



Département de Génie Mécanique

MEMOIRE DE FIN D'ETUDE

En vue de l'obtention du diplôme de :

MASTER

En Génie Mécanique

Option : Construction Mécanique

Présenté par :

KERMICHE A/fatah & MILI Hacene

Thème

**Etude et réalisation d'une machine d'essai de
fatigue pour pièce soudé**

Devant le jury composé de :

NOM et Prénom	Grade	Qualité
ROUABHI yousef	MAA	Président
MAKRI Hocine	MCA	Encadreur
SLAMANI Mohamed	MCA	Examineur
ARSLANE Mustapha	DOC	Examineur

Année Universitaire : 2018 / 2019

N° d'ordre : GM/...../2019



Remerciement

TOUT D'ABORD JE REMERCIE DIEU LE TOUT PUISSANT QUI M'À DONNÉ LA VOLONTÉ, LE COURAGE ET L'AUDACE POUR RÉALISER CE MODESTE TRAVAIL.

*JE REMERCIE VIVEMENT, MON ENCADREUR **MAKRI HOUSIN** POUR AVOIR ASSURÉ LA DIRECTION DE CE TRAVAIL, ET POUR M'AVOIR APPORTÉ RIGUEUR SCIENTIFIQUE NÉCESSAIRE À SON BON DÉROULEMENT, SES COMPÉTENCES ET SES BONNES DIRECTIVES*

M'ONT AIDÉ À ACHEVER CE MÉMOIRE DE MASTER. MERCI AUSSI POUR SON ATTENTION ET SES EXIGENCES PENDANT LA PÉRIODE DE RÉDACTION DU MÉMOIRE

JE REMERCIE LES ENSEIGNANTS DE LA FACULTÉ DE TECHNOLOGIE DE M'SILA, ET EN PARTICULIER LES ENSEIGNANTS DE DÉPARTEMENT DE GÉNIE MÉCANIQUE.

MES VIFS REMERCIEMENTS S'ADRESSENT ÉGALEMENT À TOUTE PERSONNE QUI À CONTRIBUÉ À MA FORMATION OU PARTICIPÉ DE PRÈS OU DE LOIN À LA RÉALISATION DE CE TRAVAIL.

Table des matières

Notations principales

Introduction générale

Chapitre I

Propriétés mécaniques des matériaux

I.1. Induction	2
I.1 Définition de la fatigue :	2
I.2 Courbe de Wöhler :	2
I.3- Essai De Fatigue Ou D'endurance.....	6
I.3.1-Flexion en traction compression :	6
I.3.2-Flexion alternée :	7
I.3.3-Torsion alternée :	8
I.3.4-Essai de fatigue en flexion rotative ou Essai de Moore :	8
I.4- Mécanismes d'endommagement par fatigue :	8
I-4-1-L' amorçage :	9
I-4-2-La propagation :	9
I-4-3-Rupture brutale :	10
I.5- Changement microstructuraux	11
I-6-1- Stades de fissuration :	15
I.5- Facteurs influents sur de l'endurance des pièces :	15
I.5.1- Facteurs métallurgiques :	15
I.5.2- Facteurs géométriques :	15
I.5.3- Facteurs de surfaces :	15
I.5.4- Facteurs de sollicitation :	15
I.5.5- Facteur de l'environnement :	16
I.6 Aspect probabiliste de la courbe de Wöhler :	16

Chapitre II

II. Les Procédés de soudage :	19
II.1. Notion de soudabilité.....	20
II.2. Carbone équivalent métallurgique C.E.M :	21
II.3. Parties constitutives d'un joint soudé :	21
II.4. Les différents types d'assemblages soudés :	22
a) Assemblage bout à bout.....	22

b) Assemblage en coin (angle intérieur et angle extérieur).....	22
c) Assemblage à bords relevés :.....	22
d) Assemblage en T.....	22
e) Assemblage à clin ou à recouvrement.....	22
f) Assemblage avec couvre-joints.....	23
II.5. Défauts des joints soudés.....	23
1) Fragilité produite par laségrégation.....	23
2) Corrosion au cordon de soudure.	24
3) Porosités.....	24
4) Soufflures.....	24
5) Inclusions :.....	24
6) Retassures :.....	25
7) Criques de solidification.....	25
8) Excès de pénétration.....	25
9) Collage ou manque de pénétration.....	25
10) Fissures	26
11) Morsures.....	26
12) Caniveaux.....	27
13) Pollution ferreuse.....	27
14) Défauts géométriques.....	27

Chapitre III

III. La fatigue des joints soudés :.....	31
III.1. Influence de l'épaisseur de la tôle et facteur d'échelle :.....	31
III.2. Influence du mode de chargement :.....	32
III.3. Influence du rapport de charge :.....	33
III.4. Défauts d'alignement :.....	34
III.5. Influence de la métallurgie interne :.....	34
III.6. Influence des contraintes résiduelles.....	34
III.7. Coefficients de concentration de contraintes dans les cordons de soudure.....	35
III.8. Influence du Coefficient de concentration de contrainte élastique.....	35
III.9. Durée de vie d'un joint soudé :.....	39

Chapitre IV

IV. Principe de conception de la machine étudiée :.....	40
IV.1. Principe de fonctionnement de la machine.....	40

IV.2. Les différents mécanismes de transformation de mouvement :.....	40
IV.2.1. Mécanisme de pignon crémaillère :.....	41
IV.2.2 Vis-écrou :.....	41
IV.2.3. Came et galet :.....	41
IV.2.4. Induction magnétique :.....	42
IV.2.5. Manivelle et coulisse :.....	43
IV.2.6. système Hydraulique :.....	44
IV.2.7. Bielle manivelle :.....	45
Conclusion.....	45
IV.3. Epreuve d'essai.....	46
IV.4.-calcul des éléments de la machine.....	52
IV.4.1.La bielle.....	52
IV.4.1.1. vérification a la compression	52
IV.4.1.2. vérification au flambage.....	52
IV.4.1.3. calcul du balançoire.....	53
IV. 5. Calcul Cinématique.....	57
IV. 6. Choix des composants.....	59
IV. 6.1. Choix du bâtis.....	59
IV. 6.2. Choix du moteur.....	59
IV. 6.3. Choix de l'accouplement.....	59
IV. 6.4. Choix des guidages.....	60
IV. 6.5. Guidages en translation.....	60
IV. 6.6. Guidage en rotation.....	60
IV. 7. Plans et dessins de construction de la machine.....	61
IV. 8.lubrification de la machine.....	64
Conclusion générale	
Résumé	

Liste des figures :

Chapitre I	
Figure. I .1. cycle de contrainte de fatigue	2
Figure I.2.principe de l'essai de Wöhler	3
Figure I.3. Le rochet et l'accommodation	4
Figure I.4.L'adaptation en fatigue	5
Figure I.5.Courbes d'endurance pour plusieurs matériaux.....	6
Figure. I.6 principe de la fatigue en traction compression	6
Figure. I.7.-machine d'essai de la fatigue en traction compression	6
Figure. I.8. Fatigue en flexion alternée principe et machine d'essai.....	7
Figure. I.9.principe de la fatigue en torsion alternée.....	7
Figure. I.10.machine d'essai de fatigue en torsion alternée	7
Figure. I.11.Essai de Moore ou essai de fatigue en flexion rotative	8
Figure. I.12. Faciès de rupture d'un arbre de transmission rompu par fatigue	11
Figure. I.13.Evolution de la longueur de fissure en fonction du nombre de cycl	14
Figure. I.14. Représentation schématique des différents régimes de propagation	14
Figure. I.15. courbe de Wöhler probabilisée.....	17
Chapitre II	
Figure. II.1. Soudure bout à bout sur chanfrein en V	21
Figure II.2. Porosités débouchâtes en surface du cordon de soudure	23
Figure II.3. Types d'assemblages soudés.....	24
Figure. II.4. Soufflures ou Porosités non débouchâtes dans un alliage d'aluminium	24
Figure. II.5. Le métal déborde de l'envers : excès de pénétration.....	25
Figure II.6. Manque de pénétration et collage au bord du joint.....	25
Figure II.7Macrographie d'une fissure a froid.....	26
Figure. II.8. Fissure longitudinale sur un cordon de soudure	26
Figure. II.9.Morsures dans le joint soudé.....	26
Figure. II.10. Caniveau en surface du joint soudé	27
Figure. II. 11. Défaut d'alignement	27
Chapitre III	
Figure.III.1. Influence de l'épaisseur sur la résistance à la fatigue d'un joint soudé de type C	29
Figure III.2 Définitions des points de rupture en fatigue dans un assemblage en T soumis à une traction et une flexion	29

Figure III.3. Evolution de la contrainte maximale équivalente en fonction de la distance au pied du cordon au pont 2pour un joint en T d'épaisseur 18 mm	30
Figure III.4 Evolution de la contrainte moyenne au cours des cycles de fatigue	30
Figure III.5. Définitions des défauts d'alignement dans les joints soudés	31
Figure III.6. Distribution des contraintes résiduelles dans un cordon de soudure bout à bout	32
Figure III.7 Influence de l'angle de raccordement sur le facteur de concentration de contrainte en pied de cordon	33
Figure III.8. Influence du rayon au pied de cordon sur la réduction à la résistance à la fatigue	33
Figure III.9. Evolution du facteur de concentration de contrainte et du facteur de réduction en fatigue avec le rayon en pied de cordon.....	35
Figure III.10. Evolution du facteur d'entaille en fatigue en fonction du nombre de cycles pour un joint soudé bout à bou	36

Chapitre IV

Figure IV.1. Schémas de principe de la machine.....	40
Figure IV.1. Schémas des mécanismes de transformation de mouvement de rotation en translation les plus connus	41
Figure IV.2. Schémas de la machine avec transformation de mouvement par pignon-crémaillère	41
Figure IV.3.Schémas de la machine avec transformation de mouvement par vis-écrou	42
Figure IV.4.Schémas de la machine avec transformation de mouvement par came-galet	42
Figure IV.5.Schémas de la machine avec transformation de mouvement par induction.....	43
Figure IV.6.Schémas de la machine avec transformation de mouvement par manivelle et coulisse	44
Figure IV.7. Schémas de la machine avec transformation de mouvement par système hydraulique	44
Figure IV.8.Schémas de la machine avec transformation de mouvement par bielle-manivelle	45
Figure IV.9. Schémas de la machine avec transformation de mouvement par bielle-manivelle	47
Figure IV.10. représentation des diagrammes des vitesses	58
Figure IV. 11acoupelement	59
Figure IV.12 .Vue de la machine réalisée sur CATIA.....	61
Figure IV. 13vues de la machine réalisée sur CATIA	61
Figure IV. 14vues de dessus la machine réalisée sur CATIA	62
Figure IV. 15vue en coupe de la machine réalisée sur CATIA	62
Figure IV. 16.coupe de la transmission bielle manivelle réalisée sur CATIA.....	63
Figure IV. 17.Vue du système de fixation réalisée sur CATIA	63
Figure IV.18.Vue de l'accouplement réalisée sur CATIA	64

Liste de tableau

Chapitre I :	
Tableau I : Facies de fatigues	15
Chapitre IV :	
Tableau IV.1 : Caractéristiques Mécaniques Du Matériau C48.....	46
Tableau IV.2. Dimensions d'éprouvettes plates selon les normes en vigueur.	48
Tableau IV. 3. Tableau des références matière.	56

Introduction générale

Toute pièce mécanique en fonctionnement normal est soumise à un certain nombre de sollicitations d'origines diverses, de valeurs maximales généralement connues mais variables dans le temps - modestes par rapport aux caractéristiques mécaniques du matériau utilisé. La répétition de ces efforts mène la pièce ou la structure à la rupture, ce qui est appelé phénomène de fatigue.

Le problème de la fatigue des structures est présent dans les domaines maritimes, aéronautiques, mécaniques et bien d'autres encore. Les premières études systématiques de ce phénomène, furent effectuées en 1869 par l'ingénieur des chemins de fer bavarois A. Wöhler, dans le cadre de recherches sur la rupture des essieux de wagon. Il supposa que, comme dans un organisme vivant, la répétition de contraintes « fatiguait » le matériau en diminuant ses capacités de résistance. Cette idée ne correspond pas à la réalité physique, mais le terme est resté comme nom générique de ce phénomène. L'étude de la fatigue des matériaux fait l'objet, aujourd'hui encore, de nombreux travaux de recherche, pour les métaux essentiellement. Le problème physique de la fatigue est lié à la micro géométrie de la surface du matériau et à sa structure atomique même, et donc à sa composition chimique. L'objet de cette étude est de déterminer le comportement des éprouvettes de matériau (acier C48) sous sollicitations de contraintes périodiques à amplitude constante, analogue à celles qui se produisent dans la pratique lors des sollicitations de service. Nous avons examiné plus particulièrement, le comportement en fatigue de la nuance étudiée, en effectuant des essais dynamiques en flexion afin de déterminer la limite d'endurance ;

Ce travail comporte quatre chapitres :

- Le premier est une recherche bibliographique, qui se comporte des généralités sur les Propriétés mécaniques des matériaux et quelques essais mécaniques.

- le deuxième chapitre rassemble les rappels de définitions, de soudage et caractéristiques représentatifs de la fatigue, de l'endommagement par fatigue ainsi que les facteurs qui peuvent influencer sur l'endurance de la pièce ou de la structure.

- Dans le troisième chapitre, on cite les facteurs influant sur les joints souder.

- le quatrième chapitre est une recherche expérimentale dans laquelle une description du dispositif expérimental est donnée ainsi que les résultats obtenus. On cite le
- principe de conception et de fonctionnement de la machine et les différents mécanismes de transformation de mouvement .
- les conclusions et les perspectives possibles à cette étude sont finalement dégagées à la fin de ce manuscrite .

On est convaincu que l'idée la plus essentielle dans ce projet est de faire le maximum pour chercher les pièces déjà utilisées ailleurs qui sont sous un bon état et les pièces périmées qui sont retirées de son fonctionnement et qui sont sous un état peut servir et occupait une fonction dans le projet. On exerce le recyclage en même temps cela coûte moins cher.



Chapitre I :

La Fatigues

Lorsqu'un matériau ou une pièce est soumis à une charge cyclique même si elle est inférieure à la charge limite, ses propriétés mécaniques décroissent avec le temps et la structure cède. C'est le Phénomène de Fatigue du matériau au caractère particulièrement insidieux puisque se développant lentement dans le temps, sans modifications macroscopiquement apparentes des pièces et structures et dans des zones souvent inaccessibles mais particulièrement sujettes à cet endommagement de par leur conception.

La première étude en fatigue a été réalisée sur des matériaux métalliques en 1829 par W.A.J. Albert qui était un ingénieur des mines allemand. Cependant, ce domaine a commencé à se développer avec l'augmentation de l'usage des structures en fer particulièrement dans la fabrication des ponts et des chemins de fer. Le premier vrai travail de recherche sur métal a commencé en 1842 à cause d'un accident de chemin de fer à côté de Versailles en France. Cet accident a causé 1500 à 1800 morts à l'époque

Les premières études systématiques de ce phénomène, furent effectuées en 1869 par l'ingénieur des chemins de fer bavarois **A. Wöhler** qui analysait les nombreuses ruptures d'axes de wagons de chemin de fer. Il montra grâce à des essais que le nombre de cycles jusqu'à la rupture d'un arbre dépendait de la contrainte maximale dans l'axe et des détails géométriques de l'axe.

Il supposa que, comme dans un organisme vivant, la répétition de contraintes « fatiguait » le matériau en diminuant ses capacités de résistance. Le problème physique de la fatigue est lié à la micro géométrie de la surface du matériau et à sa structure atomique même, et donc à sa composition chimique. Wöhler fut ainsi le premier à établir des courbes de fatigue qui aujourd'hui portent son nom.

I. Définition de la fatigue :

On entend par fatigue ou endommagement par fatigue, la modification des propriétés du métal consécutive à des cycles d'efforts, cycles dont la répétition peut conduire à la rupture de la pièce. »[1] .

Le mot fatigue vient d'un mot latin '*fatigare*' qui signifie '*tiredness*' en anglais. Ce terme est utilisé fréquemment en science de l'ingénierie pour montrer l'endommagement, la fissuration et la rupture des matériaux sous une sollicitation mécanique cyclique. Cette définition a été adoptée en 1964 par une Organisation Internationale de standardisation à Genève.

La fatigue est un mécanisme qui modifie les propriétés locales d'un matériau et peut entraîner la formation de fissures de dimension croissante pouvant conduire à la rupture de la structure, sous l'action de contraintes ou déformations variables (cycliques) dans le temps. La fatigue est notamment caractérisée par une étendue de variation de contrainte bien inférieure à la résistance à la traction du matériau. On représente le cycle de sollicitation en fatigue par la courbe cyclique suivante :

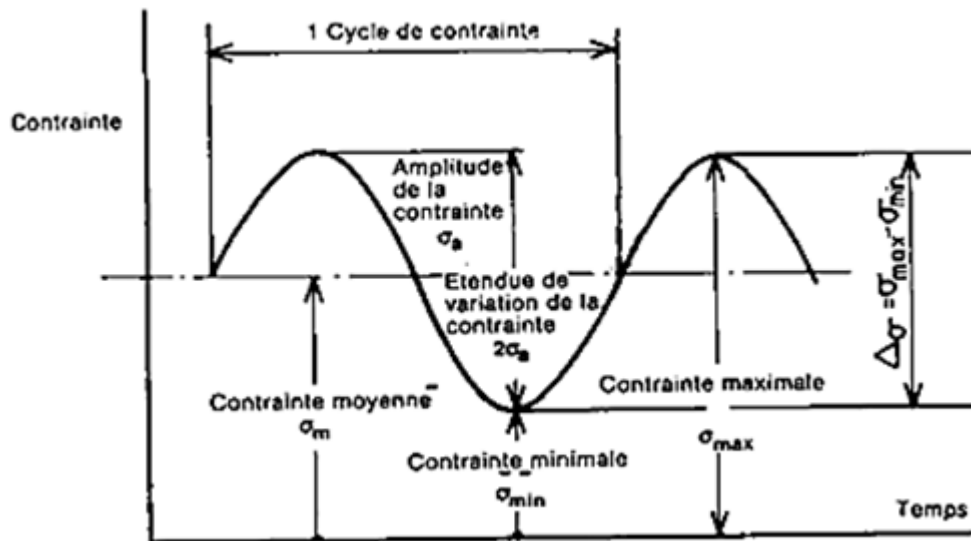


Figure. I.1: cycle de contrainte de fatigue.[2]

Les contraintes sont définies par :

- L'amplitude maxi σ_a atteinte au cours d'un cycle
- La valeur de la contrainte moyenne σ_m
- La différence entre les contraintes $\Delta\sigma$
- Le rapport de la contrainte σ_{min} à la contrainte σ_{max} : $R = \sigma_{min}/\sigma_{max}$

I.1 Courbe de Wöhler :

L'essai de fatigue le plus simple consiste à soumettre chaque éprouvette "lisse ou entaillée" ou pièces soudées encastrée à un bout et soumise à un effort à l'autre bout donc à une flexion rotative à des cycles d'efforts périodiques, d'amplitude maximale et de fréquence constantes, et à noter le nombre de cycles N_r au bout duquel la rupture se produit)(fig. I.2). On reporte ce nombre N_r , en général sur une échelle logarithmique, en fonction de la contrainte maximale des cycles. A chaque éprouvette correspond un point du plan ($\sigma; N$) et, à partir d'un lot d'éprouvettes soumises à des contraintes maximales différentes, on obtient une courbe nommée courbe de Wöhler ou courbe S-N (Stress/Number of cycles)(fig. I.3)[1][2].

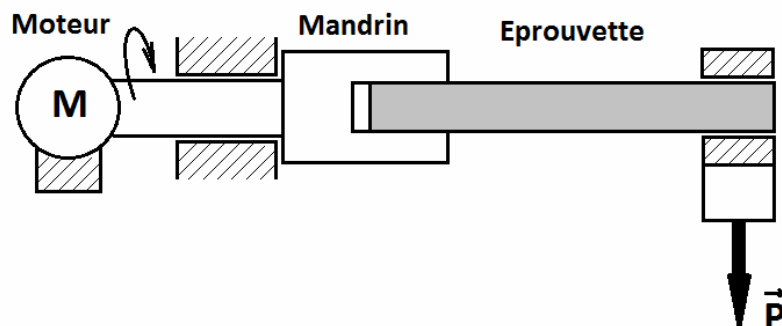




Fig. I.2 : principe de l'essai de Wöhler et [1]

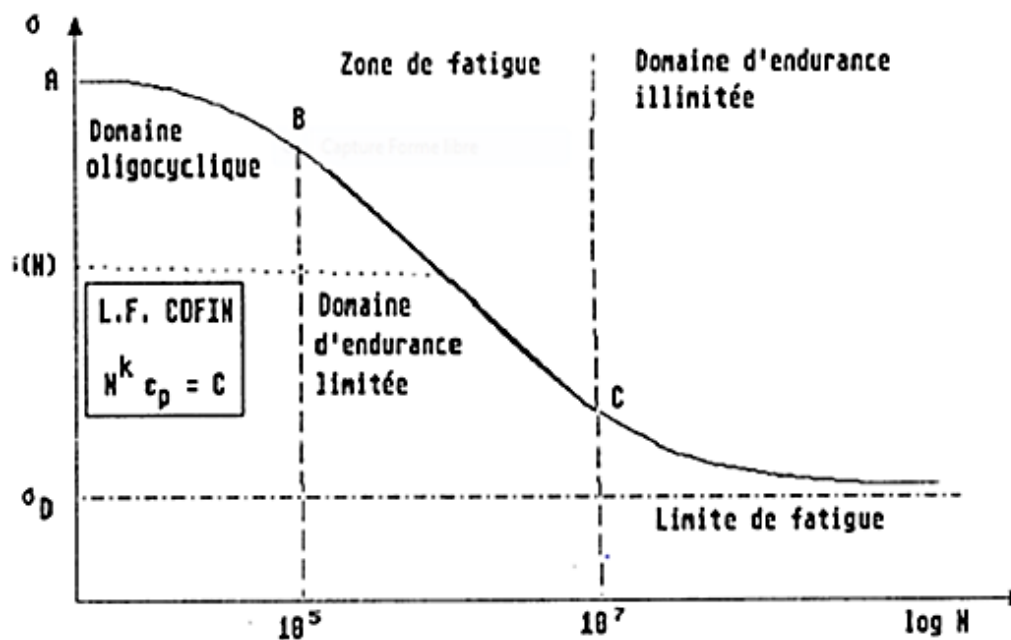


Fig. I.3: Courbe de Wöhler et [1]

Cette courbe peut en général être décomposée en trois zones ;

La zone AB, dite oligocyclique, qui correspond aux contraintes les plus grandes, supérieures à la limite d'élasticité macroscopique et où le nombre de cycles à la rupture s'étend de 0.5 jusqu'à 10^4 ou 10^5 (pour les aciers doux).

Dans cette zone, la rupture survient après un petit nombre d'alternances et est précédée d'une déformation plastique notable. Par suite de l'amplitude de la contrainte maximale, chaque cycle d'effort entraîne une déformation plastique d'ensemble accompagnée le plus souvent soit d'un durcissement notable, soit d'un adoucissement

du métal. La déformation plastique Peut être souvent reliée au nombre de cycles à la rupture par une relation simple de la forme (loi de Manson-Coffin) :

$$\text{Eq. I.1[1].} \quad N^k E^P = C$$

Où l'exposant k est voisin de 5 pour les métaux courants (aciers, alliages légers)

L'éprouvette atteint généralement un état d'accommodation plastique ou un Rochet élastoplastique. L'accommodation plastique se produit lorsque la réponse de l'éprouvette devient périodique, c'est à dire la déformation plastique devient périodique, un cycle d'hystérésis élastoplastique se produit.

Le rochet se produit lorsque la réponse de l'éprouvette n'atteint jamais un état périodique, la déformation plastique croît sans cesse, ce qui va provoquer la ruine de la structure en un nombre de cycles relativement très faible). [2].

