

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

UNIVERSITE BADJI MOKHTAR - ANNABA
BADJI MOKHTAR – ANNABA UNIVERSITY



جامعة بلجي مختار – عنابة

Faculté : Des sciences de l'ingéniorat
Département : Génie mécanique
Domaine : Sciences et technologie
Filière : Génie mécanique
Spécialité : Fabrication mécanique et Productique

Mémoire

Présenté en vue de l'obtention du Diplôme de Master

Thème :

**Proposition d'une gamme opératoire de fabrication-
montage d'un tendeur t'attelage de wagon**

Présenté par : *BOUCHELAGHEM Nassim*

Encadrant : BENAMIRA Mohamed

MC(B)

UBMA

Jury de Soutenance :

BOURENANE Rabah	Professeur	UBMA	Président
BENAMIRA Mohamed	MC(B)	UBMA	Encadrant
HAIAHEM Ammar	Professeur	UBMA	Examineur

Année Universitaire : 2019/2020

Remerciements

Je tiens à remercier dieu le tout puissant de m'avoir donné la force et la bonne volonté pour arriver à ce stade de mon cursus universitaire.

Un grand merci à mes parents pour leur contribution, leurs soutiens et leurs patiences, je tiens à exprimer ma grande reconnaissance envers mon père Pr. BOUCHELAGHEM Abdelaziz qui m'a encouragé à choisir la fabrication et la productique mécanique.

Je tiens à remercier mon Directeur de mémoire Dr. BENAMIRA Mohamed qui a bien voulu accepter de suivre mon travail, de me diriger et de me prodiguer de précieux conseils qui m'ont permis de mener à terme ce travail.

Mes remerciements vont également à tous les enseignants qui ont mis toutes leurs compétences à ma disposition, et à tout le personnel technique et administratif du Département de Génie Mécanique de l'Université Badji Mokhtar Annaba.

Mes remerciements les plus sincères au personnel de l'Entreprise Ferroviaire Annaba qui a bien voulu m'accorder du temps afin d'apporter des réponses à toutes mes questions dans le cadre de ce mémoire.

Enfin, je remercie tous ceux et celles qui ont, de près ou de loin, contribué à la réalisation de ce travail.

Dédicaces

J'ai le grand honneur de dédier ce modeste travail

à mes parents pour leurs sacrifices,

à mon frère et à ma sœur, que Dieu me les gardent,

et à toutes la famille BOUCHELAGHEM,

à tous mes ami(e)s, en particulier mes compagnons d'études, avec tous mes vœux de succès,

à tous ceux qui me sont chers et proches,

et à toute personne m'ayant encouragé ou aidé, tout au long de mon cursus universitaire.

Résumé

Ce mémoire présente une proposition de gamme opératoire pour la fabrication de la manille et de l'écrou à tourillon qui sont deux éléments constituant l'attelage de wagon. La gamme opératoire proposée comporte les opérations de forgeage, de cintrage et d'usinage. Le forgeage à chaud se réalise sur des lopins pour obtenir les formes des pièces. Cependant, la manille nécessite en plus, une opération de cintrage pour obtenir la forme en "U". L'obtention de la forme finale des pièces nécessite des opérations d'usinage. Le paramétrage de l'ensemble des opérations a été effectué sur la base des dessins de définition et étayer par la recherche bibliographique menée dans le but d'apporter les informations nécessaires à la réalisation des deux pièces.

ملخص

تقدم هذه الأطروحة اقتراحًا لمجموعة من العمليات لتصنيع قطع من شداد وصلة الجر بين العربات، وهما مكونان لعربة التوصيل. يشمل نطاق التشغيل المقترح عمليات التَطْرِيق و التقويس والجمع. يتم إجراء عمليات التَطْرِيق على الساخن على الفراغات للحصول على شكل القطع. ومع ذلك، يتطلب القيد بالإضافة إلى ذلك عملية الانحناء للحصول على شكل U. يتطلب الحصول على الشكل النهائي للقطع عمليات تشغيل آلية. لقد تم وضع جميع العمليات المطبقة على أسس رسومات التعريف و لقد تم دعمها بالبحوث الببليوغرافية التي تم إجراؤها من أجل توفير المعلومات اللازمة لتحقيق القطعتين.

Abstract

This thesis presents a proposal for a range of operations for the manufacture of the shackle and the trunnion nut, which are two components of the wagon coupling. The proposed operating range includes forging, bending and machining operations. Hot forging is carried out on blanks to obtain the shapes of the parts. However, the shackle additionally requires a bending operation to obtain the "U" shape. Obtaining the final shape of the parts requires machining operations. The setting of all the operations was carried out on the basis of the definition drawings and supported by the bibliographical research carried out in order to provide the information necessary for the realization of the two parts.

SOMMAIRE

Introduction générale

Chapitre I : Etat de l'art du système d'attelage et tendeur de wagon

I.1 Introduction.....	3
I.2 Techniques de mise en forme des métaux	3
I.3 Le Forgeage	3
I.3.1 Les procédés du forgeage	4
I.3.2 Avantages du forgeage par rapport aux autres procédés de fabrication.....	8
I.3.3 Les limites du forgeage.....	9
I.3.4 Engins de forge	9
I.4 Le cintrage	13
I.4.1 Les différents procédés de cintrage	13
I.4.2 Outillages de cintrage	14
I.5 Nécessités de l'usinage sur les pièces forgées.....	14
I.5.1 Usinabilité après forgeage	15
I.5.2 Surépaisseur d'usinage et tolérance du brut.....	15
I.6 La CAO en forgeage	18

Chapitre II. Les attelages et les tendeurs des remorques et des wagons

II.1 Introduction	20
II.2 Différents type de Wagons	20
II.3 Les attelages de Wagons.....	21
II.3.1 Différents types d'attelage	21
II.3.2 Les attelages automatiques	22
II.4 Le tendeur d'attelage à vis	23
II.4.1 Les éléments constitutifs.....	23

Chapitre III : Présentation de la problématique

III.1 Introduction	25
III.2 Description fonctionnelle du tendeur d'attelage.....	25
III.2.1 Détermination de la fonction principal.....	25
III.2.2 Diagramme pieuvre	26
III.2.3 Diagramme FAST	27
III.3 Description technologique du tendeur d'attelage.....	27
III.4 Analyse du dessin de la manille	28
III.5 Analyse du dessin de l'écrou à tourillons	29
III.6 Matériau.	30
III.6.1 Caractéristiques sans traitement thermique	31

III.6.2	Caractéristiques avec trempe et revenu.	31
III.6.3	Prise en compte de l'effet de la température sur le comportement mécanique.	32

Chapitre IV : Proposition des gammes de fabrication des composants du tendeur d'attelage

IV.1	Introduction.....	34
IV.2	Proposition des gammes opératoire de fabrication.....	34
IV.2.1	Gamme opératoire de fabrication de l'écrou à tourillon	34
IV.2.2	Gamme opératoire de fabrication de la manille et d'assemblage avec l'écrou.	36
IV.3	Détermination des paramètres de la gamme.....	37
IV.3.1	Propriétés géométriques et physiques des pièces	37
IV.3.2	Calcul du temps de refroidissement	38
IV.3.3	Calcul de la force de forgeage	39
IV.4	Proposition des contrats de phase d'usinage de la manille et de l'écrou à tourillon.....	42
IV.4.1	Contrat de la phase 600 d'usinage de l'écrou à tourillons.....	43
IV.4.2	Contrat de la phase 600 d'usinage de la manille.....	48

Chapitre V : Proposition d'un dispositif de cintrage

V.1	Introduction	50
V.2	Schéma du dispositif de cintrage, tiré de la gamme opératoire	50
V.3	Aspect géométrique de l'opération de cintrage	51
V.4	Choix du vérin	51
V.5	Détermination de la force F développée par le vérin.....	53
V.6	Calcul de la force du vérin.....	54
V.7	Détermination de la course du vérin.....	55

Conclusion

Bibliographie

Annexes

Liste des figures

Figure 1 : Opération préalable.....	5
Figure 2 : Operations d'aplatissement.....	6
Figure 3 : Opérations de forgeage libre.....	7
Figure 4 : Equipement de forgeage.....	10
Figure 5 : Presse mécanique.....	11
Figure 6 : Choix de l'organe frappant du marteau-pilon.....	12
Figure 7 : Cintrage par emboutissage.....	13
Figure 8 : Cintrage par roulement.....	14
Figure 9 : Définition de la surépaisseur d'usinage d'une pièce coulée en fonte grise.....	15
Figure 10 : Zones composant la surépaisseur d'usinage.....	16
Figure 11 : Cote du brut.....	16
Figure 12 : Cote d'alésage usiné.....	17
Figure 13 : Cote d'entraxe.....	17
Figure 14 : Simulation numérique de forge (Transvalor).....	18
Figure 15 : Cheminement de la simulation en forgeage.....	18
Figure 16 : L'attelage "Three link chain".....	22
Figure 17 : L'attelage à vis et tendeur.....	22
Figure 18 : Attelage automatique intégral.....	23
Figure 19 : Eléments du tendeur d'attelage à vis manuel.....	24
Figure 20 : Diagramme bête à corne.....	26

Figure 21 : Diagramme pieuvre	26
Figure 22 : Analyse fonctionnelle du tendeur d'attelage par le diagramme FAST	27
Figure 23 : Schéma de la manille et de l'écrou à tourillons assemblés	28
Figure 24 : Dessin de définition de la manille	29
Figure 25 : Dessin de définition de l'écrou à tourillons.....	30
Figure 26 : Structure micrographique de l'acier sans traitement thermique.....	31
Figure 27 : Structure micrographique de l'acier avec trempe et revenu	32
Figure 28 : Courbe de traction d l'acier 42CD4	32
Figure 29 : Evolutions de la limite d'écoulement $\sigma_{\epsilon, t}$, de la résistance limite σ_t et de l'allongement à la rupture δ par rapport à la température	33
Figure 30 : Evolution de la limite élastique de certains aciers avec la température T.....	34
Figure 31 : relation entre la limite élastique et la force de forgeage dans le cas de la manille	40
Figure 32 : relation entre la limite élastique et la force de forgeage dans le cas du tourillon	41
Figure 33 : évolution de la force de forgeage en fonction de la température cas de la Manille.....	41
Figure 34 : évolution de la force de forgeage en fonction de la température cas du tourillon	42
Figure 35 : Schéma du dispositif de cintrage et d'assemblage de la manille et de l'écrou à tourillons	50
Figure 36 : Aspect géométrique, 1ère opération (position initiale du vérin).....	51
Figure 37 : Schéma d'un vérin	52
Figure 38 : Représentation schématique d'un vérin à double effet.....	53
Figure 39 : Schéma de cintrage de la manille	53

Figure 40 : Modélisation de l'opération de cintrage	54
Figure 41 : Aspect géométrique, 2ème Opération (position intermédiaire d'assemblage)..	55
Figure 42 : Aspect géométrique, 3ème Opération (assemblage et position finale du vérin).....	56

Liste des tableaux

Tableau 1 : Comparaison de procédés par rapport à la forge	9
Tableau 2 : Choix des paramètres d'équipement pour le forgeage des bruts	13
Tableau 3 : composition chimique	31
Tableau 4 : Propriétés géométriques de la manille et du tourillon	37
Tableau 5 : Propriétés physiques de l'acier 42CrMo4	38
Tableau 6 : récapitulatif des valeurs du coefficient Kf	40
Tableau 7 : Expressions des relations linéaires entre la force de forgeage et la limite élastique	41
Tableau 8 : Expressions des relations linéaires entre la force de forgeage et la Température	42

Introduction générale

Le transport ferroviaire constitue un moyen efficace et économique destiné au transport en masse de passagers et de fret sur les grandes distances. Actuellement, c'est l'un des moyens les plus importants et les plus performants du transport terrestre. En raison de son importance, son développement vise l'augmentation régulière des vitesses des trains, des charges et du trafic que les voies de chemins de fer doivent supporter.

Pour répondre aux exigences et aux performances technologiques, toujours plus serrées, l'industrie ferroviaire se doit s'investir dans la recherche et l'innovation. Au regard de la croissance de la concurrence économique dans le domaine du transport. Ceci a conduit, inévitablement, à introduire de nouveaux concepts de production et à automatiser beaucoup de tâches en relation avec les processus de fabrication, de montage et de développement des wagons, dans le cadre de la normalisation en vigueur.

La construction ferroviaire concerne la fabrication et l'assemblage du matériel roulant ferroviaire : locomotives, rames automotrices, autorails, voitures à voyageurs, wagons, rame de métro, tramways...etc. C'est donc un secteur qui comprend, en plus du segment de la construction de matériel roulant, la production de pièces de rechanges relatives à ce secteur, à travers, un ensemble de procédés tels que le débitage, le forgeage, l'usinage, l'assemblage, la métrologie,etc.

Le chemin de fer a pour principe fondamental la circulation de trains de voitures ou de wagons attelés entre eux. Cet organe de traction permet l'accouplement avec les autres véhicules et leur transmet l'effort de traction de la locomotive. Les organes de traction d'un véhicule ferroviaire sont disposés à chaque extrémité du véhicule, sur les traverses de tête, dans l'axe longitudinal du châssis. Ces derniers comprennent un crochet de traction, un tendeur d'attelage et un organe élastique ou ressort de traction fixé sur châssis.

La présente étude s'inscrit dans le cadre d'un projet proposé par l'entreprise FERROVIAL d'Annaba dans le cadre du stage de fin d'études. Le travail de ce mémoire se limite à l'étude, de la gamme opératoire de fabrication et l'assemblage de deux pièces importantes de ce tendeur d'attelage qui sont la manille et l'écrou.

Le mémoire est organisé en cinq chapitre. Le premier chapitre est une présentation de l'état de l'art du système d'attelage et tendeur de wagon avec le développement de leurs techniques de fabrication. Le deuxième chapitre est consacré aux types de Wagons qui existent d'une manière générale, aux attelages et aux tendeurs des remorques et des wagons. Le troisième chapitre présente une description fonctionnelle et technologique de la manille et de l'écrou à tourillons. Au quatrième chapitre, nous proposons une gamme opératoire de la fabrication des deux éléments de l'attelage, avec un calcul des paramètres relatifs aux différentes étapes. Enfin, le dernier chapitre est consacré à une proposition d'un dispositif de cintrage. Une description géométrique et un choix du vérin ont été proposés.

I.1 Introduction

La fabrication de pièces à base de matériaux métalliques subie actuellement une importante évolution. En effet, des facteurs tels que le marché actuel, les réglementations qui évoluent, l'aspect sécuritaire, l'environnement et le développement durable convergent au choix de la diminution globale du poids des structures et à l'utilisation de nouveaux matériaux. Cette amélioration des propriétés mécaniques est souvent associée à des microstructures multiphasées, ou bien à des changements qui peuvent se produire au cours de l'élaboration.

I.2 Techniques de mise en forme des métaux

Les techniques de mise en forme ont pour objectif de d'agir sur le matériau pour lui donner une forme déterminée selon une géométrie prédéfinie. On distingue les techniques employées dans le cas des métaux [1]:

- **Forgeage** : consiste à déformer, par choc ou par pressage entre deux outils, une masse métallique rendue malléable par chauffage.
- **Fonderie** : cette technique consiste à fondre et à couler le métal dans un moule.
- **Frittage** : permet de consolider la poudre sous l'action de la chaleur et la rend ainsi compacte.
- **Emboutissage** : permet d'obtenir, à partir d'un demi produit (feuille ou tôle mince), une forme non développable.

Le choix d'un procédé de mise en forme doit se faire en tenant compte de certains critères [1]:

- Les propriétés du matériau
- l'usage auquel le produit est destiné
- le coût associé au procédé
- les caractéristiques du produit
- le type de production.

I.3 Le forgeage

La forge est un terme générique qui regroupe l'ensemble des procédés de **déformation plastique** dans lesquels un brute (lopin de métal) est mis en forme au moyen d'outils ou de matrices (appelées aussi empreintes). Dans leur mise en œuvre, ses procédés dépendent de nombreuses caractéristiques telles que : la pièce finale, les machines utilisées, des outillages

et les conditions opératoires. Cette technique nécessite une utilisation presque optimale de la matière et permet de produire des pièces de qualité et à moindre coût [2].

I.3.1 Les procédés du forgeage

On distingue quatre principaux procédés de forgeage, utilisés actuellement dans l'industrie et que nous allons détailler [2]:

- le forgeage libre,
- le forgeage à chaud,
- le forgeage à mi-chaud,
- le forgeage à froid (extrusion).

❖ **Le forgeage libre** : c'est un formage à chaud entraînant une déformation plastique du matériau. Il est effectué à l'aide de machines et d'outillage universel. Deux types de machines servent au forgeage libre :

- des machines travaillant par choc
- des machines travaillant par pression

Il est important de souligner que dans ce cas, avant de procéder proprement au forgeage, on commence par chauffer les lopins dans des fours selon des conditions spécifiques à chaque métal.

Le forgeage libre est bien adapté pour le travail des pièces lourdes (jusqu'à 250 t). Les pièces forgées de moindre masse, par exemple de 20, 60 ou 120 kg, peuvent être fabriquées par forgeage libre ou bien, on peut utiliser à la place l'estampage à chaud. Les avantages du forgeage libre se révèle économique par rapport à l'estampage à chaud dans le cas de la fabrication unitaire et de petite série grâce à l'utilisation d'outillage universel.

Le processus de forgeage libre se compose d'un certain nombre opérations ordonnées selon une chronologie précise. Ces opérations sont [3]:

1. la mise de longueur, de la séparation et de la préparation du lopin (figure 1);
2. les opérations d'aplatissement englobant l'aplatissement sur les faces plates du marteau, l'augmentation de la longueur et de la largeur, l'aplatissement dans les anneaux d'appui, le remplissage de cavité, l'aplatissement avec queue et l'aplatissement total (figure 1),

3. les opérations : réduction de la longueur et l'augmentation de la section, le début du poinçonnage, la première opération, l'opération de redressage, le refoulement, l'étirage, le bigornage, le début de la deuxième opération et la première opération de dégorgeage (figure 1);
4. ainsi que les opérations de calibrage.

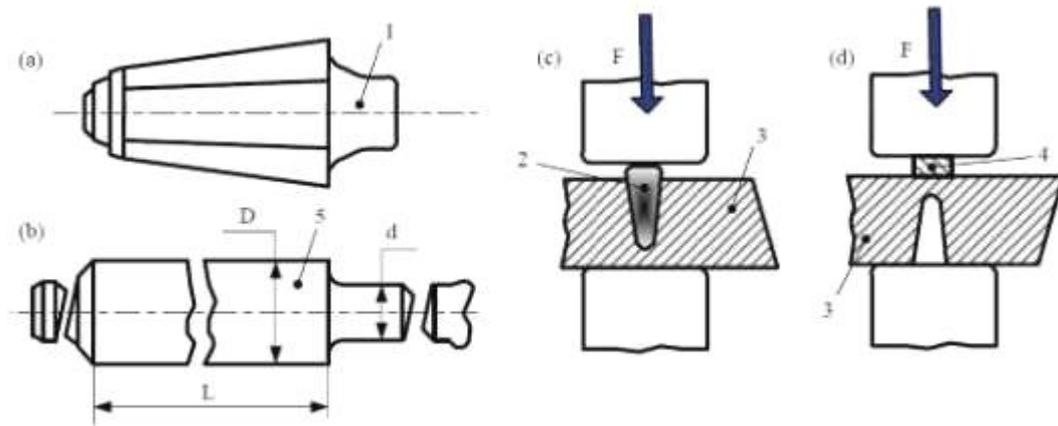


Figure 1 : Opération préalable ou (1 = lingotière; 2 = couperet; 3 = brut; 4 = guillotine qui fait une coupe définitive du brut; 5 = lopin préparé; d, D, L = dimensions; F = force) [3].

