



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
جامعة وهران للعلوم والتكنولوجيا محمد بوضياف



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur Et de la Recherche Scientifique
Université des Sciences et de la Technologie d'Oran Mohamed BOUDIAF

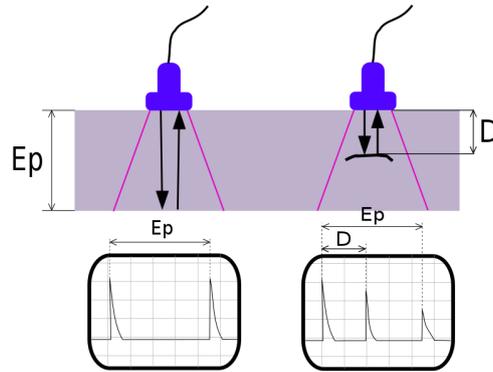
Faculté de Génie Mécanique
Département de Génie Maritime

Polycopié

Présenté par : BENZAAMA ABDALLAH

Spécialité : Construction navale

Contrôle des structures



2023 / 2024

2	INTRODUCTION :	5
3	Définitions d'un contrôle :	5
4	Organigramme d'un contrôle :	5
4.1	La cadence de contrôle :	6
4.2	Le type de contrôle :	6
4.3	La méthode de contrôle :	7
4.4	Les moyens de contrôle :	7
5	Le contrôle non destructif :	8
5.1	Définition :	8
5.2	Domaines d'utilisations :	8
5.3	Principe général :	9
6	Différentes méthodes de contrôle :	9
6.1	Le contrôle visuel :	9
6.2	Le contrôle par ressuage :	9
6.2.1	Domaine d'utilisation :	10
6.2.2	Avantages du procédé :	11
7	Contrôle par rayons(x ou γ):	11
7.1	Principe :	11
7.2	Domaines d'application :	12
7.3	Avantages du procédé :	12
8	Neutronographie :	12
9	Contrôle par ultrason :	13
9.1	Principe :	13
9.1.1	Contrôle par contact :	13
9.1.2	Contrôle en immersion :	13
9.1.3	Avantages du procédé :	14
10	La thermographie :	14
11	La magnétoscopie :	15

12	Courant de FOUCAULT :.....	15
13	Principe :	15
14	Domaine d'application :	16
15	Avantages de la méthode :	16
16	Contrôles destructifs (Essais Mécaniques).....	18
16.1	Définition :	18
16.2	Différents types d'essais :	18
16.3	Essais de traction :	18
16.3.1	Détermination des quelque grandeurs spécifiques :.....	21
16.4	Essais de compression:	21
16.5	Courbe contrainte déformation :	22
16.6	Essais de flexion :	22
16.6.1	Déformation :	23
16.7	Essais de résilience :	24
16.7.1	Principe :	24
16.7.2	Exemple de forme d'éprouvette :	25
16.8	Essais de fatigue :.....	26
16.9	Essai d'indentation :.....	27
16.9.1	Conditions de l'essai :	27
16.9.2	L'attaque micrographique :	28
16.9.3	Réactifs d'attaque chimique :.....	28
16.9.4	Réactifs d'attaque électrolytique :.....	28
16.10	Essais de dureté :.....	28
16.10.1	Dureté Vickers :.....	28
16.10.2	Dureté de Brinell :	29
16.10.3	Mode opératoire :.....	30
17	REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES :.....	31

Liste des figures :

Figure 1-II Principe du contrôle par ressuage.....	10
Figure 2-II Contrôle par rayon x.....	11
Figure 3-II Contrôle par neutronographie.....	12
Figure 4 -II Contrôle par ultrason.....	13
Figure 5-II Contrôle par thermographie.....	14
Figure 6-II Contrôle par magnétoscopie.....	15
Figure 7-II Contrôle par courant de Foucault.....	16
Figure 1-III Formes d'éprouvettes pour essai de traction.....	18
Figure 2-III Dimensions caractéristiques de l'éprouvette.....	18
Figure 3-III Graphe contraintes déformations pour essai de traction.....	19
Figure 4-III Essai de compression.....	20
Figure 5-III Courbe contrainte déformation pour essai de compression.....	21
Figure 6-III Machine pour essai de flexion 3 points.....	22
Figure 7-III Déformation d'une poutre en flexion.....	22
Figure 8-III Mouton pendule (Charpy).....	23
Figure 9-III Principe de fonctionnement du Mouton pendule.....	24
Figure 10-III Exemple d'éprouvette pour essai de résilience.....	25
Figure 11-III Essai de fatigue par flexion rotative ou charge axiale.....	25
Figure 12-III Exemple d'effort cyclique appliqué à une éprouvette.....	26
Figure 13-III Dispersion thermique aux voisinages..... de la zone atteinte par la chaleur.....	26

1 Introduction :

Le contrôle est une organisation importante, complexe et en permanente évolution. Il suit les transformations des conditions des environnements extérieurs. L'activité humaine est de plus en plus soumise par la complexité de l'évolution qui est de plus en plus exigeante, se qui implique de plus grandes responsabilités. Le contrôle en générale, a un objectif de surveiller, de contrôler et de répondre aux besoins des exigences d'une activité de décision d'évaluation de la performance. L'objet de ce cours a pour objectif d'éclaircir l'ensemble des connaissances qui sont mises en œuvre pour le contrôle et de son envergure. Dans cette idée nous consacrons le contrôle dans l'organisation destiné à satisfaire des exigences et finalisé par des décisions.

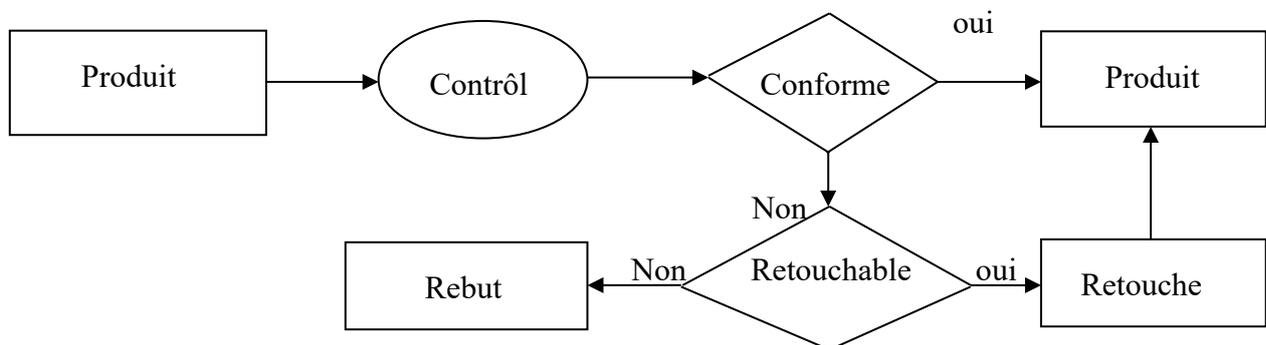
2 Définitions d'un contrôle :

Le contrôle est une opération faite pour déterminer, avec des moyens appropriés, si le produit contrôlé est conforme ou non à ses spécifications ou exigences préétablies.

En conclusion, une décision sera prise : acceptation, rejet ou retouche.

