

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE M'HAMED BOUGARA BOUMERDES



Faculté de Technologie
Département Génie Mécanique

Mémoire de Master

En vue de l'obtention du diplôme de **MASTER** en :

Filière : Génie Mécanique

Spécialité : Construction mécanique.

THEME

Etude de conception et simulation d'un système d'engrenage
« roue dentée–crémaillère » du chariot arrière de la machine
d'estampage Gräbener GK 360T.

Présenté par :

KEBABI Sonia

TARIKET Nessrine

Promoteur : Mr B. HACHEMANE

Co- promoteur : Mr M. YADDADENE

Remerciements

Nous tenons en premier lieu à remercier le bon Dieu pour le courage et la patience qui nous a donné
afin de mener ce projet à terme.

Avant tout développement sur cette expérience professionnelle, il apparaît opportun de commencer ce mémoire de fin d'étude par des remerciements, à **L'Université M'hamed Bougara Boumerdes** et à **L'entreprise nationale de production d'articles en inox et orfèvrerie** et à ceux qui nous ont beaucoup appris au cours de ce stage, et même à ceux qui ont eu la gentillesse de faire de ce stage un moment très profitable.

Nous tenons à remercier notre promoteur Mr. **B.HACHEMANE** d'avoir accepté de nous encadrer sur ce thème, de nous avoir conseillé judicieusement, orienté, encouragé et apporté son attention tout au long de ce travail.

Nous remercions notre encadreur Mr. **M.YADDADEN** qui nous a aidés et soutenus tout le long de notre travail à l'entreprise.

Nous tenons également à remercier Mr. **H. BOUTOUTAOU** pour avoir accepté de présider le jury.

Nous remercions Mr. **A.MERAH** qui nous a honorés pour avoir examiné notre travail.

Nous tenons à remercier tous les enseignants qui ont contribué à notre formation, sans oublier les étudiants du département de Génie mécanique, particulièrement Monsieur **B.MANSER**.

Enfin, nos remerciements vont à tous ceux qui, de près ou de loin ont aidé à l'élaboration de ce mémoire et en particulier nos parents, nos familles et nos amis(es).

Dédicaces

Je rends grâce à dieu tout puissant de m'avoir donné du courage et de la patience particulièrement cette année, et recourir à lui pour surmonter toutes les difficultés pour achever ce modeste travail

Je dédie ce travail à mes parents qu'ils sont toujours à mes épaules, qui n'ont jamais cessé de formuler des prières à mon égard ;

À ma mère qui ne m'a jamais laissée, qui m'a toujours soutenue, m'a poussée en avant pour le mieux, qui m'a encouragée, guidée et conseillée à toi je dédie ce travail.

À mon père qui me refusait rien qui était toujours à mes côtés, qui a sacrifié toute sa vie pour mon bien être et ma réussite à toi je dédie ce travail.

À mes chères sœurs Rahma et Rokaya, et mon petit frère Mohamed Ayoub à vous je dédie ce travail.

À mon grand-père "LHAJ ROUJES" paix à son âme, à lui je dédie ce travail.

À Ma grande mère "BAYA" qu'elle est toujours à mes côtés, m'a donnée de l'espoir, avec lui j'ai compris la vie, à lui je dédie ce travail

À mes amis Moulina et Zineb qui n'ont ma jamais laissée, on a partagé les bons moments ensemble, à vous je dédie ce travail.

Ce travail est aussi dédié à notre enseignants de département mécanique Monsieur h.Mencer pour ses efforts fournis avec nous.

TARIKET NESSRINE

Dédicaces

Tout d'abord je remercie le Dieu tout puissant qui m'a donné le courage, la patience, et la persévérance pour atteindre mes objectifs.

A cette occasion, je dédie ce travail A ma mère : la meilleure de toutes les mamans, "Djebrouni Karima " qui est pour moi un exemple remarquable de sacrifices et de courage.

A mon père "Kebabi Mohamed" : qui a donné son cœur, et tout ce qu'il avait pour que ses enfants réussissent dans leurs vies.

A ma grand-mère « Yamina » qui m'a soutenu moralement par ses prières.

A mes frères : Yacine & Rafik, Bilal.

A mes sœurs : Imane, Fatima & Hanane.

A mes professeurs de l'université : UMBB

*Ce travail est aussi dédié à mes collègues et a toutes mes amies :
Kamer,Douaa ,maroua ,bouchra,Mounia, Amina*

Salah eddine , Mourad & Abdou.

KEBABI SONIA

Résumé

Grâce à cette étude, nous avons pu mettre en œuvre une solution à un problème important de la machine d'estampage (Gräbener) au niveau de la société BCR.

À l'aide du logiciel de conception assisté par ordinateur SolidWorks, nous avons procédé la construction CAO du système d'engrenage que nous avons proposé.

La simulation numérique par SolidWorks nous a permis de vérifier si ce corps peut supporter, les résultats de cette dernière étaient positifs.

On a fait l'analyse des contrainte de Von-Mises puis nous avons les comparer avec la contrainte admissible.

Nous avons proposé un traitement thermique adapté au problème de l'usure des engrenages.

Mots Clés : Conception, simulation, engrenage, traitement thermique, contrainte

Abstract

Through this study, we successfully addressed a critical issue in the stamping machine (Gräbener) at BCR company by implementing a solution.

Utilizing the SolidWorks computer-aided design software, we performed the CAD construction of the proposed gear system.

The SolidWorks numerical simulation enabled us to verify the structural integrity and yielded positive results.

We conducted an analysis of von Mises stress and compared it against the allowable stress limit. Additionally, we proposed a tailored heat treatment method to mitigate gear wear.

Keywords: Design, simulation, gearing, heat treatment, constraint

ملخص:

من خلال هذه الدراسة، تمكنا من تنفيذ حلاً لمشكلة هامة في آلة النقش (Gräbener) في شركة BCR باستخدام برنامج التصميم المعزز بالحاسوب SolidWorks، قمنا بإجراء التصميم المعزز بالحاسوب لنظام التروس الذي اقترحناه. قامت المحاكاة العددية باستخدام SolidWorks بالتحقق مما إذا كانت هذه الهيكلية يمكنها تحمل الأحمال، وكانت نتائجها إيجابية. قمنا بتحليل إجهادات فون ميسيس وقارناها بالحد المسموح به من الإجهاد. كما قدمنا معالجة حرارية ملائمة لمشكلة تآكل التروس.

الكلمات المفتاحية: التصميم، المحاكاة، التروس، المعالجة الحرارية، القيد

Table des matières

Remerciements

Dédicaces

Résumés

Liste des figures

Liste des tableaux

Liste d'abréviation

Introduction générale2

Chapitre I : Présentation de l'entreprise BCR- ORFEE

I.1. Introduction.....	5
I.2. Présentation de l'entreprise BCR.....	5
I.2.1. Historique.....	5
I.2.2. Unités du groupe BCR	6
I.3. Présentation de l'entreprise ORFEE filiale de BCR.....	7
I.3.1. Présentation des produits	8
I.3.2. Matières utilisées.....	8
I.4. Structuration de l'unité BCR-ORFEE	10
I.5. Département technique	11
I.6. L'organigramme du département technique	14
I.7. Cycle de fabrication de quelques produits	15
I.8. Conclusion	16

Chapitre II : Les procédés de mise en forme

II.1.Introduction	18
II.2. L'emboutissage	18
II.2.1. Définition.....	18
II.2.2. Principe	19

II.2.3. Types d'emboutissages	20
II.2.4. Les avantages de l'emboutissage	21
II.2.5. Les inconvénients de l'emboutissage	22
II.2.6. Défauts d'emboutissage.....	22
II.3 Estampage	22
II.3.1. Définition.....	22
II.3.2. Principaux étapes de l'estampage.....	25
II.3.4. Les outillages d'estampage.....	28
II.3.5. Les machines d'estampage	31
II.4 Description de la machine Gräbener GK 360 T	34
II.4.1. Caractéristiques techniques de la presse Gräbener GK 360T.....	35
II.4.2. Construction Générale et application des machines Gräbener GK 360T	35
II.4.3. Les produits estampés par la machine Gräbener GK 360T	37
II.5. Présentation du chariot arrière de la presse Gräbener GK 360T	38
II.5.1. Le couple d'engrenage du chariot arrière	39
II.5.2. Principe de fonctionnement du chariot arrière.....	39
II. 6. La problématique.....	40
II.7. Conclusion	40

Chapitre III : Transmission par engrenages

III.1. Introduction	42
III.2. Transmission Par engrenages	42
III.3. Caractéristiques d'une denture droite	43
III.4. Les engrenages roue dentée et crémaillère	45
III.5. Conception des engrenages	46
III.6. Les détériorations usuelles des engrenages.....	46
III.6.1. Fracture dentaire.....	47
III.6.2. Usure de la surface des dents	47
III.6.3. La fatigue dentaire.....	49
III.7. Conclusion	49

Chapitre IV : Conception et simulation du chariot arrière de la machine d'estampage Gräbener GK 360T

IV.1. Introduction.....	51
IV.2. Présentation de logiciel SolidWorks.....	51

IV.3. Conception du chariot arrière de la presse Gräbener GK 360T.....	52
IV.3.1. La roue dentée (1)	53
IV.3. 2. La crémaillère (2).....	54
IV.3.3. Le bras (3)	55
IV.3.4. Le corps (4)	56
IV.3. 5. L'axe (5).....	56
IV.3.6. La bague (6)	57
IV.3.7. L'arbre (7).....	57
IV.3.8. Le coussinet (8).....	58
IV.4. L'Assemblage	59
IV.5. Simulation du comportement mécanique du couple d'engrenages roue dentée -crémaillère.....	60
IV.5.1. Définition	60
IV.5.2. Processus de simulation par la FEA.....	61
IV.5.3. Calcul du chargement.....	62
IV.5.4. Simulation du modèle d'étude (le couple roue dentée – crémaillère).....	64
IV.5.5. Analyse des résultats	69
IV.6. Conclusion	72

Chapitre V : Les traitements thermiques

V.1. Introduction	74
V.2. Généralités.....	74
V.3. Principaux types de traitement thermique	75
V.4. Les traitements thermiques classiques des aciers.....	75
V.4.1. Les recuits.....	75
V.4.2. Les trempe	77
V.4.3. Les revenus	78
V.5. Traitements de surface	80
V.5.1. La trempe superficielle des aciers	81
V.6. Traitements thermiques pour l'acier C45 (Ck45)	83
V.7. Conclusion.....	85
Conclusion générale.....	87
Références bibliographiess	88
Annexes	91

Liste des figures

Figure I. 1 : Sigle du groupe BCR.	5
Figure I. 2: Les produits finis pour les trois unités du groupe BCR.	6
Figure I. 3: La restructuration du groupe BCR en filiales.	7
Figure I. 4: Localisation de l'entreprise BCR-ORFEE.	7
Figure I. 5: Le bloc administratif de la filiale ORFEE.....	8
Figure I. 6: Quelques produits finis de l'ORFEE.....	10
Figure I. 7 : Organigramme structural de l'unité BCR-ORFEE.	10
Figure I. 8: Atelier couvert M.	12
Figure I. 9: Atelier couvert H.....	13
Figure I. 10: Atelier polissage.....	13
Figure I. 11: Organigramme du département technique de l'unité BCR-ORFEE.	14
Figure I. 12: Le cycle de fabrication de quelques produits de l'entreprise	15
Figure II. 1: Le procédé d'emboutissage.	19
Figure II. 2: Principe de l'emboutissage.	20
Figure II. 3: L'emboutissage à froid.	21
Figure II. 4: L'emboutissage à chaud	21
Figure II. 5: Opération de cisailage.....	26
Figure II. 6: Évolution de la contrainte d'écoulement d'un acier en fonction de la température.	26
Figure II. 7: Coupe schématique de la calamine sur du fer doux et sur un acier XC 45.	27
Figure II. 8: Température de surface de l'outillage en deux points relativement proches.....	29
Figure II. 9: Exemple d'outillage à gravures multiples	30
Figure II. 10: Exemple d'un bloc matrices.	30
Figure II. 11: Clavettes et grain de centrage.	31
Figure II. 12: Marteau Pilon simple effet.....	32
Figure II. 13: Presse hydraulique.	34
Figure II. 14: La machine Gräbener	35
Figure II. 15: La machine Gräbener GK et le dispositif de chargement automatique.	36
Figure II. 16: Les principaux composants de la machine Gräbener GK 360T.	37
Figure II. 17: Quelques produits estampés par la machine Gräbener GK 360T.	38
Figure II. 18: Le chariot arrière de la presse à grenouillère Gräbener GK 360T.....	38
Figure II. 19: Le couple d'engrenage du chariot arrière de la presse à genouillère Gräbener GK 360T.	39
Figure III. 1: Représentation d'un système d'engrenage [12].	43
Figure III. 2: Caractéristiques d'une denture droite.....	43
Figure III. 3: Couple d'engrenages roue dentée - crémaillère.[14].....	46

Figure III. 4: Une fracture dentaire.	47
Figure III. 5: Une usure abrasive.	48
Figure III. 6: Usure par collage des surfaces des dents.....	48
Figure III. 7: Une fatigue dentaire sous la forme de piquûres. [13].....	49
Figure IV. 1: Représentation de la roue dentée (1) conçue.....	54
Figure IV. 2: La cremailere (2) conçue.....	55
Figure IV. 3: Le bras (3) conçu.....	55
Figure IV. 4: Le corps (4) conçu.....	56
Figure IV. 5: L'axe (5) conçu.	56
Figure IV. 6: La bague (6) conçue.	57
Figure IV. 7: L'arbre (7) conçue.....	57
Figure IV. 8: Le coussinet (8) conçu.....	58
Figure IV. 9: Représentation 3D du chariot arrière assemblé.....	59
Figure IV. 10: Modèle de l'étude « roue (1) – crémaillère (2) ».	65
Figure IV. 11: Illustration de la contrainte de liaison mécanique.	67
Figure IV. 12: Représentation de la contrainte de contact.....	67
Figure IV. 13: Contrainte de chargement appliqué.....	68
Figure IV. 14: Maillage du système d'engrenages	68
Figure IV. 15: Distribution des contraintes équivalentes de Von Mises.	70
Figure IV. 16: Distribution du déplacement résultant Ures.	71
Figure V. 1: Le cycle usuel d'un traitement thermique. [15].....	74
Figure V. 2: Cycle thermique d'un recuit complet.	76
Figure V. 3: Structure d'un acier AISI H11 à l'état recuit. [15]	77
Figure V. 4: Cycle thermique lors d'une trempe.	78
Figure V. 5: Cycle thermique complet d'une trempe et revenu.....	79
Figure V. 6: Chauffage par flamme. [15].....	81
Figure V. 7: Trempe superficielle par induction. [15]	82
Figure V. 8: Roue dentée trempée dent par dent.[18]	83
Figure V. 9: Diagramme de l'amélioration des caractéristiques mécaniques.	84
Figure V. 10: Courbes de la dureté HRC vs. Épaisseur de trempe.	84

Liste des tableaux

Tableau II. 1: Les principaux défauts d'emboutissage.	23
Tableau II. 2: Caractéristiques technique de la machine Gräbener GK 360T [7].....	35
Tableau III. 1: Principales caractéristiques d'une denture droite.....	45
Tableau IV. 1: Les principales caractéristiques dimensionnelles de la roue dentée (1).	53
Tableau IV. 2: Les dimensions essentielles de la crémaillère (2).	54
Tableau IV. 3: Les dimensions essentielles du bras (3).	55
Tableau IV. 4: Les dimensions essentielles du corps (4).	56
Tableau IV. 5: Les dimensions essentielles de l'axe (5).	56
Tableau IV. 6: Les dimensions essentielles de la bague (6).	57
Tableau IV. 7: Les dimensions essentielles de l'arbre (7).	57
Tableau IV. 8: Les dimensions essentielles du coussinet (8).	58
Tableau IV. 9: Les matériaux de construction des différentes pièces constitutives du chariot arrière.	58
Tableau IV. 10: La composition chimique de l'acier C45.	65
Tableau IV. 11: Les principales caractéristiques mécaniques de l'acier C45.....	66
Tableau V. 1: Les épaisseurs de chauffage en fonction de la fréquence du courant électrique.....	82
Tableau V. 2: Duretés obtenues après trempe superficielle au chalumeau ou par induction [15].....	83

SYMBOLE	DESCRIPTION	UNITE
d	diamètre primitif	mm
da	diamètre de tête	mm
df	diamètre de pied	mm
P	pas primitif	mm
b	larguer de dent	mm
h	hauteur de dent	mm
ha	hauteur de saillie	mm
hf	diamètre de creux	mm
α	angle de pression	(°)
Pm	puissance de moteur	KW
Nm	fréquence de rotation	tr/min
η	rendement	
Rc	rayon minimal de première came	mm
i	rapport de transmission	
μ	coefficient de frottement	
ω	vitesse de rotation crémaillère	rd/s
Mc	couple de came	N.m
F	force	N
Tc	force tangentiel	N
N	force normale	N
E	module d'élasticité	N/mm ²
Re	limite d'élasticité	N/mm ²
V	coefficient de Poisson	
G	module de cisaillement	N/mm ²
ρ	masse volumique	kg/m ³
Rm	limite de traction	N/mm ²
A	coefficient de dilatation thermique	/°K
λ	conductivité thermique	W/ (m.°K)
C	chaleur spécifique	J/ (kg.°K)
HB	dureté	

Abréviations

C	Carbone
S	Soufre
Mn	Manganèse
P	Phosphore
Si	Silicium

Introduction générale

Introduction générale

La conception et la simulation mécanique sont des étapes essentielles du processus de développement de produits dans le domaine mécanique. Elles permettent de créer des modèles virtuels, d'analyser leur comportement et de prendre des décisions éclairées avant de les fabriquer physiquement, ce qui permet d'économiser du temps et des ressources.

La conception mécanique implique la création d'un modèle 3D d'un composant, d'un mécanisme ou d'un système complet. Cela peut être réalisé à l'aide de logiciels de CAO (Conception Assistée par Ordinateur) tels que SolidWorks, CATIA, AutoCAD, ou d'autres outils similaires. Ces logiciels offrent des fonctionnalités pour créer des formes géométriques, ajouter des dimensions et des contraintes, et assembler différents composants pour former un système mécanique complet.

Une fois le modèle 3D créé, la simulation permet d'évaluer le comportement du système dans différentes conditions et de vérifier s'il répond aux exigences fonctionnelles et aux contraintes physiques. Les simulations peuvent être réalisées à l'aide de logiciels de simulation mécanique tels que SolidWorks, ANSYS, Abaqus, COMSOL, ou encore des modules de simulation intégrés dans les logiciels de CAO. Ces outils permettent de simuler des phénomènes tels que la résistance des matériaux, les contraintes, les déformations, les vibrations, la thermique, la fluidique, etc.

La simulation mécanique permet d'identifier les éventuels problèmes de conception, d'optimiser les performances, de réduire les coûts de fabrication et de minimiser les risques associés à la fabrication de prototypes physiques. Elle peut également être utilisée pour évaluer différentes options de conception, comparer des matériaux et des configurations alternatives, et guider les décisions de conception en fournissant des résultats précis et détaillés.

L'objectif de notre travail consiste à déterminer la meilleure solution à adopter, réaliser la conception et faire des simulations de vérification de résistance pour le problème de la presse à grenouillère Gräbener GK 360 T de l'entreprise BCR.

Cette machine présente un problème au niveau de son chariot arrière, exactement le système (roue dentée-crémaillère), c'est l'endommagement (usure) des dentures du couple d'engrenages.

Afin de détailler la démarche proposée, ce document de mémoire est donc organisé en cinq (05) chapitres :

- ❖ Dans le premier chapitre nommé « Présentation de l'entreprise », nous effectuons une présentation générale sur l'Entreprise National de Boulonnerie Coutellerie et Robinetterie BCR et ses filiales ;
- ❖ Dans le second chapitre intitulé « Les procédés de mise en forme », nous présentons essentiellement la presse d'estampage Gräbener GK 360T et son chariot arrière ;
- ❖ Le troisième chapitre nommé « Transmission par engrenages » s'intéresse aux détériorations usuelles rencontrées pour les engrenages en général et le couple roue dentée-crémaillère en particulier ;
- ❖ Le quatrième chapitre « Conception et simulation du chariot arrière de la machine d'estampage Gräbener GK 360T » est réservé à la conception des pièces de chariot arrière et la simulation du système d'engrenages roue dentée-crémaillère ainsi que l'analyse des résultats de la simulation ;
- ❖ Le cinquième chapitre « Les traitements thermiques » concerne les éventuels traitements thermiques réalisables sur les engrenages afin de remédier au problème d'usure (endommagement) des dentures.

Nous terminons notre travail par une conclusion générale, où on effectue une évaluation générale de notre projet de fin des études et qui résume tous les résultats obtenus par la simulation.

Chapitre I
Présentation de l'entreprise
BCR- ORFEE

Chapitre I

Presentation de l'entreprise BCR-ORFEE

I.1. Introduction

Les sociétés algériennes ont brusquement quitté l'environnement stable, puisque elles sont chargées de répondre aux besoins du pays et de participer à la réalisation de ses objectifs économiques et sociaux, dans un environnement instable, il faut rivaliser pour survivre. Les entreprises sont toujours à la recherche de performance et d'efficacité : L'efficacité se transforme en atteignant les objectifs poursuivis par l'entreprise et se traduit par une adéquation appropriée des ressources et des moyens appartenant à l'entreprise pour atteindre ses objectifs

Le groupe BCR « Entreprise National de boulonnerie Coutellerie et Robinetterie » a hérité d'un patrimoine constitué de quatre unités de production dont trois complexes industriels importants.



Figure I. 1 : Sigle du groupe BCR.

I.2. Présentation de l'entreprise BCR

I.2.1. Historique

L'entreprise à laquelle nous nous sommes intéressés a été créée le 1 janvier 1983 après sa séparation définitive de SONACOME qui a fait d'elle une entreprise à part entière. Son sigle veut dire « Entreprise National de Boulonnerie Coutellerie et Robinetterie ». le groupe BCR est une société par

action (SPA) dont le capitale est de 170.000.000 DA. Au commencement, elle n'était qu'une des différentes branches de l'immense entreprise SONACOME (Société nationale de construction mécanique) qui a été créée par ordonnance en août 1967, et elle a commencé le fonctionnement à partir de 1979.

L'entreprise BCR est passée à l'autonomie en 1990 après l'assainissement financière de celle-ci. En 1991, la direction générale BCR a décidé d'effectuer des changements dans la structure au niveau de chaque unité afin d'améliorer la fonction vente, pour cela il a été décidé la création de deux unités séparées sur un même site.

I.2.2. Unités du groupe BCR

BCR est constituée maintenant de 3 unités mises à part le siège social situé à Sétif. La liste nominative des unités de BCR se résume comme suit :

- A. SANIAK :** Société de fabrication d'Accessoires Industriels et Sanitaires, sise à Ain El-Kebira (SETIF) distant de 300 KM à l'est d'Alger. C'est une société par action (SPA) dont le capital s'élève à 790 MDA. Elle est née le 1er Janvier 2002. Elle fabrique et commercialise de la robinetterie (mélangeurs, mitigeurs, robinetterie bâtiment,...).
- B. ORSIM :** Sise à Oued Rhiou (RELIZANE) à 250 KM à l'ouest d'Alger. De même, c'est une société par action (SPA) alors qu'elle est spécialisée dans la fabrication des moyens de serrage identifiés par la boulonnerie, visserie, écrous et rondelles de différents diamètres, de classes et de qualité, destinés à toutes applications nécessitant une fixation mécanique.
- C. ORFEE_:** construite sur le site industriel de Bordj-Ménail (W. de Boumerdès). Elle fabrique et commercialise les articles de coutellerie, platerie, poterie et terrines dans les qualités ménage, orfèvre et argent, ainsi que les éviers en acier inoxydable.



SANIAK



ORSIM



ORFEE

Figure I. 2: Les produits finis pour les trois unités du groupe BCR.

