



وزارة التعليم العالي والبحث العلمي



BADJI MOKHTAR-ANNABA UNIVERSITY
UNIVERSITE BADJI MOKHTAR-ANNABA

جامعة باجي مختار- عنابة

FACULTE DES SCIENCES DE L'INGENIORAT
DEPARTEMENT DE GENIE MECANIQUE

MEMOIRE

Présenté en vue de l'obtention du diplôme de Master

INTITULE

**IMPACT DU FORGEAGE SUR LES PROPRIETES MECANQUES
ET LA MICROSTRUCTURE DE L'ACIER C22**

DOMAINE : SCIENCE ET TECHNOLOGIE

FILERE : GENIE MECANIQUE

SPECIALITE : MECANIQUE DE MATERIAUX

PRESENTE PAR : TIAOUININE AHMED OUSSAMA

DIRECTEUR DU MEMOIRE : Prof. BOULANOUAR LAKHDAR

DEVANT LE JURY :

PRESIDENT : BOULANOUAR LAKHDAR

Prof

EXAMINATEURS : CHAOUI KAMEL

Prof

AMIRAT ABDELAZIZ

prof

BELHAMZAOUI ABDELAZIZ

MAA

Année : 2015/2016

REMERCIEMENTS

Je remercie Dieu le Tout Puissant de m'avoir donné le privilège et la chance d'étudier et de suivre le chemin de la science et de la connaissance.

J'adresse mes vifs remerciements à mon encadreur Prof. BOULANOUAR LAKHDAR pour sa compréhension, ses conseils et ses aides. Pour sa gentillesse et ses orientations efficaces.

Je tiens également à remercier Mr. BOULANOUAR LAKHDAR d'avoir accepté de présider le jury de mon projet de fin d'études.

Je remercie Mr AMIRAT ABDELAZIZ et Mr CHAOUI KAMEL et Mr BELHAMZAOUI ABDELAZIZ qui ont bien voulu examiner mon travail. Leur présence va valoriser, de manière certaine, le travail que j'ai effectué.

J'adresse également ma profonde gratitude à tous les professeurs de l'université BADJI MOKHTAR en particulier ceux du département de GENIE MECANIQUE. Votre enseignement a porté ses fruits.

Enfin, je remercie toutes les personnes qui, de près ou de loin, ont contribué à l'élaboration de ce mémoire.

Dédicace

Grâce à dieu tout puissant, je dédie ce modeste travail à toutes les personnes qui m'ont aidé de près ou de loin à la réalisation de ce mémoire plus particulièrement :

- *A mes très chers parents, tout mon respect et affection en témoignage de leur soutien, sacrifice, patience, ainsi que pour leurs conseils et orientations dans ma vie.*

- *A toute ma famille et mes très chers frères et mes sœurs*

- *A tous mes enseignants et à ma promotion de génie mécanique.*

- *A tous mes amis (BOUALLAGE NASREDIN, KOHLAN ADNEN, BOUNAAS JAMEL, BAHRI SKANDER, ATTAR ABDNOUR, BOURAOUI SADAM HOUME.....)*

TIAOUININE AHMED OUSSAMA

Table des matières

Introduction générale	1
Présentation de l'entreprise FERROVIAL	
1-historique de l'entreprise	3
2-Structure de l'entreprise	5
2-1 Ateliers et Matériels	5
3-produit de l'entreprise	7
Chapitre 1 : Étude et analyse bibliographique	
1-Acier C22	9
2-Mise en forme par déformation à chaud et à froid	10
2.1-mise en forme par déformation à chaud (forgeage industriel).....	10
2.1.1-Estampage	11
2.1.2-Matçage	12
2.1.3-Extrusion	12
2.1.4-Forgeage libre.....	12
2.1.5-Laminage.....	13
2.1.6-EMBOUTISSAGE	14
2.2-Mise en forme par enlèvement de matière.....	15
2.2.1-Usinage par outil coupant	15
2.2.1.1-Tournage.....	16
2.2.1.2-Fraisage	17
2.2.1.3-Perçage	18
2.2.2-Electroérosion - Usinage par étincelage	18
2.2.3-Rectification par enlèvement de matière à l'aide des grains abrasifs d'une meule.....	19
Chapitre 2 : Partie expérimentale	
Introduction	22
Partie 1 : réalisation d'une broche conique.....	23
1-Introduction.....	23

2-Matériel utilisé	23
2.1-Cisaille ERFURT.....	23
2.2-Four de forge 150 kg	24
2.3- marteau pneumatique à forger	25
3-Produit à réaliser	27
3.1-découpage	28
3.2-Chauffage	29
3.3-forgeage	29
Partie 2 : caractérisation de la broche avant et après forgeage.....	31
1-Introduction	31
2-découpage des éprouvettes	31
2.1-matériels utilisés.....	32
2.1.1-La fraiseuse conventionnelle	33
2.1.2- Fraise C.....	34
3-Polissage	34
3.1- Généralités sur le polissage	34
3.2-Polissage (partie pratique)	35
3.2.1-Matériel utilisée	35
3.2.2 Les étapes de polissage : laboratoire de métallurgie.....	36
4- La microstructure.....	37
4.1-Définition de la microstructure	37
4.2-Microscope utilisé.....	38
4.3-Résultat obtenue	39
5-La dureté	41