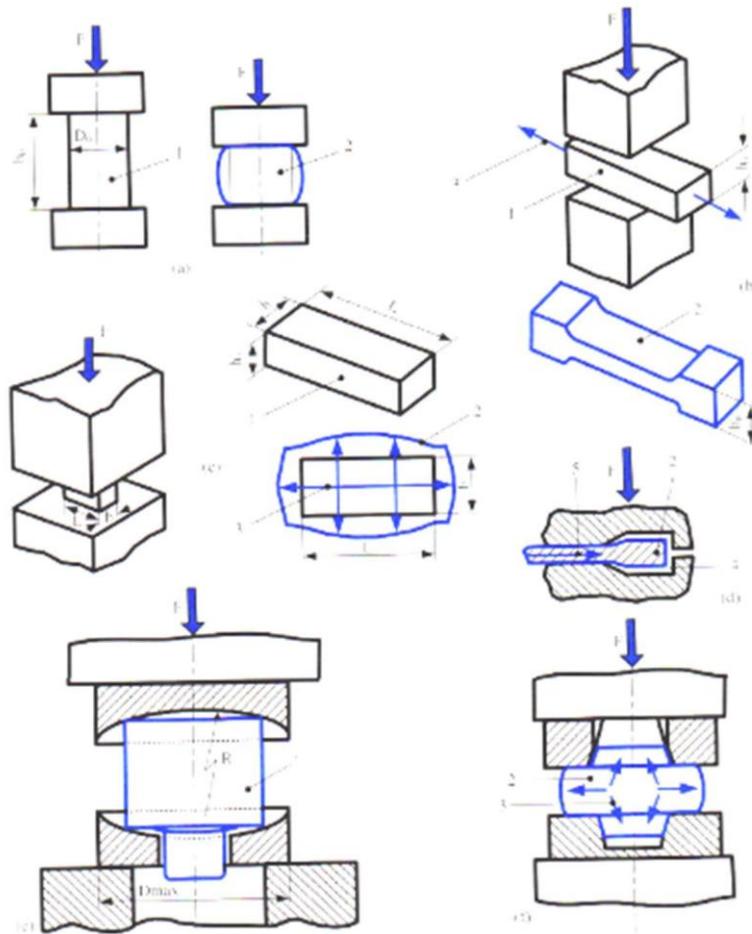


Figure 2 : Opérations d'aplatissement ou (1 = brut initial; 2 = brut façonné; 3 = ligne de déformation; 4 = butée; 5 = solide de frottement; b , D_0 , h_0 , L = dimensions; D_{max} = diamètre maximal; F = force; R = rayon de la cavité) [3].

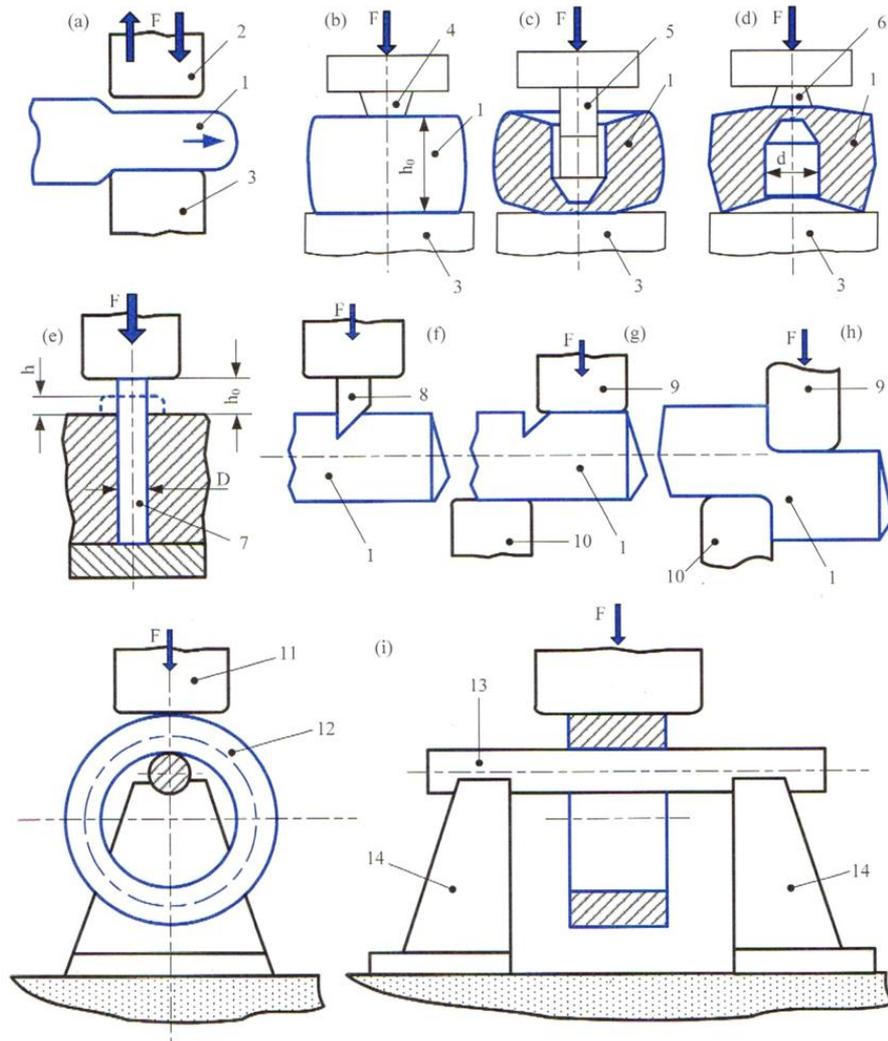


Figure 3 : Opérations essentielles du forgeage libre ou (1 = brut; 2 = organe descendant; 3 = appui; 4 = poinçon, 5 = position finale du poinçon; 6= percuteur pour redresser la pièce; 7 = tige longue forgée, 8 = dégorgeoir; 9 et 10 = outils dont la partie active est arrondie; 11 = panne; 12 = ébauche tubulaire; 13 = mandrin; 14= chevalet d'appui; d, D, h, ho= dimensions; F = force) [3].

❖ **Le forgeage à chaud :** La forge à chaud s'effectue à une température qui avoisine $0,7 \cdot TL$. On distingue deux types de forgeage à chaud : ceux qui utilisent une empreinte (ou matrice), et ceux qui n'en utilisent pas.

Les procédés de forge à chaud sans empreinte sont :

- **Le refoulement :** écrasement sur un bout du lopin, pour d'obtenir une tête ou un plateau.
- **L'étirage :** répartition de la matière en diminuant la section du lopin.

- **Le cambrage** : permet de donner une forme cambrée à la pièce.

Les procédés de forge à chaud utilisant une empreinte sont :

- **L'estampage** : presser de la matière entre deux matrices jusqu' à ce que la matière épouse la forme des matrices.
- **Le matriçage** : la matière est mise en œuvre est un alliage autre que l'acier. Il s'agit le plus souvent d'alliages de cuivre ou d'aluminium.
- **L'estampage en matrices fermées** : permet d'éliminer les pertes par bavure. La quantité de matière utilisée est correctement déterminée.

❖ **Le forgeage à mi-chaud** : particulièrement dédié aux alliages ferreux qui ne peuvent être forgés à froid. Ce procédé est adapté aux grandes séries. La température de travail est comprise entre $0,3*TL$ et $0,7*TL$.

❖ **Le forgeage à froid (extrusion)** : s'exécute à une température inférieure à $0,3*TL$. Le lopin est enfermé dans un container et ensuite comprimé par un poinçon, pour le contraindre à le passer totalement ou partiellement dans une filière. Ce procédé possède le problème du grippage qui peut être résolu à l'aide d'une préparation de la surface par phosphatation. [2]

I.3.2 Avantages du forgeage par rapport aux autres procédés de fabrication

Les principaux avantages des procédés de forge sont [2] :

- le gain de matière
- l'amélioration des caractéristiques mécaniques
- la productivité

Afin de mettre en évidence les avantages du forgeage, le tableau 1 présente une comparaison avec d'autre procédés.

Tableau 1 : Comparaison de procédés par rapport à la forge [2]

Procédé comparé	Avantages de la forge par rapport au procédé comparé
Fonderie	Résistance mécanique plus élevée Les préformes limitent les défauts Plus fiable Meilleur comportement par rapport au traitement thermique Adaptable à la demande
Soudage, mécano-soudage	Economie de matériau Plus solide Meilleures caractéristiques métallurgiques (plus homogènes) Production plus simple
Usinage	Le fibrage permet une meilleure résistance Economie de matériau Pas de pertes en copeaux Nécessite moins d'opérations secondaires
Frittage	Plus résistant Intégrité plus élevée Nécessite moins d'opérations secondaires Plus de liberté dans la conception Matériau moins cher
Matériaux composites, matériaux plastiques	Matériau moins cher Plus grand productivité Domaine de service plus large (au niveau de la température) Meilleures fiabilité de performances en service

I.3.3 Les limites du forgeage

Les limites que l'on peut relever concernant les procédés de forge sont les suivantes [2] :

- morphologies
- Les efforts
- Les petites séries
- Matériaux

I.3.4 Engins de forge

La gamme d'équipements de forgeage peut se répartir en trois famille selon le type d'action sur le matériau [3] :

- **L'équipement travaillant par choc** : cet équipement est doté d'un pilon tombant et une frappe du marteau. Il est caractérisé par :
 - un travail fixé
 - une fréquence de frappe de 50 à 60 coups/min
 - une vitesse de déformation $V = 5$ à 12 m/s.
 - La vapeur ou l'air sous pression

- **L'équipement avec action statique d'une presse hydraulique**, se caractérise par un effort fixe avec une vitesse de déformation est de l'ordre de $V = 0,3 \text{ m/s}$. L'effort de déformation est créé par l'action d'un fluide hydraulique sous une pression de 20 à 30 MN/m^2
- **L'équipement avec action statique d'une presse mécanique**, Cet engin est caractérisé par une marche fixée, une fréquence de travail de 30 à 70 coups/min, un effort de déformation de 180 MN. Cet engin provoque la déformation en utilisant l'énergie accumulée par un volant massif relié à un moteur électrique.

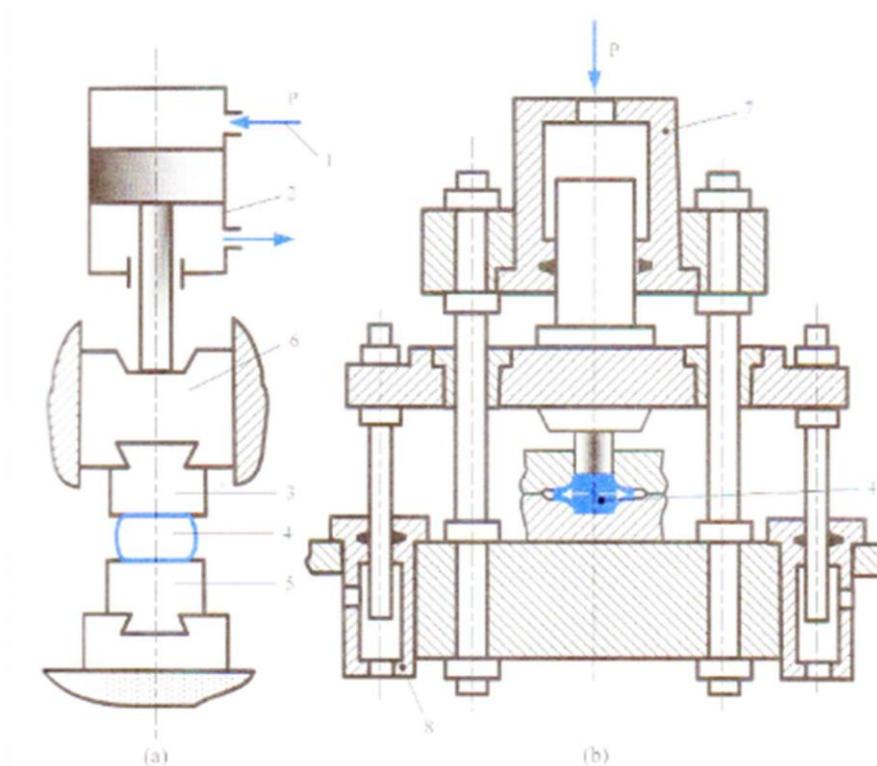


Figure 4 : Equipement de forgeage : a) marteau-pilon à vapeur; b) presse hydraulique.

[1= vapeur ou air sous pression; 2 = cylindre; 3 = marteau; 4 = brut;
5 = enclume; 6 = organe tombant; 7= cylindre de travail; 8 = cylindre de retour;
P = pression de vapeur ou d'air] [3].

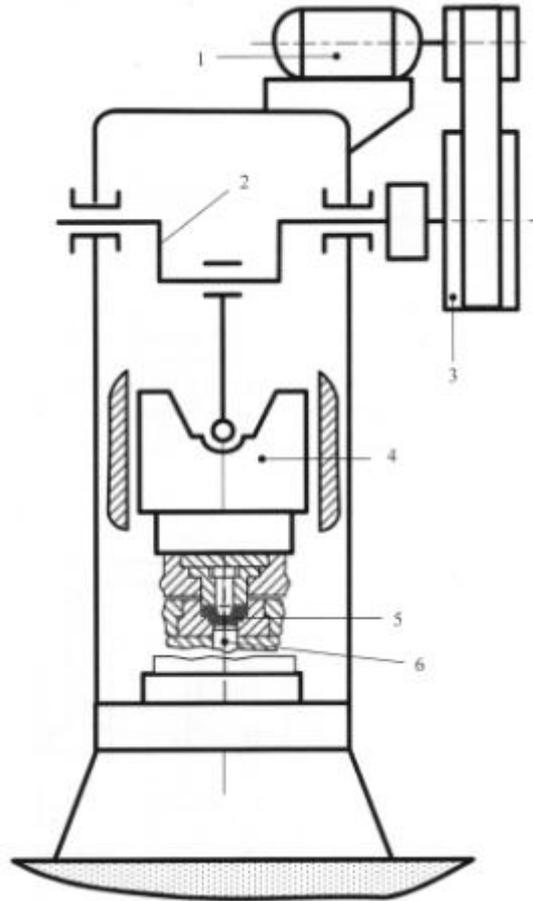


Figure 5 : Presse mécanique [3].

- 1 : moteur électrique;
- 2 : vilebrequin;
- 3 : volant massif;
- 4 : coulisseau;
- 5 : brut;
- 6 : poussoir

Le choix de l'engin travaillant par choc est généralement lié à l'organe tombant. Le tableau 2 indique le choix du tas tombant pour un **marteau-pilon** et l'effort de travail pour une **presse à vilebrequin** en forgeage des bruts ayant un poids jusqu'à 65 kg [3].

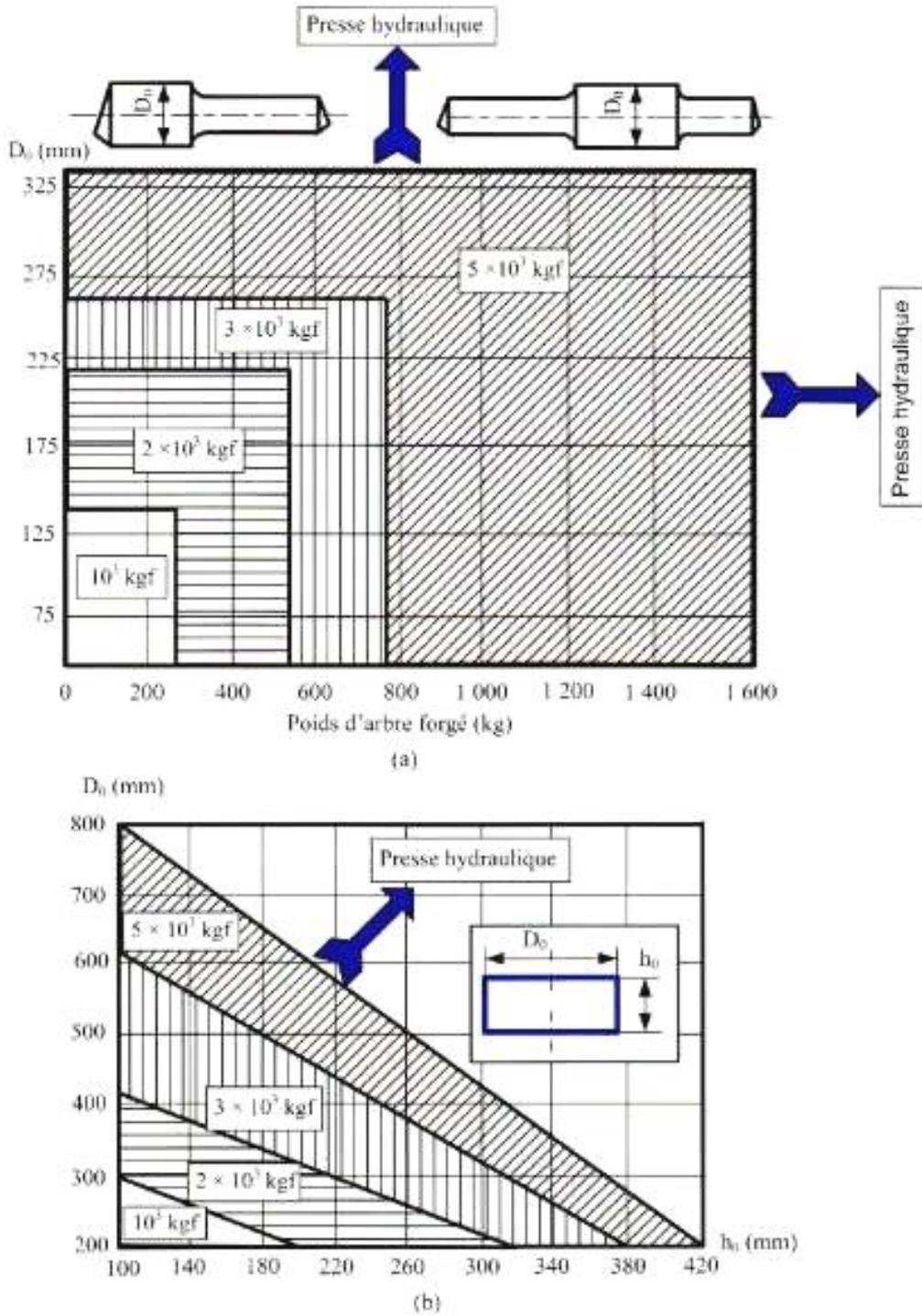


Figure 6 : Choix de l'organe frappant du marteau-pilon (en kgf).
a) des arbres; b) des bruts de pignons [3].

Tableau 2 : Choix des paramètres d'équipement pour le forgeage des bruts [3]

Poids d'un brut (kg)	Poids du tas tombant pour un marteau-pilon ou effort de travail pour une presse à vilebrequin (kgf)	Productivité (kg/h)	
		Marteau-pilon	Presse à vilebrequin
1 à 2	1000	300	600
3 à 9	2000	600	1200
10 à 30	4000	1250	2500
30 à 65	6300	2000	4000

I.4 Le cintrage

La déformation obtenue par cintrage fait apparaître deux parois séparées par une fibre neutre. L'une des parois subie une sollicitation de traction et l'autre subie une sollicitation de compression. Lorsque l'on effectue une opération de cintrage d'un barreau ou un tube, la paroi extérieure, appelée extrados, subie un amincissement et la matière s'allonge et perd de l'épaisseur. En conséquence, la matière doit posséder un pourcentage d'allongement suffisant. Au contraire, la paroi intérieure nommée (intrados), s'épaissit par compression de la matière [4].

Les paramètres à considérés dans le cas du cintrage [5]:

- La cintrabilité du matériau
- Le rayon de cintrage à la fibre neutre (R_m)
- Les parties droites entre cintres
- Le rapport entre le diamètre et l'épaisseur pour les tubes (D/e)

I.4.1 Les différents procédés de cintrage

Plusieurs procédés différents permettent de cintrer [5]:

- **Cintrage classique** : Cette technique donne une qualité appréciable. La pièce est serrée au niveau des mors puis, elle est tirée autour d'un galet ou matrice.
- **Cintrage par emboutissage** : réalisé en générale sur des pièces basiques

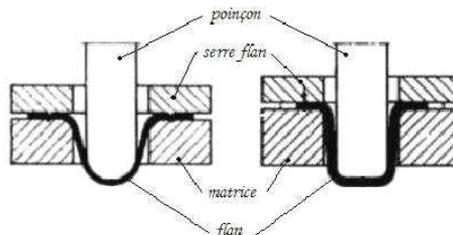


Figure 7 : Cintrage par emboutissage [5].

- **Cintrage par roulement**

Très utilisé dans le domaine des conduites de fluides en petits diamètres.

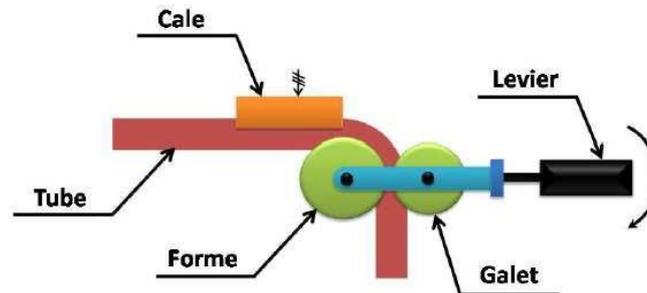


Figure 8 : Cintrage par roulement [5].