Aujourd'hui, l'entreprise BCR relève du groupe AGM-spa « Algérien Group of Mecanic » et comprend seulement deux filiales. L'unité SANIAK produit et commercialise la robinetterie et ses accessoires, et l'unité ORFEE qui produit et commercialise la coutellerie et les éviers

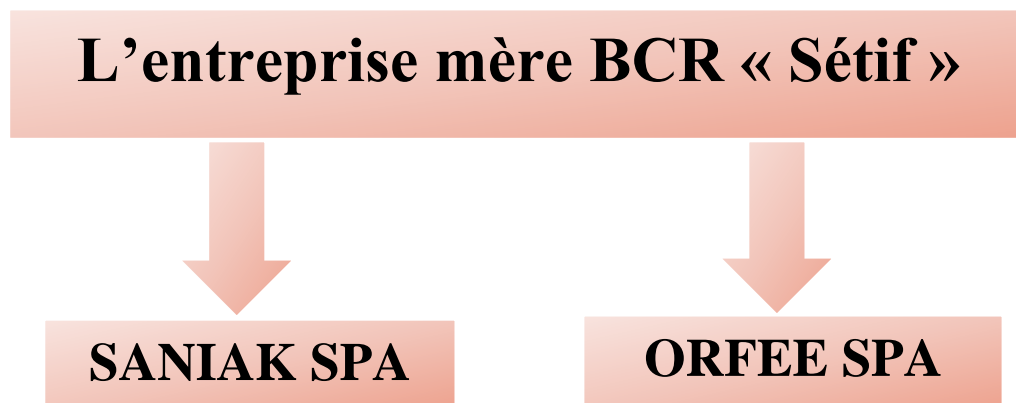


Figure I. 2: La restructuration du groupe BCR en filiales.

I.3. Présentation de l'entreprise ORFEE filiale de BCR

L'entreprise nationale de production d'articles en inox et orfèvrerie, appelée ORFEE-Spa, se trouve à environ 1 kilomètre de la ville de Bordj-Ménaiel, sur la route qui mène au village Omar. Elle est située à 30 Km de la ville de Boumerdès, 30 Km de Tizi-Ouzou et à 70 Km de la capitale Alger.

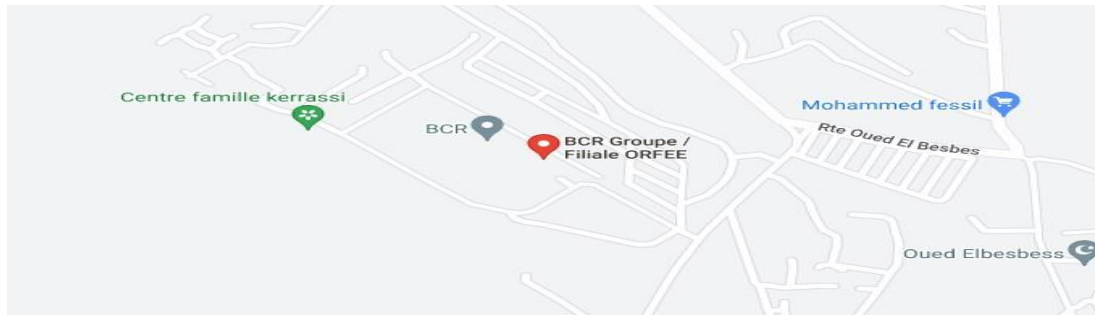


Figure I. 3: Localisation de l'entreprise BCR-ORFEE.

L'entreprise s'étale sur une superficie de 150 297 m². Suite à la restructuration de BCR en Janvier 2001, l'unité ORFEE de Bordj-Ménaiel a été érigée en entreprise publique économique de production d'article en orfèvrerie et éviers de cuisine en acier inoxydable par révélation.

Une convention de type clé en main a été signée par les deux parties et a qui a porté sur :

- La conception ;
- La réalisation ;
- La mise en marche ;
- La formation du personnel ;
- La mise en place de l'organisation.

L'entreprise est dotée d'organes de gestion et de contrôle réglementaires. Elle est dirigée par un directeur générale qui est en même temps le président du conseil d'administration. L'entreprise offre des produits répondant aux exigences des consommateurs et aux normes de qualité.

En janvier 2001, l'entreprise obtient la certification ISO 9002 version 1994 décernée par l'Association Française (AFAQ). En 2003, l'entreprise a mis en place un système de management qualité (SMQ) conformément au référentiel ISO 9001 versions 2000.



Figure I. 4: Le bloc administratif de la filiale ORFEE.

I.3.1. Présentation des produits

L'entreprise fabrique quatre types de produit en acier inoxydable :

- Les couverts ;
- Les couteaux ;
- La platerie ;
- La poterie.

I.3.2. Matières utilisées

Les produits sont fabriqués sous trois types de qualité :

- Produits de ménage (série économique M) : produits réalisés en inox ferritique X6CrNi17 à 17% de Chrome ;
- Produits orfèvres (séries haut de gamme H) : produits réalisés en inox austénitique X5CrNi18/10 (18% Chrome et 10% Nickel) ;
- Produit argenté (A) : réalisés en inox avec 18% de Chrome, 9 à 10 % de Nickel et une couche d'Argent de 20 μm d'épaisseur.

Le programme de production contractuel est de vingt six millions d'articles de différentes qualités (les cuillères de table, les fourchettes, les plateaux, les cuillères Moka) réalisables avec une seule équipe.

L'entreprise fabrique aussi les éviers de cuisine en deux catégories :

- Eviers de cuisine avec un bac.
- Eviers de cuisine avec deux bacs.

Ces produits sont fabriqués avec de l'acier inoxydable.

Les moyens de production mis en place (parc machine) sont insuffisants pour la réalisation du programme de production.

Les produits avant d'être réalisés subissent un ensemble d'opération :

❖ **Produits coutellerie :**

- Découpage ;
- Emboutissage ;
- Pressage à froid ;
- Laminage ;
- Argentage ;
- Polissage ;
- Injection plastique.

❖ **Eviers de cuisine :**

- Emboutissage cuve ;
- Pliage à mallette ;
- Bronzage ;
- Polissage finition.

Les installations assurent une flexibilité nécessaire répondant efficacement aux fluctuations du marché.



Figure I. 6: Quelques produits finis de l'ORFEE.

I.4. Structuration de l'unité BCR-ORFEE

L'unité BCR-ORFEE est constituée de onze (11) différentes divisions et directions structurées selon l'organigramme de la figure I.7.

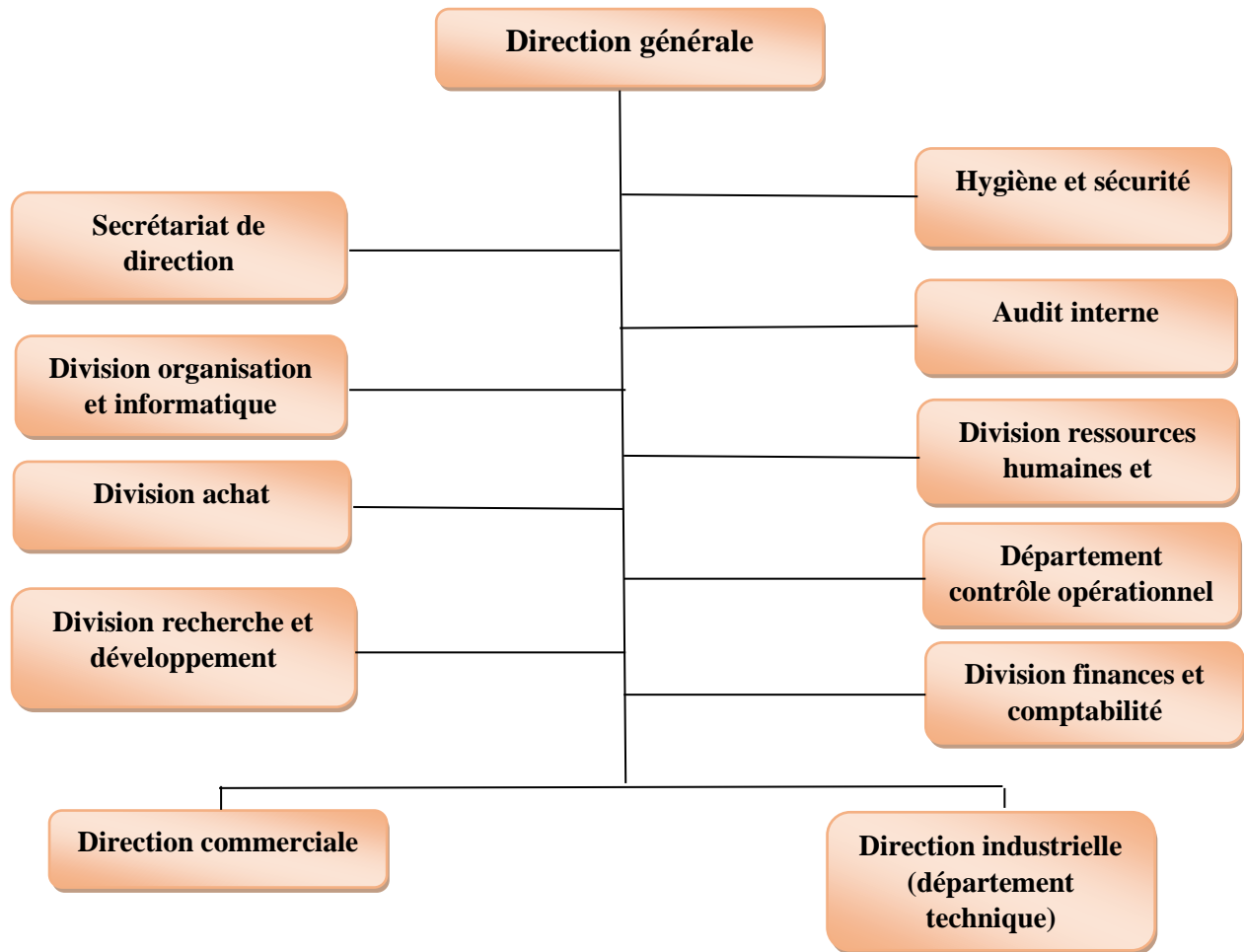


Figure I. 7 : Organigramme structural de l'unité BCR-ORFEE.

I.5. Département technique

Le département technique de l'entreprise présente plusieurs structures dont nous citons :

A. Atelier maintenance :

L'effectif :

- Chef atelier maintenance ;
- Trois électriciens ;
- Trois mécaniciens.

Leur tâche est la prise en charge de la santé des équipements.

B. Service Energie :

L'effectif : Quatre ouvriers.

Matériels utilisés :

- Une Pompe de tour refroidissement ;
- Un compresseur d'air à vis ATLAS COPCO ;
- Un compresseur d'air COMPAIR ;
- Un tour de refroidissement.

C. Atelier plateries :

Leurs produits :

- Plats (rond, ovale, carré et a gratin) ;
- Pots (à crème, à lait) ;
- Saladier et soupière.

D. Atelier couvert M :

Leurs produits :

- Cuillères et fourchettes de qualité moyenne.

Matériels utilisés :

- Presse à excentré 100T SCHULE) pour le découpage ;
- Quatre presses à genouillère, type GK 360 GREABENER pour l'estompage ;
- Machine JEFFARD ;
- Machine ROSLOR ;
- Machine IMANPACK.



Figure I. 8: Atelier couvert M.

E. Atelier couvert H :

Leurs produits :

- Cuillères et fourchettes de haute qualité.

Matérielles utiliser :

- Un laminoir DARROT pour le laminage ;
- Trois presses à genouillère GRABENER pour l'estompage ;
- Deux Presse à excentrique BEUTLER pour le détourage ;
- Deux machines à meuler (SIEPMANN) pour le meulage ;
- Une machine à découper LOESER pour le découpage ;
- Une machine électro-marquage.



Figure I. 9: Atelier couvert H.

F. Atelier polissage :

Matériels utilisés :

- Trois machines à polir HAU utilisée pour le polissage des plats ;
- Machine à polir 6 stations NIEDERBERGER utilisée pour le polissage des pots ;
- Machine à polir manuelle.



Figure I. 10: Atelier polissage.

G. Atelier évier :

Matériels utilisés :

- Une Presse hydraulique HYDRAULICO 800 ;
- Une Presse hydraulique HYDRAULICO 500 ;
- Une Presse hydraulique S.M.G ;
- Une Machine à souder les cordons à la molette ;
- Un Poste de soudage ARGON SAF.

I.6. L'organigramme du département technique

Le département technique de l'entreprise BCR-ORFEE se compose de deux services :

- ❖ Service outillage : tournage, fraisage et rectification des outils.
- ❖ Service Maintenance :

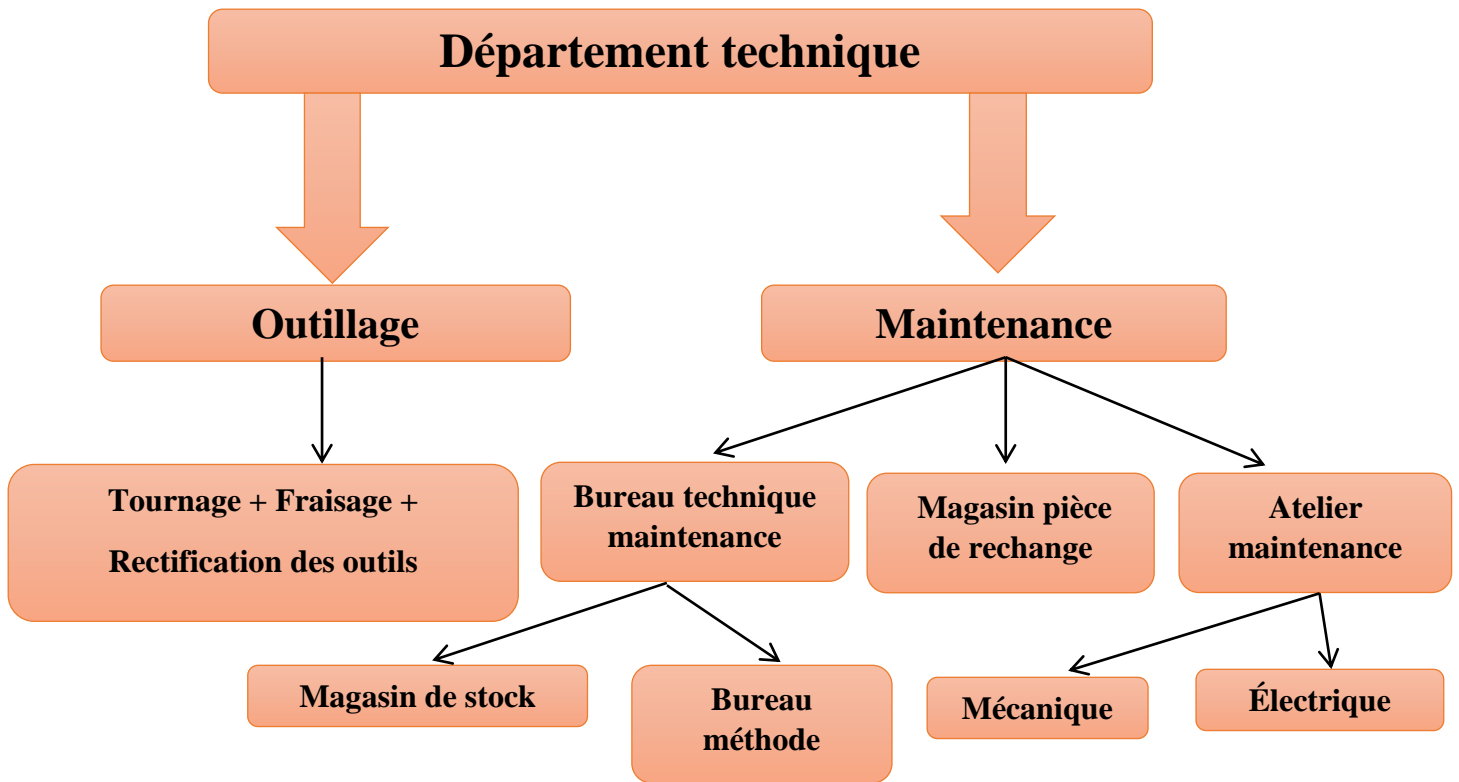


Figure I. 11: Organigramme du département technique de l'unité BCR-ORFEE.



I.8. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons effectué une présentation de la société BCR et ses filiales. L'unité BCR-ORFEE, située à Bordj-Ménaiel w. Boumerdès, a été le lieu de notre stage de fin des études. Elle est spécialisée dans la fabrication de couverts, des couteaux, de la platerie et de la poterie en acier inoxydable. Cette unité est structurée en plusieurs départements, services et ateliers.

Au sein du département technique, nous avons pu apprendre le sens de l'organisation et du sérieux qui ont été bénéfiques pour l'achèvement du thème de notre projet de fin des études.

Chapitre II

Les procédés de mise en forme

Chapitre II

Les procédés de mise en forme

II.1.Introduction

L'objectif premier de la mise en forme des métaux est de conférer à une pièce métallique des dimensions situées dans une fourchette de tolérance donnée. Les principaux procédés de mise en forme des métaux sont apparus progressivement, donnant naissance par la suite à diverses variantes, parfois très nombreuses. Les formes modernes des divers procédés sont le plus souvent apparues récemment pour assurer la production en grande série de pièces à faible coût. Parmi ces procédés, nous citons :

- Le découpage : consiste à découper des formes spécifiques dans des feuilles ou des plaques de matériau à l'outil tel que des cisailles, des presses de découpe ou des lasers.
- Le forgeage : utilise la compression et la force pour déformer les métaux chauffés et leur donner une forme précise, et il est couramment utilisé pour fabriquer des pièces solides et résistantes.
- Le poinçonnage : crée des trous, des encoches ou des découpes spécifiques dans une pièce de matériau en utilisant des presses à poinçonner ou des machines de poinçonnage CNC.
- L'emboutissage : déforme les feuilles ou plaques métalliques pour créer des formes tridimensionnelles, notamment dans l'industrie automobile
- Le laminage comprime et façonne les matériaux entre des rouleaux pour leur donner une forme précise. Il est couramment utilisé dans l'industrie sidérurgique.
- L'estampage applique une force concentrée sur une petite surface pour créer des déformations spécifiques sur les pièces métalliques. Il est employé par exemple dans la fabrication de pièces de monnaie.
- le pliage déforme une pièce plate en la pliant selon un angle spécifique, largement utilisé dans diverses industries.

Ces procédés permettent de répondre aux besoins spécifiques des applications industrielles.

II.2. L'emboutissage

II.2.1. Définition

L'emboutissage est un procédé de formage par déformation plastique des métaux qui consiste en un allongement ou un rétrécissement local de la tôle. Cette technique de fabrication transforme une feuille de tôle appelée flan en une pièce de forme bien déterminée à l'aide d'un outillage simple (un poinçon, une matrice et un serre flan) et avec l'application d'une pression maîtrisée.

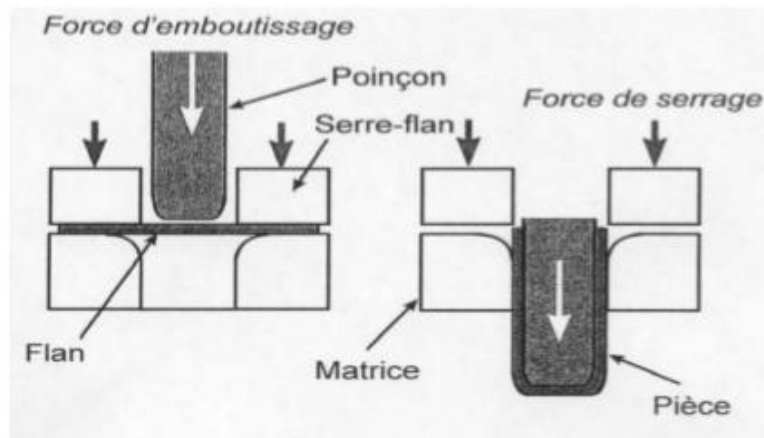


Figure II. 1: Le procédé d'emboutissage.

II.2.2. Principe

Le principe est basé sur la déformation plastique du matériau. L'emboutissage passe par les suivantes phases :

- ❖ Phase 1 : Poinçon et serre flan sont relevés. La tôle, préalablement graissée, est posée sur la matrice ;
- ❖ Phase 2 : Le serre-flan est descendu et vient appliquer une pression bien déterminée, afin de maintenir la tôle tout en lui permettant de fluer ;
- ❖ Phase 3 : Le poinçon descend et déforme la tôle de façon plastique, en l'appliquant contre le fond de la matrice. La tôle étant maintenue avec glissement possible entre le serre fan et la matrice, le poinçon est abaissé et vient plaquer la tôle, en la déformant, contre le fond de la matrice ;
- ❖ Phase 4 : Le poinçon et le serre flan se relèvent : la pièce conserve la forme acquise (limite d'élasticité dépassée). La pièce formée reste au fond de la matrice. Il reste jusqu'à l'éjection et le détournage ;

- ❖ Phase 5 : On procède au détournage de la pièce, c'est-à-dire à l'élimination des parties devenues inutiles. (Essentiellement les parties saisies par le serre-flan).

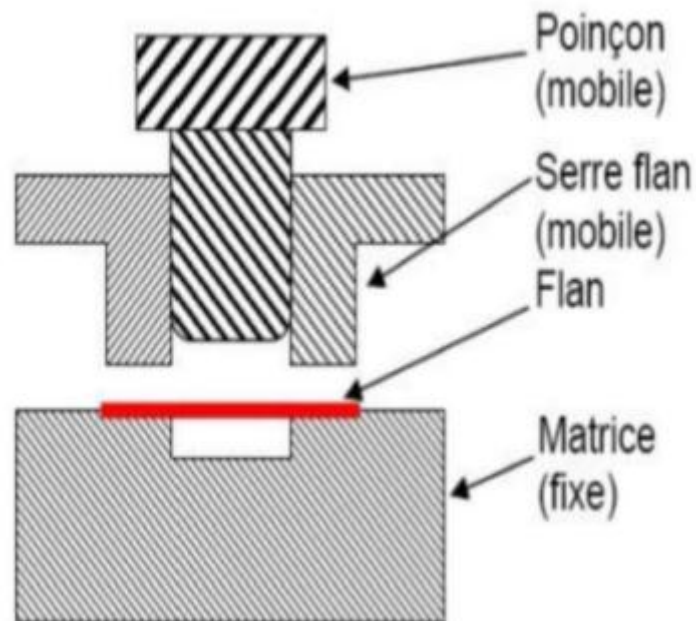


Figure II. 1: Principe de l'emboutissage.

II.2.3. Types d'emboutissages

On distingue deux types :

- L'emboutissage à chaud ;
- L'emboutissage à froid.

❖ Emboutissage à froid :

Il est réalisé sur des presses mécaniques. L'emboutissage à froid impose, les emboutis peu profonds ou ne nécessitant pas d'importants efforts de serrage. L'emboutissage à froid est exécuté sur des presses double effet. Le serre-flan maintient la tôle sur la matrice pendant toute la durée du travail du poinçon. L'opération terminée, la pièce est dégagée soit à l'aide de l'éjecteur, soit au travers de la matrice.

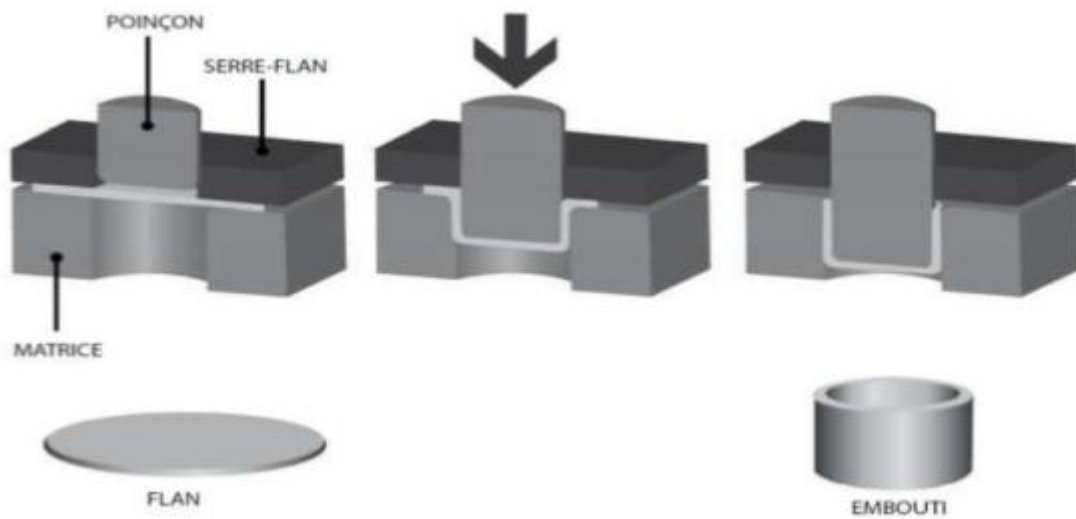


Figure II. 2: L'emboutissage à froid.