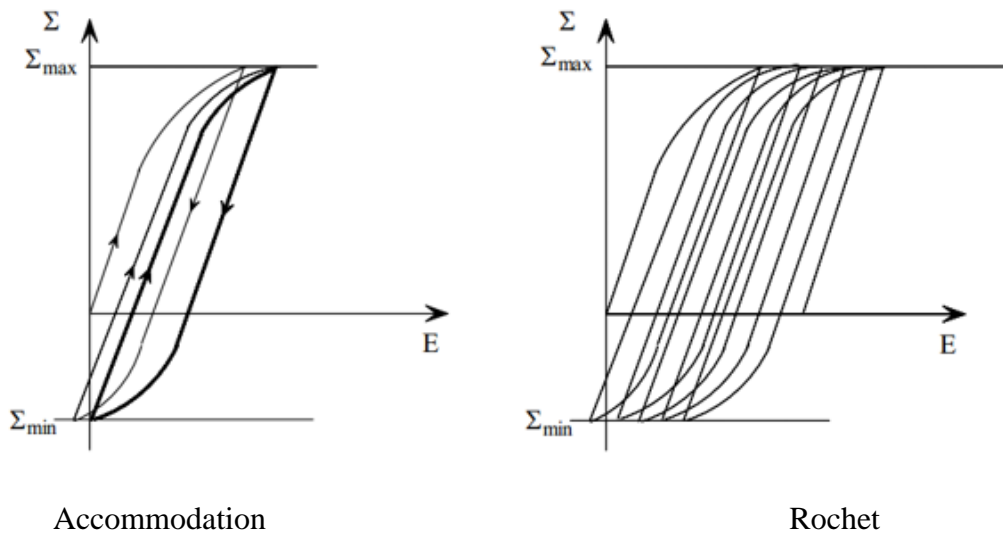


Fig. I.3 : Le rochet et l'accommodation.[2].

La zone BC, dite zone de fatigue ou d'endurance limitée, où la rupture est atteinte après un nombre de cycles compris approximativement entre 10^4 et 10^6 voire 107. La rupture n'est pas accompagnée d'une déformation plastique d'ensemble, mesurable. La réponse de l'éprouvette atteint dans ce cas un régime adapté élastique. L'adaptation élastique est un état où la réponse de l'éprouvette devient purement élastique, il peut y avoir de la déformation plastique durant les premiers cycles, mais au bout d'un certain nombre de cycles, elle reste constante ; l'état final cependant dépend de l'état initial de la structure. C'est le domaine dans lequel travaillent la plupart des structures qui pour diverses raisons, doivent avoir des masses et des volumes impérativement réduits (cas des structures aéronautiques ou automobiles ou nucléaires). Il existe de très nombreuses relations mathématiques reliant Set N dans ce domaine [2].

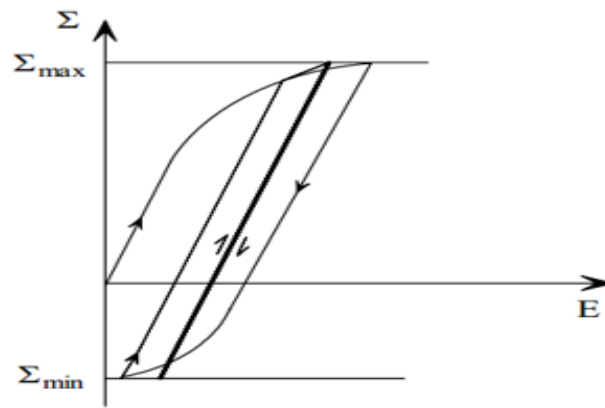


Fig. I.4 : l'adaptation en fatigue. [2].

La zone CD, dite zone d'endurance illimitée ou zone de sécurité, où D est un point pour les métaux ferreux qui est à « l'infini ». La courbe de Wöhler présente généralement une variation de pente plus ou moins marquée autour de 10^6 à 10^7 cycles, suivie d'une zone où la courbe tend vers une limite asymptotique parallèle à l'axe des N. En dessous de cette valeur limite de σ , notée σ_D , il n'y a jamais rupture par fatigue quel que soit le nombre de cycles appliqué. σ_D est nommée limite de fatigue ou limite d'endurance. Cette limite peut ne pas exister ou être mal définie pour certains matériaux (aciers à haute résistance, métaux non ferreux). Les grandes durées de vie concernent le domaine de la fatigue polycyclique.[2].

Remarques :

1-Pour les métaux pour lesquels on n'arrive pas à évaluer la limite de fatigue SD, on introduit la notion de limite de fatigue conventionnelle ou limite d'endurance. Il s'agit de la plus grande amplitude de la contrainte σ pour laquelle on constate 50% de rupture après Cycles de la sollicitation. On la note $\sigma_D(N)$, et selon le cas N varie entre 10^5 à 10^7 cycles. Pour les aciers,

$$\text{Eq. I.2[2]} \quad N = 10^7 \text{ et } s(10^7) \approx \sigma_D$$

2-Les courbes de Wöhler et la notion de limite de fatigue et d'endurance sont établies pour un niveau de contrainte moyenne donnée. Il est donc construit plusieurs courbes.

I.3- ESSAI DE FATIGUE OU D'ENDURANCE

C'est un essai statistique dans la mesure où des éprouvettes identiques, sous les mêmes conditions d'essai, donnent des résultats différents. Il y a une répartition statistique des résultats autour d'une valeur moyenne ou médiane. Cette valeur moyenne, une fois déterminée est choisie comme représentative de la capacité du matériau.

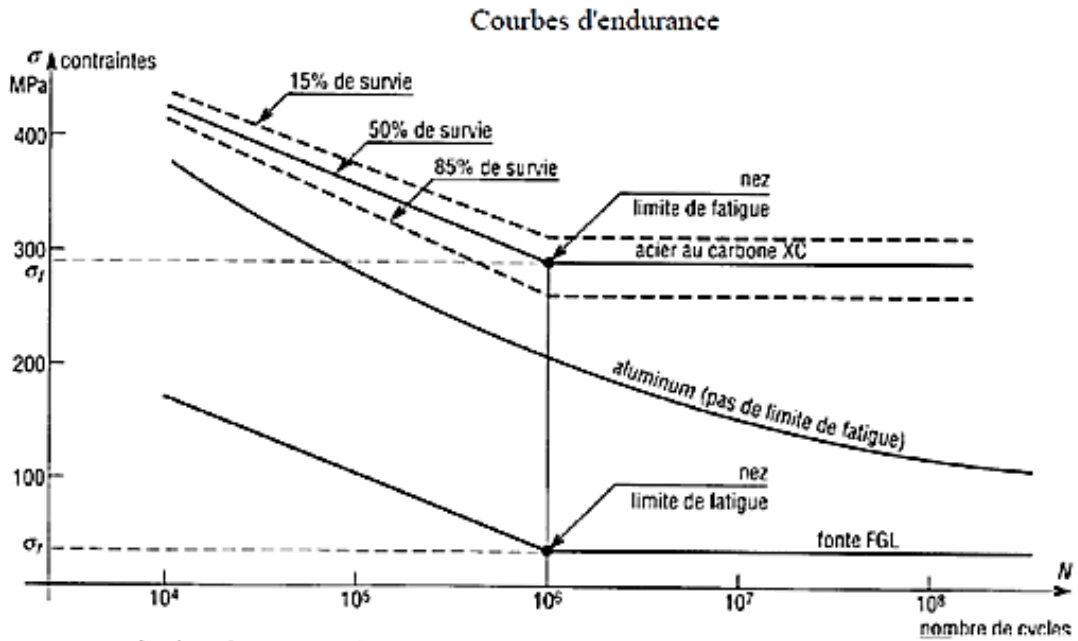


Fig. I.5- courbes d'endurance pour plusieurs matériaux. [1]

Il y a trois types d'essais de fatigue :

- Traction compression,
- Torsion alternée et flexion alternée (le plus classique)
- Flexion pure alternée M_f .

I.3.1-Flexion en traction compression :

La contrainte appliquée est complètement renversée ($\sigma_m=0$), l'éprouvette est maintenue fixe d'un côté et tirée/comprimée de l'autre côté (Fig. I.6 et I.7)

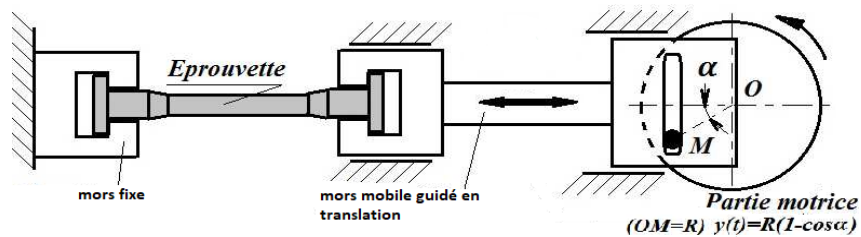


Fig I.6- principe de la fatigue en traction compression.

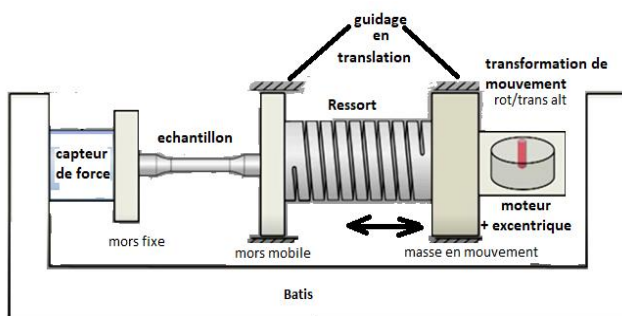


Fig I.7-machine d'essai de la fatigue en traction compression.

I.3.2-Flexion alternée :

Dans ce cas les efforts sont opposés en signes durant les cycles effectués. Une poutre vibrant sous l'effet d'un chargement dynamique est en flexion alternée, la fibre supérieure tantôt tirée tantôt comprimée. Comme illustre la figure I.8

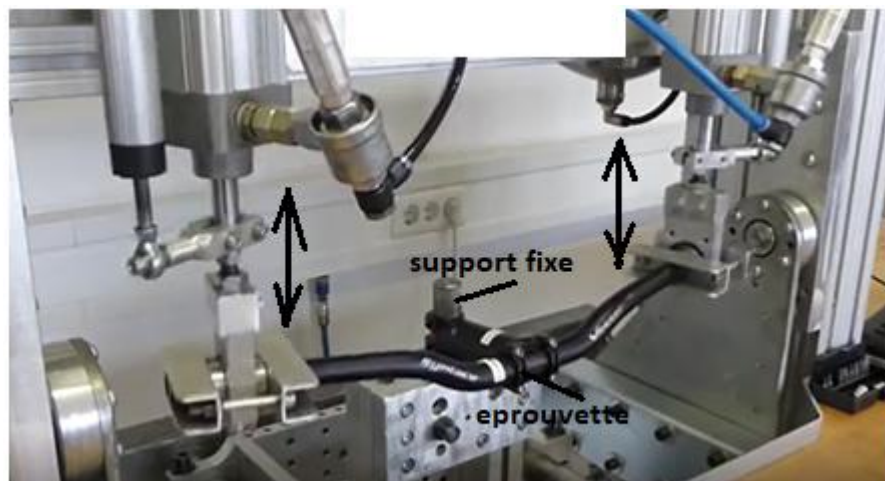
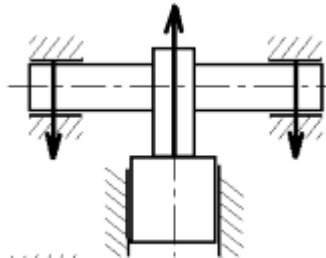


Fig I.8- Fatigue en flexion alternée principe et machine d'essai

I.3.3-Torsion alternée :

Les contraintes tangentielles ou moments sont de signes opposés. Dans la figure (Fig. I.9 et I.10) l'arbre tournant est oscillant ou en rotation alternative, ce dernier est soumis à une torsion alternative.

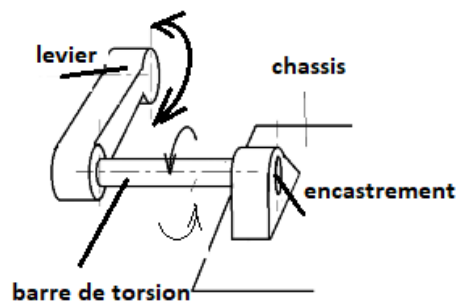


Fig I.9- principe de la fatigue en torsion alternée.

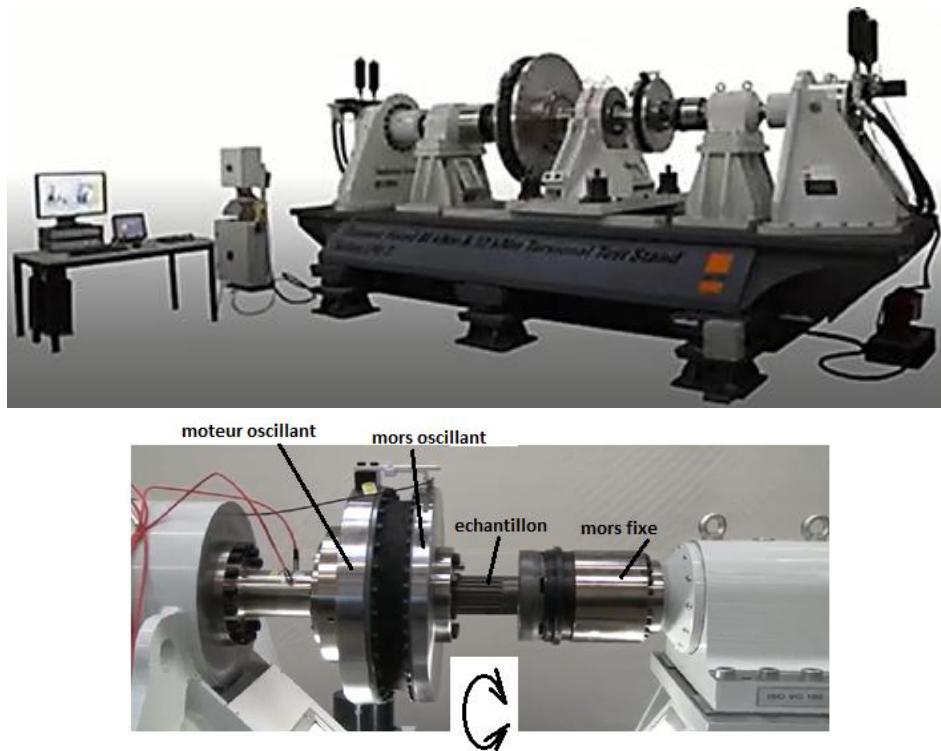


Fig I.10- machine d'essai de fatigue en torsion alternée

I.3.4-Essai de fatigue en flexion rotative ou Essai de Moore :

Dans cet essai l'éprouvette est soumise à une flexion rotative (4 points) mais l'avantage essentiel c'est la simplicité de la machine. L'éprouvette est en rotation continue mais soumise à des poids qu'on peut faire varier.

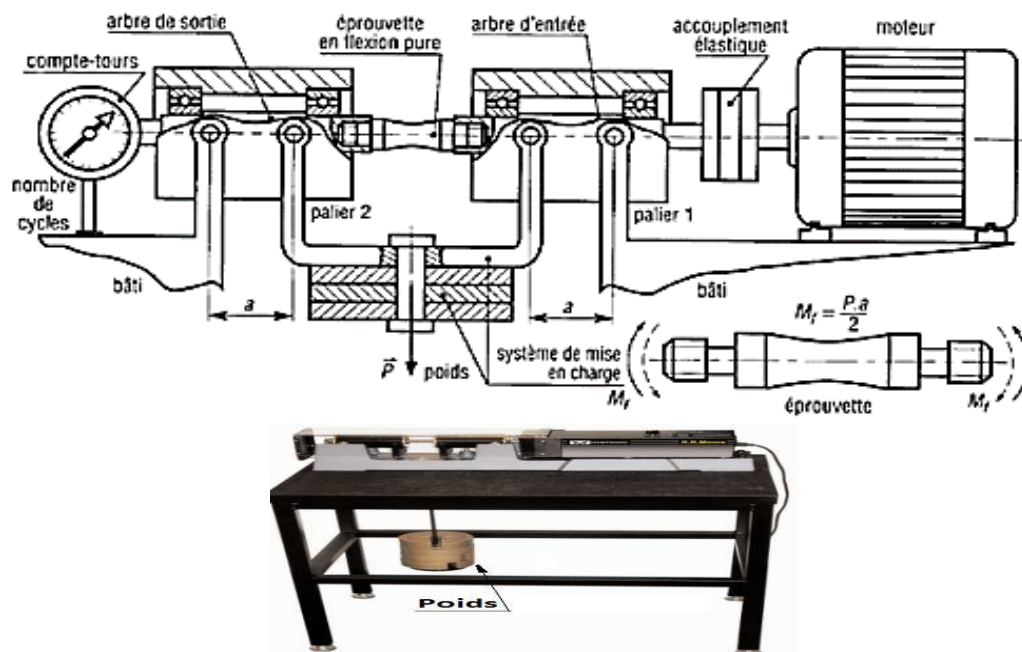


Fig. I.11- Essai de Moore ou essai de fatigue en flexion rotative :

I.4- Mécanismes d'endommagement par fatigue :

Il existe différents stades de l'endommagement par fatigue dans une pièce mécanique où les défauts peuvent se développer dans une partie initialement saine (non endommagée) puis se propager de façon stable jusqu'à la rupture catastrophique. Ces périodes d'importances variables suivant les matériaux et les caractéristiques des sollicitations.

On peut décrire le développement de l'endommagement suivant la chronologie suivante :

- 1-Apparition de modifications microstructurales engendrent l'apparition d'un dommage irréversible ;
- 2- Amorçage ou apparition de microfissures ;
- 3-Coalescence et croissance de défauts microscopiques forment des fissures principales qui peuvent éventuellement mener à la rupture catastrophique ;
- 4-Propagation stable d'une fissure principale ;
- 5-Rupture finale.

L'examen d'une surface rompue fait ressortir généralement trois zones :

- Un site d'amorçage ;
- Une zone de propagation stable ;
- Une surface de rupture finale.

I-4-1-L'amorçage :

Se traduit par l'initiation de microfissures de très grande finesse et difficilement détectable, cette phase d'endommagement peut devenir irréversible. Les sites préférentiels pour l'amorçage sont le plus souvent situés en surface, dans des zones de fortes contraintes comme les entailles, les rayures, les pics de corrosion, sur une inclusion etc. ou éventuellement à une discontinuité proche de la surface (gros précipité, gros oxyde, interface entre deux couches de duretés différentes...), qui conduit localement à une forte concentration des contraintes.

Il faut noter que le chargement mécanique ne déclenche pas la ruine immédiate de l'éprouvette mais certains grains vont se déformer de manière intense, soit parce qu'ils sont très bien orientés pour glisser et relativement peu confinés car proches de la surface, soit du fait d'une irrégularité géométrique (rayure), soit d'une manière assistée par la corrosion.

Jusqu'à un certain seuil d'endommagement, il est possible, par de judicieux traitements mécaniques et (ou) thermiques, de faire disparaître l'effet et donc de revenir à un état initial non endommagé.

I-4-2-La propagation :

Lorsque la pièce a subi un endommagement irréversible et commence d'entrer dans la période de propagation des fissures. Cette période peut être scindée en deux phases distinctes :

- **stade 1** : ou stade de propagation interne des microfissures précitées.

Les microfissures suivent les bandes de glissement dans lesquelles elles sont nées en restant approximativement parallèles au plan de la scission maximale. Leur vitesse de propagation est alors très faible (de l'ordre du nm/cycle) sont souvent arrêtées par les joints de grains qu'elles ne peuvent pas franchir facilement si le grain adjacent n'est pas favorablement orienté.

- **stade II** : ou stade de propagation d'une des microfissures

Le champ des contraintes évoluant lorsqu'on pénètre à l'intérieur de la pièce, une des microfissures va quitter le plan de la scission maximale pour suivre le plan orthogonal à la plus grande contrainte principale maximale (positive), et va stopper la propagation de ses congénères (par effet de décharge) et devient alors la fissure de fatigue qui conduira à la ruine de la pièce, La vitesse de propagation, d'abord très faible (quelques Å/ cycle, c'est-à-dire quelques 10^{-1} µm /cycle) va s'accélérer progressivement jusqu'à atteindre quelques µm par cycle). C'est durant cette période que des contrôles de la pièce permettent de détecter la fissure qui va conduire à la ruine et d'agir en conséquence (remplacement, réparation, surveillance).

I-4-3-Rupture brutale :

Lorsque la fissure intéresse une section de la pièce telle que la section résiduelle qui est trop faible pour supporter les sollicitations appliquées, il se produit la rupture brutale catastrophique.

I.4.3.1- Changement microstructuraux

L'examen attentif de toute rupture de pièces est une opération d'une grande importance dans le développement d'un produit. Elle permet de montrer les causes de rupture, donc envisager les remèdes à appliquer pour que cet état de fait soit supprimé

Facès de fatigue à l'examen optique :

Sur la section de la rupture, on observe à l'œil et à la loupe un nombre de caractéristiques :

- Présence de deux zones distinctes d'importance variable selon l'amplitude des contraintes et la nature du matériau :

- 1- La rupture brutale avec faciès à grains ou à nerfs.
- 2- La fissure de surface avec une surface lisse.
- L'examen permet de déterminer aussi la nature des sollicitations (Tableau.I).

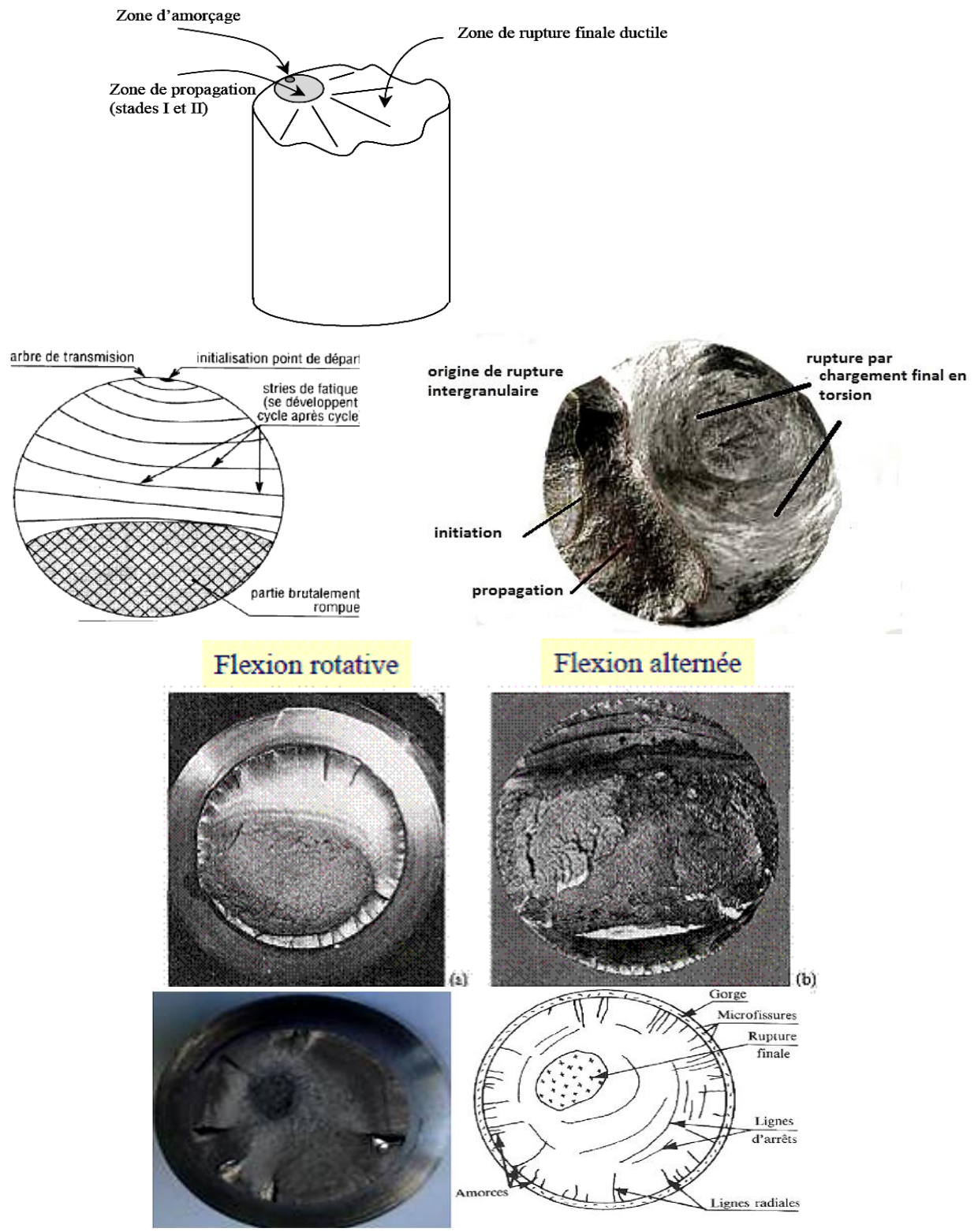
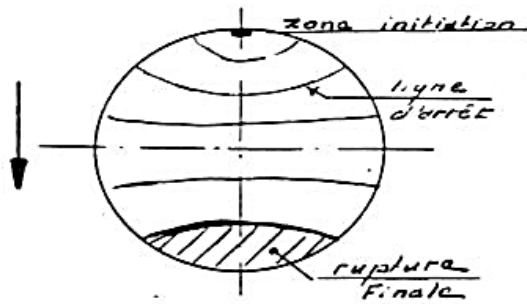
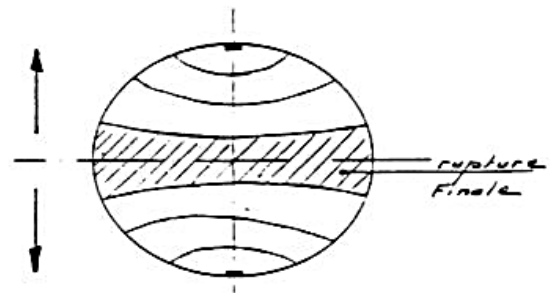


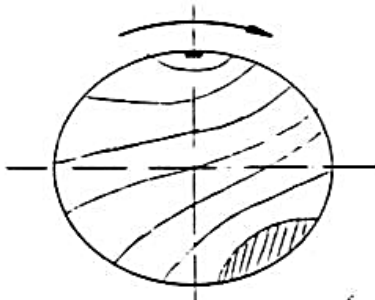
Fig I.12-. Faciès de rupture d'un arbre de transmission rompu par fatigue.



