPARATIVE DES EPAISSEURS DES TUBES SANS SOUDURE AVANT ET APRES TRAITEMENT PAR ULTRASON)
- [09] Cour filtrage www.google.com
- [10] prof SD. Bennani génie des Télécommunication et réseaux ENSA de Fès (Filtrage des Signaux analogique).
- [11] Rappel traitement de signal (T. dumartin)
- [12] cours de G. Pellerin (téléchargeable à l'adresse <http://files.parisson.com/CNAM/Signal-CPDA-CNAM.pdf>).
- [13] Cours de Dr Essid Chaker.
- [14] www.google.com.
- [15] Soudani Med Salah Magister (CONTRÔLE NON DESTRUCTIF PAR ULTRASON)
Thèse doctorat présenter par Hamel Mazaine (étude et caractérisation des fissures fines en évaluation non destructif)

Résumé

يعتبر الاختبار الغير متلف من اهم الاختبارات التي تساعد في اكتشاف الاخطاء والمشاكل في مجالات مختلفة ومتعددة خاصة المجال الصناعي باستعمال طرق مختلفة تذكر منها الفحص البصري اختبار الاختراق الفحص بالجسيمات المغناطيسية (طريقة المغنطة) والتصوير الاشعاعي. ومن بينها الموجات فوق الصوتية لايجاد الشوائب وكذلك الفجوات لذلك يجب ان تكون منهجية جيدة من خلال معطياتها يمكن التعرف على هذه الفجوات ورصد مكانها بدقة.

Le contrôle non destructif est l'un des tests les plus importants, qui permettent de découvrir les défauts et les épaisseurs dans plusieurs domaines, sur tout le domaine industriel, en utilisant différentes méthodes, notamment l'examen visuel, contrôle par ressuage, magnétoscopie (méthode de magnétisation) et la radiographie. Ce sont des ondes ultrasonores pour trouver les impuretés ainsi que les lacunes, il doit donc être C'est une bonne méthodologie et grâce à ses données, il est possible d'identifier ces lacunes et de surveiller leur emplacement avec précision.

The non-destructive test is one of the most important tests that help discover errors and problems in various fields, especially the industrial field, using different methods, including visual examination, penetration test, examination by magnetic particles (magnetization method) and radiography. Among them are ultrasound waves to find impurities as well as gaps, so it must be It is a good methodology and through its data it is possible to identify these gaps and monitor their location accurately.