❖ Emboutissage à chaud :

Il est réalisé exclusivement sur presses hydrauliques. Il est réservé aux matériaux peu ductiles, aux emboutissages profonds et aux tôles de forte épaisseur nécessitant de grands efforts (épaisseur supérieure à 7 mm pour l'acier). Les cadences de production sont inférieures et les aspects de surface sont moins bons, vis-à-vis de l'emboutissage à froid. Les températures de chauffage dépendent du matériau embouti. A titre d'exemple :

- Magnésium : entre 200 et 350 °C
- Titane : entre 300 et 500 °C.

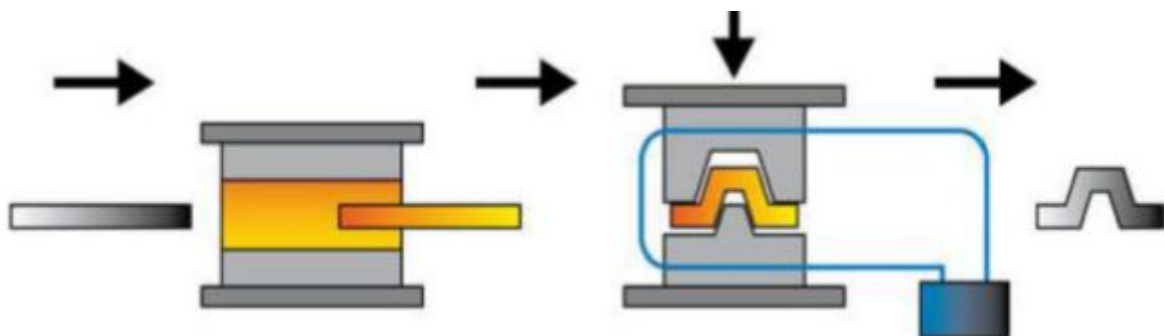


Figure II. 3: L'emboutissage à chaud.

II.2.4. Les avantages de l'emboutissage

Parmi les avantages de l'emboutissage, nous citons :

- L'emboutissage produit des formes inaccessibles au tour ou à la fraise ;
- La qualité de l'état de la surface d'une pièce d'emboutissage est bien supérieure à celle d'une pièce coulée ;
- L'emboutissage produit des pièces d'une beauté optimale ;
- L'emboutissage requiert une finition plus légère que celle des autres machines ;
- L'emboutissage est financièrement plus intéressant et génère des cadences de fabrication élevées.

II.2.5. Les inconvénients de l'emboutissage

L'emboutissage des métaux en feuilles présente des inconvénients tels que :

- Les zones d'étirement subissent un amincissement (qui doit rester limité pour les éviter) et les zones de restraint subissent une combinaison d'épaississement et de plissement ;
- Un retour élastique après la phase de mise en forme (lorsque le poinçon se retire). La pièce ainsi formée n'est plus soumise à la force de maintien. Il se produit alors un retrait de la matière. Afin d'atténuer ce phénomène, il est courant de recourir à certains artifices tels que l'augmentation du rayon de frappe,
- L'étirage en fin de gamme ou le maintien prolongé du poinçon ;
- L'entrée de la matrice doit être très arrondie et polie pour éviter toute déchirure du métal ;
- Pour obtenir des pièces précises, il est nécessaire d'utiliser des logiciels permettant de simuler le retour élastique de la pièce.

II.2.6. Défauts d'emboutissage

Le procédé d'emboutissage peut causer des défauts de plusieurs types causés de différentes manières. Les principaux défauts rencontrés sont résumés dans le tableau II.1.

II.3 Estampage

II.3.1. Définition

L'estampage est un procédé industriel d'obtention de pièces mécaniques en mise en forme de l'acier par déformation plastique à chaud. Il est utilisé aussi bien en petites qu'en moyennes et qu'en très grandes séries de pièces, dont la masse peut varier de quelques grammes à plusieurs centaines de kilogrammes. L'estampage est un façonnage à chaud par déformation plastique d'un morceau de métal (lopin) à l'aide d'outillage (matrice) permettant de lui donner une forme et des dimensions très proches de celles de la pièce finie .

Tableau II. 1: Les principaux défauts d'emboutissage.

Signe extérieurs, constatation	Cause des défauts	Prévention des défauts, Moyens d'y remédier.
A. Défauts afférents à l'entretien et au montage des outils		
Rayures	Usure de l'outil Tôle calaminée	chromage dur des arêtes d'emboutissage Amélioration du décapage Amélioration de la lubrification Utilisation évent de films pour emboutissage
Formation de plis sur le rebord	Pression du serre-flanc trop faible	Augmentation de la pression du serre-flanc
Plis aplatis avec déchirure verticale	Jeu trop grand ou arrondi des arêtes d'emboutissage trop grand	Changement de la bague d'emboutissage
Formation de bulles au fond. Quelque fois aussi bombement du fond	Mauvaise évacuation de l'air	Améliorer l'évacuation de l'air Une répartition régulière et très ménagée du lubrifiant est souvent utile à cet effet
B. Défauts de la tôle		
Dédoublement, le plus souvent critique dans le corps. Bords de la déchirure étagés, comme si l'on avait embouti simultanément deux tôles superposées	Inclusions dans la tôle	De la part du laminoir, veiller à ce que le matériau livré soit plus propre (contrôle par ultrasons)

Structure laminée trop marquée	Au laminoir, origine dans le matériau initial ou dans un recuit défectueux	N'utiliser qu'à des fins non essentielles et pour des pièces faiblement sollicitées
Déchirures ou trous aplatis (Rares)	Pores fins de la tôle ou incrustation de corps étrangers durs (copeaux, grains de sable)	Veiller à la propreté dans les locaux de stockage des tôles
Irrégularités d'épaisseur de la tôle néfastes surtout dans les emboutis conique, pointus et en forme d'auge Largeur inégale des ailes Formation de déchirure entre les points les plus larges des ailes	Rouleaux usés	Prescrire des tolérances précises à la livraison
C. Défauts afférents à l'installation et à la construction des outils		
Découpage d'une partie du fond Déchirure entièrement circulaire, généralement sans formation d'une ébauche cylindrique (Rare)	Le poinçon d'emboutissage opère comme un poinçon de découpage Arrondi trop faible du poinçon et de l'arête d'emboutissage	Donner un meilleur arrondi au poinçon et à la bague d'emboutissage
Détachement d'une partie du fond Après formation d'une brève ébauche cylindrique, le fond se déchire en restant attaché par une étroite bande, la partie déchirées s'écartant sous la pression du poinçon (Fréquent)	On a choisi un taux d'emboutissage D/d eu égard à la tôle utilisé	On intercalera une passe supplémentaire où on prendra une tôle plus malléable
Déchirure du fond après un corps presque réussi Rares dans les pièces rondes, mais fréquent avec les pièces rectangulaires	Souvent partie plus épaisses de la tôle ou jeu trop faible Avec les pièces rectangulaires, rétrécissement du jeu aux angles dû à la formation d'une sorte de bavure	Contrôler l'épaisseur de la tôle Augmenter évent le jeu Avec les pièces rectangulaires, nettoyer plus souvent les outils pour dégager les angles en enlevant les bavures
Forme renflée Corps bombé vers l'extérieur souvent associé à un bombement du bord supérieur du récipient, signe dit « formation de lèvres »	Jeu trop important	Augmentation de la pression de serre-flanc rarement efficace Changement de la bague d'emboutissage ou du poinçon très souvent nécessaire.

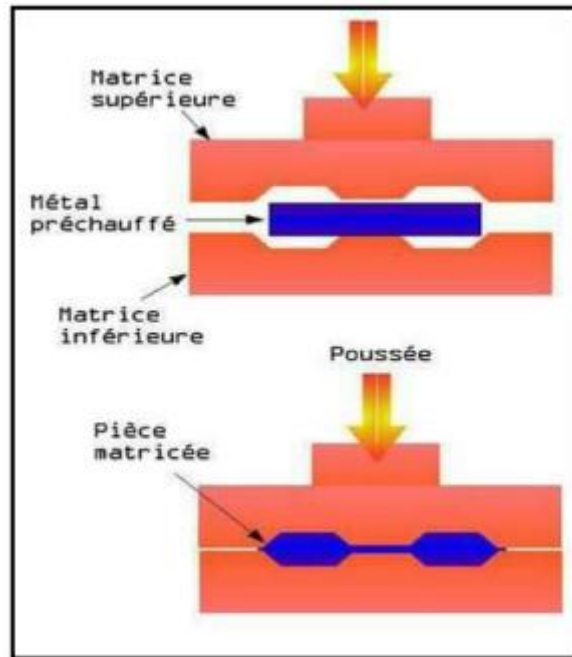


Figure II.5 : Principe de l'estampage.

II.3.2. Principaux étapes de l'estampage

A. Débitage

Le volume de métal nécessaire pour faire la pièce est celui de cette dernière pièce auquel on a ajouté celui de la bavure et celui de la perte au feu. En fonction de la section du demi-produit (barres ou billettes), on calcule la longueur du lopin à obtenir. Ce dernier est généralement débité par cisailage pour les sections inférieures à celles d'un carré de 150 mm de côté et par sciage pour les sections supérieures. L'opération de cisailage (Figure II.6) consiste à rompre le demi-produit qui est placé entre 2 lames, l'une fixe, l'autre mobile, couissant l'une devant l'autre. Dans la majorité des cas, une empreinte correspondant à la forme à cisailier est usinée dans chacune des 2 lames. Le jeu entre les lames est réglable de sorte à avoir la coupe la plus perpendiculaire possible par rapport à l'arête du lopin. Le cisailage présente l'avantage par rapport au sciage de s'effectuer à des cadences rapides et sans perte de métal. La précision de longueur, et donc de volume du lopin, est largement suffisante pour les opérations classiques. L'état de surface de la coupe est moins bon que celui du lopin scié, mais cela n'est pas du tout nuisible à l'obtention de pièces longues ou de pièces rondes débouchées. On peut, en prenant certaines précautions de réglage du jeu, améliorer cet état de surface, sinon il faut débiter les lopins par sciage.

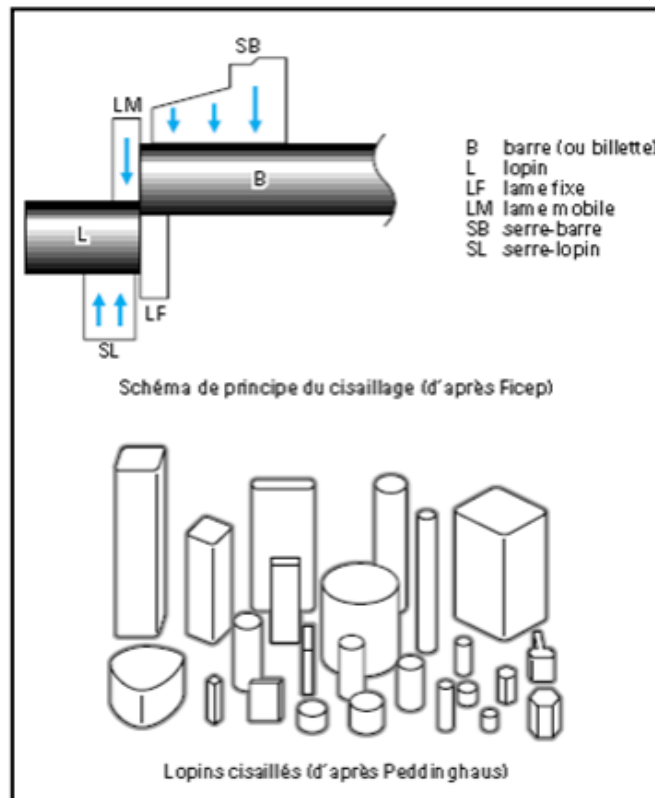


Figure II. 5: Opération de cisailage.

B. Chauffage

Afin de diminuer l'effort nécessaire à la mise en forme, il est nécessaire de chauffer. La figure II.7 montre l'influence de la température sur la contrainte d'écoulement du métal estampé. Mais au cours du chauffage, les lopins se revêtent d'une couche dure d'oxydes appelée couramment « calamine ». Après estampage, on constate que cette couche ne s'est pas comportée comme le métal de base. Elle est moins déformable. La calamine a toujours une épaisseur faible mais une structure et une morphologie complexes, comme le montre la figure II.8.

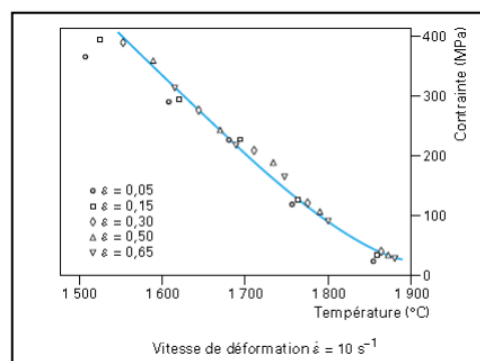


Figure II. 6: Évolution de la contrainte d'écoulement d'un acier en fonction de la température.

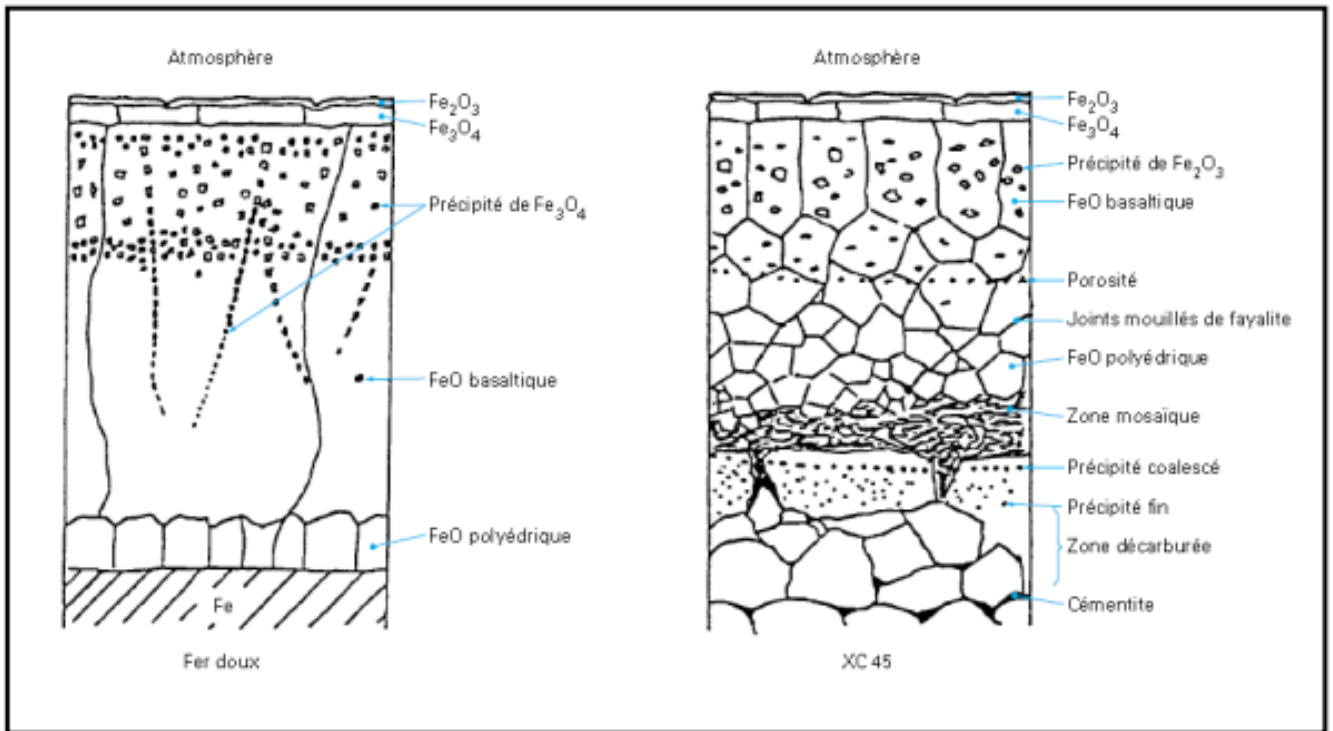


Figure II. 4: Coupe schématique de la calamine sur du fer doux et sur un acier XC 45.

C. Mise en forme

La fabrication consiste à chauffer à haute température, environ 1250 °C, un morceau de demi-produit d'une géométrie bien déterminée appelé « lopin », puis de le placer entre des outillages appelés « matrices », dans lesquels est usinée en creux une « gravure » qui représente exactement la forme de l'avant produit brut à obtenir. Une machine-outil d'estampage agissant par choc ou par pression exerce sur les outillages une force telle que le lopin est contraint d'épouser les formes de la gravure. Généralement, sur la périphérie de la gravure, dans l'outillage on usine aussi un cordon de matrice qui va former à la périphérie de la pièce estampée, un « cordon de bavure ». Cette bavure permet la maîtrise de la géométrie de la pièce finie et le cordon, qui ceinture la pièce, est ôté, le plus souvent à chaud, par cisailage sur une machine-outil annexe appelée « presse d'ébavurage ». La pièce brute ébavurée peut subir un traitement thermique qui lui est appliqué en fonction des caractéristiques mécaniques à obtenir. Le parachèvement est souvent composé d'un grenailage et d'un calibrage à froid. Pour faire de la déformation plastique, il faut que l'effort exercé sur le lopin engendre dans la pièce un état de contrainte vérifiant le critère de plasticité, à savoir que la contrainte généralisée soit égale à la contrainte d'écoulement du métal. Selon la mythologie, **Vulcain** a été le premier forgeron à

découvrir que le fait de chauffer le métal facilitait sa mise en forme. Il faut bien entendu que l'effort exercé soit inférieur à la limite d'élasticité de l'outillage. C'est le lopin qui doit être mis en forme dans l'outillage et non l'inverse. Le lopin subit une déformation plastique plus une déformation élastique, ainsi qu'un retrait et une contraction lors de son refroidissement ; tandis que la gravure de l'outillage ne subit qu'une déformation élastique et une petite dilatation due à l'échauffement pendant le travail (300 °C environ). Il faut prendre en compte toutes ces données pour obtenir des pièces brutes aux cotes souhaitées à l'intérieur des tolérances dimensionnelles définies par la norme européenne EN 10 243-1 et EN 10 243-2. Lors de l'opération d'estampage, les lopins convenablement chauffés sont mis à la forme de l'avant-produit par les gravures de l'outillage qui sont portées à une température de 150° à 200 °C maximum afin d'augmenter leur ténacité, c'est-à-dire leur résistance à la propagation brutale de fissures surtout lors du travail par chocs. Une seule exception à cette règle : l'estampage dit « isotherme » pour lequel l'outillage est préchauffé à une température voisine de celle du métal à chauffer. Cette exception se justifie dans quelques cas particuliers où les matériaux estampés ont des particularités métallurgiques qui imposent cette procédure. C'est le cas des alliages réfractaires utilisés pour fabriquer les pales de la zone chaude des réacteurs d'avions ou des turbines à gaz. Dans tous les cas traditionnels, le profil thermique relevé dans les matrices dépend de la zone de l'outillage, de ses dimensions et des temps de contact lopin/matrice, comme le montre la figure II.9. De plus, la calamine, la lubrification et l'état de surface de l'outillage sont des paramètres qui viennent, dans la pratique, perturber les considérations théoriques énoncées précédemment.

L'estampage met en jeu au moins 3 types de lubrifiants :

- gazeux : air et vapeur d'eau contenus dans la sciure de bois ;
- solide : graphite dans l'eau ou de l'huile déposé généralement par pulvérisation ;
- fluide (visqueux) : verre fondu principalement utilisé pour les pièces en alliage de titane.

Leurs propriétés thermiques sont différentes, leurs influences aussi. Tous vont remplir les trous et les interstices existants entre pièce et matrice. Ceux qui conduisent mal la chaleur joueront le rôle d'écran thermique (verres). Au contraire, ceux qui conduisent bien la chaleur joueront le rôle de joint (produits graphites) et assureront un bon contact thermique nécessaire à une bonne évacuation de la chaleur.

II.3.4. Les outillages d'estampage

La mise en forme du métal par estampage se fait dans des matrices métalliques. Les matrices de finition (figure II.10) représentent, en négatif, les formes définitives des de la pièce. Les dimensions des gravures sont celles de la pièce à obtenir augmentées du retrait. En fonction de la complexité de la pièce, on est fréquemment amené à créer des gravures de préparation ou gravures d'ébauches, de formes plus floues et dans lesquelles on s'efforce de faciliter l'écoulement du métal en allongeant les

rayons de raccordement des différentes zones de la pièce. Une autre fonction de ces gravures d'ébauches est de supporter l'usure provoquée par l'écoulement du métal et par conséquent limiter le plus possible l'usure des matrices de finition.

Les matrices sont réalisées à partir de blocs d'aciers alliés qui doivent présenter de hautes caractéristiques de résistance aux chocs, une bonne résistance à chaud, car le contact avec le métal chaud ne doit pas provoquer des déformations permanentes, et une bonne résistance à l'usure. L'amortissement des matrices d'estampage représente un handicap certain du fait de leur prix élevé et de leur usure rapide. Il peut atteindre 15 à 20% du prix de la pièce estampée. Une matrice est en générale utilisable pour 5000 pièces. Les blocs peuvent être usinés à l'état recuit puis traités après usinage, ou bien usinés à l'état trempé et revenu. Les moyens d'usinage sont d'une part les moyens conventionnels de tournage, fraisage, perçage, rabotage, rectification et d'autre part, l'électroérosion et l'électrochimie. On assiste aujourd'hui à l'usinage à grandes vitesses, économique, précis, rapide et surtout le bloc est usiné traité.

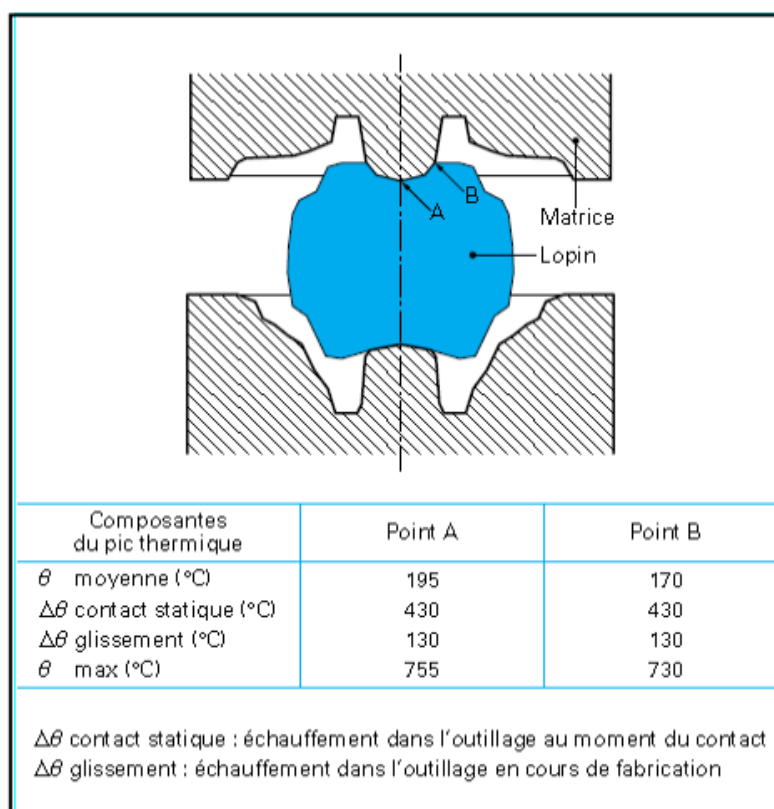


Figure II. 5: Température de surface de l'outillage en deux points relativement proches

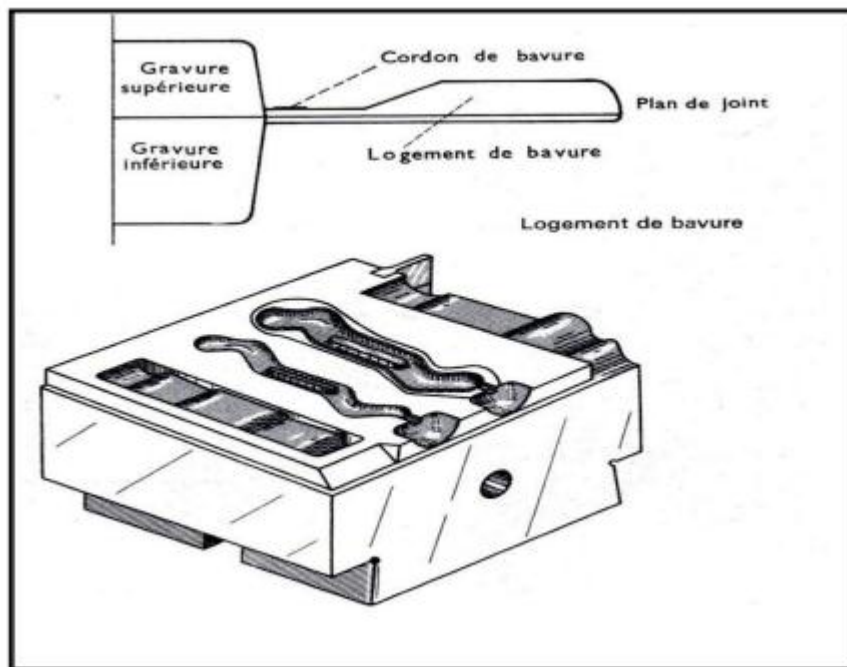


Figure II. 6: Exemple d'outillage à gravures multiples

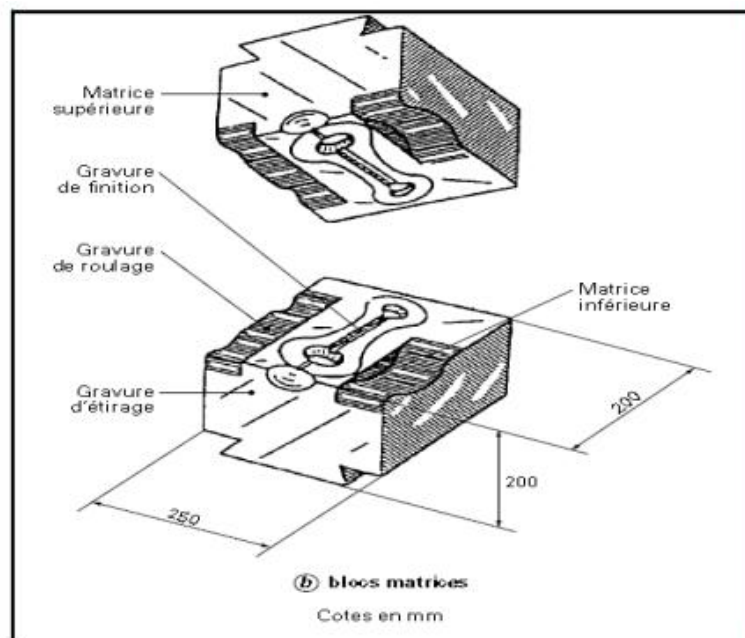


Figure II. 7: Exemple d'un bloc matrices.