5.1-Principe de la dureté Rockwell.....	41
5.2-Les différentes échelles	42
5.3-Moyen utilisé	43
5.4-Les résultats	44
5.5- Interprétation graphique des résultats	44
6-L'analyse chimique	49
6.1-La Structure chimique	49
6.2-Méthode et moyen utilisé	49
6.3-La description du matériel.....	50
6.4-les Résultats	51
Partie 3 : analyse et interprétations des résultats.....	52
1-microstructure	52
1.1-Analyse de la micro structure	52
1.2-Interprétation des résultats	54
2-la dureté	56
2.1-Analyse de la dureté	56
2.2-Interprétation des résultats	56
3-analyse chimique	57
Conclusion	58
Liste bibliographies	59

Liste des figures

Figure 1 : Vue de profile de l'entreprise	4
Figure 2 : Adresse de l'entreprise	4
Figure 3 : Structure de l'entreprise.....	6
Figure 4 : type de forgeage.....	10
Figure 5 : Estampage	11
Figure 6 : Extrusion directe	12
Figure 7 : Forgeage	13
Figure 8 : Laminage	14
Figure 9 : Emboutissage	14
Figure 10 : Emboutissage	14
Figure 11 : Usinage par outils coupants	15
Figure 12 : Composants du tour	16
Figure 13 : Opérations de tournage	16
Figure 14 : Fraiseuse	17
Figure 15 : Opérations de fraisage	17
Figure 16 : Points de perçage	18
Figure 17 :Machine-outil: Perceuse	18
Figure 18 : Principe de l'électroérosion	19
Figure 19 : Procédés d'usinage par étincelage	19
Figure 20 : Mode d'action de l'outil meule	20
Figure 21 : Cisaille ERFURT	24
Figure 22 : four de forge 150 kg	25
Figure 23 : marteau pneumatique	27
Figure 24 : schéma de cisaillement	28
Figure 25 : opération de cisaillement	28
Figure 26 : chauffage de la pièce avec four	29

Figure 27 : l'étalonnage de la pièce	30
Figure 28 : produit fini	30
Figure 29 : fraiseuse universelle	33
Figure 30 : fraise scie	34
Figure 31 : machine de polissage Struers planopol-V.....	35
Figure 32: polissage de l'échantillon	36
Figure 33 : échantillon avant et après polissage	37
Figure 34 : Microscope LEICA DM LM	38
Figure 35 : Duromètre Zwick Roell ZHU.....	43
Figure 36 : spectrométrie Thermo scientifique ARL 4460	49
Figure 37 : structure chimique de la pièce brute	52
Figure 38 : structure chimique de la pièce forgé D= 29mm	53
Figure 39 : structure chimique de la pièce forgé D= 23 mm	53
Figure 40 : structure chimique de la pièce forgé D= 18 mm	54
Figure 41 : Structure granulaire	55

Liste des tableaux

Tableau 1 : Caractéristique technique de la_Cisaille ERFURT.....	23
Tableau 2 : Les paramètres essentiels et les dimensions du marteau pneumatique	26
Tableau 3 : Caractéristiques techniques de la fraiseuse universelle	33
Tableau 4 : comparaison entre 2 zones de la même matière x200	39
Tableau 5 : comparaison entre 2 zones de la même matière x600	40
Tableau 6 : Les différentes échelles de dureté	42
Tableau 7 : résultats de dureté pour série 1	44
Tableau 8 : résultats de dureté pour série 2	44

Liste des graphes

Diagramme 1 : Diagramme de dureté série 1	45
Diagramme 2 : Diagramme de la dureté série 2	46
Diagramme 3 : Diagramme de la dureté moy série 1	47
Diagramme 4 : Diagramme de la dureté moy série 2	48
Courbe 1 : courbe de dureté série 1	45
Courbe 2 : courbe de dureté série2	44
Courbe 3 : courbe de la dureté moy série 1	47
Courbe 4 : courbe de la dureté moy série 2	48

Introduction générale

C'est vers 5000 av. J.-C. que se situent les premiers témoignages de forgeage. Les pépites étaient martelées après avoir été chauffées à blanc, puis refroidies. Cette opération, répétée régulièrement au cours du martelage, permettait de conserver le métal à l'état malléable. [1] Le forgeage est l'ensemble des techniques permettant d'obtenir une pièce mécanique en appliquant une force mécanique sur une pièce de métal, à froid ou à chaud, afin de déformer la pièce pour obtenir la forme voulue.

Les pièces mises en forme par forgeage présentent une texture bien définie, donc des caractéristiques mécaniques précises. Le forgeage des lingots provoque une homogénéisation par effet mécanique (écrasement de la structure dendritique) et par effet thermique (diffusion)

Le but visé dans ce travail de recherche a donc consisté, l'étude d'impact du forgeage sur les propriétés mécaniques de l'acier C22. La recherche s'est donc orientée vers les changements de la microstructure et la variation de la dureté en fonction de l'intensité de forgeage.

