

République algérienne démocratique et populaire
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche
scientifique

Univercite ahmed doraya - adrar
Faculte des sciences et de la technolodie
Département de génie
Electrique



Mémoire

En vue de l'obtention du diplôme de master

Option : reseaux electrique

Prepare par : kada karim et gharabi tayab

theme

Contrôle non destructif

soutenu le 04/06/2018 devant le jury

president : abdekader tazi

examineur : daho brahim

encadrer par : kossa khaled

année universitaire : 2017/2018



Remerciements :

*A travers ce modeste travail , nous tenons à
remercier*

DIEU tout puissant

Nos encadreur avec leur idées

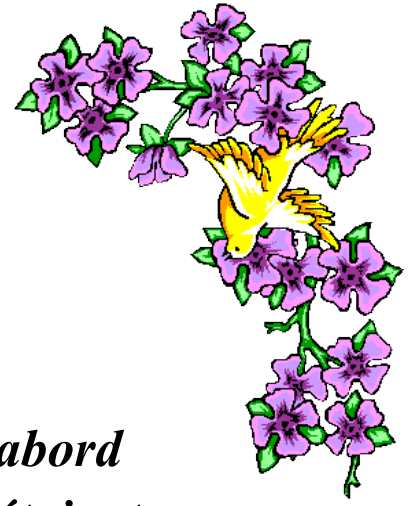
Nos parents avec leur soutien moral

Et tout ceux qui nous ont aidés de près ou de loin

*Gharabi tayab
KADA Karim*



Dédicace



*Je dédie ce modeste travail tout d'abord
à mes très chers parents adoré qui étaient
toujours présent à mes cotés et m'ont encouragé.*

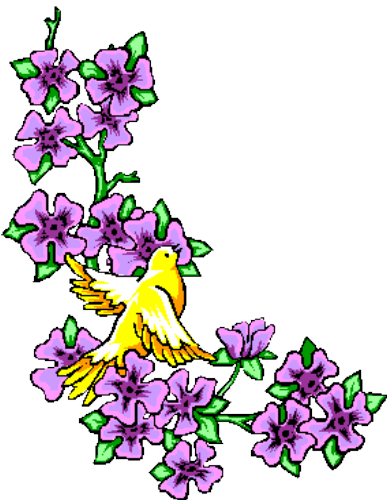
A mes chers frères et sœurs adorés.

Mes cousins.

*A mes amis de ENSET et surtout
«H.el hasni, H.abdeldjalil, GH.tyabe
A.abdellah ...»*

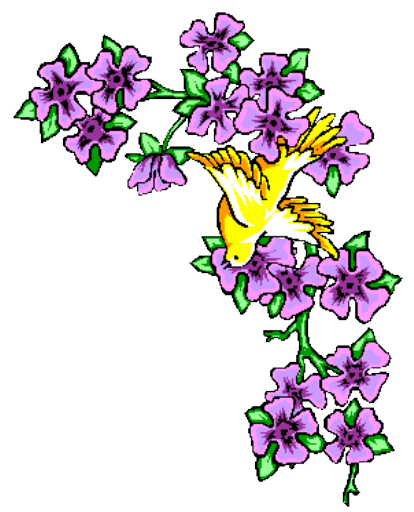
Mon frère et binome « kada Karim ».

*A tout les etudiants de MENIAA qui etudier à
ORAN*



Gharabi tayab

Dédicace



*Je dédie ce modeste travail tout d'abord
à mes très chers parents adoré qui étaient toujours
présent à mes cotés et m'ont encouragé.
à mes chers frères(djamel,chaaben) et sœurs(fozia,
zobida, milouda et elcatcouta ilhame) adorés.*

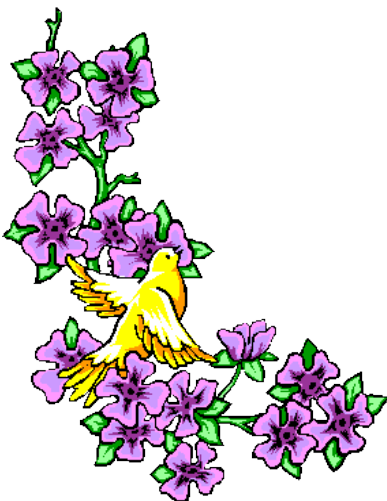
Mes cousins.

à mes oncles et surtout « mansour»

à mes amis de ENSET et surtout

*«A.belabbes, M^{ed}.chahad, I.khaloul, M^{ed}.khairani H.el
hasni, H.abdeldjalil, GH.tyabe A.abdellah,
D.azedine ...»*

Mon frère et binome « g - tayab».



KADA KARIM

Sommaire

Chapitre I	page
1- Introduction	2
2-l'avantage de cnd	3
3- Différents types de défaut	5
Chapitre II	
4-1-contrôle visuel:	8
4-1- 1-Introduction	8
4-1-2-l'evaluation des defauts de forme	8
4-1-3-les materiels de contrôle visuel	8
4-1-4-Les matériels électroniques de contrôle	9
4-1-5-Le matériel de contrôle de débit de gaz	10
4-1-6- Conditions de réalisation du contrôle visuel	10
4-1-7- Les différents défauts rencontrés en visuel sur bout à bout	11
4-1-8 - Les différents défauts rencontrés en visuel sur assemblage d'angle ...	12
4-1-9- Les matériels de mesure pour évaluer les défauts de forme	12
CHAPITREIII	
2 Le ressuage:	<i>Error! Bookmark not defined.</i>
4-2-1-principe	<i>Error! Bookmark not defined.</i>
avantage /inconvenints	14
Domaine de d'aplication	15
Defauts rencontrees en fabrication	15
Defauts rencontrees au cours des operation de maintenance <i>Error! Bookmark not defined.</i>	
4-2-2-methode d'application	<i>Error! Bookmark not defined.</i>
CHAPITREIV	
4-3-contrôle par magnetoscopie	21
4-3-2-Méthode de magnétisation	<i>Error! Bookmark not defined.</i>
4-3-3- Produit révélateur	<i>Error! Bookmark not defined.</i>
4-3-4-Démagnétisation	<i>Error! Bookmark not defined.</i>
4-3-5-Interprétation des indications	<i>Error! Bookmark not defined.</i>
5-3-6-Critères d'acceptation	<i>Error! Bookmark not defined.</i>
Chapitre V	
4-4-contrôle par ultrasons	26
1. Historique:	26
2. Fonctionnement d'un appareil à ultrason	27
3. Production des ultrasons	33
4. Différents types d'ondes	35
5. Propagation des ultrasons	36
6.Méthodes de Contrôle	39
7.contrôle par immersion	41
Chapitre VI	

contrôle par radiographie.....	Error! Bookmark not defined.
1. Introduction.....	43
2. Les Rayonnements Electromagnétiques.....	43
3. Production des rayons X.....	43
4. Appareillage.....	44
5. Différents types de tubes et géométrie du faisceau.....	48
6. Propriétés des rayons X.....	49
7. Choix de la distance foyer-film.....	52
Chapitre VII.....	
8-Contrôle par Rayon gamma.....	54
8.1. Découverte de la radioactivité naturelle.....	54
8.2. L'appareillage.....	55
8.3. Isotopes.....	57
8.4. Radioactivité.....	57
8.5. Activité:.....	59
8.6. Technique exposition.....	62
8.7. Technique radiographique.....	63
conclusion.....	69

*generalites sur contrôle non
destructif*

1- Introduction :

Le terme essai non destructif est utilisé pour désigner d'une façon générale toutes les méthodes qui permettent l'essai ou l'examen d'un matériau sans en altérer son utilisation future. Du point de vue industriel le but de ces essais est de déterminer si un matériau ou une pièce remplira d'une façon satisfaisante la fonction qui lui sera demandée.

On peut réaliser un produit ayant des propriétés déterminées et répondant à des exigences de qualité nécessaires ; mais ces dernières ne peuvent pas être inspectées dans le produit. Le but principal d'un examen non destructif est de déterminer la qualité ou l'état d'un matériau, avec l'intention d'accepter ou de rejeter ce dernier. Il n'existe pas de matériaux industriels absolument parfaits et sains. Tout essai non destructif correctement appliqué peut dire si le bon état relatif d'un échantillon correspond à des tolérances données.

En utilisant les méthodes et techniques d'essai non destructif, il a été possible de diminuer le facteur d'ignorance sur un matériau, sans diminuer le facteur de sécurité du produit fini, les consommateurs demandent des produits meilleurs, des prix plus faibles, des productions plus grandes. L'utilisation des essais non destructifs a été de plus en plus reconnue par les fabricants, comme étant un moyen de satisfaire ces désirs.

L'art et la science des essais non destructifs sont très anciens. L'exemple historique probablement le plus fameux et le plus connu, est celui d'Archimède et de la couronne de Hiéron. En réalisant un essai pour déterminer si le roi avait été escroqué par les orfèvres, Archimède découvrit le principe qui porte maintenant son nom. L'art de l'essai non destructif est utilisé dans bien des métiers, sans même être considéré comme tel. Le marchand de primeurs, par exemple, réalise un essai non destructif, quand il peut dire si une pastèque, melon est mûr en le tâtant.

Comme son nom l'indique, le Contrôle Non Destructif a pour objectif de mettre en évidence les défauts, tout en préservant l'intégrité des produits contrôlés, et concernant exclusivement la santé de la matière et consiste à rechercher les défauts internes des structures, matériaux, pièces et assemblages. Les techniques de CND sont utilisées en

contrôle qualité pour s'assurer de la qualité d'une production, puis de garantir la tenue en service des pièces et des ensembles fabriqués.

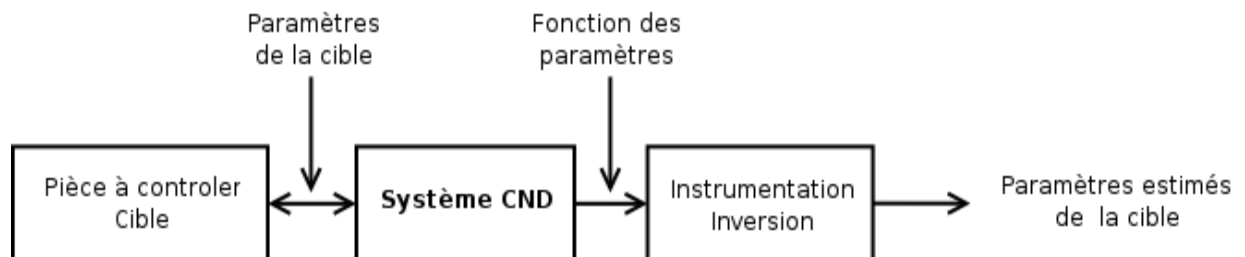
Presque toutes les formes d'énergie sont utilisées dans l'essai non destructif. De même, presque toutes les propriétés des matériaux à inspecter sont à la base de quelques méthodes et techniques d'essai non destructif.

Les techniques de CND sont nombreuses. Citons:

- Contrôle visuel.
- le ressuage.
- la magnétoscopie.
- les ultrasons.
- la radiographie.

Principes généraux

Quelle que soit la méthode adoptée, on peut représenter la mise en œuvre d'un système CND suivant le synoptique suivant :



La cible se caractérise par un ensemble de paramètres que l'on va chercher à estimer afin de former un diagnostic d'intégrité. La mise en œuvre d'un système CND adéquat va permettre de produire un certain nombre de signaux qui sont fonction des paramètres recherchés. Une étape « d'inversion », plus ou moins compliquée, est bien souvent nécessaire afin de retrouver les paramètres initiaux de la pièce.

- Différents types de défauts:

Il est possible de répertorier un grand nombre de défauts. Cependant, suivant la nature de la pièce, du matériau, la manière dont elle a été travaillée ou traitée, nous pouvons présumer du ou des défauts qui peuvent s'y trouver. Par les essais non destructifs, il est possible de déceler:

- des défauts inhérents à la matière première.
- des défauts introduits lors de l'usinage du matériau.

- des défauts apparus pendant la période d'utilisation du matériau.

Parmi tous ces défauts, nous pouvons citer:

.1. Les fissures: sources importantes de défauts, peuvent apparaître en un grand nombre d'endroits, et elles peuvent se propager dans un grands nombre de directions. Leur détection et leur analyse sont capitales car elles permettent, d'en connaître les origines et d'en apprécier les causes. L'apparition de fissures peut être du à un échauffement avant ou pendant la trempe, a une contraction causée par un refroidissement trop rapide, mais aussi par moulage, forgeage, laminage mal exécuté, etc.

.2. Les soufflures: sont des cavités formées par du ou des gaz emprisonnés durant le processus de solidification dans le matériau. Elles peuvent avoir des formes variées, sphériques, ovales, mais aussi elles peuvent se présenter sous forme de galeries perpendiculaires aux parois du moule. Leurs tailles varient dans de larges proportions. La forme et la position de ces soufflures sont déterminées par le mode de solidification et l'origine des gaz. Elles sont parfois disposées en arête de poisson. La soufflure superficielle est plus nuisible que la soufflure interne, car l'oxydation par l'air du métal en surface peut amener d'important défauts: en effet, une fois oxydée, la soufflure ne peut plus être supprimée par laminage.

.3. Les piqures: sont des petites soufflures visibles seulement au microscope.

.4. Les flocons: sont des inclusions gazeuses d'hydrogène.

.5. Les retassures: sont des cavités dues au retrait du métal au moment de la solidification. Leur aspect nuisible est du au fait que la surface de la retassure, oxydée par l'air ne peut être soudée ou laminée: il faut alors écarter une portion considérable du lingot qui ne peut être travaillé.

.6. Les inclusions: impuretés solides emprisonnées dans la masse de métal fondu, peuvent être éliminées avant le laminage par exemple, car elles seraient étirées dans la direction du travail mécanique, et elles peuvent dans certains cas provoquer une diminution de la résistance transversale du matériau. Dans l'acier traité thermiquement, elles peuvent être à l'origine de fissures de trempe par exemple.

3.7. Les criques: sont des déchirures internes dues à la faiblesse centrale du lingot ou à des conditions d'écroutissage trop dures. Elles peuvent donner naissance à des déchirures beaucoup plus importantes lors du forgeage ou de laminage.

.8. Les dédoubleures: proviennent du laminage des inclusions, Ce sont donc des défauts plans dont la surface peut être grande.

.9. Les autres défauts: sont très nombreux: pour les soudures, on peut trouver, un manque de fusion, manque de pénétration, manque d'épaisseur, effondrement, manque de liaison, fissure de fatigue, morsures, caniveau...etc.