- **Cintrage par roulage**

Utilisé pour l'obtention de grands rayons. La machine utilisée est généralement appelé rouleuse ou cintreuse 3 galets.

I.4.2 Outillages de cintrage

Suivant la complexité du cintrage ou de la déformation à réaliser, différents composants d'outillage peuvent être nécessaire [5] :

- Galet
- Mors de serrage
- Glissière
- Mors de forme
- Olive (Pièce d'usure)
- Efface plis (Pièce d'usure)

I.5 Nécessités de l'usinage sur les pièces forgées

Les éléments tels que cotation, matière, traitements de mise en forme, déterminent le type d'usinage à effectuer et ses paramètres, la finition nécessaire et le contrôle à effectuer même pour les surfaces et les pièces forgées. [6]

Les pièces forgées peuvent subir un usinage et même d'obtenir des pièces de grandes précisions. Les formes des surfaces forgées usinées peuvent être planes ou de révolution. Les principaux usinages sont le fraisage et le tournage. Avec l'apparition de la commande numérique, il est désormais possible d'usiner une multitude de surfaces courbes. Aussi, il est possible d'appliquer tous les procédés d'usinage existants, aux surfaces ou pièces forgées (norme NFE 05-019 de 1992) [7].

I.5.1 Usinabilité après forgeage

Les matériaux, ayant subi une déformation à froid ou à chaud de leurs microstructures dans le but d'améliorer leurs caractéristiques mécaniques, ainsi que le forgeage, présentent l'aptitude à être usiné avec des répercussions sur la production. La notion d'usinabilité s'applique à un **couple outil-matière** (COM). Il est évident que l'usinabilité prend en compte les paramètres de [7] :

- métallurgie
- mécanique
- tribologique
- thermique

I.5.2 Surépaisseurs d'usinage et tolérances du brut

La surépaisseur d'usinage des pièces brutes est une surépaisseur de matière qui permet de supprimer les effets des traitements préalables à l'usinage (laminage, moulage, forgeage, ...) sur une surface et d'obtenir la structure métallographique souhaitée dans tout le continuum de la pièce, ainsi que la précision dimensionnelle nécessaire (fig 9 et 10) [3].

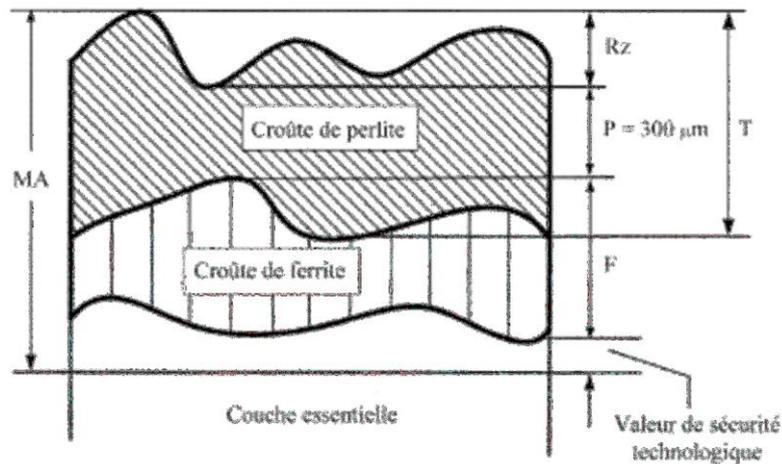


Figure 9 : Définition de la surépaisseur d'usinage d'une pièce coulée en fonte grise.
[F = zone de ferrite; MA = surépaisseur d'usinage; P = zone de perlite;
Rz = paramètre de rugosité; T = couche défectueuse] [3].

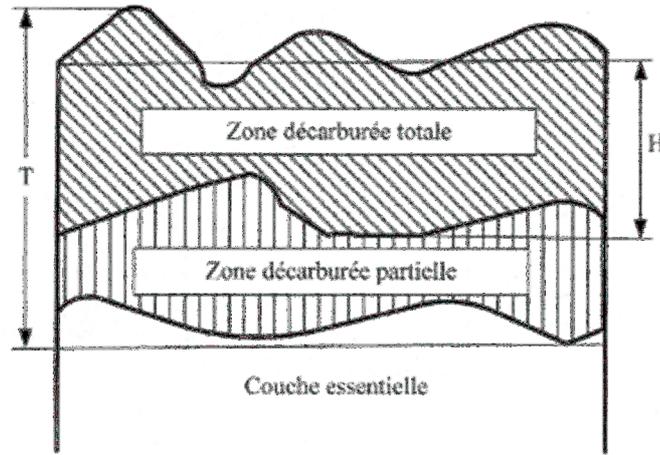


Figure 10 : Zones composant la surépaisseur d'usinage.
 [H = épaisseur de la zone décarburee; T = couche défectueuse][3].

Pour déterminer la cote du brut comprise entre une surface usinée et une surface brute extérieure :

$$R = (F + MA + CT/2) \pm CT/2 \dots\dots\dots(1)$$

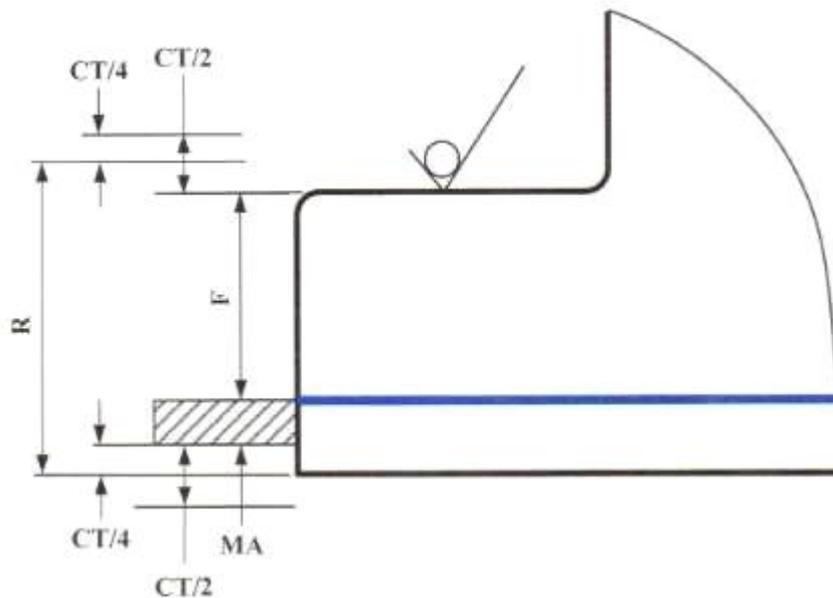


Figure 11 : Cote du brut [3]

La détermination d'un alésage usiné :

$$R = (F - 2MA - CT/2) \pm CT/2 \dots\dots\dots(2)$$

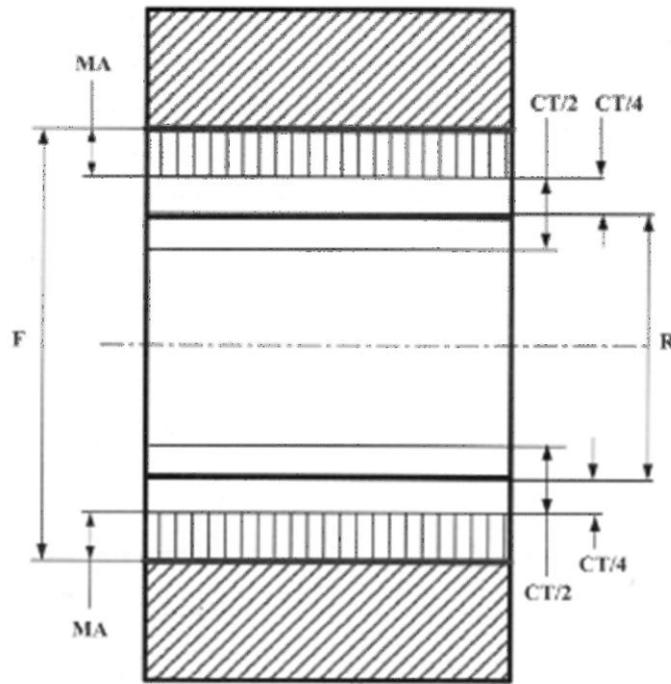


Figure 12 : Cote d'alésage usiné [3].

Dans le cas d'un entraxe :

$$R = (F) \pm CT/4 \dots\dots\dots(3)$$

Pour trouver CT, il faut prendre $2 \times F$

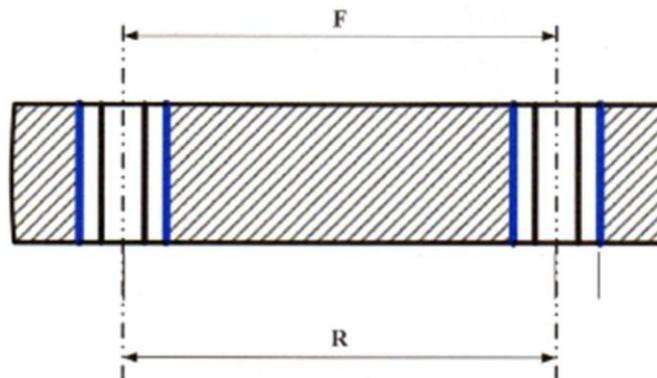


Figure 13 : Cote d'entraxe [3].

I.6 La CAO en forgeage

Les applications de la CAO varient de la définition géométrique précise des formes complexes d'outils de formage et de forgeage (matrices, poinçons, gabarits,...), d'assemblage, de moulage, des carrosseries automobiles, des fuselages et ailes d'avion, des coques de navire, avec possibilité de simuler la circulation des efforts et de représenter les déformées correspondantes [4] [9].

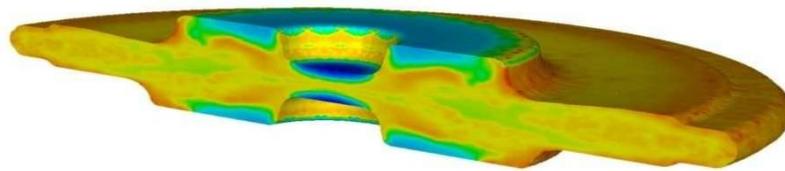


Figure 14 : Simulation numérique de forge (Transvalor) [9].

L'objectif de la simulation numérique dans ce cas, est de permettre l'ajustement de la gamme de forge et du design des différents outils définis dans la phase conception mais aussi la détermination, pour l'atelier de forge, des meilleurs réglages de la presse pour la mise au point du process.

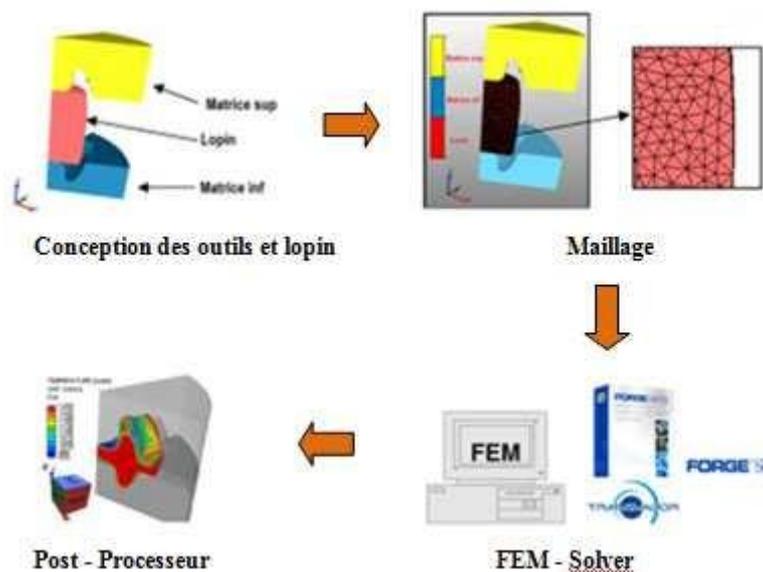


Figure 15 : Cheminement de la simulation en forgeage [10].

Les logiciels actuels, Forge de Transvalor, AFDEX d'Altair, Qform et Deform permettent de prédire entre autres l'évolution de la température, la déformation équivalente dans la pièce au cours du forgeage, les efforts de presse, les défauts (replis, manques matière, ...) et enfin le fibrage de la pièce. Il est également possible de faire des analyses des contraintes outillages

pour suivre la répartition des efforts et de la température et de prédire leur usure. On peut également effectuer un calcul thermomécanique couplé entre la pièce et les outillages [10].

la simulation en forgeage a pour objectifs [11] :

- Forme finale de la pièce forgée
- Défauts (replis, sous-remplissages, excès de matières) et la carte des déformations (corroyage)
- Évolutions métallurgiques (répartition de phases) et micro structurales (taille de grains et taux de recristallisation)
- Efforts de presse
- Distribution et évolution des températures dans la pièce
- Analyser la distance de contact avec les outillages, les vitesses et les déplacements
- Estimer l'usure des outillages et les déflexions de la presse
- Optimiser la matière, éviter les bavures, diminuer la taille des outils et réduire le nombre d'opérations

Les avantages de la simulation numérique du forgeage [12] :

- Réduire le temps de prototypage et de conception
- Réduire les coûts d'essais et de matière
- Concevoir des pièces complexes
- Optimiser les gammes de forgeage
- Estimer la durée de vie des outils.

II.1 Introduction

Le matériel ferroviaire roulant se compose en général d'un ensemble de véhicules, moteurs ou remorqués, dont le déplacement se à la voie ferrée. Cela étant, il y a certain locotracteurs ou lignes de métro sur pneumatiques et les aérotrains ou du train à sustentation magnétique. Les marchés de transport ferroviaire avec ses deux principaux segments (passagers et fret), nécessite des infrastructures à priori similaires pour les deux segments, mais le type de transport, l'équipement et les détails de ces infrastructures sont souvent différents [13, 14, 15].

Ce matériel se subdivise en cinq types de véhicules, soit [15] :

- les trains à grande et très grande vitesse,
- les locomotives,
- les voitures de passagers pour le transport interurbain,
- les voitures de passagers pour le transport urbain,
- les wagons utilisés pour la livraison de marchandises.

Les principales caractéristiques à développer dans véhicules tractés, y compris les wagons, sont [16] :

- Masse
- Durabilité
- Capacité de charge
- Coût.

II.2 Différents type de Wagons

Les wagons possèdent en général une structure en forme d'échelle. On retrouve principalement deux longues poutres en acier à section variable sur lesquelles sont fixés des traverses. L'ensemble est couvert d'une plate-forme pour répartir la charge. Les recherches s'orientent également vers les nouveaux matériaux, alliages légers et composites, afin d'offrir un produit plus léger avec des capacités de charge souhaitées [16]. L'industrie ferroviaire produit une variété de modèles de wagons de fret [15] :

- **Les wagons couverts** qui sont utilisés pour le transport marchandises. Ces wagons couverts peuvent offrent plusieurs variantes par rapport à l'ouverture et la taille des portes, l'isolation, en réfrigération avec contrôle de la température.
- **Les wagons-trémies à toit ouvert** qui ont la particularité d'être chargés / déchargés facilement et rapidement selon différentes manières. Aussi, ils sont adaptés aux transport des marchandises qui ne risques pas d'être endommagées par l'exposition aux éléments climatiques, telles que les minerais et autres agrégats.
- **Les wagons-trémies couverts** pour le transport des marchandises telles que : grains, ciment, sable, fertilisants, farine et sucre. Dans l'ensemble, les matériels chimiques ou en poudre qui peuvent être endommagés par l'exposition aux conditions climatiques. Leur

développement peut s'étendre aux fonctions d'aide au déchargement : côtés vibrants, systèmes d'injection d'air...etc.

- **Les wagons-tombereaux** possèdent un toit ouvert mais pas de trémie au fond pour le déchargement. Ces wagons peuvent contenir des planchers ouvrants pour une utilisation d'équipements roulants de déchargement, on distingue :
 - à bords hauts pour produits et matériels à densité relativement faible
 - à bords bas pour les matériels plus lourds (dalles d'acier, profilés en acier, machinerie, etc.
- **Les wagons plats** conçues pour le transport de machines, produits plats, conteneurs. Les wagons plats peuvent avoir des accessoires pour les adapter au transport d'automobiles, canalisations, citernes, turbines, acier brut, ou autres
- **Les wagons citernes** pour le transport des liquides ou des fluides pressurisés, en plus des produits chimiques ou de consommation tels que : huiles, lait, eau,...etc.

II.3 Les attelages de Wagons

Les organes de traction sont en général, des ensembles qui permettent l'accouplement entre les véhicules et assurent par la même occasion la transmission de l'effort de traction de la locomotive. Tous les matériels, moteurs et remorqués sont munis sur leurs traverses de tête d'organes de traction [17].

II.3.1 Différents types d'attelage :

a) **L'attelage "Three link chain" :**

Au débuts du chemin de fer, on utilisait le "Three link chain". C'est un attelage fait de trois maillons d'une simple chaîne. Pendant librement à chaque extrémité des locomotives et des wagons, entre les tampons, ce dernier possède la qualité d'être robuste, mais pose un problème du jeu entre les deux véhicules. IL occasionne des départs brutaux quand l'effort de traction se transmet entre les véhicules, aussi, les chocs au moment du ralentissement ou le freinage qui se transmet de la même manière [17].

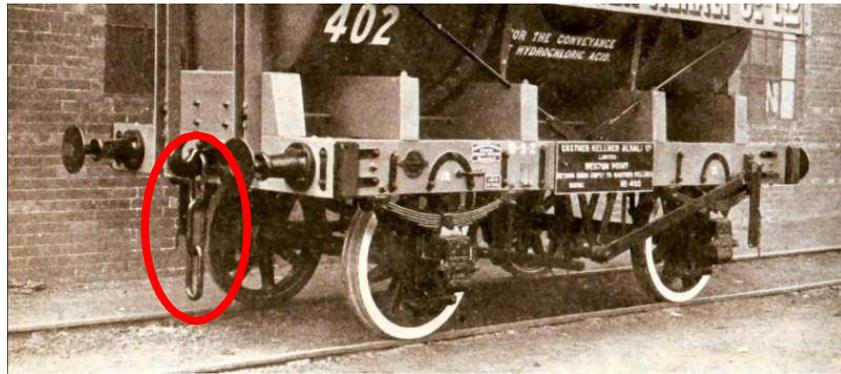


Figure 16 : L'attelage "Three link chain" [17] .

b) L'attelage à vis et tendeur :

Il est composé de la boucle (ou « **manille** ») à placer sur un crochet, avec tous les dangers identiques que cela comporte. A l'inverse du "Three link chain", ce système permet de serrer l'attelage, c'est-à-dire de faire que les wagons, rapprochés, circulent à tampons joints. Ceci évite alors les chocs répétés au démarrage et au freinage, chocs qui se répercutent de wagon en wagon sur toute la longueur du train, causant des désagréments aux voyageurs et endommageant les marchandises fragiles [17].

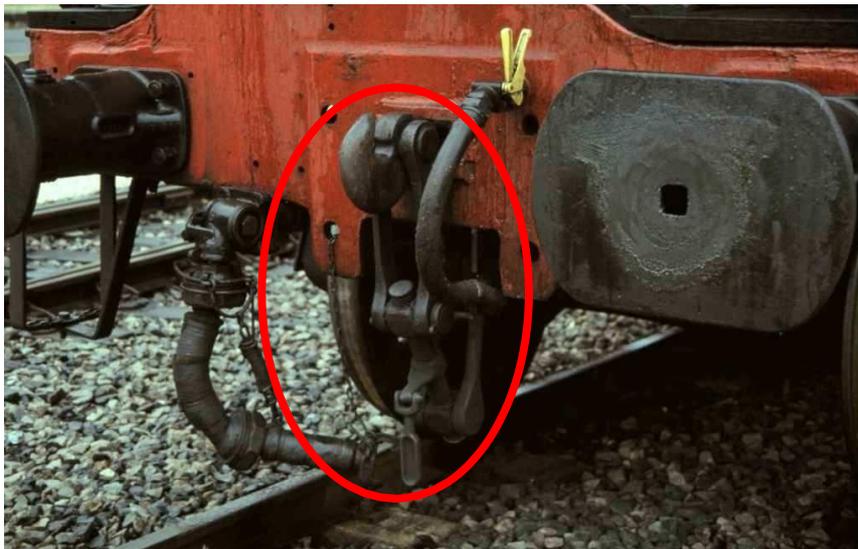


Figure 17 : L'attelage à vis et tendeur [17].