Par conséquent, le sujet est articulé sur deux principaux chapitres :

- Le premier chapitre est consacré à études et l'analyse bibliographique ;
- Le deuxième chapitre est consacré à la partie expérimentale : Il se subdivise en trois parties :
 - 1) Dans la première partie est exposée la procédure de réalisation de la pièce étudiée.
 - 2) La deuxième partie est réservée à la caractérisation de la broche avant et après forgeage.
 - 3) La troisième partie présente l'analyse et l'interprétation des résultats et enfin la conclusion.

Présentation de
l'entreprise du stage
FERROVIAL

Présentation de l'entreprise FERROVIAL

1- Historique de l'entreprise :

Avant 1962 les capacités de production étaient nulles et se confinaient aux quelques ateliers de réparation de la société NORD-AFRIQUAINE du chemin de fer, sise à Annaba. Les capacités de la SNTF étaient également nulles et ne suffisaient même pas à répondre à la demande exprimée. Le secteur était totalement tributaire de l'importation et l'économie nationale en était sérieusement affectée. Ce secteur alarmant et critique a conduit la direction politique du pays à l'inscrire comme l'une des priorités dans le plan de développement national. En 1967 l'état nationalisait les ateliers SNAF et les dotait de tous les moyens nécessaires pour prendre en charge les missions assignées par le premier plan de développement national. Ces ateliers sont confiés à la société nationale de la construction métallique, SN-METAL qui allait en faire, trois années plus tard, la plus grande usine de matériel ferroviaire en Afrique. Les objectifs fixés par le plan de développement national consistaient à court terme, à la réduction de l'importation de wagons de marchandise, la maîtrise de la technologie, l'industrialisation du pays. A moyen terme, cette unité « unité Allalik » devait satisfaire la demande nationale en wagons de marchandise, le développement ferroviaire (concept et construction) et l'extension vers d'autres créneaux. A long terme, l'unité devait satisfaire totalement la demande nationale et envisager l'exportation, la recherche et le développement des applications technologiques de pointe au matériel fabriqué.

A la suite de la restriction organique des entreprises « l'unité Allalik » s'est vue ériger en entreprise nationale de constructions de matériel ferroviaire (Par abréviation ferroviaire), qui allait passer à une vitesse supérieure en répondant totalement à la satisfaction de la demande nationale. Par conséquent, elle contribue au développement ferroviaire tant au niveau de la conception qu'à celui de la construction et en fin à la consolidation de l'économie du pays par l'accroissement des capacités nationales en matière d'exportation de produits finis et semi-finis.

L'entreprise nationale de construction de matériel et équipement ferroviaire « ferroviaire » a été créée en 1983 à la suite de la restructuration de la société mère SN-METAL.



Figure 1 : Vue de profile de l'entreprise

Elle a été transformée en SPA (société par actions) en 1989 son capitale est de 2.254.100.000 DA entièrement détenu par l'état ; elle est rattachée au ministère de transport. Elle est dotée d'un conseil d'administrateur et gérée par un PDG.

Le siège de l'entreprise situé par l'axe routier Annaba-El-Hadjar à 10Km du complexe sidérurgique. Elle est distante de 05 Km du port d'Annaba, et est desservie par une voie ferrée passant à proximité.

L'entreprise est constituée de deux unités opérationnelles installées sur le même site que le siège de la direction générale [2].

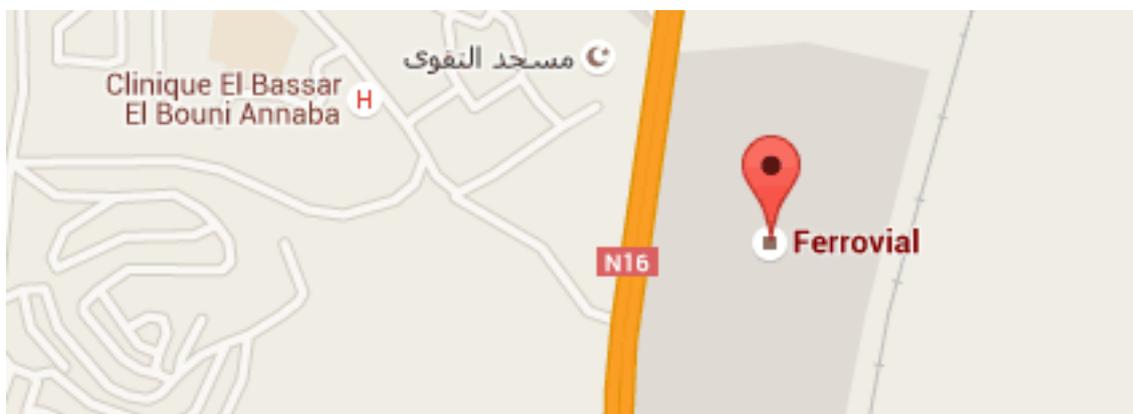


Figure 2 : Adresse de l'entreprise

2- Structure de l'entreprise

Structurée en deux entités , l'entreprise « ferroviaire » est dotée de machines-outils de hautes performances, installations modernes et d'un personnel technique maîtrisant le savoir-faire en wagonnage s'étendant sur une superficie totale de 320.000 m², dont 48.500m² couvert, cette unité dispose de plusieurs ateliers spécialisés dans des activités divers, dont le plus important est le secteur wagonnage. Ces ateliers, au nombre de cinq, réalisent une gamme variée de wagons destinés à plusieurs usages sur la base de différentes technologies.