Les blocs sont réglés en position axiale et latérale par des accessoires tels que des clavettes et des grains de centrage (figure II.12).

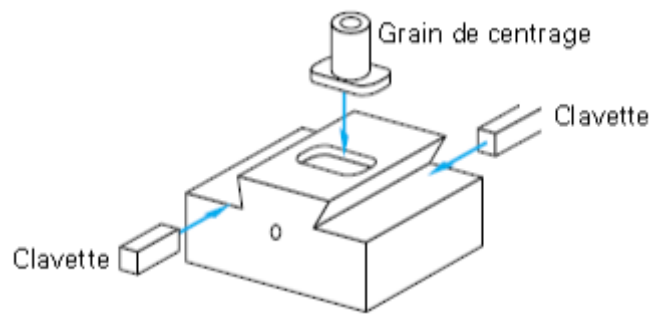


Figure II. 8: Clavettes et grain de centrage.

II.3.5. Les machines d'estampage

A. Les marteaux pilons

Les marteaux pilons simple effet (déformation par choc) sont les machines les plus utilisées en estampage. Ils comportent (figure II.13) :

- Une chabotte : masse métallique servant de table de travail et sur laquelle on fixe la matrice inférieure ;
- Un marteau : masse tombante sur laquelle est fixée la matrice supérieure ;
- Des organes de guidage : jambages ou montants fixés sur la chabotte et portant des glissières dans laquelle la masse tombante est guidée ;
- Des organes de relevage de la masse tombante supportée par les jambages.

Les marteaux pilons présentent divers avantages dont nous citons :

- Les pilons développent des charges importantes pour un temps de contact court entre l'outil et le lopin ;
- Le pilon est la machine la moins chère ;
- Le pilon est la machine d'estampage la plus économique ;
- C'est également la machine la plus polyvalente, dans la diversité des opérations qu'il peut exécuter.

Néanmoins le marteau pilon possède des inconvénients tels que :

- Les chocs subis par la matrice limitent sa durée de vie ;
- Le contrôle métallurgique de la pièce estampée est difficile par rapport aux autres machines.



Figure II. 9: Marteau Pilon simple effet.

B. Les presses

La presse mécanique est une machine qui permet de changer la forme d'une pièce en appliquant une pression. Elle est composée essentiellement de deux plateaux susceptibles de se rapprocher par commande mécanique ou hydraulique, pour comprimer ce qui est placé entre eux. Les presses sont des machines utilisées pour le traitement de la tôle, capables de générer une pression continue et progressive, afin de couper ou déformer le matériau placé dans le moule. Généralement sont composées d'une base, d'un cadre, de colonnes de guidage, de moteurs pour la génération de la force et de systèmes de gestion et de contrôle de la phase de moulage.

Les presses peuvent être classés suivant :

- Leur mécanisme : hydraulique, mécanique, pneumatique ;
- Leur fonction : presse de forgeage, presse d'estampage, presse plieuse, etc ;
- Leur structure : presse à genouillère, presse à vis ;
- Leur contrôlabilité : conventionnelle, servo-presses.

❖ La presse mécanique

Une presse mécanique est une machine qui utilise un mécanisme pour faire fonctionner les matrices à la vitesse appropriée, et leur donner l'énergie suffisante pour découper, percer, et obtenir la forme désirée. Les éléments estampés sont faits par profilage, emboutissage, découpage ou perçage d'un métal – tôle ou bobine – entre deux demis (supérieur et inférieur) d'un outil presse appelé : matrice, l'élément supérieur est attaché au poinçon et l'élément inférieur est serré ou boulonné à la plaque d'appui ou au banc de la presse. La matrice est conçue pour créer la forme de la pièce en un travail de

série de façon à satisfaire les demandes de production. La force (charge) et la précision sont nécessaires pour atteindre les demandes de la tolérance et de quantité de la pièce estampée et pour garantir un bon assemblage des parties de la pièce finale.



Figure II.14 : Presse mécanique.

Les avantages de la presse mécanique sont :

- Le tonnage de la presse mécanique est facilement ajusté ;
- Permet des opérations avec petit tonnage pour les matrices fragiles et la vitesse d'emboutissage reste constante pendant toute la course ;
- Les pannes de la presse mécanique sont facilement détectables.

Tandis que ses inconvénients se résument à :

- La presse mécanique est plus chère que la presse hydraulique ;
- La presse mécanique ne peut pas être surchargée car le système est protégé par deux soupapes de décharge séparément ajustée.

❖ La presse hydraulique

Une presse hydraulique est une machine avec un circuit hydraulique qui fournit une grande force de compression. Elle permet de transmettre un effort démultiplié et un déplacement, servant à écraser, déformer un objet ou soulever une pièce lourde. Il est préférable d'utiliser une presse hydraulique plutôt qu'une presse mécanique, lorsqu'il est indispensable de réguler la pression et de la maintenir constante pendant un certain laps de temps.

Les presses hydrauliques sont très robustes. Elles peuvent créer une grande quantité de tonnage pression. Elles sont idéales pour l'hydroformage qui est une technique de formation des métaux nécessitant la présence d'un agent liquide. De même, elles sont lentes ce qui donne suffisamment de temps au métal pour se former.

Cependant, les presses hydrauliques demandent beaucoup de maintenance. L'huile doit toujours être présente à l'intérieur de la presse, de plus, elles comportent plusieurs appareils pour le contrôle de la pression à fin d'assurer le bon fonctionnement de la presse. Un moteur plus puissant que celui de la presse mécanique parce qu'il n'y a pas un volant d'inertie pour stocker l'énergie. La maintenance de la presse hydraulique est plus difficile.



Figure II. 10: Presse hydraulique.

Comparativement aux presses mécaniques, les presses hydrauliques peuvent assurer beaucoup de caractéristiques. Une autre différence c'est que la presse hydraulique demande plus de temps et d'énergie pour la maintenance que la presse mécanique. Une presse mécanique est mue par la force musculaire ou avec un moteur électrique et la transmission de l'effort se fait avec une cinématique telle que : crémaillère, engrenages, poulies, excentriques.

Une presse hydraulique est mue par un fluide, eau, huile, avec une pompe soit manuelle soit électrique ou thermique et l'effort est produit par un vérin, ce type de presse permet d'obtenir des efforts plus importants que les systèmes mécaniques.

II.4 Description de la machine Gräbener GK 360 T

La machine d'estampage Gräbener est une presse industrielle utilisée pour fabriquer une variété de produits métalliques, y compris les cuillères et les fourchettes. Gräbener est une entreprise bien connue

dans le domaine de la technologie de formage des métaux et propose une gamme de machines d'estampage de haute qualité.

La machine Gräbener joue un rôle essentiel, voir indispensable, dans la production des articles BCR tels que les cuillères, les fourchettes, les couteaux, etc., car elle exécute l'étape finale du processus d'estampage des produits.



Figure II. 14: La machine Gräbener [2]

II.4.1. Caractéristiques techniques de la presse Gräbener GK 360T

Les principales caractéristiques techniques de la machine d'estampage « presse Gräbener GK 360T » sont résumées dans le tableau II.2.

Tableau II. 2: Caractéristiques technique de la machine Gräbener GK 360T [3]

Fabricant	Gräbener	Cadence	60 coups/min
Modèle	GK 360	Réglage de course	40 mm
Puissance	360T	Surface de la table	440 x 525 mm
Fabriqué	en Allemagne	Surface du coulisseau	440 x 525 mm
Passage entre plateaux (HOF)	340 mm	Moteur	11 kw
Passage entre montants du cadre	440 mm	Poids approximatif	6,3 Tonnes

II.4.2. Construction Générale et application des machines Gräbener GK 360T

La presse à genouillère Gräbener GK 360T se distingue par son principe de construction non conventionnel par rapport aux autres presses classiques. La genouillère, animée mécaniquement par un

volant d'inertie, un embrayage, un couple d'engrenages et un vilebrequin, engendre le mouvement de travail du cadre vers le plateau, rigidement fixé au bâti de presse. L'ensemble de la transmission est situé dans le bâti en dessous du plan du plateau. La machine peut être ainsi mise en mouvement au coup par coup ou en cycle continu par une unité combinée embrayage/frein.

Un plateau porte outil, déplaçable verticalement et situé dans le cadre, permet l'adaptation simple de divers outillages. La presse d'estampage est équipée d'un système de chargement automatique.

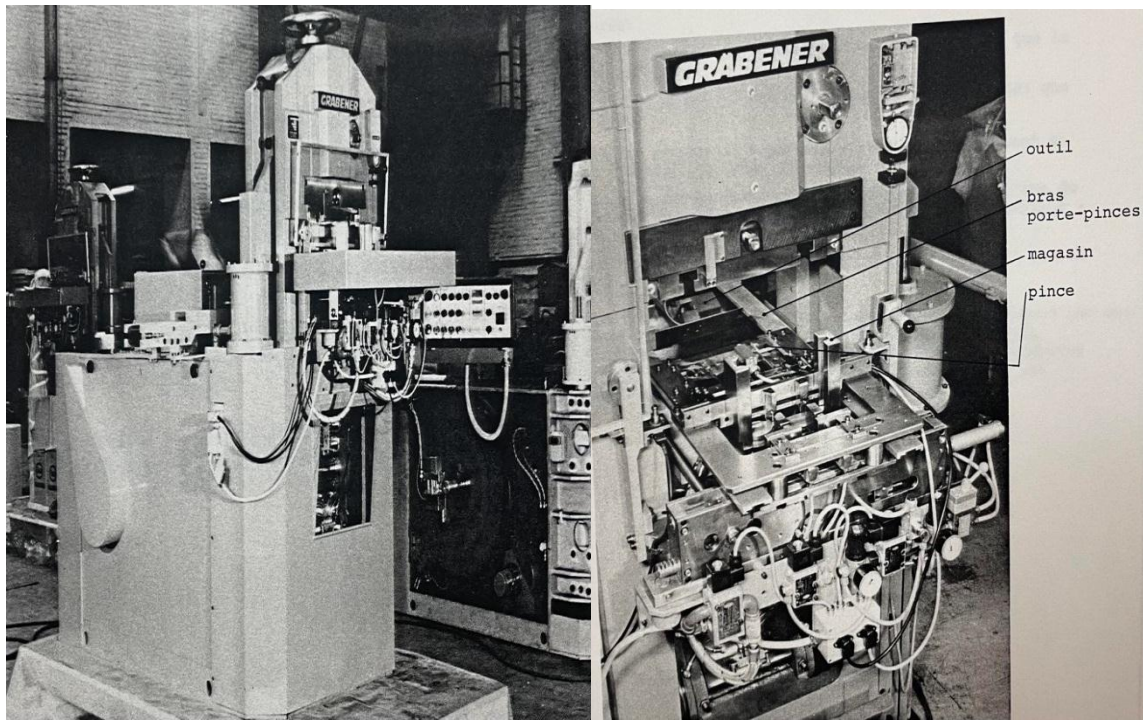


Figure II. 15: La machine Gräbener GK et le dispositif de chargement automatique.

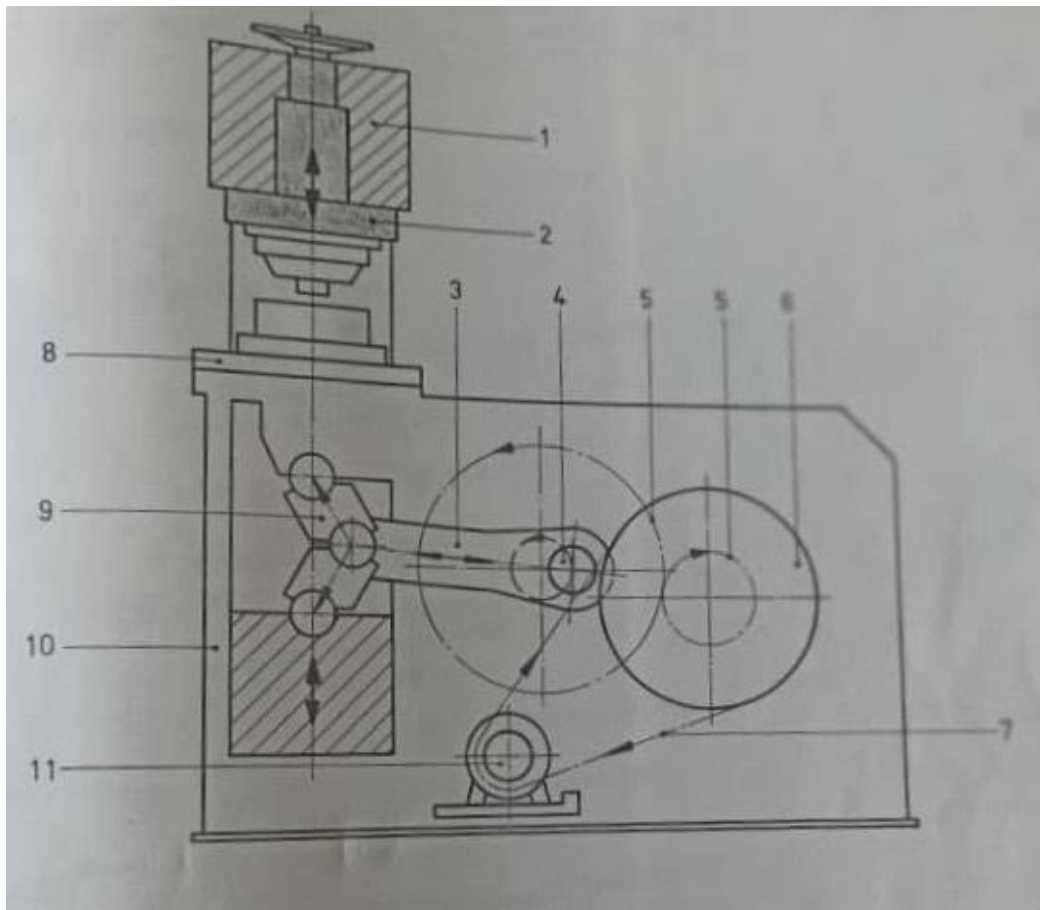


Figure II. 16: Les principaux composants de la machine Gräbener GK 360T.

(1) : Cadre de presse ; (2) : Porte outil ; (3) : Bielle ; (4) : Vilebrequin ; (5) : Couple d'engrenages ; (6) : Volant ; (7) : courroies trapézoïdales ; (8) : Plateau de presse ; (9) : Genouillère ; (10) : Bâti de la presse ; (11) : Moteur électrique

II.4.3. Les produits estampés par la machine Gräbener GK 360T

Parmi les produits estampés par la presse Gräbener GK 360T nous citons :

- Les cuillères de table ;
- Les cuillères à café ;
- Les cuillères Moka ;
- Les fourchettes ;
- Les fourchettes à poisson ;
- Les louches.



Figure II. 17: Quelques produits estampés par la machine Gräbener GK 360T. [4]

II.5. Présentation du chariot arrière de la presse Gräbener GK 360T

Le chariot est un mécanisme de la machine d'estampage Gräbener GK 360T qui s'occupe de déplacer des bras afin de transférer les articles estampés de la matrice vers un tapis roulant.

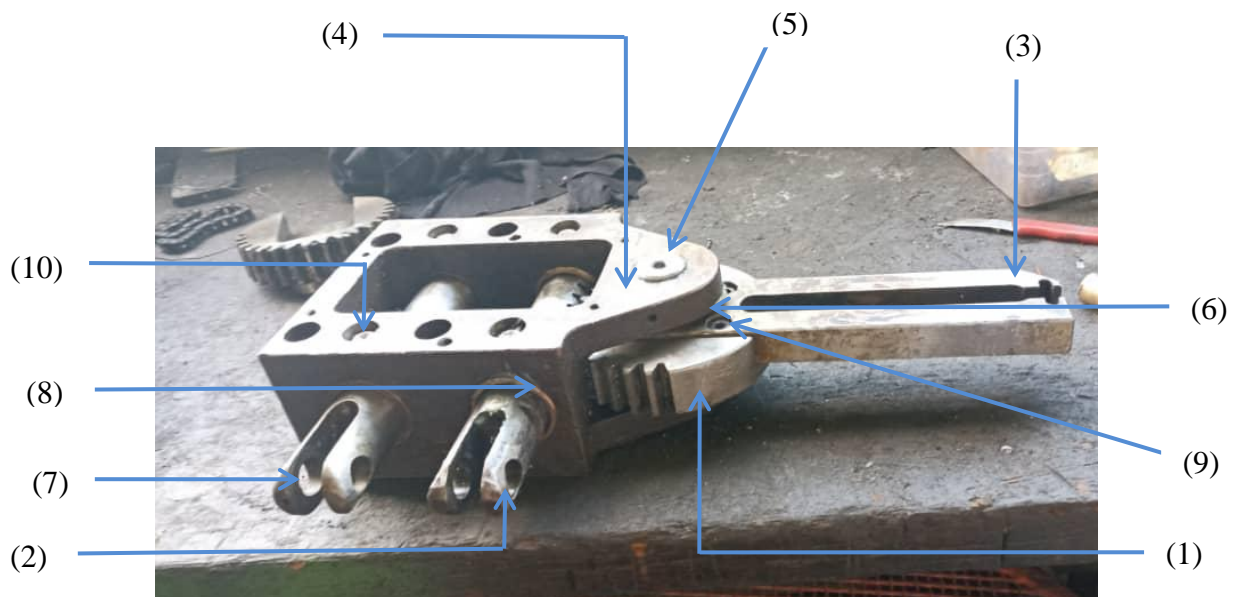


Figure II. 11: Le chariot arrière de la presse à grenouillère Gräbener GK 360T.

Le chariot arrière de la machine d'estampage contient :

- Une roue dentée (1) ;
- Une crémaillère (2) : affecté par une pression de la part d'une came, et en retour la crémaillère fait tourner la roue ;

- Un bras (3) qui anime la roue dentée (1) d'un mouvement de rotation ;
- Un corps (4) ;
- Un axe (5) liant la roue dentée (1) et le corps (4) ;
- Deux bagues en bronze (6) intercalées entre l'axe (5) et l'ensemble bras (3) et roue (1) ;
- Un arbre (7) ;
- Quatre coussinets (8). Deux intercalées entre la crémaillère (2) et le corps (4) et deux autres entre l'arbre (7) et le dit corps (4) ;
- Quatre vis d'assemblage M8 (9) qui assure la liaison complète entre la roue dentée (1) et le bras (3) ;
- Quatre vis à téton long M12 (10) éliminant tous mouvements entre le corps (4) et les coussinets (8).

II.5.1. Le couple d'engrenage du chariot arrière

Le couple d'engrenage du chariot arrière est composé d'une roue dentée (1) de forme cylindrique à denture droite associée à une crémaillère (2) qui se présente sous la forme d'un barreau cylindrique. Le rôle de ce couple d'engrenage est de transmettre en transformant d'un mouvement de rotation vers un mouvement de translation et/ou inversement.



Figure II. 19: Le couple d'engrenage du chariot arrière de la presse à genouillère Gräbener GK 360T.

II.5.2. Principe de fonctionnement du chariot arrière

Le chariot arrière de la presse Grabener GK 360T est composé principalement d'un couple d'engrenages roue-crémaillère. Le fonctionnement du chariot arrière est caractérisé par deux phases. Dans la première phase, le moteur électrique principale de la presse anime en rotation un mécanisme de roue dentée et chaîne ; par la suite, le mouvement de rotation est transmis à un arbre à deux cames dont la première pousse la crémaillère (2) ce qui provoque la rotation de la roue dentée (1).

Durant la seconde phase de fonctionnement du chariot arrière, la seconde came alimente en mouvement un système mécanique qui tire une extrémité du bras (3) et ce dernier fait pivoter la roue dentée (1), dans un sens contraire à celui de la première phase, ce qui fait translater la crémaillère (2) afin qu'elle reste en contact permanent avec la première came.

II. 6. La problématique

Durant le fonctionnement de ce couple d'engrenages et après une durée d'un mois, il a été constaté un endommagement non négligeable de ce dernier qui se présenter sous la forme d'usure grossière des dentures aussi bien de la roue dentée (1) que de la crémaillère (2). Cet endommagement engendre un énorme dysfonctionnement du chariot arrière ainsi que de la presse d'estampage Gräbener GK 360T.

Pour de telles raisons, un travail d'étude du couple d'engrenage a été proposé en simulant son comportement mécanique afin de trouver une solution adéquate à cette problématique.

II.7. Conclusion

Effectivement, les techniques de mise en forme des matériaux telles que le découpage, l'emboutissage, le pliage et l'estampage sont utilisés pour donner une forme spécifique à un matériau tout en lui conférant une microstructure particulière. L'objectif final est d'obtenir un objet avec les propriétés souhaitées. Pour atteindre cet objectif, il est essentiel de maîtriser certains paramètres expérimentaux, notamment la composition du matériau et ses caractéristiques mécaniques.

Se basant sur une étude bibliographique, nous avons présenté le procédé d'emboutissage et montré l'importance de ce type de déformation plastique parmi les autres procédés de mise en forme ainsi que le principe, les types et les défauts d'emboutissage.

Ce chapitre fournit une description non exhaustive des travaux bibliographiques relatifs à l'estampage, techniques de fabrication, outillages et aux machines utilisées durant la procédure de cette opération de mise en forme. De même, nous avons choisi d'entreprendre une recherche visant à obtenir une vue d'ensemble de tout ce qui concerne la machine Gräbener GK 360T utilisée pour l'estampage sans oublier ses divers composants.

Les systèmes de transmission de mouvement par engrenage étant efficace présente l'inconvénient d'endommagement des dentures qui cause un dysfonctionnement de ces systèmes.