II.3.2 Les attelages automatiques

Les nouveaux systèmes d'attelage sont automatiques, ils reposent sur le principe d'éviter l'intervention de l'homme au moment d'accrocher les wagons. Ces systèmes présentent une compatibilité avec les attelages anciens. Ils équipent actuellement tous les trains modernes, les automotrices, les tramways, les métros, les TGV et autres matériels roulants sur rails [17] .



Figure 18 : Attelage automatique intégral [17].

II.4 Le tendeur d'attelage à vis

C'est un ensemble en acier forgé et traité. La forme particulière du crochet lui confère une grande résistance à la rupture. Le crochet se compose de deux parties : la tête et la tige. La tête de crochet est une partie massive munie d'un bec et percée d'un œil. Elle reçoit le tendeur du crochet appartenant au véhicule. Elle peut également recevoir la maille du tendeur du véhicule voisin lors de l'attelage. L'extrémité opposée au crochet est soit filetée, soit munie d'un œil, soit munie d'une embase [17].

II.4.1 Les éléments constitutifs

Dans le cas du tendeur d'attelage unifié de 85 tonnes, fabriqué en acier au "molybdène" forgé et traité, les éléments qui le composent sont [17] :

- c) deux flasques (ou bielles) articulées,
- d) un écrou à tourillons,
- e) un axe ou tourillon d'articulation,
- f) **une manille** en forme d'étrier articulée,
- g) **un écrou à tourillons**,
- h) d'une vis à pas contraires et à filets ronds,
- i) d'un levier à contrepoids ou manivelle.

D'un coté nous avons les flasques (ou bielles) qui sont articulés sur l'écrou à tourillons et assemblés par un axe ou tourillon d'articulation; et de l'autre coté, la manille en forme d'étrier articulée sur un écrou à tourillons, une vis à pas contraires et à filets ronds relie les deux parties et commande les deux écrous à tourillons. La vis est manœuvrée par un levier à contrepoids, ou manivelle, permettant de desserrer ou de serrer l'attelage (voir figure19) .

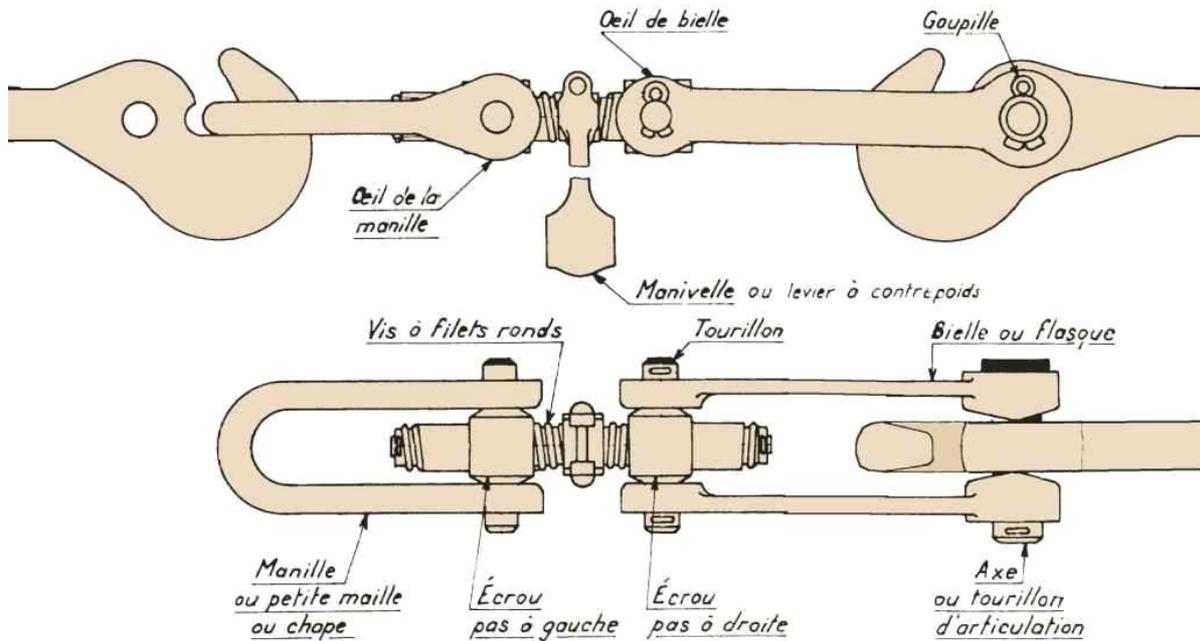


Figure 19 : Eléments du tendeur d'attelage à vis manuel [17].

III.1 Introduction

Le tendeur d'attelage à vis continue à équiper la quasi-totalité de notre matériel roulant ferroviaire, locomotives, voitures et wagons. L'ambition de pouvoir le fabriquer localement est d'autant plus intéressante que nécessaire vue la conjoncture économique actuelle. La fabrication de l'attelage, exige une étude de conception et de fabrication de rigueur, étant donné la réglementation et les normes qui encadrent l'utilisation et le fonctionnement des équipements ferroviaires.

Dans cette optique, nous proposons un processus fabrication de deux éléments constitutifs de l'attelage à vis. Les composants en question sont la manille et l'écrou à tourillons. Ces deux pièces, par leurs formes et leur assemblage, doivent répondre à une fonction, laquelle impose des efforts de traction et de compression.

III.2 Description fonctionnelle du tendeur d'attelage

Comme tout produit mécanique, le tendeur d'attelage des wagons répond à certain nombre de fonctions à définir dans le cadre de la réponse à un besoin exprimé par une étude fonctionnelle du dispositif. Cette dernière, appelée communément "analyse fonctionnelle", utilise deux points de vue complémentaires :

- le point de vue externe, à l'utilisateur, répond à des services ou des **fonctions de service**;
- le point de vue interne, lié au concepteur, réalise des **fonctions techniques** assurant les fonctions de service.

III.2.1 Détermination de la fonction principale

Le besoin est synonyme de la nécessité ou d'un désir éprouvé par un utilisateur. Il permet en l'occurrence de justifier l'existence d'un produit. Un besoin peut être explicite ou implicite, selon la manière dont il a été perçu. L'action d'un système en termes de sa finalité, c'est à dire en termes de ses fonctions formulées dans le but de rendre service à l'utilisateur.

Pour énoncer le besoin fondamental du produit, on utilise l'outil ou diagramme de "bête à cornes". Pour établir ce diagramme, il faut répondre aux questions suivantes [18] :

- A qui rend-il service ?
- Sur qui agit-il ?
- Dans quel but ?

Dans le cas de l'attelage, les réponses à ces questions sont données dans le diagramme, présenté par la figure 20.

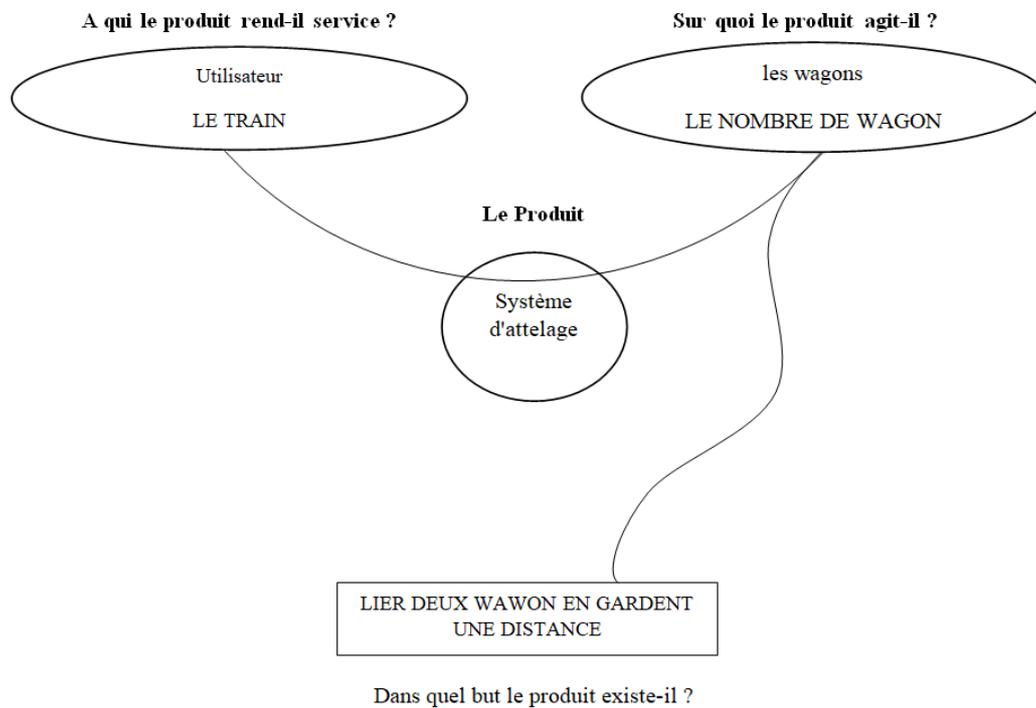


Figure 20 : Diagramme bête à corne.

III.2.2 Diagramme pieuvre

L'identification des fonctions est très importante dans la vie d'un produit. D'une part, elles reflètent la description du besoin. D'autre part, elles donneront des pistes d'orientation sur le choix des différents scénarios à analyser. Il est important que la formulation de la fonction soit indépendante des solutions susceptibles de la réaliser.

La pieuvre est un excellent outil de représentation des fonctions et de leurs relations avec l'objet étudié. Son avantage principal est de présenter synthétiquement et de manière conviviale ce que la littérature décrirait dans un document très long et peu explicite.

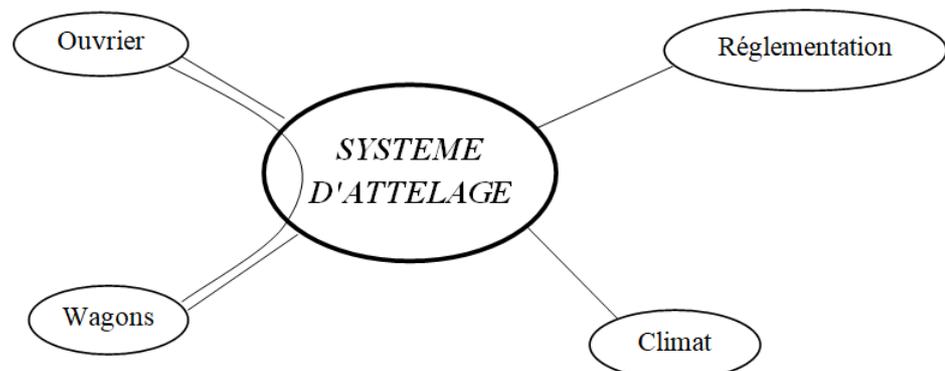


Figure 21 : Diagramme pieuvre.

III.2.3 Diagramme FAST

Ce diagramme permet de représenter toutes les fonctions techniques du système tendeur-attelage, d'une manière synthétisée, successive et hiérarchisée en répondant aux questions : Pourquoi ? Quand ? et Comment ? à partir d'une fonction donnée.

POURQUOI ? : question destinée à la fonction précédente et la réponse commence par "pour"

QUAND ? : question appliquée à une ou aux fonctions situées au même niveau et les réponses commencent par "si simultanément".

COMMENT ? : question destinée à la fonction suivante et la réponse commence par "en"[19].

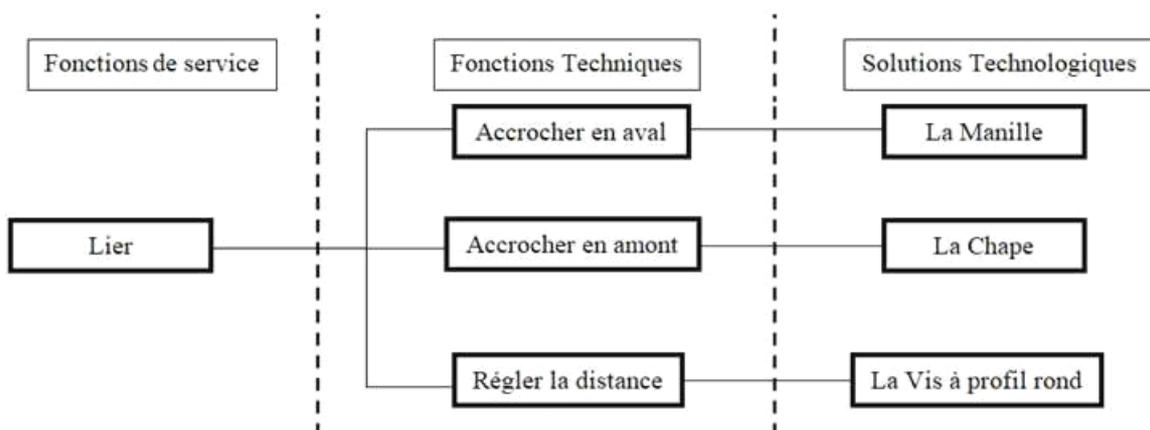


Figure 22 : Analyse fonctionnelle du tendeur d'attelage par le diagramme FAST.

III.3 Description technologique du tendeur d'attelage

Le système d'attelage des wagons est composé principalement de deux crochets et d'un tendeur d'attelage. Le crochet travaille à la traction et l'autre permet d'accrocher le tendeur et régler la tension au repos des wagons rattachés. Quand les wagons sont en circulation, le tendeur d'attelage permet aux wagons de circuler à tampons joints et de garder une distance constante. Une autre exigence de ce système est sa manipulation au moment des liaisons et des tris des wagons, elle doit être simple et à la portée des opérateurs. Le tendeur d'attelage est donc un accessoire de sécurité très important dans les systèmes de liaison des wagons. Dans cette étude, nous considérerons les composants du système d'attelage en se limitant à la manille et l'écrou à tourillons (voir figure 23).

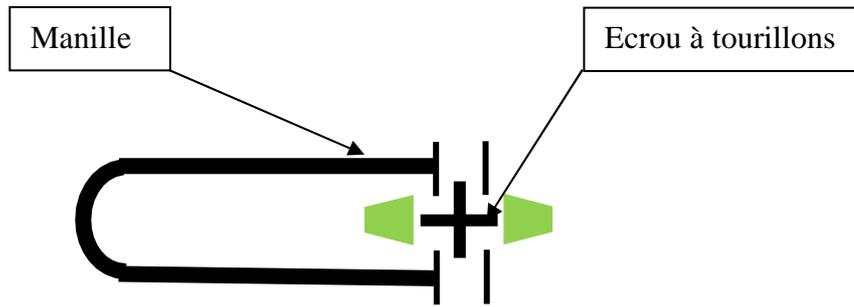


Figure 23 : Schéma de la manille et de l'écrou à tourillons assemblés

III.4 Analyse du dessin de la manille

- ❖ **Forme** : ce composant est en forme de U et comme toute chape, il participe à une articulation entre deux organes qui ne sont pas destinés à accomplir des tours entiers (pivotement). Pour supporter et guider en rotation, la manille est munie de deux paliers. La section de la manille est ovale, avec une distance entre centres de 4 à 5 mm.
- ❖ **Tolérances** : les intervalles de tolérances sont l'ordre de (0 ; - 0,5) mm et (0 ; - 1) mm à la section ovale de la partie cintrée, variables aux bras de (0 ; - 1) mm à (0 ; + 2) mm, de (0 ; + 2) mm à l'écartement du cintrage et de (+1,5 ; - 0,5) mm à l'écartement des deux bras, de (0 ; - 2) mm sur la longueur des bras.
- ❖ **Alésages 51 H13** : le diamètre est compris entre 50 et 80 mm donc H13 équivaut à un intervalle de tolérance IT de (+460 ; 0) μm .
- ❖ **Tolérance géométrique de symétrie** ($\overline{\equiv}$) **des alésages 51 H13** : tolérance de position et symétrie signifiant que le plan médian de l'alésage doit être compris entre deux plans parallèles distants de 2 mm et disposés symétriquement par rapport au plan médian de la bordure de 95 mm.
- ❖ **Etat de surface** : une seule exigence sur l'état de surface est prescrite, il s'agit des états de surfaces des alésages qui doivent être de $R_a = 12,5$ c'est à dire l'état moyen arithmétique du profil R_a de limite supérieure 12,5 μm ; il peut être obtenu par procédé d'usinage.

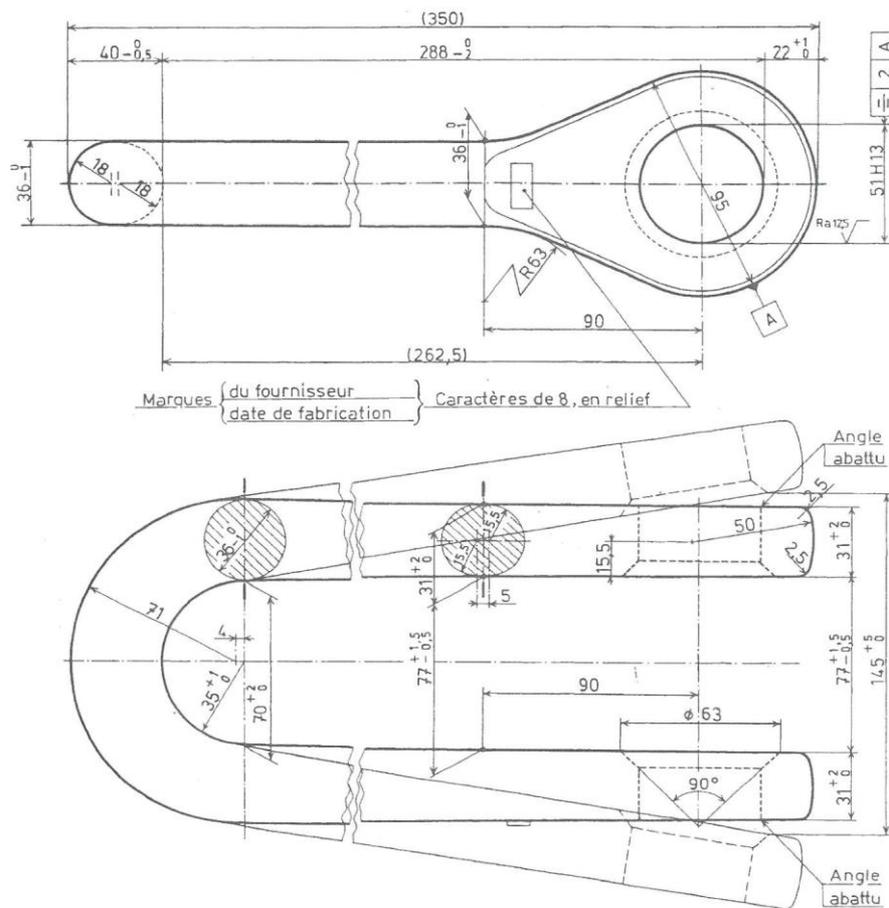


Figure 24 : Dessin de définition de la manille [20].

III.5 Analyse du dessin de l'écrou à tourillons (voir Figure 25)

❖ **Forme** : composant du tendeur d'attelage, en forme de cube prolongé par des axes sur les côtés opposés et possédant un taraudage très spécifique, à profil rond, débouchant sur deux autres cotés.

❖ **Profil rond 50 Rd x 7 grand jeu** : c'est un profil très arrondi, il réduit au maximum les concentrations de contrainte et résiste très bien aux grands efforts et aussi aux chocs.

Rd est le symbole du profil rond, **50** est le diamètre nominal et **7** est le pas.

Le pas de 7 n'étant pas normalisé, nous avons choisi le pas de **6** qui est normalisé.

Cette indication peut être complétée par le sens du filetage : "à gauche" ou "à droite" et aussi par une précision sur la qualité de l'ajustement : "sans jeu", "jeu moyen", "grand jeu". Dans notre cas, le taraudage est avec "grand jeu". La forme cubique de cet écrou est aussi caractérisée par les arrondis et les chanfreins importants donnés aux arêtes (4 et 5 mm) et aux axes (2,5 mm) ainsi qu'à l'entrée du trou (120°). Ces arrondis sont destinés

surtout à faciliter les montages, la prise du profil rond et les manipulations du composant et du tendeur.

- ❖ **Tolérances** : sur la hauteur de 70, l'intervalle de tolérance est de $\pm 0,5$ mm; sur la largeur de 80, l'intervalle de tolérance est de $(0; + 2)$ mm; sur la largeur, le long des axes, cote 76, l'intervalle de tolérance est de $(0; - 0,5)$ mm
- ❖ **Axes 50 b13** : à l'inverse de la manille, l'intervalle de tolérance b13 est directement donné dans le dessin de l'écrou à tourillons IT $(- 0,180; - 0,570)$ μm . Il s'agit d'une tolérance très réduite qui nécessite une attention particulière à la fabrication.
- ❖ **Tolérance géométrique de perpendicularité** (\perp) des deux cotés de l'écrou cubique de 0,5 mm par rapport au trou taraudé à profil rond de DN 50, c'est une tolérance large.
- ❖ **Etat de surface Ra 12,5** : là aussi, une seule exigence d'état de surface est prescrite, il s'agit des états de surfaces des axes qui doivent être de $Ra = 12,5$ c'est à dire l'état moyen arithmétique du profil Ra de limite supérieure 12,5 μm ; il peut être obtenu par procédé d'usinage.