- Fabrication mécanique : tournage, fraisage, perçage.
- Fabrication métallique : cisailage, pliage, oxycoupage, soudage.

L'entreprise est également équipée d'un laboratoire d'analyse de contrôle et d'essai (analyse chimique, dureté, résilience).

2-1 Ateliers et Matériels

On a 13 ateliers, nommés B0 à B12. Chaque atelier a sa propre fonction et son matériel mis en fonction au but de finir sa mission.

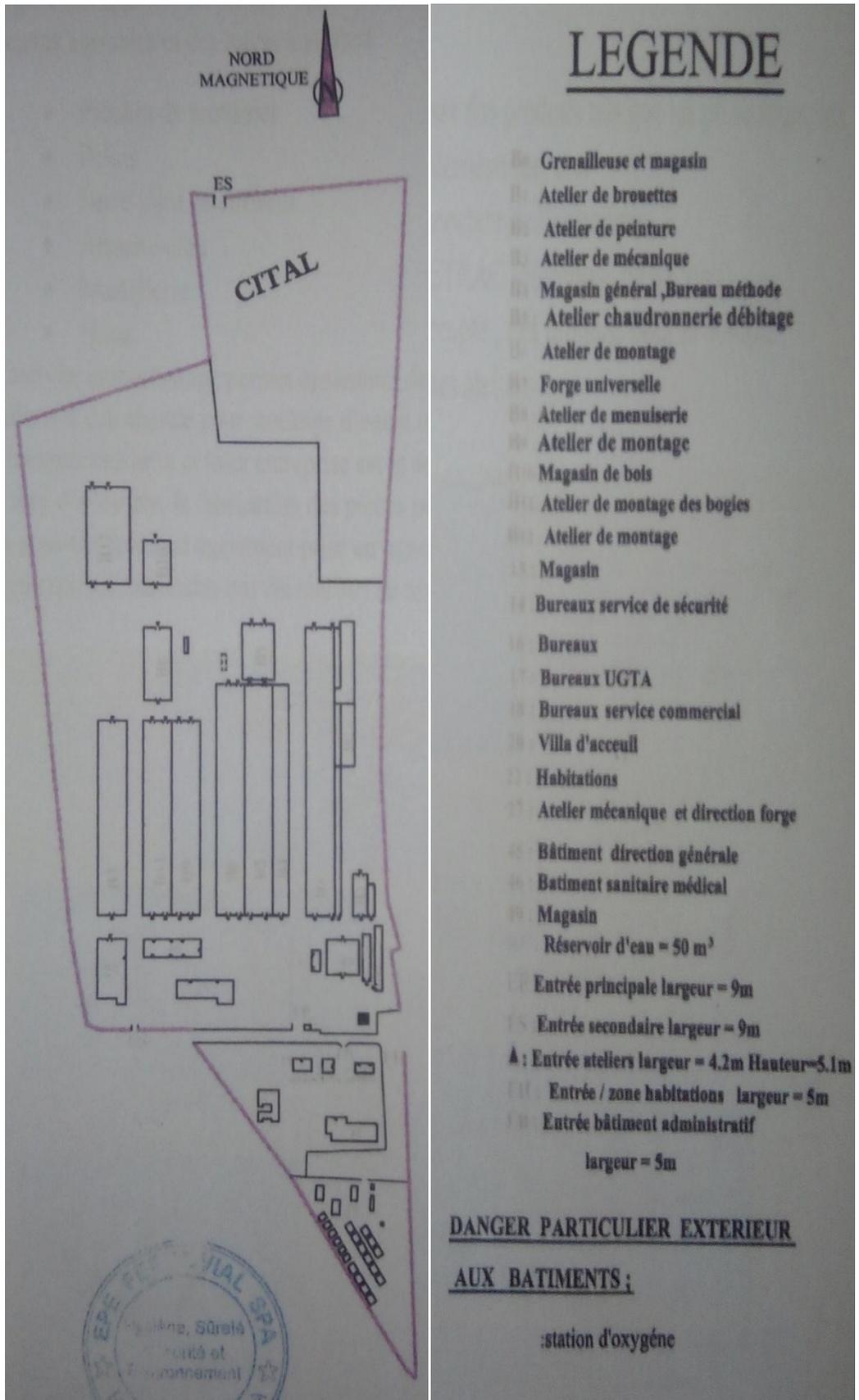


Figure 3 : Structure de l'entreprise

3/Produits de l'entreprise :

A/Produits forgés

Ils sont décrits comme suit :

- Pioches de terrassière
- Pelles
- Serre-joint coffreur
- Arrache-clou
- Martellerie
- Houe

B/Produits de diversification

Elle réalise également des pièces pour la construction métallique

- Bétonnier
- Centrale à béton 14 m³/h
- Divers types des bennes

C/produits ferroviaires

Sur la base de savoir-faire dans la transformation d'acier l'entreprise réalise de grands avancements dans la construction des équipements ferroviaires :