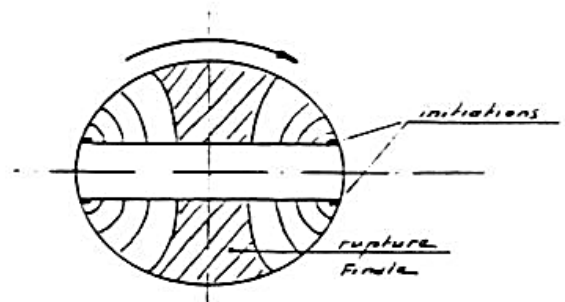
a) Rupture en flexion ondulée. La rupture finale est reportée à l'opposé de la zone d'initiation.



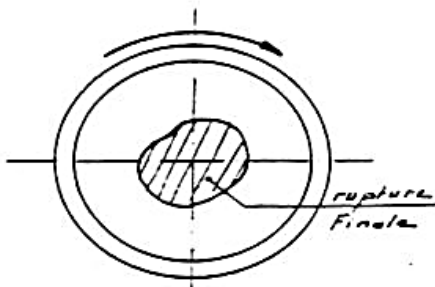
b) Rupture en flexion purement alternée. La rupture finale occupe une position médiane.



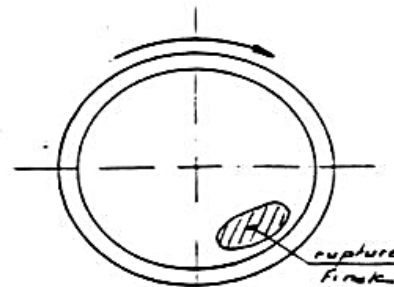
c) Rupture en flexion rotative sur arbre lisse



d) Rupture en flexion rotative sur arbre percé diamétralement



e) Rupture en flexion rotative : sollicitations élevées



f) Rupture en flexion rotative : sollicitations faibles

Tableau I: Faciès de fatigue

Type de sollicitation	Contrainte nom. élevée			Contrainte nom. Faible		
	Concentration de contrainte					
	Nulle	Faible	élevée	Nulle	Faible	elevée
Traction-traction Ou Traction-compression						
Flexion plane Ondulée						
Flexion plane Alternée						
Flexion rotative						
Torsion						

I.4.3.2 Propagation des fissures de fatigue

I.4.3-3- Stades de fissuration :

La rupture par fatigue est le phénomène de propagation d'une fissure sous chargement variable passant par les 2 stades (amorçage, propagation stable).

Si nous considérons une structure contenant une fissure de longueur (a), et on suit le comportement de cette fissure (la longueur en fonction du nombre de cycles appliqués N) pendant un essai de fissuration, sous un chargement cyclique à amplitude constante, on constate que cette croissance continue jusqu'à la rupture.

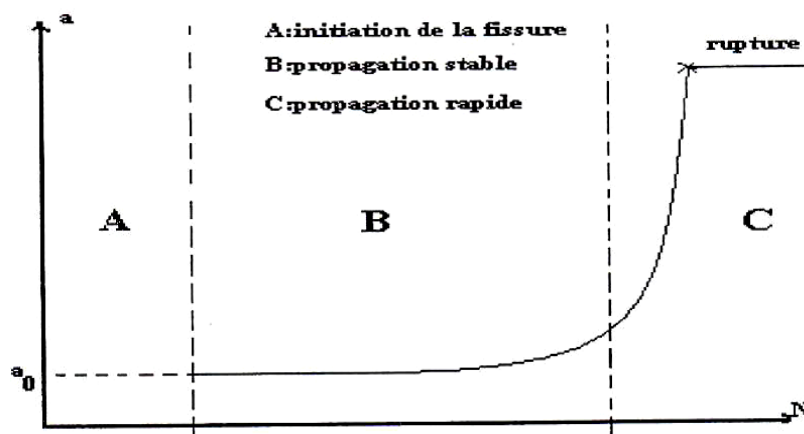
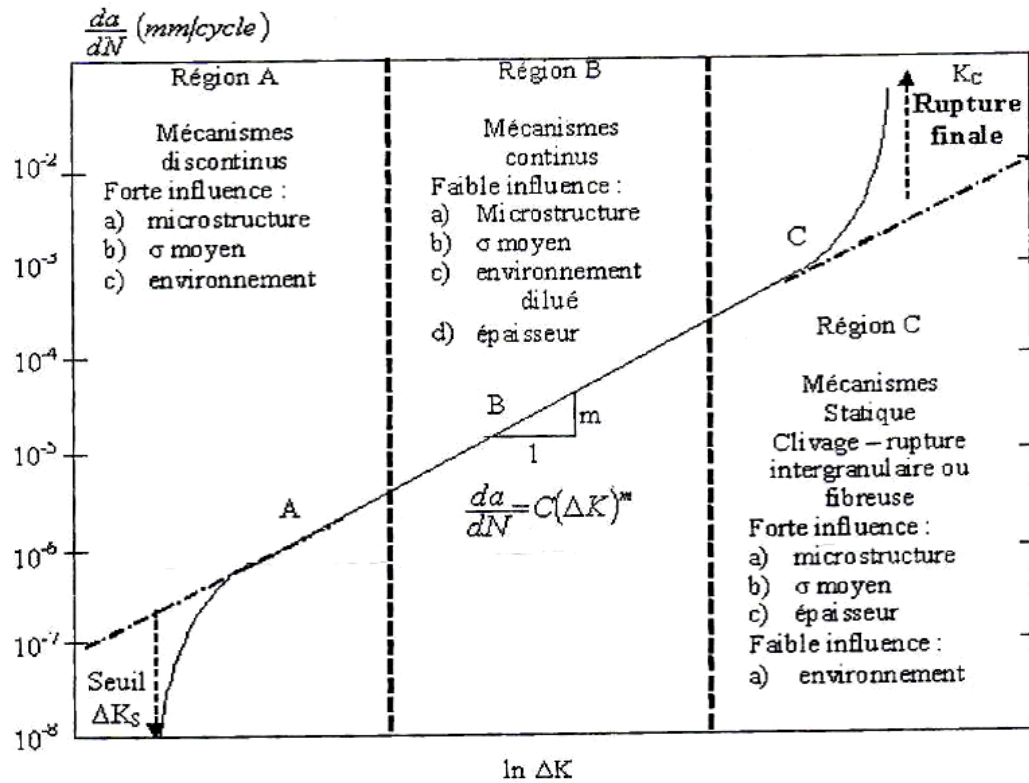


Figure I.13: Evolution de la longueur de fissure en fonction du nombre de Cycles.

En générale l'amorçage des fissures résulte de la concentration de déformation plastique qui se produit dans un domaine de dimension finie. Une fois que les fissures se sont amorcées ; elles peuvent se propager sous l'action de sollicitations. Trois domaines de fissuration sont identifiés voir courbe :

- **Domaine I :** C'est le domaine des faibles vitesses de fissuration, ou un seuil de non fissuration ΔK_s , dont l'existence est marquée selon les matériaux, c'est un seuil en dessous duquel une fissure préexistante ne peut se propager.
- **Domaine II :** Dans ce domaine on obtient une relation linéaire entre (da/dN) et ΔK pour plusieurs métaux. De nombreuses relations empiriques permettant de relier la vitesse de propagation au facteur d'intensité de contrainte ont été établies, telle que la loi de Paris, s'écrit sous la forme : $da/dN = C \Delta K^m$
- **Domaine III :** Ce domaine caractérise par une accélération de la vitesse de propagation de fissure en fonction de l'amplitude du facteur d'intensité de

contrainte qui se termine par la rupture brutale lorsque le niveau de sollicitation approche la condition de la rupture, caractérisé par $K_{max} = K_{IC}$. (K_{IC} est le facteur d'intensité de contrainte critique à la rupture).



FigI.14 : Représentation schématique des différents régimes de propagation.

I.5- Facteurs influents sur de l'endurance des pièces :

On peut dire, pour simplifier, que l'endurance d'une pièce ou d'un élément de structure est la résultante de plusieurs phénomènes compétitifs :

- D'une part, l'endommagement progressif du métal par suite de l'existence des concentrations des contraintes, qui entraîne des déformations plastiques.
- D'autre part, l'adaptation, c'est à dire la modification du régime des contraintes internes par relaxation consécutive à la déformation plastique localisée.

Il y a un grand nombre de paramètres susceptibles d'affecter la résistance à la fatigue et donc de modifier la courbe S-N. Ces facteurs peuvent être classés comme suit :

- Facteurs d'ordre métallurgiques ;
- Facteurs géométriques (effet d'échelle, forme, ...) ;
- Facteurs dépendant des conditions de surface ;
- Facteurs dépendants des conditions de sollicitation (nature des charges : traction/compression, flexion alternée, flexion rotative, torsion alternée, ...) ;
- Facteurs d'environnement (température, corrosion, ...) ;

I.5.1- Facteurs métallurgiques :

On peut classer dans cette catégorie tous les facteurs liés à la nature du métal qui constitue la pièce (composition chimique et structure cristallographique), à son élaboration et à sa mise en forme (inclusions, défauts...), ainsi qu'aux traitements thermiques (structure métallographique et caractéristiques mécaniques) subis par les pièces [3].

I.5.2- Facteurs géométriques :

L'influence de ces facteurs intervient par la dimension des pièces (effet d'échelle) et surtout par leurs formes (effet d'entaille et coefficient de concentration des contraintes) [3].

I.5.3- Facteurs de surfaces :

Les fissures de fatigue prennent le plus souvent naissance dans les couches superficielles. Il convient donc, pour améliorer l'endurance des pièces, de relever dans la mesure du possible celle des couches superficielles, on peut y arriver en jouant soit sur la nature du métal, soit sur la résistance des couches superficielles par des traitements de durcissement et le développement de précontraintes [3].

I.5.4- Facteurs de sollicitation :

- **Nature des efforts :** Pour une même éprouvette, essayée sous une même amplitude de la contrainte périodique, à la même fréquence et à la même température, les gradients de contraintes à travers la section la plus chargée seront différents selon la nature des efforts appliqués. Pour des efforts axiaux, traction ou compression les contraintes sont uniformes dans la section, tandis qu'en flexion ou en torsion elles sont maximales en surface et nulles au centre, sur la fibre neutre [4].

-**Effet de surcharge et de sous-charge :** Une surcharge temporaire peut conduire à dépasser localement la charge de rupture du matériau et produire un endommagement irréversible sous forme d'une fissure.

Inversement, si l'on soumet le matériau à des contraintes périodiques inférieures à sa limite d'endurance, on peut avoir localement des microdéformation plastiques, qui relâcheront les concentrations des contraintes et écrouiront le matériau, le rendant apte

a supporter des contraintes plus élevées : c'est l'effet de sous-charge qui, pour les matériaux très adaptables, permet de relever la limite d'endurance de façon sensible (10 à 20%).

- **Contraintes résiduelles** : les contraintes résiduelles peuvent aggraver dangereusement les valeurs des contraintes, inversement des précontraintes de compression permettent d'augmenter le taux de travail admissible.

Les contraintes résiduelles ne peuvent être déterminées de façon directe, elles sont toujours à déduire grâce à la mesure des quantités physiques ou mécaniques distinctes qu'elles produisent. Et qui sont les suivantes [3] :

- Les déformations macroscopiques qui se relâchent quand une partie du matériau est enlevé de la partie soumise aux contraintes résiduelles.
- La distribution des déformations résiduelles homogène dans le réseau cristallographique. C'est la base des méthodes des diffractions de rayon X.
- La vitesse de propagation des ondes ultrasonores qui sont influencées par les contraintes résiduelles.
- Les caractéristiques magnétiques du matériau.

- **Influence de la fréquence** : Dans le cas des contraintes périodiques, on voit apparaître alors un cycle d'hystérésis de la déformation en fonction de la contrainte dont l'inclinaison varie avec la fréquence des cycles. Si cette fréquence augmente, la déformation plastique maximale atteinte pour une même amplitude de la contrainte diminue et, par suite, l'endurance se trouve augmentée, tout au moins tant que cette augmentation de fréquence n'entraîne par un échauffement de l'éprouvette. Inversement, si la fréquence diminue, il en sera de même de l'endurance, principalement à cause de l'effet d'environnement.

I.5.5- Facteur de l'environnement :

- **Influence de la température** : La limite d'élastique et la résistance à la traction diminuant lorsque la température s'élève, il en sera de même de la limite d'endurance [3].

- **Fatigue sous corrosion** : On rencontre très fréquemment la fatigue-corrosion sur des pièces travaillant dans des conditions assez peu agressives en apparence, à titre d'exemple, les eaux saumâtres ou salées, les divers milieux acides [3].

I.6 Aspect probabiliste de la courbe de Wöhler :

L'expérience montre qu'il peut y avoir une dispersion importante dans l'obtention de la courbe de Wöhler d'un matériau, en particulier lors des grandes durées de vie

Pour un niveau de contrainte donné, le rapport entre la valeur maximale et la valeur minimale du nombre de cycles à la rupture peut dépasser 10. La dispersion des

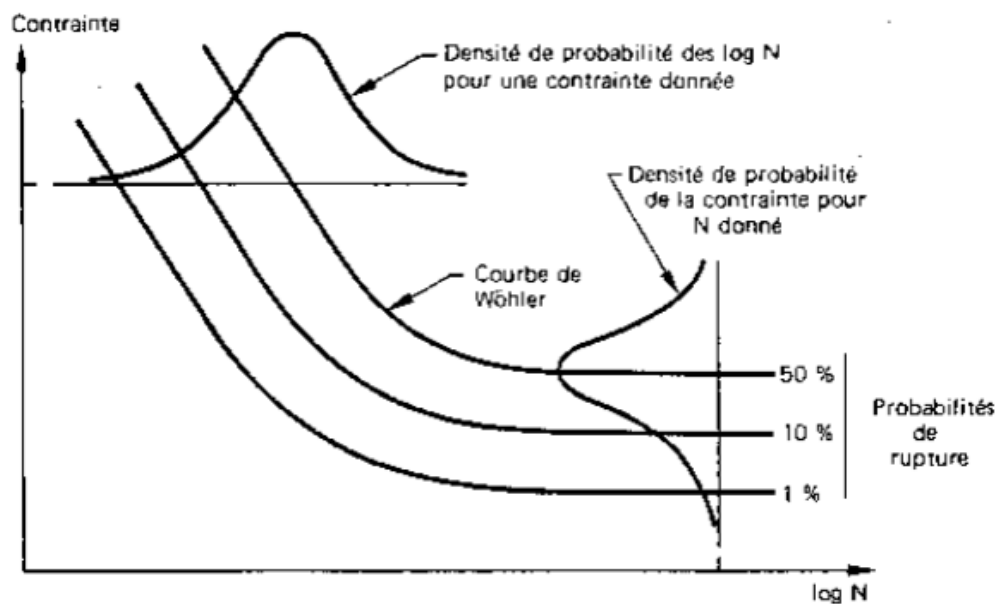
résultats est liée à l'hétérogénéité des matériaux, aux défauts superficiels, aux tolérances d'usinage et surtout à des facteurs métallurgiques. Il est défini une courbe associée à chaque niveau de probabilité de ruine ; celle qui est classiquement représentée est à un niveau de 50% de probabilité.

C'est ainsi que, pour un concepteur soucieux de prévoir un certain taux de fiabilité, il apparaît souvent impossible d'utiliser directement les résultats de la courbe de Wöhler car cette courbe moyenne lui indique seulement qu'il a autant de « chances » d'obtenir une rupture qu'une non-rupture de sa pièce ou structure, après un certain nombre de cycles sous une sollicitation donnée.

Dans un concept probabiliste, la courbe de Wöhler ne représente plus que la frontière séparant le domaine où la rupture est la moins probable (à gauche de la courbe) du domaine où la rupture est la plus probable (à droite). Il est nécessaire de construire les courbes d'équiprobabilité, en anglais courbes P.S.N. (Probabilistics, Stresses, Number of cycles) qui associent à chaque sollicitation ou nombre de cycles une probabilité de rupture p . La courbe de Wöhler étant alors la courbe médiane à 50% (fig. I.13)

Il est couramment admis, et vérifié pratiquement par l'expérience que :

- La distribution de l'effort suit presque toujours une loi normale pour un nombre de cycles donné sur l'étendue des deux domaines d'endurance limitée et illimitée ;
- La distribution du logarithme des nombres de cycles ($\log N$) suit une loi normale pour un effort donné dans le domaine



FigI.15: courbe de Wöhler probabilisée.[2]

Ces deux propriétés sont extrêmement précieuses, car connaissant la moyenne m et l'écart type S de la population entièrement expérimentée, il est possible de déterminer le pourcentage de rupture au-delà d'un certain nombre d'écart-types à partir de la moyenne en se référant aux tables de la loi normale centrée réduite. Mais les essais sont réalisés à partir d'un échantillonnage exhaustif dans une population de moyenne m et d'écart type Inconnus. Les résultats sont donc uniquement valables pour un niveau de confiance égal à 0.5 en remplaçant m par la moyenne \bar{x} de l'échantillon et S par l'écart-type empirique s de cet échantillon.

Afin d'ajuster des courbes d'équiprobabilité représentatives de la population à partir de cet échantillon, il faut introduire un niveau de confiance supérieur à 0.5, ce qui a pour conséquences immédiates de :

- Diminuer la contrainte admissible pour une probabilité de rupture donnée, opération $\bar{x} - ks$ au lieu de $m - KS$, avec $k > K$
- Déterminer l'intervalle de confiance contenant la vraie valeur de la moyenne m .

Il faut donc :

Déterminer un nombre k tel que la probabilité de la variable aléatoire $\bar{x} - ks$ de ne pas dépasser $m - KS$, soit exactement de g .

Des tables donnant k en fonction de p , n et g existent, où p est la probabilité de non rupture en %, n le nombre d'échantillons et g un niveau de confiance.

Accepter un risque $1-g$ que l'intervalle de confiance ne contienne pas les vraies valeurs de m à partir de risques limites.

$$\text{Eq } \beta_1 = 1 - \gamma/2 \text{ et } \beta_2 = 1 + \gamma/2.$$

Ces limites sont tabulées à partir de la loi de Student-Fischer et permettent de déterminer en fonction du nombre de degrés de liberté l'intervalle de confiance de la moyenne m alors comme limite d'endurance limitée [2]

$$E\eta = \bar{x} - t_{\beta_1} \frac{s}{\sqrt{n}}$$

$$\bar{x} + t_{\beta_1} \frac{s}{\sqrt{n}} \text{ et } \bar{x} + t_{\beta_2} \frac{s}{\sqrt{n}}$$



Chapitre II :

La fatigues en soudage

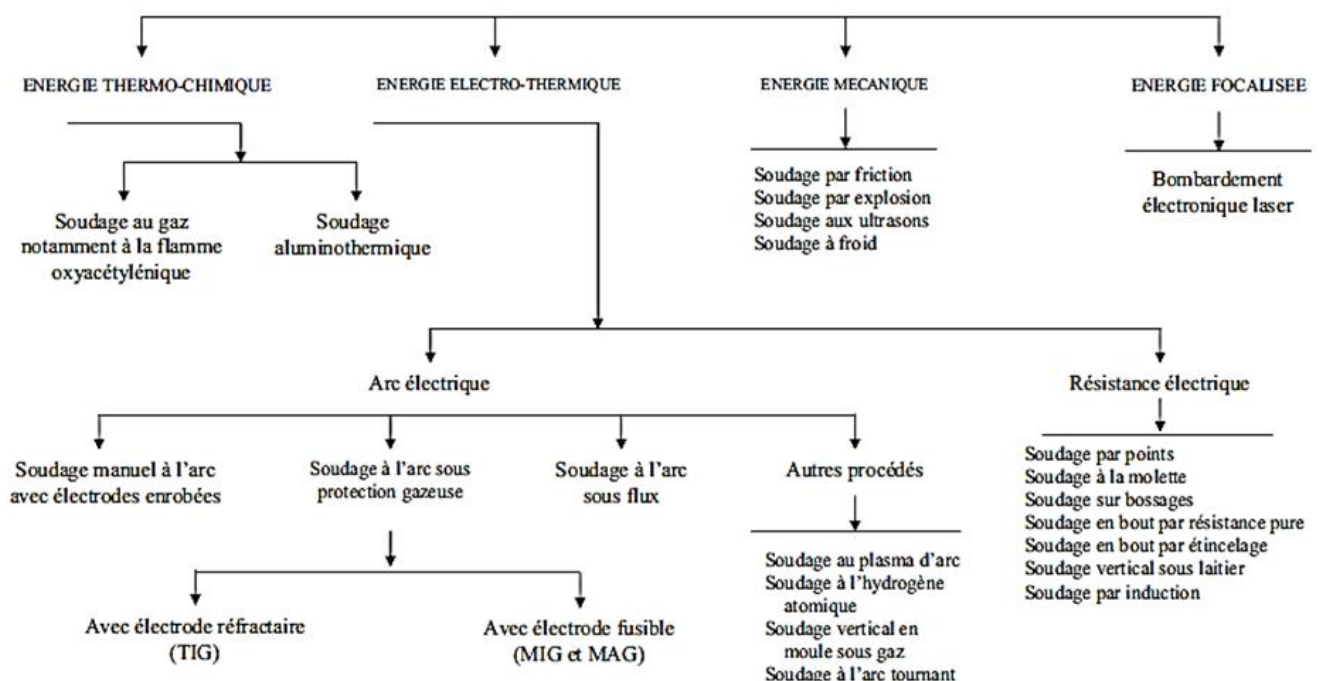
Le Soudage est une opération qui consiste à assembler deux ou plusieurs pièces rigides de manière à assurer une certaine continuité entre elles ou parties d'un grand ensemble. On obtient ainsi, après solidification, un joint homogène aux caractéristiques plus au moins proches de celles du métal de base, ou un joint hétérogène dans le cas de métaux différents. Cette opération peut être assimilée à une opération locale d'élaboration métallurgique et à une opération locale de traitement thermique donnant une structure cristalline dépendant à la fois de la composition chimique élaborée et du traitement thermique.

Cet assemblage se fait de diverses manières, on utilise parfois la pression, la chaleur ou les deux combinés en même temps.

Actuellement le soudage est utilisé dans presque tous les domaines, dans la fabrication et les assemblages métalliques et ceci de la microélectronique jusqu'à la fabrication de corps des machines énormes comme les presses. On soude presque la totalité des métaux existants et ceci de 0.01 mm à 100 mm d'épaisseur, en utilisant plusieurs procédés.

II. Les Procédés de soudage :

Il existe un très grand nombre de procédés de soudage, dont les principes sont très différents [9]. Par fusion locale des éléments à assembler ou à froid par effet purement mécanique. Entre ces deux modes extrêmes de soudage, il existe des modes intermédiaires combinant les effets mécaniques et calorifiques ou des sources d'énergie très variées : chimique, électrique, de radiation, etc. peuvent être utilisés. La nature de l'énergie mise en œuvre est un moyen commode pour classer les divers procédés de soudage, dont les plus courants apparaissent au Tableau III.



II.1. Notion de soudabilité

Dans les dictionnaires la soudabilité est définie comme propriété d'un matériau qui se prête à la réalisation d'une construction par joints soudés. On considère qu'un matériau métallique est soudable à un degré donné par un procédé et pour un type d'application donnés, lorsqu'il se prête à la réalisation d'une construction entre les éléments de laquelle il est possible d'assurer la continuité métallique par la constitution de joints soudés.

On distingue plusieurs types d'acier :

I. Acier à bas carbone : les aciers calmés se soudent sans problème. La teneur en oxygène sera limitée pour éviter les soufflures.

