

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

ANNABA BADJI MOKHTAR UNIVERSITY

UNIVERSITE BADJI MOKHTAR ANNABA



جامعة باجي مختار – عنابة-

FACULTE DES SCIENCES DE L'INGENIEUR

DEPARTEMENT DE GENIE MECANIQUE

MEMOIRE

PRESENTE EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME DE MASTER

INTITULE

FABRICATION D'UN MOYEU DE ROUE PAR ESTAMPAGE

DOMAINE : SCIENCES ET TECHNIQUE

FILIERE : GENIE MECANIQUE

SPECIALITE : FABRICATION MECANIQUE ET PRODUCTIQUE

PRESENTE PAR : BOUSSAHA KHALED

DIRECTEUR DU MEMOIRE : DR. BOURENANE RABAH

DEVANT LE JURY

PRESIDENT : Pr BOUCHELAGHEM. A

Prof (UBMA)

EXAMINATEURS : Pr HAIAHEM .A

Prof (UBMA)

Dr NEHAL. A

MCA (UBMA)

Dr BENCHIHEUB. S

MCA(UBMA)

Année 2018-2019

Remerciements

Je tins à remercier Dieu le tout puissant et miséricordieux, qui m' a donné la force et la patience d'accomplir ce modeste travail.

La réalisation de ce mémoire a été possible grâce au concours de plusieurs personnes à qui je voudrai témoigner toute ma gratitude.

Je voudrais tout d'abord adresser toute ma reconnaissance à m' encadreur de ce mémoire, Monsieur **BOURENANE RABAH** , pour sa patience, sa disponibilité et surtout ses judicieux conseils, qui ont contribué à alimenter ma réflexion et pour le temps qu'il a consacré à m'apporter les outils méthodologiques indispensables à la conduite de cette recherche.

Mes vifs remerciements vont également aux membres du jury pour l'intérêt qu'ils ont porté à ma recherche en acceptant d'examiner mon travail et de l'enrichir par leurs propositions.

Je désire aussi remercier les cadres de **FERROVIAL**, qui m'ont fourni les outils nécessaires à la réussite de ce travail et spécialement le **bureau de forge** pour m'avoir donné l'occasion extraordinaire de réaliser mon travail de terrain.

Je voudrais exprimer ma reconnaissance envers mes amis et mes collègues qui m'ont apporté leur soutien moral et intellectuel tout au long de ma démarche.

Sommaire

❖ CHAPITRE I

I-Généralités	1
I-1 Introduction	1
I-2 Historique de Ferroviaal.....	2
I-3 Situation de l'entreprise.....	3
I-4 Gamme de produits	3
I-5 Atouts de FERROVIAL	5
I-6 Organisation de l'entreprise	5
I-7 Effectifs	8
I-8 Description générale de l'entreprise.....	8

❖ CHAPITRE II

II-1 Introduction.....	11
II-2 Définition de forgeage	12
II-3 Type de forgeage	12
II-3-1 Le forgeage à chaud	12
II-3-1-1 Type de forgeage a chaud	13
II-3-1-1-1 Forgeage libre.....	13
II-3-1-1-2 Forgeage par estampage ou matriçage	14
II-3-1-1-3 Forgeage par estampage.....	14
II-3-1-1-4 Forgeage par matriçage.....	14
II-3-1-1-5 Forgeage par laminage circulaire	14
II-3-1-1-6 Extrusion à chaud	15

II-3-2 Le forgeage a froid	15
II-3-2-1 Type de forgeage à froid	15
II-3-2-1-1 Forgeage par extrusion.....	15
II-3-2-1-2 Frappe à froid	16
II-3-2-1-3 Emboutissage	16
II-4 Propriétés des procédés de forgeage	16
II-5 Avantages des procédés de forgeage.....	17
II-6 Inconvénients des procédés de forgeage.....	17

❖ **CHAPITRE III**

III-1 Généralité	18
III - 2 Définition d'estampage	20
III -3 Techniques de fabrication	20
III -3-1 Débitage	20
III -3-2 Chauffage :.....	22
III-3-2-1 Différents modes de chauffage sont utilisés.....	23
III-3-2-1 -1 Chauffage à la flamme	23
III-3-2-1-2 Chauffage électrique	23
III-4 Principe de mise en forme	27
III-5 Les outillages.....	30
III-6 Machines utilisées durant la procédure d'estampage	32
III-6-1 Des machines-outils de déformation par choc (marteaux-pilons)	32
III-6-1-1 Les marteaux pilons 'simple effet'	32
III-6-1-2 Les principaux avantages des pilons	32

III-6-1-3 Les Inconvénients des pilons	33
III-6-2 Les presses mécaniques	34
III-6-2 -1 Les principaux avantages des presses mécaniques	34
III-6-2-2 Les inconvénients des presses mécaniques	35

❖ CHAPITRE IV

IV- Partie pratique.....	36
IV- 1 Dessin de définition de la pièce.....	37
IV -2 Dessin de définition de la matrice	38
IV-3 Dessin de définition de l'insert inférieur.....	39
IV-4 Dessin de définition de l'insert supérieur.....	40
IV-5 Dessin de définition de la pièces usiner	41
IV-6 Analyse technique de la matière « moyeu.....	42
IV-6-1 Analyse technique de la matière XC38.....	42
IV-6-1-1 Désignation de la matière	42
IV-6-1-2 Composition chimique.....	42
IV-6-1-3 Propriétés	42
IV-6-1-4 Domaines d'application	42
IV-6-1-5 Caractéristiques mécaniques moyennes (état normalisé).....	42
IV-6-1-6 Soudage	43
IV-6-1-7 Livraison	43
IV-6-2 Analyse technique de la matière XC48.....	43
IV-6-2-1 Désignation de la matière	43
IV-6-2-2 Composition chimique	43

IV-6-2-3 Propriétés	43
IV-6-2-4 Domaines d'application	43
IV-6-2-5 Caractéristiques mécaniques moyennes (état normalisé	44
IV-6-2-6 Soudage	44
IV-6-2-7 Livraison	44
IV-7 Analyse technique de la matrice.....	44
IV -8 Diagnostic de la gamme réelle de production du moyeu de roue pour dumper	45
IV -9 La gamme de production du moyeu	45
IV -10 Analyse de la gamme de production	46
IV -11 Gamme de forgeage journaliere	48
Conclusion	50

Liste de figures :

Figure I.1 : produits ferroviaires	4
Figure I.2 : Organigramme de l'entreprise (FERROVIAL)	7
Figure II.1 : exemple d'une pièce forgée	13
Figure II.2 : forgeage libre	14
Figure II.3 : forgeage a froid d'un lopin	15
Figure II.4 : formation de plis	16
Figure III.1 : principe de l'estampage.....	20
Figure III.2 : Opération de cisailage.....	21
Figure III.3 : Évolution de la contrainte d'écoulement d'un acier en fonction de la température (d'après Forging Handbook)	22
Figure III.4 : Coupe schématique de la calamine sur du fer doux et sur un acier XC 45 (d'après CEMEF)	23
Figure III.5 : Principe du chauffage par induction (d'après EDF).....	24
Figure III.6 : Principe de fonctionnement d'une chauffeuse à induction (d'après EDF)	25
Figure III.7 : Principe du chauffage par conduction(D'après EDF).....	26
Figure III.8 : Principe de fonctionnement d'une chauffeuseà conduction (d'après EDF)	26
Figure III.9 : Température de surface de l'outillage en deux pointsrelativement proches	29
Figure III.10 : Exemple d'outillage à gravures multiple	31
Figure III.11 : Exemple d'un blocs matrices	31
Figure III.12 : Clavettes et grain de centrage.....	32
Figure III.13 : Marteau Pilon simple effet.....	34

Figure III.14 : presse mécanique	35
Figure IV.1 : Dessin de definition de la piece.....	37
Figure IV.2 : Dessin de la matrice	38
Figure IV.3 : Dessin de l'insert inferieur	39
Figure IV.4 : Dessin de l'insert superieur.....	40
Figure IV.5 : Dessin de la piece usiner	41
Figure IV.6 : Photographie montrant l'ilot de production de moyeux de roues a) Four ; b) Presse et c) Marteau pilon	45
Figure IV.7 : Insert Inferieur.....	46
Figure IV.8 : supérieur.....	46
Figure IV.9 : Vue avant des outils sur la presse: <u>A</u>) Ebavurage et B) Poinçonnage	47
Figure IV.10 : Vue arrière de la presse: a) bavures b) Bouts de poinçonnage .	48
Figure IV.11 : Vue générale des résultats de mise en forme :a) Pièces rebutées; b) lot de pièce estampées ; c) Lot de lopins cylindrique.....	48
Figure IV.12 : pieces forgées	50
Figure IV.13 : pièce usinée.....	50

Liste de tableaux :

Tableau I.1 : Principaux procédés maîtrisé par Ferroviaal	5
Tableau I.2 :Effectifs de Ferroviaal	8
Tableau IV.1 : Désignation de la matière	42
Tableau IV.2 : Composition chimique de la pièce.....	42
Tableau IV.3 : Caractéristiques mécaniques moyennes	43
Tableau IV.4 :Désignation de la matière.....	43
Tableau IV.5 : Composition chimique de la pièce	43
Tableau IV. 6 : Caractéristiques mécaniques moyennes	44
Tableau IV.7 : Gamme de forgeage	50

Chapitre I

Généralité

I-Généralités :

I-1 Introduction :

Dans la très dure bataille que notre pays livre pour s'imposer face aux problèmes liés à l'industrie, surtout en cette période de crise économique il est impératif que chacun de nous se sente responsable et conscient de cette situation.

Dans ce contexte et dans le cadre de mémoire de fin d'étude on se propose de faire une étude qui on pense contribue a la fabrication dans l'industrie.

Cette dernière constitue l'ensemble des techniques qui permettent de concevoir, de fabriquer ou de mettre en œuvre des pièces, des produits, des machines, des outillages, des systèmes de production sans oublier qu'elle représente un exceptionnel réservoir de croissance et de création d'emplois pour l'économie algérienne.

Ces produits sont dans tout notre environnement, dans les objets du quotidien comme dans les éléments de très haute technologie, et pour cela les techniciens et ingénieurs doivent posséder le bagage technologique de base qu'il faut sans cesse compléter et actualiser pour suivre l'évaluation des techniques de fabrication.

L'Algérie après avoir affronté une période cruciale relative à la guerre de libération se devait sortir de l'impasse, ce qui a conduit le choix politique à l'époque vers une industrialisation du pays. Elle doit jouer un rôle important dans le développement de l'économie nationale.

C'est ainsi que plusieurs projets industriels ont vu le jour à travers les wilayas du pays et particulièrement dans la wilaya de ANNABA qui a bénéficiée du grand complexe sidérurgique (El-Hadjar) autour duquel plusieurs unités industrielles se sont greffées telle que l'entreprise « FERROVIAL ».

L'industrie se base maintenant beaucoup plus sur l'usinage des pièces, des engins et d'autres gammes variées de produits pour les secteurs agricoles et les

travaux publics, mais le problème qui faut prendre en compte est la difficulté de l'usinage des pièces à partir des matériaux à dureté élevée. Pour résoudre ce problème, des techniciens et ingénieurs ont développé de nouvelles techniques et méthodes pour accomplir leur but dans les délais et selon les normes.

I-2 Historique de Ferroviail:

FERROVIAL, Entreprise Publique Economique de Constructions de Matériels et Equipements Ferroviaires, spécialisée dans la fabrication et l'entretien de tous types de wagons de transport de marchandises et des produits de forge.

Sa création remonte à 1936 sous l'appellation de Société Nord Africaine (SNAF) qui construisait à l'origine des wagons de marchandises et des pièces de maintenance pour l'armée française.

Après sa nationalisation elle fut rattachée à la " SN. METAL " sous le nom de " Unité Allélick " du nom de la région de son implantation à Annaba.

Elle prend la dénomination de " FERROVIAL " en 1983 à la faveur de la restructuration des grandes entreprises pour devenir une EPE / Spa au passage à l'autonomie financière en 1989.

Depuis sa création, FERROVIAL a étendu ses activités en 1972 par la construction d'une forge universelle destinée à la fabrication de pièces de forge pour le wagonnage et d'autres outils et articles de quincaillerie pour l'agriculture, la maçonnerie, la menuiserie et autres lui permettant ainsi de prendre des parts de marché de plus en plus importantes dans ce domaine.

En 1980 FERROVIAL a procédé à la modernisation de son outil de production par l'installation d'une chaîne de fabrication de bogies et en se dotant d'autres équipements modernes tels que les tours à commande numérique.

Dans le cadre de la diversification des produits, FERROVIAL a lancé plusieurs nouveaux produits tels que la bétonnière de 750 litres, la centrale à béton, la niveleuse, les ballons d'eau, les bennes tisseuses, les vide fosses, et les conteneurs en plus d'une modeste expérience dans le montage des voitures 4 x 4 et la construction navale (sardinier et avitailleur)

I -3 Situation de l'entreprise:

Ferrovial occupe une surface de 22 ha dont 5 ha de surface couverte, elle est située dans la zone d'Allélick sur la route d'El Hadjar dans la commune d'El Bouni -w- d'Annaba, une partie de cette surface, soit 5,5 ha a été affectée à la JV CITAL qui a construit le site de montage des rames de tramways entré en exploitation en 2014 et dont Ferroviaal est actionnaire à hauteur de 41%.