Et les défauts accidentels, défauts dus aux effets de choc aux surchauffes...etc.

Contrôle

visuel

4- les différents types de contrôle non destructif:

4.1 Contrôle visuel:

Dans la méthode visuelle, l'échantillon d'essai est éclairé par les rayons lumineux, généralement dans le domaine visible. L'échantillon est ensuite observé à l'œil nu, ou à l'aide d'un instrument optique, ou bien avec tout autre système sensible à la lumière, comme par exemple, une cellule photoélectrique. L'examen visuel n'est pas toujours considéré comme une méthode d'essai non destructif.

Non seulement l'examen visuel est l'essai le plus ancien et le plus simple, mais aussi il révèle quelquefois des défauts qui ne sont pas facilement détectés par d'autres essais.

.1.1 - Introduction

Le contrôle visuel selon l'EN 970 du cordon de soudure est obligatoire pour les essais de qualification de soudeur selon l'EN 287-1 de 2004 et les essais de qualification de mode

opérateur de soudage selon l'EN 15614-1.

.1.2 - L'évaluation des défauts de forme

L'EN 12062 définit que les défauts de forme sont évalués selon la norme EN ISO 5817. selon le niveau de qualité B sauf pour les surépaisseurs excessives, les convexités excessives, les gorges excessives et les excès de pénétration qui sont évalués selon le niveau de qualité C uniquement pour la qualification de soudeur.

.1.3 - Les matériels de contrôle visuel

a - La lampe stylo

La lampe stylo permet d'éclairer l'intérieur des tubes et d'assurer la vision du cordon de pénétration. En lumière rasante, la lampe stylo révèle les défauts de forme comme les morsures et les caniveaux en bord de cordon.



b - Le miroir d'inspection

Le miroir d'inspection est l'outil indispensable du contrôleur et du soudeur de tuyauterie. Il permet de contrôler visuellement les intérieurs de tubes de $\varnothing > 25$ mm.



c - La loupe éclairante

La loupe éclairante permet de grossir les détails et de distinguer des défauts de surface très fins sur les cordons de soudure comme des piqûres ou des fissures.



.1.4 - Les matériels électroniques de contrôle

a- Le multimètre avec pince ampère métrique Le multimètre est l'outil indispensable pour le contrôleur et l'inspecteur en soudage. Il permet de contrôler l'intensité de soudage et la tension de soudage. Ce type de matériel électronique doit être vérifié et étalonné périodiquement.



b- Le thermomètre avec sonde de contact



Le thermomètre permet de vérifier la température ambiante, la température d'étuvage, la température de préchauffage avant soudage, la température entre passes, la température de post chauffage. Ce type de matériel électronique doit être vérifié et étalonné périodiquement.

.1.5 - Le matériel de contrôle de débit de gaz

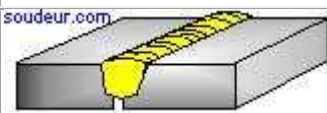
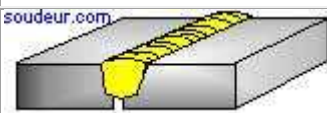



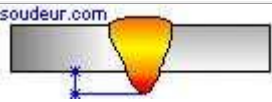



Le débit du flux gazeux de protection à la torche et en protection envers doit être vérifié avec un rotamètre à bille. Le rotamètre à bille doit être calibré selon le type de gaz de protection utilisé.

.1.6 - Conditions de réalisation du contrôle visuel

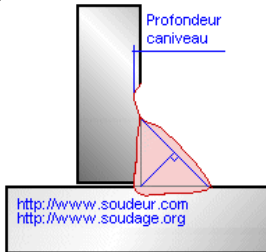
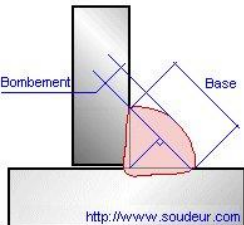
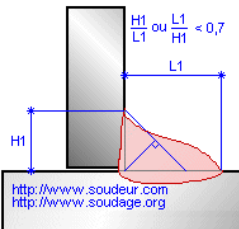
Le contrôle visuel et dimensionnel doit être réalisé sous une luminosité de 350 lux minimum (recommandé : 500 lux sur la surface de la pièce). L'oeil de l'observateur doit être placé à une distance inférieure à 500 mm de la surface à examiner sous un angle supérieur à 30°. L'acuité visuelle du personnel de contrôle doit être vérifiée tous les ans (visite médicale).

.1.7- Les différents défauts rencontrés en visuel sur bout à bout

Référence	Désignation	Illustration	Limites des défauts
401	MANQUE DE FUSION		Non autorisé
4021	MANQUE DE PÉNÉTRATION		Non autorisé
5011	CANIVEAU		Profondeur \leq 0,05 x l'épaisseur soudée avec maxi de 0,5 mm - Transition douce
5012	MORSURE		Profondeur $<$ 0,05 x l'épaisseur soudée avec maxi de 0,5 mm - Transition douce
502	SURÉPAISSEUR EXCESSIVE (soudure bout à bout)		Hauteur \leq 0,15 x la largeur du cordon externe de soudure + 1 mm avec maxi de 7 mm
504	EXCÈS DE PÉNÉTRATION (soudure bout à bout)		Hauteur \leq 0,6 x la largeur du cordon de

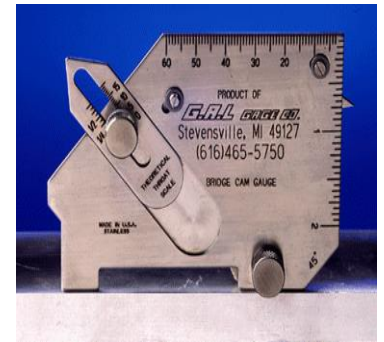
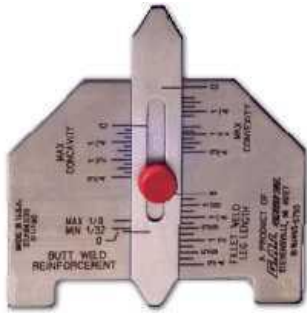
			pénétration + 1 mm avec maxi de 4 mm
511	MANQUE D'ÉPAISSEUR (soudure bout à bout)		Profondeur \leq 0,05 x l'épaisseur soudée avec maxi de 0,5 mm - Transition douce

.1.8 - Les différents défauts rencontrés en visuel sur assemblage d'angle

Référence	Désignation	Illustration	Limites des défauts
5011 5012	CANIVEAU / MORSURE		Profondeur \leq 0,05 x l'épaisseur soudée avec maxi de 0,5 mm - Transition douce
503	CONVEXITÉ EXCESSIVE (soudure d'angle)		Hauteur du bombement \leq 0,15 x la base du cordon avec maxi de 4 mm
512	DÉFAUT DE SYMÉTRIE EXCESSIVE (soudure d'angle)		Longueur ou hauteur \leq 0,15 x la gorge du cordon + 1,5 mm. Pour une gorge de 7 mm la différence de hauteur ne doit pas dépassée 2,55 mm

.1.9- Les matériels de mesure pour évaluer les défauts de forme

Il existe différents dispositifs de mesure qui permettent de contrôler et d'évaluer les excès de métal déposé.



Le ressuage

.2 Le ressuage:

Le contrôle par ressuage permet de localiser les discontinuités telles que repli, plis, tapure, porosité et fissures ouverts débouchant à la surface de la pièce examinée. Les techniques de ressuage peuvent être utilisées quelles que soient les propriétés physiques des matériaux pourvu que la surface soit normalement non absorbante.

.2.1. Principe:

Le contrôle par ressuage consiste à appliquer sur la surface à contrôler préalablement nettoyée et séchée, un liquide d'imprégnation colorée fluorescente. Le liquide pénètre, en particulier par capillarité, dans les ouvertures des défauts ; la vitesse et l'étendue de cette pénétration dépendent des conditions telles que : tension superficielle, cohésion du liquide, adsorption et viscosité, elles sont également affectées par d'autres facteurs comme le temps, la température, l'état de surface du matériau et de l'intérieur du défaut

Après un certain temps correspondant à la pénétration du liquide d'imprégnation dans les défauts, l'excès de liquide présent à la surface de la pièce est ensuite éliminé par lavage. La surface est ensuite séchée puis recouverte d'un révélateur qui en attirant le

Liquide d'imprégnation retenue dans les défauts donne une indication renforcée de ceux-ci.

a- Avantages :

- Simplicité de mise en œuvre.
- Prix modique dans une application manuelle.
- Localisation des défauts de surface et appréciation de leur longueur.
- Possibilité d'automatisation.

b- Inconvénients:

- Pas de détection de défauts internes.
- Pas d'appréciation de la profondeur des défauts.
- Interprétation délicate.
- Non utilisables sur les matériaux poreux.

c-Domaine d'application:

- Contrôle de soudures, entre passe à la température de préchauffage des pièces.
- Contrôle à la température inférieure à 10°C.
- Vérification en maintenance des réservoirs d'oxygène dans les fusées (produis à base aqueuse).
- Contrôle sur béton.
- Contrôle sur matériaux composites s en complément du contrôle par ultrason.

Il est possible, par exemple, de mettre en évidence.

- Des traces de retassures ouvertes par meulage ou de reprise de coulée sur les pièces brutes de fonderie ayant un état de surface très moyen.
- Des criques de rectification sur les pièces finement usinées.
- Des fissures de fatigue sur une installation en service.

d-Défauts rencontrés en fabrication :

1. **Pièces moulées** : reprise de fonderie, crique, porosités, gouttes froides, retassures, tapures.
2. **Pièces forgées** : criques, déchirures (éclatement), repliures, inclusions.
3. **Pièces traitées thermiquement** : criques, tapures, fissures.
4. **Pièces usinées** : crique de rectification.
5. **Pièces soudées** : piqûres, retassures de fin de passes, inclusion, fissures, criques, caniveaux.
6. **Pièces rechargées** : criques, inclusion, piqûres, fissures apparaissant dans le métal rapporté par soudage.

e-Défauts rencontrés au cours des opérations de maintenance :

- Criques de chocs mécaniques, criques de fatigues
- Fissuration due à des causes diverses.
- Corrosion sous tension, par exemple de certains aciers en présence de l'ammoniac.

.2.2 Méthode d'application:

a-Préparation de la surface:

La surface à tester doit être préparée en fonction de la dimension des indications les plus fines que l'on veut prendre en compte.

Pour évaluer l'état de surface, on utilise la méthode viscontienne : comparaison à l'œil, et au de la surface à contrôler avec une plaque témoin de rugosité connue.

b- Le nettoyage

Il peut se faire en deux phases :

1- Nettoyage préalable : élimination des contaminants tels que les débris métalliques, la calamine, les oxydes métalliques, etc.

2- Dégraissage: Avant d'application le pénétrant, il convient de dégraisser la surface à examiner. Cette opération peut s'effectuer au moyen de solvants liquides, de solvants vapeur appropriés ou de détergents alcalins inhibés. Dans ce dernier cas, elle est complétée par un rinçage à l'eau.

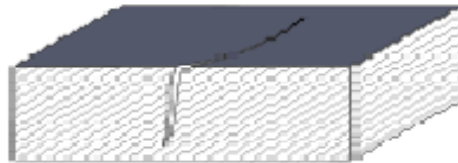


Figure 1: Coupe d'un matériau comportant un défaut débouchant type fissure

c- application du pénétrant:

1- Température d'application: La température de la surface d'essai et du doit demeure comprise entre +10 °C à 50 °C .on peut par accord préalable entre les parties cernées, retenir d'autres températures (et d'autres temps d'imprégnation voir (33). la température doit être maintenu dans les limites prescrites par la spécification particulière ou le mode opératoire.

2- Méthode d'application: La surface à examiner doit être constamment mouillée de façon complète par le pénétrant. Celui-ci peut être appliqué au pinceau, par pulvérisation, par arrosage ou par immersion de la pièce.

3- Durée d'imprégnation: La durée d'imprégnation de la surface à examiner ne doit pas être inférieure à celle recommandée par le fabricant du pénétrant. Cette durée peut être déterminée par un essai préliminaire. Elle est en général comprise entre 5minutes et 1 heure. Plus le temps d'imprégnation est long, plus les discontinuités fines et étroites peuvent être misse en évidence.

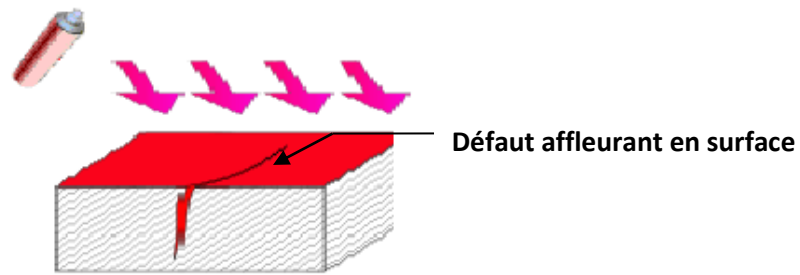


Figure 2: schéma représente l'application du pénétrant sur la pièce à contrôler

d- Elimination de l'excès de pénétrant:

Après un temps d'imprégnation suffisant, la pellicule superficielle de pénétrant doit être éliminée par moyen approprié : solvant, eau émulsifiant et l'eau

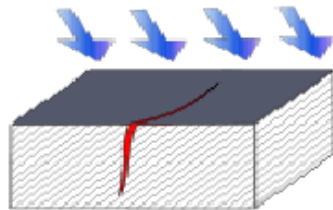


Figure 3: schéma représente Le pénétrant est éliminé par lavage.

e- Séchage avant application de révélateur:

La plupart des révélateurs nécessitent un séchage de la surface sur laquelle ils seront appliqués. Le séchage peut s'effectuer de diverse façon :

Par évaporation naturelle à température ambiante.

Par contact d'air chaud.

Par essuyage avec du papier « Joseph » ou un chiffon sec blanc propre et non pelucheux Par jet d'air comprimé déshydraté et déshuile.

f- application du révélateur:

Sur la surface d'essai immédiatement après séchage, un révélateur compatible avec doit être appliqué en une couche mince et uniforme.

Les accumulations et les surépaisseurs de poudre doivent être évitées .