- Wagon phosphaté
 - Wagon minérale
 - Wagon fourgon
 - Wagon transport bobines
 - Wagon ballast
 - Wagon citerne
 - Wagon surbaisse
 - Wagon couvert
 - Wagon plat
 - Wagon transport containers
 - Locomotive de main d'œuvre
 - Réparation et réhabilitation des wagons et locomotives de main d'œuvre
- * Wagon tombereau
 - * Wagon de transport de ciment
 - * Wagon transport fine de charbon
 - * Wagon céréalier
 - * Bogies
 - * Fabrication PDR

Chapitre 1 :

Étude et analyse

bibliographique

Chapitre 1 : Etude et analyse bibliographique

1/Acier C22

Introduction :

La découverte du fer dans l'Antiquité a été une véritable révolution par rapport au bronze. L'industrialisation de la sidérurgie, associée à la découverte de la machine à vapeur, a constitué la Révolution industrielle du XIX^e siècle. Jusque dans les années 1980, la production annuelle d'acier était une des manières de représenter l'industrialisation d'un pays.

Les progrès en métallurgie ont donné naissance à de multiples nuances d'acier donc des nouvelles caractéristiques et nouvelles fonctions ce qui nous ramène au acier C22.

Propriétés :

C'est un acier de construction non allié pour trempe et revenu. Il est doux de cémentation pour des pièces non soumises aux chocs, mais nécessitant une bonne résistance superficielle. Il est utilisé également pour le traitement dans la masse. Sa soudabilité est assez bonne [3]

L'acier XC18 ne peut donc pas être trempé si on lui fait subir le traitement de "cémentation" on va apporter du carbone en surface à ce moment il peut être trempé mais la surface seule sera trempée, le cœur lui sera toujours doux [4].

Il porte plusieurs désignations

AFNOR	DIN	AISI	NF EN 10027-1
XC 18	Ck 22	-	C22 (1.1151)

Caractéristiques mécaniques moyennes (état normalisé)

Rm (N/mm ²)	Re (N/mm ²)	A (%)	Dureté (HB)
410 / 430	210 / 240	24 / 25	

Composition chimique en %

C	S	Mn	P	Si
0,16-0,22	≤ 0,035	0,40-0,70	≤ 0,035	0,15-0,35

Domaines d'application

Il est destiné pour la fabrication des pièces travaillant sans chocs comme : axes de pistons, arbres de pompes, pieds de bielles, arbres à cames. Après trempe directe et revenu il peut être aussi utilisé dans : la boulonnerie, la visserie, les tringles de commandes, les leviers, les manettes et les douilles [2].

2/Mise en forme par déformation à chaud et à froid

Introduction :

Les techniques de mise en forme des matériaux ont pour objectif de donner une forme déterminée au matériau tout en lui imposant une certaine microstructure, afin d'obtenir un objet ayant les propriétés souhaitées. C'est un travail qui nécessite de maîtriser parfaitement les paramètres expérimentaux (composition du matériau, température, pression, vitesse de refroidissement, etc.). Les techniques diffèrent selon les matériaux (leur solidité, l'usage, etc.)[5].

Types de mise en forme :

2.1-mise en forme par déformation à chaud (forgeage industriel)

Procédé de mise en forme d'un matériau afin de produire des pièces mécaniques ébauchées ou finies à haute caractéristiques. Cette mise en forme s'effectue à chaud ou à froid par déformation plastique (effort supérieur à la limite élastique).