Chapitre III

Transmission par engrenages

Chapitre III

Transmission par engrenages

III.1. Introduction

Dans certains objets techniques, il est parfois utile de transmettre un mouvement d'une pièce vers une ou plusieurs autres pièces. Lorsque le mouvement issu d'une pièce mécanique est communiqué à une autre sans qu'il soit transformé, on dit qu'il y a que transmission du mouvement uniquement. Alors qu'il subsiste des systèmes ou mécanismes de transmission avec une transformation de la nature du mouvement. Ainsi, un organe moteur en mouvement transmet l'action à un organe récepteur (ou mené). Les deux organes peuvent être directement en contact ou la transmission peut se faire à l'aide d'un organe intermédiaire. [5]

Les mécanismes de transmissions du mouvement avec ou sans transformation de ce dernier sont :

- Transmission Par poulies – courroie ;
- Transmission Par chaînes - roue dentée ;
- Transmission Par engrenages ;
- Transmission Par roues de friction ;
- Système bielle – manivelle ;
- Mécanisme à came et tige poussoir ;
- Un couple vis – écrou. [6]

III.2. Transmission Par engrenages

Ce type de système est surtout utile pour transmettre un mouvement de rotation entre des pièces rapprochées. Les dents des roues dentées impliquées viennent successivement en contact les unes avec les autres (elles s'engrènent).

Les engrenages sont des composants mécaniques essentiels. Ils font partie des systèmes de transmission de mouvement et de puissance les plus utilisés, les plus résistants et les plus durables.

Ils sont normalisés et les engrenages fabriqués avec la norme internationale ISO présentent l'avantage d'être facilement interchangeables et permettent des possibilités de fabrication plus économiques (conception type, méthodes de calcul normalisées, taillage et contrôle automatisés, équipements standard).

Les engranges peuvent être classés principalement de deux manières. Ils peuvent être de forme cylindrique ou conique comme ils peuvent être de denture droite ou hélicoïdale. Un système d'engrenage est réversible et peut être amorcé par n'importe quel engrenage. Le sens de rotation est inversé d'un engrenage à l'autre et l'utilisation des engrenages permet de faire varier la vitesse de rotation d'un mouvement. Ils peuvent être fabriqués sur mesure. Les engrenages présentent plusieurs avantages tels que : une transmission de mouvement constante (pas de glissement), ce sont des systèmes compacts permettant de transmettre des mouvements dans de petits espaces comme ils sont idéaux pour obtenir des vitesses de rotation très élevées. Néanmoins, les engrenages ont certains inconvénients tels que : la génération des bruits et des vibrations, le besoin de lubrification, la Nécessité d'un ajustement précis comme une sensibilité aux impuretés. De même, la confection des engrenages demande un usinage de grande précision, ce qui rend ce système un peu plus coûteux. [7]

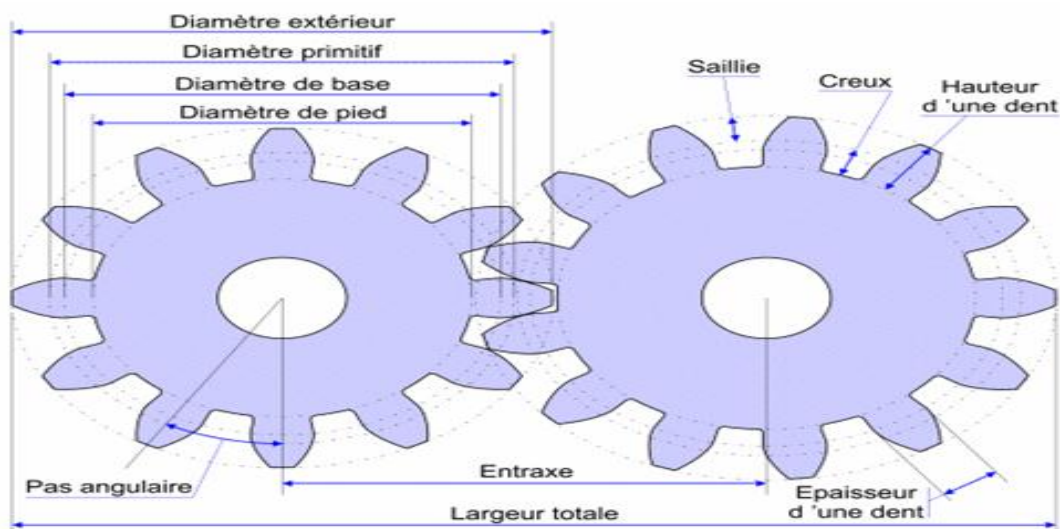


Figure III. 1: Représentation d'un système d'engrenage [8].

III.3. Caractéristiques d'une denture droite

La géométrie des engrenages est entièrement décrite par un ensemble de paramètres qui sont également utilisés pour leur normalisation. La figure III.2 illustre les principales caractéristiques d'un engrenage cylindrique à denture droite. Ces caractéristiques sont fréquemment utilisées dans diverses formules décrivant la géométrie des engrenages.

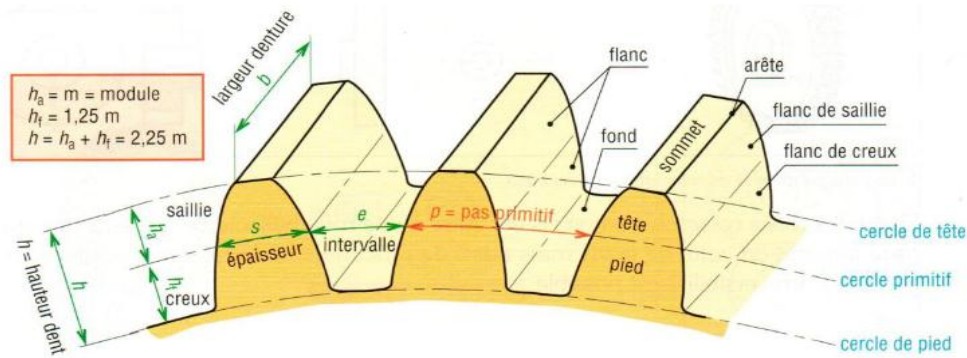


Figure III. 2: Caractéristiques d'une denture droite

Cercle primitif (cercle de base) : Cercle sur lequel se trouvent les points de contact entre le couple des engrenages. Le cercle primitif est celui représentant le diamètre de l'engrenage. Il sert de référence pour la définition des dimensions de la dent et d'autres paramètres. Ce cercle est caractérisé par un diamètre appelé diamètre primitif « d ».

Cercle de tête : Cercle correspondant au diamètre maximal de l'engrenage « d_a ».

Cercle de pied : Cercle correspondant au diamètre minimal de l'engrenage « d_f ».

Ces deux derniers cercles ne sont toutefois pas utilisés dans les calculs d'engrenages.

Angle de pression « α » : angle de la droite de pression qui caractérise aussi la forme des dents.

Saillie « h_a » : Différence entre les rayons du cercle de tête et du cercle primitif.

Creux « h_f » : Différence entre les rayons du cercle primitif et du cercle de pied.

Hauteur « h » : Différence entre les rayons du cercle de tête et de pied.

Pas primitif « p » : Longueur d'arc entre deux dents successives mesurée sur le cercle primitif.

Module « m » : Quotient du pas exprimé en mm par le nombre π .

Epaisseur de la dent « s » : C'est la moitié du pas primitif.

Largeur de la dent « b » : C'est la dimension de la dent suivant la direction parallèle à l'axe de révolution de l'engrenage.

Tableau III. 1: Principales caractéristiques d'une denture droite.

Désignation	Symbole	Proportion
Nombre de dents	Z	Z
Module	m	$m = \frac{h}{2,25}$
Diamètre primitif	d	$d = m \cdot Z$
Diamètre de tête	d_a	$d_a = d + (2 \cdot m)$
Diamètre de pied	d_f	$d_f = d - (2,25 \cdot m)$
Pas primitif	p	$p = \pi \cdot m$
Largeur de denture	b	$b = k \cdot m$
Hauteur de denture	h	$h = 2,25 \cdot m$
Hauteur de saillie	h_a	$h_a = m$
Hauteur de creux	h_f	$h_f = 1,25 \cdot m$

(k : coefficient de largeur de denture)

III.4. Les engrenages roue dentée et crémaillère

Dans un couple d'engrenages « roue dentée–crémaillère » une des deux engrenage est une roue dentée de rayon infini : c'est la crémaillère. Ce système permet de transférer un mouvement de rotation en translation ou inversement. Une crémaillère est généralement sous forme de barre ou de tige dentée. Le mouvement de rotation de la roue est converti en mouvement linéaire de la crémaillère permettant ainsi un roulement sans glissement de la roue sur la barre au point de contact instantané. Un tel mécanisme est utilisé dans les automobiles pour convertir la rotation du volant en mouvement de gauche à droite des tirants. Il est utilisé aussi dans les moules à dévissage pour démouler les pièces plastiques avec un taraudage.



Figure III. 3: Couple d'engrenages roue dentée - crémaillère.[9]

III.5. Conception des engrenages

La conception des engrenages repose généralement sur des suppositions et incertitudes qui rendent leurs durées de vies variables d'une application à une autre. Cela est dû principalement aux :

- Charge initiale, et par conséquent durée de vie variable ;
- Causes constitutives d'alignement ;
- Non-linéarité de mouvement ;
- Jeu entre les dents engrenées, des lacunes entre les composants ;
- Manque provisoire de mouvement sur l'inversion de couple ;
- Causes de frottement ;
- Problèmes de contrôle ;
- Répartition de chaleur ;
- Usage.

III.6. Les détériorations usuelles des engrenages

Au début du fonctionnement des engrenages, c'est-à-dire pendant la période de rodage, les légères imperfections des profils des dents disparaissent progressivement. Après un certain temps, si l'engrenage reste dans un bon environnement de fonctionnement sous des bonnes conditions, l'usure des dentures va rester faible. Sinon lorsque les conditions de fonctionnement se dégradent, il est possible d'observer des détériorations sur les surfaces actives des dents. Parmi ces détériorations, nous citons :

III.6.1. Fracture dentaire

Durant le fonctionnement d'une couple d'engrenages, l'action et la réaction entre la roue motrice (menante) et la roue réceptrice (menée) sont appliquées au niveau du contact entre les dents (cercle primitif). Cependant, dans le cas où le contact est délocalisé vers la partie supérieure des dents, la dent devient un modèle de poutre en porte-à-faux, une surcharge ou une charge d'impact produira une forte contrainte de flexion à la racine de la dent, ce qui provoquera facilement la fracture de la dent. Aussi bien qu'en raison du phénomène de concentration de contraintes rend très facile à générer une fissure qui se développe progressivement en une fracture dentaire.

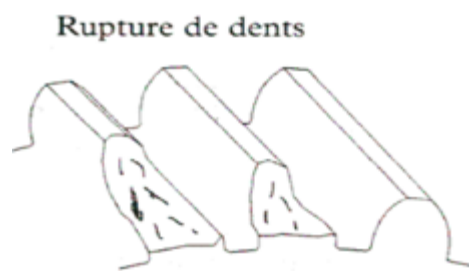


Figure III. 4: Une fracture dentaire.

III.6.2. Usure de la surface des dents

Lorsqu'il existe des facteurs tels qu'une mauvaise lubrification, une huile de graissage sale ou un mauvais traitement thermique, l'engrenage présente des défaillances sous forme d'usure des dents. Ces dernières sont de nature diverses.

❖ Usure adhésive

L'usure adhésive des engrenages est principalement liée à l'huile de graissage. Si la lubrification est mauvaise et que l'engrenage est dans les conditions de travail de faible vitesse, charge lourde, température élevée, surface de dent rugueuse, l'usure adhésive est facile à se produire.

❖ Usure abrasive et rayures

Lorsque l'engrenage est dans un environnement de travail ouvert, le sable, les débris métalliques et d'autres impuretés pénétrant dans le train d'engrenages provoquent une usure abrasive et des rayures.

Usure par abrasion

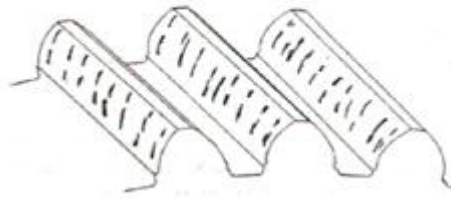


Figure III. 5: Une usure abrasive.

❖ **Usure corrosive**

Lorsque la substance chimique telle que l'acide, l'alcali ou l'eau pénètre dans le système de transmission à engrenages, elle réagit avec la surface de la dent, ce qui corrode la surface métallique et cause des dommages aux dents.

❖ **Brûlure**

Lorsque la charge de l'engrenage est trop importante, une survitesse ou une mauvaise lubrification, le frottement excessif entre la dent fera augmenter la température de la pièce d'engrenage, ce qui entraînera une décoloration de la surface de la dent et un phénomène de surmenage. De plus, la surface des engins brûlés sera sujette à la fatigue thermique. Il convient de noter que l'usure des engrenages provoquera une brûlure, qui à son tour exacerbe l'usure des engrenages.

❖ **Collage de surface de dent :**

Dans les conditions de vitesse élevée, de température élevée et de lourdeur, lorsque la surface de la dent est relativement molle, il est facile de constater que le matériau de la pièce attache l'autre surface de la dent et laisse des trous sur la surface de la dent, ce que l'on appelle le phénomène de collage des surfaces des dents. Ceci cause un écaillage ou un grippage du matériau du couple d'engrenages.

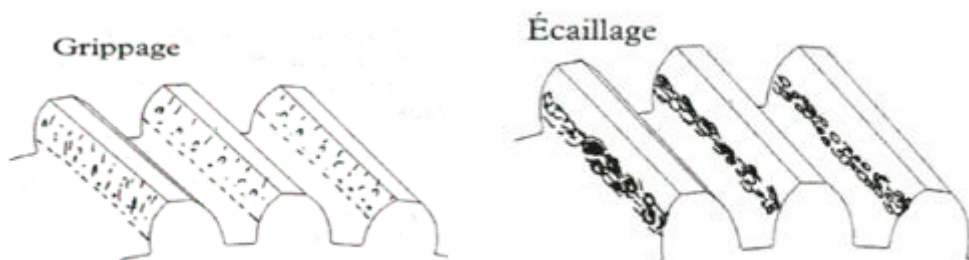


Figure III. 6: Usure par collage des surfaces des dents.

III.6.3. La fatigue dentaire

Il existe deux types de fatigue dentaire : les piqûres et le pelage. La contrainte alternée sur la surface de l'engrenage fera que la surface des dents génère une micro fissure de fatigue. Dans le processus d'engrènement de la paire d'engrenages, l'huile de lubrification dans la fissure est comprimée, ce qui à son tour propage la fissure sous haute pression et fait tomber le matériau métallique de la surface de la dent, laissant une petite fosse et formant une corrosion par piqûres. Si la fissure de micro-fatigue sur la surface de la dent s'étend plus loin ou si une série de régions de piqûres se rejoignent, une grande zone de métal se décolle. En d'autres termes, la maladie grave se décolle. En substance, ces deux formes de défaillance n'ont aucune différence.

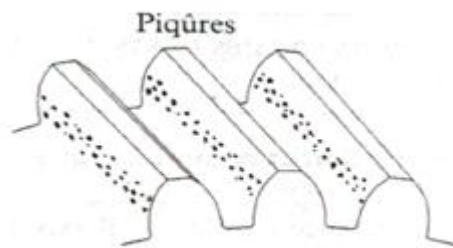


Figure III. 7: Une fatigue dentaire sous la forme de piqûres.

III.7. Conclusion

Ce chapitre nous a permis de présenter la transmission de mouvement par engrenages, et comment ils font partie des systèmes de transmission de mouvement et de puissance les plus utilisés.

On a défini les engrenages et montré tous leurs types, caractéristiques, conception et l'importance de transmission par engrenages parmi les autres transmissions.

On a indiqué aussi les détériorations usuelles des engrenages comme la fracture dentaire, l'usure de la surface des dents et aussi la fatigue dentaire.

Chapitre IV

Conception et simulation du chariot arrière de la machine d'estampage Gräbener GK 360T

Chapitre IV

Conception et simulation du chariot arrière de la machine d'estampage Gräbener GK 360T

IV.1. Introduction

Dans ce chapitre, nous allons présenter les étapes de conception du chariot arrière de la presse Gräbener GK 360T par l'utilisation du logiciel SolidWorks version 2016/2017/2018. Par conséquent, ce chapitre a été introduit par une première partie donnant une vision générale sur le logiciel SolidWorks. Par la suite, une deuxième partie qui traite la méthode de la conception en 3D des engrenages, en donnant tous les détails ainsi que les différentes étapes de conception

IV.2. Présentation de logiciel SolidWorks

SolidWorks est un logiciel de conception assistée par ordinateur (CAO), appartenant à la société Dassault Systèmes. Il utilise le principe de conception paramétrique et génère trois types de fichiers qui sont liés : la pièce, l'assemblage, et la mise en plan. Ainsi toute modification sur un de ces trois fichiers sera répercutée sur les deux autres. Les outils de CAO mécanique, qui permettent de conceptualiser et de fabriquer des produits, sont actuellement très demandés dans le secteur industriel de la conception de produits. En tant que concepteurs, nous recherchons souvent des fonctionnalités de modélisation complexes. Sachant que notre conception peut changer ou être rejetée, nous devons être en mesure de la créer et de la modifier rapidement.

Solidworks est également connu sous le nom de «DSS Solidworks». DSS désigne Dassault System, qui est le développeur de ce logiciel de CAO. Il s'agit d'un logiciel de CAO qui permet de créer des modèles solides 2D ou 3D sans aucune complexité, plus rapidement et de manière rentable. L'avantage principal du modélisateur solide est qu'il est très facile à utiliser, l'interface utilisateur graphique simple et beaucoup plus amicale, par rapport à d'autres logiciels de modélisation solide CAD. Il

contient la modélisation solide, Motion, Simulation, Boîte à outils, TolAnalyst, Circute Works, PhotoView 360, ScanTo3D, et éditeur DWG.

SolidWorks est considéré comme un logiciel de CAO avec Haute productivité (jusqu'à 95%). Il offre une meilleure visualisation de conception et il permet de concevoir de meilleurs produits, des itérations de conception plus rapides, des communications améliorées, la conception avec moins d'erreurs, crée des design de produits avec plus d'esthétique et répond également aux exigences des clients.

SolidWorks a une vaste gamme d'applications dans des industries telles que l'aérospatiale, la défense, l'automobile, le transport, les produits de consommation, l'électronique, usine de traitement, la conservation de l'énergie, la construction, l'équipement lourd, machines, outils médicaux, Mold & prestations de service. Il aide à concevoir différents produits et services, les tester de manière très rentable comme le modèle et le prototype de test.

Le DSS SolidworksCorp développe également d'autres produits logiciels, ce qui aide dans diverses sections d'ingénierie, en particulier pour la mécanique. Il s'agit de CAO 3D, simulation, gestion de données produit, communication technique, conception électrique et 3D expérience. Ce modélisateur CAO n'est pas limité aux ingénieurs mécaniciens. D'autres filières techniques (spécialement pour l'électricité et le civil) et les concepteurs de produits peuvent convertir les idées de nouveaux produits en réalité.

Le logiciel SolidWorks est utilisé dans diverses industries pour concevoir leurs produits et augmenter la productivité en abaissant le coût. En raison de la vaste gamme d'applications et de possibilités d'emploi, en tant qu'ingénieur mécanicien, vous devez apprendre le logiciel de CAO le plus utilisé et le plus utilisé, comme SolidWorks. La plupart des universités et collèges internationaux d'ingénierie offrent dans leurs programmes des formations sur la CAO en utilisant SolidWorks.

Il fournit la conception avec une productivité maximale, car il donne des données diverses et la communication technique, ce qui contribue à votre conception et aide à valider avec les normes. Tout ce que vous avez besoin est de vous concentrer sur l'innovation de nouveaux produits ou de conception. Il contient la technologie de simulation, qui permet de vérifier votre conception.

La solution Solidworks est une fonctionnalité collaborative améliorée, qui contribue à partager votre conception avec les clients appropriés via cette plate-forme. Si vous êtes un professionnel, vous n'avez pas besoin de chercher sur Internet pour trouver les bons clients et leur présenter des innovations.

Il est très facile d'apprendre les bases, comment commencer les conceptions de produit et plus.

IV.3. Conception du chariot arrière de la presse Gräbener GK 360T

Nous rappelons que ce chariot arrière est composé principalement de huit (08) pièces à savoir :

- Une roue dentée (1) ;
- Une crémaillère (2) ;
- Un bras (3) ;
- Un corps (4) ;
- Un axe (5) ;
- Deux bagues (6) ;
- Un arbre (7) ;
- Quatre coussinets (8).

IV.3.1. La roue dentée (1)

La roue dentée (1) est un engrenage cylindrique à denture droite dont les principales caractéristiques dimensionnelles sont résumées dans le tableau IV.1.

Tableau IV. 1: Les principales caractéristiques dimensionnelles de la roue dentée (1).

Nombre de dents Z	16
Module m	4
Diamètre primitif d (mm)	120
Diamètre de tête d_a (mm)	128
Diamètre de pied d_f (mm)	110
Pas primitif p (mm)	12,56
Largeur de denture b (mm)	32
Hauteur de denture h (mm)	9
Hauteur de saillie h_a (mm)	4
Hauteur de creux h_f (mm)	5

Angle de pression α (°)	20
Diamètre du trou interne (mm)	38

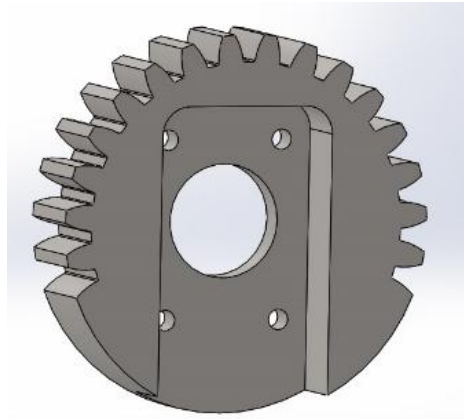


Figure IV. 1: Représentation de la roue dentée (1) conçue.

IV.3. 2. La crémaillere (2)

La crémaillere (2) se présente sous la forme d'un arbre cylindrique sur lequel est taillée une denture droite similaire à celle de la roue (1). Le tableau IV.2 regroupe l'essentiel des dimensions de cette crémaillere.

Tableau IV. 2: Les dimensions essentielles de la crémaillere (2).

Nombre de dents Z	15
Module m	4
Diamètre du cylindre d_c (mm)	40
Pas primitif p (mm)	12,56
Hauteur de denture h (mm)	9
Hauteur de saillie h_a (mm)	4
Hauteur de creux h_f (mm)	5
Angle de pression α (°)	20
Longueur totale L (mm)	250

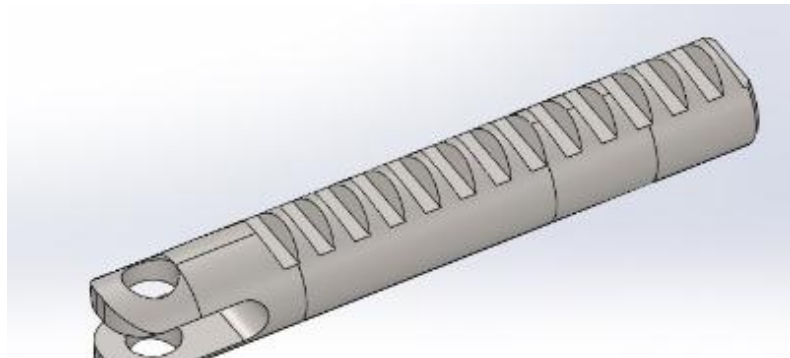


Figure IV. 2: La cremaillere (2) conçue

IV.3.3. Le bras (3)

Tableau IV. 3: Les dimensions essentielles du bras (3).

longueur (mm)	294
largeur (mm)	60
épaisseur (mm)	23
Diamètre du trou interne (mm)	38

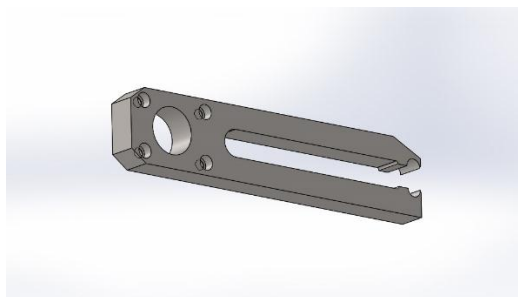


Figure IV. 3: Le bras (3) conçu.

IV.3.4. Le corps (4)

Tableau IV. 4: Les dimensions essentielles du corps (4).