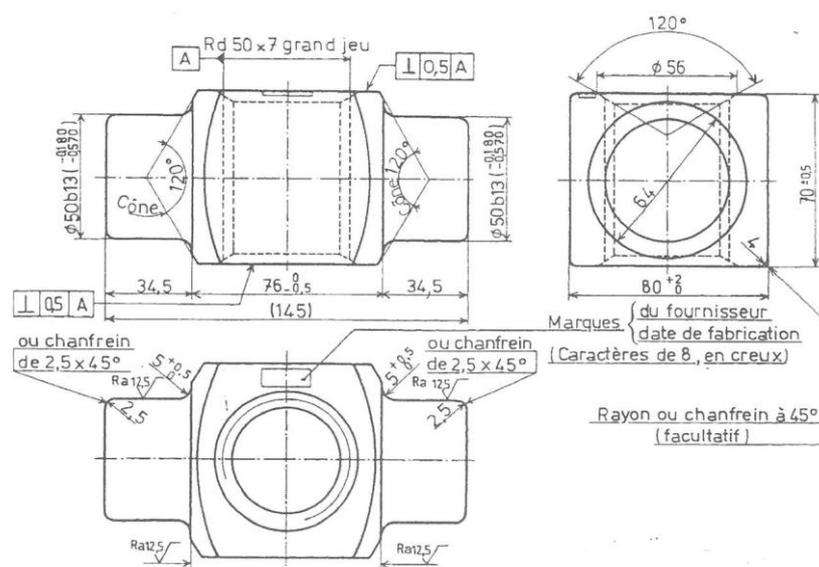


Figure 25 : Dessin de définition de l'écrou à tourillons [20].

III.6 Matériau

Pour la fabrication de la manille et de l'écrou à tourillons, L'entreprise souhaite utiliser l'acier **42CD4**, acier de construction possédant les caractéristiques suivantes [23] :

- Aptitude à la mise en forme par forgeage et aux traitements thermiques,
- S'apprête bien à usinable,

- Présente une bonne résistance à l'usure et au frottement,
- Procède un cœur ductile (souplesse interne) qui lui permet de réduire la vitesse de propagation des fissures,

Tableau 10 : composition chimique [21]

%C	%Cr	%Mo	%Ni	%Cu	%Si	%S	%P	%V	%Fe
0,32-0,42	0,9-1,20	0,15-0,3	< 0,01	< 0,01	< 0,1	< 0,005	< 0,01	< 0,01	Compl.

III.6.1 Caractéristiques sans traitement thermique

Structure ferrite + perlite homogène, la taille de grain indice 6 ($\approx 78 \mu\text{m}$) [21].

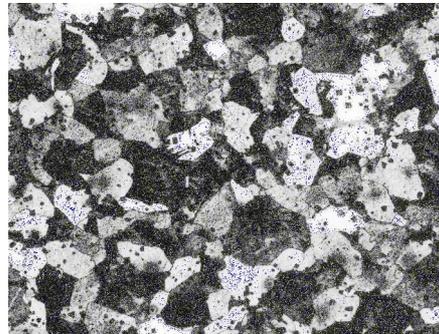


Figure 26 : Structure micrographique de l'acier sans traitement thermique (agr. x 200) [21].

Les propriétés mécaniques sont comme suite [21] :

- Traction : $R_m \geq 500 \text{ MPa}$
 $R_{p0,2} \geq 250 \text{ MPa}$
 $A\% \geq 20 \%$
- Dureté : 140 HV
- Rugosité : $R_a < 1 \mu\text{m}$

III.6.2 Caractéristiques avec trempe et revenu

Structure martensitique homogène, la taille de grain indice 6 ($\approx 80 \mu\text{m}$) [21]

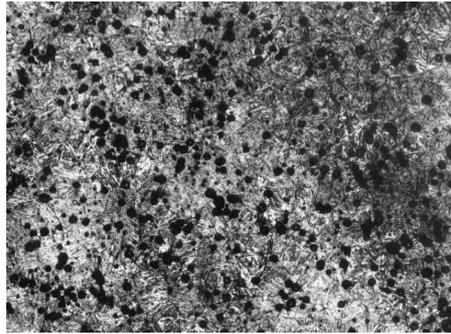


Figure 27 : Structure micrographique de l'acier avec trempe et revenu (agr. x 200) [21].

Propriétés mécaniques sont comme suite [21] :

- Traction : $R_m \geq 1650 \text{ MPa}$
 $R_{p0,2} \geq 1150 \text{ MPa}$
 $A\% \geq 5 \%$
- Dureté : 490 HV ou 45 HRC
- Rugosité : $R_a < 1 \mu\text{m}$

Le comportement en traction du 42CD4 est représenté sur la figure 28.

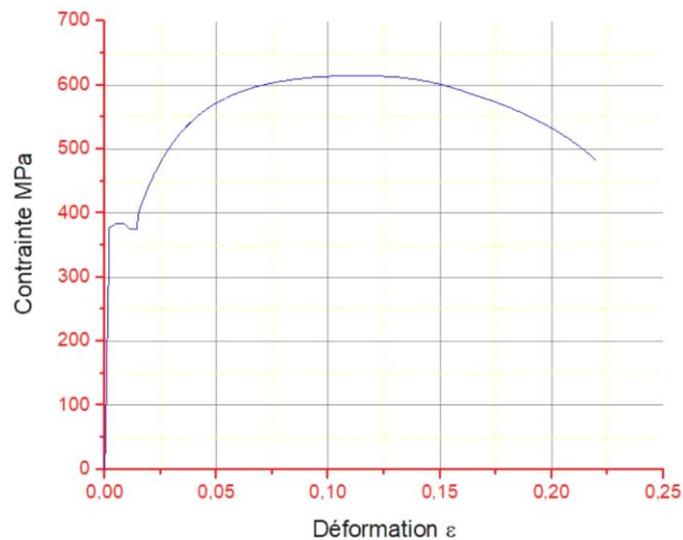


Figure 28 : Courbe de traction d l'acier 42CD4 [22].

III.6.3 Prise en compte de l'effet de la température sur le comportement mécanique

Dans le cas des aciers alliés et des alliages des métaux non ferreux sous effet de la température, on observe figure 29 [24] :

- L'allongement à la rupture qui croît en général d'une manière monotone

- La limite d'écoulement et la résistance limite présentant une telle décroissance monotone.

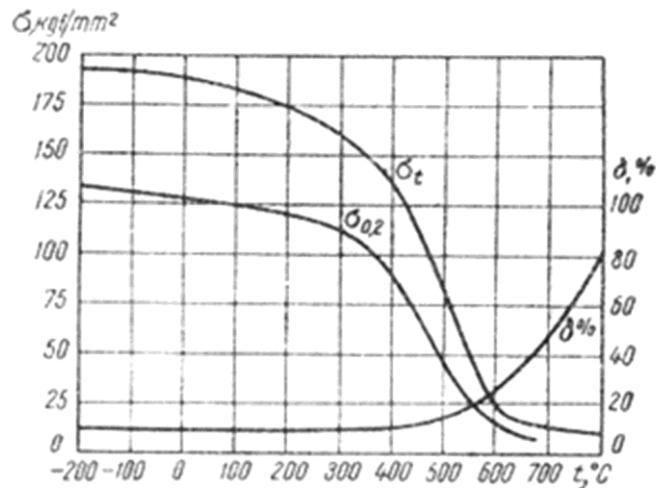


Figure 29 : Evolutions de la limite d'écoulement $\sigma_{\epsilon, t}$, de la résistance limite σ_t et de l'allongement à la rupture δ par rapport à la température [24].

La température de formage est un paramètre important dans la mise en forme de pièces métalliques, elle influence principalement la valeur de la limite d'élasticité (**figure 30**). Une mise en forme à chaud consiste à déformer plastiquement une pièce, en opérant dans un domaine de température en rapport avec la température de fusion T_m (température du solidus) de l'alliage métallique [25].

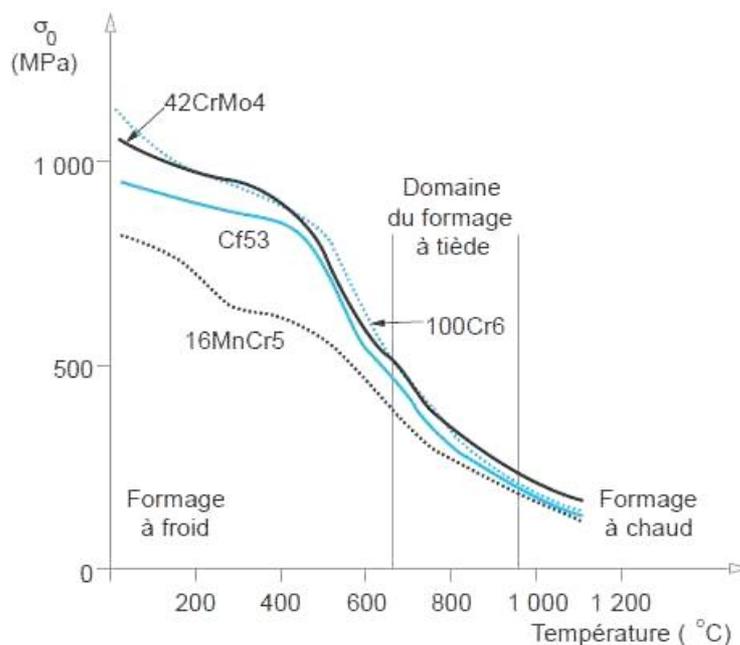


Figure 30 : Evolution de la limite élastique de certains aciers avec la température T [25].

IV.1 Introduction

Après l'analyse fonctionnelle et technologique du tendeur d'attelage à vis, la manille et l'écrou à tourillons, les processus suivants sont retenus :

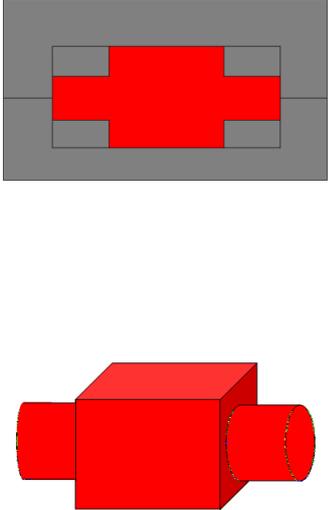
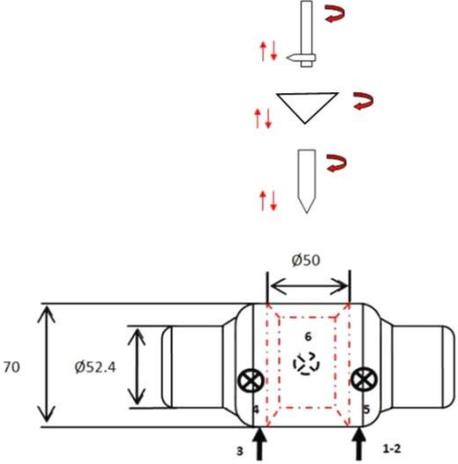
- Forgeage à chaud à partir de bruts laminés, avec matrices de mêmes formes, afin d'obtenir un arrangement plus rallongé de leurs fibres leur conférant une meilleure dureté et résistance à la traction et aux chocs bien significatives ; la manille doit être forgée ouverte et déployée.
- Usinage des surfaces de contact, c'est à dire les axes de l'écrou à tourillons (50 b13), le taraudage à profil rond (50 Rd x 7) et les alésages de la manille (51 H13).
- Cintrage de la manille avec un rayon de (35+18) mm, réalisé en deux phases.
- Assemblage de la manille et de l'écrou à tourillons durant la deuxième phase de cintrage.

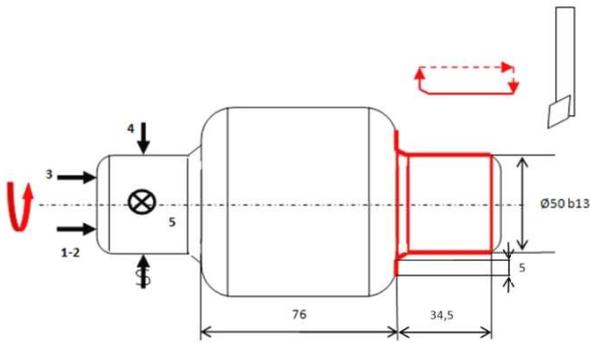
IV.2. Proposition des gammes opératoire de fabrication

Cette partie est consacrée à la proposition des gammes opératoires relatives aux pièces considérées dans cette étude. Le contenu de ces gammes couvre les principales étapes de fabrication., nécessitant un paramétrage des opérations à exécuter. Du fait de la nature très diversifiée des opérations de fabrication, les études menées ont fait appel à diverses disciplines, à savoir la métallurgie, le transfert de chaleur.

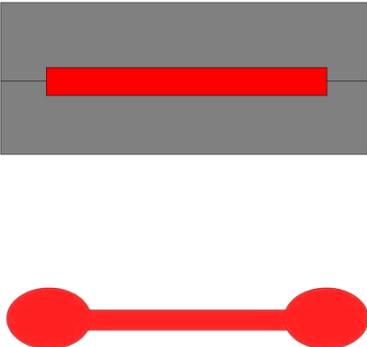
IV.2.1 Gamme opératoire de fabrication de l'écrou à tourillon

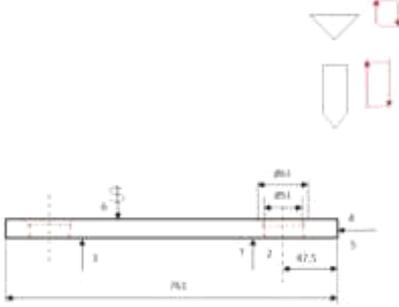
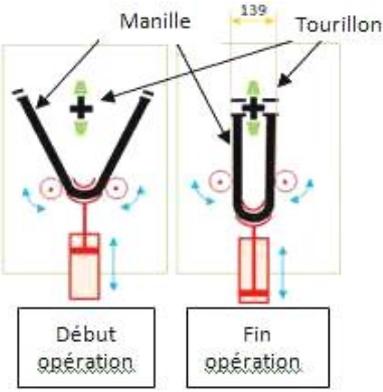
N° Phase	Opération	M.O	Croquis
100	Découpe de l'ébauche L = 135mm l = 90mm h = 80mm	Scie automatique	
200	Chauffage de l'ébauche T = 1100°C [26]	Four à induction	

<p>300</p>	<p>Forgeage (matrices fermées)</p> <p>Ø52.4 mm L 78.4 mm</p>	<p>Presse (voir section IV.2)</p>	
<p>400</p>	<p>Refroidissement</p>	<p>A l'air</p>	
<p>500</p>	<p>Grenailage</p>	<p>Grenailleuse à air comprimé. Billes en acier Ø 0.3mm [27].</p>	
<p>600</p>	<p>Perçage trous débouchant fileté Rd 50 × 7 grand jeu – Perçage trou Rd 50 × 7 grand jeu – Filetage rond au grain – Chanfreinage des trous Ø 56mm à 120°</p>	<p>Centre d'usinage à CN</p> <ul style="list-style-type: none"> - Foret Ø 51mm - Barre de filetage - Fraise conique monoblocs 120° à Ø 90mm 	

700	Profilage des 2 épaulements de l'écrou à tourillons Ø 50mm b13 (-0,18; -0,57) et 76mm (0; -0,5)	Centre d'usinage à CN - Outil à manche pour le tournage - Plaquettes de tournage	
-----	---	--	--

IV.2.2 Gamme opératoire de fabrication de la manille et d'assemblage avec l'écrou

N° Phase	Opération	M.O	Croquis
100	Débitage ébauche laminée (rondin) Ø 48mm et de L 650mm	Scie automatique ou Scie à disque	
200	Chauffage du rondin T = 1100°C [26]	Four à induction	
300	Forgeage à chaud (matrices fermées)	Presse (voir section IV.2)	
400	Refroidissement	A l'air	
500	Grenailage	Grenailleuse à air comprimé. Billes en acier Ø 0.3mm [27].	
600	Perçage-chanfreinage à	Centre d'usinage à CN	

	chaque coté de l'ébauche – Perçage des trous $\varnothing 51\text{mm}$ H13 – Chanfreinage des trous $\varnothing 63\text{mm}$ à 90°	<ul style="list-style-type: none"> - Foret $\varnothing 51\text{mm}$ - Fraise conique monobloc 90° à $\varnothing 85\text{mm}$ 	
700	Chauffage de la manille $T = 800^\circ\text{C}$ [26]	Four à induction	
800	S/Phase 1: Cintrage manille - écart = 145mm S/Phase 2 : Assemblage manille et écrou à tourillons - Ecart extérieur = 139mm	Dispositif de cintrage	

IV.3 Détermination des paramètres de la gamme

Afin de compléter la proposition des gammes opératoire relatives aux pièces considérées, nous procédant dans cette partie au calcul des différents paramètres des opérations à réaliser. Cependant, du fait des hypothèses considérées et des simplifications adoptées, les valeurs calculées restent à titre indicatif.

IV.3.1 Propriétés géométriques et physiques des pièces

Après calcul les propriétés physiques et géométriques de la manille et du tourillon sont regroupées dans le tableau suivant :

Tableau 4 : Propriétés géométriques de la manille et du tourillon.

Pièce	Masse (Kg)	Surface (m^2)	Volume (m^3)
Manille	9 kg	$141143,33 \times 10^{-6} \text{ m}^2$	$1153013,775 \times 10^{-9} \text{ m}^3$
Ecrou à tourillons	4,37 kg	$44833 \times 10^{-6} \text{ m}^2$	$561012,5 \times 10^{-9} \text{ m}^3$

Il y a lieu de préciser que les calculs effectués plus haut (tableau 4) reposent sur l'approximation des géométries de la manille et du tourillon par la décomposition en formes plus simples. On considèrera que les valeurs sont approximatives et renseignent principalement sur l'ordre de grandeur.

Tableau 5 : Propriétés physiques de l'acier 42CrMo4 [28].

Densité ρ (kg/m ³)	Module élastique σ_{ϵ} (MPa)	Coefficient du Poisson ν	Chaleur spécifique c (J.kg ⁻¹ .°C ⁻¹)	Température de fusion (°C)
7800	200	0.3	477	1530

IV.3.2 Calcul du temps de refroidissement

Afin de pouvoir calculer le temps de refroidissement des deux éléments considérés, il est nécessaire de considérer les hypothèses suivantes :

- température uniforme sur toute la surface S
- température uniforme dans le volume de la pièce

Le calcul du temps de refroidissement se fait selon l'équation suivante [29] :

$$T = 2\tau \ln(10) \approx 4.6\tau \quad (1)$$

Dans laquelle, τ représente la constante de la durée de refroidissement de la pièce, cette constante donne l'ordre de grandeur de la durée de refroidissement [29] :

$$\tau = \frac{M \cdot c}{h \cdot S} \quad (2)$$

Dans laquelle :

M : masse de la pièce en (kg);

c : Chaleur spécifique de l'acier en (J.kg⁻¹.k⁻¹);

h : Conductivité thermique de l'acier en (W.m⁻².k⁻¹);

s : surface de la pièce en (m²);

A partir de là, on calcule les temps de refroidissement :

	Manille	Tourillon
Convection forcée (h=46)	49 min	1h 17 min
Convection libre (h=10)	3h 44 min	5h 53 min

IV.3.3 Calcul de la force de forgeage

Le forgeage proposé à la manille est à matrice fermée appelé aussi forgeage à la matrice d'impression. Il est effectué dans des matrices qui font l'impression de la pièce. Dans l'étape intermédiaire, le brut initial se déforme partiellement en donnant une forme presque équivalente à la pièce. Pendant la fermeture complète de la matrice, l'empreinte est entièrement remplie de brut déformé et se déplace un peu plus hors de l'empreinte pour former un flash.

L'équation utilisée pour le forgeage à matrice ouverte plus tôt peut être utilisée pour le forgeage à matrice fermée, c'est-à-dire [30] :

$$F_f = K_f \cdot \sigma_\epsilon \cdot A \dots \dots \dots (3)$$

ou F_f - est la force dans l'opération de forgeage en daN;

K_f - est le facteur de forme de forgeage.