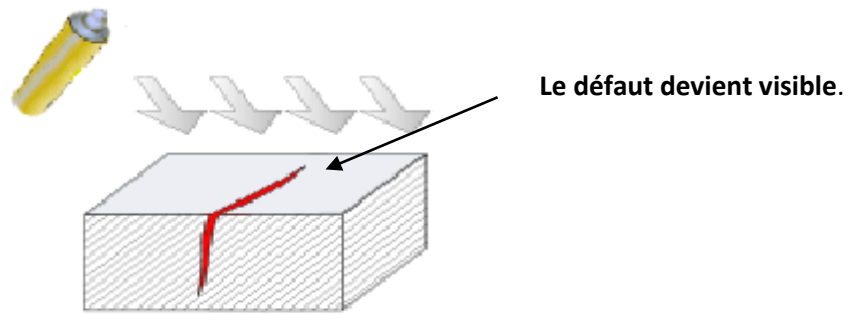


Figure 4: schéma représente application de révélateur.

g- Interprétation:

Comparer aux critères d'acceptation afin d'émettre l'une des trois décisions suivantes :

- Acceptation.
- Réparation.
- Rebut de la pièce

contrôle par magnétoscopie

4.3 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.

.1 Principe:

- 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'accroissent au droit du défaut.
- On observe le spectre résultant sous un éclairage adapté.

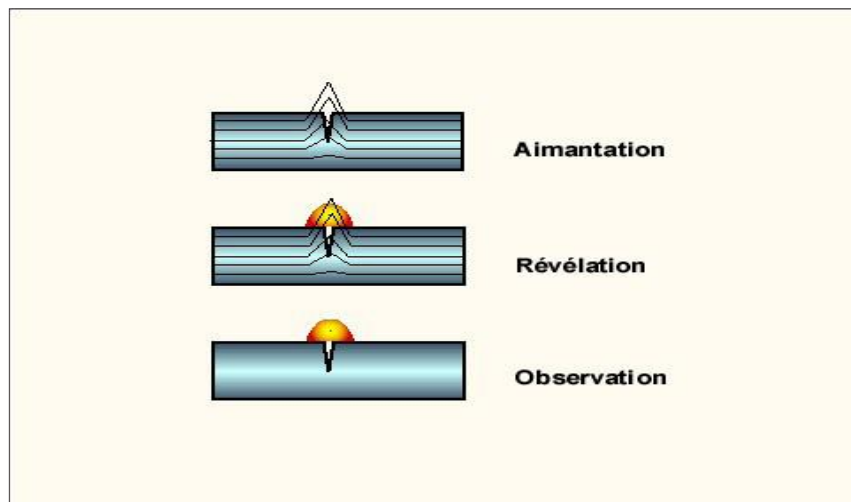


Figure5: schéma du contrôle magnétoscopie.

Avantage:

- Simplicité de mise en œuvre.
- Localisation des défauts de surface ou légèrement sous-jacents et appréciation de leur longueur.
- Possibilité d'automatisation.

Inconvénients:

- Pas de détection de défauts internes.
- Pas d'appréciation de la profondeur des défauts.
- Interprétation délicate.
- Utilisables que sur les matériaux ferromagnétiques.
- Sensibilité fonction de l'orientation du défaut par rapport à la direction générale des lignes d'induction.

.2 Méthode de magnétisation :

Dans la pratique, on procède à l'aimantation des pièces suivant deux techniques principales :

a. Magnétisation par courant d'injection:

La pièce est aimantée par l'intermédiaire d'un courant la traversant totalement ou Localement.

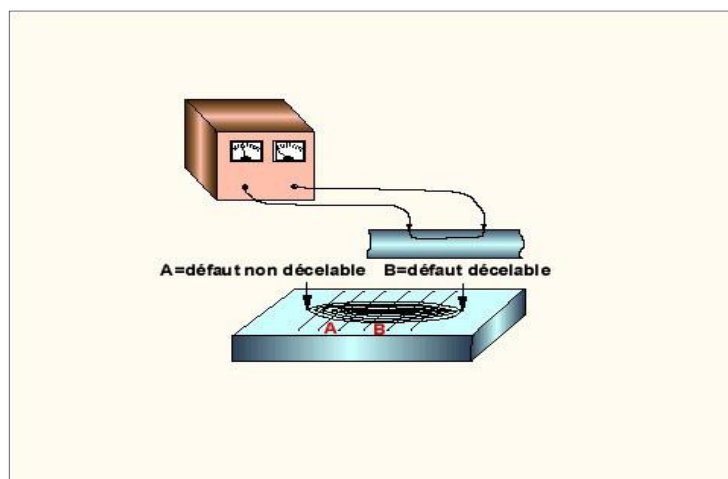


Figure6: schéma de la magnétisation par courant d'injection.

b. Magnétisation par un électro-aimant mobile :

La pièce est aimantée totalement ou localement par l'intermédiaire d'un électro-aimant.

On peut utiliser une magnétisation longitudinale, transversale ou oscillante de façon à s'adapter à l'orientation des défauts.



Figure7: schéma de Magnétisation par un électro-aimant mobile.

.3 Produit révélateur

Les caractéristiques de base de ces produits sont :

- doivent pouvoir être facilement attirés par les fuites Ils magnétiques.
- 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".

.4Démagnétisation :

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 à chaque fois son sens. On parcourt ainsi des cycles d'hystérésis de plus en plus petits.

.5Interprétation des indications :

Une indication est dite linéaire lorsque sa plus grande dimension est supérieure à 3 fois la plus petite.

Les autres indications sont dites non linéaires

Deux indications sont considérées comme étant une seule si la distance qui les sépare est inférieure à deux fois la longueur de la plus petite.

Critères d'acceptation

-seuil de notation : Ne sont prises en considération que les indications $>$ à 2 mm.

-Sont inacceptables : les indications linéaires,

Les indications non linéaires $>$ 4 mm,

Les indications alignées au nombre de 3 ou plus distantes entre elles de moins 3 mm du bord ou s'étendant sur plus de 20 mm, si cette distance est comprise entre 3 et 6 mm.

Cas des pièces corroyées : REF : COFS 20 Tirée de la NF 10228

Nota : dans les pièces corroyées, normalement les indications sont linéaires.

Une indication linéaire est dite isolée lorsque la distance qui les sépare d'une indication alignée est supérieure à 5 fois la longueur de la plus grande des deux indications.

Les indications groupées sont formées de deux (ou plusieurs) indications qui sont alignées doivent être considérées comme une seule indication de longueur continue lorsque la distance entre deux indications est inférieure ou égale à 5 fois la longueur de la plus grande des deux indications.

.6Critères d'acceptation :

Diamètre ou longueur des indications les plus petites à prendre en considération	2 mm
Longueur maximale admissible des indications isolées ou groupées.	4 mm
Longueur cumulée maximale admissible des indications, dans un cadre mesurant 105 mm x 148 mm	12mm
Nombre maximal d'indications permises dans un cadre mesurant 105 mm x 148mm	7 mm

. **Contrôle par ultrasons**

.4.4. Contrôle par ultrasons

1. Historique:

En Avril 1912, le Titanic et ses 1500 passagers sont engloutis dans les flots. Car ce bateau à croisé un iceberg, ce drame incita les savants du monde entier à chercher les moyens de détecter des obstacles invisible afin d'éviter un tel désastre. Le chercheur russe Sokolov semble avoir le premier suggéré l'emploi des vibrations ultrasoniques pour la détection des défauts dans les matériaux. Dans un article paru en 1929, il décrit ses expériences sur la génération des ondes ultrasoniques et sur leur propagation dans divers milieux, et tout particulièrement dans les métaux. Poursuivant ses observations, Sokolov essaya et sélectionna de nombreux échantillons de fonte et d'acier et suggéra que : " les vibrations ultrasoniques soient utilisées pour compléter les essais aux rayons X ".

Les ultrasons sont des vibrations élastiques d'origine mécanique qui se propagent dans les milieux matériels solides ou liquides, jamais dans les gaz ni dans le vide.

Les ultrasons sont de même nature que les sons mais de fréquence plus élevée.

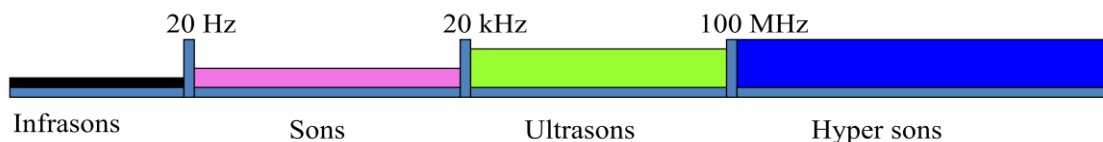


figure1: schéma représente les différents bandes de son.

En C.N.D. On utilise la bande de 0,5 à 25 MHz

Les longueurs d'onde des ultrasons sont identique à celle des ondes hertziennes millimétriques, cela explique certaines propriétés communes (propagation en ligne droite, phénomènes de réflexion, réfraction, diffusion, interférence, zones d'ombre dues aux lacunes-obstacles).

2.1 Le principe de l'appareil à ultrasons:

Pour décrire sommairement le principe de l'appareil à ultrasons, nous choisissons la méthode par impulsion-écho. Cet appareil comporte un générateur qui envoie des impulsions électriques au palpeur. Au même instant, ce signal est visualisé sur l'écran sous forme de pic: cette déflexion du spot lumineux est appelée "top d'émission". Au niveau du palpeur le signal est instantanément transformé en onde ultrasonore. Ce faisceau pénètre dans la pièce à contrôler. Lorsque le faisceau ultrasonore rencontre la face opposée de la pièce, il y a réflexion sur le miroir que constitue l'interface pièce-air, et les ultrasons reviennent vers le palpeur. Le spot se déplace toujours sur l'horizontale. Lorsque le faisceau ultrasonore provient au palpeur, celui-ci émet un signal électrique qui est à son tour visualisé sur l'écran de l'appareil, par une déflexion de la trace horizontale: c'est l'écho de fond.

L'espace compris entre le top d'émission et l'écho de fond, correspond au temps mis par les ultrasons pour parcourir l'épaisseur du matériau en aller et retour.

Que ce passe-t-il si un défaut se trouve sur le parcours du faisceau ultrasonore? Une partie des ultrasons est immédiatement réfléchi vers le palpeur, avant que la partie complémentaire n'ait atteint le fond de la pièce. On observe alors sur l'écran un écho intermédiaire, dont l'amplitude est fonction de la surface et de l'orientation du défaut.

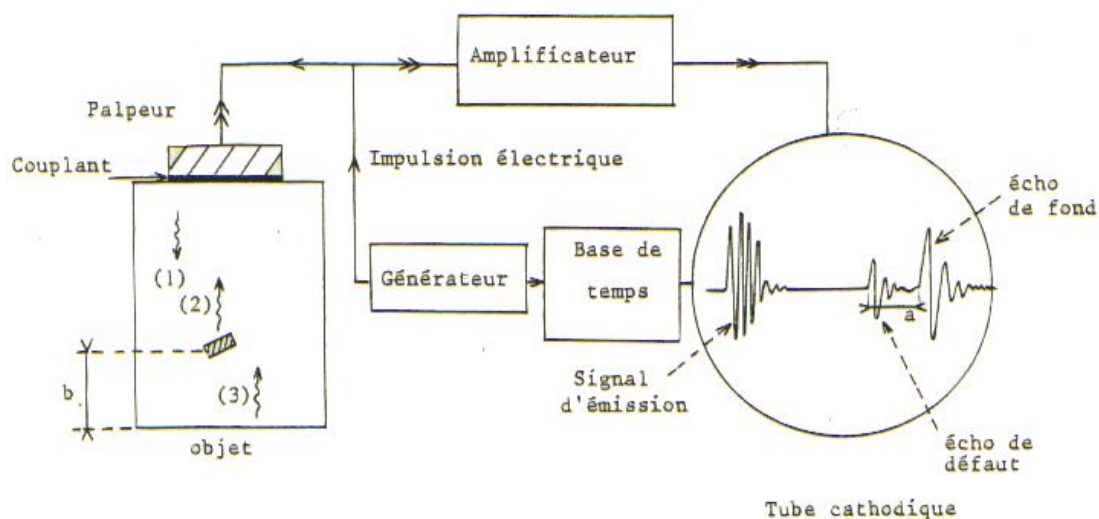


Figure3: schéma représente le principe de l'appareil à ultrason.

En fait, la mise en œuvre d'un appareil à ultrasons nécessite des étalonnages préalables qui ont pour but de régler, de contrôler l'appareil et ses accessoires, suivant des normes. Ces opérations menées avec l'aide de cales ou d'étalons, doivent être parfaitement maîtrisées et

mises en pratique par l'opérateur. Il est à noter que de l'interprétation de l'oscillogramme obtenu lors du contrôle, dépendra la conclusion quant au défaut présent dans le matériau. En voici quelques exemples:

1- Dans le cas d'une grande quantité d'impuretés microscopiques, on observe sur l'écran une diminution de l'écho de fond, et une trépidation plus importante de la trace horizontale, appelée aussi "herbe".

2- Dans cette pièce saine comportant une soudure, le faisceau ultrasonore de fréquence 4 MHz est réfléchi sur la face opposée. Quand une défectuosité se trouve sur le parcours des ultrasons, une réflexion a lieu, et un écho de défaut apparaît sur l'écran de l'oscilloscope: son amplitude est fonction de la taille et de l'orientation de ce défauts. L'espace compris entre les deux pics correspond au temps mis par le faisceau ultrasonore pour parcourir un aller-retour palpeur-défaut. L'examen de cette pièce saine donne deux échos de fond, mais la présence d'inclusion est très facilement détectée: l'amplitude de l'écho de fond disparaît à cause de l'effet de masque provoqué par l'inclusion

2.2 Technologie du palpeur:

Les palpeurs sont des organes très importants dans un ensemble de contrôle par ultrasons. Le choix d'un palpeur pour une application spécifique doit être mené avec beaucoup de soin, en confortant les possibilités théoriques des palpeurs et les résultats attendus.

L'élément piézoélectrique est le cœur du palpeur, sans oublier l'amortisseur qui joue lui aussi un rôle très important (notamment sur le pouvoir de résolution), et de l'action conjuguée de leur caractéristique dépendront les possibilités de travail. La position de cet élément dans le corps du palpeur constitue aussi un point essentiel qui permettra de décider des applications spécifiques du palpeur.

Parmi les palpeurs les plus utilisés, on distingue la série des palpeurs droits qui peuvent avoir des tailles divers: le palpeur droit classique, à bi-éléments, à ligne de retard, focalisé et les palpeurs pour le contrôle par immersion. Dans la série des palpeurs d'ongles nous trouvons le même type de dénomination, autre les palpeurs d'ongle (ordinaires) et les palpeurs à ondes de surface (ongle de réfraction égal à 90^0) nous pouvons aussi trouver les palpeurs a ongle variable (les palpeurs à onde de Lamb).