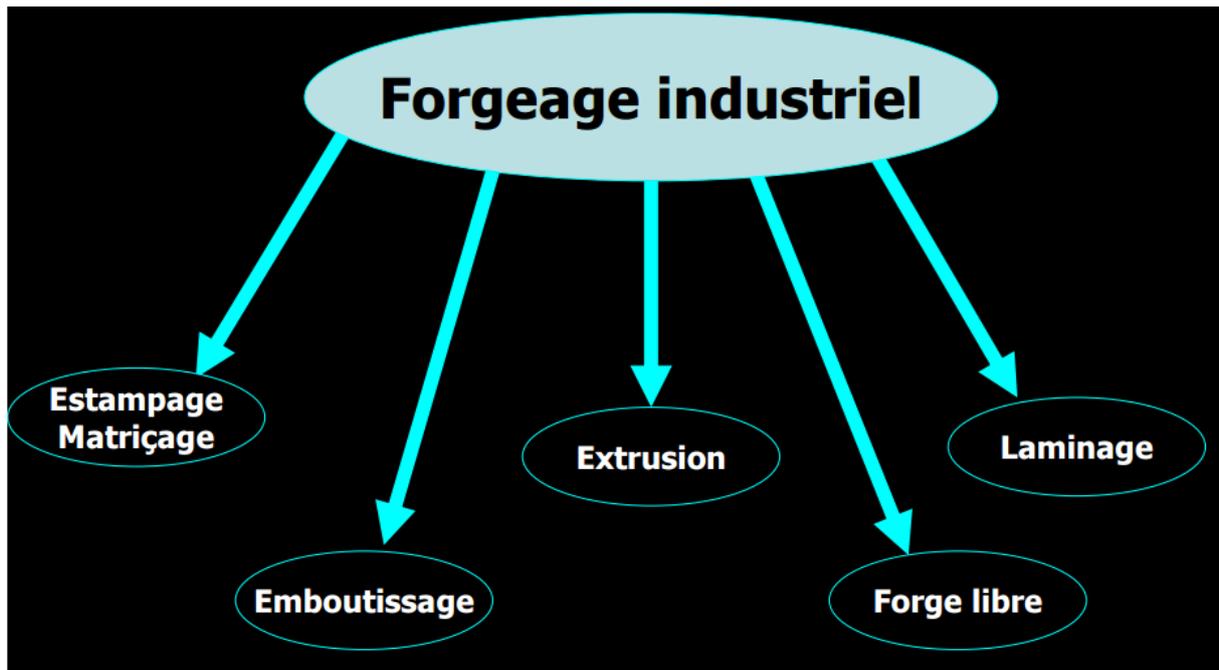


Figure 4 : type de forgeage

2.1.1-Estampage

• L'estampage consiste à déformer plastiquement les aciers « après chauffage » grâce à des outillages nommés "matrices" installés sur des presses ou des marteaux pilons, portant en creux la forme exacte du produit à réaliser.

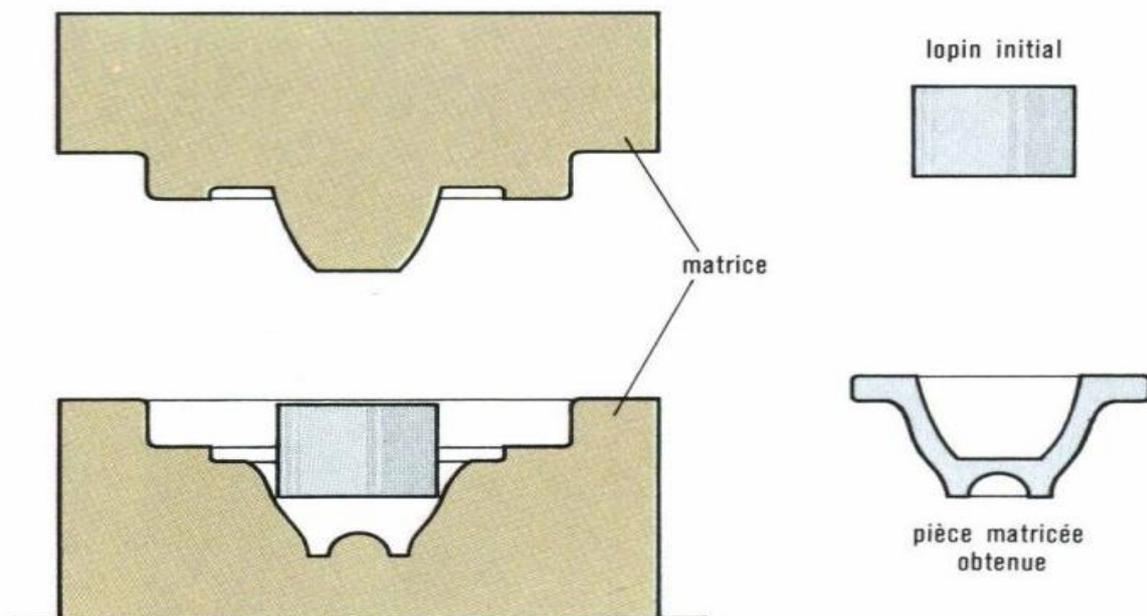


Figure 5 : Estampage

2.1.2-Matriçage

- La forge par matriçage consiste, comme l'estampage, à former après chauffage des pièces brutes réalisées en alliages non ferreux tels que les alliages d'aluminium, de cuivre, de titane, de nickel, etc.

2.1.3-Extrusion

- La forge par extrusion, procédé plus récent, repose sur le même principe que l'estampage, mais elle est conduite à froid. À la température ambiante, on contraint le matériau à remplir complètement la forme en creux d'une matrice grâce à une très forte pression exercée sur un poinçon.
- Ce procédé donne des pièces aux formes encore plus précises que celles qui sont réalisées avec les deux premiers procédés et présentant des états de surface excellents, ce qui permet souvent de les utiliser sans usinage complémentaire.