σ_ϵ - Limite d'élasticité ou contrainte d'écoulement en daN/mm²;

A - est la section projetée de la pièce en mm²;

La valeur de K_f est utilisée pour tenir compte des différentes formes de pièces. Le tableau ci-après montre les valeurs typiques de K_f utilisées pour le calcul de la force [30].

Tableau 6 : récapitulatif des valeurs du coefficient K_f .

Forme de la pièce	(K_f)	Forme de la pièce	(K_f)
Matrice d'impression :		Forgeage sans flash :	
Formes simples avec flash	6.0	Frappe (surfaces supérieure et inférieure)	6.0
Formes complexes avec flash	8.0	Formes complexes	8.0
Formes très complexes avec flash	10.0		

- Selon le graphe (**Figure 30**) , les valeurs de la limite d'élasticité ou contrainte d'écoulement considérées dans cette étude sont :

$\sigma_1 = 500 \text{ MPa}$; $\sigma_2 = 300 \text{ MPa}$; $\sigma_3 = 250 \text{ MPa}$; $\sigma_4 = 200 \text{ MPa}$; $\sigma_5 = 150 \text{ MPa}$.

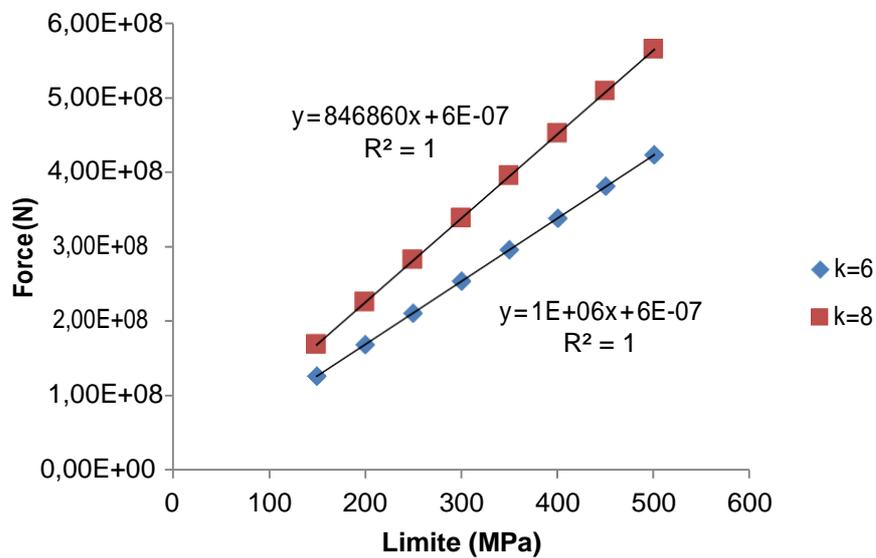


Figure 31 : relation entre la limite élastique et la force de forgeage dans le cas de la manille

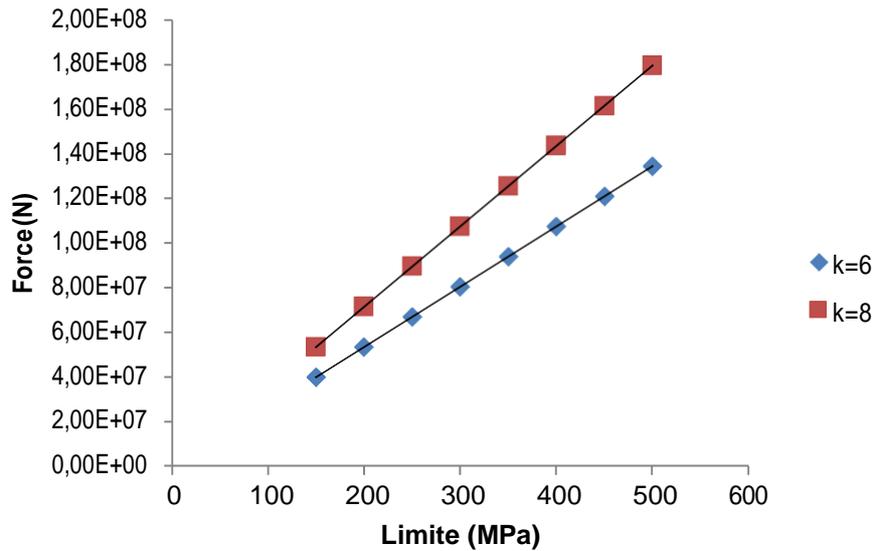


Figure 32 : relation entre la limite élastique et la force de forgeage dans le cas du tourillon

La relation entre la force de forgeage et la limite élastique est linéairement proportionnelle.

	Manille	Tourillon
K=8	$F = 846860\sigma_e - 3.10^{-7}$	$F = 268998\sigma_e$
K=6	$F = 10^6\sigma_e$	$F = 358664\sigma_e$

Tableau 7 : Expressions des relations linéaires entre la force de forgeage et la limite élastique

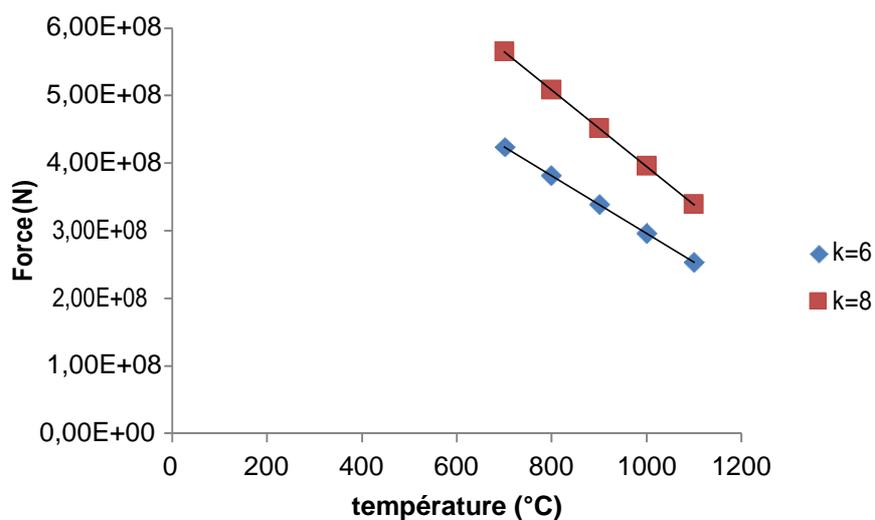


Figure 33 : évolution de la force de forgeage en fonction de la température cas de la Manille

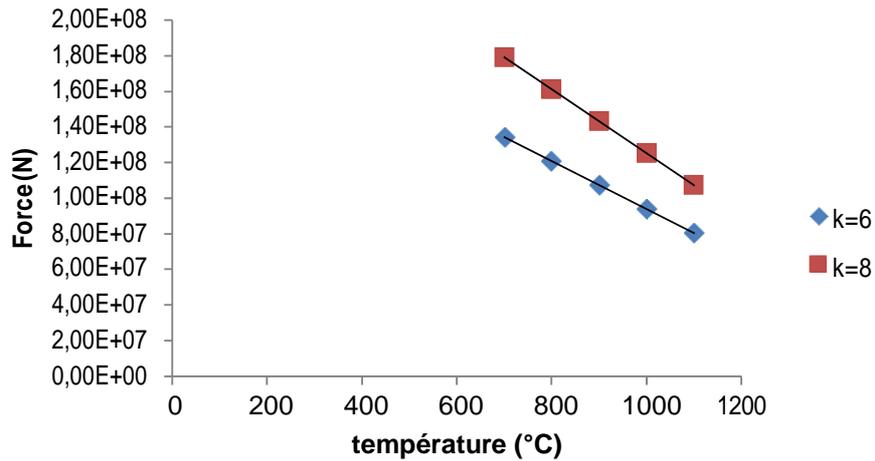


Figure 34 : évolution de la force de forgeage en fonction de la température cas du tourillon.

La relation entre la force de forgeage et la température est linéairement proportionnelle.

	Manille	Tourillon
K = 8	$F = - 423430\sigma_e + 7.10^8$	$F = - 134499\sigma_e + 210^8$
K = 6	$F = - 564573 \sigma_e + 10^9$	$F = - 179332\sigma_e + 310^8$

Tableau 8 : Expressions des relations linéaires entre la force de forgeage et la Température.

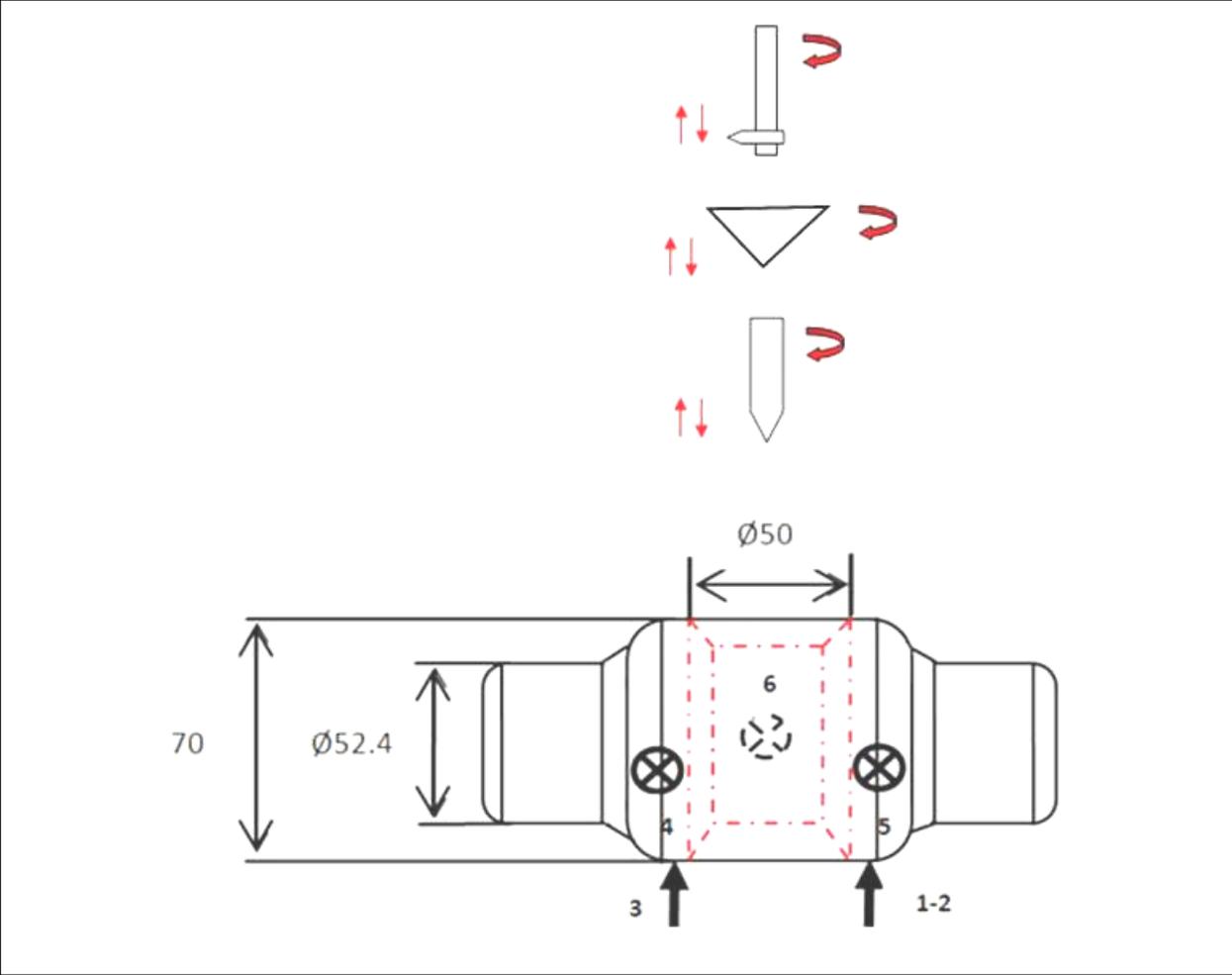
IV.4 Proposition des contrats de phase d'usinage de la manille et de l'écrou à tourillon

Le paramétrage proposé au niveau des gammes présentées ci-dessous sont issues d'un calcul effectué sur la base du dessin de définition et choix de paramètres de coupes [32, 39, 40]. Les détails de calcul sont présentés en annexe.

IV.4.1 Contrat de la phase 600 d'usinage de l'écrou à tourillons [33]

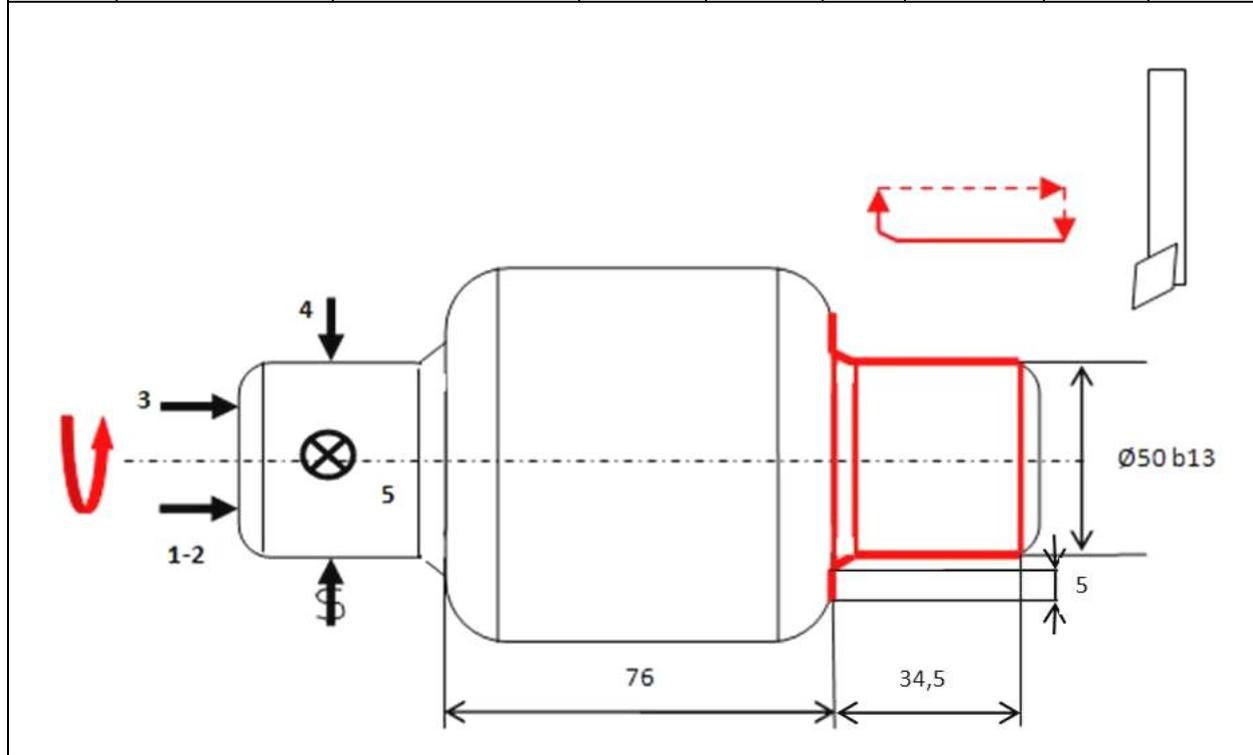
Nom :		Contrat de phase	Classe : /					
			Date :					
Pièce : Ecroû à tourillons		Phase : 600 Usinage: Perçage trou débouchant fileté Rd 50 × 7 grand jeu Machine : Centre d'usinage à CN	Doc :					
Matière : 42CD4								
Nombre : /								
N°	Désignation des opérations	Outils Montage Vérification	Paramètres de coupe					
			V _c m /min	f mm/tr	a _p mm	N tr/min	Tt min	Lub
610	Perçage trou Ø 47	Outil : Foret à plaquettes indexables en carbure Adduction interne de liquide de coupe Montage : Etau de fixation Vérification : Pied à coulisse	155	0.11	-	1050	0,89	Oui
620	Chanfreinage des trous Ø 56 à 120°	Outil : Fraise conique monoblocs HSS (Ø 90mm, 120°) Montage :	10	0,1	2	55	11,63	Oui

		<p>Etau de fixation</p> <p>Vérification :</p> <p>Mesureur de chanfreins à 120° digital intérieur</p>						
630	<p>Taraudage à profil rond type API Round Casing and Tubing</p>	<p>Outil :</p> <p>Barre de filetage type MMT, avec plaquettes en carbure revêtu type 16 IR060RD</p> <p>Montage : Etau de fixation</p> <p>Contrôle :</p> <p>Calibre lisse à limite (Tampon)</p>	100	<p>0,34</p> <p>0,33</p> <p>0,31</p> <p>0,30</p> <p>0,29</p> <p>0,27</p> <p>0,26</p> <p>0,24</p> <p>0,22</p> <p>0,18</p> <p>0,16</p> <p>0,10</p>	3	650	33,84	Oui



Nom :		Contrat de phase	Classe : /					
			Date :					
Pièce : Ecroû à tourillons		Phase : 700 Usinage: Profilage des épaulements de l'écrou à tourillons Ø 50 b13 (-0,18; -0,57) et 76 (0; -0,5) Machine : Centre d'usinage à CN	Doc :					
Matière : 42CD4								
Nombre : /								
N°	Désignation des opérations	Outilsage Montage Vérification	Paramètres de coupe					
			V _c m /min	f mm/tr	a _p mm	N tr/min	Tt min	Lub
710 et 720	Profilage des épaulements d'un coté et de l'autre coté de l'écrou à tourillons Ø 50 b13 (-0,18; -0,57) et 76 (0; -0,5)	Outil : Outil de tournage à plaquettes rhombiques à 55° en carbure revêtu Montage : Mandrin 3 mors Vérification : Palmer						
	1ère passe		380	0,25	0,8	2200	1,18	Oui

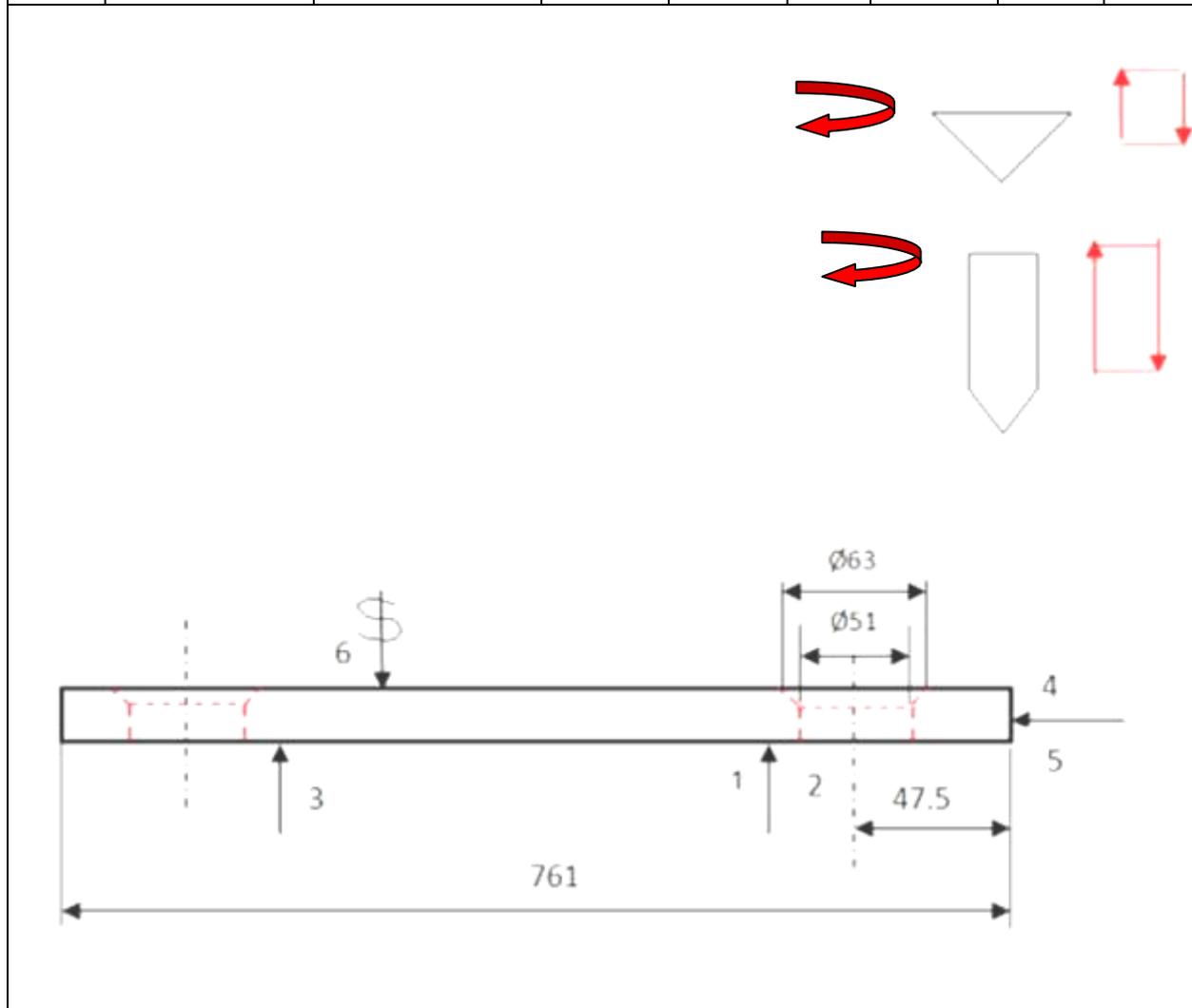
($a_p = 0,8 \text{ mm}$)							
2ème passe ($a_p = 0,4 \text{ mm}$)		440	0,15	0,4	2550	0,85	Oui



IV.4.2 Contrat de la phase 600 d'usinage de la manille [33]

Nom :		Contrat de phase	Classe : /					
			Date :					
Pièce : Manille		Phase : 600 Usinage : Perçage et chanfreinage de chaque coté de l'ébauche	Doc :					
Matière : 42CD4								
Nombre : /		Machine : Centre d'usinage à CN						
N°	Désignation des opérations	Outillage Montage Vérification	Paramètres de coupe					
			V _c m /min	f mm/tr	a _p mm	N tr/min	Tt min	Lub
610	Perçage des trous Ø51H13	Outil : Foret à plaquettes indexables en carbure Adduction interne de liquide de coupe Montage : Table percée et bride de serrage Contrôle : Tampons	155	0.11	-	1000	0,60	Oui
620	Chanfreinage	Outil :	10	0,1	2	50	14,2	Oui

des trous Ø 63 à 90°	<p>Fraise conique monoblocs HSS (Ø 85mm et 90°)</p> <p>Montage : Table percée et bride de serrage</p> <p>Vérification : Mesureur de chanfreins à 90° digital intérieur</p>						
-------------------------	--	--	--	--	--	--	--



V. 1 Introduction

L'objectif de ce chapitre est de proposer un dispositif de cintrage-montage de la manille et de l'écrou à tourillon. L'obtention de la forme U de la manille est une étape délicate dans la fabrication, car elle combine sa mise en forme et le montage simultanément. Il est nécessaire donc d'effectuer un cintrage scindé en deux sous phases pour faciliter l'opération d'assemblage.