Figure4:image représente les différents types des palpeurs.

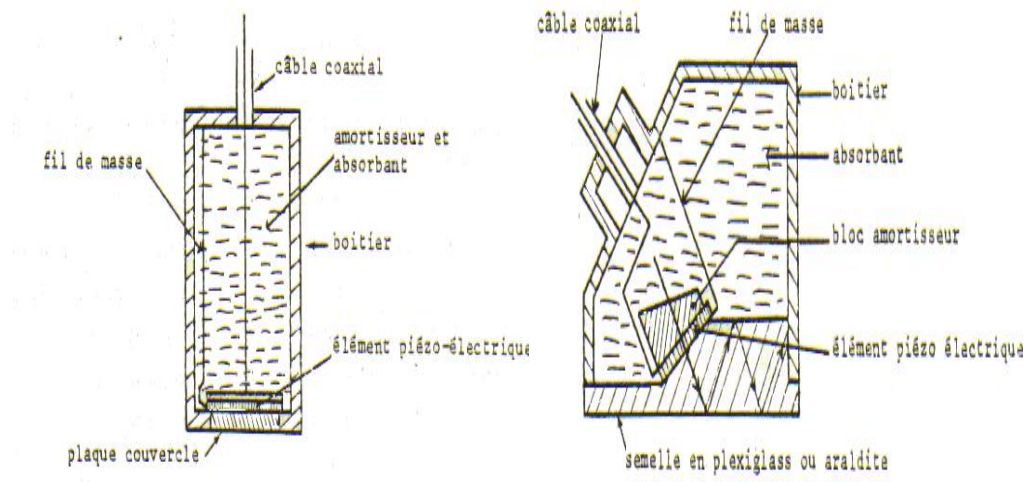
La fonction du palpeur est de transformer l'énergie électrique qui lui est fournie en énergie mécanique ultrasonore. Réciproquement, il est capable de transformer l'énergie mécanique ultrasonore en énergie électrique. Il joue donc indifféremment le rôle d'émetteur et de récepteur. Très nombreux, les palpeurs sont généralement regroupés en deux séries:

- 1- Les palpeurs droits qui permettent de générer des ondes longitudinales.
- 2- Les palpeurs d'angle pour fonction d'émettre des ondes transversales et des ondes de surface.

Tous fabriqués suivant le même principe, ils doivent être adaptés aux types des pièces contrôlées, aux types de défauts recherchés. La fréquence des ondes ultrasonores émises par le palpeur est fonction de l'épaisseur de son élément piézoélectrique, un cristal de très faible épaisseur permettra l'émission d'ultrasons de haute fréquence, et inversement, un cristal de plus grande épaisseur émettra des ultrasons de fréquence inférieure.

Afin de pouvoir utiliser le palpeur comme récepteur après un laps de temps extrêmement court après l'émission d'ultrason, il faut amortir la durée de cette oscillation. On accole donc au cristal un élément amortisseur qui peut être constitué de liège, de sciure de bois, de plomb...et d'un liant.

L'élément sensible est dans la plupart des cas protégé par une couche très mince, le tout enfermé dans un boîtier protecteur.



Palpeur angle

Palpeur bi-élément

Figure5: schéma représente palpeur angle et bi-élément.

2.2.1. Le palpeur droit: Les palpeurs droits qui permettent de générer des ondes longitudinales. Mais il ne peut pas détecter les défauts à la zone morte

2.2..2 Palpeurs à bi-éléments:

qui génèrent des ondes longitudinales; un élément est l'émetteur, l'autre est le récepteur. Ce type de palpeur permet de détecter des défauts, proches de la surface de palpation. Notons que ce type de palpeurs existe aussi en, ondes transversales. Citons aussi les palpeurs focalisés, qui permettent d'obtenir une meilleure définition pour un défaut donné.

2.2.3. Palpeurs d'angle:

de même technologie que les palpeurs droits mais l'élément sensible est cette fois collé sur un coin de plexiglass. C'est le phénomène de changement de mode par réfraction à l'interface plexiglass-pièce à contrôler, qui sera à l'origine de l'émission d'ondes transversales dans le matériau. Notons que les palpeurs d'angle, comme les palpeurs droits, sont caractérisés par leur fréquence, par les dimensions de leur élément sensible, mais aussi par leur angle de réfraction.

2.2.4. Palpeurs à angle variable:

utilisés pour effectuer des contrôles d'essai en laboratoire. L'opérateur dispose d'une gamme étendue de palpeurs. Mais quels sont les critères qui lui permettent de choisir tel type de palpeur plutôt qu'un autre? La nature du défaut présumé détermine le choix du type d'ondes à utiliser. Mais ce choix dépend aussi de la géométrie et surtout de la structure de la pièce. Par exemple, une pièce moulée à gros grains n'autorise pas l'utilisation d'un palpeur haute fréquence, car celui-ci confondra grains et défauts : il faudra un palpeur basse fréquence, mais en contrepartie, les petites défauts ne seront pas détectés. On utilisera en particulier des ultrasons de fréquence comprise entre 0,5 et 2 MHz, pour le contrôle des matériaux à structure grossière, entre 2 et 5 MHz pour matériaux courants, tel que l'acier à grains fins, les laminés, les forgés. On choisira une fréquence supérieure à 5 MHz dans le cas des applications particulières, pour les matériaux à structure très fine.

2.3 Choix du milieu de couplage:

- a- Il doit avoir de bonnes propriétés de mouillage.
- b- Ses caractéristiques doivent rester constantes de l'étalonnage à la fin de l'examen.
- c- Il doit être compatible avec la position de travail et la température de la pièce.
- d- On doit utiliser le même couplant pour l'étalonnage et l'examen.
- e- Après examen, il doit être éliminé.
- f- Couplant courant: l'eau additionnée ou non d'un agent mouillant, la pâte de contact.

2.3.1 couplant utilisé :

Pâtes de contact; Huiles; Graisses; Colles additionnées d'eau; Gel thixotropique; Eau additionnée ou non d'agent mouillant.

2.4 BASE DE TEMPS:

Ce terme désigne la trace obtenue sur l'écran de l'oscilloscope qui est engendrée de telle sorte que le temps soit proportionnel à la distance parcourue. On peut ainsi faire varier à volonté le rapport entre le temps mis par les ultrasons pour parcourir une certaine distance dans le matériau, et le temps mis par le spot pour parcourir la largeur de l'écran.

1^{er} cas: nous réglons la fréquence de la base de temps de telle sorte que l'on visualise sur l'écran le top d'émission et un écho de fond: soit F_1 cette fréquence. Le faisceau ultrasonore met t_1 secondes pour parcourir un aller et retour dans le matériau, soit deux fois l'épaisseur de la pièce.

2^{ème} cas: Divisons la fréquence de la base de temps par deux:

Soit $F_2 = \frac{F_1}{2}$; Cette fois le temps mis par le spot pour parcourir l'écran est deux fois plus grand que le temps mis par les ultrasons pour parcourir deux fois l'épaisseur e .

Pendant le temps correspondant à la traversée de l'écran par le spot, les ultrasons auront parcouru deux aller et retour soit, $4e$. On observera donc sur l'écran autre le top d'émission, deux échos de fond traduisant respectivement le premier et le deuxième aller-retour.

3^{ème} cas: Si nous divisons une fois encore cette fréquence par deux, nous avons:

$$F_3 = \frac{F_2}{2} = \frac{F_1}{4}$$

Nous visualisons maintenant un temps multiplié par deux par rapport au cas précédent. Le signal obtenu est donc constitué du top d'émission et de 4 échos de fond correspondant aux 4 aller-retour effectués par les ultrasons pendant le temps durant lequel le spot parcourt la largeur de l'écran.

3. Production des ultrasons:

Il existe de nombreuses façons de produire de l'ultrason. Cependant, pour les essais non destructifs des matériaux, seules les méthodes de piézoélectricité et ferroélectricité sont utilisées car, elles permettent de fournir des ondes ultrasonores de fréquences appropriées. La magnétostriction, qui consiste à créer un changement continu des dimensions d'un élément soumis à un champ magnétique intense n'est employée que pour le décapage, le soudage, car les ultrasons fournis sont de puissance trop élevée et de fréquence trop basse donc inadéquats au contrôle des matériaux.

Lorsqu'une tension ou une pression mécanique est appliquée à certains cristaux comme le quartz, des charges apparaissent sur les faces du cristal. L'amplitude de la charge produite est directement proportionnelle à la pression ou à la tension appliquée. Le signe des charges électriques est inversé quand la force mécanique change de sens: ce phénomène est appelé **effet piézoélectrique**.

On préfère utiliser un élément artificiel, ferroélectrique, plus facilement maniable et souvent beaucoup plus rentable qu'un élément naturel.

Au-delà d'une certaine température, le point de curie, la pastille naturelle perd son pouvoir piézoélectrique. Par refroidissement elle le retrouve: le phénomène est donc réversible dans le cas des pastilles artificiel, ce phénomène est irréversible: cela constitue l'inconvénient majeur de ces éléments ferroélectrique. Tous les éléments piézoélectriques sont classés suivant leur coefficient de transmission, leur coefficient de réception, et leur point de Curie. Remarquons que les cristaux naturels ont un coefficient d'émission faible et un coefficient de réception fort; le contraire est observé dans le cas des pastilles artificielles.

4. Différents types d'ondes:

La diversité des assemblages et des défauts recherchés, oblige le contrôleur à utiliser des types d'ondes différentes. En essais non destructifs du matériau par ultrasons, il existe 4 types d'ondes, chacune ayant une vitesse bien déterminée dans le matériau, et un domaine d'application spécifique. On emploie les ondes longitudinales, les ondes transversales, les ondes de surface, et les ondes de Lamb.

L'onde se propage dans un matériau qui est constitué d'atomes, reliés entre eux par des forces électroniques appelées aussi forces de liaisons. En appuyant sur une face, l'onde ultrasonore exerce une pression qui va se répercuter d'atome en atome, grâce à l'élasticité des forces de liaison se comportant comme des ressorts.

a- Ondes longitudinales, ou de compression:

la direction de l'oscillation des particules est parallèle à la direction de propagation de l'onde. Elles se propagent dans les solides, les liquides, les gaz, et sont utilisées pour les mesures d'épaisseur, le contrôle des tôles et de certaines soudures.

b- Ondes transversales, ou ondes de cisaillement:

Sont caractérisées par une direction d'oscillation des particules, perpendiculaire à la direction de propagation de l'onde. Essentiellement utilisés pour le contrôle des soudures, elles ne peuvent se propager que dans les solides et les liquides très visqueux, à une vitesse environs égale à la moitié de celle des ondes longitudinales dans le même matériau.

c- Ondes de surface, ou onde de Rayleigh:

Sont elle, engendrées par la combinaison des deux types d'ongles précédents. Le mouvement des particules résulte donc de la composition de deux mouvements, l'un longitudinale, l'autre transversale: c'est une ellipse. Elles ont la particularité de pouvoir se propager à la surface du matériau, sur une épaisseur qui n'excède par quelques longueurs d'ondes. Elles permettent la détection de défauts de surface. Si la surface présente des courbures de rayon supérieur à 5 fois la longueur d'onde, on s'aperçoit que l'onde suit son chemin tout autour de la pièce, et permet ainsi une détection des défauts sur tout le périmètre balayé. La vitesse de Rayleigh est environ égale à 0,9 fois la vitesse des ondes transversales, dans le même matériau.

d- Ondes de Lamb ou ondes de plaque:

Il n'apparaît que dans les matériaux très minces, d'épaisseur égale à environ une longueur d'onde. De même origine que les ondes de Rayleigh, elles permettent le contrôle des tôles minces et des soudures sur tôles minces.

En résumé, suivant l'inclinaison de défaut, on choisira le type d'onde adéquat, longitudinal et transversal, en sachant que le défaut présumé doit toujours être perpendiculaire au faisceau ultrasonore. Si le défaut se trouve en surface, il faudra utiliser des ondes de Rayleigh. Dans le cas des pièces très minces, en fera intervenir des ondes de Lamb. Voyons maintenant les lois qui régissent la propagation des ultrasons dans le matériau.

. Propagation des ultrasons:

Chaque milieu de propagation est caractérisé par son impédance acoustique Z . Les ultrasons sont facilement transmis dans un milieu de grande impédance acoustique comme l'acier. En revanche, ils auront de grandes difficultés pour pénétrer dans un milieu de faible impédance acoustique, comme c'est le cas pour l'air.

Ce facteur exprime donc la résistance qu'oppose le matériau à la propagation de l'onde ultrasonore. C'est le produit de la masse volumique du matériau, par la vitesse de propagation de l'onde dans ce milieu. Elle s'exprime en $\text{kg/m}^2\text{s}$. Que ce passe-t-il lorsqu'une onde ultrasonore veut passer d'un milieu d'impédance acoustique Z_1 à un milieu d'impédance acoustique Z_2 ? Une partie d'énergie du faisceau est réfléchi. L'autre partie est transmise. Si l'impédance acoustique Z_1 du milieu 1 est égale à Z_2 impédance acoustique du milieu 2, le faisceau incident est totalement transmis. Si Z_1 est très grand devant Z_2 , tout le faisceau ultrasonore est réfléchi. Lorsque Z_1 est peu différent de Z_2 , il y a transmission et réflexion partielles. Remarquons qu'il est possible par le calcul de connaître l'amplitude et l'énergie des ondes transmises et réfléchies à la surface de séparation de ces deux milieux. L'impédance

acoustique de l'air étant très inférieur à celle du quartz, du plexiglas et de l'acier, l'air joue le rôle de miroir vis-à-vis de l'onde ultrasonore. On comprend alors la nécessité d'un couplage entre ces divers éléments. Le couplant eau, huile ou pâte, aura donc pour mission d'assurer la transmission des ultrasons d'un milieu à l'autre. Sous incidence normale, les ondes transmises et réfléchies se propagent perpendiculairement à la surface d'entrée. Dans le cas d'une incidence oblique, si la vitesse de propagation de l'onde est différente dans les deux milieux, une partie de l'onde est réfléchie, l'autre réfractée. Appelons i l'angle d'incidence de faisceau ultrasonore; l'onde réfléchie obtenue forme un angle r par rapport à la normale, tel que $i = r$.