3 Organigramme d'un contrôle :

En générale un contrôle suit l'organigramme suivant :



Le contrôle est un acte technique qui permet de déterminer la conformité d'un produit.

Pour réaliser un contrôle sur un produit, il faut d'abord déterminer les caractéristiques et obéir aux limites (conditions de travail, nombres, tolérances) à l'intérieur desquelles le produit est conforme. Il faut que ces limites soient connues par le contrôleur qui effectuera ces contrôles.

A la fin de cet acte technique de contrôle, une décision doit être prise en ce qui concerne la conformité :

- Produit conforme.
- Produit non conforme qui et doit être rejeté.
- Produit non conforme pouvant peut être retouché.
- Produit non conforme pouvant être accepté en dérogation.

3-Les caractéristiques d'un contrôle :

Un contrôle est défini par un certain nombre de caractéristiques :

- La cadence de contrôle : totale ou partielle (systématique ou par prélèvement).
- Le type de contrôle : destructif, semi destructif ou non destructif.
- La méthode de contrôle : par mesure direct, par comparaison ou par appréciation.
- Les moyens de contrôle à utiliser : budgets et appareilles de mesures disponibles.
- Les moyens qui réalisent le contrôle : personnel de fabrication, personnel spécialisé, personnel d'encadrement, machine (automatisation du contrôle).

Les caractéristiques d'un contrôle, sont choisies en tenant compte des contraintes techniques (spécificité de l'entité à contrôler, précision de mesure, appareil, homologation du personnel effectuant le contrôle etc), mais aussi des contraintes concernant les budgets (contraintes économiques). L'aspect économique à une influence direct sur la nature du contrôle, sur les moyens à engager et sur les caractéristiques à contrôler. Le choix doit être en premier lieu sécuritaire. Pour cela, l'organisation de contrôle peut limiter les choix de contrôle.

3.1 La cadence de contrôle :

Le contrôle effectué peut être de manière totale (100 %) des pièces, cette méthode est très performante. Elle permet d'éliminer directement les non-conformités mais elle est longue et couteuse, en plus quelques produits ne peuvent être contrôlés sans être détruits.

Un autre type de contrôle peut être utilisé qui est par prélèvement. Dans ce cas, on choisit une fréquence (cadence) et une quantité de prélèvement (nombre de pièces par intervalle de temps). Cette méthode peut être inspirée par les méthodes MSP (Maitrise statistique des procédés) où des normes similaires à ces types de contrôles.

3.2 Le type de contrôle :

Les contrôles peuvent être non destructifs, semi destructifs ou destructifs.

1-Contrôle non destructif :

Les contrôles sont effectués sans détruire la pièce ou l'ensemble qui doit être contrôlé.

2-Contrôle semi destructif :

Consiste à prélever des échantillons de la structure, par exemple la Biopsie.

3-Contrôle destructifs :

Appelé aussi essais mécanique, généralement utilisé pour des productions en séries. La méthode consiste à prélever certaines pièces sur un lot, sur lesquelles seront prélevées des éprouvettes qui subiront des essais destructifs. Les pièces contrôlées ne seront plus réutilisées.

3.3 La méthode de contrôle :

Le contrôle peut être direct c'est à dire sur les pièces elles-mêmes, ou indirect appelé aussi contrôle délocalisé effectué sur une réplique de la pièce ou de l'entité contrôlée ou bien par appréciation (contrôle visuel par exemple).

3.4 Les moyens de contrôle :

Par fois le contrôleur utilise par exemple un appareil de mesure. Ce choix de cet appareil de contrôle est une action technique et économique. On parle dans ce domaine de la capacité du moyen de mesure.

4 Le contrôle non destructif :

4.1 Définition :

Le contrôle non destructif (CND) appelé aussi essais non destructifs (END) est l'ensemble de méthodes et de moyens qui peuvent caractériser l'état d'ensemble des structures ou des matériaux, sans les détruire ou les dégrader, ceci au cours de la production, ou en cours d'utilisation, ou dans le cadre de la maintenance.

Les méthodes utilisées pour les contrôles non destructifs (CND) sont :

- Le contrôle visuel.
- Le contrôle par ressuage
- Le contrôle par magnétoscopie
- La neutronographie
- Le contrôle par radiographie : (rayons x) et gammagraphie (rayon γ)
- Le contrôle par courant de Foucault
- Le contrôle par ultrasons (US)
- La thermographie.

4.2 Domaines d'utilisations :

Les méthodes de contrôle CND sont utilisées dans l'ensemble des secteurs industriels. On peut citer :

- L'industrie pétrolière (pipelines, tubes, barres, soudures, réservoirs).
- L'industrie navale (contrôle des coques).
- L'aéronautique (poutres, ailes d'avion, nombreuses pièces moteurs, trains d'atterrissage, etc.).
- L'aérospatiale et l'armée.
- L'industrie automobile (contrôle des blocs moteurs).
- La sidérurgie (contrôle des soudures).
- La chaudronnerie et la tuyauterie en fabrication.
- L'industrie de l'énergie : réacteurs nucléaires, chaudières, tuyauterie, turbines, etc. (maintenance des installations).
- Le ferroviaire en fabrication et en maintenance notamment pour les organes de sécurité (essieux, roues, bogies).
- L'inspection alimentaire.
- Le Génie Civil et le bâtiment.

du liquide dépend essentiellement de la rugosité de la surface à contrôler. Le pénétrant peut être un produit coloré (faible sensibilité). Un produit pré-émulsionné (sensibilité moyenne) ou un produit fluorescent (sensibilité élevée). Le pénétrant appliqué s'infiltré dans les petits interstices débouchant en surface, un certain temps est nécessaire pour laisser poser le pénétrant. La deuxième étape consiste à rincer la surface de la pièce pour enlever l'excès de pénétrant. Cette opération est délicate parce qu'un rinçage excessif ou insuffisant permet de fausser les résultats finaux.

La troisième étape consiste à l'application d'un révélateur, (liquide ou poudre) sur la surface rincée, puis séchée. Le liquide pénétrant qui s'est introduit dans les fissures ressort à la surface dans le révélateur et s'élargit au niveau du défaut. Il devient nettement visible par un éclairage approprié qui dépend du pénétrant utilisé. La méthode ne donne aucune indication sur le volume et donc de l'importance des défauts.

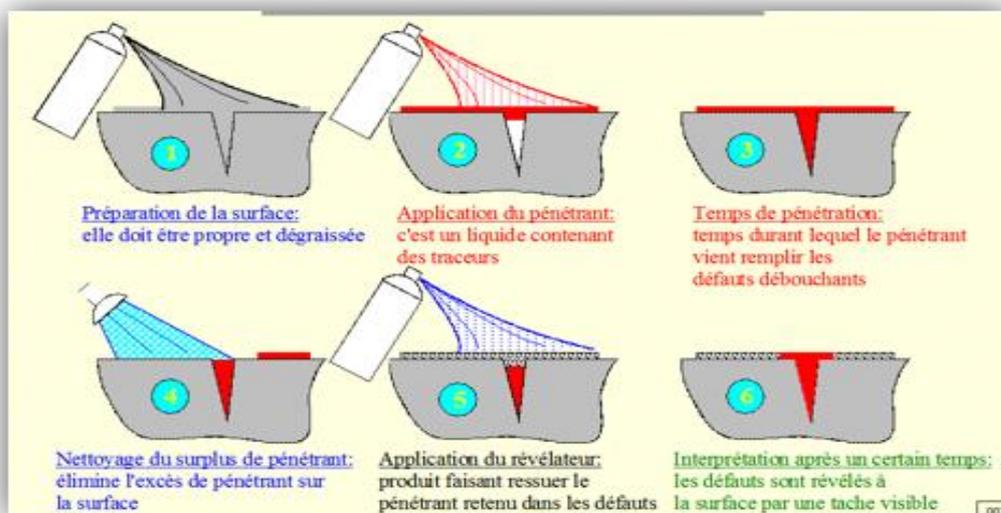


Figure 1-II Principe du contrôle par ressuage.