II. Aciers à haute limite d'élasticité : il y a un risque de fissuration du joint dans les assemblages bridés ; ce risque peut être minimisé par l'application d'un préchauffage ou d'un post-chauffage. Les aciers faiblement alliés contenant moins de 0.30 % de carbone ne nécessitent habituellement pas de préchauffage.

III. Aciers à outils : la vitesse de soudage élevée, la faible largeur du cordon et des zones affectées thermiquement présentent un très gros avantage par rapport aux autres procédés utilisés (Ex. : soudage des lames de scie).

IV. Aciers réfractaires : le procédé de soudage par faisceau d'électrons est le procédé idéal pour le soudage de ces aciers. La focalisation du faisceau permet d'atteindre des températures élevées sur une zone étroite sans affectation du métal de base.

II.2. Carbone équivalent métallurgique C.E.M :

Dans le cas des aciers, un critère de soudabilité est donné par le « facteur » carbone fixé par. L'institut international de soudure [16]. Il est donné par:

$$C_{eq} \% = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr + Mo + V}{5} + \frac{Ni + Cu\%}{15}$$

C_{eq} : Carbone équivalent métallurgique

- Si $C_{eq} \leq 0.40$, on soude sans précaution,
- Si $0.41 \leq C_{eq} \leq 0.60$, on effectue un préchauffage avec une température comprise entre 100 à 250 C° ,
- Si $C_{eq} \geq 0.6$, l'acier est difficile soudable,
- Si $C_{eq} > 0.7$, l'acier est non soudable.

II.3.Parties constitutives d'un joint soudé,

La soudure se décompose en plusieurs zones comme illustre laFigure II.1dans le cas typique d'une soudure bout a bout sur chanfrein en V :

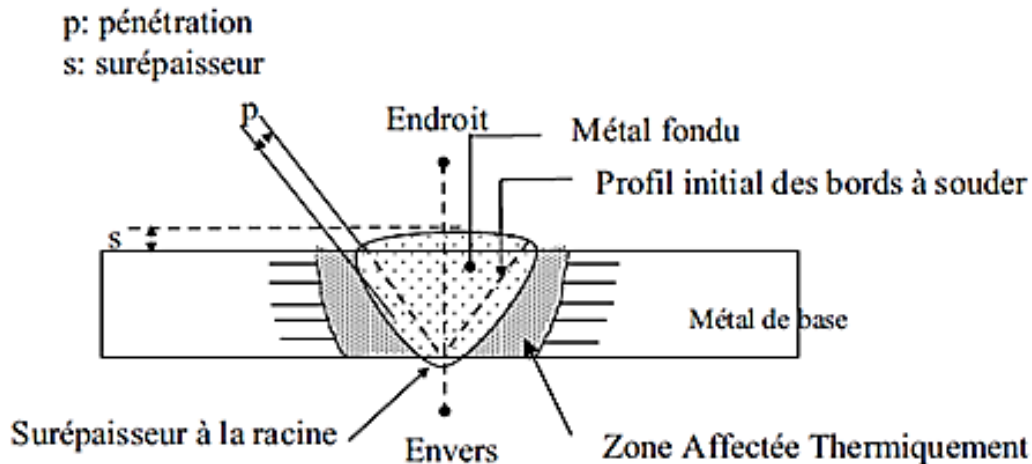


Fig. II.1. Soudure bout à bout sur chanfrein en V.

- **Métal de base (M.B)** : métal des pièces à assembler. Ces pièces peuvent être en métaux semblables ou dissemblables.
- **Métal d'apport** : non nécessaire dans tous les cas, c'est le métal ajouté par fusion au joint à réaliser. La masse du métal d'apport ainsi ajoutée se nomme métal déposé.
- **Bain de fusion** : dans les soudures par fusion, le bain est formé du métal de base seul (lorsque la soudure est effectuée sans métal d'apport) ou du mélange de métal de base et de métal d'apport à l'état liquide. Le métal composant le bain de fusion, prend après solidification, le nom de métal fondu et le volume qu'il occupe est nommé zone fondue.
- **Zone affectée thermiquement** : (ou zone affectée par la chaleur): la (ZAT) est la partie du métal de base non fondue, mais dont les propriétés mécaniques ou la microstructure ont été modifiées à un degré quelconque par la chaleur du soudage.
- **Zone de liaison** : zone marquant la frontière entre la zone fondue et la zone affectée thermiquement ; en quelque sorte, c'est la limite entre le métal fondu et solidifié, et le métal resté à l'état solide au cours de l'opération de soudage.
- **Pénétration** : profondeur sur la quelle s'est étendue la fusion dans le métal de base.
- **Endroit d'une soudure** : coté par lequel la majeure partie de la soudure a été effectuée.
- **L'envers** : est le côté opposé à l'endroit ; il comporte la racine de la soudure dans le cas des soudures sur bords droits et sur chanfrein simple.

- **Soudure avec reprise à l'envers** : une soudure est dite avec reprise à l'envers lorsqu'on y dépose un cordon par une passe à l'envers. Il comporte la racine de la soudure dans le cas des soudures sur chanfrein simple.
- **Raccordement** : limite extérieure entre le métal fondu et le métal de base, soit à l'endroit, soit à l'envers de la soudure.

II.4. Les différents types d'assemblages soudés :

L'assemblage soudé sert à transmettre des efforts entre les pièces jointes par soudage. Les forces et les tensions introduites en différents points d'une structure sont transmises aux surfaces, et aux membrures à travers la soudure. Le type de sollicitation en service a une influence sur la conception du joint soudé.

. La soudure se fait par fusion des bords, sans ou avec peu de métal d'apport. La méthode de soudage choisie peut nécessiter la préparation d'un chanfrein.

Du point de vue construction on trouve une grande variété de joints soudés : ils issues de quatre configurations de base figure. II.2. Que l'on peut classer comme suit :

- Assemblage bout à bout.
- Assemblage en T.
- Assemblages à recouvrement.
- Assemblage en angle.

a) Assemblage bout à bout

Un assemblage bout à bout correctement exécuté assure une parfaite continuité géométrique de la matière. Son comportement aux sollicitations de tous types est bon. La présentation des bords à assembler nécessite des soins particuliers pour assurer l'alignement et l'écartement des éléments lors de la préparation des joints à souder, afin de permettre la bonne exécution de la soudure.

Généralement, pour les épaisseurs à 4 ou 5 mm la préparation des bords est chanfreinée.

b) Assemblage en coin (angle intérieur et angle extérieur)

On rencontre cet assemblage dans la reconstitution de caisson. L'assemblage de ce type est particulièrement difficile à réaliser. La tolérance sur le jeu entre les deux pièces doit être sévère. Lorsque le jeu est trop important, il y a effondrement du bain de fusion.

c) Assemblage à bords relevés :

Cette préparation convient pour l'assemblage de tôles de faible épaisseur sans métal d'apport.

d) Assemblage en T

Cet assemblage est surtout utilisé pour la fixation des raidisseurs sur les panneaux, sur la préfabrication des profilés reconstitués et dans les pièces mécano-soudées.

e) Assemblage à clin ou à recouvrement

Les tôles à assembler sont facilement accostées l'une sur l'autre.

f) Assemblage avec couvre-joints

Cette préparation convient pour l'assemblage des pièces peu sollicitées. L'accostage est facilité dans le cas des joints de chantier.

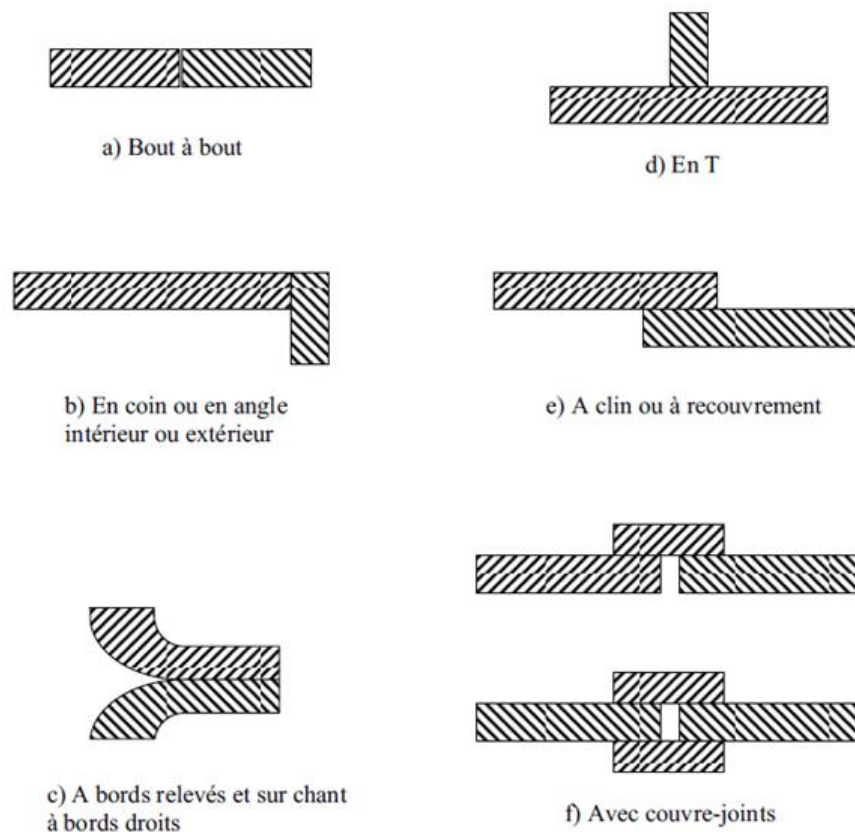


Fig. II.2. Types d'assemblages soudés.

II.5. Défauts des joints soudés

Nous distinguons plusieurs types de défauts :

1) Fragilité produite par la ségrégation

Le soudage implique généralement le chauffage local du métal. Il s'agit d'un traitement thermique local. Il y a donc une modification locale de la microstructure et de l'état métallurgique de la zone du métal affectée par le chauffage (ZAT). En effet, le cycle de température inhérent au soudage perturbe les conditions d'équilibres et les propriétés telles qu'elles existaient à la livraison du matériau.

Le chauffage active un certain nombre de mécanismes, notamment la diffusion des atomes. Il se produit un phénomène appelé « ségrégation » : le métal n'étant pas pur, les atomes étrangers (impuretés, éléments d'alliage) migrent vers les joints de grain. Ceci peut entraîner une fragilisation des joints de grain, et faciliter la rupture fragile inter granulaire.

Pour éviter ce problème, on effectue parfois un recuit de mise en solution, voire selon les cas, une hypertrempe de la pièce (cas de certains aciers inoxydables).

2) Corrosion au cordon de soudure

La soudure est la juxtaposition de deux métaux différents. On peut donc avoir un phénomène de corrosion galvanique. Ce défaut peut se présenter dans le cas du soudage hétérogène d'un assemblage mal conçu, sous réserve de la présence d'un électrolyte. De plus, on peut également voir apparaître un phénomène de corrosion inter-faciale, peut être rencontré lors de la ségrégation du Bore aux joints de grains dans les bases Nickel ou lors de la ségrégation du Carbone aux joints de grains dans les aciers inoxydables.

3) Porosités

Il s'agit de défauts sphériques creux qui peuvent être ou non débouchant, Figure 18. Elles sont causées par les courants d'air, le manque de gaz, l'obstruction de la buse, un mauvais angle de soudage, de l'eau ou des impuretés dans le joint à souder...etc.



Fig.II.3. Porosités débouchâtes en surface du cordon de soudure.

4) Soufflures

Ce terme désigne un groupe de porosités non débouchâtes. Allongées, on parle de soufflures vermiculaires. Si elles sont débouchâtes, on parle alors de piqûres.

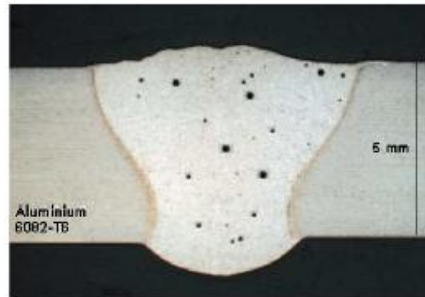


Fig. II.4. Soufflures ou Porosités non débouchantes dans un alliage d'aluminium.

5) Inclusions :

Ils désignent un composé étranger à la soudure et peuvent contenir du Tungstène (Cas du Soudage TIG) ou du laitier (Soudage à l'électrode enrobée ou baguette) ou encore des oxydes.

6) Retassures :

Suite à un retrait du métal lors de son refroidissement, l'espace vide formé apparaît visuellement à la surface du cordon, ainsi qu'à l'intérieur du cordon.

7) Criques de solidification

Même défaut que les retassures sauf que le défaut est non apparent. La crique de solidification est un défaut de fonderie.

8) Excès de pénétration

Métal débordant du côté envers du cordon.

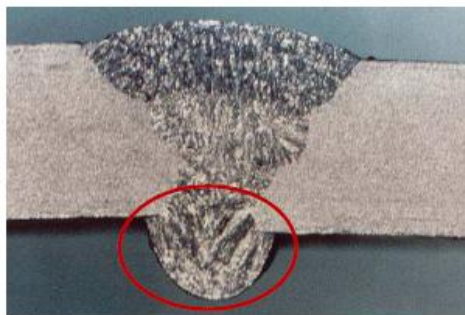


Fig. II.5. Le métal déborde de l'envers : excès de pénétration.

9) Collage ou manque de pénétration

Le métal de base est non fondu, ce qui diminue la section efficace de la soudure, Figure 21. On distingue le collage noir où l'interface entre le métal de base et la soudure est vide (par contrôle radiographique, apparaît une tache sombre sur les clichés) et le collage blanc, où l'interface est comblée par des oxydes fondus (variété indécélable par contrôle radio).

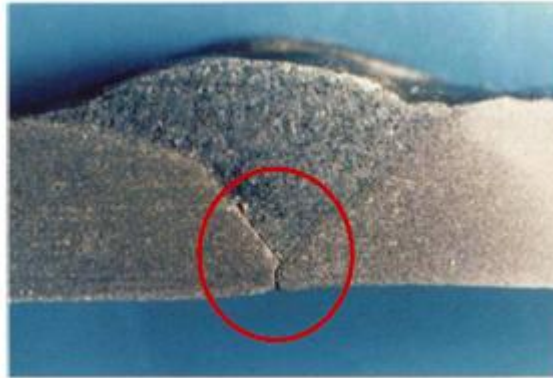


Fig. II.6. Manque de pénétration et collage au bord du joint

10) Fissures

On distingue :

- La fissuration à froid causée par des contraintes mécaniques résiduelles importantes, une présence d'hydrogène dissous et une phase fragile, Figure II.7.
- La fissuration à chaud (ou plus exactement liquation) créée par la ségrégation dans le joint, Figure II.8.
- L'arrachement lamellaire causé par la présence d'inclusions parallèles dans le métal (défaut rare inexistant chez les aciéristes de nos jours, en effet, un simple recuit normalisant permet d'éliminer ce défaut).



Fig. II.7. Macrographie d'une fissure a froid

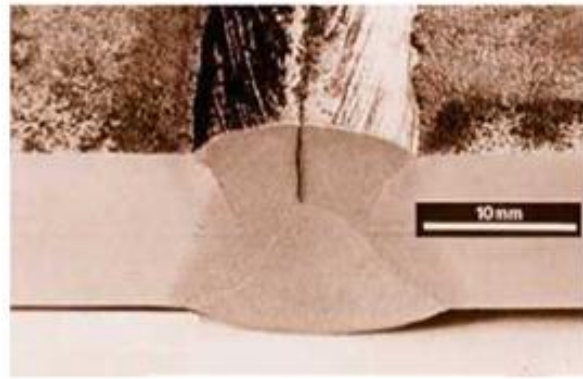


Fig. II.8. Fissure longitudinale sur un cordon de soudure

11) Morsures

Défaut où le métal de base est creusé sur une partie du cordon.

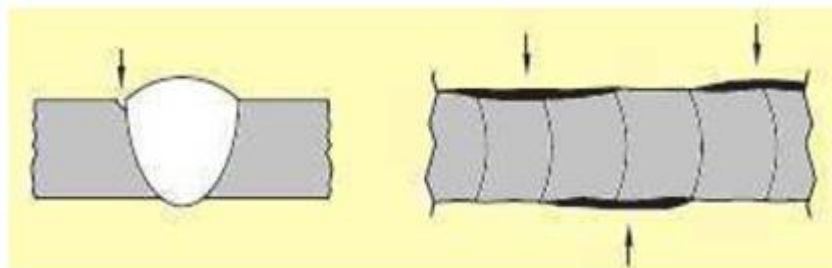


Fig. II.9. Morsures dans le joint soudé

12) Caniveaux

Un caniveau est une morsure de grande taille proportionnellement à la grandeur du métal de base due à une trop grande chaleur du métal d'apport par rapport à l'épaisseur ou la densité du métal qui reçoit. Petit creux de chaque côté de la soudure.

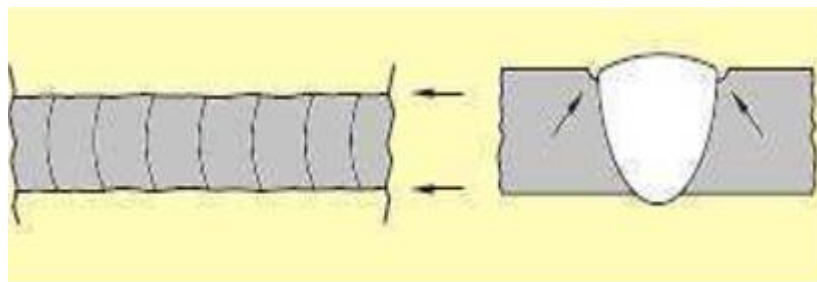


Fig.II.10. Caniveau en surface du joint soudé.

13) Pollution ferreuse

La pollution ferreuse est une corrosion des aciers inoxydables causée par la destruction de la couche de passivation et activée par la présence de fer. Elle résulte

généralement de l'utilisation d'outils métalliques (brosse, cisaille, etc.), après usinage, mise en forme ou la conséquence de projections de métal fondu lors d'opérations de soudage.

14) Défauts géométriques

Ces défauts peuvent être des défauts d'alignement entre les pièces, un cordon trop bombé...etc.



Fig. II.11. Défaut d'alignement



Chapitre III :

La fatigues des joints soudes

III. La fatigue des joints soudés :

La durée de vie en fatigue des joints soudés est fortement affectée par la présence en pied du cordon d'une concentration de contrainte liée à la géométrie de la soudure.

Les zones d'amorçage de la fissure en soudage sont en relation avec :

- Un défaut géométrique du cordon,
- Un défaut interne (manque de pénétration, soufflures),
- Un défaut externe (caniveaux, inclusions de laitier).

La résistance statique d'un assemblage soudé bout à bout est en général égale à celle du métal base par contre la résistance en fatigue est bien inférieure.

Différents paramètres affectent la tenue en fatigue des joints soudés :

- **Facteurs géométriques** : forme du cordon, mauvais alignement des tôles, épaisseur des tôles,
- **Facteurs métallurgiques** : nature du métal base, procédé de soudage, défauts de soudage, niveau des contraintes résiduelles,
- **Facteurs liés à la sollicitation** : mode de chargement (amplitude constante ou variable, rapport de charge), gradient de sollicitation, bi axialité des contraintes, environnement.

III.1. Influence de l'épaisseur de la tôle et facteur d'échelle :

De nombreuses études montrent que pour des joints géométriquement similaires, la résistance en fatigue tend à décroître lorsque l'épaisseur des tôles augmente. L'évolution des durées de vie en fatigue en fonction de l'épaisseur B pour des assemblages en T sollicités en flexion est de la forme :

$$N_r(\Delta\sigma) = K(\Delta\sigma) \cdot \left(\frac{B}{B_0}\right)^{-0,75} \quad \text{Eq III.1}$$

Où

B_0 est une épaisseur de référence

$K(\Delta\sigma)$ un paramètre.

D'une façon plus générale, l'expérience montre que des pièces semblables réalisées avec un même matériau ont une résistance en fatigue décroissante lorsque toutes les dimensions augmentent Figure .II.1. Ceci est dû au fait que la probabilité d'apparition des défauts susceptibles d'amorcer une fissure croît proportionnellement avec le volume de la pièce.

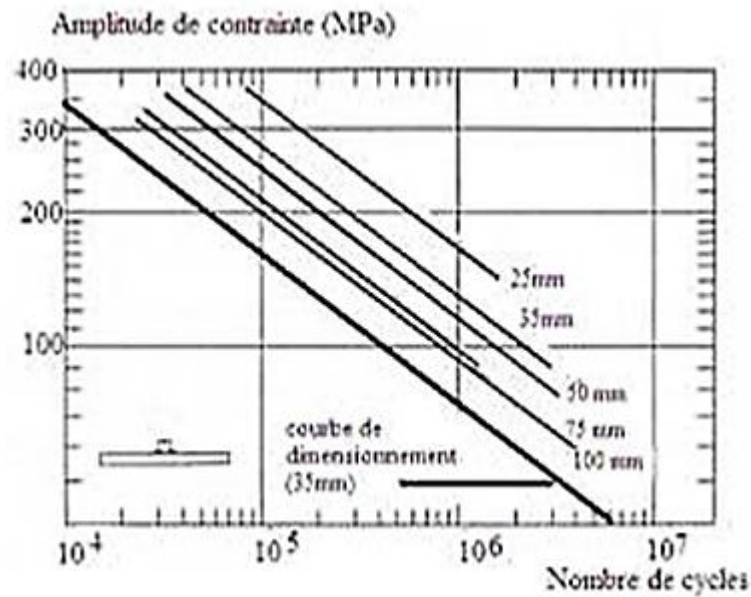


Figure.III.1. Influence de l'épaisseur sur la résistance à la fatigue d'un joint soudé de type C

III.2. Influence du mode de chargement :

Le mode de chargement influe considérablement sur la résistance en fatigue d'une soudure. Les résultats obtenus en traction et en flexion, fait ressortir l'effet du gradient de contrainte au voisinage du pied du cordon, qui se traduit par des durées de vie différentes en fatigue avec la même amplitude de contrainte appliquée. De même, le positionnement des encastremements par rapport au point d'action de la force est un facteur qui affecte la nature des contraintes au voisinage du cordon. Ce qui fait que ces contraintes agissent en traction ou en flexion ou bi axiale dans les zones de concentration (Figure III.2).

Dans le cas de chargements complexes ; une méthode consiste à considérer la contrainte principale maximale comme contrainte de calcul à comparer à la contrainte admissible de l'assemblage considérée.

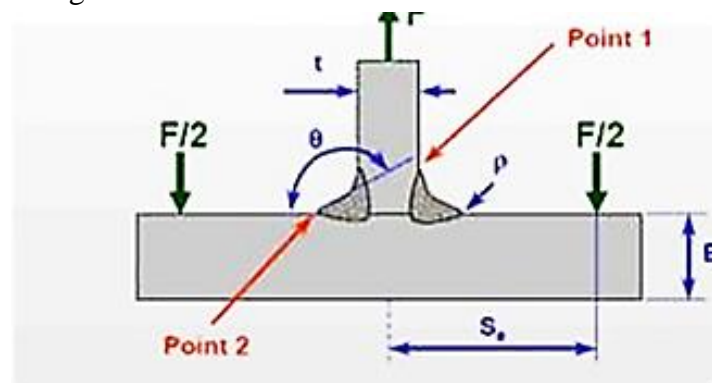


Figure III.2 Définitions des points de rupture en fatigue dans un assemblage en T soumis à une traction et une flexion.

Dans la figure N°III.3., on peut remarquer la variation de la contrainte maximale équivalente en deux points différents du cordon de soudure (point 1 et 2). Pour des distances

d'appui si différentes, on peut prévoir que la rupture tirera son origine dans la position 1 en traction ou dans la position 2 en flexion selon la grandeur du bras d'appui. Les résultats ont été obtenus pour un joint en T sollicité en flexion 3 points. On notera que l'amorçage se fera au point 2 pour des distances $Se = 15$ et 20 mm.