Longueur (mm)	240
Largeur (mm)	160
épaisseur (mm)	80
Diamètre des trous d'emmanchement de la crémaillère (mm)	40
Longueur de rectangle interne (mm)	80

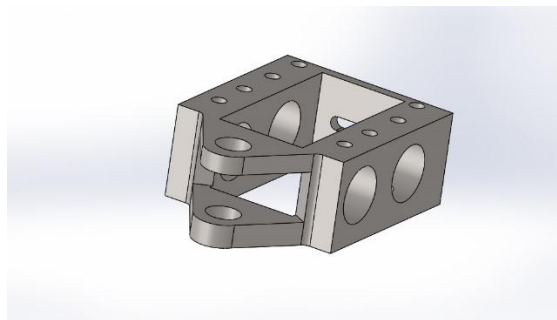


Figure IV. 4: Le corps (4) conçu.

IV.3. 5. L'axe (5)

Tableau IV. 5: Les dimensions essentielles de l'axe (5).

Longueur (mm)	95
Diamètre (mm)	44

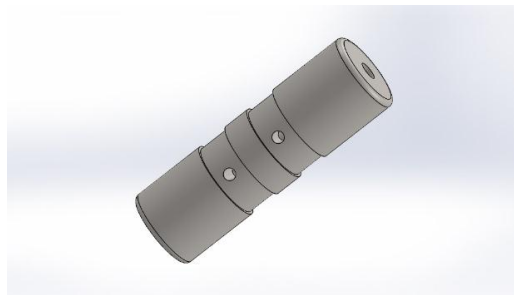


Figure IV. 5: L'axe (5) conçu.

IV.3.6. La bague (6)

Tableau IV. 6: Les dimensions essentielles de la bague (6).

Longueur (mm)	23
Diamètre externe (mm)	38
Diamètre interne (mm)	30
Diamètre d'épaulement (mm)	44
Epaulement (mm)	6



Figure IV. 5: La bague (6) conçue.

IV.3.7. L'arbre (7)

Tableau IV. 7: Les dimensions essentielles de l'arbre (7).

Longueur (mm)	250
Diamètre (mm)	40

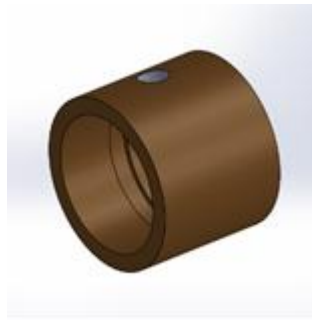


Figure IV. 7: L'arbre (7) conçue.

IV.3.8. Le coussinet (8)

Tableau IV. 8: Les dimensions essentielles du coussinet (8).

Longueur(mm)	40
Diamètre externe(mm)	50
Diamètre interne(mm)	40



Figure IV. 6: Le coussinet (8) conçu

Il est à noter que les matériaux de construction des pièces constitutives du chariot arrière sont récapitulés dans le tableau IV.9.

Tableau IV. 9: Les matériaux de construction des différentes pièces constitutives du chariot arrière.

Repère	Désignation	Matériau
1	Roue dentée	Acier non allié CK45 N (C45)
2	Crémaillère	Acier non allié CK45 N (C45)

3	Bras	Acier non allié CK45 N (C45)
4	Corps	Acier non allié CK45 N (C45)
5	Axe	Acier non allié CK45 N (C45)
6	Bague	Bronze Cu Sn 12
7	Arbre	Acier non allié CK45 N (C45)
8	Coussinet	Bronze Cu Sn 12

IV.4. L'Assemblage

Les assemblages sont obtenus par la juxtaposition de pièces. La mise en position de pièces est définie par un ensemble des contraintes d'assemblage associant, deux entités respectives par une relation géométrique (coïncidence, tangence, ...). Dans une certaine mesure, ces associations de contraintes s'apparentent aux liaisons mécaniques entre les pièces. Le mécanisme monté, s'il possède encore des mobilités, peut être manipulé virtuellement. On peut alors aisément procéder à des réglages à l'aide des différents outils disponibles (Déplacement composants, détection de collision ou d'interférence, mesure des jeux, etc.).

Les étapes de l'assemblage sont, généralement, comme suit :

- ❖ Sélectionner les deux composantes à insérer, puis en placer le dans la zone graphique ;
- ❖ Déplacer et faire pivoter des composants dans un assemblage ;
- ❖ Définir les contraintes pour positionner et orienter les composants et pour créer des relations entre les composants.

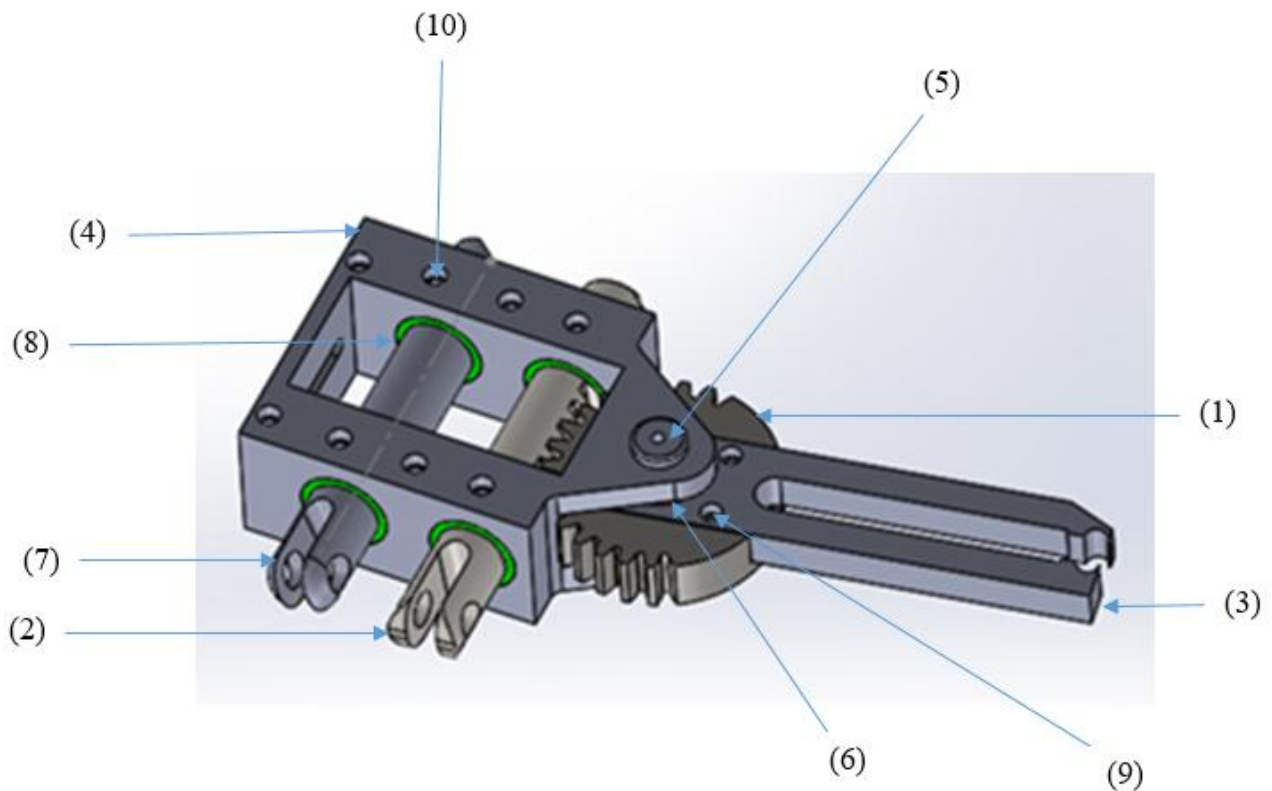


Figure IV. 9: Représentation 3D du chariot arrière assemblé.

IV.5. Simulation du comportement mécanique du couple d'engrenages roue dentée-crémaillère

IV.5.1. Définition

Les outils d'aide à la conception et à l'étude dans le domaine de la mécanique sont destinés à simuler le comportement statique, cinématique ou dynamique des mécanismes.

La simulation est une méthode de mesure et d'étude consistant à remplacer un phénomène, un système par un modèle plus simple mais ayant un comportement analogue. Le système ou phénomène analysé peut être schématisé sous forme d'un modèle mécanique, électronique ou logico-mathématique. Nous nous intéresserons ici uniquement à la représentation du système sous la forme d'un modèle mécanique.

L'objectif d'un modèle de simulation peut être simplement descriptif (étudier le comportement d'un système sous différentes hypothèses d'évolution de l'environnement) ou normatif (décisionnel) en simulant plusieurs décisions envisagées par le choix de la meilleure ou la moins mauvaise.

SolidWorks est un système de CAO paramétrique robuste reposant sur des fonctions. Contrairement aux nombreux autres systèmes de CAO initialement développés dans un environnement UNIX puis compatible ultérieurement avec Windows, SolidWorks a, depuis le début, été conçu spécifiquement pour Windows. Il en est de même pour SolidWorks simulation. Une intégration totale entre SolidWorks et SolidWorks Simulation est possible dans la mesure où les deux programmes sont des applications Windows natives.

SolidWorks simulation est un outil d'analyse de conceptions qui repose sur une technique numérique appelé l'analyse par éléments finis (Finite Element Analysis (FEA)). Il permet d'analyser le comportement structurel, statique et/ou dynamique, des modèles de pièces et/ou d'assemblages. Il porte essentiellement sur les connaissances et les concepts les plus importants à acquérir pour optimiser l'utilisation que vous ferez de SolidWorks simulation.

L'analyse par SolidWorks Simulation utilise un outil d'analyse mécanique puissant c'est la méthode numérique l'analyse par éléments finis (FEA) est une technique numérique qui permet de résoudre des problèmes de terrain décrits par un jeu d'équations différentielles partielles.

En génie mécanique, l'analyse par éléments finis est largement utilisée pour résoudre des problèmes de structure. Le processus de discrétisation, que l'on appelle plus volontiers le maillage, fractionne la géométrie en entités relativement petites et comportant des formes simples, désignées sous le nom d'éléments finis. Les éléments sont appelés finis pour indiquer qu'ils ne sont pas infiniment petits mais raisonnablement petits par rapport à la taille globale du modèle.

IV.5.2. Processus de simulation par la FEA

Le processus de simulation du comportement mécanique d'un modèle comprend toujours les mêmes étapes de base, quel que soit le type d'analyse et/ou de modèle. Les étapes clés de l'analyse d'un modèle sont comme suit :

- ❖ Créer une étude : chaque analyse d'un modèle correspond à une étude. Nous pouvons avoir plusieurs études pour un même modelé ;
- ❖ Application du matériau : nous appliquons au modèle un matériau contenant les caractéristiques mécaniques (la limite élastique par exemple) ;
- ❖ Appliquer les conditions aux limites imposées : Les conditions aux limites, dans le contexte de l'étude de simulation dans SolidWorks, font référence aux paramètres spécifiés qui définissent les conditions initiales et les contraintes appliquées à un système mécanique ou à une pièce

dans un assemblage. Ces conditions sont utilisées pour simuler et analyser le comportement du mouvement dans un environnement virtuel.

Dans SolidWorks, les conditions aux limites sont généralement appliquées à l'aide de contraintes et de conditions de mouvement. Voici quelques exemples courants de conditions aux limites utilisées dans SolidWorks :

- Contraintes de liaison : Ces conditions spécifient les restrictions de mouvement entre les composants d'un assemblage. Par exemple, une liaison fixe peut empêcher un composant de se déplacer ou de pivoter par rapport à un autre composant ;
- Forces et moments appliqués : Ces conditions permettent de spécifier des forces externes ou des moments appliqués à des pièces ou à des assemblages. Par exemple, une force peut être appliquée à une pièce pour simuler l'effet d'une charge externe ;
- Conditions de contact : Ces conditions définissent les interactions entre les surfaces en contact dans un assemblage. Par exemple, des conditions de contact peuvent être utilisées pour simuler le frottement entre deux pièces ;
- Conditions initiales : Ces conditions décrivent l'état initial d'un système avant le début du mouvement. Par exemple, les positions, les vitesses et les accélérations initiales peuvent être spécifiées pour les différentes parties de l'assemblage.

En spécifiant correctement les conditions aux limites dans SolidWorks, il est possible de simuler et d'analyser le mouvement des pièces dans un assemblage, de comprendre les interactions entre les composants et d'évaluer les performances et les contraintes subies par le système mécanique.

- ❖ Mailler le modèle : Le modèle est discrétisé en élément fini. Le maillage de modèle dépend du type de géométrie maillée, du type d'analyse à effectuer. SolidWorks simulation propose des éléments volumiques tétraédriques pour mailler la géométrie des solides et les éléments coques, triangulaires pour mailler celle des surfaces ;
- ❖ Exécuter le calcul : il revient à résoudre un système d'équations algébriques afin de déterminer les champs de déplacements, de contraintes et/ou de déformations.

IV.5.3. Calcul du chargement

Etant donné que fonctionnement du chariot arrière est caractérisé par deux phases, le chargement appliqué sur le couple roue (1) et crémaillère (2) est de type force « F » durant la première phase et de type moment (couple) « M » pour la seconde phase.

A. Calcul de la force F

Afin de calculer la force qu'applique la première came sur la crémaillère (2), nous adoptons les suivantes données :

- La puissance du moteur électrique $P_m = 11 \text{ kW}$;
- La fréquence de rotation du moteur électrique $N_m = 1450 \text{ tr/min}$;
- Le rendement de la transmission vers la première came $\eta_c = 0,75$;
- Le rayon minimal de la première came $R_c = 44 \text{ mm}$;
- Rapport de transmission roues dentées-chaîne $i = \frac{3}{5}$;
- Le coefficient de frottement came- crémaillère $\mu_c = 0,1$;

Etant donné que la force F est une force axiale pour la crémaillère, elle est normale par rapport à la came. Le calcul de cette force nécessite utilisation de différentes expressions ou formules qui sont :

- La puissance de la came $P_c = P_m * \eta_c$;
- La Fréquence de rotation de la came $N_c = N_m * i$;
- La vitesse de rotation de la came $\omega_c = \frac{\pi * N_c}{30}$;
- Le couple de la came $M_c = \frac{P_c}{\omega_c}$;
- La force tangentielle entre la came et la crémaillère $T_c = \frac{M_c}{R_c}$;
- La force normale $N = \frac{T_c}{\mu_c}$;

Enfin, puisque l'application de la force normale N n'est pas directe mais moyennant un axe intermédiaire, la force F sera la subdivision de la force N par 2 $\Rightarrow F = \frac{N}{2}$.

Les résultats des différents calculs sont comme suit :

$$P_c = 11 * 10^3 * 0,75 = 8250 \text{ W} ;$$

$$N_c = 1450 * \frac{3}{5} = 870 \text{ tr/min} ;$$

$$\omega_c = \frac{\pi * 870}{30} \approx 91,106 \text{ rd/s} ;$$

$$M_c = \frac{8250}{91,106} \approx 90,554 \text{ N.m} ;$$

$$T_c = \frac{90,554}{44 * 10^{-3}} \approx 2058,038 \text{ N} ;$$

$$N = \frac{2058,038}{0,1} \approx 20580,38 \text{ N} ;$$

$$F = \frac{20580,38}{2} \approx \mathbf{10290,19 \text{ N}}$$

B. Calcul du couple Cr

A ce stade, le calcul du couple (moment) qu'exerce le bras (3) sur la roue dentée (1) nécessite les suivantes données :

- La puissance du moteur électrique $P_m = 11 \text{ kW}$;
- La fréquence de rotation du moteur électrique $N_m = 1450 \text{ tr/min}$;
- Le rendement de la transmission vers le bras (3) $\eta_b = \frac{1}{3}$;
- La course de la crémaillère $\delta_c = 11 \text{ mm}$;
- La durée de la course de la crémaillère $\Delta t = 0,31 \text{ s}$;
- Le diamètre primitif de la roue dentée (1) $d = 120 \text{ mm}$;

Le calcul du couple « Cr » se fait à l'aide des relations suivantes :

- La puissance du bras (3) $P_b = P_m * \eta_b$;
- La vitesse de translation de la crémaillère $V_c = \frac{\delta_c}{\Delta t}$;
- La vitesse de rotation de la roue (1) $\omega_r = \frac{2 * V_c}{d}$;
- Le couple de la roue $Cr = \frac{P_b}{\omega_r}$;

Les résultats des différents calculs sont comme suit :

$$P_b = 11 \cdot 10^3 / 3 \approx 3666,667 \text{ W} ;$$

$$V_c = \frac{11 \cdot 10^{-3}}{0,31} \approx 35,484 \cdot 10^{-3} \text{ m/s} ;$$

$$\omega_r = \frac{2 \cdot 35,484 \cdot 10^{-3}}{120 \cdot 10^{-3}} \approx 0,6 \text{ rd/s} ;$$

$$C_r = \frac{3666,667}{0,6} \approx \mathbf{6111,11 \text{ N.m.}}$$

IV.5.4. Simulation du modèle d'étude (le couple roue dentée – crémaillère)

A. Conception du modèle

Le modèle à étudier est un couple d'engrenages composé de la roue dentée (1) et de la crémaillère (2) (voir figure IV.10).

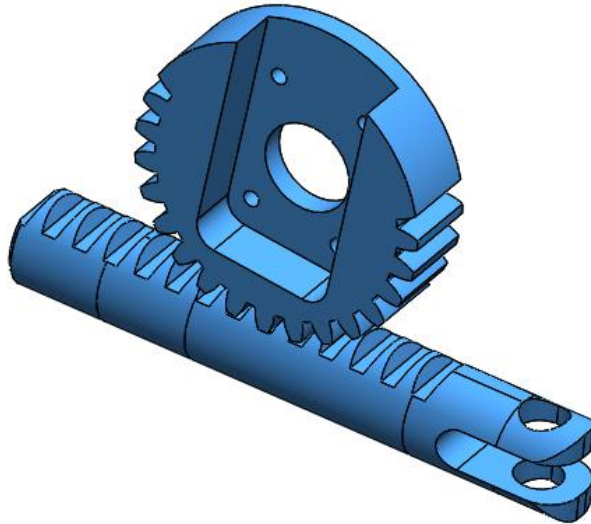


Figure IV. 10: Modèle de l'étude « roue (1) – crémaillère (2) ».

B. Application du matériau

Le matériau du couple d'engrenages est un l'acier non allié C45 (correspondant à Ck45 selon la norme allemande DIN). Le tableau IV.10 résume la composition chimique de ce matériau alors que le tableau IV.11 regroupe ses principales caractéristiques mécaniques.

Tableau IV. 10: La composition chimique de l'acier C45.

Élément	Proportion (%)
Carbone C	0,45
Soufre S	$\leq 0,035$
Manganèse Mn	0,5 – 0,8
Phosphore P	$\leq 0,035$
Silicium Si	0,4 maxi

Tableau IV. 11: Les principales caractéristiques mécaniques de l'acier C45.

Propriétés	Valeur	Unité
Module d'élasticité	210000	N/mm ²
Coefficient de Poisson	0,28	S.O.
Module de cisaillement	79000	
Masse volumique	7800	kg/m ³
Limite de traction	750	N/mm ²
Limite d'élasticité	275	N/mm ²
Coefficient de dilatation thermique	$1,1e^{-05}$	/°K
Conductivité thermique	14	W/ (m.°K)
Chaleur spécifique	440	J/ (kg.°K)
Dureté	200.	

C. Application des conditions aux limites

Durant la simulation du comportement du couple roue (1) – crémaillère (2), trois types de conditions aux limites ont été exploités à savoir :

- ❖ Une contrainte de liaison mécanique de nature pignon-crémaillère avec un diamètre nominal du pignon égale à 120 mm (voir figure IV.11) ;
- ❖ Une contrainte de contact de nature corps volumique (figure IV.12) ;
- ❖ Une contrainte de chargement caractérisée par l'application d'une force sur la crémaillère, durant une première phase, et d'un moment sur la roue dentée, en second lieu (figure IV.13).

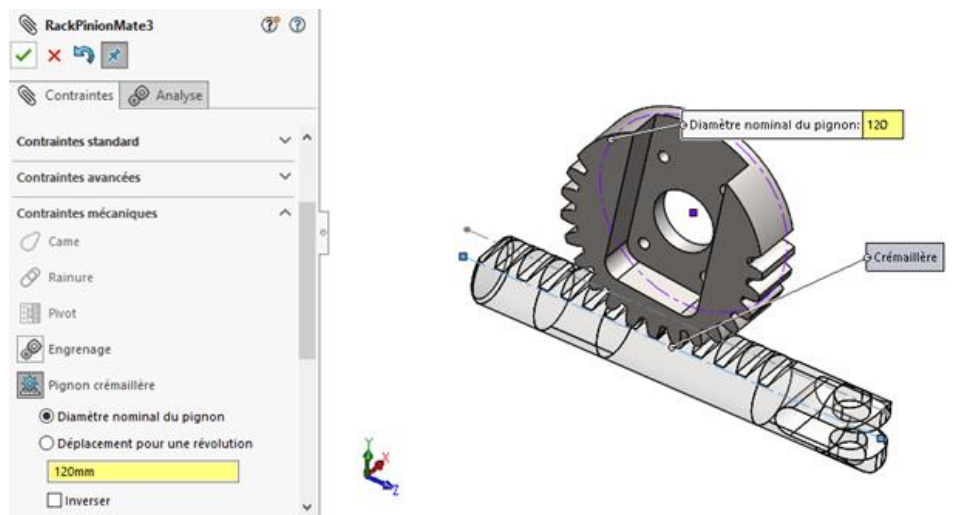


Figure IV. 7: Illustration de la contrainte de liaison mécanique.

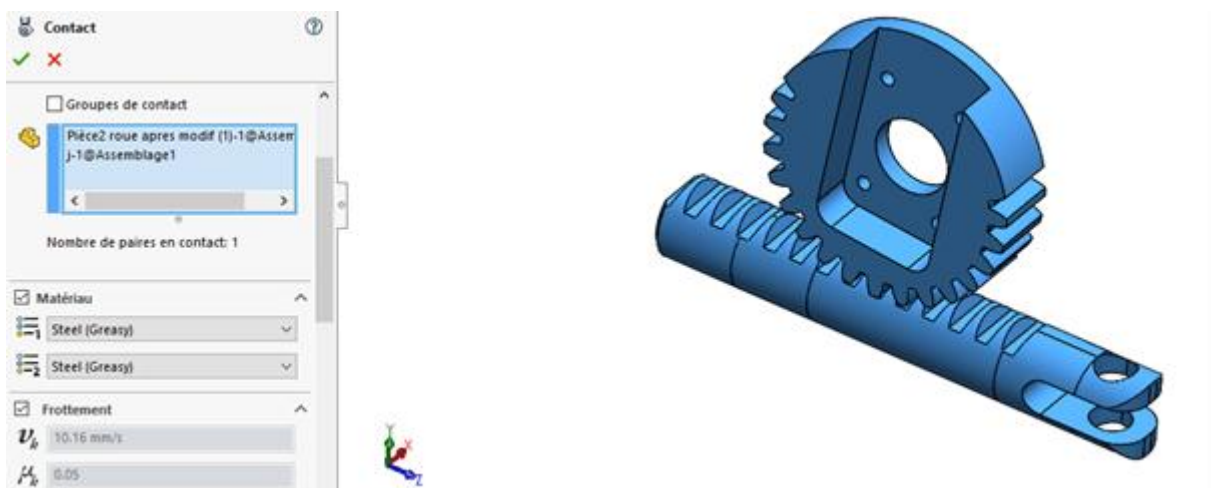


Figure IV. 8: Représentation de la contrainte de contact

Dans notre simulation, on utilise l'élément volumique tétraédrique à quatre nœuds et trois degrés de liberté (trois translations) dans chaque nœud et une densité de maillage de 1,5 (figure IV.14).