5.2.1 Domaine d'utilisation :

Le ressuage est utilisé dans de nombreux domaines, comme en chaudronnerie, pour des pièces soudées, usinées, moulées, brutes, aussi dans l'aéronautique, l'automobile, le nucléaire, la fonderie, la mécanique, la tuyauterie...

5.2.2 Avantages du procédé :

Ce procédé est souvent utilisé pour son coût de revient qui est assez faible, pour sa facilité de mise en œuvre, les défauts deviennent très clairs et c'est un procédé qui est très fiable.

6 Contrôle par rayons(x ou γ):

6.1 Principe :

Le contrôle par rayon x est une méthode de contrôle non destructif. Elle consiste à faire traverser un objet par un rayonnement électromagnétique de très courte longueur d'onde (rayons X ou γ) et à recueillir à la fin les variations d'intensité du faisceau sous forme d'une image sur un récepteur approprié ou détecteur qui est soit :

- un film argentique.
- un écran photo stimuable à mémoire réutilisable.
- un ensemble de détecteurs numériques.

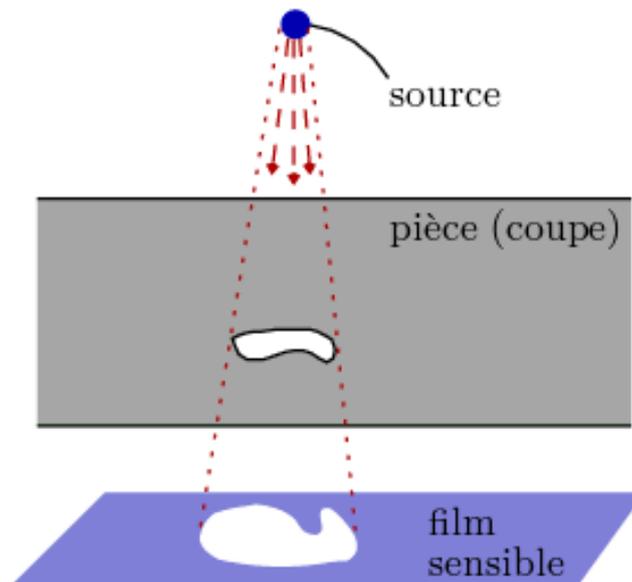


Figure 2-II Contrôle par rayon x

6.2 Domaines d'application :

La radiographie ou rayon x sont utilisés en industriel pour le contrôle de l'état interne des pièces. Ils permettent de détecter tout type de défauts, d'éléments étrangers inclus dans la pièce ou des discontinuités.

La radiographie est utilisée pour contrôler les soudures et pour détecter des imperfections de fonderie. Elle est très utilisée dans les cas de vérification des intégrités des structures composites.

6.3 Avantages du procédé :

Ce procédé détecte des défauts à l'intérieur des matériaux. L'image est bien définie. Elle est applicable à tous les types de matériaux (aluminium, acier, alliages cuivreux, titane, composites,..). Cependant la méthode reste assez coûteuse et dangereuse pour les utilisateurs et cela est dû aux rayonnements ionisants qui peut nuire à leurs santé ce qui impose des réglementations et des consignes strictes.

7 Neutronographie :

La neutronographie est un contrôle non destructif et similaire au contrôle par radiographie. Il utilise un faisceau électronique engendré par un réacteur avec un accélérateur d'ions de neutrons. Utilisé pour contrôler des matériaux hydrogénés.

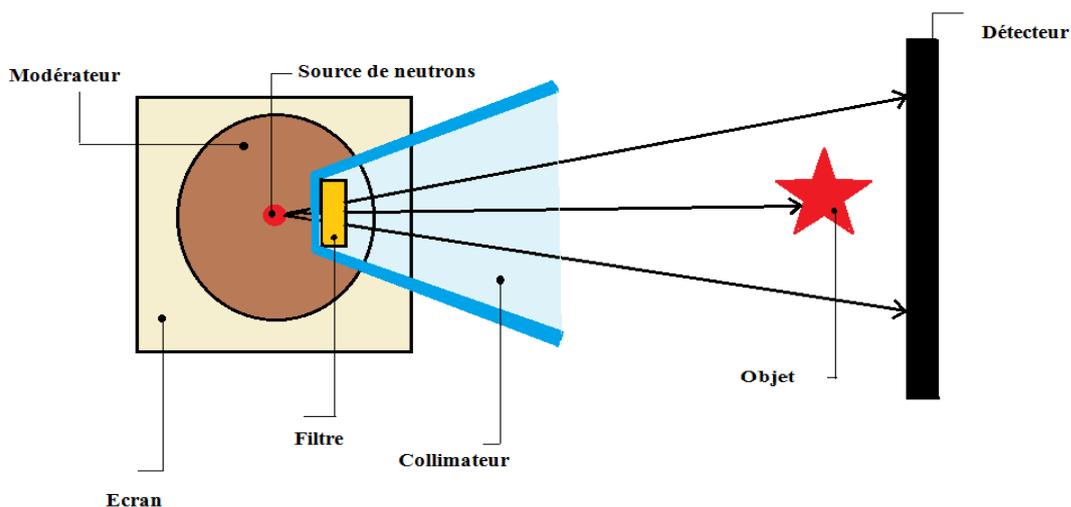


Figure 3-II Contrôle par neutronographie.

8 Contrôle par ultrason :

Le contrôle par ultrasons est un contrôle non destructif. Il permet de détecter des défauts à l'intérieur des pièces. Il utilise le principe de transmettre et de réfléchir des ondes ultrasonores dans des matériaux.

8.1 Principe :

L'émission d'une onde ultrasonore est assurée par l'utilisation d'un transducteur positionné juste sur la zone à contrôler, l'onde se propage dans le matériau.

Les ultrasons ne se propagent pas dans l'air. Pour permettre de transmettre ces dernières, deux méthodes sont utilisées : contrôle par contact et contrôle par immersion.

8.1.1 Contrôle par contact :

On place directement le transducteur sur la surface à contrôler. On utilise une fine couche de couplage (gel ou eau). Cette méthode appelée aussi palpéage est utilisée pour les contrôles manuels. L'onde traverse les matériaux et réagit suivant les milieux dans lesquels elle les traverse. On parle ici de matériaux d'impédances acoustiques différentes.

8.1.2 Contrôle en immersion :

Le palpeur envoie une onde sur l'épaisseur de la pièce et reçoit sa réflexion. Dans le cas de défaut, l'onde se réfléchit plus rapidement. On peut ainsi déterminer la position du défaut et sa taille.