L'onde réfractée apparaissant dans le milieu 2 forme un angle R par rapport à la normale tel que: $\sin R = \frac{V_2}{V_1} \cdot \sin i$, V_2 et V_1 étant les vitesses respectives de l'onde dans le milieu 2 et dans le milieu 1. Il y a donc un brusque changement de direction de l'onde ultrasonore: l'expression trouvée précédemment est connue sous le nom de loi de Descartes. Lorsqu'une onde ultrasonore longitudinale ou transversale arrive sous incidence oblique à l'interface de deux milieux différents 1 et 2, il apparaît: une onde longitudinale réfléchie L_1 , une onde transversale réfléchie T_1 dans le milieu 1, et une onde longitudinale réfractée L_2 , une onde transversale réfractée T_2 dans le milieu 2. En appliquant la loi de Descartes pour chaque onde réfractée, on obtient la loi de Snell qui permet de relier les angles de réflexion et de réfraction des ondes obtenues, à leurs différentes vitesses. Supposons que la vitesse des ondes dans le milieu 2 soit supérieure à la vitesse des ondes dans le milieu 1. Augmentons l'angle d'incidence du faisceau ultrasonore. Pour une certaine valeur i_1 l'onde longitudinale devient rasante à la surface du matériau en perdant une partie de son énergie, à l'avantage de l'onde transversale qui devient fortement énergétique. Ce phénomène est obtenu avec les palpeurs d'angle, générateurs d'ondes longitudinales qui se transforment en ondes transversales dans le matériau, par phénomène de réfraction. On emploie généralement des palpeurs dont les angles de réfraction peuvent être 35° , 45° , 60° , 70° , 80° . Cette valeur indiquée sur le palpeur n'est valable que dans le cas de l'acier. L'examen d'un autre matériau nécessite en effet un nouveau calcul d'angle, à l'aide de la loi de Snell.

Si nous augmentons encore l'angle d'incidence du faisceau ultrasonore, nous observons que pour la valeur i_2 l'onde transversale devient rasante à son tour; il y a à ce moment combinaison des deux ondes rasantes longitudinales transversales. Nous venons de créer des ondes de surface, dans la pratique, on utilise un palpeur oblique dont l'angle de réfraction est égal à 90° .

.1 Affaiblissement des Ultrasons:

Un mode de propagation ultrasonore dans un milieu donné pour une fréquence donnée est caractérisé par sa vitesse de propagation et son coefficient d'atténuation. En effet, la propagation donne lieu à des dissipations d'énergie dues à 3 facteurs:

.1.1 L'absorption :

Due à la conduction thermique du milieu, alternativement entre les phases de compression (perte) et de raréfaction (restitution), à la friction visqueuse (frottement moléculaire) et à l'hystérésis d'élasticité dû à la rigidité du milieu.

La décroissance de l'énergie due à l'absorption suit une loi exponentielle de la forme:

$$U = U_0 \cdot e^{-kx}$$

(U: énergie à la distance x, k : coefficient d'absorption).

K : est extrêmement important dans l'air et dans certains plastiques, mais faible dans les métaux.

Pour les solides : $k = a \cdot F^2$; a: coefficient de proportionnalité

.1.2 La diffusion:

L'onde est diffusée aux joints de grains (discontinuité d'élasticité). L'énergie diffusée est inversement proportionnelle au rapport λ / G entre la longueur d'onde λ et la taille moyenne du grain G

L'importance de l'énergie diffusée varie avec:

- l'angle que fait le faisceau et l'axe de la structure fibreuse.
- le nombre de joints de grains rencontrés.
- le nombre d'hétérogénéités de dimensions inférieures à $\lambda/2$.

.1.3 La divergence du faisceau:

Le faisceau diverge à partir de l'émetteur et la pression acoustique par unité de surface diminue. A la réception, le palpeur ne reçoit qu'une infime partie de l'énergie émise.

.2 Le Faisceau Ultrasonore:

Champ proche (zone de fresnel):

Faisceau plutôt cylindrique mais la pression dans l'axe subit des variations sinusoïdales. L'estimation d'un défaut dans cette zone est incertaine. La longueur de cette zone est: $N = D^2 / 4 \lambda$

D : diamètre du cristal ou bien $N = S / \pi \lambda$ S:aire du cristal.

En pratique, le faisceau utile est pris à partir des 2/3 de la zone proche.

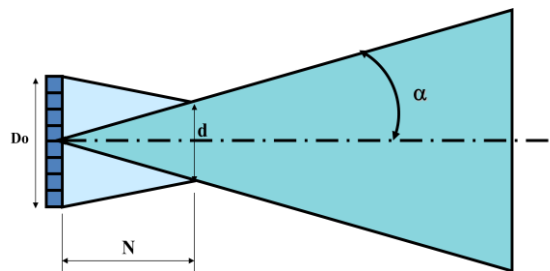


Figure7: schéma indique le faisceau ultrasonore

Le champ proche, le nombre de maxima et le nombre de minima d'intensité, le nombre des lobes secondaires du champ proche, augmentent avec la fréquence.

Champ éloigné (zone de Fraunhofer):

Dans cette partie, le faisceau forme un cône de divergence. Le demi-angle de ce cône est:

$\sin \alpha = k \lambda / D_0 = \lambda/a$ ou λ/b pour sources rectangulaires.

α : P = 0 et $k= 1,22$

α_1 : P = p axe - 20dB et $k=0,88$

α_2 : P = P axe - 6 dB et $k=0,51$

α_3 : P = P axe - 3 dB et $k = 0.44$

Dans son axe, l'intensité (ou pression) est maximale, et à mesure que l'on s'écarte elle s'atténue.

.1 Méthode par transmission:

- Contrôle des décohésions dans des plaques de faible épaisseur.
- La présence de défaut est indiquée par la diminution du signal transmis.
- Le positionnement du défaut dans la pièce est impossible.

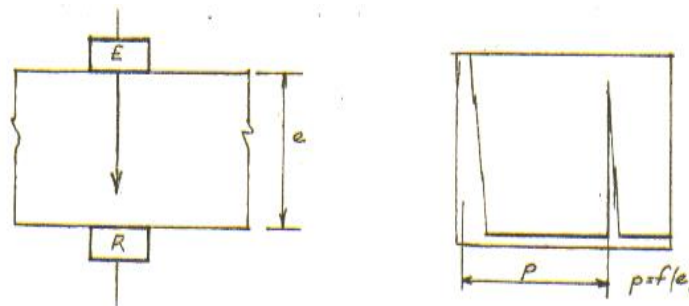


Figure8: schéma indique le contrôle par transmission.

.2 Méthode par résonance:

On applique un balayage de fréquence au palpeur.

On obtient la résonance de la pièce lorsque son épaisseur devient égale à la demi-longueur d'onde ou à un de ses multiples (apparition d'un pic de tension de polarisation).

On l'applique dans les mesures d'épaisseurs et des coefficients d'élasticité des matériaux.

$e = n \cdot \lambda/2$ avec $\lambda = V/F$ et n nombre entier Si l'on prend $n=1$; $e = V/2F$.

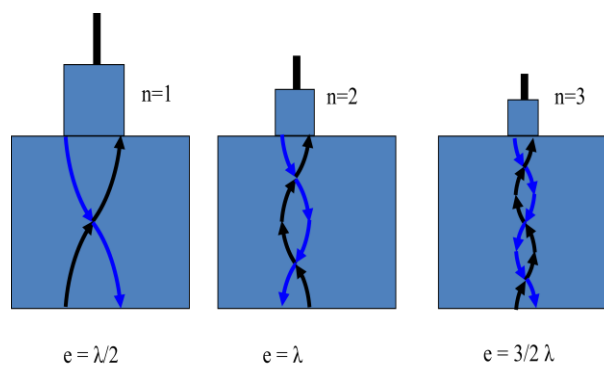


Figure9: schéma indique la résonance de la pièce.

.3 Méthode par réflexion

Visualisation type A (A.Scan):

Visualisation du signal sur l'écran d'un tube cathodique : la base de temps fournit aux plaques de déflexion horizontale une tension proportionnelle au temps, ainsi la déviation horizontale (abscisse) du spot est proportionnelle au temps de parcours de l'onde ultrasonore, la déviation verticale (ordonnée) du spot représentant son amplitude.

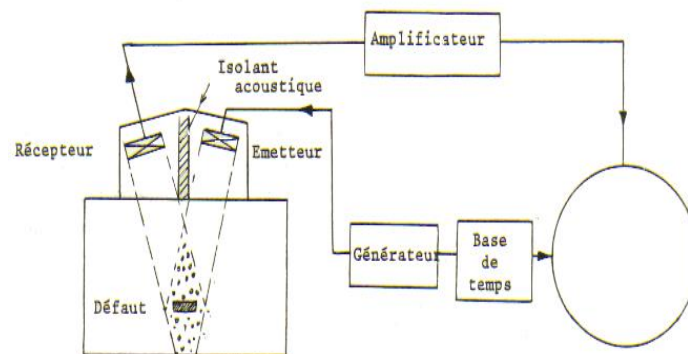


Figure10: schéma de visualisation par A. Scan.

7. Contrôle par immersion:

La technique de l'immersion totale de la pièce inspectée a été universellement acceptée. En outre, l'emploi de fréquence plus élevées que celles pouvant être utilisées pour l'inspection par contact améliore la localisation des défauts.

Types de mises en œuvre: immersion totale, locale, et méthode par jets.

7.1. Les principaux avantages:

Contrôler les pièces à faible épaisseurs.

Ecarter l'érosion des palpeurs car y a pas de contact pièce-palpeur.

Déplacement du palpeur à grande vitesse.

Focalisation de l'énergie ultrasonore.

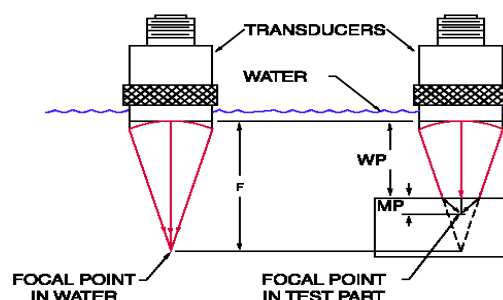


Figure11: schéma de contrôle par immersion.

CONTROLE PAR RADIOGRAPHIE

4.5. CONTROLE PAR RADIOGRAPHIE

1. Introduction:

La radiographie industrielle (rayonnements γ et X) est une technique de contrôle non destructif (CND) très utilisée dans le domaine industriel notamment pour le contrôle des soudures, pour le repérage des défauts des matériaux et pour évaluer la corrosion.

2. Les Rayonnements Electromagnétiques:

Un rayon électromagnétique est une onde constituée de deux champs vibrant en phase, l'un électrique E et l'autre magnétique H, les physiciens expliquent que la lumière visible, les ondes radio, les microondes, les infra rouges, les ultra violets, les rayons X, les rayons gamma etc., sont de même nature. Ils ne diffèrent que par leur longueur d'onde λ .

Ces ondes se propagent dans le vide à la vitesse de la lumière ($c = 3 \cdot 10^8$ m/s)

La longueur d'onde λ , la période d'oscillation T, la fréquence d'oscillation ν et la célérité C de l'onde sont données par la relation :

$$\lambda = C \cdot T = C / \nu$$

3. Production des rayons X:

Industriellement, les rayons X sont produits par bombardement d'une cible métallique appelée anticathode, par un faisceau d'électrons accélérés sous une tension élevée. Le tube à rayons X classique se compose d'une ampoule de verre dans laquelle sont logées sous vide une électrode positive (l'anode) et une électrode négative (la cathode).

La cathode comporte un filament qui libère des électrons lorsqu'il est porté à l'incandescence par un courant de quelques ampères. Sous l'effet de la différence de potentiel créée entre l'anode et la cathode (tension au tube), les électrons cathodiques sont attirés par l'anode. Ce flux d'électrons est concentré en un faisceau par un "cylindre" ou une "cuvette de concentration". L'anode consiste en une pastille, appelée anticathode, fabriquée dans un métal à point de fusion élevé et sertie dans l'anode. Les rayons X sont engendrés lorsque les électrons accélérés issus du filament chauffé percutent l'anticathode. L'énergie et le pouvoir de pénétration des rayons X sont d'autant plus grands que le nombre atomique de l'élément percuté par les électrons et la vitesse de ces derniers sont plus élevés. L'anticathode est généralement réalisée en tungstène, d'une part par ce que le nombre atomique de ce métal est

élevé et, d'autre part, parce qu'il possède un point de fusion élevé (environ 3400°C). Il convient d'utiliser un métal à point de fusion élevé parce que le dégagement de chaleur inhérent à la production des rayons X est important, d'autant plus que le bombardement des électrons se concentre sur une surface très réduite. Seule une partie de l'énergie cinétique des électrons est convertie en ondes électromagnétiques, de très courte longueur d'onde "rayon X" (0,1% à 30 KV, 1% à 200KV, 40% à 30-40 MeV); le reste se transforme en chaleur.

4. Appareillage:

Les rayons X sont produits à partir d'un appareillage spécial appelé groupe radiogène et comprenant un tube radiogène, les gaines, protectrices un générateur électrique consiste de transformateurs haute et basse tension raliés à un poste de commande.

Les différents groupes radiogènes différent surtout par leur haute tension maximale et leur circuit d'alimentation électrique. On distingue les appareils dits "auto-redressés" généralement portables à performances modestes et les appareils dits "tension constante" utilisés surtout a poste fixe mais à haute performance (haute énergie et fort débit disponibles, excellent qualité d'image, fonctionnement illimité).

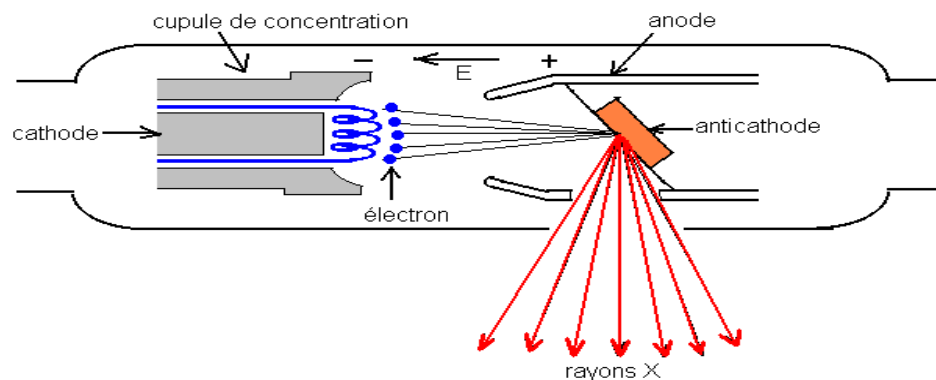


Figure1:schéma représente Le tube radiogène.