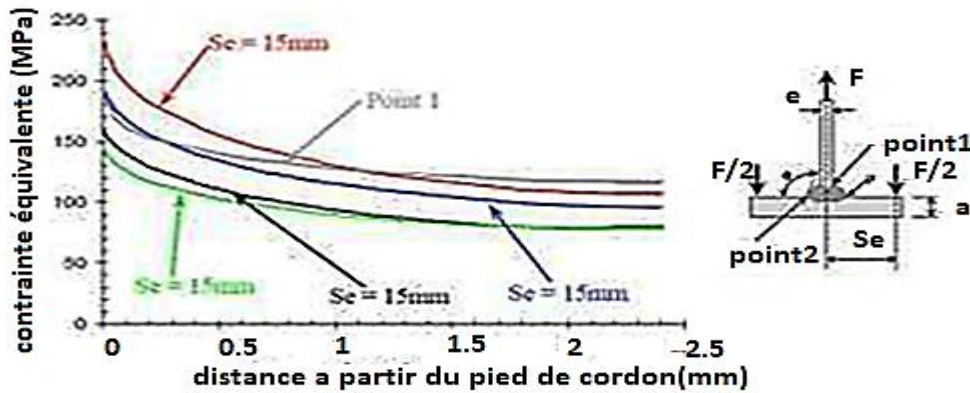


Figure III.3. Evolution de la contrainte maximale équivalente en fonction de la distance au pied du cordon au pont 2 pour un joint en T d'épaisseur 18 mm

III.3. Influence du rapport de charge :

La valeur du rapport de charge $R = \sigma_{\min}/\sigma_{\max}$ a une grande influence sur l'endurance en fatigue pour le matériau de base.

En pratique, lorsque l'on peut craindre la présence de contraintes résiduelles élevées et qu'il n'est pas possible de mesurer celles-ci ou d'effectuer un traitement de détente, on admet que l'amplitude de contrainte correspond à la valeur de l'amplitude maximale. Les premiers cycles même si la valeur du rapport est élevée, déterminent dans la zone plastique une baisse de la contrainte moyenne jusqu'aux conditions $R = 0$. C'est pourquoi la plupart des codes de calcul actuels ne considèrent pas l'effet de la contrainte moyenne et fournissent pour un type d'assemblage donné une seule valeur de variation de contrainte admissible σ_a .

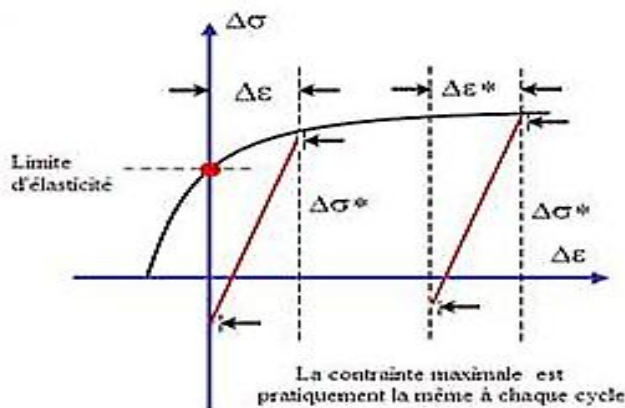


Figure III.4 Evolution de la contrainte moyenne au cours des cycles de fatigue

III.4. Défauts d'alignement :

Ces types de défauts conduisent à des moments de flexion parasites qui viennent s'ajouter à la contrainte nominale appliquée. Puisque l'alignement entre les plaques soudées et le système de charge et d'amorçage sur la tôle n'est jamais parfaitement fiable, soit pour les éprouvettes d'essais, soit dans les structures soudées des produits industriels, l'effet combiné de deux types de défaut (axial et angulaire) doit être pris en compte dans les règlements. En effet, la présence d'un angle de désalignement inférieure à 1° conduit à contraintes parasites de l'ordre d'une centaine de MPa. La contrainte de flexion σ_b s'exprime en fonction de la contrainte axiale σ_a par :

$$\sigma_b = \frac{3e}{B} \sigma_{axial} \quad \text{Eq.II.2}$$

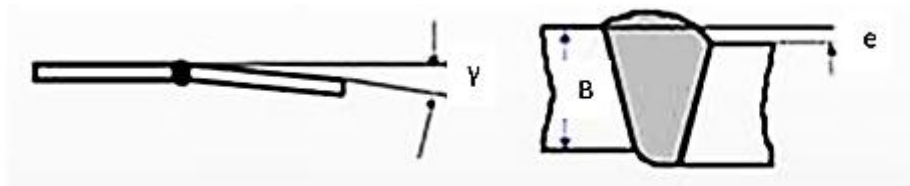


Figure III.5. Définitions des défauts d'alignement dans les joints soudés

III.5. Influence de la métallurgie interne :

Une des causes les plus importantes de la fatigue est la présence des inclusions qui dépend principalement de la présence possible d'hydrogène. Ce rôle de l'hydrogène dans la diminution d'endurance des joints soudés, en liaison avec la présence de porosité, a été démontré. L'influence des soufflures et des inclusions de laitier sur les caractéristiques de fatigue provoque évidemment des effets négatifs, mais on a montré que tels défauts n'affectent l'endurance du métal que pour des durées de vie supérieures à 10^4 cycles.

Plus généralement on établit que le degré de nocivité des défauts métallurgiques internes (pores, cratères de reprises, manque de pénétration, inclusions non métalliques et morsures de bord) correspond à la concentration de contrainte induite.

III.6. Influence des contraintes résiduelles

Par définition, les contraintes résiduelles forment un système de contraintes internes en équilibre qui existe en l'absence d'une charge extérieure. Elles sont généralement le résultat d'une déformation plastique permanente due aux effets thermiques locaux du procédé de soudure, ils sont dus en particulier à la contraction du métal, à la variation de la limite d'élasticité et du coefficient de dilatation thermique avec la température. Elles tirent leur origine de diverses façons ; souvent les tôles à souder contractent le cordon longitudinalement pendant le refroidissement, en outre le déplacement du point de fusion fait solidifier un bord de la tôle avant de l'autre.

La figure N° III.6 donne un exemple de la distribution de ces contraintes dans le cas d'un simple joint bout à bout transversal. Ces contraintes tirent leur origine des dilatations

longitudinales empêchées. La présence de contraintes résiduelles dans un cordon de soudure est inévitable ; leur influence change la distribution des contraintes dans la zone de transition entre le matériau de base et le matériau d'apport. En plus, l'état de compression généré par les contraintes résiduelles proche de la surface, cause un phénomène de fermeture de fissure qui retarde sa propagation.

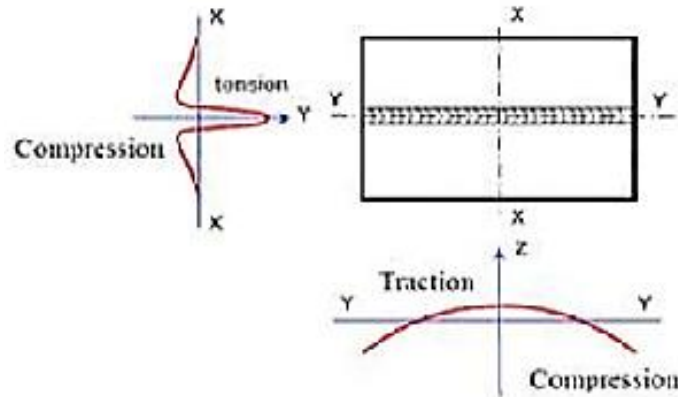


Figure III.6. Distribution des contraintes résiduelles dans un cordon de soudure bout à bout.

III.7. Coefficients de concentration de contraintes dans les cordons de soudure

La durée de vie en fatigue de joints soudés est fortement affectée par la présence au pied de cordon d'une concentration de contraintes liées à la géométrie du joint soudé, ou à la présence d'un défaut préexistant. La présence de concentration de contraintes est un facteur déterminant dans le comportement d'une structure en fatigue car la rupture apparaît toujours au niveau de celle-ci.

Nihei [5] a étudié la variation de la résistance à la fatigue (à $5 \cdot 10^5$ cycles) de différents types de joints en fonction du coefficient de concentration de contrainte. Leurs résultats reportés dans la figure N° III.6 indiquent une forte réduction de la résistance à la fatigue en fonction de kt .

III.8. Influence du Coefficient de concentration de contrainte élastique

Le coefficient de concentration de contrainte en général et dans un joint soudé en particulier est défini par le rapport entre la contrainte locale maximale et la contrainte globale. Ce coefficient de concentration de contrainte dépend surtout du rayon au pied de cordon ρ de l'angle de raccordement Θ mais aussi de la géométrie du joint soudé et du mode de chargement.

Diverses formules de calcul du coefficient de concentration de contrainte sont proposées dans la littérature. Certaines formules simplifiées ne prennent pas en compte l'ensemble des paramètres.

Influence de l'angle de raccordement

Richards [6] a montré que la limite d'endurance augmente linéairement avec l'angle de raccordement du cordon sur une structure soudée bout à bout. La figure III.7. Montre l'influence de l'angle de raccordement sur le facteur de concentration de contrainte en pied de cordon.

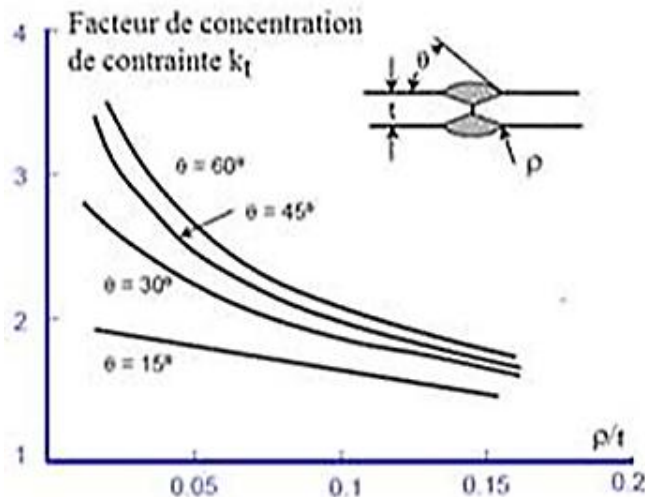


Figure III.7 Influence de l'angle de raccordement sur le facteur de concentration de contrainte en pied de cordon.

Influence du rayon au pied du cordon

Skorupa et al. [3] à partir d'une étude menée par un calcul aux éléments finis sur des joints soudés cruciformes ont développé une équation pour l'estimation du coefficient de concentration de contrainte élastique k_t tenant compte du rayon ρ au pied de cordon et de l'épaisseur de la plaque t . Celle-ci est donnée par :

$$k_t = 1 + 0,217 \left(\frac{t}{\rho} \right)^{-0,591} \quad \text{Eq II.3}$$

Ikeda et al. [7] montrent l'influence du rayon au pied de cordon sur la réduction de la résistance à la figure III.8. Ces résultats ont été obtenus à partir des essais réalisés sur des joints en croix (K2) réalisés en acier à haute limite d'élasticité (780 MPa).

Coefficient de réduction en fatigue

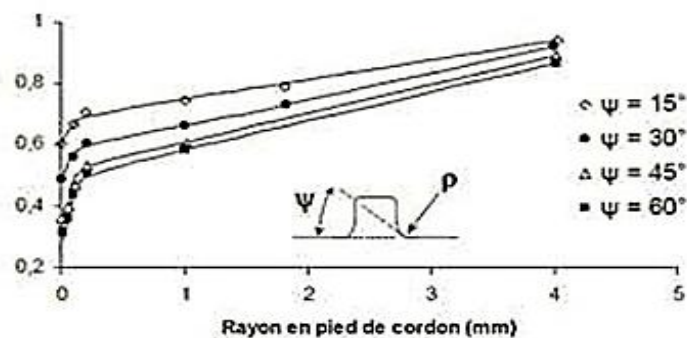


Figure III.8. Influence du rayon au pied de cordon sur la réduction à la résistance à la fatigue [4].

Influence de l'angle de raccordement et le rayon au pied du cordon

Des études effectuées [5, 6] sur des éprouvettes usinées (entaillées) dont le profil est analogue à celui d'éprouvettes soudées ont été réalisées en faisant varier de façon continue le rayon ρ et l'angle de raccordement ψ du joint simulé.

Ces études ont montré que l'augmentation du rayon d'entaille ou la diminution de l'angle de raccordement diminue fortement la concentration de contraintes. L'influence de ρ devient négligeable lorsque inférieur à 10 ou 15° et l'influence de ψ devient négligeable, soit lorsque sa valeur dépasse 40° ou lorsque ρ dépasse 6 à 10 mm.

Niu et Glinka [8] estiment le coefficient de concentration de contraintes k_t d'un joint soudé cruciforme à partir de la formule suivante :

$$k_t = 1 + 0,512 (\psi)^{0,572} \left(\frac{t}{\rho}\right)^{0,46} \quad \text{Eq : II.4}$$

ψ est l'angle de raccordement en radian

Influence de la géométrie du cordon

Nihei et al. [1] déterminent le coefficient de concentration de contrainte en fonction des paramètres géométriques du cordon hauteur H , épaisseur t , rayon d'entaille ρ et ψ (en radians) angle d'entaille à partir de la formule suivante :

$$k_t = 1 + f(\psi) (\alpha - 1) \quad \text{Eq II.5}$$

$$\text{Avec : } \alpha = 1 + \left[\frac{H}{\rho(2,8\Delta_1 - 2)} \right]^{0,65} \quad f(\psi) = \frac{(1 - \exp(-0,9\psi\sqrt{\Delta_2}))}{(1 - \exp(-0,4\pi\sqrt{2}))}$$

$$\Delta_1 = \frac{(2H+t)}{t} \quad \Delta_2 = \frac{(2H+t)}{t} \cdot 2H$$

Influence de la géométrie et du chargement

Machida [8] pour le calcul du coefficient de concentration de contrainte, a tenu compte de la géométrie et du type de chargement en proposant pour 3 géométries de joint, des formulations du facteur de concentration de contrainte applicables dans les intervalles du rapport ρ/t ($0,0025 \leq \rho/t \leq 0,2$ et $0,26 \leq \rho/t \leq 5,2$). H épaisseur.

- Joint soudé cruciforme soumis à un chargement de traction axial : $k_{t,1}$

$$k_{t,1} = 1 + f(\psi) \left\{ \exp(0,17 - 0,14 / (L/T)) \cdot (\rho/T)^{-0,309} - 1 \right\} \quad \text{Eq II.6}$$

L'équation entre crochets est la demi-longueur de l'entraxe.

- Joint en T soumis à une flexion : $k_{t,2}$

$$k_{t,2} = 1 + f(\psi) \cdot \left\{ \exp \left[0,16 - 0,14 \left(\frac{L^*}{t} \right) \cdot \left(\frac{\rho}{t} \right)^{-0,309} - 1 \right] \right\} \quad \text{Eq II.7}$$

Avec :

$$f(\psi) = \frac{0,97 + \left\{ 0,00052 + \frac{0,0005 \cdot \ln(L^*)}{\rho^*} \right\}}{1 + (10,1 + 0,019 / \rho) \exp \left[- \left\{ \rho^* \right\}^{0,5} (12,2 + 9 / L^*) + 5,3 - 0,6 \cdot \ln(L^*) \right] \psi}$$

et : $\rho^* = \rho/t$ et $L^* = L/t$.

- Joint cruciforme soumis à un effort de flexion : k_t

$$k_t = 0,5 \cdot k_{t1} + 0,5 \cdot k_{t2} \quad \text{Eq II.8}$$

Coefficient d'entaille en fatigue

L'utilisation du coefficient de concentration de contraintes k_t donne des prédictions excessivement pessimistes par rapport aux résultats expérimentaux dans le domaine de la fatigue. Ceci particulièrement vrai pour les faibles rayons à fond d'entaille. C'est pourquoi, en fatigue, on utilise un autre coefficient empirique pour caractériser l'effet d'entaille. Noté k_f et appelé coefficient d'entaille en fatigue, il est déterminé au cours d'essais de même type et défini par :

$$k_f = \frac{\sigma_D}{\sigma_{D,n}} \quad \text{Eq II.9.}$$

Où

σ_D est la limite d'endurance sur éprouvettes lisses,

$\sigma_{D,n}$ la limite d'endurance sur éprouvettes entaillées.

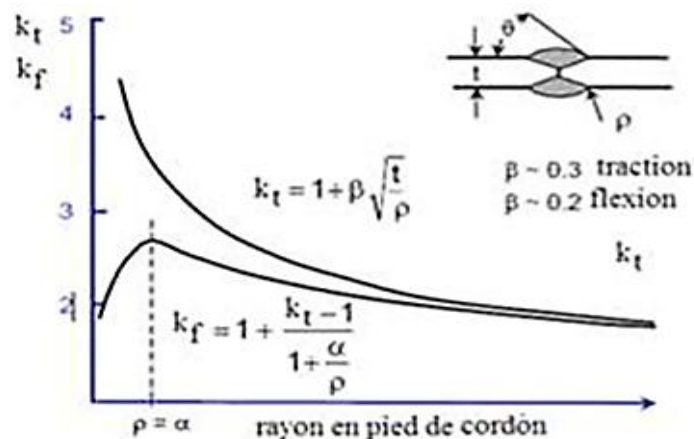


Figure III.9. Evolution du facteur de concentration de contrainte et du facteur de réduction en fatigue avec le rayon en pied de cordon.

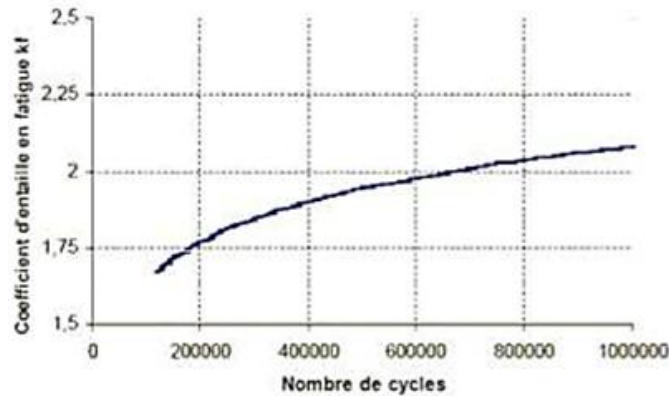


Figure III.10. Evolution du facteur d'entaille en fatigue en fonction du nombre de cycles pour un joint soudé bout à bout.

Un certain nombre d'équations présentées dans la littérature permettent la détermination du coefficient de concentration de contrainte en fatigue, le plus souvent en fonction du k_t . Une généralisation du facteur d'entaille en fatigue en fonction du nombre de cycles est maintenant utilisée :

$$k_f = \frac{\Delta\sigma(N_r)}{\Delta\sigma_n(N_r)} \quad \text{Eq III.10}$$

III.9. Durée de vie d'un joint soudé :

La courbe de résistance en fatigue est donnée par l'équation de Basquin

$$\sigma_a = \sigma' f \cdot (N_r)^b \quad \text{Eq III.11.}$$

$$\sigma_a = 667.9 \cdot (N_r)^{-0,115}$$



Chapitre IV:

*Etude et conception
de la machine*

IV. Principe de conception de la machine étudiée :

La machine d'essai de fatigue pour pièces plates soudées est conçue selon le schéma cinématique suivant :

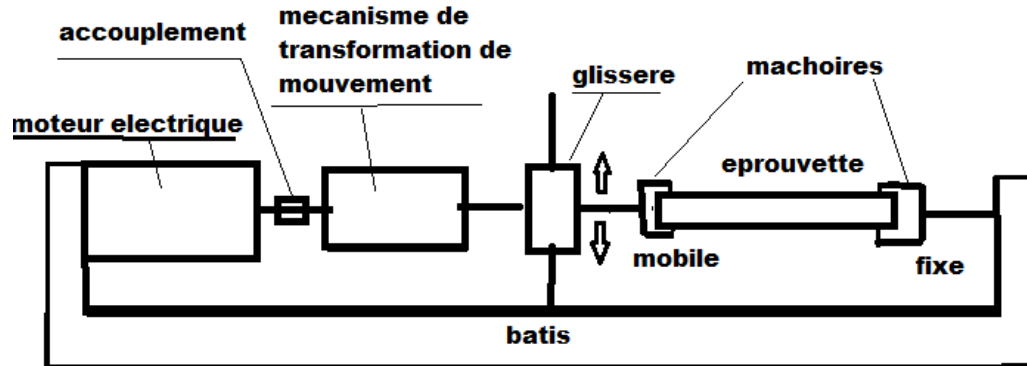


Figure IV.1. Schémas de principe de la machine.

IV.1. Principe de fonctionnement de la machine :

Le mouvement de rotation généré par le moteur électrique est transmis par un accouplement au mécanisme de transformation de mouvement qui le convertit en un mouvement alternatif de translation guidé par une glissière. Ce mouvement de translation sera communiqué à la partie mobile de l'éprouvette par biais d'une mâchoire mobile de l'autre côté l'éprouvette est solidarisée au bâti par une mâchoire fixe.

IV.2. Les différents mécanismes de transformation de mouvement :

Dans la mécanique on rencontre plusieurs mécanismes qui transforment la rotation en translation. Parmi ceux-ci on peut citer ; Figure IV.1

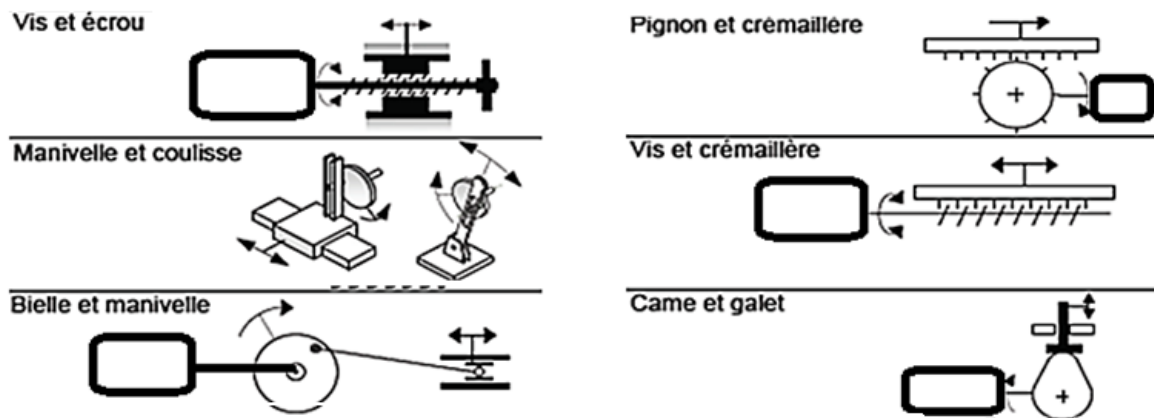


Figure IV.1. Schémas des mécanismes de transformation de mouvement de rotation en translation les plus connus.

IV.2.1. Mécanisme de pignon crémaillère :

Sur le même principe de fonctionnement ; on peut utiliser le mécanisme pignon-crémaillère pour la transformation du mouvement de rotation du moteur en mouvement de translation alternatif de la mâchoire mobile, Figure IV.2. la rotation de la roue dentée dans un sens entraîne le déplacement de la crémaillère il faut inverser le mouvement pour avoir le déplacement dans l'autre sens.

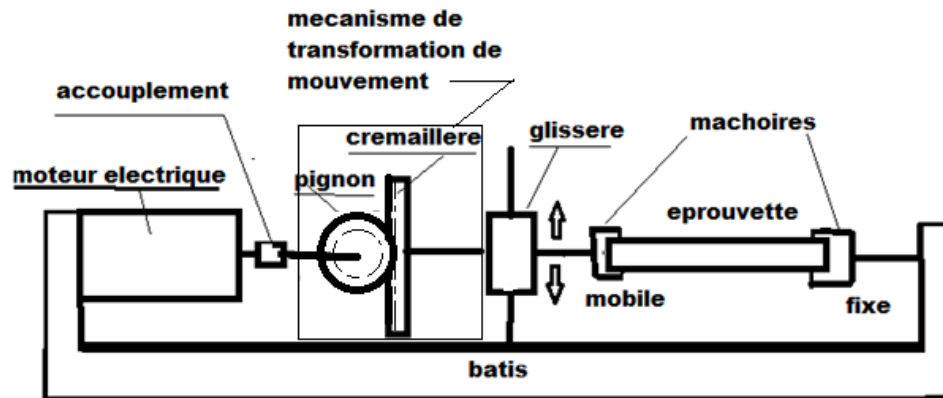


Figure IV.2. Schémas de la machine avec transformation de mouvement par pignon-crémaillère.

Ce système de transformation de mouvement est réversible mais comporte certains inconvénients ;

- Le système nécessite des guidages pour le pignon et pour la crémaillère ce qui augmente les forces de frottements.
- L'inversion du sens de mouvement nécessite l'assistance d'un système d'inversion du mouvement ce qui complique le mécanisme et revient cher.
- Le démarrage et l'arrêt puis démarrage dans le sens inverse pose un problème d'inertie.

IV.2.2. Vis-écrou :

On peut utiliser le mécanisme vis-écrou pour la transformation du mouvement de rotation du moteur en mouvement de translation alternatif de la mâchoire mobile Figure IV.3.