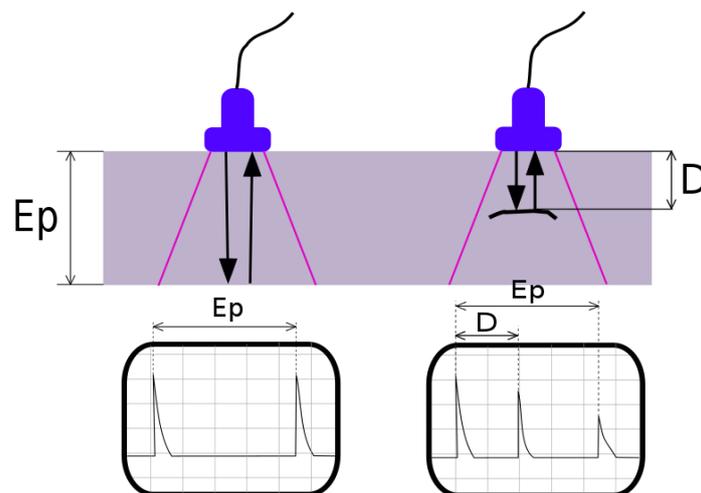


Figure 4 -II Contrôle par ultrason.

8.1.3 Avantages du procédé :

- Permet de détecter les défauts à l'intérieur des pièces.
- Nécessite qu'une seule face d'accès.
- Aucun danger lié à l'utilisation.
- Grande sensibilité de contrôle sur les pièces.
- Contrôle rapide.

9 La thermographie :

Le contrôle thermique ou la thermographie consiste à solliciter une structure ou un matériau par une quantité d'énergie thermique (par exemple de l'air chaud). La chaleur se propage dans la matière et un capteur thermique nous envoie la distribution de température de la structure s'inspirant sur les propriétés thermo physiques des matériaux et sur d'éventuels défauts.

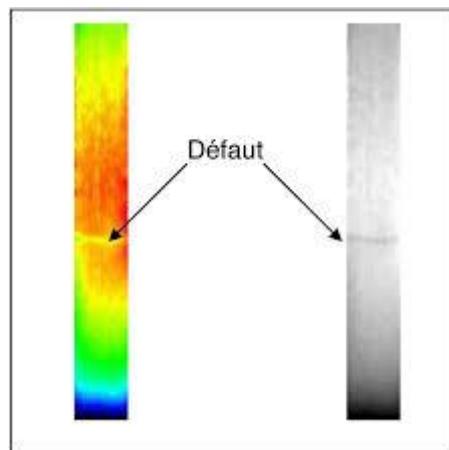


Figure 5-II Contrôle par thermographie.

Les avantages de l'utilisation de cette méthode est que il est possible d'effectuer un contrôle sans contact et peut être automatisable.

Les inconvénients de cette méthode est que le contrôle est très lent, le prix de revient élevé de la manipulation, de l'investissement et de la mise en œuvre qui est très difficile du point de vue des étapes pour faire un diagnostic.

10 La magnétoscopie :

La magnétoscopie est une méthode de contrôle non destructif. Elle consiste à créer un flux magnétique intense à la surface d'un matériau ferromagnétique.

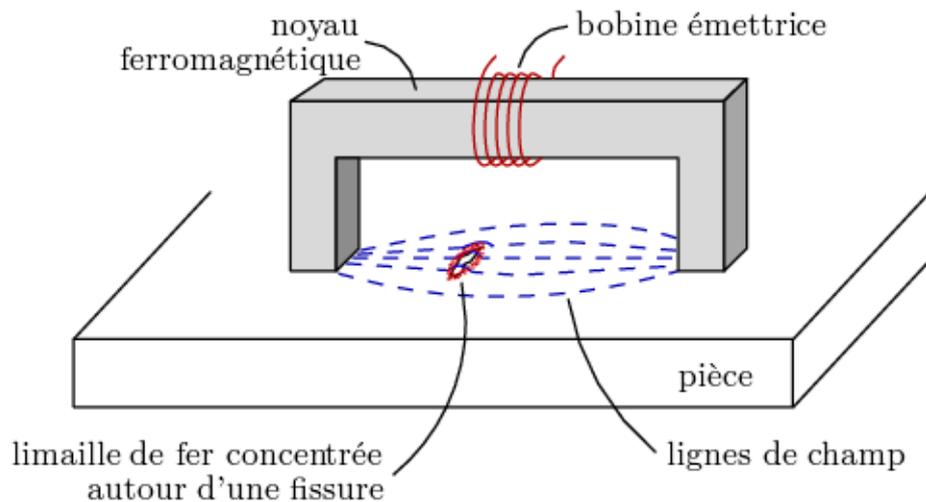


Figure 6-II Contrôle par magnétoscopie.

Lorsque la pièce possède d'un défaut, le flux magnétique est perturbé aux voisinages de ce défaut et crée une anomalie de dispersion. En utilisant des particules appropriés (colorées ou fluorescentes) d'un produit révélateur, un schéma caractéristique du défaut est fourni.

L'inconvénient de l'utilisation de cette technique est que elle est réservée pou les matériaux ferromagnétiques.

11 Courant de FOUCAULT :

La méthode de contrôle par courants de Foucault est une méthode de contrôles non destructifs (CND) qui utilise le principe de l'induction électromagnétique pour détecter les défauts se trouvant sur la surface et aussi sous surface dans les matériaux (conducteurs) et dans les métaux plus précisément.

12 Principe :

Des courants induits appelées courant de Foucault, sont créés au moyen d'un capteur et qui circulent localement dans le matériau. Ces courants ont une distribution et une répartition

dépendant directement de l'impulsion du champ électromagnétique d'excitation, de la géométrie et des caractéristiques de conductivité électrique et de la perméabilité magnétique de la pièce à examiner.

Lorsque il y a défaut, ces courants sont perturbés et entraîne une variation de l'impédance de capteur. Ces variations sont comparées à celles d'une pièce de référence et donnent une idée sur la forme et la dimension du défaut.

Des courbes dites (Lissajous) représentent en amplitude et phase les variations d'impédance.

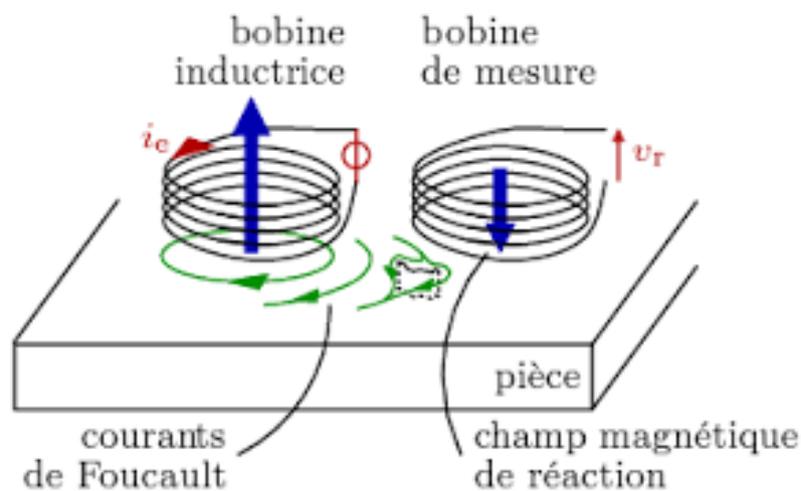


Figure 7-II Contrôle par courant de Foucault.