Le site est globalement bien conçu sauf qu'il est très ancien, sa construction remonte aux années 1930 du temps de DIETRICH. Les bâtiments et les servitudes sont vieillissants et ne répondent plus aux exigences actuelles.

L'entreprise est bien desservie. En effet, il existe un embranchement avec la voie ferrée SNTF, une voie de communication sur la route express à double voies la RN 16 et le port marchand n'est qu'à 05 kilomètres de l'entreprise.

I-4 Gamme de produits :

FERROVIAL a pour objet : les études, la recherche et le développement, la production, et la commercialisation:

- De matériels et équipements ferroviaires : wagons de tous types, locomotives de manœuvre, appareils de voie, voitures de transport de voyageurs et métro)
- Le wagonnage :

Et on distingue plusieurs types de wagons fut construits dans ce département :

- Wagons plats pour le transport de containers, de tube, bobine et autre produit .

- Wagons tombereaux : transport de caisses et colis
 - Wagons couverts : transport de marchandises sensibles au soleil et intempéries ainsi que le transport d'animaux.
 - Wagons citernes : pour le transport de liquide et carburant
 - Wagons trémie : transport de minerai, phosphate, céréales, sel sucre et charbon.
- De matériels de travaux publics : bétonnière (500L et 750L), centrale à béton, brouette.
- De produits de diversification et de sous-traitance (mécanique, métallique),
- De produits forgés: quincaillerie (pelle, pioche, houe, serre-joint arrache clou, martellerie) et pièces de sous-traitance et de co-traitance.



Figure I.1 : produits ferroviaires

Elle maîtrise les procédés principaux suivants :

Débitage	Découpage mécanique, plasma et oxycoupage...
Usinage	Tournage, fraisage, alésage, rectification...
Formage	Pliage, cintrage, emboutissage...
Montage	Assemblage mécanique ou par soudure ...
Parachèvement	Grenailage, sablage et finition à la peinture...
Forgeage	Estampage, pressage, refoulement ...

Tableau I.1 : Principaux procédés maîtrisés par Ferrovia

I -5 Atouts de FERROVIAL :

Possède un savoir-faire dans la transformation de l'acier,

Possède une grande expérience dans la fabrication des équipements ferroviaires (wagons, locomotive de manœuvre, P.D.R pour locomotive de grande ligne), des produits forgés, de matériels de travaux publics (bétonnière, centrale à béton), ainsi que de la sous-traitance sans concurrence locale (jusqu'à ce jour) pour le matériel ferroviaire.

Dotée de ces atouts, on peut dire que FERROVIAL présente un avantage certain pour le tissu industriel national et international, notamment le développement ferroviaire grâce à son savoir-faire qu'elle a pu développer au fil des années et aux activités en perspective.

I -6 Organisation de l'entreprise:

L'Entreprise FERROVIAL, est une entreprise non affiliée rattachée directement au ministère de l'industrie et des mines et est structurée en mono unité et regroupe les directions centrales suivantes :

- **Direction Générale**
- Direction Finances/ Comptabilité ;
- Direction Commerciale ;
- Direction des Ressources Humaines & Moyens ;
- Direction Approvisionnements ;

- Direction Recherches et innovations ;
- Direction études et développements ;
- Direction technique ;
- Direction de production ;
- Direction de la Programmation et du Contrôle Général.

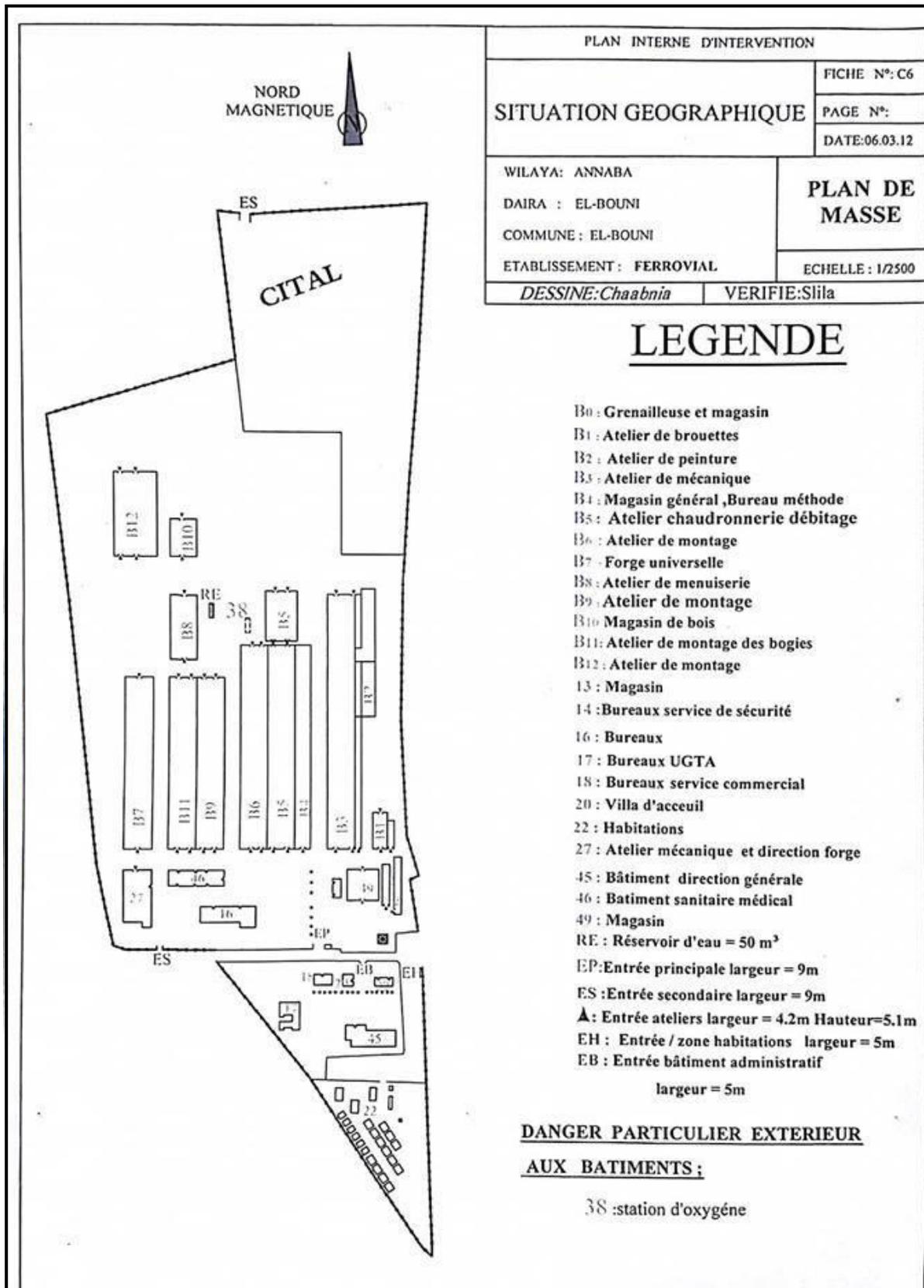


Figure I.2 : Organigramme de l'entreprise (FERROVIAL)

I -7 Effectifs :

A fin mars 2018, FERROVIAL emploie 495 travailleurs : 405 permanents et 80 avec contrats à durée déterminée.

Ces effectifs son répartis par fonction comme suit :

Production	279	Cadres	93
Soutien	137	Maitrise	72
Administration	79	Exécution	330

Tableau I.2 : Effectifs de Ferrovia

I-8 Description générale de l'entreprise

Les ateliers existants dans l'entreprise sont :

B1 : Atelier de fabrication de brouettes par les procédés de l'estompage.

B2 : peinture des wagons.

B3 : Atelier mécanique dans lequel se fait l'usinage des pièces.

- Des tours parallèles universels
- Des tours Semi-automatique et automatique
- Des tours A recopier a l'aide de gabarits
- Des tours Verticales à tourelle a revolé
- Des tours à outils multiples
- Des tours à commande numérique
- Des fraiseuses largement universelles
- Des fraiseuses horizontales
- Des fraiseuses A recopier a l'aide de gabarits

- Des unités d'usinage : machine spéciale pour l'usinage des pièces de wagons
- Des mortaiseuses
- Des perceuses
- Des machines de taillages (par fraise mère, par outil pignon, par fraise bouchons)
- Des rectifieuses (plane, sans centre..)

B4 : magasin général dans lequel peut s'équiper des différentes sortes de matériel (pièces moteur, etc..).

B5 : Atelier de chaudronnerie et de débitage, ce dernier alimente tous les autres ateliers de l'usine en lopins et tôles déformées, on effectue les opérations suivantes :

- Le forgeage
- Le traçage
- Le découpage
- Le formage

B6 : Atelier de chaudronnerie.

B7 : Atelier de forge.

B8 : Atelier de montage mécanique.

B9 : Atelier de chaîne automatique.

B10 : Magasin de bois.

B11 : Atelier de démontage des bougies.

B12 : Atelier d'entretien et réparation des wagons.

B13 : Atelier de stockage.

B14 : Bureau de service de sécurité.

B15 : Atelier d'entretien.

B16 : Atelier mécanique auto.

B16 : Bureau UGTA.

B18 : Château d'eau.

B19 : Bureaux.

B20 : Poste de garde.

B21 : Infirmerie.

B22 : Bureau et magasin de forge.

B23 : Cellule de l'unité.

B24 : Bloc administratif(B.E).

B25 : Direction de production.

La Forge

Le processus technologique utilisé au niveau de la forge de FERROVIAL, permet l'estampage à chaud et à froid.

L'estampage est une opération de forgeage en trois coups (ébauche, finition et ébavurage). Cette opération consiste à former, après chauffage des pièces brutes par pression entre deux outillages nommés « matrices », que l'on vient fixer sur des presses (hydrauliques, mécaniques...). Le déformage à chaud et à froid permet la fabrication des pièces métalliques par emboutissage, pliage au moyen des poinçons et matières sur une presse.

Les pièces estampées ou pliées sont utilisées dans des différents secteurs de l'économie nationale : chemin de fer, engins roulants, bâtiments et travaux publics, motocycles, outillages à main, machinisme agricole, hydraulique...

Chapitre II

Forgeage

II-1 Introduction

Dans un système de mise en forme à chaud des pièces métalliques par forgeage, la variance et la cadence des pièces à obtenir sont très contrariantes. En effet, aussi bonne est la sûreté de fonctionnement des équipements, ils présentent une spécificité dans les outillages de production. Ces derniers ont la particularité d'être soumis simultanément à des sollicitations intenses d'origine thermiques et mécaniques. Il y a très peu d'applications industrielles qui réunissent sur un même composant des conditions de travail aussi sévères. De plus pour chaque pièce à forger, Il faut concevoir, fabriquer, calibrer et aligner son outillage composée de matrices supérieure et inférieure dont lesquelles sont réalisées les empreintes de la pièce à fabriquer. Ainsi, l'outillage représente couramment 10 à 15% des coûts de fabrication des pièces et même plus quand les paramètres d'entrée de mise en forme ne sont pas respectés. Par ailleurs, la gestion de la durée de vie des outillages est un problème critique dans toutes les entreprises de forgeage à chaud, particulièrement en matriçage. Et compte tenu de l'importance des coûts des outillages, les forges sont le plus souvent dotées d'un atelier de préparation et de maintenance de ces outillages.

Une bonne compréhension des difficultés auxquelles doivent faire face les forgerons ainsi que la recherche des solutions nouvelles plus performantes, nécessitent de prendre en compte :

- La nature du matériau à déformer (les propriétés chimiques et mécaniques, variance)
- La nature et le niveau des sollicitations supportées par les outils
- Les modes d'endommagement qui en résultent
- Les caractéristiques des matériaux d'outillage, des traitements et revêtements superficiels, ainsi que leur évolution avec la température de service des outils
- Les exigences de coût, de délai, de qualité, spécifiques à chaque application

II-2 Définition de forgeage :

Le forgeage est un ensemble de techniques permettant d'obtenir une pièce mécanique en appliquant une force importante sur une pièce de métal, à froid ou à chaud, afin de la contraindre à épouser la forme voulue. Il implique un dispositif de frappe (marteau, masse, martinet ou marteau-pilon) et un support (enclume ou matrice). Il ne permet pas d'obtenir la même précision que l'usinage, mais est utilisé pour des pièces qui requièrent une forte résistance (boulonnerie, outillage).

Mais les pièces sont beaucoup plus résistantes aux contraintes mécaniques car la déformation de la matière permet d'obtenir des phénomènes physiques avantageux, tant au niveau microscopique que macroscopique.

Ce procédé permet d'obtenir, à partir d'une pièce de formes géométriques simples (souvent un lopin issu de laminage), une pièce aux formes géométriques extérieures complexes.

Pour la plupart des procédés de forgeage, le matériau de la pièce est porté à l'*état chaud*. Selon les opérations de forgeage, la température est comprise entre 650°C (afin d'éviter la création de fissures lors des déformations) et 1100°C (température inférieure à la température de fusion).