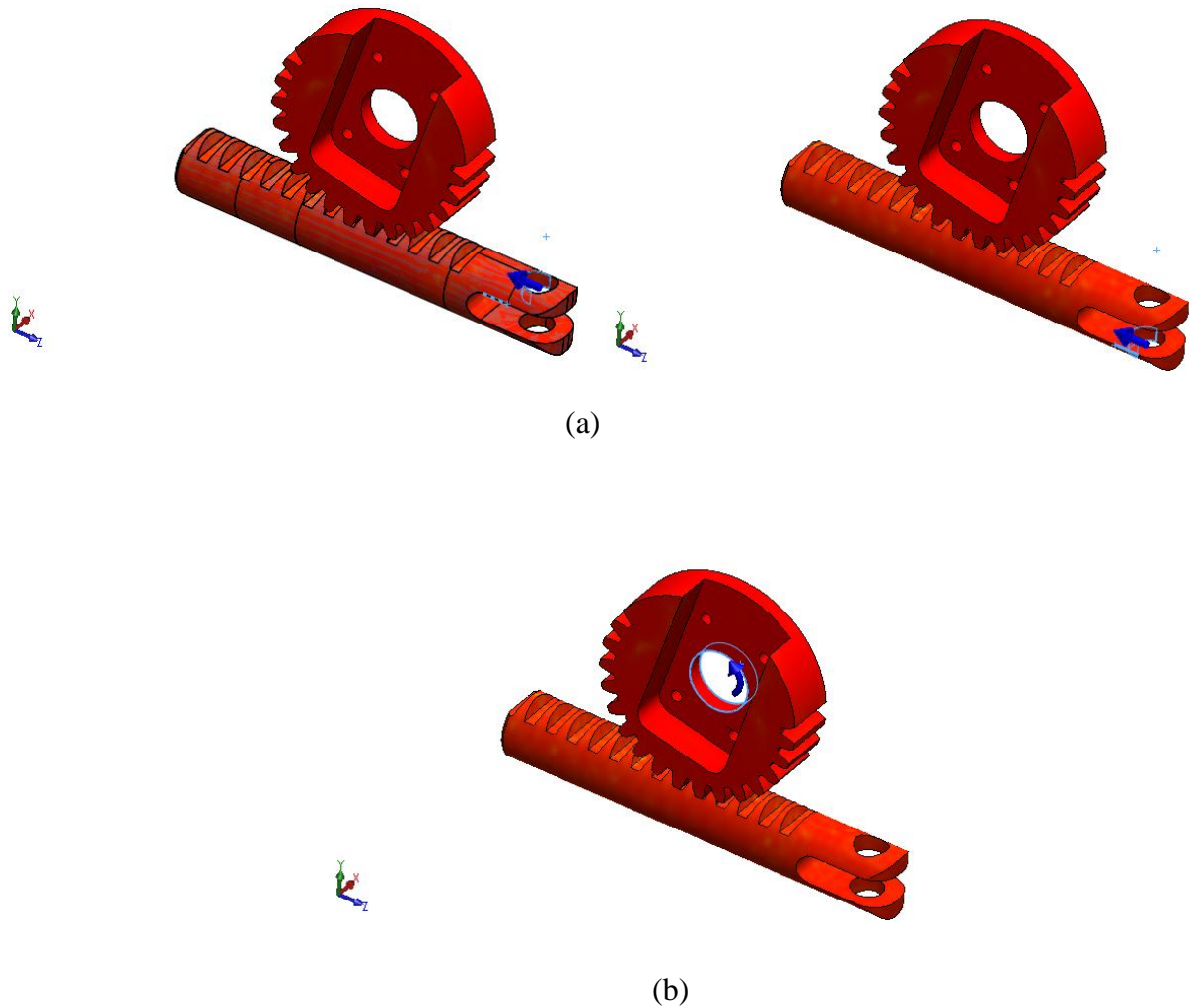


Figure IV. 13: Contrainte de chargement appliqué.

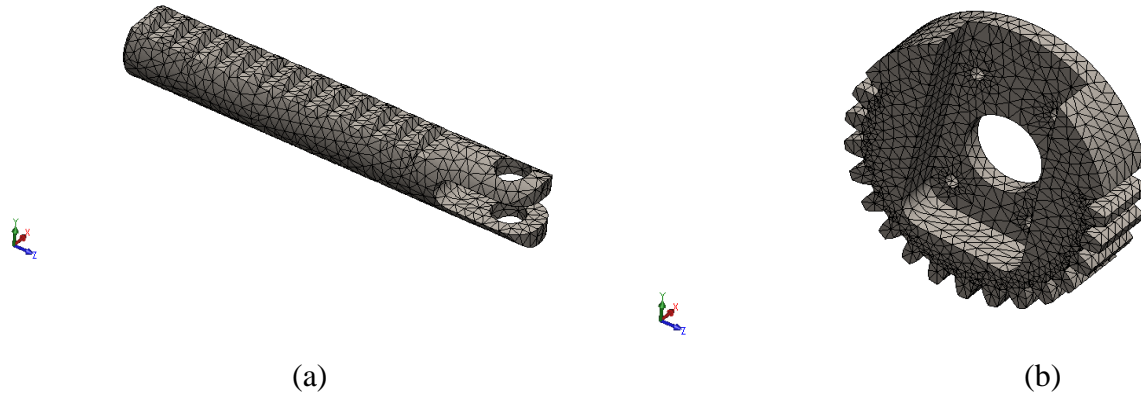


Figure IV. 14: Maillage du système d'engrenages

(a) : Force sur la crémaillère, (b) : moment appliqué sur la roue

(a) : la crémaillère (2) ; (b) : la roue dentée (1)

IV.5.5. Analyse des résultats

La simulation du comportement mécanique du couple roue dentée (1) et crémaillère (2) nous a permis de déterminer aussi bien le champs des contraintes subit par le couple suscité que la cartographie des déplacements (translations) des différents points du modèle d'étude.

IV.5.5.1 Champs de contraintes

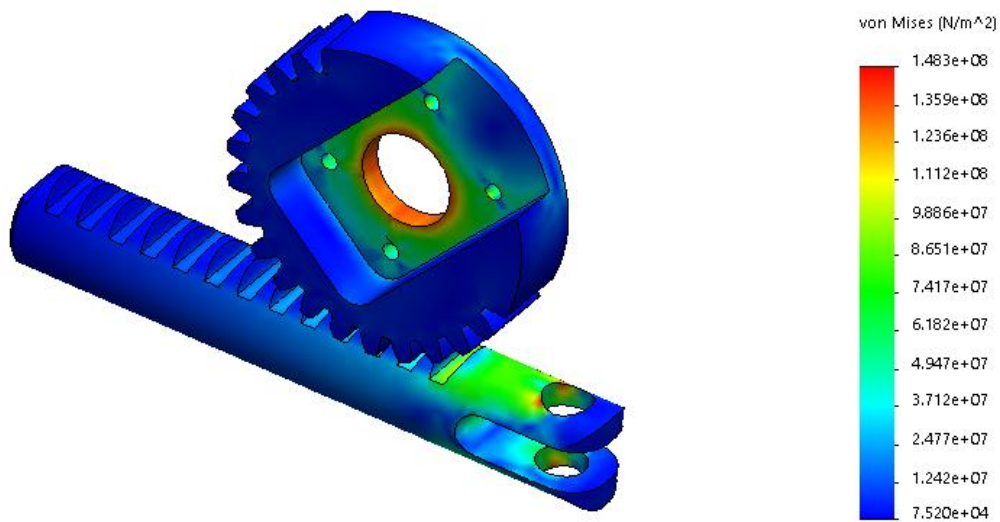
La figure IV.15 représente la répartition de la contrainte équivalente selon Von Mises sur le système mécanique roue (1)-crémaillère (2) lors de deux instant distinct t_1 et t_2 tel que l'instant t_1 correspond à celui du passage de la phase 1 vers la phase 2 ; alors que l'instant t_2 coïncide avec la fin de la seconde phase. A partir de cette répartition, nous constatons que la valeur maximale de la contrainte équivalente de Von Mises est de l'ordre de 148,3 MPa. Cette dernière se localise au niveau du trou d'emmanchement de l'axe (5) lieu d'application du couple C_r .

La résistance du couple d'engrenages roue dentée–crémaillère est assurée lorsque la valeur maximale de la contrainte appliquée sur ce couple est inférieure à une certaine valeur limite appelée contrainte

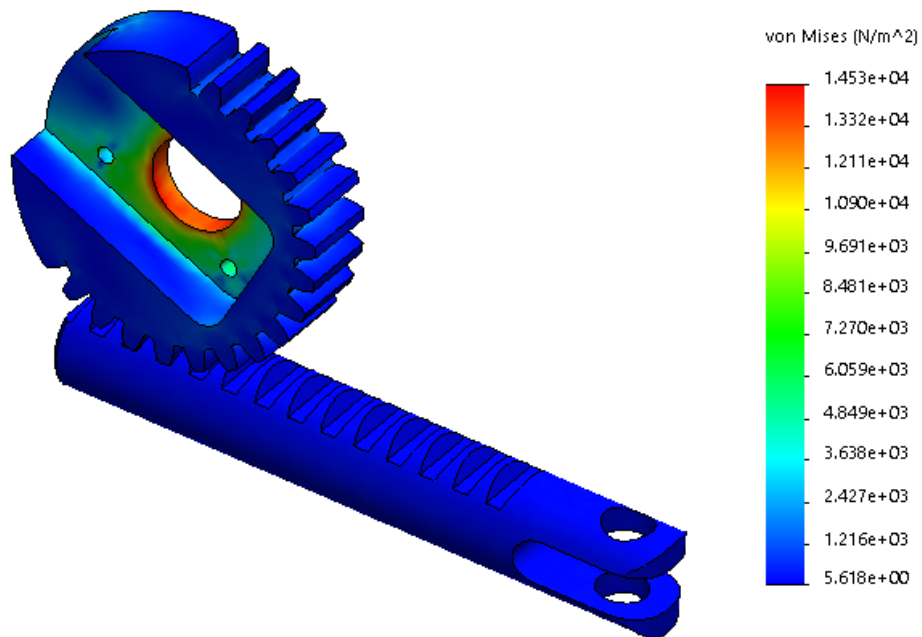
admissible σ_{ad} . La valeur de cette dernière dépend de la limite d'élastique Re du matériau des deux pièces (roue dentée et crémaillère) à savoir l'acier non allié C45 aussi bien que le coefficient de sécurité « s » adopté pour un tel domaine d'utilisation des pièces de la presse Gräbener GK 360T.

$$\sigma_{ad} = \frac{Re}{s} = \frac{275}{1,5} \approx 183,33 \text{ MPa}$$

Etant donné que $\sigma_{max} = 148,3 \text{ MPa} < \sigma_{ad} \Rightarrow$ le couple d'engrenages travaille en toute sécurité.



(a)



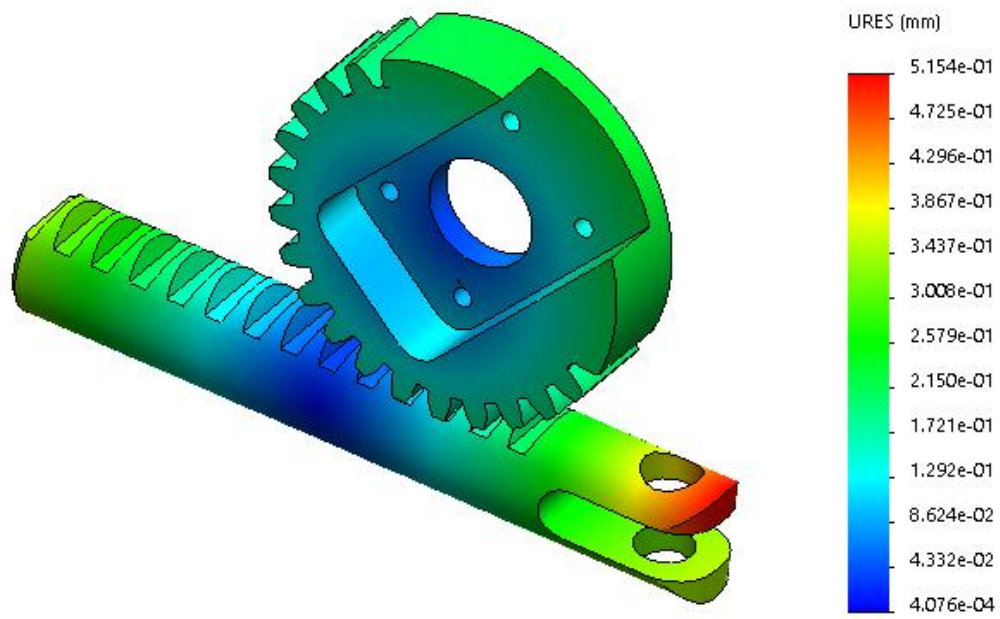
(b)

Figure IV. 15: Distribution des contraintes équivalentes de Von Mises.

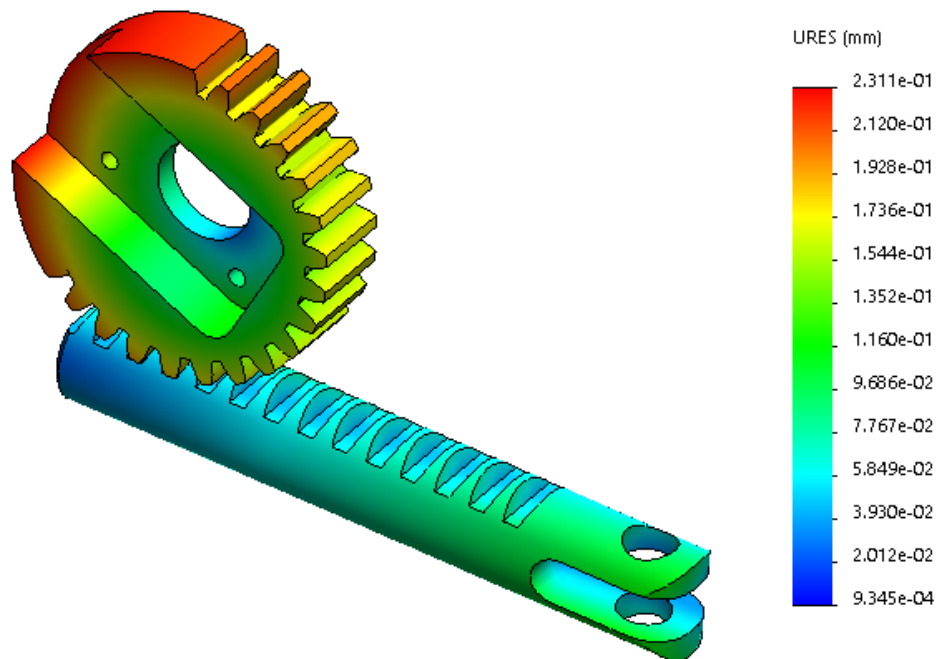
(a) à l'instant t_1 ; (b) à l'instant t_2

IV.5.5.2. Champs de déplacements

Le champ du déplacement résultant « Ures » des deux pièces (roue dentée et crémaillère) est illustré par la figure IV.16 aux instants t_1 et t_2 . De cette figure, nous remarquons que la valeur maximale, de l'ordre de 0,515 mm, se situe au niveau de l'extrémité de la crémaillère.



(a)



(b)

Figure IV. 16: Distribution du déplacement résultant Ures.

(a) à l'instant t_1 ; (b) à l'instant t_2

IV.6. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons établi une conception du chariot arrière de la presse à estamper Grabener GK 360T moyennant un logiciel de CAO à savoir SolidWorks. Cette conception a été suivie par une simulation du comportement mécanique d'un couple d'engrenages roue dentée- crémaillère, de même en utilisant le logiciel précédemment cité.

Les résultats de la simulation ont montré que les deux pièces (roue dent et crémaillère) travaillent en toute sécurité sous l'effet du chargement qu'elles subissent et que la valeur maximale de la contrainte équivalente de Von Mises se localise au niveau de l'application d'un certain couple C_r sur la roue dentée (1).

Chapitre V

Les traitements thermiques

Chapitre V

Les traitements thermiques

V.1. Introduction

Un traitement thermique est un ensemble d'opérations de chauffages et de refroidissements, destinées à modifier les propriétés et les caractéristiques d'un produit métallurgique de manière à adapter son aptitude à un emploi déterminé. Les aciers, les fontes et certains alliages d'aluminium et de cuivre sont sensibles à leurs effets.

V.2. Généralités

Les traitements thermiques se définissent comme étant l'ensemble des opérations de chauffage et de refroidissement contrôlées appliqués à des métaux et alliages. De manière générale, les traitements thermiques agissent au niveau microstructural des métaux (matrice, précipités, distribution).

Les traitements thermiques permettent de modifier les propriétés mécaniques (en les augmentant ou en les diminuant), les propriétés physiques (tels les conductibilités thermiques et électriques) et les propriétés chimiques (par exemple, la résistance en corrosion). En somme, La variation de la température en fonction du temps est appelée cycle thermique (chauffage, maintien et refroidissement).

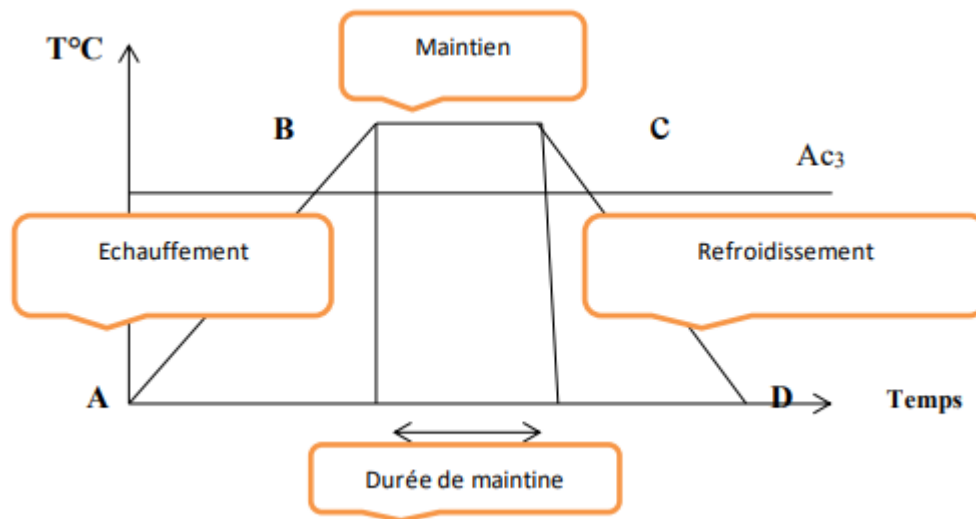


Figure V. 1: Le cycle usuel d'un traitement thermique.

- AB : L'échauffement à des températures supérieures aux températures de transformation (par exemple : Ac_3) ;
- BC : Maintient à une température définie ;
- CD : Refroidissement avec une vitesse donnée :
 - Lente (dans le four, à l'air) ;
 - Assez rapide (dans l'huile) ;
 - Très rapide (dans l'eau).

V.3. Principaux types de traitement thermique

Les traitements thermiques peuvent être classés principalement en trois types :

- Les traitements d'homogénéisation, généralement ils sont appliqués sur les produits coulés avant leurs transformations ou également sur les produits déjà corroyé ;
- Les traitements d'adoucissements par recuit ou restauration généralement appliqués en cours ou en fin de transformation ;
- Les traitements de trempe structurale qui comportent :
 - Une mise en solution.
 - Une trempe.
 - Une maturation ou /et un revenu produisant le durcissement.

Les modes principaux de traitement thermique qui modifient de diverses manières la structure et les propriétés d'un alliage par des opérations de chauffage jusqu'à une certaine température, de maintien à cette température, et suivies d'un refroidissement à une vitesse plus ou moins accélérée sont :

- La trempe ;
- Le revenu et le vieillissement ;
- Le recuit.

Les principaux facteurs qui permettent de distinguer entre les différents types de traitements thermiques sont la température de maintien et la vitesse de refroidissement.

V.4. Les traitements thermiques classiques des aciers

V.4.1. Les recuits

Les recuits ont pour but d'adoucir les aciers en éliminant les effets des étapes antérieures de leur fabrication (écrouissage ou trempe), ainsi que les hétérogénéités de structure imputables à leur élaboration (forgeage, laminage, soudage). Les recuits permettent en outre de retrouver les structures d'équilibre des aciers. Selon les buts visés et les modifications structurales obtenues, on distingue plusieurs types de recuits : le recuit de normalisation, le recuit complet, le recuit de coalescence, le recuit de recristallisation et le recuit de détente.

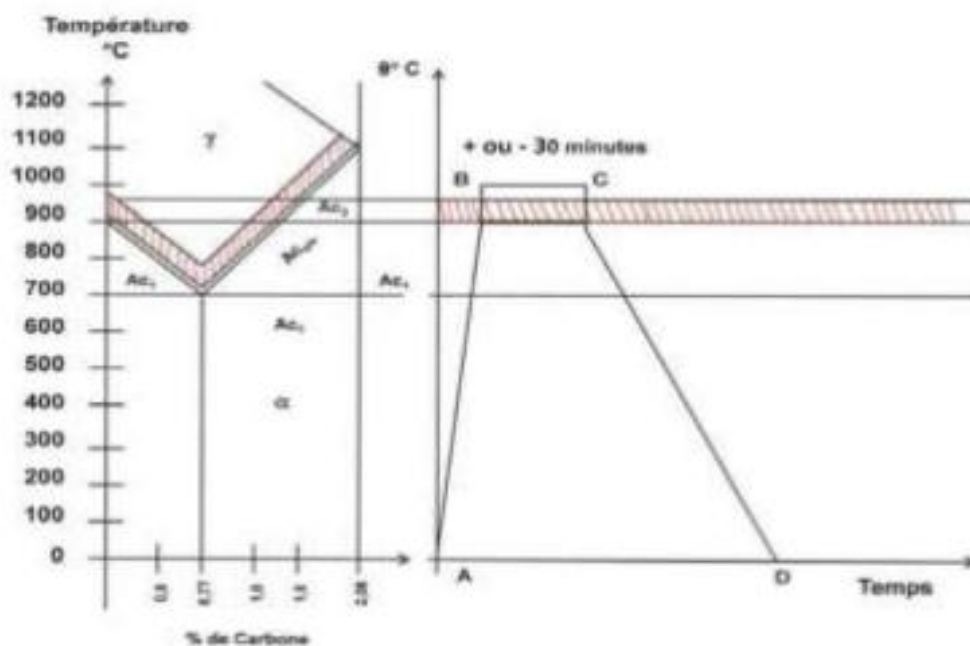


Figure V. 2: Cycle thermique d'un recuit complet.

A. Recuit de normalisation

On procède au chauffage dans le domaine austénitique (50°C au-dessus de la température d'austénitisation et au maintien pendant environ une heure. Après quoi, on laisse l'acier refroidir à l'air. La structure obtenue est un mélange de ferrite et de perlite fine. On cherche ici à obtenir une microstructure uniforme (affinement de la taille des grains) et à améliorer les propriétés de l'acier, après une déformation à chaud.

B. Recuit complet

Ce recuit est techniquement semblable à la normalisation. Toutefois, pour obtenir une perlite plus grossière et un adoucissement plus marqué des propriétés, on laisse l'acier refroidir au four.

C. Recuit de coalescence

On procède au chauffage et au maintien prolongé à une température légèrement inférieure à la température de début de transformation, $AC1$. On cherche ainsi à obtenir une perlite globularisée, afin de rendre les aciers durs plus facilement usinables. La structure obtenue est moins dure que celle d'une perlite lamellaire.

D. Recuit de recristallisation

On procède au chauffage dans le domaine Ferritique (entre 500 et 700°C) et on contrôle le refroidissement. On applique ce traitement aux produits déformés à froid (tôles minces laminées à froid, par exemple) pour faire disparaître les structures d'écrouissage et faciliter ainsi une mise en forme ultérieure (emboutissage, pliage, etc.).

E. Recuit de détente

On procède au chauffage dans le domaine Ferritique (entre 500 et 650°C) et on veille à ce que le refroidissement soit lent. Ce traitement permet de réduire, voire d'éliminer, les contraintes internes engendrées au cours de la fabrication (assemblages soudés, pièces moulées et forgées, etc.).



Figure V. 3: Structure d'un acier AISI H11 à l'état recuit.

V.4.2. Les trempe

Après chauffage et maintien, les pièces sont soumises à un refroidissement selon le mode approprié, dont la vitesse est réglée par le milieu de trempe utilisé, refroidissement qui peut se faire en air calme, air soufflé, dans l'huile, en bains de sels, ... etc. et suivant les alliages des pièces et les caractéristiques recherchées. Pour obtenir une trempe efficace, on est amené à chauffer le métal à une température assez élevée qui avoisine le domaine austénitique.