La rotation de l'arbre moteur est transmis a une vis qui par le biais de l'écrou correspondant crée le mouvement de translation. Cette translation fait déplacer un des brins de l'éprouvette. Ce système de transformation de mouvement est irréversible mais comporte certains inconvénients ;

- Le mouvement de déplacement produit par le système est lent
- L'inversion du sens de mouvement nécessite l'assistance d'un mécanisme d'inversion du mouvement ce qui complique le mécanisme et revient cher.
- Le filetage doit être gros pour résister aux forces de réactionce qui génère des frottements considérables au niveau de l'écrou
- Il faut varier le pas pour varier l'amplitude donc nécessite plusieurs jeux de vis-écrous

NB :le mécanisme peut devenir réversible sous certaines conditions. Il faut incliner d'avantage l'hélice du filetage (exemple le tournevis du menuisier)

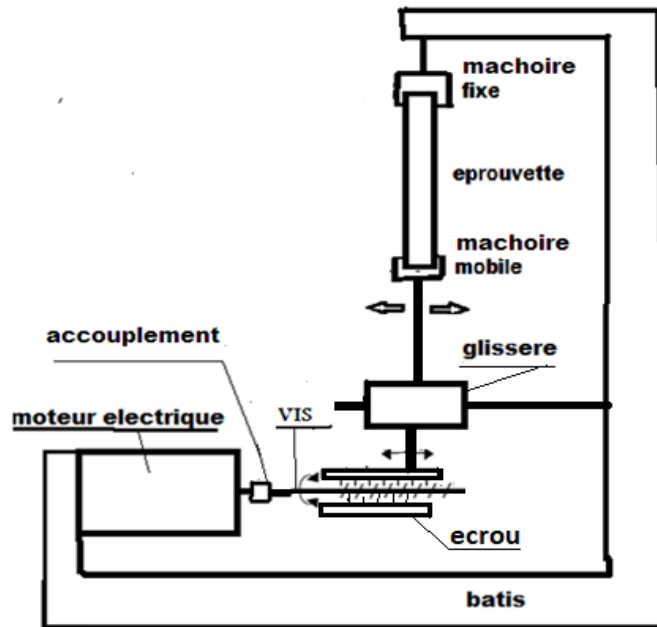


Figure IV.3. Schémas de la machine avec transformation de mouvement par vis-écrou.

IV.2.3. Came et galet :

On peut également utiliser le mécanisme came-galet pour la transformation du mouvement de rotation du moteur en mouvement de translation alternatif de la mâchoire mobile Figure IV.4.

La rotation de l'axe moteur est communiquée à la came par un accouplement. La rotation de la came actionne le galet en un mouvement de translation guidé et communiqué au côté mobile de l'éprouvette. Ce mécanisme de transformation de mouvement est un système irréversible mais comporte certains inconvénients ;

- Il faut disposer de plusieurs cames pour le réglage de l'amplitude ce qui revient très cher.
- Nécessité d'une lubrification

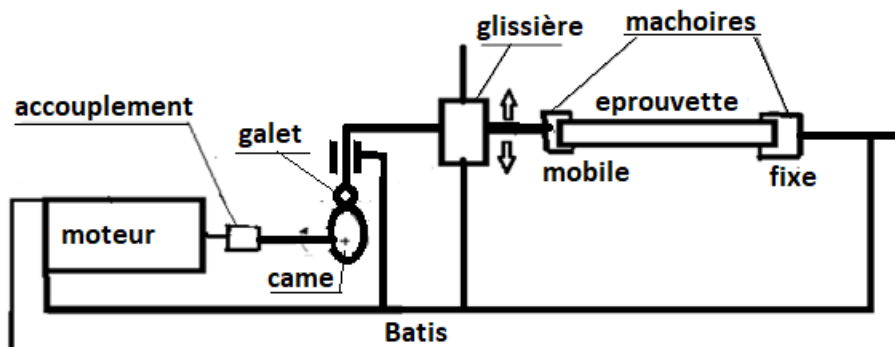


Figure IV.4. Schémas de la machine avec transformation de mouvement par came-galet.

IV.2.4. Induction magnétique :

On peut utiliser l'induction magnétique pour créer un mouvement alternatif, Figure IV.5. L'axe d'une bobine est animé d'un mouvement de translation dans un sens lorsque la bobine est excitée par un courant, ensuite il est ramené à sa position initiale par un ressort de rappel. Le déplacement entre les deux situations peut être communiqué à la mâchoire mobile qui entraîne en mouvement un bout de l'éprouvette par rapport à l'autre bout qui est solidaire du bâti par une mâchoire.

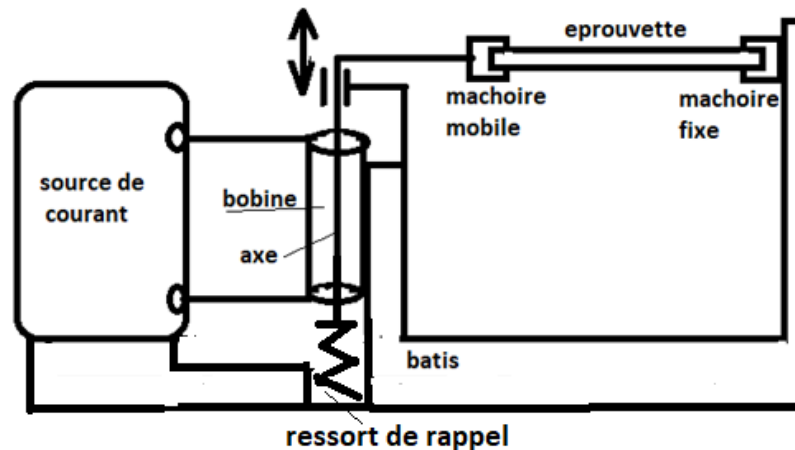


Figure IV.5. Schémas de la machine avec transformation de mouvement par induction.

Ce mécanisme de transformation de mouvement comporte certains inconvénients ;

- L'induction magnétique peut entraîner un chauffage de l'éprouvette
- Le déplacement est restreint
- Le réglage de l'amplitude et de la vitesse pose un problème sérieux

IV.2.5. Manivelle et coulisse :

On peut également utiliser le mécanisme manivelle et pour la transformation du mouvement de rotation du moteur en mouvement de translation alternatif de la mâchoire mobile Figure IV.6. La rotation du moteur est communiquée à la manivelle par un accouplement. Un doigt solidaire de la manivelle est induit en mouvement de rotation coulisse dans la rainure du bras et commande le basculement de la coulisse de part et d'autre. Ce basculement fait déplacer le bout de l'éprouvette dans un sens puis dans l'autre ; nécessite un graissage et rencontre des problèmes d'inertie.

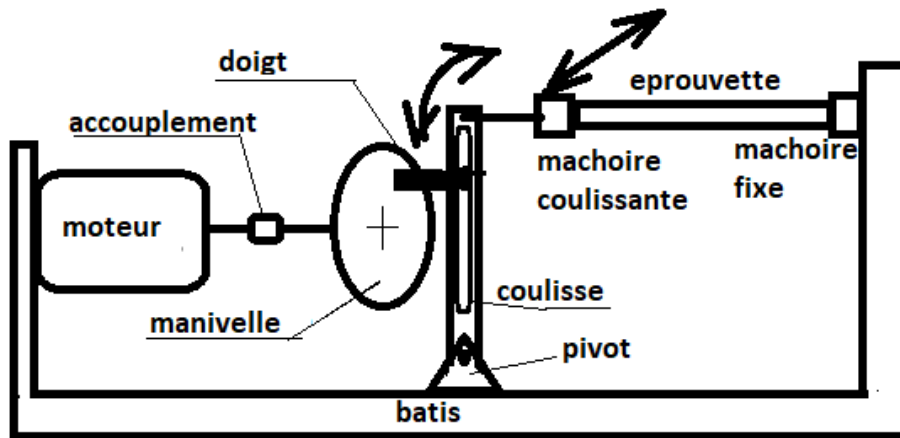


Figure IV.6. Schémas de la machine avec transformation de mouvement par manivelle et coulisse.

IV.2.6.Système Hydraulique :

Les systèmes hydrauliques ou pneumatiques peuvent générer des mouvements alternatifs grâce aux vérins à double effet. L'axe du piston peut directement entraîner la coté mobile de l'éprouvette par rapport au côté fixe Figure IV.7.

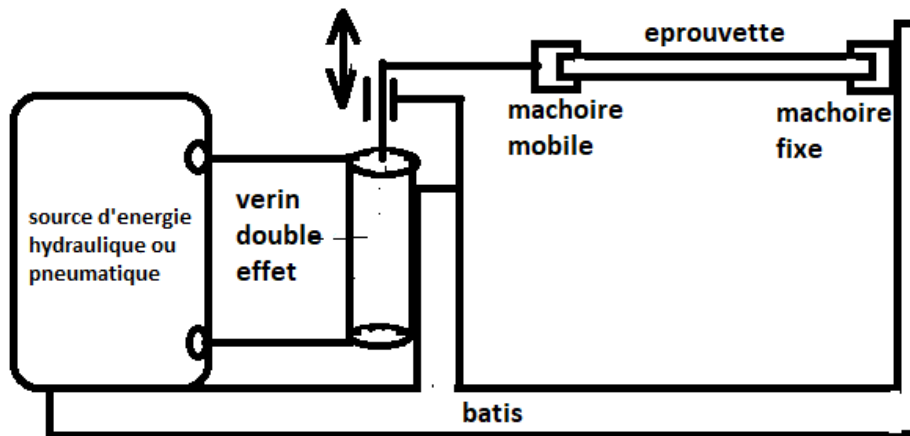


Figure IV.7. Schémas de la machine avec transformation de mouvement par système hydraulique

Bien qu'il soit fiable et peut développer des forces énormes, Ce type de systèmes revient cher et nécessite une maintenance rigoureuse ;

IV.2.7. Bielle manivelle :

La rotation continue de la manivelle se transforme en translation alternative de la bielle qui est guidée pour coulisser et mener la mâchoire mobile en mouvement par rapport à la mâchoire fixe.

On peut utiliser le mécanisme bielle-manivelle pour la transformation du mouvement de rotation du moteur en mouvement de translation alternatif de la mâchoire mobile. La rotation du moteur est communiquée à la manivelle par un accouplement. Une bielle est animée d'un basculement planétaire. En lui imposant un guidage, une translation est obtenue. Ce mouvement de translation peut entraîner de part et d'autre le bout la mâchoire mobile qui mène l'éprouvette.

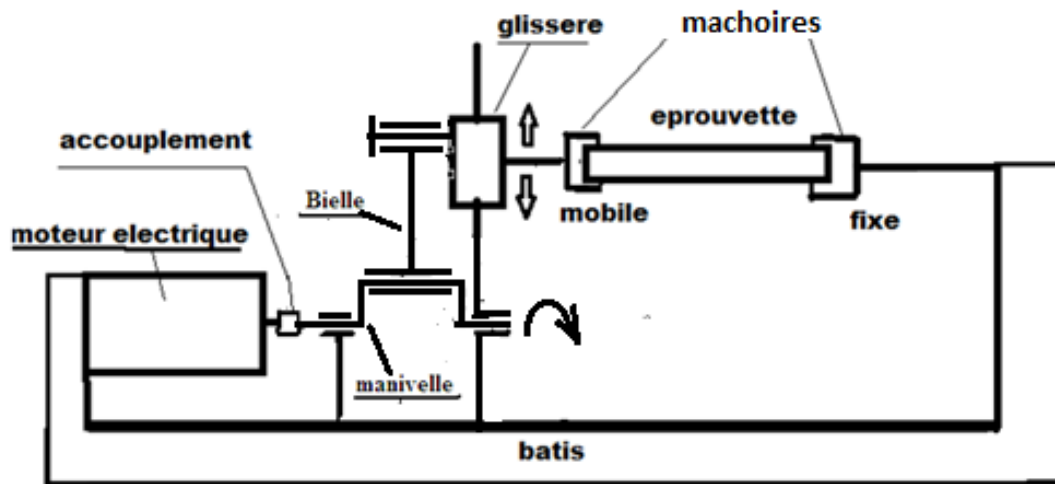


Figure IV.8. Schémas de la machine avec transformation de mouvement par bielle-manivelle.

Ce type de mécanisme permet d'obtenir de grandes vitesses simples de conception, développe de grandes forces et sur tout disponible. Nécessite un graissage et rencontre des problèmes d'équilibrage.

Conclusion :

On choisit pour l'étude de la machine le dernier mécanisme à cause de sa disponibilité et de sa robustesse.

IV.3. Epreuve d'essai :

Le choix de l'éprouvette d'essai dépend de l'essai que l'on veut effectuer et de la machine dont on dispose. Elles dépendent de la capacité de la machine (charge d'essai maximale : 25% de la capacité de la machine) et de ces caractéristiques (fréquence propre de l'éprouvette supérieure à deux fois la fréquence d'essai).

A-choix des éprouvettes :

Nous avons choisi une éprouvette avec la forme et les dimensions analogues à celle d'une éprouvette de traction et ayant les propriétés mécaniques suivantes :

Eprouvette en acier C48 (de métal de base de MB) soudée avec un métal d'apport Electrode de soudure d'acier au carbone/Rod -- E7018 :

E7018 est une qualité d'outstand que toute l'électrode de soudure de position a couverte de bas type supplémentaire revêtement de potassium d'hydrogène pour souder les aciers à haute limite élastique et les aciers faiblement alliés.

Le métal de soudage montre une excellente dureté de basse température et une fente-résistance élevée.

Tableau IV.I : Caractéristiques Mécaniques Du Matériau C48



C 45 (XC 48)

AFNOR	DIN	AISI	NF EN 10027-1
XC 48	Cr 45		C 45 (1.1191)

Composition chimique en %

C	S	Mn	P	Si
0,52 - 0,50	≤ 0,035	0,50 - 0,80	≤ 0,035	0,40 maxi

Propriétés

Acier carbone à teneur plus élevée que pour les aciers C35 et C40, utilisée en mécanique générale de part sa bonne usinabilité et ses caractéristiques mécaniques.
Apte aux traitements thermiques : ex. à l'huile 820 - 860°C

Domaines d'application

Pièces soumises aux chocs et nécessitant une bonne résistance : axes, engrenages, vis sans fin, paliers, pignons, boulonnerie, forge (leviers, arbres)

Caractéristiques mécaniques moyennes (état normalisé)

Rm N/mm ²	Re N/mm ²	A %	Dureté HB
560 / 620	275 / 340	14 / 16	

Soudage

Soudabilité médiocre (précautions nécessaires, préchauffage et revenu de stabilisation recommandés).

Livraison

Ronds étirés ou tournés galetés, tolérance h10
barreaux à clavettes (carrés, plats)
Ronds laminés
Etirés : carrés, plats, hexagones

Re: Résistance élastique

Rm: Résistance maximal

A : l'allongement

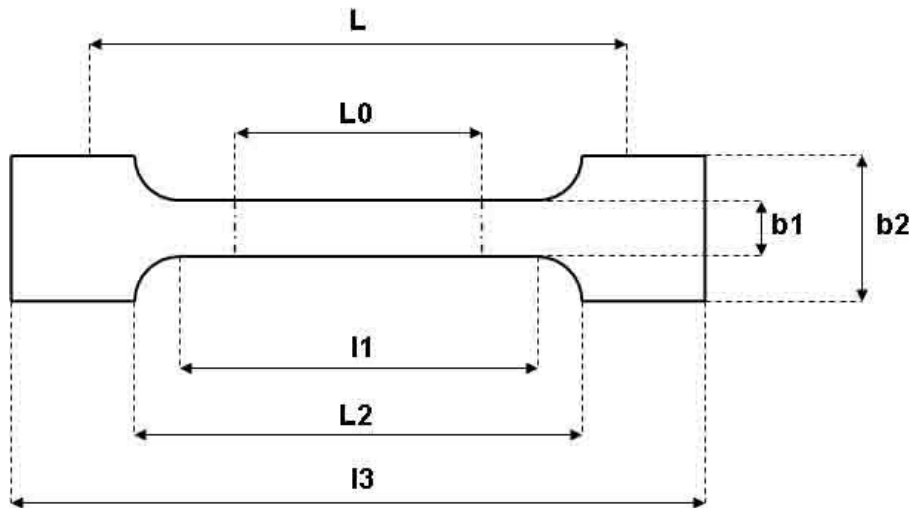


Figure IV.9 : les dimensions d'éprouvette pour notre essai.

Avec

L_0 = Longueur de référence

L = Ecartement entre outillages

l_1 = Longueur de la partie calibrée étroite

L_2 = Ecartement entre les parties parallèles larges

l_3 = Longueur totale

b_2 = Largeur dans la zone d'épaulement

b_1 = Largeur dans la zone de la longueur de référence

h = épaisseur de l'éprouvette

Tableau IV.2. Dimensions d'éprouvettes plates selon les normes en vigueur.

Norme	Type d'éprouvette	l_3	l_1	b_2	b_1	h	L_0	L	Forme
ISO 3167	A	> 150 (170)	80 ± 2	$20 \pm 0,2$	$10 \pm 0,2$	$4 \pm 0,2$	-	-	Haltère
ISO 3167	B	> 150	$60 \pm 0,5$	$20 \pm 0,2$	$10 \pm 0,2$	$4 \pm 0,2$	-	-	Haltère
ISO 527-2	1A	> 150	80 ± 4	$20 \pm 0,2$	$10 \pm 0,2$	$4 \pm 0,2$	$50 \pm 0,5$	115	Haltère
ISO 527-2	1B	> 150	$60 \pm 0,5$	$20 \pm 0,2$	$10 \pm 0,2$	$4 \pm 0,2$	$50 \pm 0,5$	$L_2 + 5$; $L_2 = 106 \dots 120$	Haltère
ISO 527-2	1BA	> 75	$30 \pm 0,5$	$10 \pm 0,5$	$5 \pm 0,5$	> 2	$25 \pm 0,5$	$L_2 + 2$; $L_2 = 58 \pm 2$	Haltère
ISO 527-2	1BB	> 30	$12 \pm 0,5$	$4 \pm 0,2$	$2 \pm 0,2$	> 2	$10 \pm 0,2$	$L_2 + 1$; $L_2 = 23 \pm 2$	Haltère
ISO 527-2	5A	> 75	25 ± 1	$12,5 \pm 1$	$4 \pm 0,1$	> 2	$20 \pm 0,5$	50 ± 2	Haltère
ISO 527-2	5B	> 35	$12 \pm 0,5$	$6 \pm 0,5$	$2 \pm 0,1$	> 1	$10 \pm 0,2$	20 ± 2	Haltère
ASTM D638	I	> 165	$57 \pm 0,5$	$19 \pm 6,4$	$13 \pm 0,5$	$3,2 \pm 0,4$	$50 \pm 0,25$	115 ± 5	Haltère
ASTM D638	II	> 183	$57 \pm 0,5$	$19 \pm 6,4$	$6 \pm 0,5$	$3,2 \pm 0,4$	$50 \pm 0,25$	135 ± 5	Haltère
ASTM D638	III	> 246	$57 \pm 0,5$	$29 \pm 6,4$	$19 \pm 0,5$	7 ... 14	$50 \pm 0,25$	115 ± 5	Haltère
ASTM D638	V	> 63,5	9,53	$9,53 \pm 3,1$	$3,18 \pm 0,5$	$3,2 \pm 0,4$	7,62	$25,4 \pm 5$	Haltère
ASTM D638	IV	> 115	$33 \pm 0,5$	$19 \pm 6,4$	$6 \pm 0,05$	$3,2 \pm 0,4$	$25 \pm 0,13$	$64,5 \pm 5$	Haltère
ASTM D638	M-I	> 150	$60 \pm 0,5$	$20 \pm 0,5$	$10 \pm 0,5$	< 10	$50 \pm 0,25$	115 ± 5	Haltère
ASTM D638	M-III	> 60	$10 \pm 0,5$	$10 \pm 0,5$	$2,5 \pm 0,5$	< 4	$7,5 \pm 0,2$	25 ± 5	Haltère
ASTM D638	M-II	> 115	$33 \pm 0,5$	$25 \pm 0,5$	$6 \pm 0,5$	< 4	$25 \pm 0,5$	80 ± 5	Haltère

L'éprouvette est soumise à la flexion :

On a choisi les dimensions des éprouvettes selon le Tableau II.1 le cas de l'éprouvette ISO 527-2. Ayant les dimensions , $L = 150$ mm, $b = 10$ mm, $h = 4$ mm qui représente un cas de rupture par flexion assez difficile.

La contrainte de flexion : $\sigma = y \cdot M_f / I_{Gz}$

y : la position de la fibre soumise a M_f

I_{GZ}/y : Module de flexion. $I_{GZ} = b \cdot h^3/12$

M_f : moment de flexion

La contrainte maximale s'écrit ; $\sigma_{\max} = M_{\max}/(I_{GZ}/y)$

La contrainte est maxi pour la fibre supérieure de position $y = h/2$

Dans notre cas (éprouvette encastrée d'un coté et actionnée de l'autre)

$$M_{\max} = M_{f\max} = F \cdot L$$

Les critères de résistance à la rupture de l'éprouvette sont :

- En Traction : $\sigma_{\max} \leq R_{pe}$
 $F \cdot L (h/2) / (b \cdot h^3/12) \leq R_{pe}$
 $6 F L / b h^2 \leq R_{pe}$
 d'où $F \leq R_{pe} \cdot b h^2 / 6L$
- En Compression : $\sigma_{\max} \leq R_{pc}$
 $6 F L / b h^2 \leq R_{pc}$ d'où $F \leq R_{pc} \cdot b h^2 / 6 L$
- En cisaillement $\tau_{xy} = 3 T_y / 2 b h \leq R_{pcis}$

$$\text{d'où } T_{xy} \leq 2 / 3 R_{pcis} \cdot b h$$

AN: $L=150$ mm, $b=10$ mm, $h=4$ mm

la force de traction naissante qui est responsable de la rupture de l'éprouvette: $F \leq R_{pe} \cdot b h^2 / 6L$

$$R_{pe} = R_e / S$$

S : le coefficient de sécurité est choisi entre [3 et 7] , pour la construction mécanique $s=3$

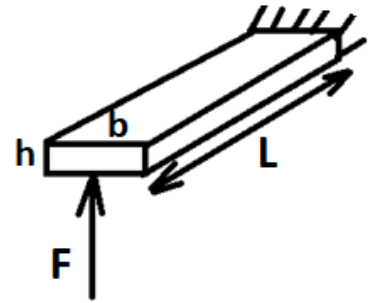
$$R_{pe} = R_e / S = 275 / 3 = 91.66 \text{ N/mm}^2$$

$$F \leq R_{pe} \cdot b h^2 / 6L = 91.66 \cdot 10 \cdot 16 / 6 \cdot 150$$

$$F \leq 16.29 \text{ N}$$

la force de compression naissante qui est responsable de la rupture de l'éprouvette:

$$F_c \leq R_{pc} \cdot b h^2 / 6L \text{ avec } R_{pc} = R_{ec} / S$$



Généralement les force de traction et de compression chez les poutres encastres symétriques sont égales $F = F_c$

la force de cisaillement naissante qui est responsable de la rupture de l'éprouvette:

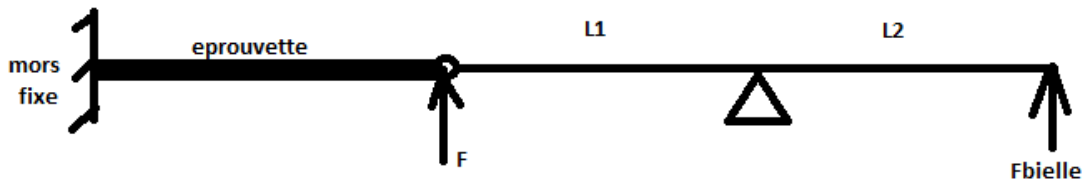
$$T_{xy} \leq 2 / 3 R_{pcis} \cdot b \cdot h$$

$$R_{pcis} = 0.3R_p$$

$$T_{xy} \leq (2 / 3) (91.66 \cdot 0.3) \cdot 10 \cdot 4 = 733.28 \text{ N}$$

On retient $F = 733.28 \text{ N}$ la plus grande force comme force ultime de rupture

Calcul de la balançoire :

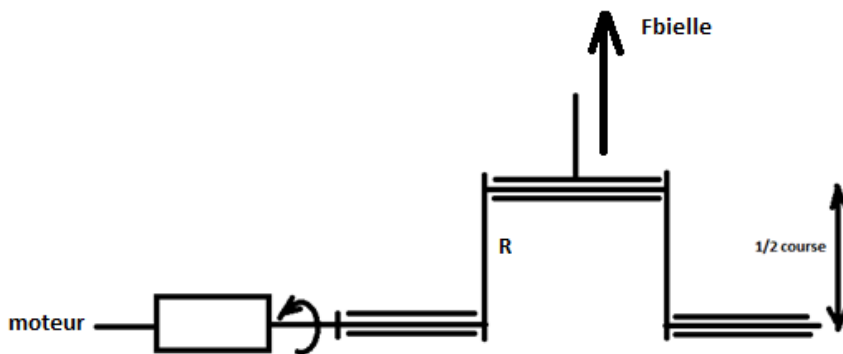


A l'équilibre $\sum F = 0 \Rightarrow F \cdot L_1 - F_{bielle} \cdot L_2 = 0$

D'où $F_{bielle} = F \cdot L_1 / L_2, L_1 = 485 \text{ mm}, L_2 = 160 \text{ mm}$