13 Domaine d'application :

Cette méthode est utilisée pour la détection des défauts dans les tôles comme :

- La corrosion, l'usure l'érosion.
- Les mesures d'épaisseur des revêtements (peintures, matières plastiques).

14 Avantages de la méthode :

- Haute sensibilité de détection des défauts.
- Possibilité de contrôle automatique et en continu.
- Rapidité d'exécution.
- Possibles de mesure à très hautes températures (900°).
- Aucun effet nuisible à l'environnement.
- Le contrôle peut se faire sur chantier (transportable).

15 Contrôles destructifs (Essais Mécaniques)

15.1 Définition :

Les essais destructifs ou essais mécaniques sont réalisés sur des structures ou des échantillons de structure afin de déterminer leurs limites de résistance.

Ces essais sont réalisés dont le but de déterminer les lois de comportements de la structure soumise à des sollicitations et qui relie force / déplacement ou bien contrainte / déformation.

Ces déformations et ces contraintes dépendent de la forme de la pièce et des conditions aux limites autour de cette pièce. Pour cela il faut normaliser les essais et qui sont définis par :

- La forme de la pièce : Epreuve normalisée.
- Manière ou sont exercés les efforts sur l'éprouvette : Essais normalisés.

15.2 Différents types d'essais :

Plusieurs types d'essais peuvent être exercé sur des éprouvettes on note :

- Essais de traction.
- Essais de compression.
- Essais de cisaillement.
- Essais de flexion.
- Essais de torsion
- Essais de résilience.
- Essais de fatigue.
- Essais de dureté.
- Essais Micrographique.

15.3 Essais de traction :

Pour pouvoir réaliser des essais sur des éprouvettes en traction, deux cas de formes d'éprouvettes sont utilisées : Plats ou cylindriques.

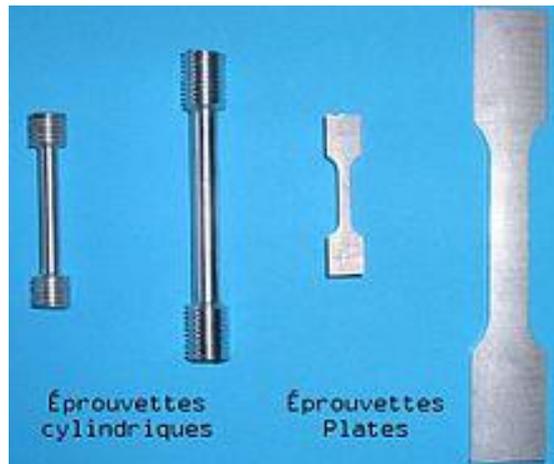


Figure 1-III Formes d'éprouvettes pour essai de traction.

L'éprouvette est fixée en deux points: Fixé d'un coté et tenue par un mors de l'autre coté.

On étire l'éprouvette par le mors à vitesse constante, et on relève la force de traction nécessaire en fonction de l'allongement.

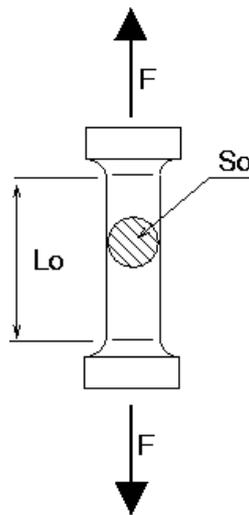


Figure 2-III Dimensions caractéristiques de l'éprouvette.

L_0 : longueur initiale.

S_0 : section initiale.

d_0 : diamètre initial.

L'essai permet de tracer une courbe dite de traction à partir de laquelle les caractéristiques suivantes peuvent être déduites :

- La déformation élastique : Zone où la déformation de l'éprouvette est réversible c'est à dire que après que l'éprouvette s'est déformé suite à un effort, elle revient à sa forme initiale après élimination de l'effort.

- La limite élastique (R_e) : Seuil limite de l'effort ou de la contrainte auquel l'éprouvette revient à sa forme initiale.

- Module de Young (E) : Appelé aussi module d'élasticité (longitudinale) ou encore module de traction. Il est la constante qui relie la contrainte de traction (ou de compression) et la déformation pour un matériau élastique isotrope. Il caractérise la rigidité du matériau. Il est égal à la pente de la courbe dans la zone élastique.

- La déformation plastique : Zone où la déformation de l'éprouvette est irréversible.

- La limite de rupture (R_r): Est la valeur maximale que peut supporter une éprouvette avant de se rompre.

- L'allongement à la rupture : Exprimé en % et correspond à la déformation de la pièce lors de la rupture.

- La striction : Exprimée en % et représente la diminution de la section dans la zone de rupture.

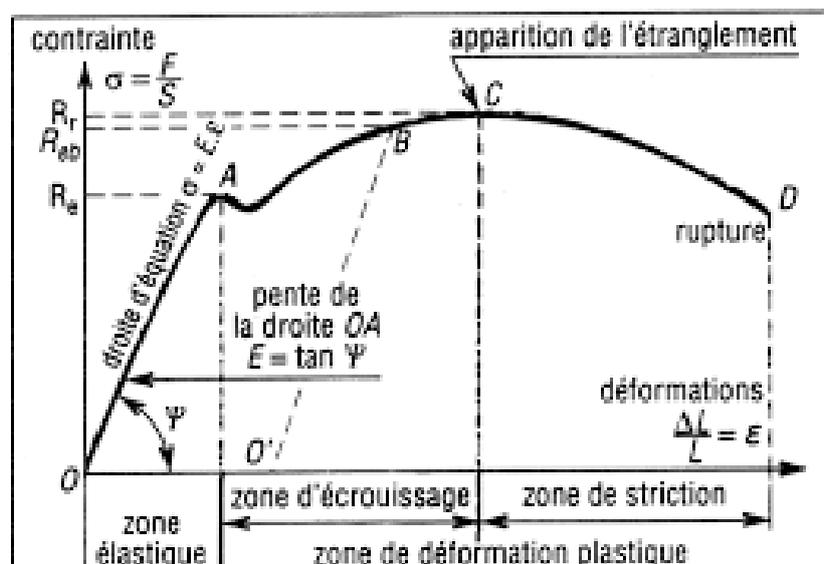


Figure 3-III Graphe contraintes déformations pour essai de traction.

15.3.1 Détermination des quelque grandeurs spécifiques :

La limite élastique : $Re = Fe / So$

La résistance à la rupture : $Rr = Fmax / So$

L'allongement à la rupture : $A\% = 100 (L_f - Lo) / Lo$

Striction à la rupture : $Z\% = 100 (So - S_f) / So$

La déformation : $\varepsilon = (L - Lo) / Lo$. Ou L longueur de la pièce après déformation.

Module de Young : $E = \sigma . \varepsilon$

Coefficient de poisson : $\nu = \frac{(do-d)/do}{(L-Lo)/Lo}$

15.4 Essais de compression:

L'essai de compression est un essai destructif. Il consiste à exercer sur une éprouvette généralement de forme cylindrique, une force de compression jusqu'à la rupture de celle si.

La résistance à la compression est la capacité d'un matériau ou d'une pièce à supporter les charges qui ont tendance à réduire sa taille par compression (écrasement).

L'éprouvette est placée entre deux plateaux d'une presse, à deux forces axiales opposées.