II-3 Type de forgeage :

Il existe deux types de forgeage qui sont le forgeage à chaud et le forgeage à froid :

II-3-1 Le forgeage à chaud :

Pièce de métal chauffé à haute température puis formé par compression dans un moule. La pièce est refroidie très rapidement pour augmenter sa rigidité. Effectivement, les molécules encore en mouvement ont encore des relations entre elles et lors du refroidissement les molécules sont figées instantanément avec encore leur liaisons. La pièce forgée est ébavurée de son oxyde de fer suite à son

échauffement (souvent avec du sable). La pièce est ensuite polie pour enlever toute les imperfections.



Figure II.1 : exemple d'une pièce forgée

II-3-1-1 Type de forgeage a chaud :

II-3-1-1-1 Forgeage libre :

L'outil est alors un marteau pilon. La pièce à l'état chaud est positionnée entre deux enclumes de matériaux ferreux ou non ferreux et frappée par l'outil. Ce procédé de forgeage permet une mise en forme précise, une mise au diamètre, la réalisation d'un épaulement.

Ce procédé s'applique à la réalisation de produits unitaires ou en petites séries, de quelques kilogrammes à plusieurs dizaines de tonnes ,de forme géométrique généralement simple .Dans la mesure ou les outillages de préforme sont utilisés ,ils laissent à la déformation du métal deux degrés de liberté.

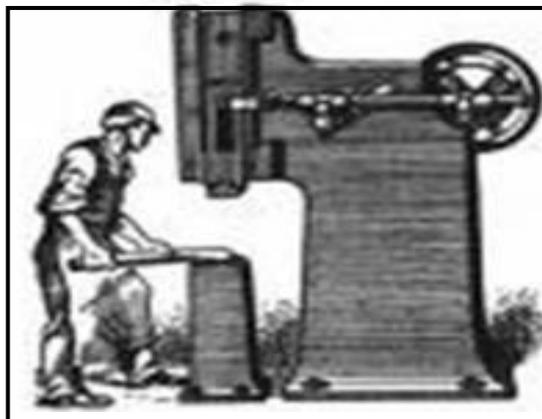


Figure II.2 : forgeage libre

II-3-1-1-2 Forgeage par estampage ou matriçage :

-Estampage ou matriçage, l'outil est alors un moule métallique actionné par une presse mécanique ou hydraulique. Ce procédé de forgeage souvent utilisé en moyenne ou grande série (du fait du coût de l'outillage) permet d'obtenir des formes géométriques complexes et précises.

II-3-1-1-3 Forgeage par estampage :

Procédé que permet de réaliser dans des amatrices reproduisant la forme recherchée à l'usinage près de pièces en acier ou en alliage de nickel ou en alliage de cobalt.

Ce procédé s'applique à la réalisation de pièces de quelques grammes à cent kilogrammes (ou même quelquefois plus) en séries plus ou moins importantes mais suffisantes pour le lancement de la fabrication des matrices d'estampage. Dans ce procédé l'écoulement du métal est limité par l'outillage et en dispose d'aucun degré de liberté.

II-3-1-1-4 Forgeage par matriçage :

Procédé analogue à l'estampage mais ce terme est employé de préférence dans le cas de l'aluminium, du magnésium du cuivre et de leurs alliages. Ce procédé s'applique à la réalisation de pièces de quelques grammes à quelques centaines de kilogrammes en séries identiques à celles de la forge par estampage.

II-3-1-1-5 Forgeage par laminage circulaire :

Procédé qui permet de réaliser des pièces en forme de couronnes comportant des profils pouvant être diversifié .ces pièces peuvent être en matériaux ferreux ou non ferreux. Ce procédé s'applique à la réalisation de pièces de quelque kilogramme à quelque tonne, depuis l'unité jusqu'à la série illimitée .le diamètre des couronnes peuvent varier de quelques dizaines de centimètres à plusieurs mètres.

II-3-1-1-6 Extrusion à chaud :

Procédé de forgeage qui permet de réaliser dans des outillages comprenant généralement un poinçon et une matrice des pièces de section non constante. Il s'applique à des pièces en acier ou en matériaux non ferreux.

II-3-2 Le forgeage a froid :

Le forgeage à froid est un procédé par lequel on obtient une déformation d'une pièce sans chauffage préalable. L'extrusion à froid encore appelée forge de précision est un procédé de forgeage à froid. Le coût des outillages et les machines très robustes imposent un usage orienté pour la fabrication en série, dans le domaine de l'automobile, de la visserie, et de la quincaillerie en général. Pièces creuses : s'apparente à l'emboutissage, mais à la place de tôle, on emploie des lopins qui sont des galettes en métal, généralement découpées dans un profilé cylindrique par tronçonnage ou cisailage.

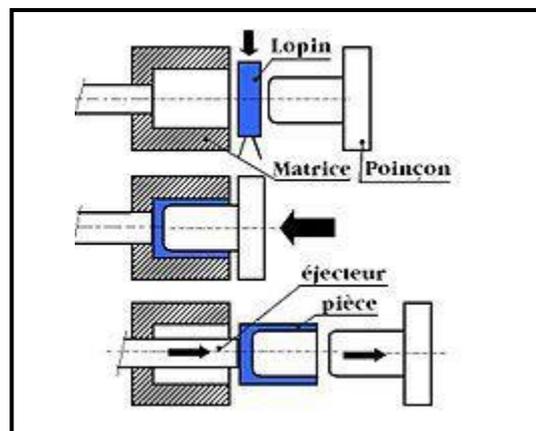


Figure II.3 : forgeage a froid d'un lopin

II-3-2-1 Type de forgeage à froid :

II-3-2-1-1 Forgeage par extrusion :

Procède de forgeage à temperature ambiante qui permet de realiser dans des outillages comprenant generalement un poinçon et une matrice ,des pieces de

section non constante . Le forgeage par extrusion s' applique à des pieces en acier ou en materieux non ferreux.

II-3-2-1-2 Frappe à froid :

Procede de forgeage à temperature ambiante qui se distingue de l'extrusion par la nature de déformation et la vitesse d'impact (effet de choc) .Ce procede s' applique pour des pieces de formes generalement cylindriques pleines ou creuses presntant un axe ou un plan de symetrie.

II-3-2-1-3 Emboutissage :

Emboutissage, l'outil est alors un poinçon. La pièce brute, dans ce cas une tôle mince (d'épaisseur $e < 10$ mm), est mise en position sur une matrice et maintenue en position par un serre-flan. La déformation est obtenue par pénétration du poinçon et glissement au niveau du serre-flan.

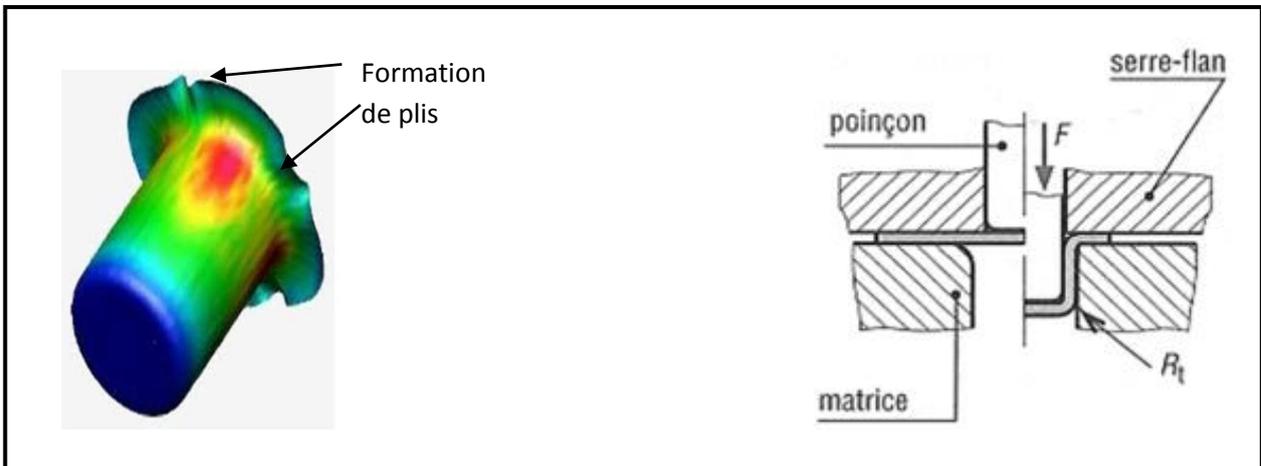


Figure II.4 : formation de plis

II-4 Propriétés des procédés de forgeage

les matériaux utilisés lors des procédés de forgeage ont une bonne *ductilité*. Cette caractéristique représente l'aptitude de l'alliage à se déformer de manière plastique. Dans le cas de l'estampage ou du matriçage, le forgeage est un

procédé en concurrence directe avec le moulage (excepté dans le cas de pièces de formes intérieures complexes).

Les problématiques de tracé de pièces forgées sont identiques à celles des pièces moulées (plan de joint, dépouille, variation de section continue...).

Il est de plus nécessaire de prendre en compte la formation des bavures au niveau du plan de joint afin d'éviter le repli des bavures sur la pièce finale.

II-5 Avantages des procédés de forgeage

- la déformation plastique engendre une orientation des fibres du matériau, (à poids égal, une pièce forgée est plus résistante qu'une pièce moulée)
- réduction des coûts d'usinage,
- gain de matière.

II-6 Inconvénients des procédés de forgeage

- géométrie des formes intérieures limitée (poinçonnage uniquement),
- la qualité des surfaces obtenues (IT10 à IT8) nécessite la plupart du temps un usinage (cas des surfaces fonctionnelles),
- cas de forge libre : une grande qualification des ouvriers est requise pour la réalisation de pièces complexes,
- cas de l'estampage et de l'emboutissage : la série doit être suffisante pour justifier l'investissement des outils, l'ébavurage est nécessaire en sortie de forgeage.

Chapitre III

Estampage

III-1 Généralité :

La mise en forme de l'acier par déformation plastique à chaud est un procédé industriel d'obtention de pièces mécaniques, aussi appelé : forge par estampage. Il est utilisé aussi bien en petites qu'en moyennes et qu'en très grandes séries de pièces, dont la masse peut varier de quelques grammes à plusieurs centaines de kilogrammes. La pièce ainsi fabriquée porte le nom « d'avant-produit », ce qui la situe entre les « demi-produits » fabriqués en sidérurgie (par exemple les blooms, les barres ou les billettes) et les « produits » prêts à être montés dans un sous-ensemble ou un ensemble mécanique (par exemple une bielle dans un moteur thermique ou un pignon dans une boîte de vitesse).

L'estampage industriel consiste à déformer plastiquement les aciers (sans revenir à la forme d'origine) grâce à des outillages nommés "matrices" installés sur des presses (hydraulique, mécanique, à vis) ou des marteaux-pilons. Ce procédé de forgeage à chaud peut se faire en plusieurs opérations, dont les premières sont appelées ébauches, et la dernière finition.

Les ébauches permettent de répartir le métal, partant le plus souvent d'une forme cylindrique ou parallélépipédique, jusqu'à une forme se rapprochant de la finition. La dernière ébauche présente une dimension verticale plus importante et des dimensions horizontales moins importantes de quelques millimètres au maximum par rapport à la finition, permettant un forgeage sans pertes d'énergie dû au frottement sur les parois de l'empreinte. L'ébauche présente également des angles plus arrondis que la finition. En effet, les angles sont les endroits les plus difficiles à remplir de matière en forge.

La finition termine la déformation de la matière. Le résultat comprend la pièce brute et la bavure. Cette dernière est un excédent de métal que l'on retrouve tout autour de la pièce et qui assure un bon remplissage de l'empreinte. La bavure est ensuite séparée de la pièce brute grâce à un autre procédé de forge : l'ébavurage.

L'estampage est suivi par divers procédés de traitement thermique, comme le recuit, la trempe et le revenu.

Le principal d'intérêt de l'estampage face à la fonderie est une mise en forme de la structure interne de l'acier, conduisant à des caractéristiques mécaniques supérieures. La fonderie ne permet pas cette déformation interne car la structure de l'acier apparaît lors de la transition entre les phases liquide et solide.

L'estampage est une technique similaire au matriçage. La différence entre ces deux procédés est l'utilisation de métaux différents. L'estampage se concentre sur le forgeage des aciers, composés principalement de fer, et le matriçage sur le forgeage des métaux non-ferreux.

La matrice inférieure est une pièce fixe, tandis que la partie supérieure est un pilon mobile qui vient frapper la pièce afin de la déformer. L'estampage peut être réalisé aussi bien à température ambiante qu'à une température plus élevée. Semblable aux autres techniques de forge, l'estampage améliore les propriétés du matériau de la pièce finale. Machine d'estampage sont appelés des machines de chocs, les vitesses de déformations sont supérieures à 1m/s, les matrices sont jointives, les côtes sont données par l'outillage. Petites et les moyennes séries.

III – 2 Définition d'estampage :

-Est un façonnage par déformation plastique d'un morceau de métal (lopin) à l'aide d'outillage (matrice) permettant de lui donner une forme et des dimensions très proches de celles de la pièce finie .