4.1 Le tube radiogène:

Description: Les tubes à rayon X utilisés en radiologie industrielles, se composent d'une enveloppe en verre ou céramique scellée et vidée et deux électrodes, une cathode de charge

négative générant les électrons et une anode de charge positive (tube bipolaire) ou nul (tube unipolaire) comportant la cible.

4.11. La cathode:

C'est l'électrode négative du tube on en distingue deux type. Les cathodes froides, utilisées pour des techniques radiographiques spéciales, à pointes ou à lames très fines qui libèrent des électrons sous l'action d'un fort champ électrique. La cathode chauffée utilisant le principe de l'émission thermoïonique et comportant un filament. La grande majorité des tubes radiogènes sont équipés de cathodes chaudes, Une cathode comporte deux parties distinctes.

a. Le filament:

Fil de tungstène (température de fusion d'environ 3400 °C de 0.2mm à 0.3 mm de diamètre, bobiné en hélice (tube directionnels)

Ou en spirale (tubes panoramique).

Une transformatrice basse tension aliment le filament dans lequel circule un courant réglable. La grande résistance du tungstène provoque un échauffement important du filament (1200 à 2000°C) et une forte libération d'électrons. (Plus la température augmente et plus la quantité d'électrons libérés importante).

b. La cupule de concentration:

C'est la pièce qui entoure le filament et permet grâce à sa forme la création de lignes de forces qui dirigent et concentrent le faisceau d'électrons vers la cible (généralement réalisée en nickel)

4.1.2 L'anode:

Électrode Consiste de parties:

a- La cible ou anticathode:

C'est dans cette pièce que se forment les rayons X après freinage des électrons du faisceau. Les photons X sont émis dans toutes les directions à partir de la zone bombardée appelée foyer. Dans les tubes de radiologie industrielle la cible est toujours en tungstène, car le transfert d'énergie cinétique en énergie calorifique est très important.

On distingue différentes formes de cibles en fonction du type de tube :

- cibles coniques ou planes pour les tubes panoramiques,
- cibles inclinées de 15 à 25 degré pour les tubes directionnels.

Elles sont généralement montées au fond d'une cavité appelée (puit) qui permet de réduire le rayonnement de fuite du tube et contribuer à une meilleure filtration.

b- le foyer thermique:

La source de l'anticathode percutée par les électrons est appelée le "foyer thermique", cette surface doit être suffisamment grande pour éviter une surchauffe locale qui pourrait endommager l'anticathode, et pour permettre une dissipation rapide de la chaleur. Toutefois, pour les besoins de la radiographie, le foyer doit être aussi réduit que possible.

La "charge focale" est la charge en watt par mm^2 du foyer thermique. En comparaison avec les foyers thermiques de grandes dimensions, on peut appliquer une charge relativement plus élevée aux aires focales plus réduites parce que la dissipation de la chaleur à partir du centre ne s'accomplit pas de la même façon dans les deux cas.

C. Foyer optique:

La projection du foyer thermique sur un plan perpendiculaire à l'axe du faisceau de rayons X est appelée "foyer optique" ou "foyer".

Pour obtenir des images photographiques présentant une netteté optimale, les dimensions de ce foyer doivent être aussi réduites que possibles. La superficie du foyer optique est déterminée par:

- Les dimensions du foyer thermique
- La valeur de l'angle α .

Il convient de noter que lorsqu'on parle en radiographie de "dimension du foyer" sans autre précision, il s'agit généralement des dimensions du foyer optique.

Les dimensions des foyers des tubes à rayons X ordinaires sont 4x4 mm à 1x1 mm. Il existe des tubes de précision dont le diamètre du foyer se situe entre 1/2 x 1/2 mm et 50 micromètres. Par convention, les tubes ayant un foyer de 50 à 5 micromètres sont appelés "tubes à micro foyer".

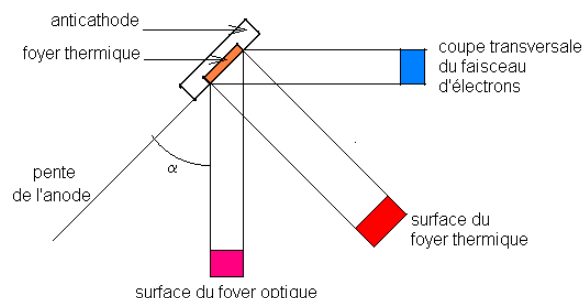


Figure2:schéma représente le foyer thermique et optique.

4.2 Le refroidissement du tube:

Comme la formation du rayonnement X s'accompagne d'un important dégagement de chaleur, il est nécessaire de refroidir l'anode. Ce refroidissement peut être réalisé de diverses manières:

a. Refroidissement par rayonnement:

L'anode constituée d'un bloc de tungstène se refroidit en rayonnant la chaleur.

b. Refroidissement par convection:

La chaleur est évacuée par un prolongement en cuivre de l'anode.

L'extrémité de cette allonge est plongée dans de l'huile ou un liquide isolant qui la refroidit par convection naturelle ou accélérée par un calculateur. Comme ce mode de refroidissement est limité, il faut soit réduire l'intensité du flux d'électrons, et par conséquent celle des rayons X, soit prévoir des arrêts pour le refroidissement.

c. Refroidissement par circulation forcée de liquide:

L'évacuation de la chaleur s'effectue au moyen d'un liquide circulant à l'arrière de l'anode. Pour le refroidissement de tubes bipolaires, on utilise de préférence de l'huile en raison du pouvoir isolant élevé de ce liquide. Pour le refroidissement de tubes unipolaires, dont l'anode est normalement mis à la terre, il est préférable d'utiliser de l'eau, car la chaleur spécifique de ce liquide est de loin supérieure à celle de l'huile, ce qui en fait un réfrigèrent plus efficace. En règle générale, la circulation du liquide est assurée au moyen d'une pompe.

5. Différents types de tubes et géométrie du faisceau :

On peut classer les tubes radiogènes en plusieurs catégories suivant leur géométrie et celle du faisceau de rayons X fourni

5.1 Les tubes à émission directionnelle :

Le faisceau est généralement émis dans un cône de révolution dont l'angle au sommet dépasse pas 40° . Dans certains tubes, on réalise des angles d'ouverture supérieurs à 40° , mais la forme du cône est alors différente, pour des raisons pratiques de technologie. Le cône aura par exemple pour base une ellipse d'ouverture 40° suivant le petit axe et 60° suivant le grand axe.

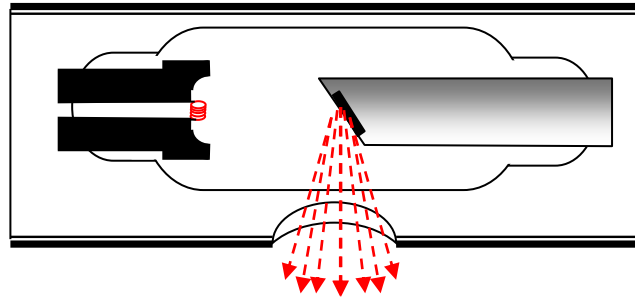


Figure3: schéma représente tube à émission directionnelle.

5.2 Les tubes à émission panoramique:

Le faisceau est émis ici sur 360° autour de l'axe du tube. L'ouverture de la section longitudinale du faisceau ne dépasse pas 30 à 35° . Dans le type panoramique oblique (3), l'axe du faisceau fait un angle d'environ 15° avec le plan de l'anticathode.

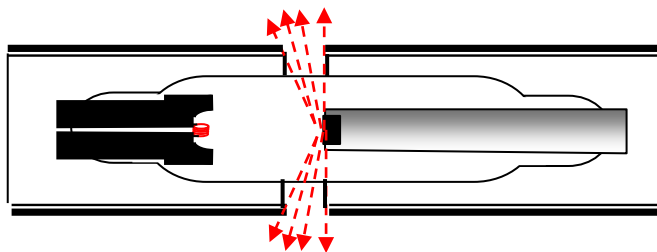


Figure4: schéma représente tube à émission panoramique.

On réalise également, grâce à une forme convenable de la surface de l'anticathode, des tubes de type panoramique orthogonal.

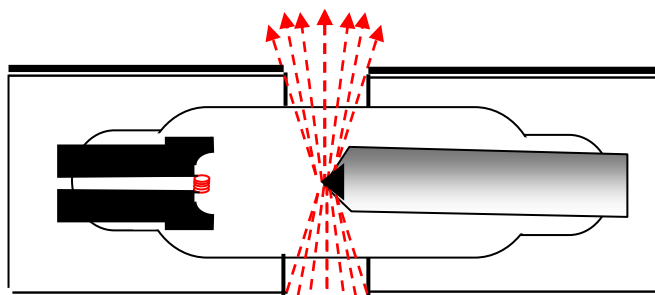


Figure5: schéma représente tube panoramique orthogonale.

5.3 Les tubes à anode longue :

Parmi les tubes à anode longue, on distingue :

- les tubes à faisceau annulaire.
- les tubes à faisceau conique latéral.
- les tubes à faisceau hémisphérique.

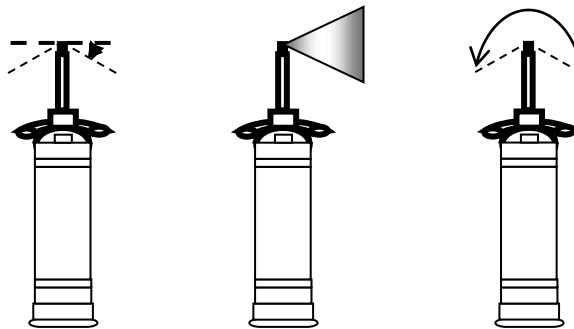


Figure6: schéma représente les tubes à onde longue..

6. Propriétés des rayons X:

- Les rayons X sont invisibles.
- Ils se propagent en ligne droite à la vitesse de la lumière.
- Ils traversent la matière et sont partiellement absorbés au cours de la transmission. Le degré de pénétration dépend de la matière et de l'énergie des rayons X.
- il s'agit de radiations ionisantes ; en d'autres termes, ils libèrent des électrons dans la matière qu'ils traversent.
- Ils peuvent endommager ou détruire les cellules vivantes

6.1 Les Différents Types d'Interaction:

Les photons lumineux, les infrarouges et les ultra-violetes sont en général absorbés en cédant leur énergie aux atomes dont l'énergie cinétique globale augmente (niveaux d'énergie dynamique) : c'est l'absorption thermique.

Quelquefois, les photons cèdent leur énergie à un électron satellite qui passe d'une couche à une autre plus externe (niveaux d'énergie statique de l'atome) : c'est l'absorption spectrale qui est évidemment sélective.

Quant aux photons plus énergétiques, en l'occurrence les rayons X et les rayons gamma, ils provoquent trois types d'interaction. Mais avant, observons quelques phénomènes :

Si l'on envoie un faisceau de rayons X ou γ , d'énergie uniforme, sur un écran nous observons :

- Que certains rayons sont directement transmis ; même direction et même énergie. Cela signifie qu'ils ont traversé la matière sans subir aucune interaction.
- Que certains rayons sont transmis en ayant subi une déviation et une perte d'énergie ; on dit qu'ils sont diffusés.
- Que d'autres rayons ont été totalement absorbés et ont donc cédé toute leur énergie à la matière.

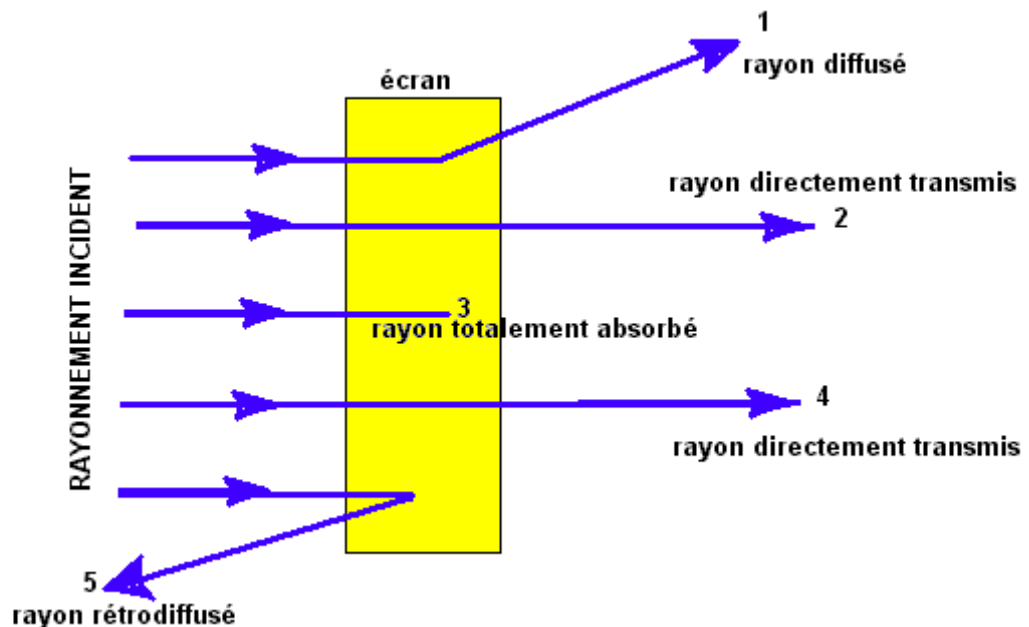


Figure6: schéma représente les différents types d'interaction.

6.2 Loi d'absorption :

Les rayons X étant absorbés par la matière, leur intensité diminue en fonction de l'épaisseur du matériau qu'il traverse. D'une manière générale, on peut relier l'intensité du rayon à l'épaisseur de la matière traversée par :

$$I = I_0 \cdot e^{-\mu \cdot S}$$

I_0 : intensité de la radiation incidente.

I : intensité de la radiation émergente.

S : épaisseur du matériau.

μ : coefficient d'absorption linéaire.

6.3 Qualité des rayons X:

L'émission de rayons X, associés au phénomène de freinage des électrons, croît à mesure que l'énergie de ces derniers augmente et que le numéro atomique de la cible est plus élevée. Le pouvoir de pénétration des rayons X croît avec leur énergie qui est inversement proportionnelle à la longueur d'onde. Cependant, dans la pratique, nous considérons la qualité d'un rayonnement X en fonction de la tension appliquée, au tube radiogène ou à la rigueur en fonction de l'épaisseur de demi-absorption d'un matériau donné pour ce dernier.

Note : tout comme les rayonnements gamma, l'épaisseur de demi-absorption pour un rayonnement X et les épaisseurs d'un matériau qui absorbe la moitié de l'intensité du rayonnement.

6.4 Épaisseur de demi-absorption des rayons X pour quelques matériaux:

Tableau1 : indique la demi-atténuation pour les matériaux.