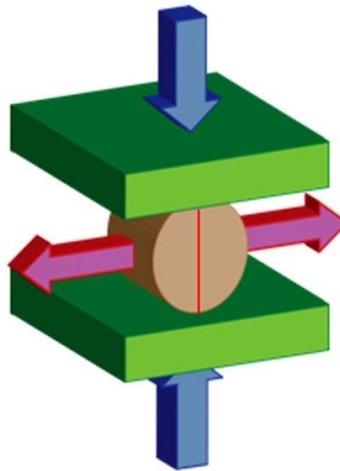


Figure 4-III Essai de compression.

Les essais de compression sont utilisés pour déterminer la contrainte de rupture des matériaux généralement fragiles.

Pendant l'essai de compression, l'échantillon se raccourcit et s'élargit.

15.5 Courbe contrainte déformation :

Comme l'essai de traction, l'essai de compression commence par une allure de courbe linéaire ou l'effort de compression est proportionnel à la déformation ce qui correspond à la zone élastique. Puis suit une zone où la compression devient plastique.

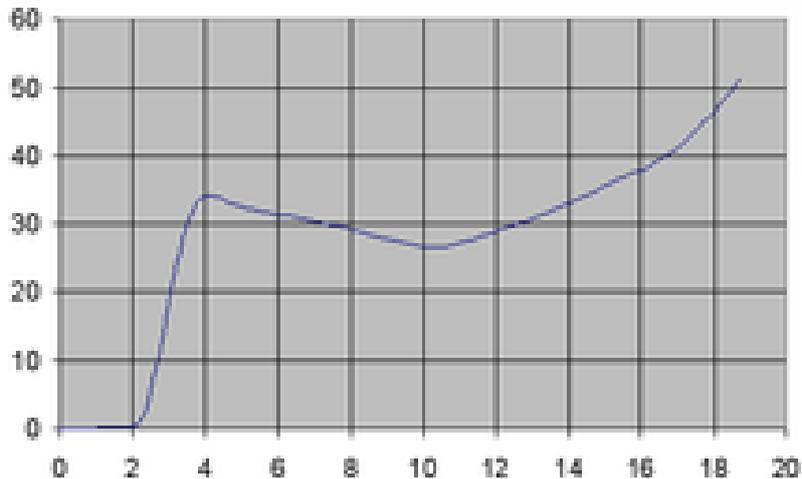


Figure 5-III Courbe contrainte déformation pour essai de compression.

La qualité d'un matériau à résister à la compression est l'une des propriétés techniques les plus importantes dans les constructions généralement en maçonneries et en béton. Elle se quantifie par des essais de compression sur des éprouvettes en formes de cubes ou de cylindre dans le cas du béton et pour les maçonneries des prismes, des portions de mur ou des pans entiers de murs.

15.6 Essais de flexion :

L'essai de flexion 3 points à objectif de mesurer la résistance à la rupture d'un matériau. Un profilé ou une barre à tester est placée sur deux appuis et l'on applique au centre de celle-ci une force variable.

Généralement, on cherche les conditions nécessaires pour ne pas dépasser la limite élastique, afin de préserver l'intégrité de la pièce. Mais des fois, en construction métallique, on veut dépasser cette limite élastique du matériau pour pouvoir avoir une certaine forme définitive d'une barre ou d'une poutre.



Figure 6-III Machine pour essai de flexion 3 points.

15.6.1 Déformation :

On considère, en générale une poutre comme un ensemble de fibres parallèles.

L'or d'une flexion, ces fibres vont se déformer constituant une poutre en flexion.

Après déformation (hypothèse de Bernoulli), les sections planes perpendiculaires à la fibre moyenne restent planes et perpendiculaires à la fibre moyenne.

La fibre neutre ne s'allonge pas, par contre les fibres à l'extérieur sont soit étirées soit comprimées.

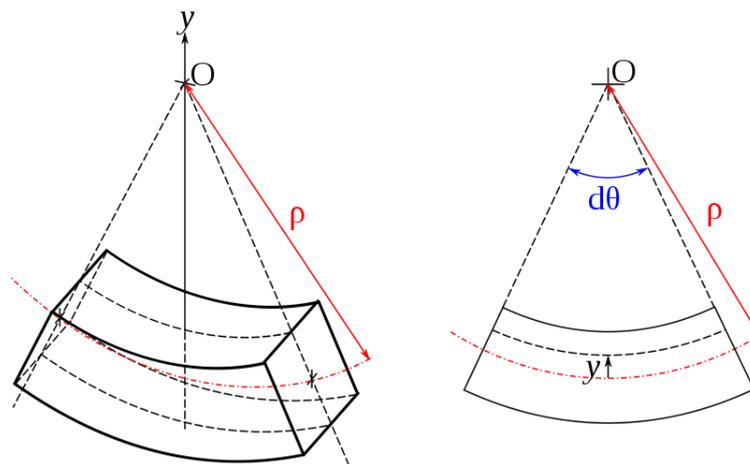


Figure 7-III Déformation d'une poutre en flexion.

15.7 Essais de résilience :

L'essai de résilience est un essai destructif qui consiste à rompre en un seul coup une éprouvette entaillée dont le but de mesurer l'énergie nécessaire pour effectuer cette rupture. Cet essai est réalisé sur une machine appelée : mouton-pendule (Charpy).

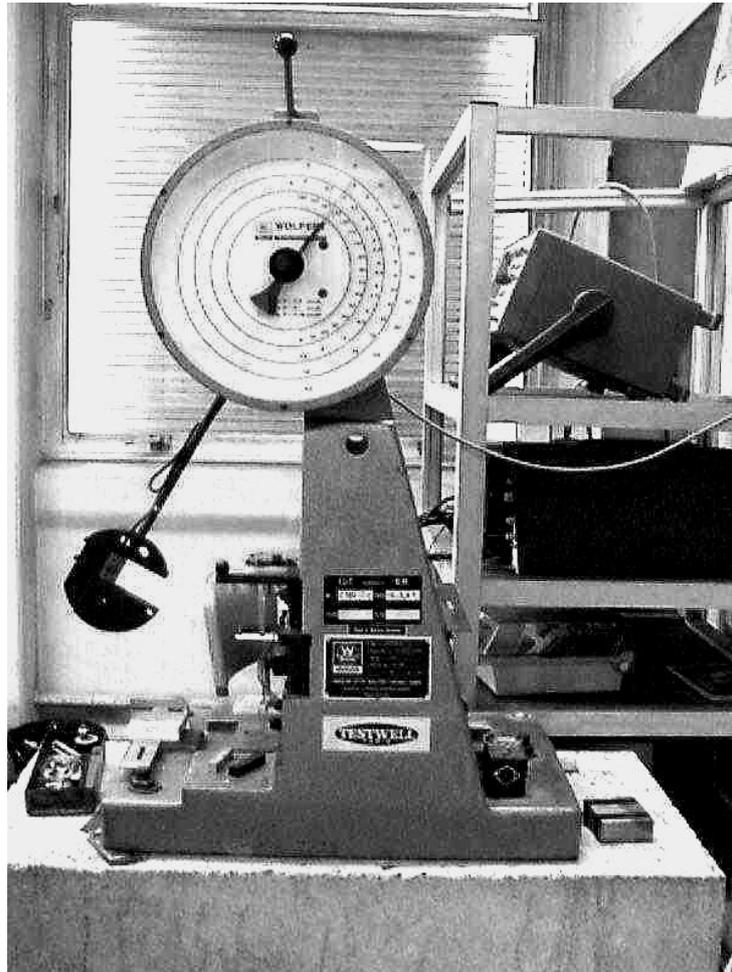


Figure 8-III Mouton pendule (Charpy).