V. 2 Schéma du dispositif de cintrage, tiré de la gamme opératoire

L'exécution de l'opération de cintrage-montage nécessite l'action d'un vérin hydraulique et un guidage par deux galets assurant le respect des angles de pliages. L'extrémité du vérin comporte un demi-galet constituant la forme arrondie de la manille. L'ensemble est monté sur une table fixe, figure 35.

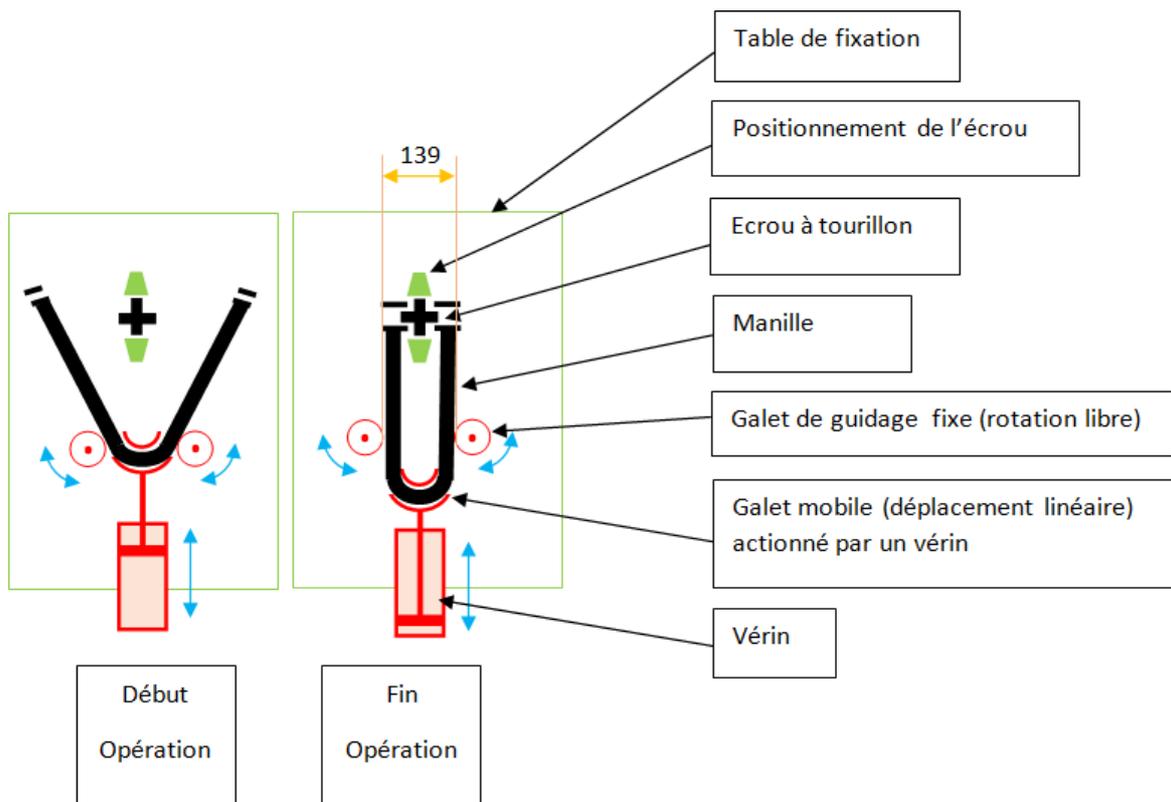


Figure 35 : Schéma du dispositif de cintrage et d'assemblage de la manille et de l'écrou à tourillons.

V.3 Aspect géométrique de l'opération de cintrage

La manille possède deux diamètres (40 mm et 36 mm). Longueur de la manille développée elle est égale à la développée de l'arc de la manille (calculée par rapport à l'axe neutre) augmentée de deux fois la longueur du bras de la manille, soit, 832,7 mm.

Concernant le diamètre de tête du vérin, il est égal au diamètre intérieure de la manille, c-à-d 70 mm. Par rapport au diamètre des galets, on propose une valeur de 70 mm. La distance entre les galets, elle est égale 212 mm.

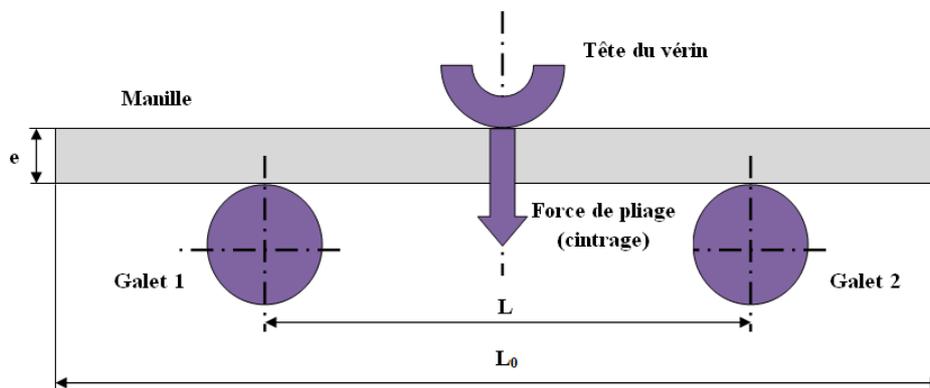


Figure 36 : Aspect géométrique, 1ère opération (position initiale du vérin)

V.4 Choix du vérin

Un vérin est un organe de conversion d'énergie hydraulique en énergie mécanique de translation. Il permet de développer un effort très important avec une vitesse très précise. On considère généralement que les fuites internes de ces organes (vérins) sont généralement négligeables, et donc leur rendement volumétrique est proche de 1 [34]. Il existe différents types de vérins [36] :

- les vérins à simple effet, avec ou sans récupération interne;
- les vérins à double effet, à simple tige, à double tige ou différentiels. Ils peuvent être sans amortissement ou avec amortissement fixe ou variable dans l'un ou les deux sens;
- les vérins télescopiques, à simple ou à double effet. Ils permettent de développer de grandes courses en occupant peu de place en position repliée.

Les éléments qui constituent le vérin sont :

- Piston 1
- Tige 2
- Chambre côté sans tige 3

- Chambre côté avec tige 4.

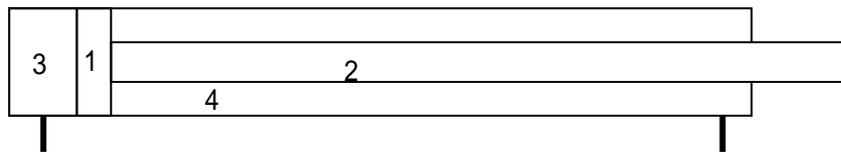


Figure 37 : schéma d'un vérin [35].

Du point de vue des normes, nous avons [36].

- Les courses normalisées sont les suivantes (en mm) : 25, 50, 80, 125, 400, 500, 600, 800, 1 000, 1 250, 1 500, 2 000 et 2 500. Les vérins dotés de courses différentes peuvent être fabriqués sur demande.
- Pour les diamètres des pistons, on a les valeurs suivantes (en mm): 25, 32, 40, 50, 63, 80, 100, 125, 160, 200, 250, 320, 400
- Pour les diamètres des tiges : 12, 16, 18, 22, 28, 36, 45, 56, 70, 90, 110, 140, 180, 220, 280. Les vérins d'autres diamètres peuvent également être fabriqués sur demande

Pour choisir un vérin approprié à pour une utilisation déterminée, il est essentiel d'examiner ses caractéristiques. Les principales caractéristiques sont [36] :

- la pression de service
- le diamètre du piston
- le diamètre de la tige
- la course utile de la tige
- le système de fixation du vérin

La figure 43 donne la représentation schématique d'un vérin à double effet, avec ses caractéristiques principales [36] :

- diamètres du vérin (D) et de la tige (d),
- course maximale du piston et donc de la tige,

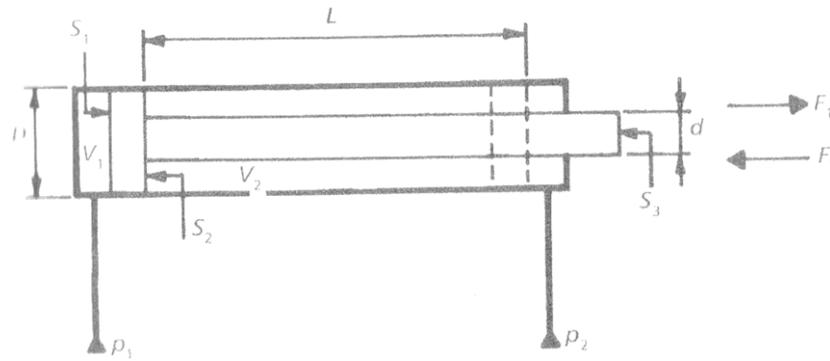


Figure 38 : Représentation schématique d'un vérin à double effet [36].

- sections du piston du côté sans tige (S_1), utile du piston du côté tige (S_2), et de la tige (S_3),
- pressions d'alimentation de la chambre 1 (p_1) et de la chambre 2 (p_2),
- volumes côté sans tige (V_1) et côté avec tige (V_2),
- forces exercée par le vérin en sortie (F_1) et exercée par le vérin en entrée (F_2).

V.5 Détermination de la force F développée par le vérin

La force admissible du vérin doit être supérieure à la force de pliage de la manille. Celle-ci est déterminée par le relation de pliage qui tient compte de la contrainte d'écoulement ou la limite d'élasticité, de l'épaisseur de la pièce et de l'ouverture de pliage. Les contraintes admissibles relatives au 42CD4 considérées sont :

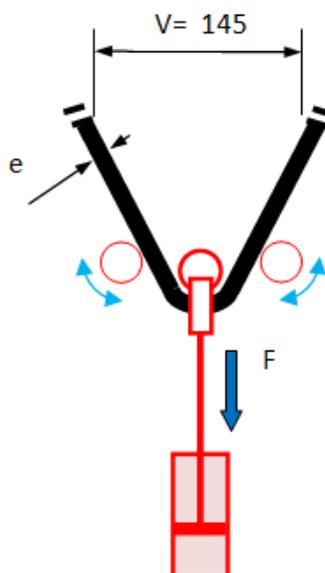


Figure 39 : Schéma de cintrage de la manille

V. 6 Calcul de la force du vérin

L'opération de cintrage s'apparente à une flexion simple sur une poutre à section circulaire. Cependant, dans notre cas la déformation de la poutre dépasse la limite élastique. Il s'agit donc, de choisir un vérin qui développe une force d'une intensité capable d'engendrer une contrainte dans la poutre qui soit supérieure à la limite élastique.

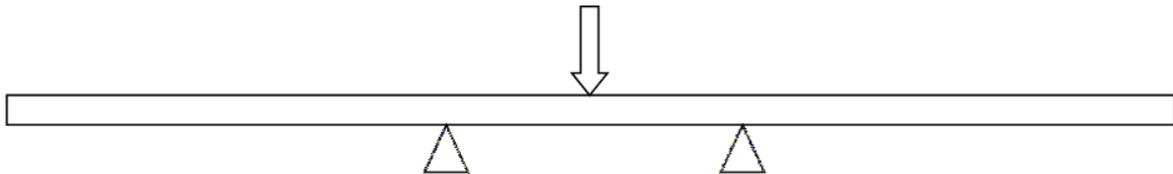


Figure 40 : Modélisation de l'opération de cintrage

En considérant la pièce brute comme une poutre, il est possible de modéliser l'opération de cintrage comme indiqué sur la figure ci-dessus. La force nécessaire pour que la contrainte atteigne la limite élastique est égale dans ce cas $F = 20000$ N, pour une limite élastique égale à 200 MPa.

Le calcul se fait sur la base de la comparaison de la contrainte engendrée par la flexion à celle de la limite élastique du matériau. La contrainte due à la flexion est calculée comme suite :

$$\sigma = \frac{M_f}{I_x} \cdot y \dots\dots\dots (4)$$

Où :

M_f : Moment fléchissant

I_x : Moment d'inertie

y : dans notre cas c'est le rayon

la force appliquée nécessaire pour que la contrainte dépasse la limite élastique et égale à 20000N. Pour un diamètre du piston du vérin de 100 mm, Il est nécessaire d'injecter une pression supérieure à 6,5 bar.

V.7 Détermination de la course du vérin

Concernant l'obtention de la forme en (V) de la manille. La course à réaliser par le vérin dépend de l'angle d'ouverture $\beta = 6,73^\circ$. Le complément de cet angle, $\alpha = 83,27^\circ$. X étant la distance entre l'axe du bras de la manille et l'axe du galet.

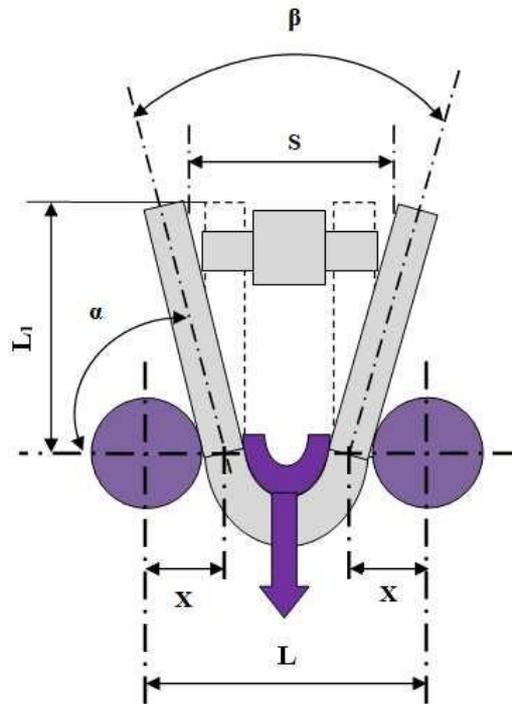


Figure 41 : Aspect géométrique, 2ème Opération (position intermédiaire d'assemblage)

La course du vérin est déterminée géométriquement par le déplacement qui permet de provoquer la déformation jusqu'à l'obtention de la forme en "U". Le déplacement en question est limité par la longueur de la forme en "U" de la manille. Cette longueur est égale à 212 mm.

La course du vérin doit être supérieure ou égale à la distance de déplacement de la manille par rapport aux galets fixes 1 et 2, comme il est représenté dans le schéma ci-après, par les positions initiales et finales de l'axe de tête du vérin par rapport à l'axe commun des galets fixes 1 et 2. En se basant sur la norme, on peut adopter la valeur de 400 mm.

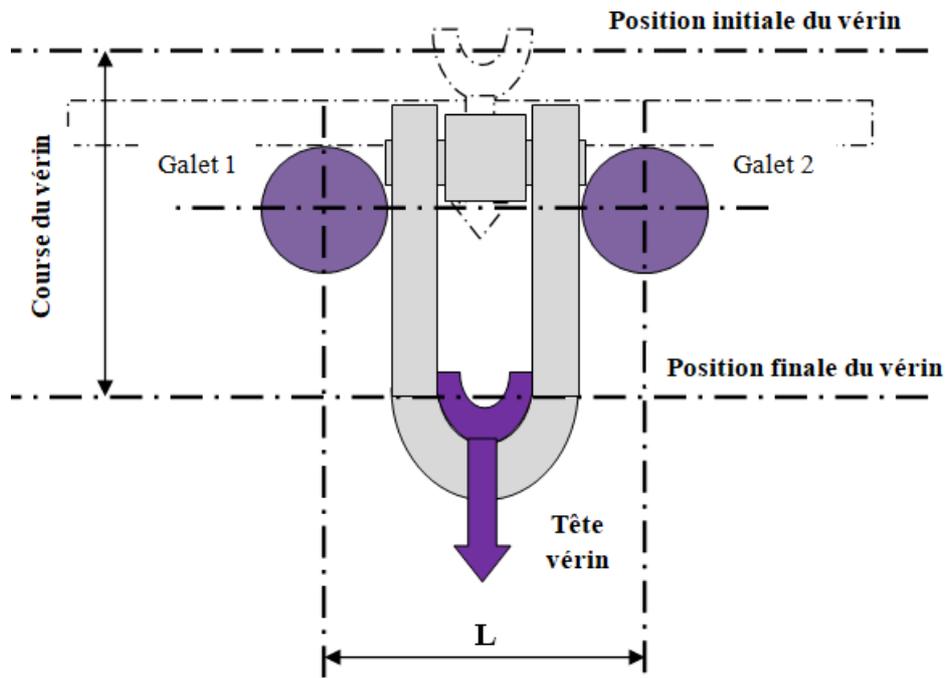


Figure 42 : Aspect géométrique, 3ème Opération (assemblage et position finale du vérin)

Conclusion générale

L'étude présentée dans ce mémoire concerne principalement la proposition d'une gamme opératoire pour la fabrication de deux éléments constituant l'attelage de wagon. La première difficulté rencontrée réside dans l'aspect conception qui possède la particularité de faire appel à plusieurs disciplines, mais aussi, le cadre normalisé au lequel le dispositif d'attelage doit répondre que ce soit sur le plan de conception ou bien de l'exploitation.

La recherche bibliographique menée a permis de mettre en évidence les informations nécessaires pour établir la gamme opératoire. Egalement, la justification de rigueur pour le choix de la nuance utilisée dans cette étude a été appuyé par la littérature.

La description de l'attelage du point de vue technologique a conduit à une définition fonctionnelle des éléments étudiés. Cette dernière est complétée par leurs description technologique.

Les gammes opératoires proposées pour la manille et l'écrou à tourillon comportent les opérations nécessaires à la fabrication. Le paramétrage de ces derniers a été effectué sur la base des dessins de définition fournis par l'entreprise et développé par la recherche bibliographique. Des paramètres, telle que la force de forgeage ont nécessité une représentation graphique. Cette dernière, permet en l'occurrence d'avoir un choix et de bénéficier d'une flexibilité dans l'exécution de l'opération pour une meilleure performance.