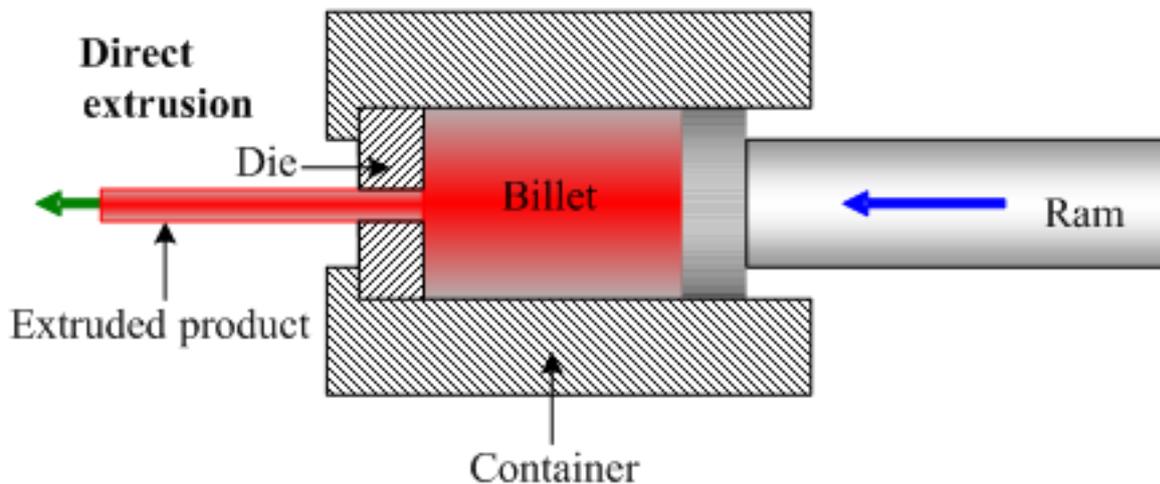


Figure 6 : Extrusion directe

2.1.4-Forgeage libre

Le forgeage libre est la déformation manuelle d'un lopin métallique à l'aide d'un pilon ou d'un marteau. Le résultat obtenu est dépendant du savoir-faire de l'ouvrier. Un forgeron réalisant un fer à cheval réalise du forgeage libre. Ce moyen de production tend à disparaître du fait de la standardisation et de la production en grande série, et n'est utilisé que pour les petites séries ou les pièces unitaires.

Les barreaux de fer sont travaillés à l'aide d'un marteau et d'une enclume. La forge (le foyer) est alimentée en charbon minéral, et activée par une vache, espèce de gros soufflet de foyer. La température du barreau peut atteindre 1100 °C avec ce type de foyer.

La température des barreaux d'acier est estimée d'après la couleur du métal. Le façonnage s'effectue à température relativement faible, à une couleur allant du rouge cerise (assez sombre) au rouge brillant. La soudure s'effectue à température élevée, à une couleur rouge-blanc.

Pour former petit à petit le métal chaud, le forgeron dispose d'un ensemble d'outils polyvalents mais simple :

- Le dégorgeoir -Le marteau
- La tranche -La chasse
- L'enclume...



Figure 7 : Forgeage

2.1.5-Laminage

- La forge par laminage permet d'obtenir des couronnes en tous matériaux.
- Le laminage est un procédé de fabrication par déformation plastique. Il concerne différents matériaux sous forme pâteuse comme le papier ou les pâtes alimentaires. Cette déformation est obtenue par compression continue au passage entre deux cylindres contrarotatifs appelés laminoirs.

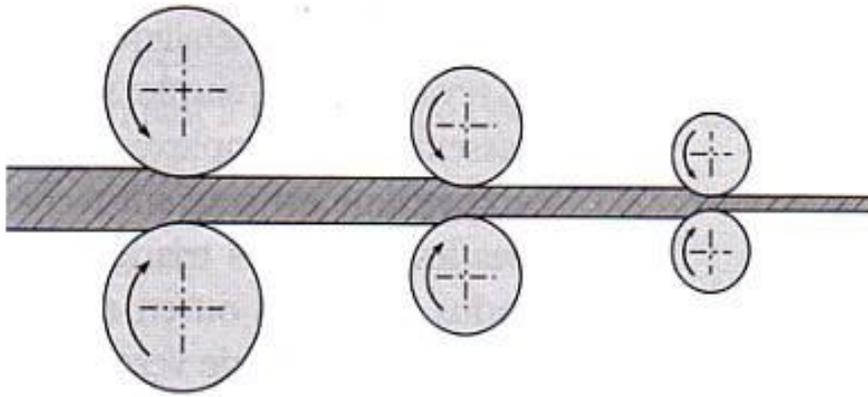


Figure 8 : Laminage

2.1.6-EMBOUTISSAGE

- La forge par emboutissage consiste à former des tôles par pression entre deux matrices portant en creux la forme exacte du produit à réaliser.