La force maximale qui doit être développée est : $F_{Bielle \text{ max}} = 733.28 \cdot (L_1 / L_2)$

AN: $F_{Bielle \text{ max}} = 733.28 \cdot 485 / 160 \text{ N} = 2221.83 \text{ N}$



Le couple nécessaire

$$C = F_{bielle} \cdot R$$

On choisit une manivelle de dimensions $R = 0.045 \text{ m}$, d'où

Le couple a développer est

$$\text{AN: } C = F_{\text{bielle}} \cdot R = 2221.83 \cdot 0.045 = 99.98 \text{ N.m}$$

La puissance nécessaire :

Se calcule d'après la relation $P = C W$

On a choisi un moteur électrique dont la fréquence de rotation est de $N = 946 \text{ tr/min}$

D'où La vitesse angulaire $W = 2 \pi N/60 = 99,01 \text{ rad/s}$

Le couple développé sur l'arbre moteur $P = C \cdot W$

$$\text{AN: } \quad \mathbf{P} = 99.98 \cdot 99,01 = 9899.28 \text{ watt}$$

$$\quad \quad \quad = 9.89 \text{ kwatt}$$

On doit disposer d'un moteur électrique avec les caractéristiques suivantes

$$P_{\text{mot}} \geq 2.2 \text{ KW} \quad \text{et} \quad N = 946 \text{ tr/min}$$

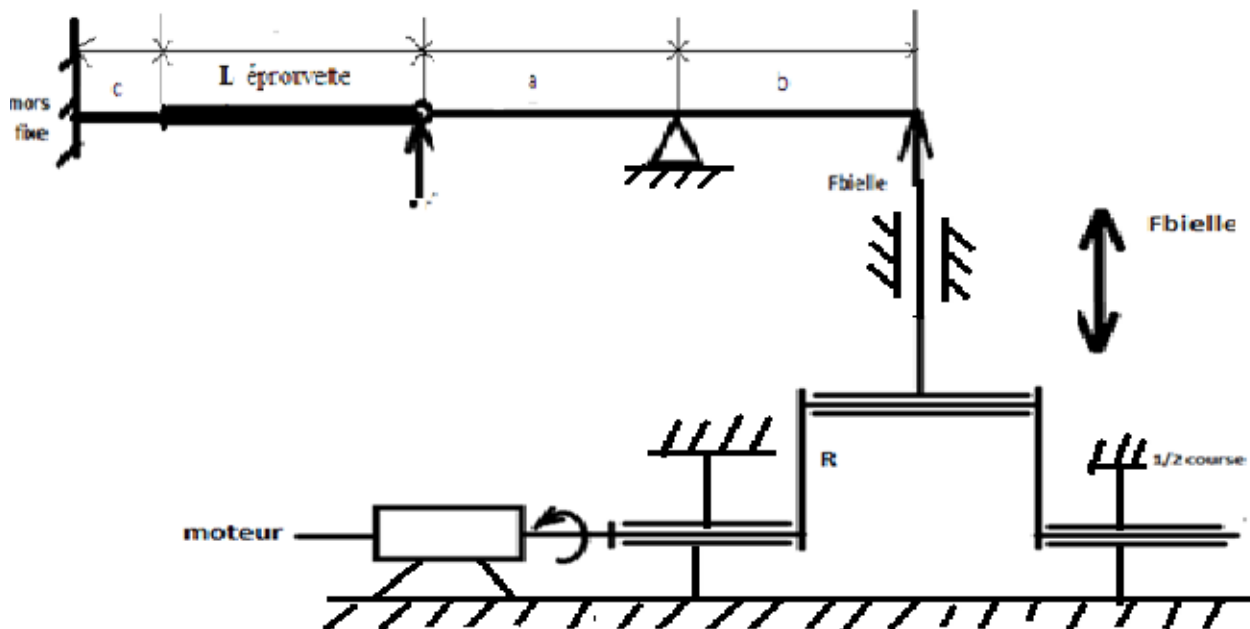


Figure IV.10. Schéma cinématique de la machine

IV.4.-calcul des éléments de la machine

IV.4.1.La bielle:

On choisit pour la bielle le matériaux : L'acier de traitement 42CD4

L'acier de traitement 42CD4 est idéal pour la construction mécanique en général, utilisé pour les composants de machines, axe, tourillons, bielles, arbre à manivelle, vilebrequin, arbre de transmission, pignons, roues denté, bandage, plaques de base, pièces de montage.

D'après l'analyse du fonctionnement; La bielle est sollicitée en compression et en flambage

IV.4.1.1. vérification a la compression :

$$R_{e,s}, R_p = R_e / S$$

$$F_c / S \leq R_{pc}$$

$$\Rightarrow S \geq F / R_{pc} \Rightarrow \pi d^2 / 4 \geq F / R_{pc} \rightarrow d \geq \sqrt{4 \frac{F}{\pi R_{pc}}}$$

Application Numérique

$$F = 2221.83 \text{ N}$$

$$R_{pc} = 500 / 3 = 166.67 \text{ N} / \text{mm}^2$$

$$d \geq 4.12 \text{ mm}$$

le diamètre minimal qui vérifie la résistance la compression est de : 6 mm de tableau de normalisation.

IV.4.1.2. vérification au flambage :

$$\sigma_c = \frac{P_c}{A}$$

$$\sigma_c = \pi^2 \cdot E \cdot I / L_0^2 \cdot S \leq R_{pfl}$$

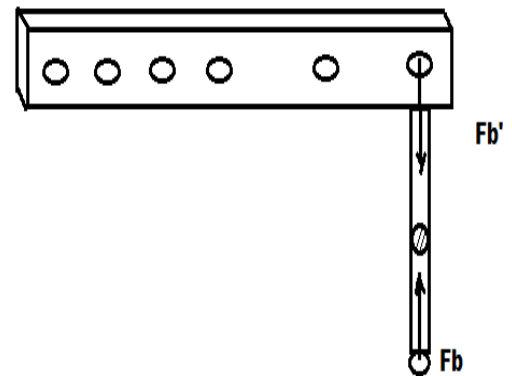
$$S \geq \pi^2 \cdot E \cdot I / L_0^2 \cdot R_{pfl} \Rightarrow \pi \cdot d^2 / 4 \geq \pi^2 \cdot E \cdot I / L_0^2 \cdot R_{pfl}$$

$$d \geq \sqrt{4 \pi \cdot E \cdot I / L_0^2 \cdot R_{pfl}} \text{ puisque } I = \pi \cdot d^4 / 64$$

$$d'ou \text{ } d \geq \sqrt{16 L_0^2 R_{pfl} / \pi^2 \cdot E}$$

$$\text{AN: } E = 2.105 \text{ N/mm}^2 ; l_0 = 595 \text{ mm } R_p = 166.67 \text{ N/mm}^2$$

$$d \geq 27.41 \text{ mm}$$



le diamètre minimal qui vérifie la résistance le flambage est de :27.41 mm?

On choisi d= 28 mm de tableau de normalisation.

IV.4.1.3. calcul du balançoire:

A l'équilibre $\sum F_y = 0$

$F + F_b - F_c$

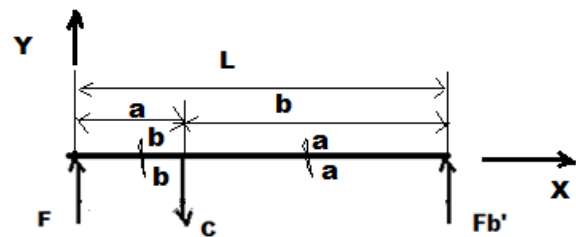
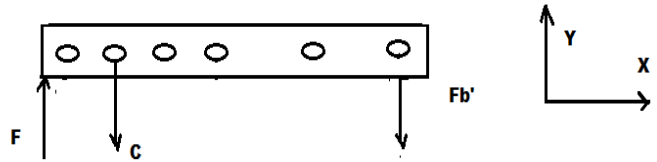
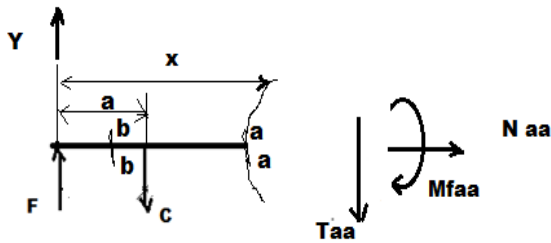
Diagramme-effort tranchant

$F = 17959.78\text{N}$; $a = 321\text{ mm}$

$F_b = 2221.33\text{N}$; $b = 325\text{ mm}$

$C = 20181.61\text{N}$; $L = 646\text{ mm}$

Tronçon a-a:



$\sum F_x = 0 \Rightarrow N_{aa} = 0$

$\sum F_y = 0 \Rightarrow F - C - T_{aa} = 0 \Rightarrow T_{aa} = F - C = -2221.91\text{ N}$

$\sum M = 0 \Rightarrow M_{aa} - c(x - a) + Fx = 0$

$M_{faa} = c(x - a) - Fx$

Si $x = a \Rightarrow M_{faa} = -F \cdot a = -6478296.81\text{ N}$

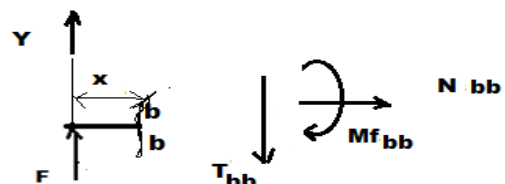
Si $x = L \Rightarrow M_{faa} = c(L - a) - Fx = -11601966.2\text{ N} \cdot \text{mm}$

Tronçon b-b:

$N_{bb} = 0$

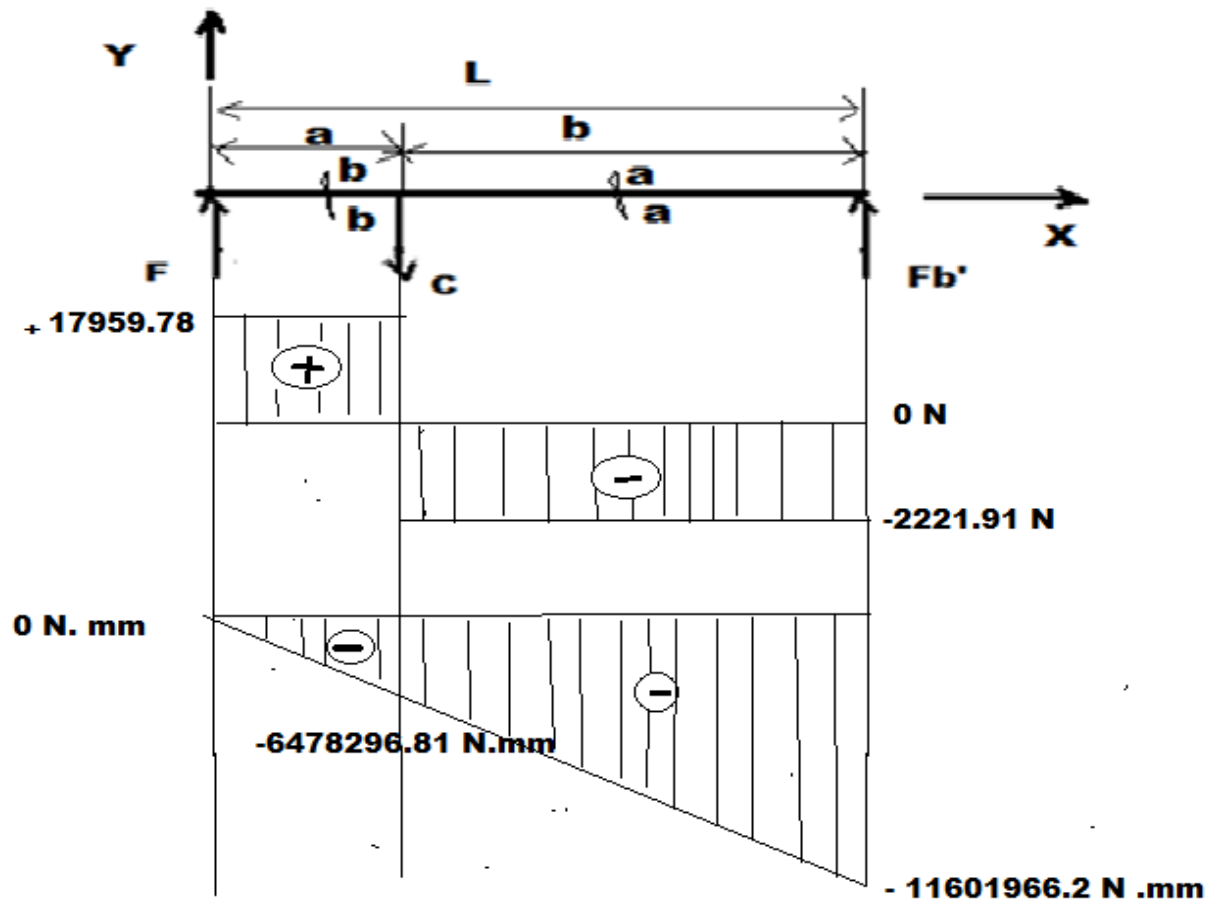
$T_{bb} - F = 0 \Rightarrow T_{bb} = F = 17959.78\text{ N}$

$M_{fbb} + Fx = 0 \Rightarrow M_{fbb} = -Fx$



Si $x=0 \Rightarrow M_{fbb} = -F \cdot a = 0 \text{ N} \cdot \text{mm}$

Si $x=a \Rightarrow M_{fbb} = -F \cdot a = -6478296.2 \text{ N} \cdot \text{mm}$



-Vérification au cisaillement:

$T / S_{cis} \leq R_{pcis}$ soit $S_{cis} = h (b - d)$, $h = ? \text{ mm}$; $b = 40 \text{ mm}$, $d = 16 \text{ mm}$; $R_{pcis} = 166.67 \text{ N/mm}^2$

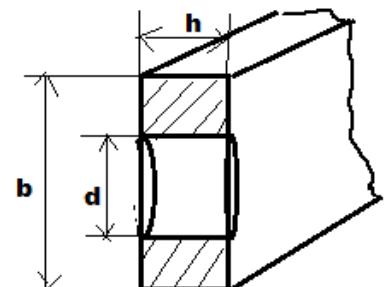
$S_{cis} \geq T / R_{pcis}$

$h (b - d) \geq T / R_{pcis} \Rightarrow T / R_{pcis} \cdot (b - d)$

$h \geq 26.93 \text{ mm}$

Vérification à la flexion:

$\sigma \leq R_p$



$$M_f \max \cdot y / IG_z \leq R_p$$

$$IG_z = h^3 (b - d) / 12$$

$$M_f \max \cdot y / 2 / h^3 (b - d) / 12 \leq R_p$$

$$IG_z = h^3 (b - d) / 12$$

$$M_f \max \cdot y / 2 / h^3 (b - d) / 12 \leq R_p \Rightarrow 12 M_f \max \cdot y / 2 h^3 (b - d) \leq R_p$$

$$\Rightarrow 6 M_f \max / h^2 (b - d) \leq R_p$$

$$\Rightarrow h^2 (b - d) \geq 6 M_f \max / R_p$$

$$\Rightarrow h \geq \sqrt{6 M_f \max / R_p (b - d)}$$

$$\Rightarrow h \geq 102.18 \text{ mm.}$$

Calcul de l'axe pivot

Le pivot est soumis au cisaillement en 2 endroits on peut écrire que: $C / 2 S_{cis} \leq R_{cis}$

$$\text{Avec } S_{cis} = \pi d^2 / 4$$

$$C / 2 \pi d^2 / 4 \leq R_{cis} \Rightarrow 2C / d^2 \leq R_{cis} \Rightarrow d^2 \geq 2C / \pi R_{cis} \text{ d'où}$$

$$d \geq \sqrt{2C / \pi R_{cis}}$$

$$\text{AN: } d \geq \sqrt{2 \cdot 20181.62 / 3.14 \cdot 166.67}$$

$$d \geq 8.78 \text{ mm}$$

on choisi 9 mm de tableau de normalisation.

Tableau IV. 3. Tableau des références matière.

TABLEAU DES REFERENCES MATIERES

Groupe de matières	Rm (N/mm²)	Désignation Alloy	Désignation Allegheny Ludlum	Pays / Norme				
				ALLEMAGNE		ROYAUME-UNI	FRANCE	ETATS-UNIS
				W.-Nr.	DIN	BS	AFNOR	AISI/AE
Acier de décolletage	360-710			1.0730	10CPb20		10PbF2	
Acier de décolletage	410-710			1.0715	9CMn20	230M27	2520	1213
Acier de décolletage	410-710			1.0719	9CMnPb20		2520Pb	12L13
Acier de décolletage	430-740			1.0730	9CMn20	240M27	3000	1215
Acier de décolletage	430-740			1.0737	9CMnPb20		3000Pb	12L14
Acier pour traitement thermique	550-650			1.0462	C32	50CA20	CC30	1020
Acier pour traitement thermique	550-650			1.1159	Ck25			1025
Acier de décolletage	510-740			1.0730	9S220	212M26	25MF4	1140
Acier pour trempes superficielle	540-730			1.1180	C35	50CA25	XC38TS	1025
Acier pour traitement thermique	550-750			1.0504	C35	50CA35	CC35	1035
Acier de cimentation	580-760			1.0401	C15	50M15	CC12	1015
Acier de cimentation	580-760			1.1141	Ck15	50M15	XC12	1015
Acier pour traitement thermique	600-800			1.0503	C45	50M45	CC45	1045
Acier pour traitement thermique	600-800			1.1181	Ck45	50M45	XC42	1045
Acier pour trempes superficielle	640-890			1.1213	C32	50CA32	XC38TS	1030
Acier à outils non allié	640-890			1.1545	C102W1		Y110S	W110
Acier pour traitement thermique	640-640			1.1170	28Mn2	150M28	20M2	1220
Acier pour traitement thermique	640-660			1.1157	35Mn2		40M2	1225
Acier pour traitement thermique	660-890			1.1157	40Mn4	150M30	20M2	1229
Acier à outils non allié	650-750			1.1560	C102SW		Y212S	W112
Acier pour traitement thermique	700-900			1.0525	C35	570M35		1035
Acier pour traitement thermique	700-900			1.1203	Ck35	570M35	XC35	1035
Acier pour traitement thermique	750-900			1.0504	C50	50CA50	CC55	1050
Acier pour traitement thermique	750-950			1.1221	Ck50	50CA50	XC50	1050
Acier à ressorts	1000-1100			1.1374	Ck101	50CA98		1095
Acier à haute résistance à chaud	440-570			1.2415	15Mo2	1501-240	15D1	ASTM A202GA
Acier à haute résistance à chaud	440-590			1.7335	12CrMo4-4	1501-500Gr37	15CD3.5	ASTM A192
Acier à haute résistance à chaud	440-590			1.7380	12CrMo9-10	1501-602	15CD36-10	ASTM A192
Acier à haute résistance à chaud	450-590			1.2423	16Mo5	1525-245-420		4220
Acier résistant à basse température	490-640			1.2682	14Ni9		16Ni9	ASTM A287LFC
Acier à haute résistance à chaud	490-640			1.7715	14MoV6-2	1525-660-440		
Acier résistant à basse température	510-710			1.2680	12Ni19		21Ni19	2515
Acier de cimentation	640-1090			1.7131	16MnCr5	(527M25)	16MCS	5115
Acier de cimentation	640-1090			1.7262	15CrMo5		15CD4	
Acier à outils pour travail à froid	640-870		C1					C1
Acier à outils pour travail à chaud/à froid	640-720		S7					S7
Acier résistant à basse température	640-640			1.2682	20Ni9	1501-508-510		ASTM A287
Acier à roulement	650-750			1.2025	100Cr6	504A99	100C6	52100
Acier pour traitement thermique	650-650			1.7319	25CrMo4	1717CD5-110	25CD4	4130
Acier de cimentation	690-1090			1.6523	21NiCrMo2	605M20	20NCD2	9820
Acier de cimentation	690-690			1.7015	15Cr2	520M15	15C2	5015
Acier pour traitement thermique	690-690			1.2710	26NiCr2	540A25	26NCD2	2125
Acier pour trempes superficielle	700-750			1.7045	40Cr4			5140

Star Guide Préconisation d'outils

Désignation des groupes de matières				
	P Aciers non alliés	M Aciers inoxydables	K Fontes	S Alliages réfractaires
	p Aciers alliés	M Inox durcis par précipitation	N Aluminium et alliages d'aluminium	H Métaux durs



266

IV. 5. Calcul Cinématique:

la vitesse angulaire de rotation est donnée par : $\omega = \frac{2\pi N}{60} = 99.01 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$

La relation entre la vitesse tangentielle et angulaire $V_t = r\omega$

Donc on peut calculer la vitesse v_t de la bielle $V_t = 0.045 \cdot 99.01 = 4.45 \text{ m/s}$

puisque la bielle est un corps solide donc v_t est la vitesse qui affecte chaque point de la matière de la bielle $V_{1B} = V_{2B}$ ce qui permet de la représenter en utilisant le principe de la cinématique graphique et par l'échelle:

Echelle des longueurs: 6mm pour 1m sur le graphe

Echelle des vitesses: 1m / s pour 10 mm sur le graphe

En appliquant la représentation cinématique fig. V.10 on obtient les valeurs suivantes:

$$V_{1B} = 4.5 \text{ m/s}$$

$$V_{1B} = V_{2B}$$

La vitesse en point C se déduit par le triangle des vitesses de rotation; on obtient alors $V_C = 1.45 \text{ m/s}$

IV. 6. Choix des composants

IV. 6.1. Choix du bâtis:

pour assurer la rigidité on opte pour une structure métallique soudée pour le support des éléments constituants

IV. 6.2. Choix du moteur:

compte tenu de la puissance calculée et du nombre de tours exigé on choisit un moteur électrique de type asynchrone

IV. 6.3. Choix de l'accouplement

compte tenu des vibrations et du couple transmis et des réactions on opte pour les accouplements élastiques et homocinétiques TRASCO, Moyeu modèle A Tresco 38/45. Ils sont constitués de deux demi-points métalliques identiques qui présentent des cavités à section circulaire et d'une couronne à dents bombées en matière élastique résistant à la chaleur, à l'usure et aux agents chimiques. Dans sa catégorie, l'accouplement TRASCO® est à taille égale le joint élastique qui transmet le plus de puissance. Il est en effet très compact et permet une transmission sûre du mouvement entre l'arbre moteur et l'arbre entraîné en absorbant les chocs et les vibrations torsionnelles. Il permet, en outre, grâce à la déformation élastique de l'anneau élastique, de compenser les désalignements angulaires et radiaux et d'absorber de petites variations en longueur des arbres reliés



Figure V. 11 accouplement

IV. 6.4. Choix des guidages

IV. 6.5. Guidages en translation

On a opté pour un palier lisse en acier mi-dur pour garantir le guidage de la rallonge de bielle sur le bâtis

IV. 6.6. Guidage en rotation:

On a opté pour un palier a roulements à billes pour assurer le guidage de la manivelle par rapport au bâtis .