Tension appliquée au Tube radiogène en KV	épaisseur de demi-absorption en mm		
	acier	béton	plomb
50	0.6	4	0.05
100	1.5	16	0.25
150	3	22	0.29

200	4.5	26	0.42
250	11	28	0.85
300	18	30	1.7
400	21		2.5
500	25	32	3

7. Choix de la distance foyer-film:

Etant donné que l'intensité des rayons décroît comme le carré de la distance, on a intérêt à fin de réduire les temps poses, à opérer en rapprochant le plus possible la source de la pièce.

Remarque:

A cause de l'angle de divergence des rayons qui est ordinairement de 40° , et pour faire entrer tout entier dans l'angle de rayonnement de cordon de soudure a radiographier, il faudra adopter une distance.

Contrôle par Rayon gamma

8. Contrôle par Rayon gamma:

8.1. Découverte de la radioactivité naturelle:

En 1885, la structure de l'atome est loin d'être connue. Toute transmutation (c'est à dire transformation d'un élément chimique en un autre) semble impossible, les éléments sont immuables. Wilhelm Röntgen (1845-1923) met alors en évidence l'existence d'un nouveau type de "rayonnement" capable de traverser d'importante épaisseur de matière : le rayon X. Cette découverte, qui marque la naissance de la radiologie, a eu un énorme retentissement à l'époque.

Début 1896, **Henry Becquerel** entreprend de chercher si un sel d'uranium phosphorescent émet, en plus de la lumière, des rayons X. Il expose ce sel au Soleil, l'enveloppe dans du papier noir et le place sur une plaque photographique. après le développement la forme de la substance apparaît en noir sur le cliché.

Des rayons X émis par la substance auraient-ils traversé le papier noir ? Le Soleil restant caché les jours suivants, Becquerel a la curiosité de répéter l'expérience et s'attend à un noircissement très faible après développement : celui-ci est en fait identique. Il observe le même phénomène avec des composés d'uranium non phosphorescents. En 1897, il constate que l'intensité du rayonnement de l'uranium est resté quasiment le même depuis plus d'un an.

En utilisant un électroaimant, il met en évidence la présence, dans ce rayonnement de particules chargées, il ne s'agit donc pas de rayons X. Becquerel a ainsi découvert une nouvelle propriété d'un élément naturel : l'uranium émet spontanément un « rayonnement » pénétrant, qu'il nomme le « **rayons uraniques** ».

Fin 1897, **Marie Curie** recherche d'autres éléments susceptibles de produire un tel phénomène. Elle constate que des échantillons de minéraux d'uranium, comme la pechblende, émettent plus de « rayonnements » que l'uranium lui-même. Elle en déduit que ces substances contiennent un élément beaucoup plus actif que l'uranium.

Avec l'aide de son mari **Pierre Curie**, elle sépare chimiquement les éléments les plus actifs et isole ainsi en 1898, le polonium puis le **radium** qui donne son nom à la radioactivité. Mais des problèmes fondamentaux demeurent :

- Quelle est la nature des émissions ?
- Quelle est leur origine ?

Trois types d'émissions sont identifiés grâce à leur charge et leur pénétration différentes :

- Les particules α chargées positivement et peu pénétrantes ;
- Les particules β (plus tard β^-), assez pénétrantes ;
- Les rayons γ qui accompagnent toute émission de particules.

En 1903, **Ernest Rutherford** établit que ces phénomènes ont pour origine une transformation spontanée d'un élément à un autre et énonce les lois fondamentales de ces transformations.

En 1910, suite à la découverte du noyau par Rutherford, **Niels Bohr**, fait une découverte essentielle : ce sont les noyaux des atomes et non les atomes eux-mêmes qui sont radioactifs.

En 1934, Irène et Frédéric Joliot-Curie, découvre la radioactivité artificielle : en laboratoire on parvient à fabriquer de nouveaux noyaux radioactifs, et par la même on met en évidence un nouveau type de particule (β^+) de charge $+e$.

La gammagraphie du fait de l'utilisation de rayonnements ionisants de très forte énergie permet de contrôler des matériaux de grande épaisseur (jusqu'à 100mm) mais soumet les opérateurs à un risque d'exposition externe non négligeable.

L'utilisation de cette technique dans des conditions de travail difficiles, entraîne d'autres risques professionnels dits "classiques". Il est donc impératif de mettre en place des outils garantissant la maîtrise des risques de cette activité.

Le travail présenté dans cette communication concerne l'évaluation prévisionnelle de ces risques (doses reçues par les opérateurs, analyse du poste de travail et organisation de l'activité) et la mise en place de moyens de prévention.

8.2. L'appareillage:

Le matériel de gammagraphie est composé des éléments suivants :

- un projecteur gamma appelé plus communément gammatron ; il a pour fonction de stocker dans une protection la source radioactive (le plus souvent ^{192}Ir , ou ^{60}Co) et d'atténuer les rayonnements émis par cette dernière lorsque l'appareil n'est pas en fonctionnement (source en position stockage et dispositif d'obturation fermé) ;
- un dispositif de télécommande constitué de gaines, d'un câble (accroché au porte source), d'une manivelle ou d'un moteur, ayant pour fonction de commander à distance l'éjection et la rentrée de la source.

Un dispositif d'éjection constitué d'une gaine et d'un embout d'irradiation ou d'un collimateur.

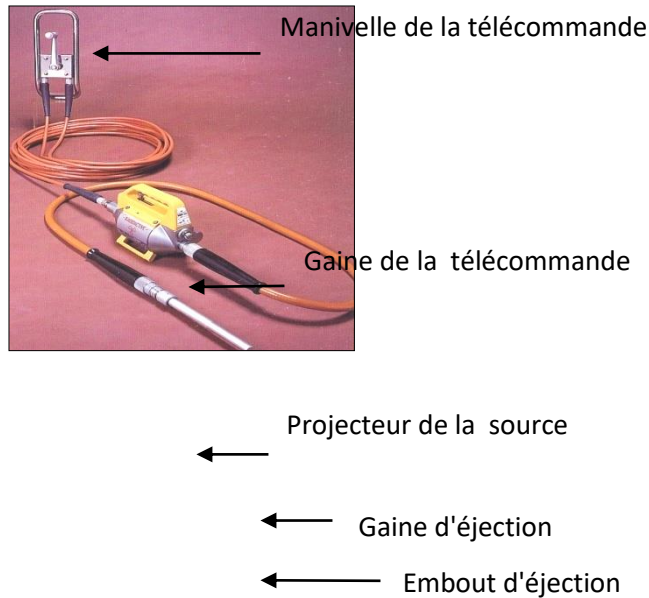


Figure7: image représente l'appareillage de gammagraphie

8.2.1 Sources scellées:

En radiologie industrielle, les sources radioactives utilisées sont scellées en capsules d'acier inoxydable. Ce scellement élimine toute altération chimique et toute dispersion de substance radioactives et par là même le risque de contamination.

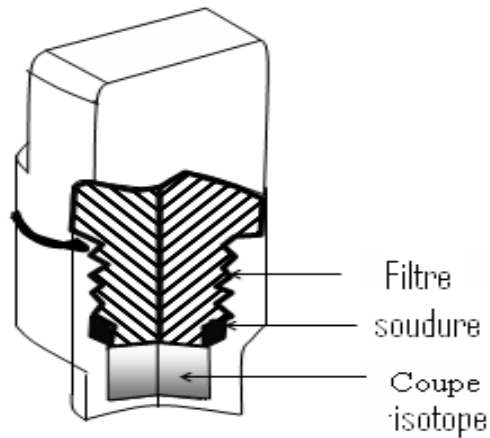


Figure2: schéma de Capsule

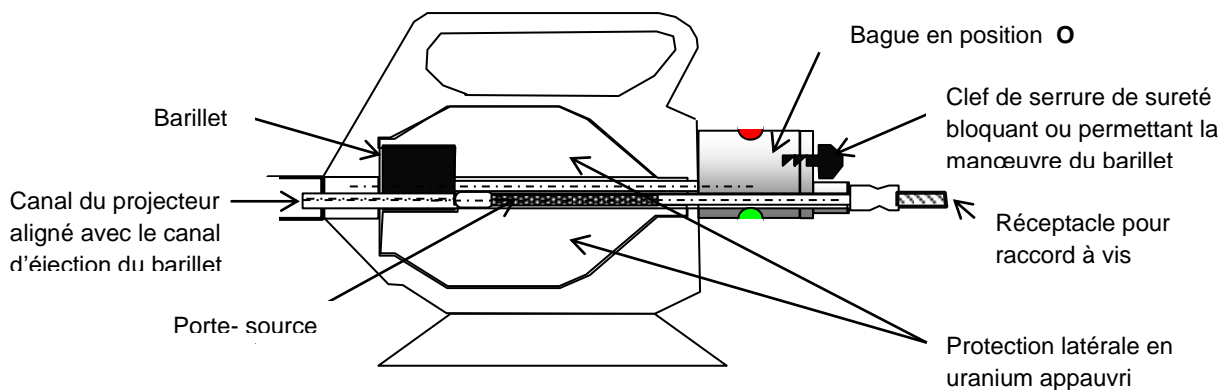


Figure9: schéma de projecteur de la source en position d'irradiation.

8.2.2. Le porte- source:

Il se compose de 3 parties principales :

- un réceptacle pour raccord à boule.
- un câble.
- un réceptacle de source.

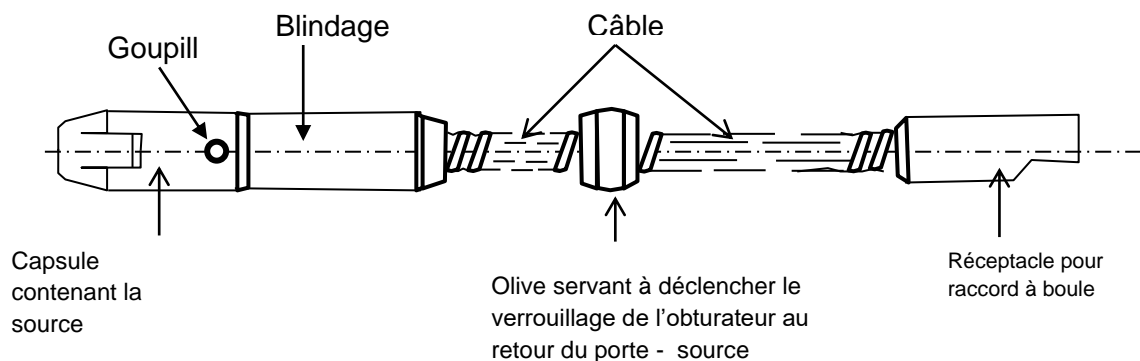


Figure10: schéma représente la porte source.

8.3. Isotopes:

Les isotopes d'un élément sont les atomes possédant le même numéro atomique Z mais un nombre de masse A différent. Ce sont donc des atomes ayant les mêmes propriétés chimiques.

8.4. Radioactivité:

Un élément chimique est radioactif lorsqu'une transformation dans le noyau des atomes qui le constitue, entraîne l'émission d'un rayonnement ionisant. Nous disons que le noyau se désintègre ou que nous sommes en présence d'une transition nucléaire. Il le fait progressivement jusqu'à ce qu'il se transforme en un élément stable.

La radioactivité est un phénomène spontané. La probabilité de désintégration par unité de temps est exprimée par la constante radioactive du radioélément ou radio-isotope considéré.

Nous distinguons la radioactivité naturelle et la radioactivité artificielle selon que l'existence du radioélément donnant celle-ci est due non à l'intervention humaine.

8.4.1 Sources radioactives naturelles:

Les éléments de cette catégorie entrant en ligne de compte pour la radiographie industrielle sont le radium, le radon et le mésothorium. Ils émettent une radiation très dure qui convient tout particulièrement à l'examen d'objet très épais.

Le radium présente l'avantage de posséder une période de demi-vie radioactive très longue (1622 années). L'inconvénient de ces sources est l'impossibilité de les présenter en dimensions suffisamment petites pour obtenir des intensités adéquates. Un désavantage du radon est sa période de demi-vie très courte (environ 93 heures). De plus leur prix est très élevé.

Les sources radioactives naturelles ne sont pratiquement plus utilisées en radiographie industrielle. Dans certains pays, leur utilisation est interdite.

8.4.2 Sources radioactives artificielles:

Les produits radioactifs artificiels sont obtenus par fission ou par des irradiation dans un réacteur nucléaire, il est possible d'obtenir de cette manière en quantités relativement importantes et offrant une pureté satisfaisante leur intérêt pour l'examen non destructif des matériaux dépend notamment de la qualité et de l'intensité de radiation qu'ils émettent, de leur demi-vie radioactive et de leur activité spécifique c'est pourquoi, malgré les nombreux radio-isotopes disponibles, seuls quelques un conviennent à la radiographie.

8.4.3 Demi-vie d'une source radioactive ou période:

On appelle "période" d'un élément radioactif la période de temps à l'issue de laquelle l'intensité de la radiation émise est réduite à la moitié de sa valeur initiale. Chaque élément radioactif se caractérise par sa période.

8.4.4 Activité spécifique:

L'activité spécifique d'un corps radioactif est l'activité de gramme de ce corps exprimée en becquerels (Bq) ou en (Ci/g).

Pour un nombre de becquerels déterminé, les dimensions d'une source radioactive sont déterminées par son activité spécifique.

8.5. Activité:

L'activité d'une source radioactive est donnée par le nombre d'atomes de cette source qui se désintègrent dans l'unité de temps.

Unité légale : le becquerel (Bq) qui correspond à une désintégration par seconde.

Unité couramment utilisée : le curie (Ci) qui correspond à $37 \cdot 10^9$ désintégrations par seconde.

Nota : $1 \text{ Bq} = 27 \cdot 10^{-12}$ curies

$1 \text{ Ci} = 37 \cdot 10^{10}$ becquerels

8.5.1 Production de radioélément artificiel:

Pour produire un radioélément artificiel on expose l'élément stable à un flux de neutrons thermiques dans un réacteur nucléaire.



Pour un flux de neutrons donné, on peut considérer, avec une très bonne approximation, que le nombre Q de telles réactions qui se réalisent par seconde demeure sensiblement constant au cours de la préparation.