La particularité du couple manille-tourillon est que leur fabrication intègre le montage. Cela constitue la seconde difficulté rencontrée. Pour résoudre ce problème, un dispositif de cintrage-montage a été proposé et accompagné par une description géométrique et un choix paramétré du vérin.

Bibliographie

- [1] **Mohamed Karmaoui.** « Procédés de transformation et mise en forme des matériaux ». Polycopié Master I, LMD , Génie des Procédés des Matériaux. Faculté de Chimie Département de Génie Chimique. Université des Sciences et de la Technologie d'Oran Mohamed BOUDIAF. Année Universitaire : 2019-2020.
- [2] **Alexandre Thibault.** « Contribution à l'intégration produit : processus de fabrication, application au domaine de la forge ». Thèse de Doctorat - Génie Industriel, Laboratoire de Génie Industriel et de Production Mécanique - École Nationale Supérieure d'Arts et Métiers (ENSAM), CER de Metz, 2008.
- [3] **Christian Mascle, Walery Wygowski.** «Fabrication avancée et méthodes industrielles – Du dossier produit au dossier fabrication, tome 1». Presses internationales Polytechnique. Canada-Québec. 2012.
- [4] « Le pliage et le cintrage de l'aluminium ». Publication du Centre québécois de recherche et de développement de l'aluminium (CQRDA).
- [5] **N. Nezlioui, D. Larbi.** « Mise e, forme des métaux en feuille- Application à l'emboutissage du bandeau bombé d'une cuisinière ENIEM ». Mémoire de fin d'études en vue de l'obtention du diplôme de Master en Génie Mécanique. Université Mouloud Mammeri - TiziOuzou. 2018.
- [6] **Denis GELIN, Michel VINCENT.** «Eléments de fabrication» Edition ELLIPSES 1995.
- [7] **A. DESSARTHE, H. GUYOT, M. CARAYOL.** «Techniques de fabrication de pièces mécaniques». Guide - CETIM, Etablissement de Nantes 1994.
- [8] **G. Lemasson, L. Blain.** « Matériaux de construction mécanique et électrique - Désignations, classifications, caractéristiques et emplois ». Sixième édition, nouveau tirage. Dunod. Paris 1976.
- [9] **Ibrahim KHOURY.** «Optimisation de la Géométrie de l'Outillage pour les Procédés de forgeage». Thèse de doctorat. Spécialité : Systèmes Mécaniques et Matériaux. Université de Technologie de TROYES. 05 septembre 2008.
- [10] **Pierre DEVALAN.** « Simulation numérique dans le processus de conception de systèmes mécaniques » Techniques de l'ingénieur. Date de publication : 10 janv. 2009
- [11] **Laurent TAPIE.** «Décomposition topologiques des outillages de forge pour la génération de trajectoires UGV» Thèse de doctorat de l'école normale supérieure de CACHAN. Novembre 2007.
- [12] **FORGE.** « Leader mondial pour la simulation des procédés de mise en forme des métaux ». Brochure forge 2019.

[13] **HOUAMDI Imane.** «Fabrication développée d'un essieu ferroviaire». Projet de Fin d'Etude. Master 2 - Fabrication Mécanique et Productique. Université Badji Mokhtar Annaba 2017/2018.

[14] **ZAIME Hamza.** «Etude de fabrication d'une rotule-pivot d'un wagon». Projet de Fin d'Etude. Master 2 - Fabrication Mécanique et Productique. Université Badji Mokhtar Annaba 2017/2018.

[15] **PPIAF. World Bank Group.** «La Réforme des Chemins de Fer : Manuel pour l'Amélioration de la Performance du Secteur Ferroviaire». La Banque mondiale. Deuxième édition : Septembre 2017.

[16] **Charles Parenteau.** «Développement d'un nouveau concept, d'une remorque ultralégère en aluminium : Étude statique et dynamique ». Mémoire présentée en vue de l'obtention de la maîtrise en ingénierie. Université du Québec à Chicoutimi. Mai 2010.

[17] **Clive Lamming - Train Consultant .** « Documentation histoire chemins de fer-Railway history documentation ». Les attelages du chemin de fer.

[18] **Thierry BLANQUET.** « Analyse fonctionnelle ». Collège d'Enseignement Secondaire - Technologie : Classe de 3eme technologie. 2016.

[19] **André CHEVALIER.** "Guide du dessinateur Industriel" Editeur HACHETTE Technique. Edition 2004.

[20] **Documentations de l'entreprise « Ferroviaire » .**

[21] **ALLIANCE-Moulage par injection de poudres.** Fiche technique 42CrMo4.

[22] **SAHOUR Mounir, CHAGOUR Hichem, ARHAB Ali.** «Caractérisation d'un matériau à haute résistance (42 CD 4)». Mémoire de Licence - Option: Génie Des Matériaux. Département de génie Mécanique. Université Badji Mokhtar Annaba. 2017/2018.

[23] **Michel Colombié et coll.** «Matériaux Métalliques». L'usinenouvelle. Série :Matériaux. 2eme édition. Dunod, Paris, 2001, 2008.

[24] **V féodossiev.** «Résistance des matériaux 3^e édition révisée et complétée». édition MIR, 1976.

[25] **Mathieu VAUTROT.** « Étude du comportement mécanique des matériaux dans des conditions étendues de vitesses et de températures : application à l'acier C68 dans le cas d'une opération de formage incrémental ». Thèse Pour obtenir le grade de docteur. Laboratoire Systèmes et Matériaux pour la Mécatronique. l'École Doctorale Sciences et Ingénierie des Systèmes de l'Environnement et des Organisations. Spécialité : Sciences pour l'ingénieur. L'Université de Grenoble. le 14 Décembre 2012.

- [26] **AUBERT et DUVAL.** Fiche technique 42CrMo4.Caractéristiques chauffées.
- [27] **Pierre RENAUD.** « Modélisation numérique du grenailage des pièces initialement cémentées ou carbonitrurées ». Thèse de Doctorat - Sciences des Métiers de l'Ingénieur. l'École Nationale Supérieure d'Arts et Métiers Spécialité " Mécanique et Matériaux " - ParisTech - Centre d'Aix-en-Provence Laboratoire MécaSurf. le 17 juin 2011.
- [28] **Farhat ZEMZEMI.** «Caractérisation de modèles de frottement aux interfaces pièce-outil-copeau en usinage : application au cas de l'usinage des aciers et de l'inconel 718». Thèse en cotutelle. Ecole Nationale d'Ingénieurs de Monastir - Ecole Centrale de Lyon. le 4 décembre 2007.
- [29] **Sophie Mergui.** « Transferts thermiques ». Module 2A101. Licence de mécanique 2eme année. UPMC Université de Sorbonne.
- [30] **R. Ganesh Narayanan,** IITG. Metal forming processes. G.E.Dieter, Mechanical Metallurgy. B.L.Juneja, Fundamental of metal forming processes,2ed. M.P. Groover, Fundamental of modern manufacturing Materials, Processes and systems, 4ed.
- [31] **Bertrand Langrand.** « Matériaux métalliques et lois de comportement dynamiques ». ONERA - V1.01 - Université de Valenciennes et du Hainaut-Cambrésis - Juillet 2007.
- [32] **SANDVIK-Coromant.** « Outils coupants ». Sélection d'outils coupants facile à choisir et simple à utiliser. Catalogue 2019.
- [33] **G. BRANGER.** « Guide du bureau des méthodes ». DESFORGES Paris 1978.
- [34] **Jaxques Faisandier et coll.** « Mécanismes Hydrauliques et pneumatiques ». Industries Techniques. Série Mécanique. 8ème édition. Dunod, Paris, 1999.
- [35] **José Roldan Vilorio.** « Aide-mémoire de pneumatique industrielle ». L'usine nouvelle. Dunod, Paris, 2002, 2006.
- [36] **José Roldan Vilorio.** « Aide-mémoire hydraulique industrielle ». L'usine nouvelle. Dunod, Paris, 2002.
- [37] **Michel RAGE.** « Structures métalliques ». Centre National de Ressources Structures Métalliques.
- [38] **Pierre-Yves Lagrée.** « Le coefficient d'échange h, applications en 1D et aux Ailettes». Cours Mécavenir EPU de Thermique, GM3C. Ecole Polytechnique Universitaire de l'UPMC.
- [39] « Coupe des métaux 1 ». Cours Master I / Fabrication Mécanique et Productique. Département de Mécanique, Université Badji Mokhtar Annaba, 2017/2018.

[40] « Coupe des métaux 2 ». Cours Master I / Fabrication Mécanique et Productique. Département de Mécanique, Université Badji Mokhtar Annaba, 2018/2019.

[41] <https://tu-quincy.fr/codes-de-programmation-iso-machine-num/>.

Calcul des paramètres de coupe de la phase 600 de la gamme opératoire de fabrication de l'écrou à tourillons :

❖ **Perçage trou D 47 pour Rd 50 × 7 grand jeu**

Pour réaliser ce trou, un foret à plaquettes en carbure a été choisi, doté d'une adduction interne de liquide d'arrosage, usinant l'acier au chrome-molybdène traité avec :

Vitesse de coupe $V_c = 155$ m/min

L'avance par tour $f = 0,11$ mm/tr

– **Fréquence de rotation de la broche N (tr/min)**

$$N = \frac{1000 \times V_c}{\pi \times D}$$

ou N : fréquence de rotation de la broche en (tr/min)

V_c : vitesse de coupe en (m/min)

D : diamètre de la pièce usinée en (mm)

– **Temps technologique de perçage T_{tc} (min)**

$$T_{tc} = \frac{k (L + l + d/2)}{f \times N}$$

ou L : longueur d'usinage en (mm)

N : fréquence de rotation de la broche en (tr/min)

f : l'avance par tour en (mm/tr)

l : distance d'approche en (mm)

d : diamètre de l'outil en (mm)

k : coefficient tenant compte du nombre de pénétration de l'outil dans la matière

❖ Taraudage à profil rond, Rd 50 × 7 grand jeu

Pour réaliser ce taraudage, un outil de filetage rond type API Round Casing and Tubing au grain ou barre de filetage type MMT, avec plaquettes en carbure revêtu type 16 IR060RD, a été choisi avec le régime de coupe :

Vitesse de coupe $V_c = 100$ m/min

Profondeur de coupe $a_p = 3$ mm

– **Fréquence de rotation de la broche N (tr/min)**

$$N = \frac{1000 \times V_c}{\pi \times D_n}$$

N : fréquence de rotation de la broche en (tr/min)

V_c : vitesse de coupe en (m/min)

D_n : diamètre nominal

– **Temps technologique du taraudage T_{tc} (min)**

$$T_{tc} = \frac{k n (L + l)}{p \times N}$$

L : longueur d'usinage = (longueur filetage $\times \pi \times D_n$) en (mm)

N : fréquence de rotation de la broche en (tr/min)

l : distance d'approche en (mm)

k : coefficient qui dépend de la vitesse de retour du chariot (= 1, si même vitesse de retour que vitesse de taraudage)

n : nombre de passes

p : pas du filetage

❖ Chanfreinage des trous Ø 56 à 120°

Outil de coupe choisi : fraise conique monoblocs HSS (Ø 90mm et 120°) usinant avec :

Vitesse de coupe $V_c = 10$ m/min

L'avance par tour $f = 0,1$ mm/tr

Profondeur du chanfrein = surépaisseur d'usinage = 4 mm

- **Fréquence de rotation de la broche N (tr/min)**

$$N = \frac{1000 \times V_c}{\pi \times D}$$

N : nombre de tour de la broche en (tr/min)

V_c : vitesse de coupe en (m/min)

D : diamètre de la pièce usinée

- **Profondeur de passe de la fraise a_p (mm)**

$$a_p = z/i$$

a_p : profondeur de passe en (mm)

z : surépaisseur de la surface à usiner en (mm)

i : nombre de passes

- **Temps technologique de fraisage : [T_{tc}] = (centième de minute)**

$$T_{tc} = \frac{k (L + l + d/2)}{f \times N}$$

L : longueur d'usinage en (mm) = **a_p** : profondeur de passe en (mm)

N : fréquence de rotation de la broche en (min)

f : l'avance par tour en (mm)

l : distance d'approche en (mm)

d : diamètre de l'outil au contact de la pièce en (mm)

k : coefficient tenant compte du nombre de pénétration de l'outil dans la matière

❖ Profilage des épaulements de l'écrou à tourillons Ø 50 b13 (-0,18; -0,57) et 76 (0; -0,5)

Pour réaliser cette opération ; un outil de tournage à plaquettes rhombiques à 55° en carbure revêtu a été choisi, usinant les aciers forgés au chrome-molybdène avec le régime de coupe :

<u>1ère passe</u>	<u>2ème passe</u>
<p>Profondeur de passe $a_p = 0,8$ mm Vitesse de coupe $V_c = 380$ m/min L'avance par tour $f = 0,25$ mm/tr Diamètre de l'ébauche (avec surépaisseur) $D_{éb} = 52,4$ mm Diamètre moyen du profil $D_{moy} = 55$ mm</p>	<p>Profondeur de passe $a_p = 0,4$ mm Vitesse de coupe $V_c = 440$ m/min L'avance par tour $f = 0,15$ mm/tr Diamètre de l'ébauche (avec surépaisseur) $\varnothing_{éb} = 50,8$ mm Diamètre moyen du profil $\varnothing_{moy} = 55$ mm</p>

- **Fréquence de rotation de la broche N (tr/min)**

$$N = \frac{1000 \times V_c}{\pi \times D_{moy}}$$

N : fréquence de rotation de la broche en (tr/min)

V_c : vitesse de coupe en (m/min)

D : diamètre de la pièce usinée

- **Temps technologique de profilage T_{tc} (min) de 1ère passe**

$$T_{tc} = \frac{k (L + l) \pi a_p}{f \times V_c}$$

L : longueur d'usinage en (mm)

V_c : vitesse de coupe en (m/min)

f : l'avance par tour en (mm)

l : distance d'approche en (mm)

k : coefficient tenant compte du nombre de pénétration de l'outil dans la matière

a_p : Profondeur de passe en (mm)

Calcul des paramètres de coupe de la phase 600 de la gamme opératoire de fabrication de la manille

❖ Perçage trou Ø 51H13 (IT +460 µm; 0 µm)

On peut réaliser ce trou en une seule passe avec un foret à plaquettes en carbure, à queue cylindrique avec méplat ISO 9766, doté d'une adduction interne de liquide d'arrosage, usinant les aciers forgés au chrome-molybdène et avec :

Vitesse de coupe $V_c = 155$ m/min

L'avance par tour $f = 0,11$ mm/tr

– Fréquence de rotation de la broche du foret N (tr/min)

$$N = \frac{1000 \times V_c}{\pi \times D}$$

N : nombre de tour de la broche en (tr/min)

V_c : vitesse de coupe en (m/min)

D : diamètre de la pièce usinée

– Temps technologique de perçage : $[T_{tc}] =$ (centième de minute)

$$T_{tc} = \frac{k (L + l + d/2)}{f \times N}$$

L : longueur d'usinage en (mm)

N : fréquence de rotation de la broche en (tr/min)

f : l'avance par tour en (mm)

l : distance d'approche en (mm)

d : diamètre de l'outil en (mm)

k : coefficient tenant compte du nombre de pénétration de l'outil dans la matière

❖ Chanfreinage des trous Ø 63 à 90°

Outil de coupe choisi : fraise conique monoblocs HSS (Ø 85mm et 90°) usinant avec :

Vitesse de coupe $V_c = 10$ m/min

L'avance par tour $f = 0,1$ mm/tr

Profondeur du chanfrein = surépaisseur d'usinage = 4 mm

Annexe 1

- **Fréquence de rotation de la broche N (tr/min)**

$$N = \frac{1000 \times V_c}{\pi \times D}$$

N : nombre de tour de la broche en (tr/min)

V_c : vitesse de coupe en (m/min)

D : diamètre de la pièce usinée

- **Profondeur de passe de la fraise a_p (mm)**

$$a_p = z/i$$

a_p : profondeur de passe en (mm)

z : surépaisseur de la surface à usiner en (mm)

i : nombre de passes

- **Temps technologique de fraisage : [T_{tc}] = (centième de minute)**

$$T_{tc} = \frac{k (L + l + d/2)}{f \times N}$$

L : longueur d'usinage en (mm) = **a_p** : profondeur de passe en (mm)

N : fréquence de rotation de la broche en (min)

f : l'avance par tour en (mm)

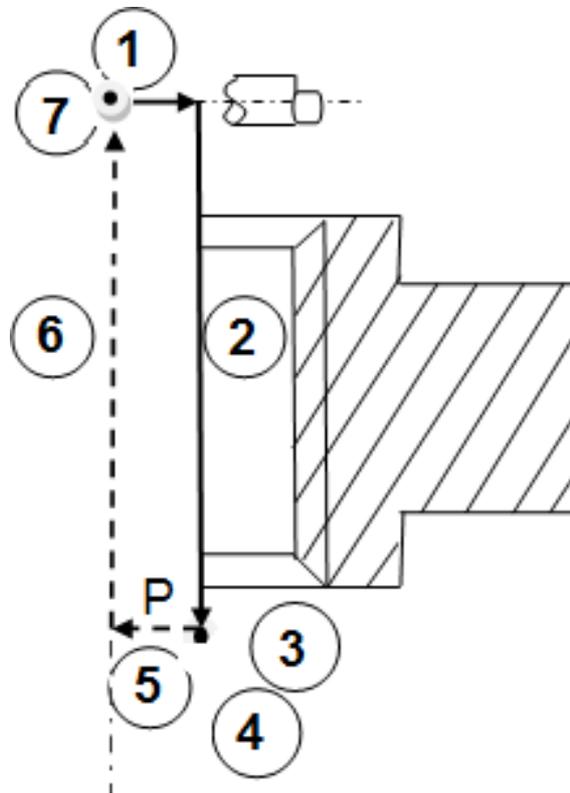
l : distance d'approche en (mm)

d : diamètre de l'outil au contact de la pièce en (mm)

k : coefficient tenant compte du nombre de pénétration de l'outil dans la matière

Proposition d'un programme en G-code pour la réalisation du filetage au grain à profil rond, pas = 7; 1 filet; (plan XY). En ce basant sur la référence suivante [41].

Décomposition du cycle :



Les étapes du cycle :

Étape 1 : Positionnement rapide du porte-grain dans l'axe du trou, puis temporisation de 1,2 seconde pour mise en rotation de la broche.

Étape 2 : Pénétration suivant le pas programmé.

Étape 3 : Temporisation ou 2 tours de broche en fin de filetage.

Étape 4 : Arrêt indexé de la broche à la position 0 du capteur de position.

Étape 5 : Retrait rapide de la valeur P sur les axes du plan et sens définis par le constructeur machine.

Étape 6 : Dégagement à vitesse rapide suivant l'axe de l'outil.

Étape 7 : Repositionnement rapide de l'outil dans l'axe du trou et remise en rotation de la broche.

Programme

N10 TO6 D06 M06 (GRAIN R2)
N20 G00 X100 Y100 Z5
N30 M03 S650
N40 G17 G31 X0 Y0 Z-75 K7 F1 P0,34 EF2
N50 G80 G00 Z5
N60 G31 X0 Y0 Z-75 K7 F1 P0,67 EF2
N70 G80 G00 X0 Y0 Z5
N80 G31 X0 Y0 Z-75 K7 F1 P0,98 EF2
N90 G80 G00 X0 Y0 Z5
N100 G31 X0 Y0 Z-75 K7 F1 P1,28 EF2
N110 G80 G00 X0 Y0 Z5
N120 G31 X0 Y0 Z-75 K7 F1 P1,57 EF2
N130 G80 G00 X0 Y0 Z5
N140 G31 X0 Y0 Z-75 K7 F1 P1,84 EF2
N150 G80 G00 X0 Y0 Z5
N160 G31 X0 Y0 Z-75 K7 F1 P2,10 EF2
N170 G80 G00 X0 Y0 Z5
N180 G31 X0 Y0 Z-75 K7 F1 P2,34 EF2
N190 G80 G00 X0 Y0 Z5
N200 G31 X0 Y0 Z-75 K7 F1 P2,56 EF2
N210 G80 G00 X0 Y0 Z5
N220 G31 X0 Y0 Z-75 K7 F1 P2,74 EF2
N230 G80 G00 X0 Y0 Z5
N240 G31 X0 Y0 Z-75 K7 F1 P2,90 EF2
N250 G80 G00 X0 Y0 Z5
N260 G31 X0 Y0 Z-75 K7 F1 P3 EF2
N270 G80 G00 X0 Y0 Z5
N280 M02