IV. 7. Plans et dessins de construction de la machine:

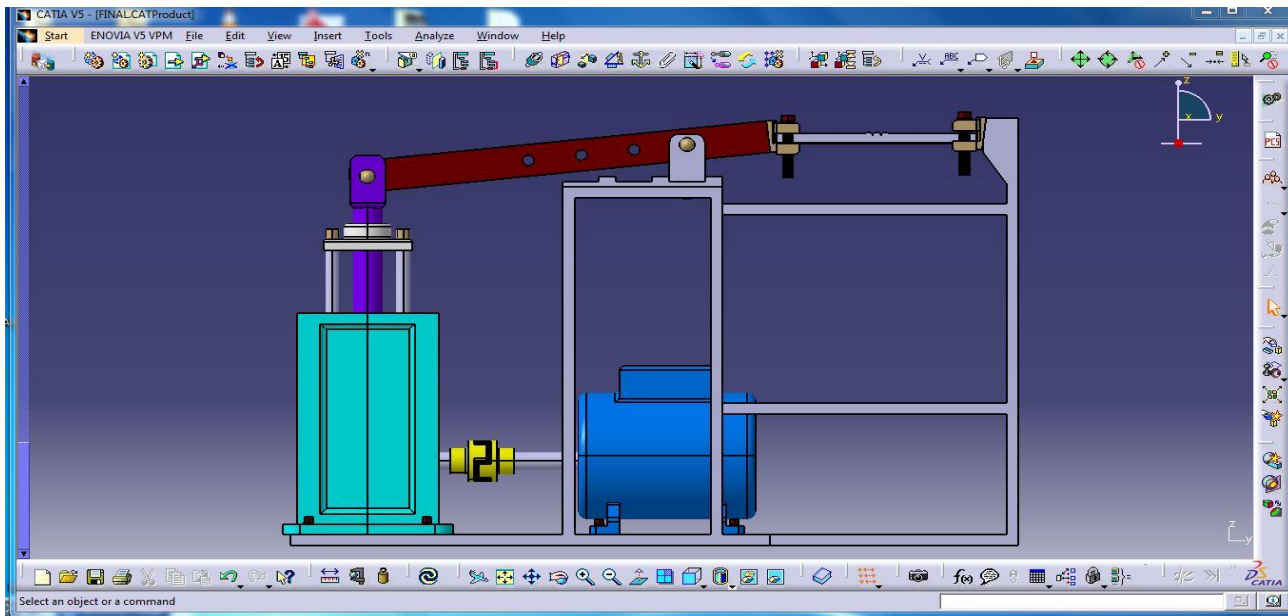


Figure IV.12 .Vue de la machine réalisée sur CATIA

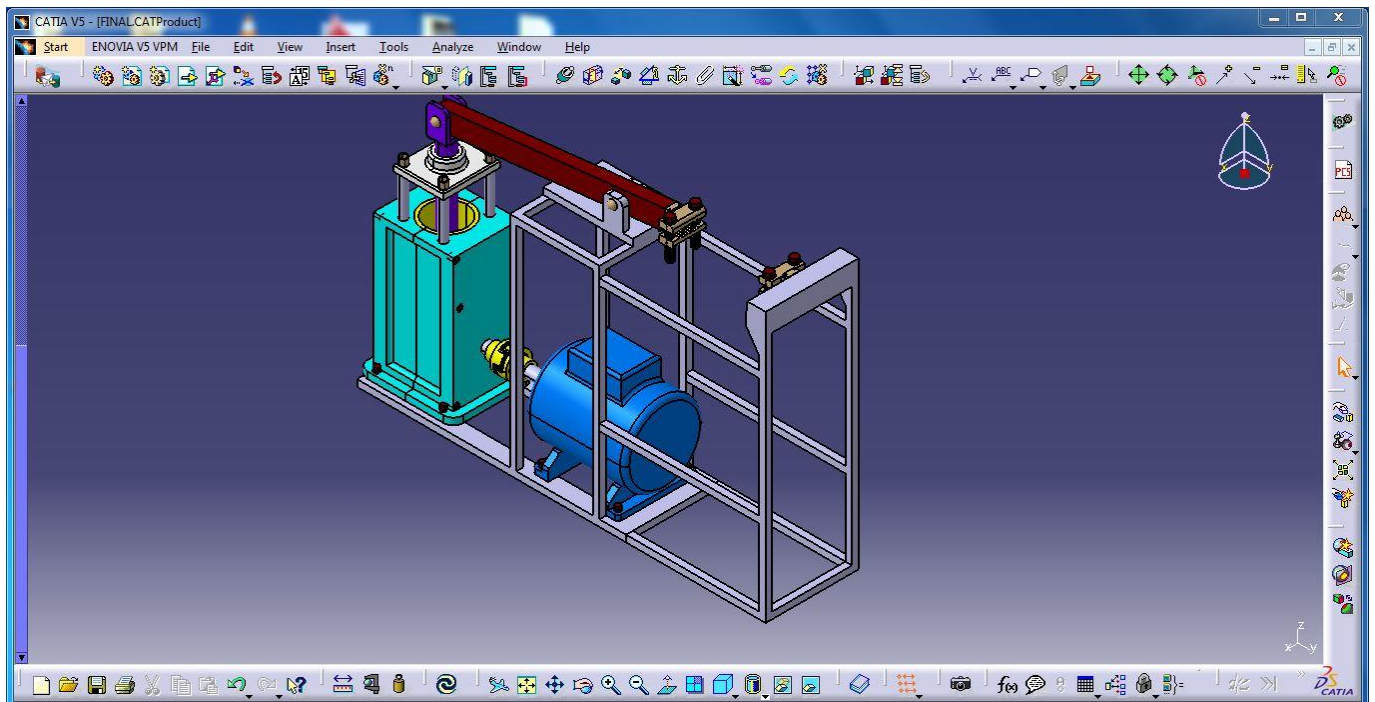


Figure IV. 13vues de la machine réalisée sur CATIA

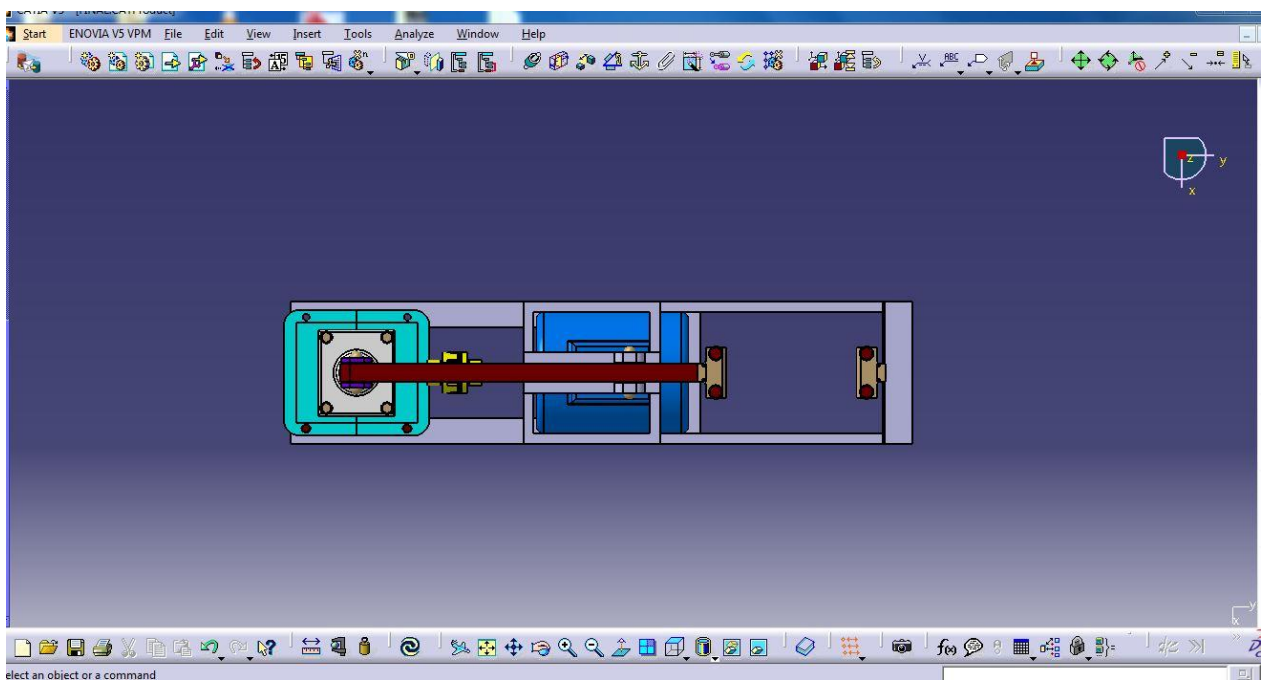


Figure IV. 14 vues de dessus la machine réalisée sur CATIA

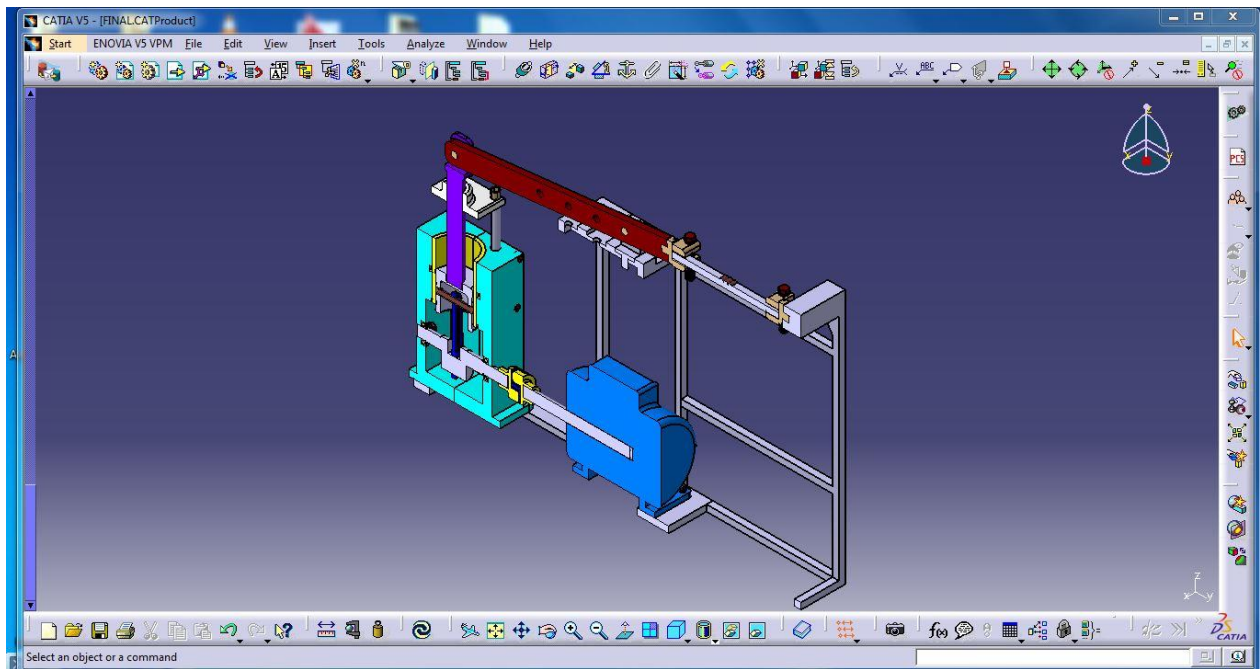


Figure IV. 15 vue en coupe de la machine réalisée sur CATIA

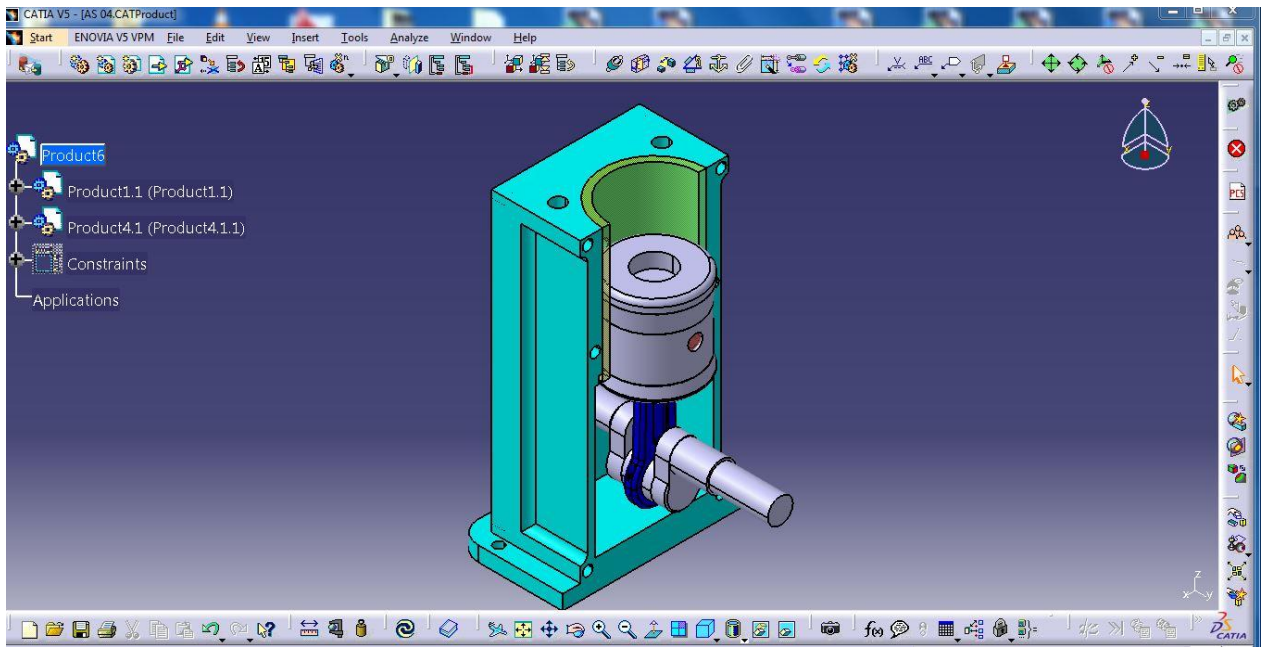


Figure IV. 16.coupe de la transmission bielle manivelle réalisée sur CATIA

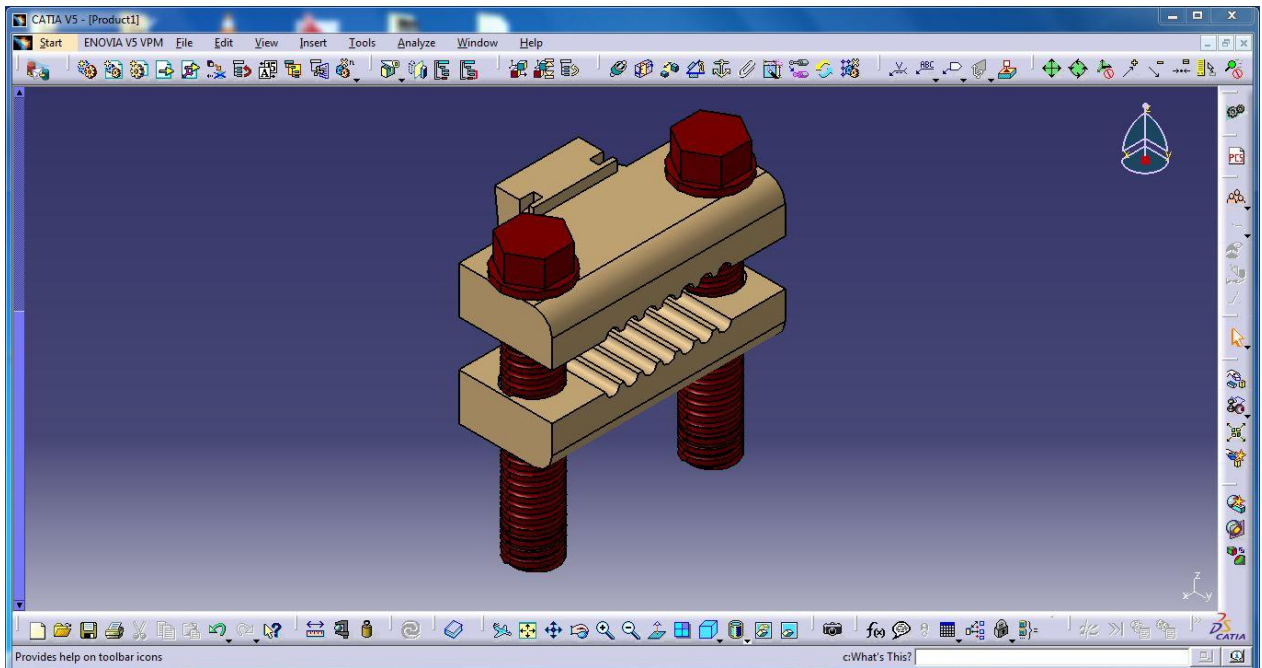


Figure IV. 17.Vue du système de fixation réalisée sur CATIA

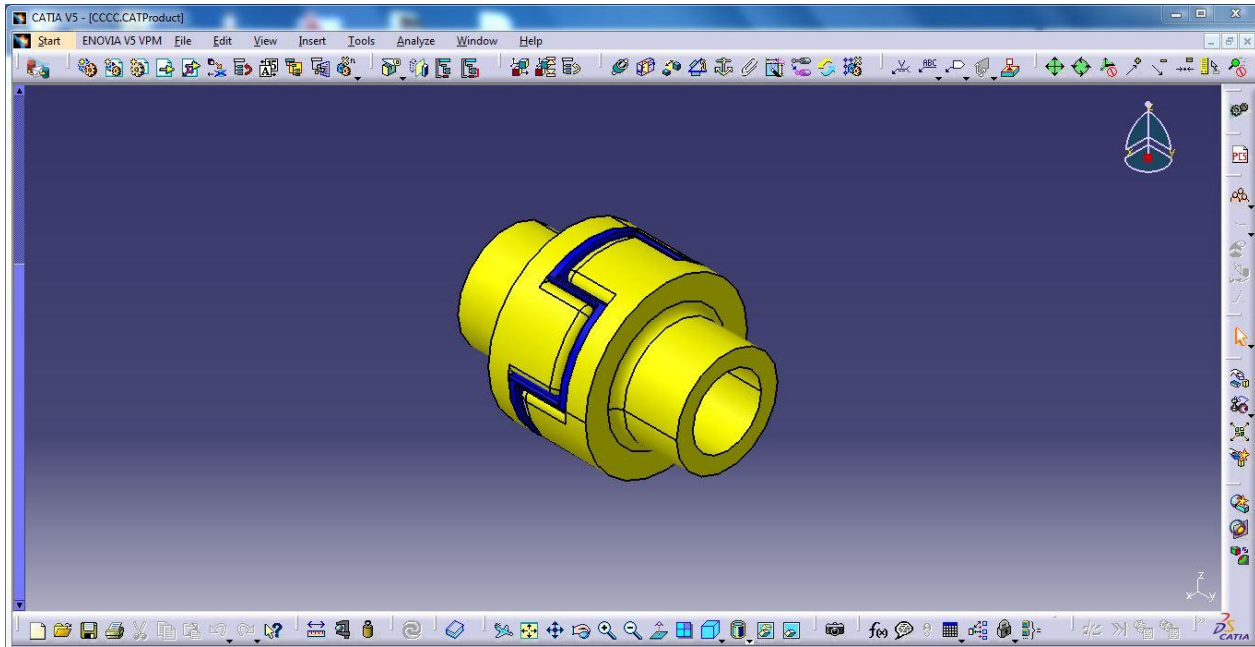


Figure IV.18.Vue de l'accouplement réalisée sur CATIA

IV. 8.lubrification de la machine:

La maintenance est destinée à maintenir la machine dans un état dans lequel elle peut accomplir la fonction dont elle est dédiée. Pour les éléments de la machine on a organisé la lubrification de la manière suivante:

La manivelle ou vilebrequin: se fait par bain d'huile car c'est le moyen de lubrification le plus simple. L'huile est prélevée du carter par les contrepoids de la manivelle est projetée durant la rotation de la manivelle sur les parois et fait un passage sur les roulements lors de son parcours de retour vers le carter.

Le palier de guidage de la rallonge: on choisit la méthode des gouttes d'huile cette méthode est simple et efficace et elle assure en même temps la lubrification du piston lors de la chute des gouttes d'huile qui longent le corps de la rallonge de bielle.

Les articulations: on choisit pour les pivots et les axes une lubrification par un graissage périodique de 1 fois par mois.

Amélioration du dispositif:

Pour améliorer le fonctionnement de la machine on propose les améliorations suivantes:

- On pense équiper la transmission par un variateur de vitesse pour mieux commander la vitesse de rotation.
- Automatiser l'arrêt de la machine en mettant des capteur électrique afin de détecter l'instant de rupture de l'éprouvette pour avoir des résultat exact
- Doter la machine par des moyens de sécurité mécanique (cage de protection de l'utilisateur) et électrique(bouton d'arrêt d'urgence)
- Installer des capteurs de nombre de cycles.

Conclusion générale :

Ce travail est une contribution à l'étude de conception d'une machine d'essai de fatigue pour échantillon soudé.

Nous avons présenté des notions théoriques sur le phénomène de fatigue ainsi que les paramètres ayant une influence sur la limite d'endurance d'une pièce mécanique.

Nous avons effectué une étude expérimentale sur le comportement de fatigue en flexion de l'acier C48 .

Référence bibliographique :

- 1- .[Lieurade H.P. *Rupture par fatigue des aciers. Ed. Institut de Recherches de la Sidérurgie Française, collection IRSID-OTUA. 1991*].
- 2- [H.J.Gough and H.V. Pollard, *The strength of metals under combine dalternating stresses, Proc. Inst. Mech. Engrs., 131, pp. 3-103, 1935*].
- 3-] Didier DUPRAT (2004) *Fatigue et mécanique de la rupture des pièces en alliage léger Bureau d'études. Aérospatiale Toulouse.*
- 4- François PLESSIER 2008 *Approche mécanique multi-échelle des interations hydrogène plasticité" LMP Université Bordeaux I.*
- 5- . M.NIHEY, E. A. Effect of specimen size on fatigue proportion of SM50b on loadcarrying
- 6- . K.G.RICHARDS. *fatiguestrength of welded structures. Welding Institute. [S.l.]. 1969.*
- . K.IKEDA, S. D. T. G. T. O. *improvement of the fatigue strength of fillet welded joints in 780 N/mm² high strength steel. Welding Research International (WRI). [S.l.]. 1978.*
- 7- X.NIU, G. G. *The weld profile effect on stress intensity factor in weldments. International Journal of Fracture, v. 35, p. 3-20, 1987.*
- 8- *Journal of Fracture, v. 35, p. 3-20, 1987.*
- 9- . H.ZEDIRA, A. B. *Cracking of welded monoblocs of the mechanical shovels 9210. Third International Conference on Mechanical and Industrial Engineering. Amman, Jordan: [s.n.]. 1999. p. 851-869.*
- 10- Mechanical and Industrial Engineering. Amman, Jordan: [s.n.]. 1999. p. 851-869.
- 11- CETIM, S. (Ed.). *Mécano-soudage, Conception. [S.l.]: Centre technique des industries mécaniques (France), 1989.*
- 12- *mécanique (France), 1989.*
- 13- CETIM. *Données Technologiques sur la Fatigue. [S.l.], p. 336. 1989.*
- 14- G.PLUVINAGE. *L'effet d'entaille en fatigue et en rupture. Laboratoire de Fiabilité Mécanique (LFM). Metz, France. 2003.*
- 15- *Mécanique (LFM). Metz, France. 2003.*
- 16- H.LIEURADE, C. M. *Fissuration par fatigue d'assemblage soudés en acier HLE. LABSE Colloquium. [S.l.], p. 137-144. 1982.*
- 17- *Colloquium. [S.l.], p. 137-144. 1982.*
- 18- *fillet welded joints. National Research Institute for Metals, v. 24, 1982.*
- 19- T.R.GURNEY. *The basis of the revised fatigue design rules in the department of energy offshore guidance notes. Second international conference, on offshore welded structure. [S.l.]: Welding Institute. 1982. p. 16-18.*
- 20- *offshore guidance notes. Second international conference, on offshore welded structure. [S.l.]: Welding Institute. 1982. p. 16-18.*
- 21- [S.l.]: Welding Institute. 1982. p. 16-18.
- 22- P.W.MARSHALL. *Assemblages pour structures tubulaires soudés. Houdermont. [S.l.]: IIW. 1984.*
- 23- IIW. 1984.
- 24- M.SKORUPA, M. B. J. P. *Applicability of approximate KI solutions towards cracks at weld toes. Engineering Fracture Mechanics, v. 26, p. 669-681, 1987.*

Résumé

Les essais mécaniques sont l'étape indispensable pour accéder aux grandeurs caractéristiques des matériaux. Parmi ces grandeurs, le module d'Young, la limite élastique et la limite à la rupture. Ces grandeurs sont déterminés à partir de différente machine d'essai D`où l`objectif de ce projet fin de cycle est de réaliser une machine d'essai de fatigue pour pièce souder et efficace qui facilite la manipulation de cet essai. Le travail est devisé en deux grandes parties, la premier est réservée au soudage et la fatigue des soudure . ladouzième partie et la modélisation par logiciel CATIA .

ملخص

التجارب الميكانيكية هي مراحل تمكن من المرور إلى قياسات خصائص المواد ومن ذلك معامل المرونة العرضي ونهاية المرونة و حد الانقطاع

هذه القياسات تعرف من خلال آلة مراقبة التعب وهذا هدف مشروعنا نهاية الدراسة وهو انجاز آلة مراقبة التعب للقطع الملحمة وهي فعالة وسهلة الاستعمال هذا العمل مقسم إلى جزئيين كبيرين الأول مخصص للتلحيم والثاني تعب التلحيم والمحاكات ببرنامج CATIA.