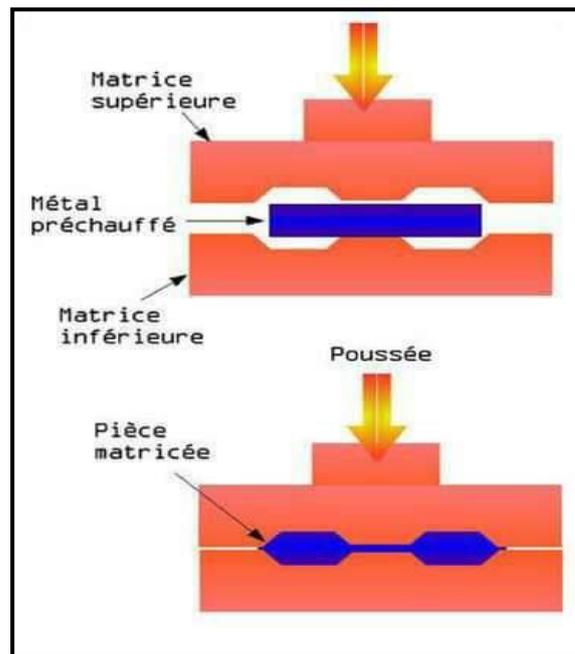


Figure III.1 : principe de l'estampage

III -3 Techniques de fabrication :

III -3-1Débitage :

Le volume de métal nécessaire pour faire la pièce est celui de cette dernière pièce auquel on a ajouté celui de la bavure et celui de la perte au feu. En fonction de la section du demi-produit (barres ou billettes), on calcule la longueur du lopin à obtenir. Ce dernier est généralement débité par cisailage pour les sections inférieures à celles d'un carré de 150 mm de côté et par sciage pour les sections supérieures. L'opération de cisailage (Figure III.2) consiste à

rompre le demi-produit qui est placé entre 2 lames, l'une fixe, l'autre mobile, coulissant l'une devant l'autre. Dans la majorité des cas, une empreinte correspondant à la forme à cisailer est usinée dans chacune des 2 lames. Le jeu entre les lames est réglable de sorte à avoir la coupe la plus perpendiculaire possible par rapport à l'arête du lopin. Le cisailage présente l'avantage par rapport au sciage de s'effectuer à des cadences rapides et sans perte de métal. La précision de longueur, et donc de volume du lopin, est largement suffisante pour les opérations classiques. L'état de surface de la coupe est moins bon que celui du lopin scié, mais cela n'est pas du tout nuisible à l'obtention de pièces longues ou de pièces rondes débouchées. On peut, en prenant certaines précautions de réglage du jeu, améliorer cet état de surface, sinon il faut débiter les lopins par sciage.

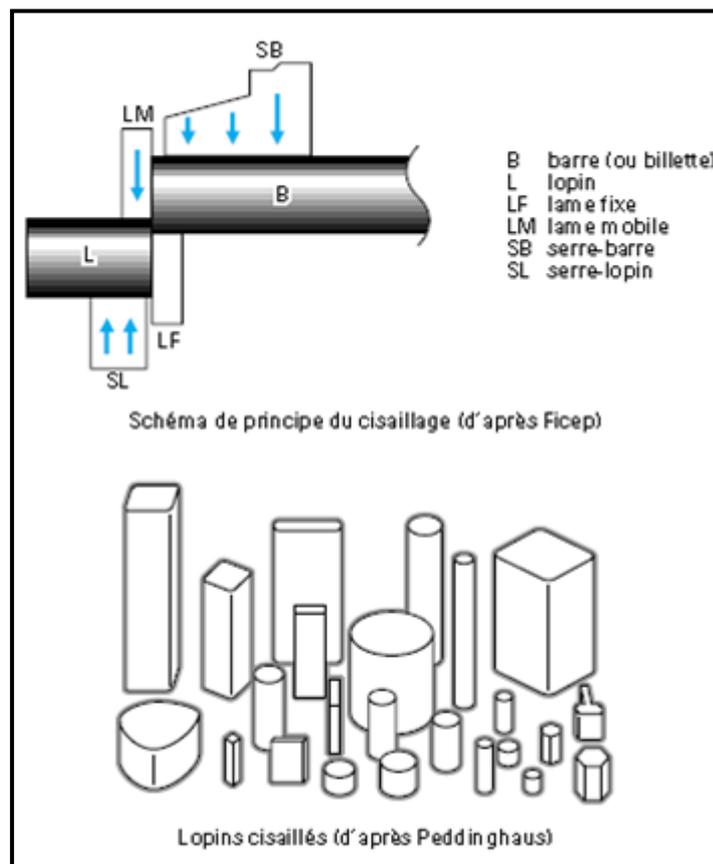


Figure III.2 : Opération de cisailage

III -3-2 Chauffage :

Afin de diminuer l'effort nécessaire à la mise en forme, il est nécessaire de chauffer. On trouvera (Figure III.3) l'influence de la température sur la contrainte d'écoulement du métal estampé. Mais au cours du chauffage, les lopins se revêtent d'une couche dure d'oxydes appelée couramment « calamine». Après estampage, on constate que cette couche ne s'est pas comportée comme le métal de base. Elle est moins déformable. La calamine a toujours une épaisseur faible mais une structure et une morphologie complexes, comme le montre la Figure III.4.

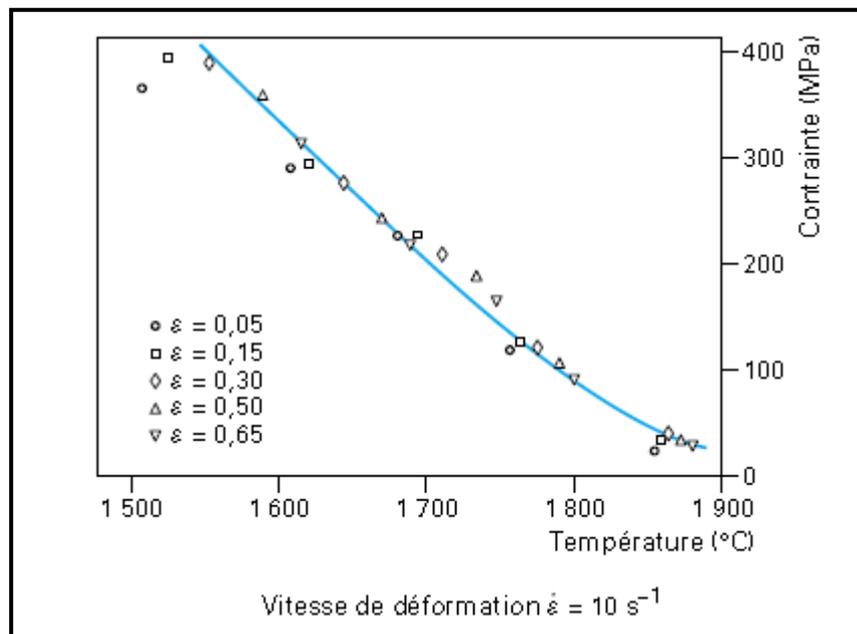


Figure III.3 :Évolution de la contrainte d'écoulement d'un acier en fonction de la température (d'après Forging Handbook)

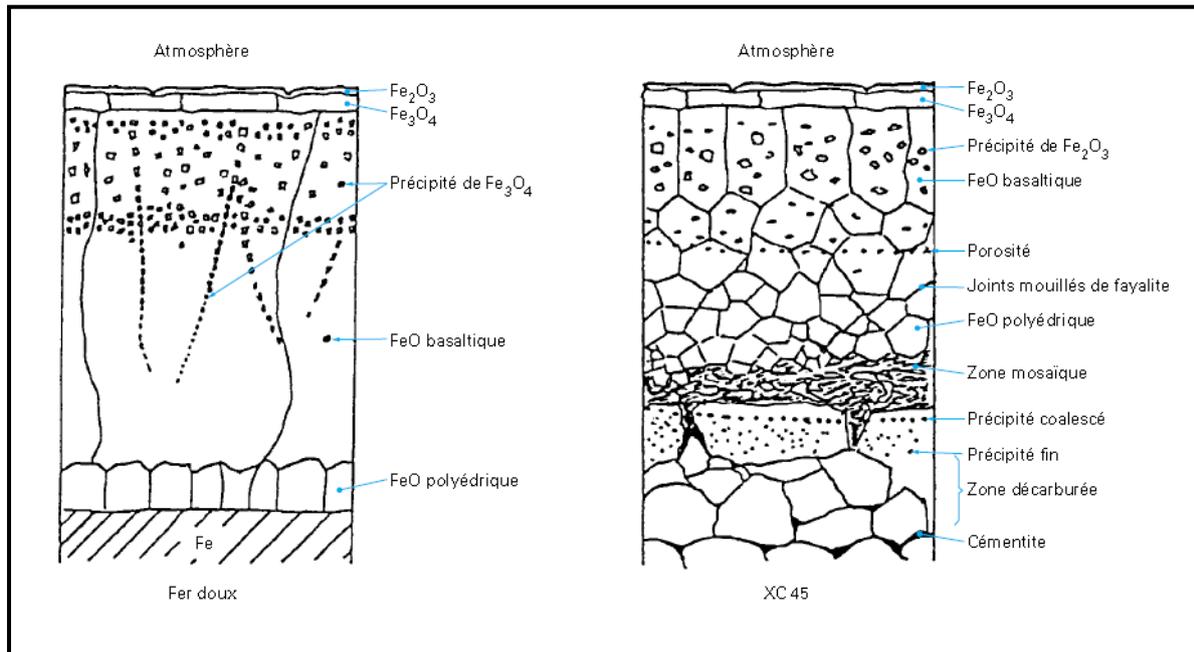


Figure III.4 : Coupe schématique de la calamine sur du fer doux et sur un acier XC 45 (d'après CEMEF)

III-3-2-1 Différents modes de chauffage sont utilisés :

III-3-2-1 -1 Chauffage à la flamme :

les lopins sont généralement alignés sur la sole du four. Celle-ci est fixe ou mobile, en rotation. La combustion du mélange air-gaz s'effectue dans la chambre. Une régulation automatique permet de compenser les entrées de lopins froids et les sorties de lopins chauds. Les temps de mise en route sont généralement longs : quelques heures, car le brûleur doit chauffer le four, qui lui-même doit chauffer les lopins. Les rendements énergétiques de ce type de four ont fait de très gros progrès ces dernières années, mais ils restent inférieurs à 50 %. La vitesse de chauffage est faible.

III-3-2-1-2 Chauffage électrique :

➤ Par induction :

il consiste (Figure III.5) à induire, dans un inducteur à l'aide d'un générateur G, à la surface du métal passant dans une bobine B créant un champ magnétique

alternatif, des courants qui échauffent par effet Joule la périphérie des lopins. La chaleur ainsi créée se propage vers le centre du lopin C par conduction thermique. Ce procédé permet un chauffage rapide des lopins et limite l'épaisseur de calamine formée. Les lopins (Figure III.6) traversent à une vitesse constante de l'ordre de 0,2 à 5 m/min, l'inducteur selon son axe longitudinal. Cet inducteur est alimenté par un convertisseur de fréquence, lui-même alimenté en MT/BT. Les convertisseurs de fréquence sont aujourd'hui statiques à thyristors. Ils sont refroidis par un circuit d'eau. Les fréquences utilisées pour les aciers varient selon la section des lopins : 2 000 à 10 000 Hz pour les diamètres inférieurs à 100 mm, 500 à 1 000 Hz pour les diamètres supérieurs à 100 mm. Le rendement global des chauffeuses à induction varie entre 70 et 80 % selon le couplage réalisé entre la section de l'inducteur et celle du lopin.