A. Trempe martensitique

La trempe martensitique consiste à amener rapidement le métal à une température inférieure à la valeur critique « Ms », généralement inférieure ou égale de 20°C. Le refroidissement rapide de l'austénite provoque un blocage des atomes de carbone insérés dans le réseau gamma. Ce réseau devient quadratique centré instantanément. Cette nouvelle structure (solution solide d'insertion) se nomme martensite. Afin de pouvoir obtenir une structure martensitique, il faut que la vitesse de refroidissement soit supérieure à la vitesse critique de trempe martensitique. Il est évident que cette condition n'est pas réalisée en tous les points d'une pièce. En effet, la loi de refroidissement en un point d'une pièce dépend de la conductivité thermique du métal, de la forme et des dimensions de la pièce, ainsi que du pouvoir de refroidissement du fluide de trempe qui dépend de l'agitation du fluide.

B. Trempe bainitique

Pour obtenir la bainite par trempe, l'acier austénitique est refroidi à une température choisie, à vitesse suffisante pour éviter la transformation en ferrite ou perlite. On maintient à cette température (240°C à 450°C) pour obtenir une transformation totale et l'on refroidit ensuite à la température ambiante. La température choisie pour la trempe bainitique dépend de la microstructure désirée (et la dureté recherchée) et de la vitesse de transformation de l'acier. Les propriétés de la bainite confèrent certaines qualités aux aciers, malgré les inconvénients signalés, en particulier, une meilleure ductilité (pour les fortes teneurs en carbone) que pour la trempe martensitique, et de meilleures propriétés de

fluage, (aux températures de 400°C à 500°C) que la martensite revenue. Dans les deux cas, les structures obtenues (martensite ou bainite) présentent une dureté élevée.

C. Trempe austénitique (ou hypertrempe)

Les aciers austénitiques dont la structure ne change pas, aussi bien par chauffage que par refroidissement, ne prennent pas la trempe. Le procédé d'hypertrempe permet d'adoucir ces aciers et consiste à chauffer les pièces vers 1100°C. Le refroidissement doit être rapide pour éviter la précipitation des carbures entre 600°C et 800°C. Il est généralement effectué à l'eau. L'huile est utilisée comme fluide de trempe pour les aciers à forte teneur en nickel. Cette technique est appliquée plus particulièrement au traitement des aciers inoxydables et des aciers ferromanganèse, pour permettre d'effectuer un usinage ultérieur ou maintenir, voir remettre en solution dans l'austénite, les carbures dont la précipitation dans les espaces inter-grains favoriserait la corrosion cristalline.

Les trois types de trempe peuvent être exécutés dans à peu près tous les milieux de chauffage possible (four sous atmosphère contrôlée, four sous vide, bain de sel, etc.). En somme, le choix de la technologie de chauffe est établi en fonction de la nature de la pièce, sa grosseur, sa conductibilité, etc. la figure V.4 représente un graphique illustrant de manière générale le cycle d'un traitement par trempe. Précisons ici qu'un traitement de trempe est toujours suivi d'un ou de plusieurs traitements de revenu afin d'enlever la fragilité du matériel, d'éliminer les contraintes et d'ajuster la dureté finale.

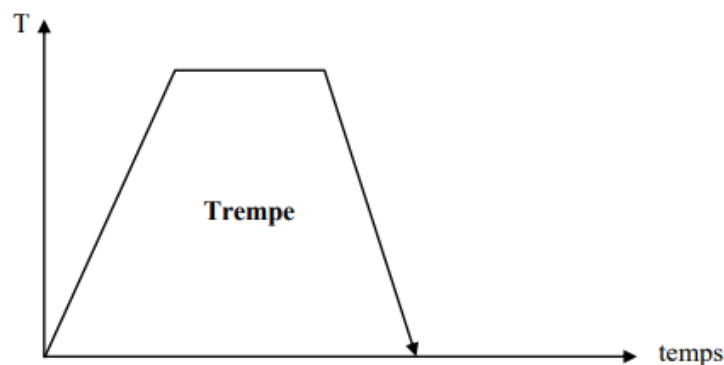


Figure V. 4: Cycle thermique lors d'une trempe.

V.4.3. Les revenus

Le revenu est une opération finale du traitement thermique qui a pour but de corriger les défauts causés par la trempe. Il consiste à chauffer le métal trempé à une température inférieure à AC1, à le maintenir à cette température et enfin à le refroidir jusqu'à la température ambiante. Le revenu provoque une évolution de la structure du matériau vers un état plus proche de l'état physicochimique d'équilibre, sans toutefois l'atteindre. Il permet d'avoir un compromis satisfaisant entre les propriétés de résistance (R_m , R_e , H) et de plasticité (A , Z et K). La vitesse de refroidissement après revenu a une

influence très faible sur l'état des contraintes résiduelles. Néanmoins plus le refroidissement est lent, plus les contraintes résiduelles sont faibles.

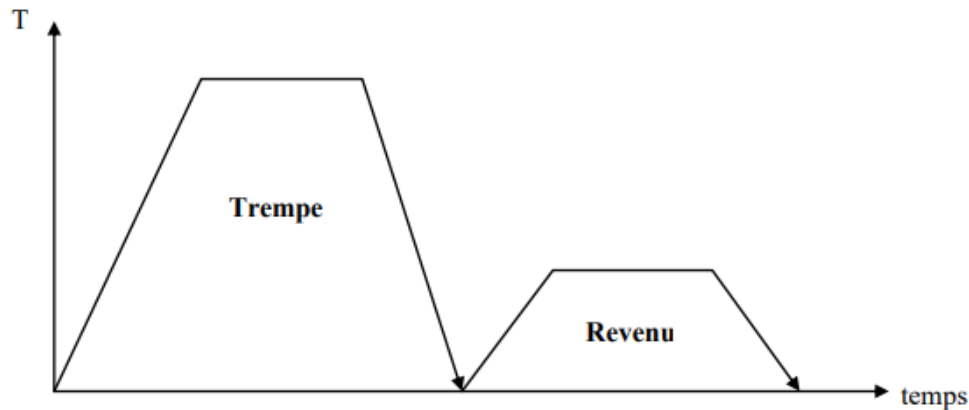


Figure V. 5: Cycle thermique complet d'une trempe et revenu.

A. Revenu de relaxation ou de détente

Il s'effectue entre 180°C et 220°C. Il ne provoque aucune modification de structure mais une relaxation des contraintes multiples dues au refroidissement brusque de la trempe et au changement de structure austénite \Rightarrow martensite. Il provoque une légère diminution de la dureté et une légère remontée de la résilience. Il est fait sur des pièces soumises à des fortes sollicitations sans choc ou devant conserver une forte dureté superficielle.

B. Revenu de structure ou classique

Dans ce cas, le revenu s'effectue entre 500°C et AC1. On observe une augmentation des caractéristiques K, A et Z et une diminution plus importante de H, Rm et Re. Ce type de revenu permet d'établir un compromis entre les caractéristiques mécaniques suivant l'emploi des aciers.

C. Revenu de durcissement

Des revenus effectués entre 450 et 600°C sur des aciers alliés peuvent provoquer des durcissements appelés durcissements secondaires (cas des aciers à outils au chrome ou des aciers rapides). Il y a d'abord précipitation des carbures complexes maintenu en solution dans un reste d'austénite résiduelle puis une déstabilisation de cette dernière qui se transforme en martensite au moment du refroidissement. Ces deux transformations successives vont donc nécessiter un second revenu pour éviter que la martensite secondaire ne provoque pas fragilité excessive (pour certains aciers rapides, trois revenus successifs peuvent être nécessaires).

D. Revenu à basse température

Il s'effectue avec un chauffage vers 250°C et permet de diminuer les contraintes internes. Il transforme la martensite de trempe en martensite de revenu. Ce revenu augmente la résistance et améliore la ductilité sans altérer sensiblement la dureté (58 à 63 HRC), d'où une bonne tenue à l'usure. Il s'applique aux outils de coupe et aux instruments de mesure en acier au carbone et faiblement alliés. La durée de ce revenu varie de 1 à 3 heures.

E. Revenu à température intermédiaire

Il se réalise entre 350 et 500°C et s'emploie pour les ressorts. Il permet d'obtenir une limite élastique et une résistance à la fatigue élevées. La structure est de type troostite de revenu ou troostite-martensite dont les duretés varient de 40 à 50 HRC. Le refroidissement après revenu à 400 ou 450°C se fait à l'eau, ce qui contribue à la formation en surface de contraintes de compression résiduelles qui élèvent la limite de fatigue des ressorts.

F. Revenu à haute température

Il se fait entre 500 et 680°C. Il donne à l'acier la structure sorbite de revenu. Ce type de revenu crée un meilleur rapport entre la résistance et la ductilité de l'acier. La trempe suivie de revenu à haute température (ce traitement double est appelé amélioration) améliore par rapport à l'état normalisé ou recuit les limites de rupture et d'élasticité, la striction et surtout la résilience. L'amélioration est appliquée surtout aux aciers de construction à moyen carbone (0,3 à 0,5%).

V.5. Traitements de surface

Les traitements thermiques dans la masse améliorent les propriétés mécaniques des aciers, mais ils s'accompagnent d'une diminution de leur ténacité. Or, pour de nombreuses utilisations, ce sont surtout les propriétés des surfaces qui sont importantes (dureté superficielle et résistance à l'usure, par exemple). Dans ces cas, il est donc préférable de ne traiter que la surface de la pièce, afin que son cœur, de résistance moyenne, conserve une bonne ténacité. Les pièces pour lesquelles on effectue de tels traitements sont aussi nombreuses que variées : arbres de torsion, dents d'engrenages et de pignons, arbres à came, surfaces de glissement, etc. Pour effectuer les traitements de surface, puisqu'il n'est plus nécessaire que l'acier ait une forte trempabilité, on utilise en général des aciers au carbone ordinaires, ou des aciers peu chargés en éléments d'addition et qui sont sujets à une faible pénétration de trempe. Les surfaces traitées, à cause des transformations qui accompagnent le traitement, sont le siège d'importantes contraintes de compression résiduelles. Cet état de contrainte exerce un effet bénéfique sur la résistance à la fatigue et sur l'endurance des pièces ainsi traitées, puisque les

microfissures auront plus de difficulté à se former dans les zones superficielles mises en compression. On distingue deux types de traitements de surface :

- ❖ Les traitements thermochimiques, qui modifient la composition de la surface. Dans ce cas, la pièce traitée est hétérogène, car, entre le cœur et la surface, s'établit des gradients de structure et de propriétés ;
- ❖ Les trempes superficielles appliquées uniquement à la surface des pièces.

V.5.1. La trempe superficielle des aciers

V.5.1.1. Principe et but

La trempe superficielle consiste à chauffer localement la surface d'une pièce en acier jusqu'à la température d'austénitisation puis la refroidir en suivant une vitesse suffisante pour obtenir un constituant de trempe. Le refroidissement s'effectue le plus souvent par un jet d'eau sous pression afin d'obtenir une dureté élevée en surface jointe à une ténacité et une ductilité importantes à cœur.

Un moyen de chauffage à haute température permet de porter la région proche de la surface (1 à 20mm) à la température d'austénitisation. Un refroidissement rapide permet de transformer par trempe cette région en martensite de dureté élevée en relation avec la teneur en carbone de l'alliage.

Cette trempe est éventuellement suivie d'un revenu. Le gradient de dureté obtenu est décroissant à partir de la surface.

V.5.1.2. procédés de chauffage lors de la trempe superficielle

A. Chauffage à la flamme

Un chalumeau oxy-gaz (oxy-acétylénique, oxy-propane, oxy-méthane ...) permet de porter la surface à une température élevée diffusant la chaleur jusqu'à la profondeur recherchée. Les profondeurs élevées requièrent une régulation du gradient de chauffage pour éviter la surchauffe superficielle. Le chauffage s'effectue de proche en proche ou par chauffage généralisé (single-shot).

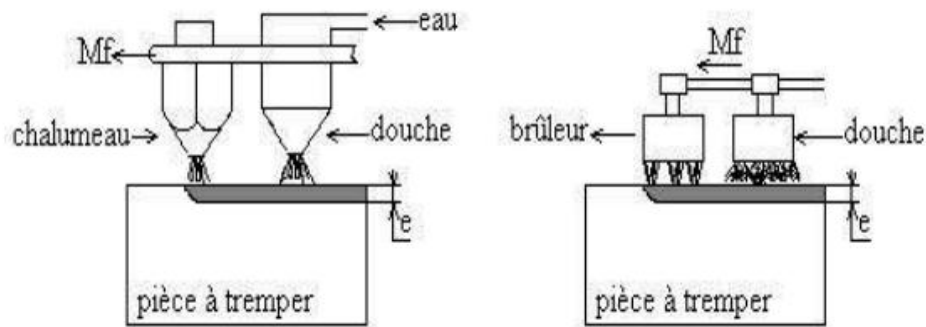


Figure V. 6: Chauffage par flamme.

B. Chauffage par induction

Un inducteur traversé par un courant haute fréquence entourant la zone à chauffer ou placé à proximité de celle-ci, développe des courants induits et par effet joule porte la surface à une température d'austénitisation. Ce procédé s'applique aux surfaces extérieures et intérieures et il convient pour une série de pièces. Cependant son installation est onéreuse (exemples d'application : vilebrequin, arbre à came, engrenages, tiges de vérin, les chemises de MCI, ...).

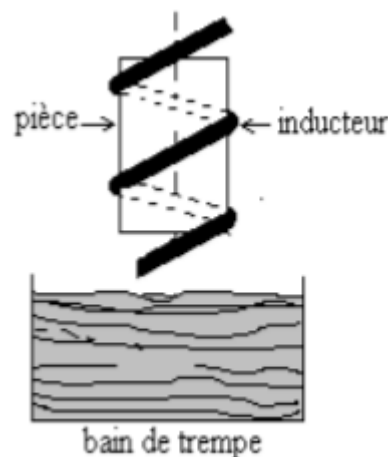


Figure V. 7: Trempe superficielle par induction.

Le choix de la fréquence est déterminé en fonction de la profondeur de chauffage recherchée. L'épaisseur des courants induits étant inversement proportionnelle à la fréquence. Il faut toutefois noter que la profondeur chauffée se fait en grande partie par diffusion mais que le choix d'une fréquence adaptée réduit le gradient de chauffage. Le chauffage s'effectue de proche en proche ou par

chauffage généralisé (single-shot). Cette technique de chauffage pour la trempe superficielle est de loin la plus utilisée.

Tableau V. 1: Les épaisseurs de chauffage en fonction de la fréquence du courant électrique.

	Haute fréquence	Moyenne fréquence	Basse fréquence
Épaisseur chauffée (mm)	0,5 à 2mm	2 à 6 mm	4 à 20 mm

Toutes les nuances d'acier ferromagnétiques peuvent être chauffées par induction, il conviendra d'apprécier leur comportement lors de la trempe. Les nuances d'aciers les plus couramment employées sont des nuances à faible ou moyenne trempabilité, avec des teneurs en carbone comprises entre 0,25 et 0,55% (centrées à 0,4 – 0,45% , non alliées ou faiblement alliées).

Tableau V. 2: Duretés obtenues après trempe superficielle au chalumeau ou par induction [10]

Aciers non alliés		Aciers alliés	
Nuance	Dureté HRC	Nuance	Dureté HRC
C35	48	46Cr2	54
C45	55	73Cr - 37CrS4	51
C50	56	41Cr4 - 41CrS4	53
C55	58	42CrMo4 - 42CrMoS4	53
		50CrMo4	58



Figure V. 8: Roue dentée trempée dent par dent.[12]

V.6. Traitements thermiques pour l'acier C45 (Ck45)

Afin de remédier au problème d'usure des dents du couple d'engrenages (roue dentée (1) et crémaillère (2)), nous nous proposons en premier d'effectuer sur les pièces une trempe superficielle de leur matériau de construction à savoir l'acier non allié C45 et ceci sur une profondeur des pièces qui avoisine 12mm. Le chauffage des deux pièces se fera moyennant un chalumeau jusqu'à une température de l'ordre 850°C alors que le refroidissement sera réalisé dans un bain d'eau.

Par la suite, un traitement de revenu sera appliqué immédiatement après la trempe superficielle. Le traitement de revenu est caractérisé par une température de chauffage de 600°C avec une durée de maintien minimale de une (01) heure. Les nouvelles propriétés mécaniques de la zone traitée thermiquement peuvent être déduites moyennant les courbes de la figure V.9.

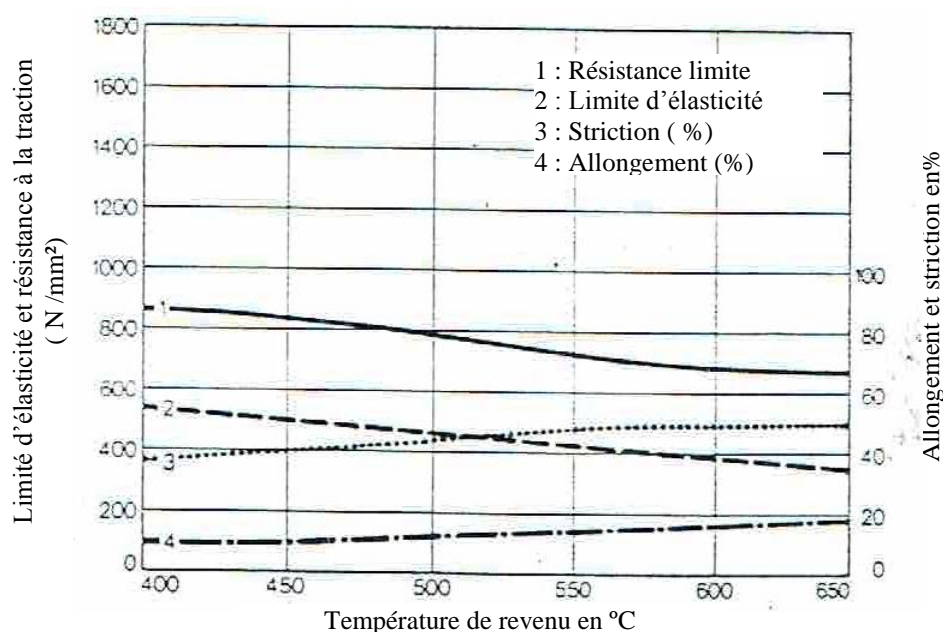


Figure V. 1: Diagramme de l'amélioration des caractéristiques mécaniques.

(trempe à 850°C pour éprouvette \varnothing 60mm)

La figure V.10 illustre la dureté de Rockwell HRC obtenue en fonction de l'épaisseur de trempe pour une température de chauffage de 820°C.

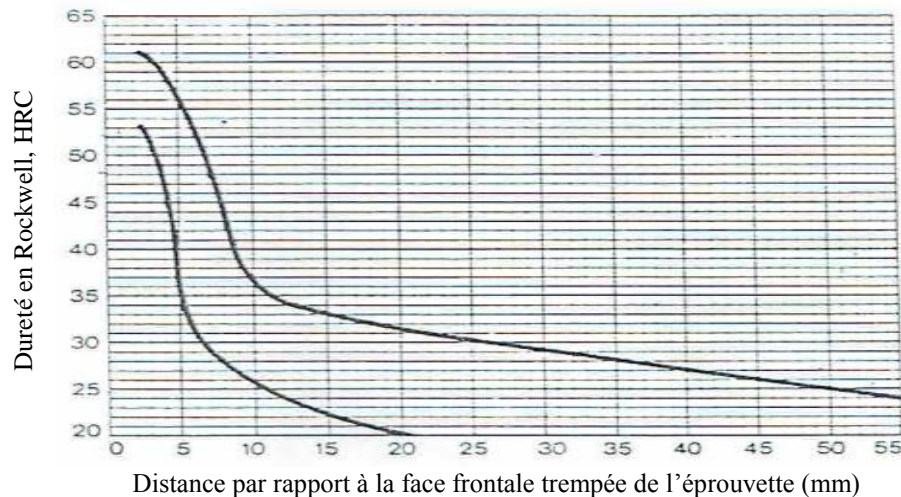


Figure V. 10: Courbes de la dureté HRC vs. Épaisseur de trempe.

V.7. Conclusion

En conclusion, le traitement thermique de l'acier comprend plusieurs types et implique plusieurs étapes pour obtenir un acier avec des propriétés appropriées. Ce processus est essentiel pour améliorer les caractéristiques mécaniques, la résistance, la dureté et d'autres propriétés de l'acier.

Les étapes clés du traitement thermique de l'acier comprennent généralement la chauffe, le maintien à une température spécifique et le refroidissement contrôlé. Les méthodes couramment utilisées comprennent la trempe, le recuit, le revenu et la trempe superficielle entre autres.

Le traitement thermique peut jouer un rôle important dans la réduction de l'usure d'un matériau. Par exemple, la trempe peut augmenter la dureté d'un matériau, ce qui le rend plus résistant à l'usure.

Il convient de noter que le choix du traitement thermique dépendra du matériau de base, de ses propriétés spécifiques et de l'application finale du matériau. Il est généralement recommandé de consulter des spécialistes des traitements thermiques pour déterminer le traitement approprié pour réduire l'usure d'un matériau spécifique.

Dans les solutions proposées pour réduire l'usure des dents des engrenages en particulier la roue dentée (1) et la crémaillère (2), subsistent la trempe superficielle ainsi que le changement du matériau des deux pièces suscitées (choisir un matériau plus dur que l'acier C45). De ce fait, notre conseil porte sur l'acier faiblement allié 42 CrMo4 caractérisé par une limite élastique $Re = 850 \text{ MPa}$ et une dureté HRC de 32,7 (HB 320). [11]

Conclusion Générale

Conclusion générale

Après avoir effectué un stage pratique au sein de l'entreprise ORFEE BCR, qui est une expérience bénéfique pour nous et qui nous a permis d'acquérir et d'élargir nos connaissances dans le domaine de la conception et la simulation des engrenages, nous avons tenu, à travers ce projet, d'étudier la conception et la simulation du comportement mécanique du chariot arrière de la machine d'estampage de type Gräbener GK 360T afin de pouvoir remédier au problème d'endommagement (usure) des denture d'un couple d'engrenages roue dentée-crémaillère.

Les résultats de notre simulation dynamique (étude du mouvement) indiquent clairement que le couple d'engrenages suscité résiste aisément au chargement à lequel il est soumis. De ce fait, la solution à la détérioration constatée au niveau des dents du couple d'engrenages paraît être une modification des caractéristiques mécaniques des deux pièces roue dentée et crémaillère et principalement au niveau du contact entre ces dernières. Cette modification peut être effectuée moyennant un traitement thermique (une trempe et revenu) localisé sur les surfaces externes du couple d'engrenages aussi bien en changeant le matériau (l'acier non allié C45) par un autre acier tel que l'acier faiblement allié 42CrMo D4.

Afin de confirmer nos propositions pour réduire le phénomène de détérioration des dentures des engrenages, une approche locale basée sur la mécanique du contact (tribologie) peut être une perspective à notre étude.

Références Bibliographiques

Références Bibliographiques

- [1] Documentation de la société
- [2] <https://www.actemium.fr/app/uploads/sites/85/2023/01/Catalogue-machines-AREF-FR-.pdf>
- [3] <https://www.emtc.lt/en/presses/knuckle-joint-presses/knuckle-joint-press-grabener-gk360/id-2191>
<https://www.emtc.lt/en/presses/knuckle-joint-presses/knuckle-joint-press-grabener-gk360/id-2191>
- [4] Document de la machine
- [5] https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwis8uzBxMrAhUiVKQEHfBdCYEQFnoECB8QAQ&url=https%3A%2F%2Fdidaquest.org%2Fwiki%2FTransmission_de_mouvement&usg=AOvVaw091pM0VEgK0-1k02E02tcB
- [6] <https://www.alloprof.qc.ca/fr/eleves/bv/sciences/les-mecanismes-de-transmission-du-mouvement-s1436#:~:text=Les%20m%C3%A9canismes%20de%20transmission%20du%20mouvement%20sont%20des%20m%C3%A9canismes%20qui,soit%20un%20ensemble%20de%20composants>
- [7] <https://braidwoodgear.com/systemes-transmission-mecanique/#:~:text=La%20transmission%20m%C3%A9canique%20du%20mouvement,y%20a%20transmission%20du%20mouvement>
- [8] <https://www.toutcalculer.com/mecanique/images/engrenage.png>
- [9] <https://conceptek.net/fr/techniques-de-base/conception/machines-et-composants/les-engrenages>
- [10] <https://www.a3ts.org/fiches-procedes/durcissement-apres-trempe-superficielle-des-aciers-et-des-fontes>
- [11] <https://www.h7g6.fr/data/article/51/traitements-surface-pour-durcissement-acier>
- [12] guide du dessinateur industriel