15.7.1 Principe :

Le principe de l'essai de résilience ou appelée aussi essai par choc, est de rompre, par un seul choc, une éprouvette normalisée, préalablement entaillée en son milieu et à mesurer l'énergie W (en joules) absorbée par la rupture. On définit la résilience par la lettre K (Joules/cm²).

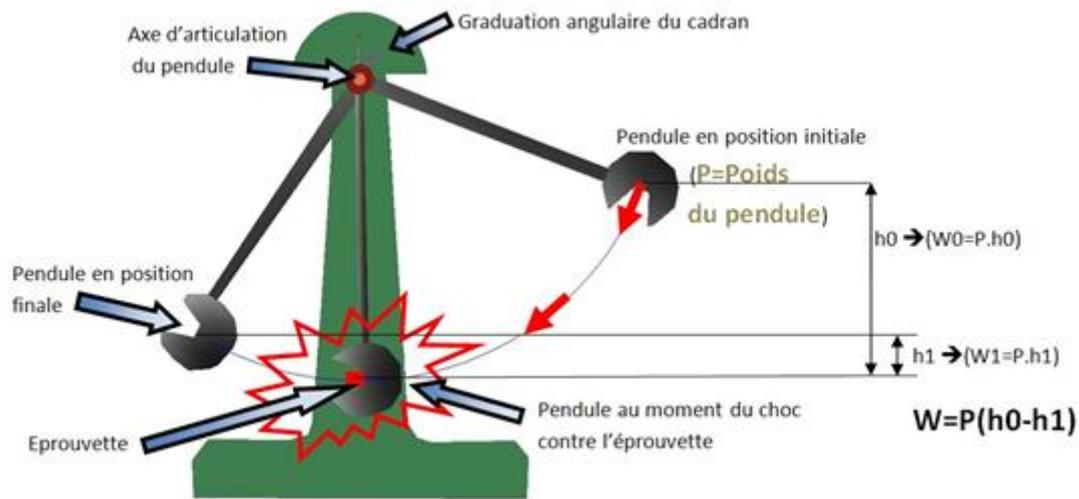


Figure 9-III Principe de fonctionnement du Mouton pendule.

En premier lieu, le pendule est surélevé à une hauteur repérée.

Le pendule est ensuite libéré, et avec son propre poids, provoque un choc au contact de l'éprouvette.

Cette dernière se brise mais avant absorbe une certaine quantité d'énergie.

Le pendule continuera sa rotation jusqu'à une certaine hauteur. La différence de hauteur permet de mesurer l'énergie absorbée par l'éprouvette.

L'énergie absorbée est calculée grâce à $W = P(h_0 - h_1)$ (P en N).

On peut aussi avoir une idée sur la ténacité d'un matériau qui est la résistance au choc à la propagation d'une fissure.

15.7.2 Exemple de forme d'éprouvette :

Plusieurs cas d'éprouvettes sont utilisés pour les essais de Charpy. Ce sont des éprouvettes sous forme d'un barreau usiné de section carrée de 10 mm de côté et dont la longueur est 55 mm. L'entaille de 2 mm de largeur et de profondeur variables.

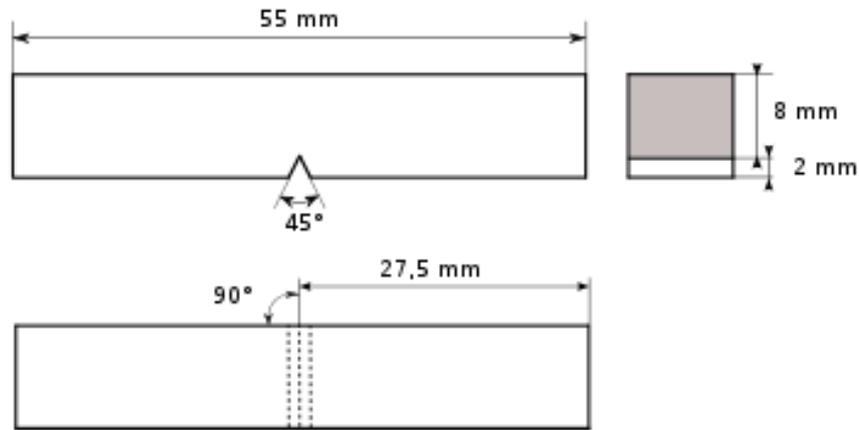


Figure 10-III Exemple d'éprouvette pour essai de résilience.

15.8 Essais de fatigue :

La fatigue d'un matériau résulte d'une sollicitation mécanique répétée pour de faibles amplitudes.

L'essai de fatigue est un essai où va être appliqué à une pièce une charge variable alternée (la moyenne des contraintes appliquées est nulle) ou répétée (la moyenne des contraintes appliquées est non nulle) jusqu'à la rupture de la pièce. L'essai est simulé d'après les conditions d'exploitation de cette pièce.

Un nombre N (nombre de cycles) avant la rupture de la pièce va être comptabilisé et sera un paramètre de référence pour la résistance à la fatigue du matériau.

La fatigue va faire apparaître des microfissures et qui vont se propager pour créer l'endommagement et par suite la rupture de la pièce.

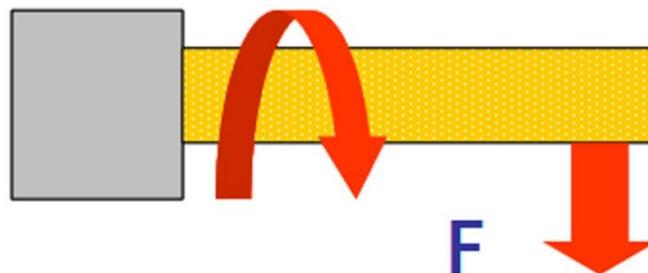


Figure 11-III Essai de fatigue par flexion rotative ou charge axiale. :

Les essais les plus utilisés sont consacrés à des séries d'éprouvettes (cylindriques ou rectangulaires) et qui sont soumises à des cycles d'efforts périodiques (ou non) et sinusoïdaux par charge axiale ou par flexion rotative.

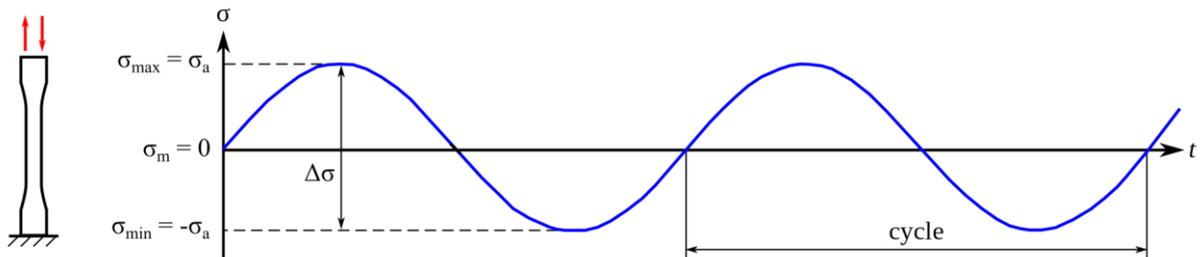


Figure 12-III Exemple d'effort cyclique appliqué à une éprouvette.