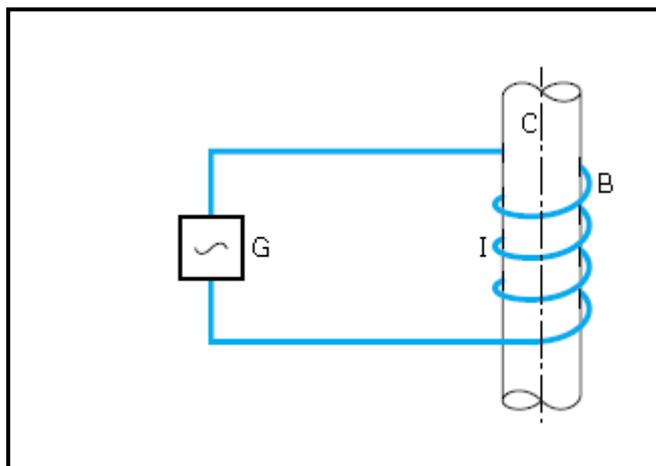


Figure III.5 : Principe du chauffage par induction

(d'après EDF)

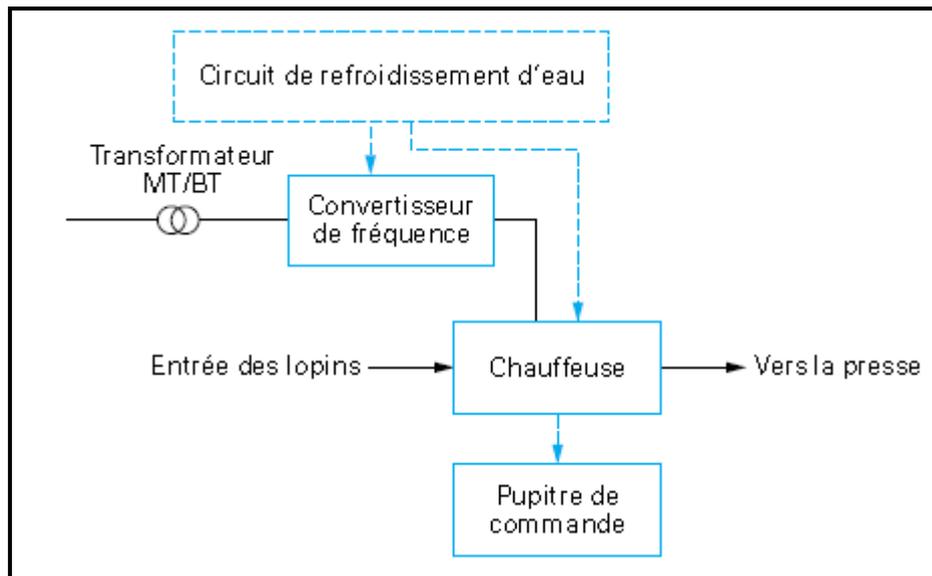


Figure III.6 : Principe de fonctionnement d'une chauffeuse à induction (d'après EDF)

➤ Par conduction :

les chauffeuses par conduction d'une puissance de 10 à 1 000 kVa ont un emploi plus spécialisé. Elles sont limitées aux lopins très allongés dont le rapport diamètre/longueur est élevé : supérieur à 8. Avec un investissement relativement faible, ces matériels permettent un chauffage encore plus rapide que les chauffeuses par induction. Le principe du chauffage par conduction est celui de l'effet Joule (Figure III.7). La pièce à chauffer est placée entre deux électrodes. La chaleur ainsi produite, directement à l'intérieur du lopin, confère à ce mode de chauffage une très grande efficacité énergétique : rendement voisin de 100 %. Les chauffeuses par conduction fonctionnent souvent à la fréquence du réseau. D'une manière schématique, elles comprennent : un transformateur BT/TBT, la chauffeuse proprement dite comprenant les électrodes d'amenée de courant et le système de manipulation du lopin, un système de refroidissement des électrodes et des équipements de régulation (Figure III.8).

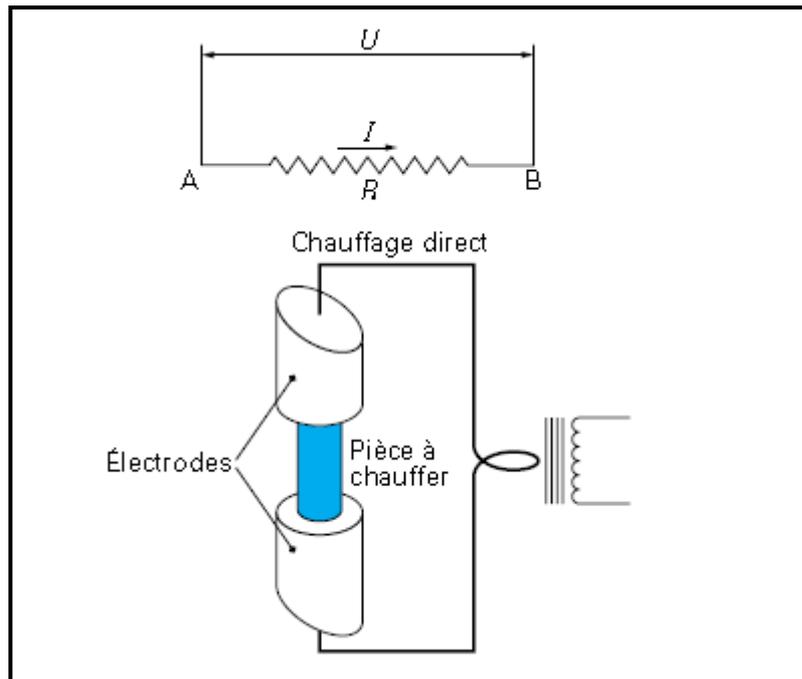


Figure III.7 : Principe du chauffage par conduction
(D'après EDF)

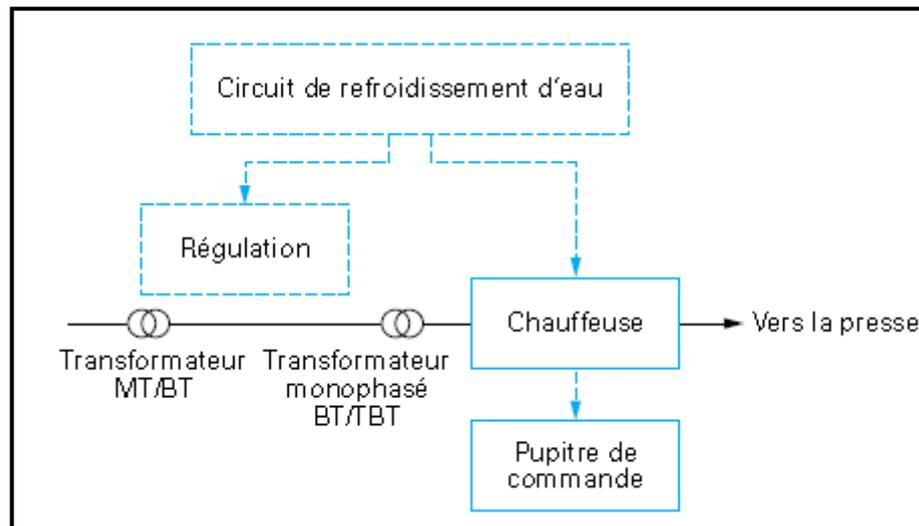


Figure III.8 : Principe de fonctionnement d'une chauffeuse à conduction (d'après EDF)

III-4 PRINCIPE DE MISE EN FORME :

La fabrication consiste à chauffer à haute température, environ 1 250 °C, un morceau de demi-produit d'une géométrie bien déterminée, appelé « lopin », puis de le placer entre des outillages appelés « matrices », dans lesquels est usinée en creux une « gravure » qui représente exactement la forme de l'avant-produit brut à obtenir. Une machine-outil d'estampage agissant par choc ou par pression exerce sur les outillages une force telle que le lopin est contraint d'épouser les formes de la gravure. Généralement, sur la périphérie de la gravure, dans l'outillage on usine aussi un cordon de matrice qui va former à la périphérie de la pièce estampée, un « cordon de bavure ». Cette bavure permet la maîtrise de la géométrie de la pièce finie et le cordon, qui ceinture la pièce, est ôté, le plus souvent à chaud, par cisailage sur une machine-outil annexe appelée « presse d'ébavurage ». La pièce brute ébavurée peut subir un traitement thermique qui lui est appliqué en fonction des caractéristiques mécaniques à obtenir. Le parachèvement est souvent composé d'un grenailage et d'un calibrage à froid. Pour faire de la déformation plastique, il faut que l'effort exercé sur le lopin engendre dans la pièce un état de contrainte vérifiant le critère de plasticité, à savoir que la contrainte généralisée soit égale à la contrainte d'écoulement du métal. Selon la mythologie, Vulcain a été le premier forgeron à découvrir que le fait de chauffer le métal facilitait sa mise en forme. Il faut bien entendu que l'effort exercé soit inférieur à la limite d'élasticité de l'outillage. C'est le lopin qui doit être mis en forme dans l'outillage et non l'inverse. Le lopin subit une déformation plastique plus une déformation élastique, ainsi qu'un retrait et une contraction lors de son refroidissement ; tandis que la gravure de l'outillage ne subit qu'une déformation élastique et une petite dilatation due à l'échauffement pendant le travail (300 °C environ). Il faut prendre en compte toutes ces données pour obtenir des pièces brutes aux cotes

souhaitées à l'intérieur des tolérances dimensionnelles définies par la norme européenne EN 10 243-1 et EN 10 243-2.

Lors de l'opération d'estampage, les lopins convenablement chauffés sont mis à la forme de l'avant-produit par les gravures de l'outillage qui sont portées à une température de 150° à 200 °C maximum afin d'augmenter leur ténacité, c'est-à-dire leur résistance à la propagation brutale de fissures surtout lors du travail par chocs. Une seule exception à cette règle : le forgeage dit « isotherme » pour lequel l'outillage est préchauffé à une température voisine de celle du métal à chauffer. Cette exception se justifie dans quelques cas particuliers où les matériaux forgés ont des particularités métallurgiques qui imposent cette procédure. C'est le cas des alliages réfractaires utilisés pour fabriquer les pales de la zone chaude des réacteurs d'avions ou des turbines à gaz. Dans tous les cas traditionnels, le profil thermique relevé dans les matrices dépend de la zone de l'outillage, de ses dimensions et des temps de contact lopin/matrice, comme le montre la Figure III.9. De plus, la calamine, la lubrification et l'état de surface de l'outillage sont des paramètres qui viennent dans la pratique perturber les considérations théoriques énoncées ci-avant.

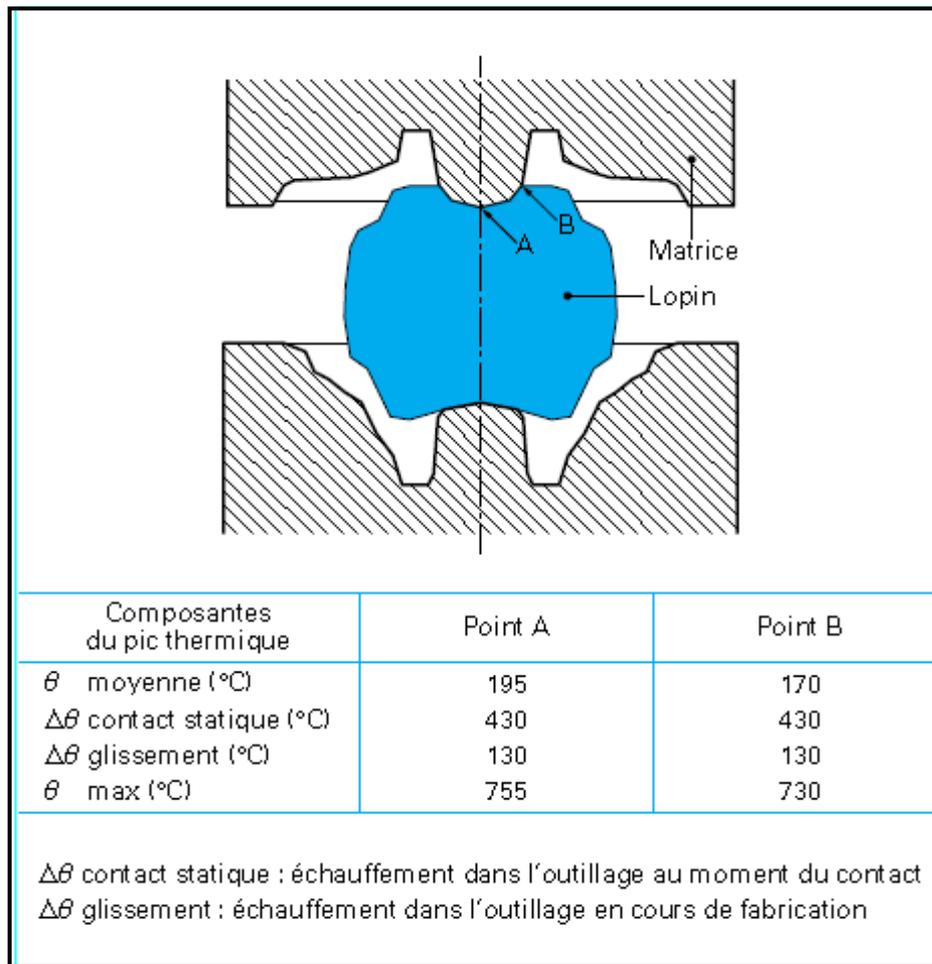


Figure III.9 : Température de surface de l'outillage en deux points relativement proches

➤ Rôle du lubrifiant:

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

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

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

graphites) et assureront un bon contact thermique nécessaire à une bonne évacuation de la chaleur.

III-5 Les outillages :

La mise en forme du métal par estampage se fait dans des matrices métalliques . Les matrices de finition (Figure III.10) représentent, en négatif, les formes définitives des de la pièce. Les dimensions des gravures sont celles de la pièce à obtenir augmentées du retrait. En fonction de la complexité de la pièce, on est fréquemment amené à créer des gravures de préparation ou gravures d'ébauches, de fores plus floues et dans lesquelles on s'efforce de faciliter l'écoulement du métal en allongeant les rayons de raccordement des différentes zones de la pièce. Une autre fonction de ces gravures d'ébauches est de supporter l'usure provoquée par l'écoulement du métal et par conséquent limiter le plus possible l'usure des matrices de finition.