Cependant, le nombre d'atomes radioactifs présents dans la substance exposée n'est pas proportionnel au temps de bombardement. En effet, dès les premiers instants de la préparation, dès que l'on a créé un nombre donné d'atomes radioactifs, le phénomène de décroissance radioactive se produit. Pour le calcul du nombre N d'atomes radioactifs présents avec un temps t de préparation, on doit tenir compte de cette fuite qui devient importante à mesure que N augmente. Lorsque dans l'intervalle d'une seconde, le nombre de désintégrations radioactives est égal au nombre d'atomes radioactifs créés, le nombre total N d'atomes radioactifs ne peut plus augmenter. On a atteint la saturation.

Au bout d'un temps t de bombardement neutronique, l'activité obtenue vaut :

A titre indicatif, voici quelques valeurs d'activité spécifique atteintes pour l'iridium et le cobalt.

Tableau 2 : représente la production de radioélément.

Temps de bombardement Aux neutrons thermiques	activités spécifiques obtenues	
	cobalt 60	iridium 192
Au bout de 7 jours	0.24 Ci/g	17 Ci/g
Au bout de 30 jours	1.1 Ci/g	60 Ci/g
A la saturation	100 Ci/g	310 Ci/g

Le temps de bombardement pour approcher la saturation est bien entendu bien plus important dans le cas du cobalt que dans le cas de l'iridium. Les temps nécessaires sont d'ailleurs dans le rapport des périodes.

8.5.2 Décroissance radioactive:

Une substance radioactive décroît en fonction du temps, suivant la formule :

$$N = N_0 e^{-\lambda T}$$

Avec N = activité du temps T .

N_0 = activité de temps 0.

λ = constant de décroissance radioactive.

Afin d'éviter les calculs fastidieux et par commodité d'emploi, nous avons défini la période radioactive T_r comme le temps au bout duquel l'activité a été réduite de moitié. Nous avons donc :

$$T_r = \ln(2) / \lambda = 0.693 / \lambda$$

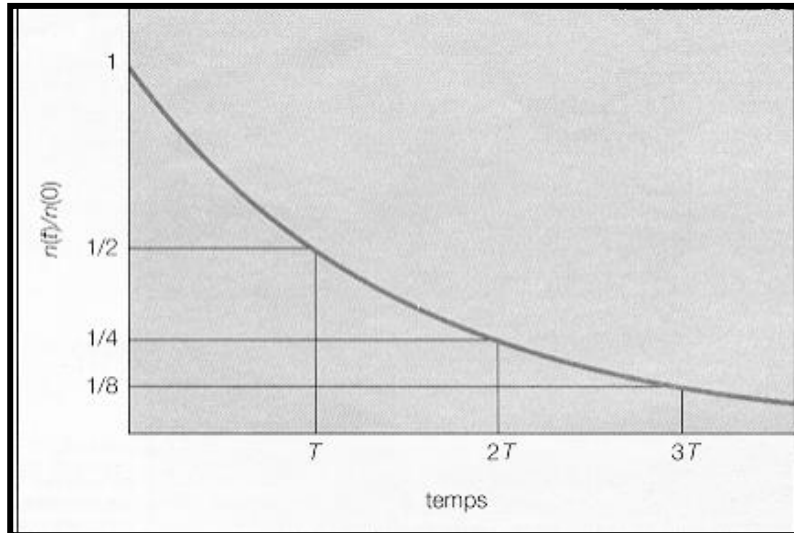


Figure11: courbe représente la décroissance radioactive.

8.5.3 Utilisation du rayonnement gamma:

En radiologie gamma, nous pouvons utiliser tout radioélément émettant ou plusieurs rayonnements gamma. En 1986, le parc mondial des sources radioactives à émission gamma utilisées en contrôle non destructif se décomposait ainsi :

- Iridium 192 : 85 %
- Cobalt 60 : 12 %
- Césium et thulium 170 : 2.5 %
- autres source : 0.5%

8.5.4 Choix du radio-isotope:

Le choix du radio-isotope à utiliser dépend du pouvoir de pénétration dans la matière des rayonnements gamma et de l'activité résiduelle de la source qui conditionne le temps de pose.

8.5.5 Pouvoir de pénétration:

Le facteur déterminant dans le choix de l'isotope radioactif plus approprié réside dans le pouvoir de pénétration dans la matière des rayonnements ionisants qui est fonction de l'énergie totale équivalente.

8.5.6 Différents isotopes:

L'iridium 192 (^{192}Ir) émet par désintégration des particules bêta moins (négatons) d'énergie 0.59 et 0.65 MeV surtout un rayonnement complexe de plusieurs raies gamma d'énergie différentes comprises entre 0.201 et 1.36 MeV dont les intensités demeurent entre elles par des rapports constants. L'énergie moyenne de rayonnement gamma est de 0.926 MeV. La

transformation de l'Iridium 192 s'effectue soit en osmium 192 (^{192}Os) par capture électronique, soit en platine 192 (^{192}Pt) émetteur alpha, par émission de particule béta moins. la période de l'iridium est 74 jours.

Le cobalt 60 (^{60}Co) se désintègre en élément stable le nickel 60 (^{60}Ni) en émettant des particules béta moins (négatons) de 0.31 MeV et 1.48 MeV. Mais surtout deux radiations gamma de 1.17 et 1.33 MeV qui demeurent entre elles dans un rapport constant. Sa période radioactive est de 5.28 ans.

Le césium 137 (^{137}Cs) se désintègre en émettant des particules béta moins (négatons) de 0.51 et 1.17 MeV en baryum 137 métastable (^{137}Ba) lequel se désexcite par émission d'une raie gamma d'énergie 0.662 MeV et d'un rayonnement X de 0.033 MeV. LA période radioactive de Césium est de 30 ans.

Le thulium 170 (^{170}Tm) se désintègre en ytterbium 170 (^{170}Yb). Elément stable, en émettant des rayonnements béta moins (négatons) de 0.96 et 0.88 MeV. La période radioactive est de 129 jours.

8.6. Technique exposition :

8.6.1 Projection en contact :

Dans cette technique Le film est placé à l'intérieur, tout juste sur la soudure du coté de la paroi du tube opposée à celle reçoit le rayonnement. La source peut être placée à l'extérieur au contact du tube de façon à obtenir la plus courte distance source film.

8.6.2 Projection elliptique :

Le film est placé à l'extérieur du tube sur la soudure ;il doit être de dimensions suffisantes contenant les deux images de la soudure. La source de rayonnement est située à l'extérieur de telle façon qu'il sera décalé par rapport à l'axe du faisceau émis.

8.6.3 Projection panoramique :

Lorsqu'on applique cette méthode on doit placer le film à l'extérieur du tube sur la soudure. La source de rayonnement doit être placée dans la mesure du possible dans l'axe longitudinale du tube.

L'axe du faisceau de rayonnement doit être sensiblement perpendiculaire à la surface examiné au centre de la zone à contrôler.

8.6.4 Projection plan sur plan :

Cette projection consiste à placer le film et la source du rayonnement à l'extérieur du tube à une distance déterminée ; l'axe de faisceau émis doit être perpendiculaire par rapport au plan du joint soudé.

8.7. Technique radiographique:

Nous avons vu que les sources à rayons X ou gamma peuvent traverser un écran d'épaisseur élémentaire dx .

Le récepteur d'image qui est toujours placé derrière la pièce, par rapport à la source est généralement un film radiographie.

8.7.1 Film radiographie :

Un film radiographique est constitué de cristaux d'halogénures d'argent dispersés dans une gélatine servant de liant ces cristaux constituent la couche sensible du film.

Le bromure d'argent est formé d'ions Ag^+ et Br^- . L'ion Ag manque un électron sur la couche électronique externe. à l'inverse, l'ion Br possède à sa périphérie un électron excédentaire, lié au noyau par une cible énergie, donc facilement arraché à son attraction. La halogénures d'argent cristallisent selon un réseau cubique faces centrées. La couche sensible du film est constituée par ce réseau.

8.7.1.1 Structure du film:

Un film radiographie comporte sept couches :

- 1- Un mince support transparent (d) en tri acétate de cellulose ou en polyester ($180\mu m$).
- 2- De part et d'autre du support, on trouve :

Une couche (a) de gélatine durcie ($1\mu m$) qui protégé l'émulsion

- une couche (b) d'émulsion gélatineuse ($10\mu m$).
- une couche (c) appelée substratum ($1\mu m$) qui assure l'adhérence de la couche d'émulsion au support.

Ce système bicouche accroît la sensibilité du film et le contraste de l'image.

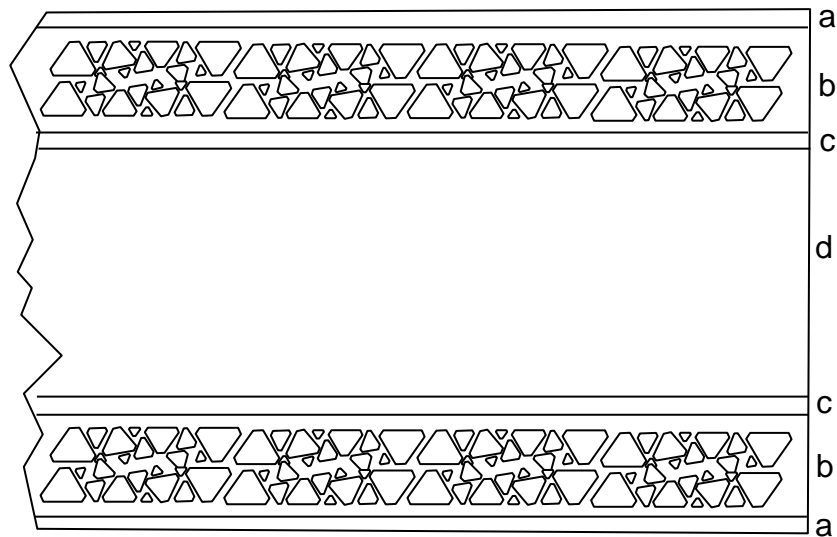


Figure12: schéma représente la structure du film radiographique.

8.7.1.2 Type de film:

Ce qui différencie les films radiographies entre eux c'est la rapidité de leur émulsion; ces émulsions portent des numéros et des dates de péremption.

8.7.2 Indicateur de qualité image (I.O.I)

Lorsque de chaque prise de cliché, on pose sur la pièce une petite surépaisseur consiste du même métal. La version de cette surépaisseur sur le cliché atteste que la qualité d'image est suffisante.

Avec les I.Q.I français (norme AFNOR) on calcul pour chaque prise de cliché un indice de sensibilité exprime en %.

$$S = \frac{\text{le plus petit diamètre observable}}{\text{Epaisseur}} \times 100$$

S : sensibilité radiographie.

8.7.3 Formation de l'image radiographique:

Le faisceau à rayons X ou gamma après avoir été modulé par l'objet radiographique constitue l'image radiante. Celle-ci peut être enregistrée par le film directement par l'intermédiaire de transformateurs (les écrans renforçateurs).

Les rayons traversant successivement les deux couches d'émulsion y produisent des réactions chimiques qui inscrivent sur le film une image latente, c'est-à-dire invisible mais bien présente. Environ 1% des rayons qui traversent les couches sensibles réagissent chimiquement et participent à la formation de l'image latente.

Le mécanisme de formation de cette image qui se décompose en deux phases:

Un photon (X ou gamma) arrivant dans l'émulsion, percute un ion Br⁻ et y arrache son électron excédentaire en lui cédant son énergie.

Cette charge négative attire un ion Ag⁺, qui est réduit en atome Ag électriquement neutre.

Le phénomène se répète, au fur et à mesure de l'irradiation; il nécessite un temps très bref. On a obtenu l'image latente, instable dont le temps est influencé par la température (celle est détruite si celle-ci augmente).

8.7.4 Ecran renforçateur

L'intensité de l'action photographique des rayons X ou gamma est fonction de la dose d'énergie de rayonnement absorbée par les couches sensibles du film .elle est de l'ordre de 1% pour des radiations à pouvoir de pénétration moyen .la radiation restante traverse le film, mais n'est pas utilisée. Pour remédier à cet état de choses, le film est placé entre deux écrans renforçateurs .sous l'action des rayons X ou gamma, ils deviennent fluorescents (écrans renforçateurs fluorescents) ou émettent des électrons (écrans au plomb). Il en résulte un effet photographique supplémentaire sur les couche sensibles du film .pour obtenir des images nettes, film et écrans doivent être maintenus en contact étroit.

Il existe deux types d'écrans renforçateurs :

- écrans salins ou fluorescents.
- écrans au plomb.

8.7.5 Flou géométrique:

Les tubes à rayons X et les sources radioactives produisent toujours un certain degré de (flou géométrique) en raison des dimensions fines du foyer ou de source.

8.7.6 Traitement du film:

Pour faire apparaître l'image latente, c'est-à-dire une image potentielle, instable à l'œil nu, il est nécessaire de faire subir un traitement au film. Ce traitement consiste par un ensemble d'opération; c'est un passage du film en plusieurs solutions successives dans une chambre

noire qui doit être isolé complètement de la lumière et sous un éclairage inactinique (rouge-orange ou vert).

a. Révélateur:

Le révélateur est une solution basique; il fournit des électrons qui sont capturés par les ions d'argent Ag^+ en se transformant en argent métallique tandis que les ions de brome Br^- passent en solution dans le révélateur. Donc le révélateur noircit uniquement les cristaux d'argent touchés par les électrons.

b. Bain d'arrêt:

Il est conseillé de laver le film dans un bain d'arrêt légèrement acide.

Son but est d'éliminer toutes traces de révélateur (il arrête la réaction chimique).

c. Fixateur:

Le fixateur contient des agents conservateurs et des durcisseurs. Il permet d'obtenir une image stable en éliminant par dissolution les derniers ions Ag^+ et Br^- et fixer les grains touchés par les électrons. Une bonne conservation de l'image ne peut être obtenue qu'avec un temps de fixation suffisant.

d. Rinçage et séchage:

Le traitement du film se détermine par un rinçage à l'eau courante et un séchage avec ou sans ventilation.

Plus il y a de grain d'argent métallique dans l'émulsion du film développé, plus noir il nous apparaît à l'œil.

Conclusion

Grace progres technologiques dans le domaine electricite . le contrôle des equipements est considere comme un element nessaire pour ameliorer la qualite de service surtout les equipement de font le risque est plus important

Le cnd est une technique multidisciplinaire qui permet la detection des defaillances par different methodes

Dans ce travail nous avons etudie le contrôle non destructif

A partir de6 methode : le visuel . le ressuage .magnetoscopie. ultrasons. Radiographie. Rayon gamma .nous a permis d'extraire la moyenne des temps de bon fonctionnement

On recommande a la cle de cette etude d'utiliser de nouvelle technologie se qui permettent une plus grand desistance electrique mecanique thermique et chimique