15.9 Essai d'indentation :

L'essai consiste à exercer une charge sur une surface d'une pièce par l'application d'un indenteur (pénétrateur). La déformation engendrée après l'essai (empreinte) est ensuite mesurée.

15.9.1 Conditions de l'essai :

L'essai est conditionné par des normes de préparation des surfaces des échantillons et des réactifs qui peuvent être utilisées pour l'examen micrographique des structures.

Le but de l'examen micrographique est de faire examiner la structure de l'échantillon par observation au microscope et déterminer les défauts ou les inclusions non métalliques.

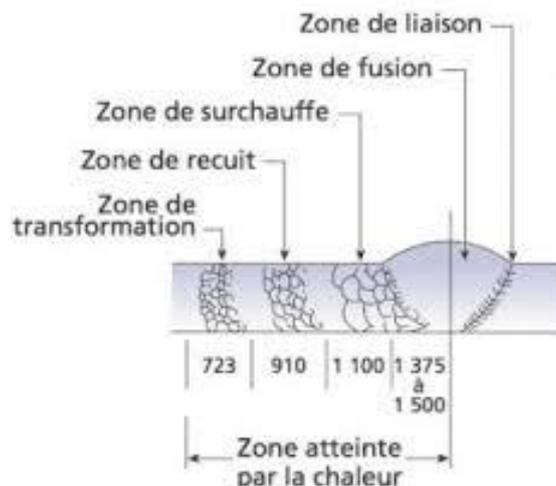


Figure 13-III Dispersion thermique aux voisinages de la zone atteinte par la chaleur.

Ici est présentée une coupe d'une plaque soudée et les différentes zones aux voisinages du cordon de soudure.

Il est impératif de respecter quelques conditions lors de l'obtention des échantillons. En fait la découpe ne doit pas affecter la structure des pièces (éviter la chauffe des pièces). Pour un examen correct de la surface, il est nécessaire de faire un pré polissage et un polissage de finition par utilisation de papier abrasifs de plus en plus fin. Pour le polissage de finition, on utilise généralement le polissage électrolytique, à l'alumine ou à la pâte diamantée.

15.9.2 L'attaque micrographique :

Elle permet de mettre en évidence les différents reliefs et les colorations aux voisinages du cordon de soudure et de révéler les inégalités dans le matériau. Pour cela deux réactifs d'attaque peuvent être utilisés : chimique ou électrolytique et comme exemple on donne :

15.9.3 Réactifs d'attaque chimique :

- Acide nitrique
- Acide picrique
- Acide nitro-fluorhydrique
- Sulfate d'ammonium.

15.9.4 Réactifs d'attaque électrolytique :

- Acide oxalique.
- Acide chromique.
- Nitrate d'ammonium.

15.10 Essais de dureté :

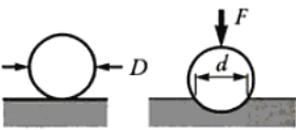
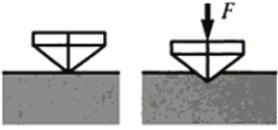
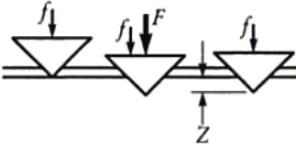
15.10.1 Dureté Vickers :

On mesure la dureté par un pénétrateur qui a la tête sous forme d'une pointe de forme pyramidale en diamant. Sa base est carrée et les angles au sommet entre faces font 136° .

15.10.2 Dureté de Brinell :

On utilise cette fois-ci un pénétrateur dont la tête est sous forme d'une bille en acier trempé ou en carbure de diamètre D . La force F appliquée dépend de la matière à examiner et du diamètre D de la bille du pénétrateur.

Tableau 9-1 Essais de dureté et principe.

Méthode d'essai	Géométrie du pénétrateur	Charge F	Principe de l'essai	Paramètre mesuré	Dureté
Brinell	Bille d'acier dur ou de carbure (10 mm de diam.)	500 ou 3000 kgf		Diamètre de l'empreinte (d)	$HB = \frac{2F}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}$
Vickers	Pyramide de diamant à base carrée; angle entre les faces opposées: 136° 	5 à 100 kgf (microdureté: 5 à 1000 gf)		Diagonale de l'empreinte (d) 	$HV = \frac{1,854 F}{d^2}$
Rockwell C	Cône de diamant d'angle au sommet de 120° 	Précharge f de 10 kgf; $F = 150$ kgf		Profondeur de l'empreinte (Z)	$HRC = f(Z)$
Rockwell B	Bille d'acier dur (1,59 mm de diam.)	Précharge f de 10 kgf; $F = 100$ kgf	Même principe que Rockwell C	Profondeur de l'empreinte (Z)	$HRB = f(Z)$

HV : Dureté de Vickers.

HB : Dureté de Brinell.

HRC, HRB : Dureté de Rockwell.

F : Force appliquée sur la surface.

D : Diamètre de la bille.

d : Moyenne des diagonales pour Vickers et diamètre de l'empreinte pour Brinell.

15.10.3 Mode opératoire :

Pour pouvoir faire un essai de dureté, la surface à inspecter doit être plane et nettoyée, de plus, il faut une épaisseur minimale suffisante sans cela la tôle sera déformée et la mesure sera faussée.

Le pénétrateur est placé en contact avec la surface de l'éprouvette. La force F est appliquée et maintenue de 10 à 15 secondes.

16 REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES :

1. Collectif, *Traité des Matériaux - Tome 2, Caractérisation expérimentale des matériaux : propriétés physiques, thermiques et mécaniques*, PPUR, 2007
2. « Le Contrôle Non Destructif par ultrasons » , sur *www.cea.fr*, septembre 2015.
3. Jean Perdijon, *Le Contrôle non destructif par ultrasons*, Paris, Hermès, 1993
4. U. Beck, « Quantitative adhesion testing of optical coatings by means of centrifuge technology », *Surface and Coatings Technology*, vol. 205, supplément 2, 25 juillet 2011, S182–S186.
5. Norme NF P 94-420 : « Roches – Détermination de la résistance à la compression uniaxiale », 12-2000
6. « Wikigeotech : Compression uniaxiale roche »_ sur le site de Wikigéotech, 18 juin 2014 (consulté le 18 juin 2014)
7. Ala ZOUAGHI, *Etude de la compaction isostatique à chaud de l'acier inox 316L : Modélisation numérique à l'échelle mésoscopique et caractérisation expérimentale.*, Ecole doctorale n° 364 : Sciences Fondamentales et Appliquées-ParisTech, 28 janvier 2013.
8. ↑ Daniel Chateigner, « Résistance des matériaux », *IUT Mesures Physiques, Université de Caen Basse-Normandie, Laboratoire CRISMAT-ENSICAEN*, 16 mai 2012.
9. ↑ « Propriétés mécaniques des Biomatériaux utilisés en Odontologie », *Université Numérique des Sciences Odontologiques Francophones*, 1^{er} juin 2010