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

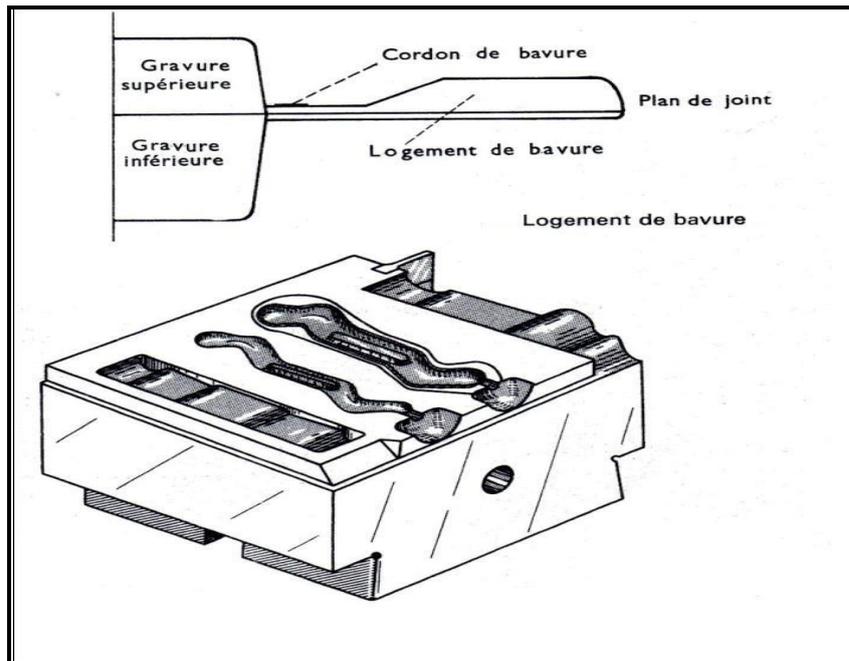


Figure III.10 : Exemple d'outillage à gravures multiple

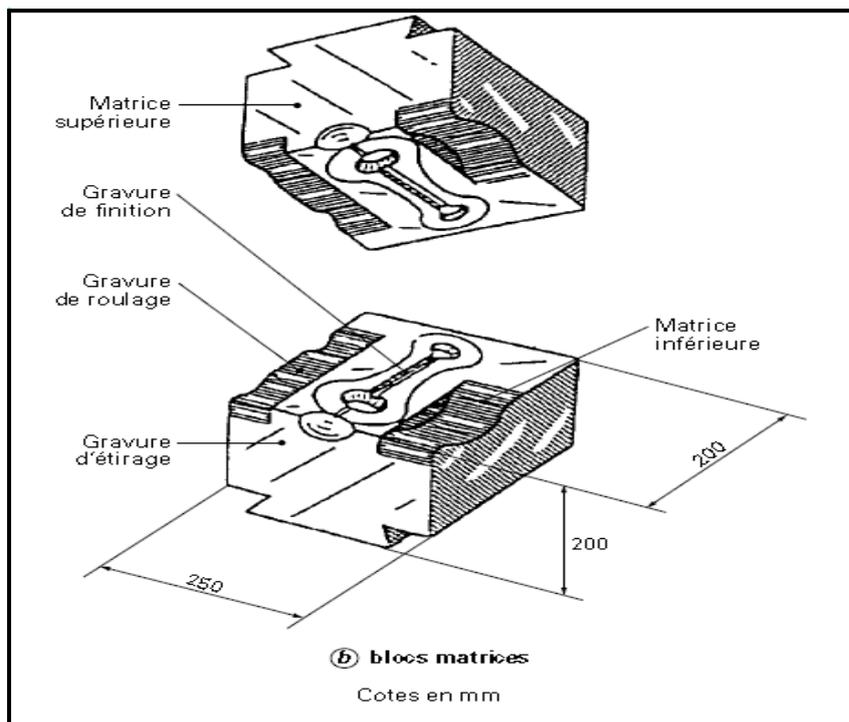


Figure III.11 : Exemple d'un blocs matrices

Les blocs sont réglés en position axiale et latérale par des accessoires : clavettes et grains de centrage.

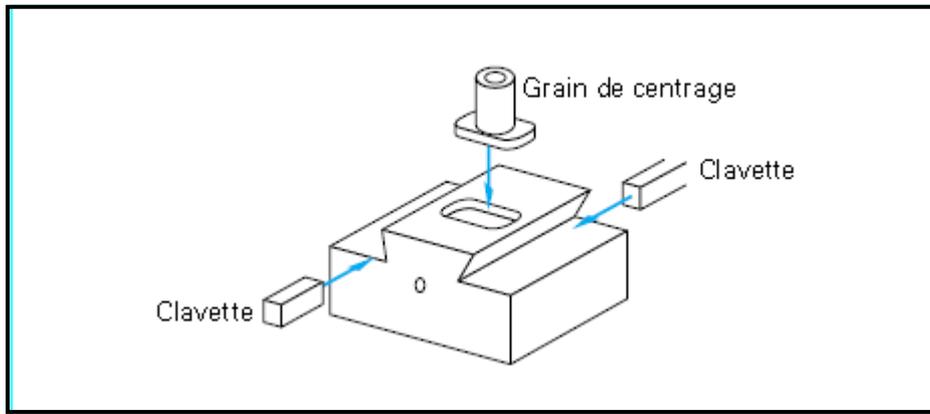


Figure III.12 : Clavettes et grain de centrage

III-6 Machines utilisées durant la procédure d'estampage :

III-6-1 Des machines-outils de déformation par choc (marteaux-pilons) :

III-6-1-1 Les marteaux pilons 'simple effet' :

Ce sont les machines les plus utilisées en forgeage. Ils comportent (Figure III.13)

- une chabotte**, masse métallique servant de table de travail et sur laquelle on fixe la matrice inférieure,
- un marteau**, masse tombante sur laquelle est fixée la matrice supérieure
- des organes de guidage**, jambages ou montants fixés sur la chabotte et portant des glissières dans laquelle la masse tombante est guidée
- des organes de relevage** de la masse tombante supportée par les jambages

III-6-1-2 Les principaux avantages des pilons :

- Les pilons développent des charges importantes pour un temps de contact court entre l'outil et le lopin.
- le pilon est la machine la moins cher
- le pilon est le procédé de forgeage le plus économique,

- c'est également le procédé le plus polyvalent, dans la diversité des opérations qu'il peut exécuter

III-6-1-3 Les Inconvénients des pilons :

- les chocs subis par la matrice limitent sa durée de vie
- le contrôle métallurgique de la pièce forgée est rendu difficile par rapport aux autres procédés.



Figure III.13 : Marteau Pilon simple effet

III-6-2 Les presses mécaniques

Toutes les presses mécaniques. Utilisent l'énergie d'un volant. Le système de guidage le plus employé est basé sur un mécanisme de glissière qui transforme le mouvement de rotation en translation. Ceci impose au piston vertical une longueur de frappe constante.

Dans les constructions les plus répandues les presses mécaniques comportent un bâti fermé dont la partie inférieure forme la table de travail ; elle est reliée à la partie supérieure par quatre colonnes.

Un coulisseau se déplace verticalement dans ces colonnes, actionné par un système bielle manivelle. Le vilebrequin tourillonne dans la partie supérieure du bâti et porte, à une extrémité, un embrayage pneumatique à disques et, à l'autre, un frein pneumatique à disque ou à bande. Le carter d'embrayage muni d'une couronne dentée est entraîné par l'intermédiaire d'un arbre grande vitesse portant un volant d'énergie et un pignon. L'entraînement de l'arbre grande vitesse se fait par courroies trapézoïdales. Ces presses sont équipées d'éjecteurs permettant d'extraire les pièces des matrices, et par suite réduire considérablement la dépouille sur les pièces.

III-6-2 -1 Les principaux avantages des presses mécaniques sont :

- comparées aux pilons, les presses mécaniques sont plus précises dans les tolérances géométriques des pièces forgées,
- elles autorisent une alimentation et un enlèvement automatique des lopins, ainsi les taux de production (30 à 60 frappes par minute) sont également supérieurs aux pilons.
- les presses mécaniques sont soumises à des forces de compression par opposition aux impacts, donc on peut utiliser des matrices moins massives ou en matériaux plus durs.

III-6-2-2 Les inconvénients des presses mécaniques sont:

- le coût initial d'une presse mécanique est trois fois supérieur à celui d'un pilon de même capacité,
- du fait de la constance de la force de frappe, les presses mécaniques ne peuvent pas exécuter des opérations de mise en forme intermédiaires comme sur les pilons.



Figure III.14 : presse mécanique

Chapitre IV

Partie pratique

IV- Partie pratique :

Au cours de mon stage pratique à Ferroviaal j'ai eu la chance de suivre la fabrication d'un moyeu de dumper.

Pour faire l'étude de la fabrication de moyeu on dispose des données suivantes :

Dessin de définition de la pièce

Dessin de définition de la matrice

Dessin de définition de chaque insert

Matière de la pièce

Matière de la matrice

La gamme de forgeage

IV -2 Dessin de définition de la matrice :

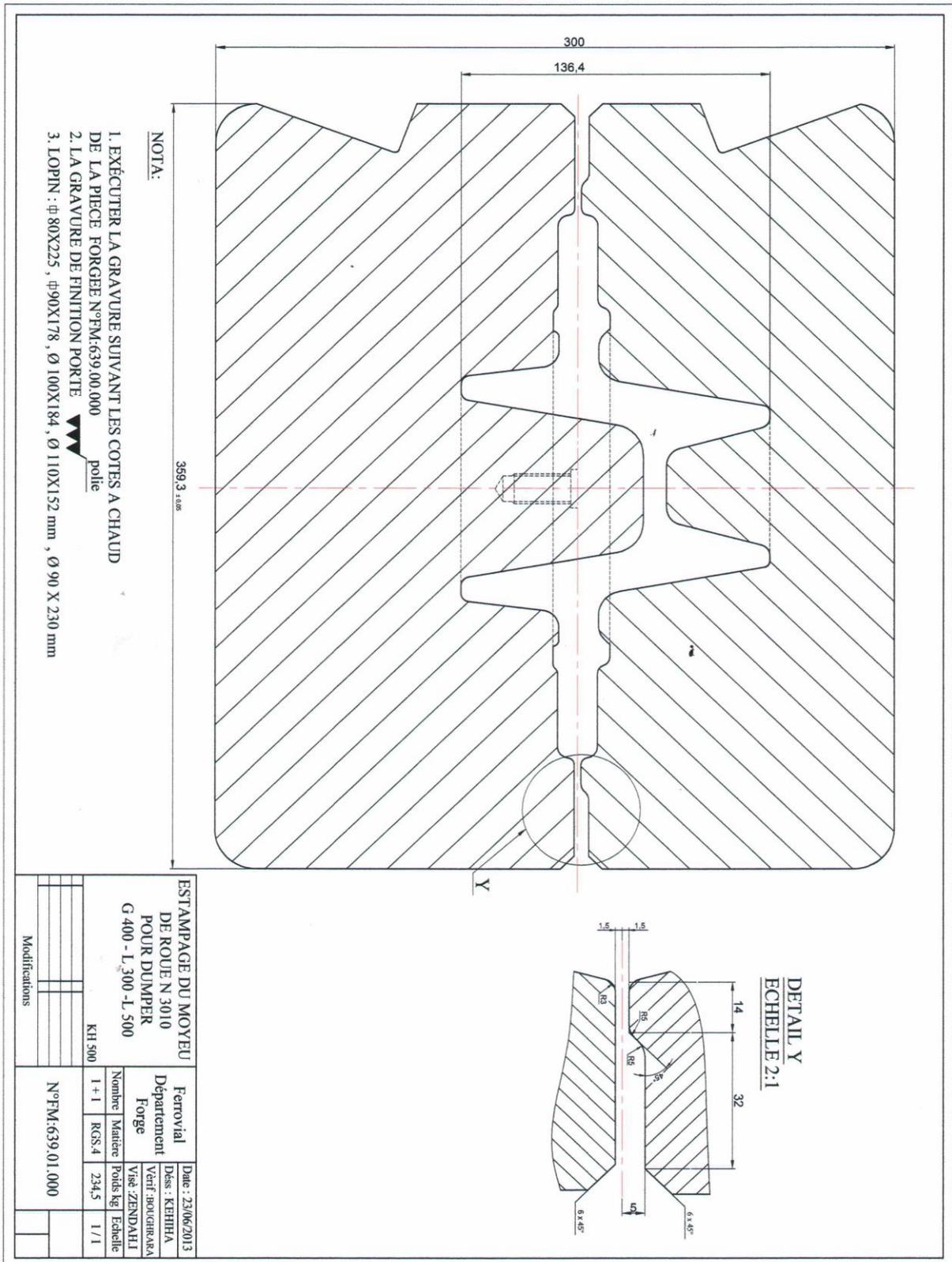


Figure IV.2 : Dessin de la matrice

IV-3 Dessin de définition de l'insert inférieur :

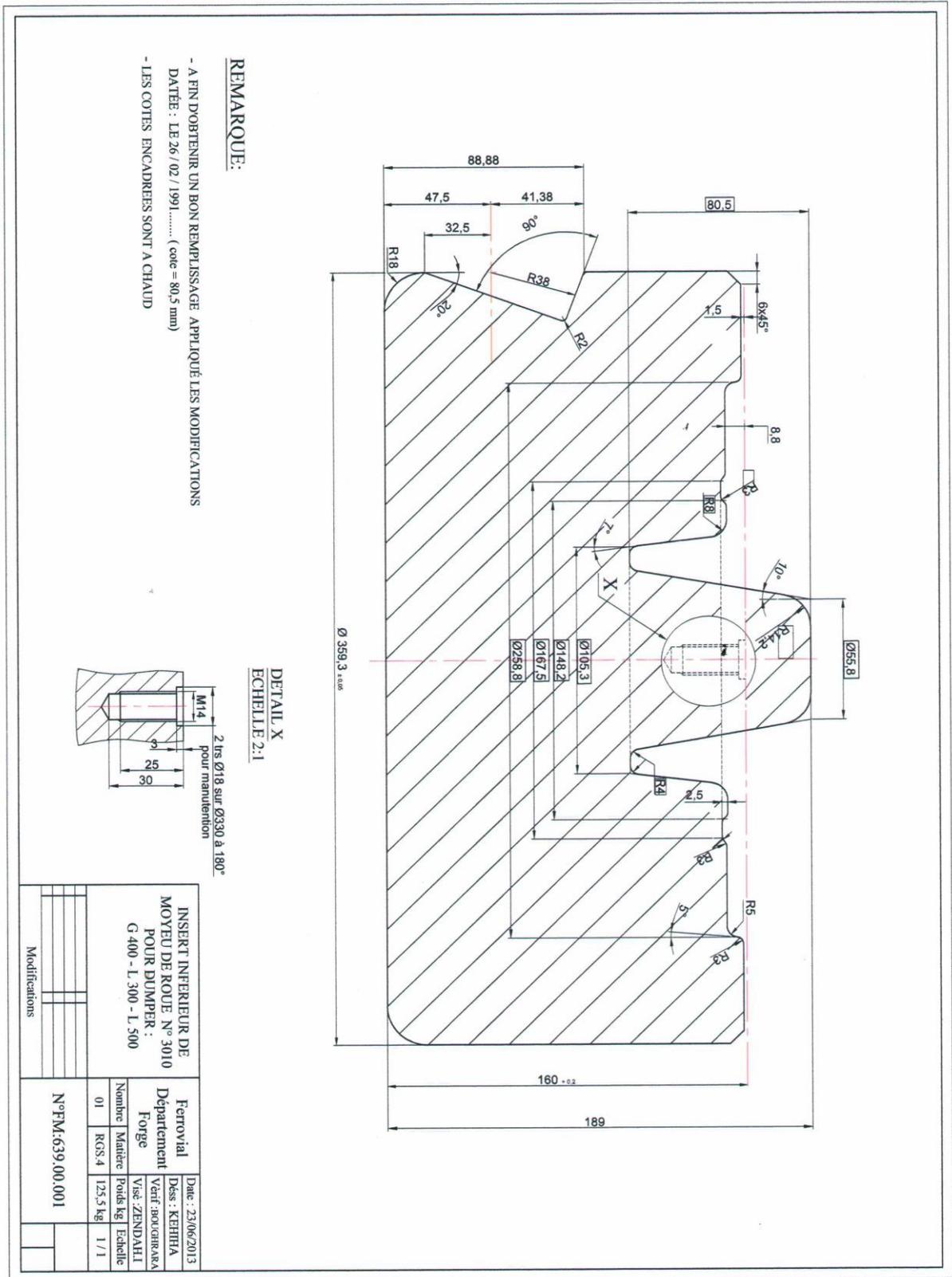


Figure IV.3 : Dessin de l'insert inférieur

IV-4 Dessin de définition de l'insert supérieur :

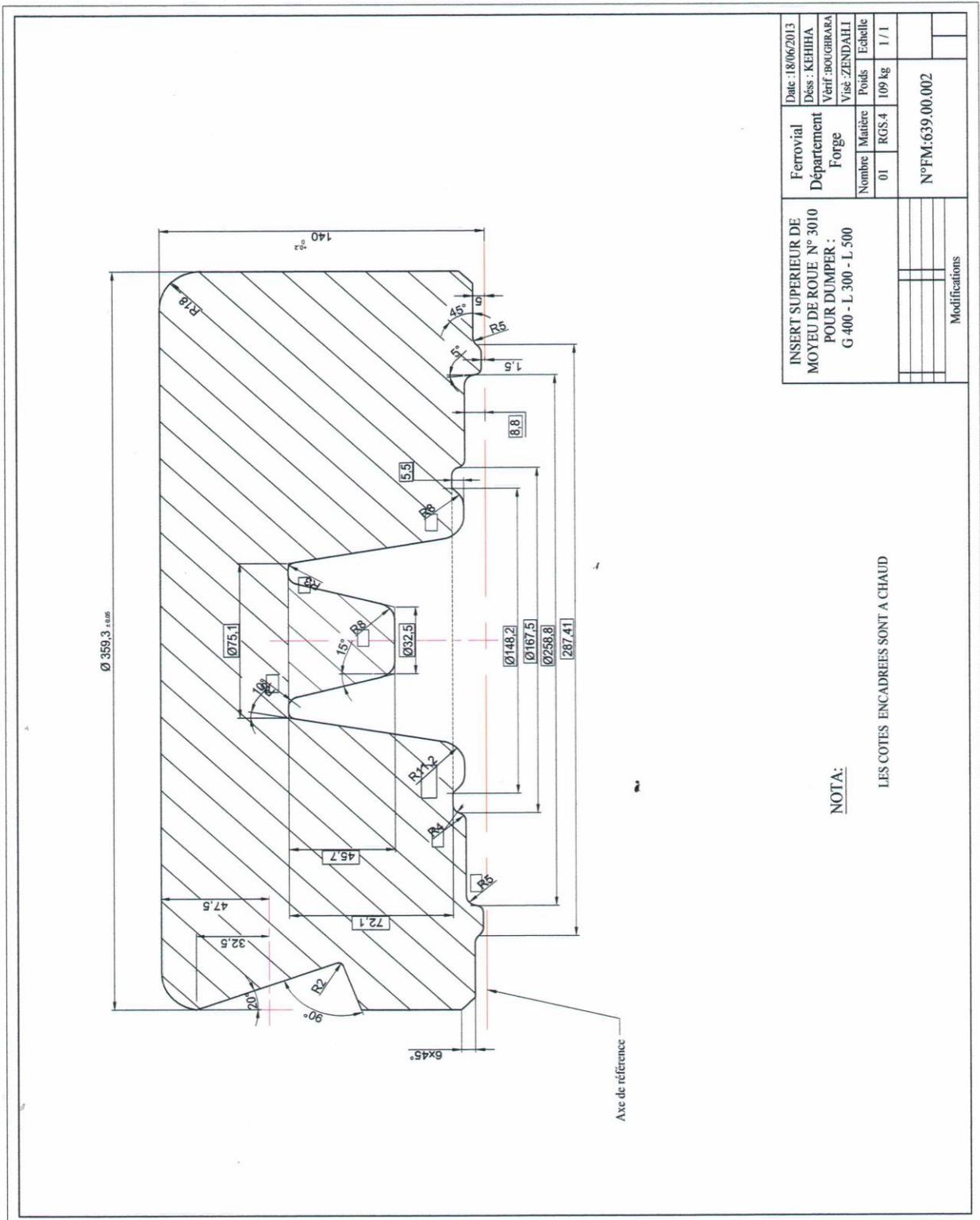


Figure IV.4 : Dessin de l'insert supérieur

IV-6 Analyse technique de la matière « moyeu » :

-Pour la fabrication du moyeu on peut utiliser deux aciers (xc38 ou xc48).

IV-6-1 Analyse technique de la matière XC38 :

IV-6-1-1 Désignation de la matière :

AFNOR	DIN	NF EN 10027-1
XC 38	Ck 35	C35 (1.1181)

Tableau IV.1 Désignation de la matière

IV-6-1-2 Composition chimique en % :

C	S	Mn	P	Si
0,32 - 0,39	≤0,350	0,50 - 0,8	≤ 0,0350	0,40 maxi

Tableau IV.2 Composition chimique de la pièce

IV-6-1-3 Propriétés :

Acier au carbone, à moyenne teneur, très souvent utilisé en mécanique générale de part sa bonne usinabilité et ses caractéristiques mécaniques.

Apte aux traitements thermiques.

IV-6-1-4 Domaines d'application :

Pièces non soumises aux chocs, mais nécessitant une bonne résistance : axes, boulonnerie, forge (leviers, arbres)

IV-6-1-5 Caractéristiques mécaniques moyennes (état normalisé):

Rm N/mm	Re N/mm²	Allongement
500 / 550	245 / 300	18 / 19

Tableau IV.3 Caractéristiques mécaniques moyennes

IV-6-1-6 Soudage :

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

IV-6-1-7 Livraison :

Étirés ronds ou tournés galetés tolérances H10

Ronds laminés à usinabilité améliorée

Ronds laminés conventionnels

Carrés laminés

Plats laminés

IV-6-2 Analyse technique de la matière XC48 :**IV-6-2-1 Désignation de la matière :**

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

Tableau IV.4 Désignation de la matière :

IV-6-2-2 Composition chimique en % :

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

Tableau IV.5 Composition chimique de la pièce

IV-6-2-3 Propriétés :

Acier carbone à teneur plus élevée que pour les aciers C35 et C40, utilisée en mécanique générale de part sa bonne usinabilité et ses caractéristiques mécaniques.

Apte aux traitements thermiques : ex. à l'huile 820 - 860°C

IV-6-2-4 Domaines d'application :

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

IV-6-2-5 Caractéristiques mécaniques moyennes (état normalisé):

Rm N/mm²	Re N/mm²	Allongement %
560 / 620	275 / 340	14 / 16

Tableau IV. 6 Caractéristiques mécaniques moyennes**IV-6-2-6 Soudage :**

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

IV-6-2-7 Livraison :

Ronds étirés ou tournés galetés, tolérance h10

Barreaux à clavettes (carrés, plats)

Ronds laminés

Etirés : carrés, plats, hexagones

IV-7 Analyse technique de la matrice :

Le matériau de la matrice est RGS4. Cette norme commerciale (selon la norme AFNOR 58 NCDV12).

➤ Propriétés mécanique :

- Résistance suffisante à la température d'utilisation pour éviter la déformation des gravures.
- Résistance aux actions abrasives de l'écoulement du métal .
- Ténacité élevée pour résister aux contraintes mécaniques les plus dures.
- Trempeabilité suffisante pour conserver dans l'épaisseur les caractéristiques mécaniques de la surface de façon à permettre les relevages successifs.

IV -8 Diagnostic de la gamme réelle de production du moyeu de roue pour dumper :

Le moyeu de roue, est produit dans un îlot de mise en forme à chaud composé d'un four à sole d'une presse mécanique et d'un marteau pilon. Les lopins sont préparés sur une cisaille à couteaux ouverts de marque FICEP.



Figure IV.6 : Photographie montrant l'îlot de production de moyeux de roues a) Four ; b) Presse et c) Marteau pilon

IV -9 La gamme de production du moyeu :

Le moyeu est la partie centrale d'une roue transmet le mouvement rotatif de l'essieu à la roue. Suite à un cahier des charges, la Forge lance son programme de production selon la gamme de production décrite au Tableau en phases.

- Un débitage du lopin aux dimensions requises (section cylindre de $\varnothing 90 \times 230 \text{mm}$) sur une cisaille à couteaux ouverts, FICEP

- Un chauffage sur un four à gaz, CFI statique a 1100°C
- Un Plastismant
- L'ébauche positionner la pièce sur la gravure d'ébauche et donne 3coups
- La finition sur la matrice de finition sur un pilon KH500 avec un coups
- Un Ebavurage et un poinçonnage sur une presse 4000
- Un grenailage pour nettoyer la pièce de la calamine et autres

IV -10 Analyse de la gamme de production :

L'analyse de la gamme de production consiste à suivre la production depuis le débitage jusqu'au grenailage. Plusieurs points ont été soulevés :

- a) Une fournée comporte 16 lopins à chauffer pendant 28 minute à 1100 °C (5 fournée pour 80 lopins)
- b) Le défournement se fait à la main en utilisant une pince et une perche (une cohésion et une synchronisation des mouvements depuis la prise de la pièce, son extraction du four, son transfert vers le marteau pilon est très décisif pour respecter la précision de chargement et le temps de chargement du lopin chauffé)
- c) La préforme se fait sur un coin du bloc inférieur porte insert (le bloc porte l'empreinte cylindrique du lopin.



Figure IV.7 : Insert Inferieur



Figure IV.8 : Insert supérieur

- d) Le nombre de frappes est d'un coup pour le Plastismant de la pièce

- e) Souvent, l'estampeur est tenu de régler la pièce pour ramener l'ébauche au centre de l'empreinte. .
- f) Entre 2 pièces l'insert inférieur est nettoyé.
- g) La poussière de calamine est très présente et s'infiltré partout (particulièrement au niveau des glissières)
- h) La calamine qui reste collée sur l'outil supérieur risque d'endommager l'outil
- i) Le déchargement du lopin se fait avec les mêmes moyens (pince et perche) ; il est lâché dans une gouttière pour le présenter devant la presse pour exécuter l'ébavurage et le poinçonnage
- j) La pièce estampée étant chaude est saisie par une pince et chargée sur l'outil d'ébavurage

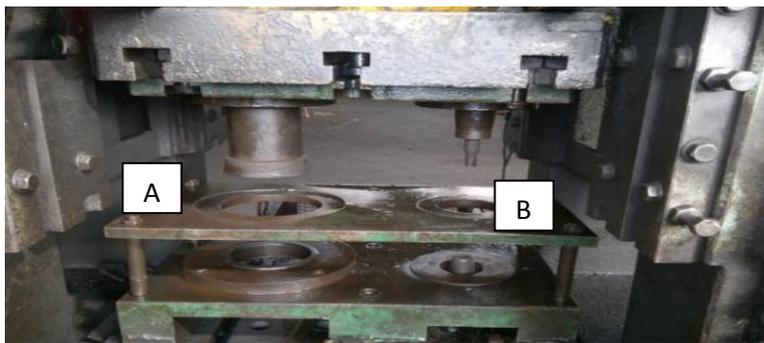


Figure IV.9 : Vue avant des outils sur la presse:
A) Ebavurage et B) Poinçonnage

- k) L'ébavurage se fait d'une manière souple sous pression
- l) Une fois les bavures enlevées, la pièce est placée sous le poinçon pour réaliser le trou central.



Figure IV.10: Vue arrière de la presse: a) bavures b) Bouts de poinçonnage

m) La pièce finie est déchargée dans un bac à lot de pièces.

n) Une fois les pièces refroidies, elles sont transférées vers la station de grenailage pour les nettoyer de la calamine.

Généralement les résultats de mise en forme d'un lopin cylindrique en ébauche estampée et quelques pièces ratées dues à une mauvaise prise du lopin pendant les opérations d'estampage se présentent dans la figure suivante :



Figure IV.11 : Vue générale des résultats de mise en forme

a) Pièces rebutées; b) lot de pièce estampées ; c) Lot de lopins cylindrique

IV -11 GAMME DE FORGEAGE JOURNALIERE :

Désignation pièce : moyeu de roue pour dumper						Client : El-Harrach		
Poids pièce : 10 kg						Poids Lopin : 11.48 kg		
Quantités: 80 pièces		Diamètre de lopin :90mm		longueur de lopin :230mm				
Nuance Demandée : XC48		Nuance de substitution :		Nuance Utilisée : XC 48				
PHASE	SOUS - PHASE	OPERATION	MACHINE	OUTIL DE CONTROL	Tc	Temps machine	Temps secondaire	
							Temps Manu	Temps Réglage
01	1-1	Débitage :	Ficep	Double mètre		20min	20min	50min
02	2-1	Chauffage : chauffer les lopins à Tc : 850-1100 co	Four	Pyromètre	850-1100	140min	10min	10min
03	3-1	Estampage : -Réglage de matrice -Plastissant : -Ebauche : Positionner la pièce sur la gravure d'ébauche et donner 3 coup Finition : Placer la pièce sur la gravure de finition et faire descende la mass	Marteau 500			10min	10min	60min
	3-2					40min		
	3-3					60min		
	3-4					40min		
04	4-1	l'outillage : d'ébavurage ET Perçage	Presse mécanique 4000			10min 20min	10min	20 min

	4-2	Ebavurage				20min		
	4-3	Perçage						
05	5-1	Grenaillage	Grenailleuse			30min		
06	6-1	Traitement thermique				60min		
07	7-1	Contrôle				10min		

Tableau IV.7 : Gamme de forgeage



Figure IV.12 : pieces forgées



Figure IV.13 : pièce usinée

Conclusion :

A Ferroviaal le positionnement de la pièce se fait d'une façon manuelle Ce qui rend un temps plus au moins important , en plus le centrage d'un moyeu demande de l'opérateur une certaine expérience .L'idée et de remplacer cette opération manuelle par un marteau hydraulique complètement automatique avec un robot de forgeage qui joue le rôle d'un estampeur ce qui nous fait gagner le temps de positionnement de chaque pièce .Cette machine permet aux forges d'avoir une plus grande productivité au niveau de qualité (élevée et constante) .Le robot fait des opérations d'estampeur prise du lopin par la pince , positionnement du pièces dans la gravure ,relâchement contrôle lors de la frappe sans lâcher la pièce et déplacement dans la gravure suivante .

Les avantages de cette machine sont :

- Elimination des erreurs de positionnement.
- Economie de frais du personnel.
- Augmentation de la production.
- Réduction des taux de rebus.
- Augmentation de la qualité de pièces forgée.
- Possibilité d'extension pour forgeage multiple.
- une durée de vie optimale des outillages.

Références bibliographiques

- [1] M. SCHRYVE – Lycée Vauvenargues PTSI (obtention de pièces par forgeage)
- [2] LOITIERE MARTIN, OLLIER MAX et STAMM ARNAUD –Lycée Edouard Branly- (Les procédés de transformation de la matière)
- [3] www.ferrovial.com
- [4] www.lasco.com
- [5] Mémoire de fin d'étude pour la préparation du mémoire de Master en Fabrication Mécanique et productique. Département de Génie Mécanique. 2017/2018 Badji mokhtar annaba
- [6] Memento pratique de forge a l'usage du coutelier
- https://coustil.free.fr/home_fr.html (coustil@free.fr) site de Gérard Heutte
- [7] MARCEL GAUCHERON (Mise en forme de l'acier par estampage)
- Techniques de l'ingénieur M3200 ,2007
- [8] <https://www.Larousse.fr> (estampage)
- [9] Métaux détail services (www.metaux-detail.com)
- [10] Mémoire de fin d'étude pour la préparation du mémoire de Master en Maintenance industrielle et fiabilité mécanique. Département de Génie Mécanique Badji mokhtar annaba (2013/2014)
- [11] Clé des aciers 10 Auflage 1974
- [12] Guy Boutborge, Henri Faure et Yann Gobard (forgeage à froid de l'acier)
- Techniques de l'ingénieur M 3085 ,2007

[13] Forging Handbook, FIA Forging Industry Association, 2014

[14] Centre for Material Forming (Centre de Mise en Forme) – CEMEF, Mines Paris Tech

[15] EDF Electricité et Gaz de France

[16] Encyclopédie des sciences industrielles, Mécanique généralités applications, Formage mécanique ; estampage ; p 547, 1974

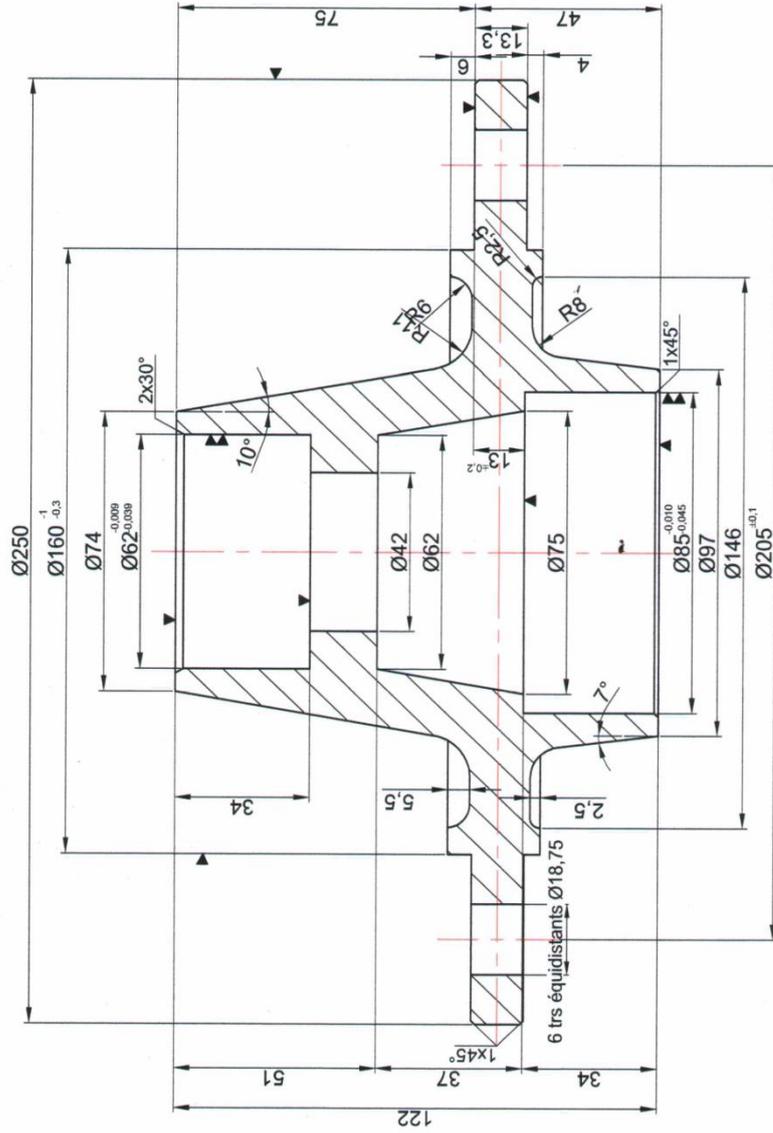
[17] Isidore JACUBOWIEZ, Fours industriels, Techniques de l'Ingénieur, traité Génie énergétique, BE 8 842, 1998

[18] Gérard DEVELEY, Chauffage par induction électromagnétique : technologie, Techniques de l'Ingénieur, traité Génie électrique, D5 936, 2000

Annexe

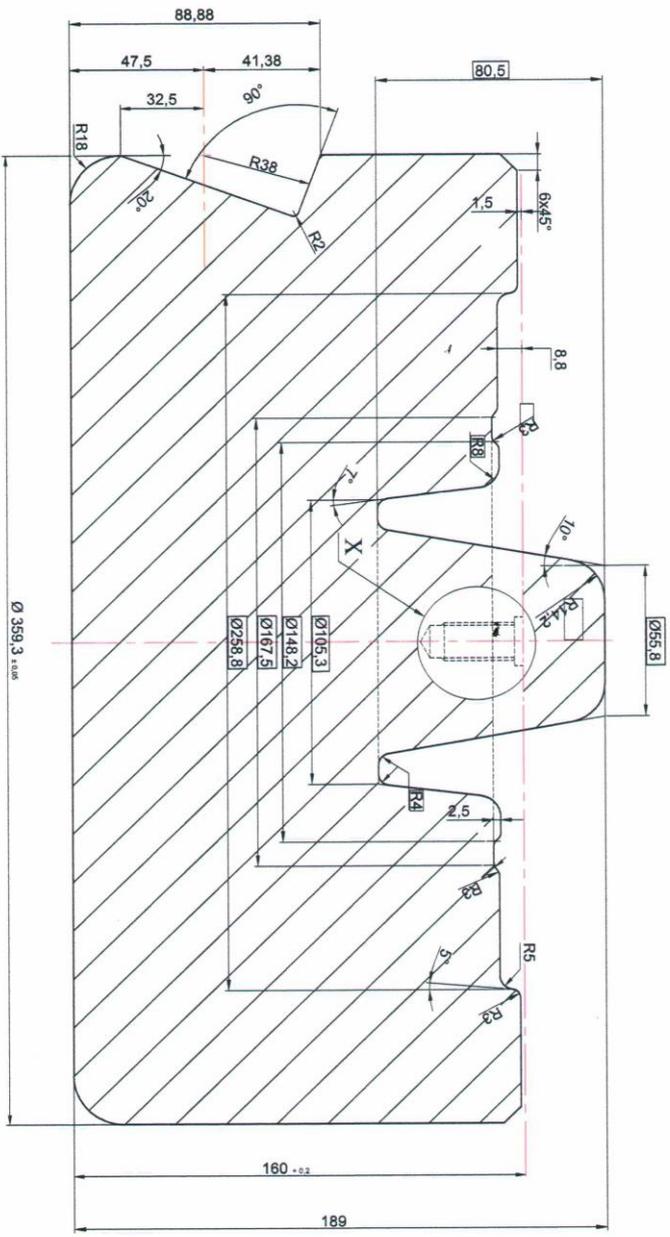


Marteau hydraulique LASCO complètement automatique avec robots de forgeage synchronisés.



Nota:
Copie conforme au plan E.N.M.T.P. EL-HARRACH

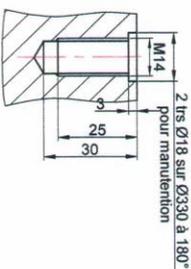
Ferrovial Département Forge		Date : 11/03/2014
		Déss : KEHIHA
Moyeu De Roue Dumper G 400 - L 300 - L 500 E.N.M.T.P - EL-HARRACH (Pièce usinée)		Vérif : BOUGHRARA
		Visé : ZENDAHLI
Nombre	Matière	Poids
-	XC38	9,4 kg
N° 3010		Echelle
		1 / 1
Modifications		



DETAIL X
ECHELLE 2:1

REMARQUE:

- A FIN D'obtenir UN BON REMPLISSAGE APPLIQUÉ LES MODIFICATIONS
- DATEE: LE 26 / 02 / 1991..... (cote = 80,5 mm)
- LES COTES ENCADREES SONT A CHAUD



INSERT INFÉRIEUR DE MOYEU DE ROUE N° 3010 POUR DUMPER: G 400 - L 300 - L 500		Ferroviaire		Date: 23/06/2013	
Département Forge		Vérif: BOUGARRARA		Dess: KEHHA	
N° FM: 639.00.001		Vis: ZENDAHL		Vérif: ZENDAHL	
N° FM: 639.00.001		Poids kg: 125,5 kg		Echelle: 1 / 1	
Modifications		RGS: 4			
		01			