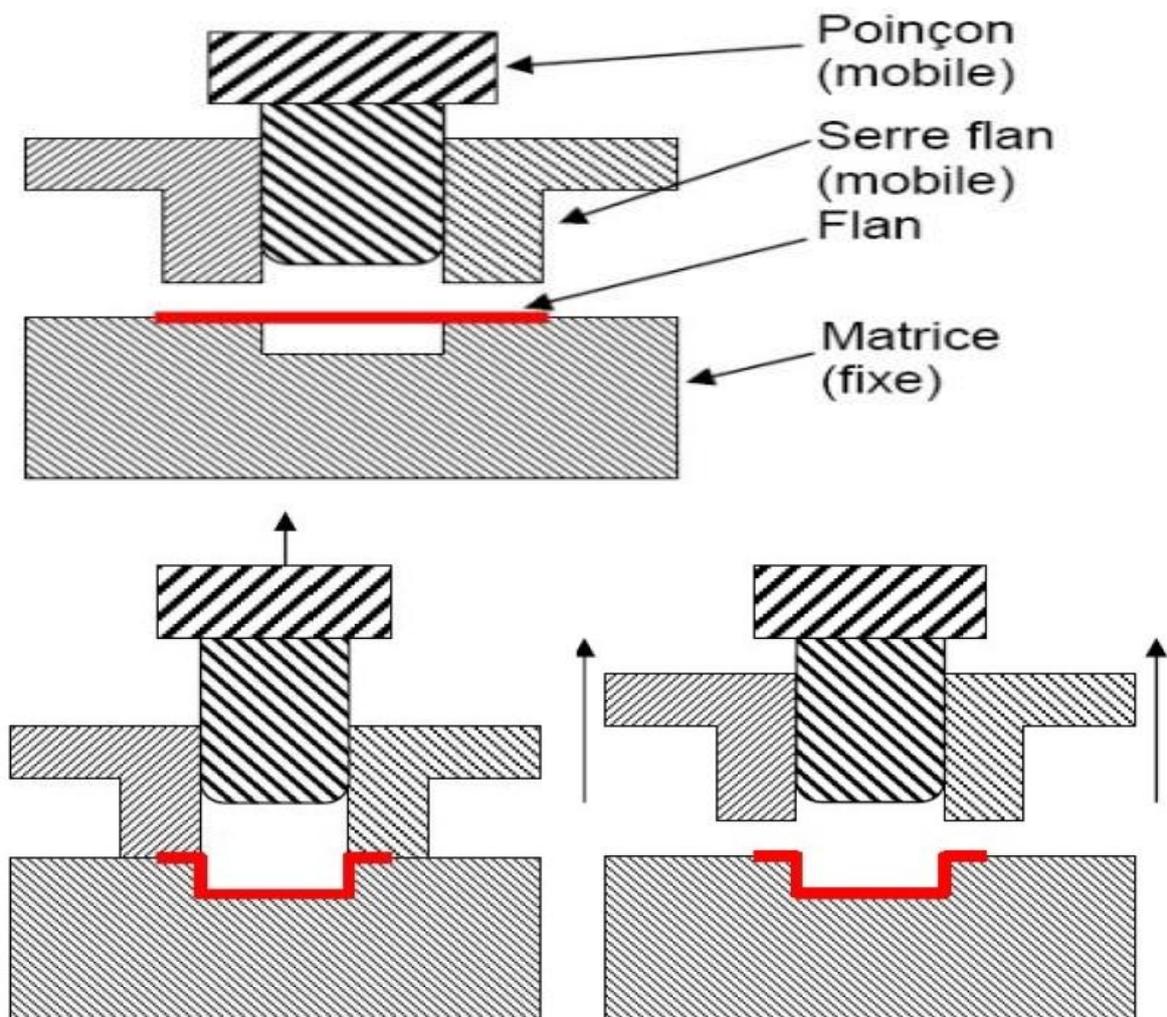


Figure 9/10 : Emboutissage

2.2-Mise en forme par enlèvement de matière :

Les procédés de réalisation par enlèvement de matière les plus courants sont :

- L'usinage à l'outil coupant
- L'électroérosion (usinage par étincelage)
- Rectification par enlèvement de matière à l'aide des grains abrasifs d'une meule.

L'usinage à l'outil coupant regroupe les opérations de fraisage, de tournage et de perçage. La mise en œuvre se fait sur des machines spécifiques (centre de tournage ou centre de fraisage) ou sur des machines à cinématique « multiproess » (Tournage et fraisage).

L'usinage par étincelage regroupe l'électroérosion par enfonçage et l'électroérosion à fil. Le premier consiste à reproduire l'empreinte d'une électrode et le second utilise un fil de laiton dont le parcours constitue le contour de la pièce.

2.2.1-Usinage par outil coupant :

Principe général :

Pour réaliser un usinage il est nécessaire que l'outil et la pièce soient animés de mouvements adaptés. Ainsi, au contact de la pièce et de l'outil, en fonction des vitesses de déplacement, des trajectoires choisies, se crée un copeau provenant de la pièce usinée.

Cette cellule d'usinage se compose d'une machine-outil, d'un ensemble porte-outil – outil et d'un ensemble porte pièce – pièce [6].

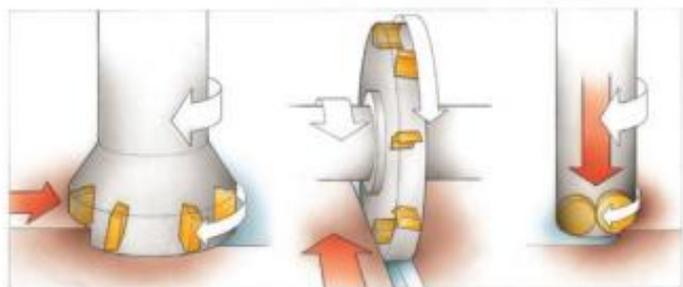
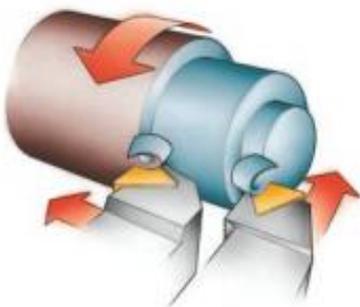


Figure 11 : Usinage par outils coupants

2.2.1.1-Tournage :

Le tournage est un procédé d'usinage par enlèvement des extractions de matière qui consiste en l'obtention de pièces de forme cylindrique ou/et conique à l'aide d'outils coupants sur des machines appelées tour. La pièce à usiner est fixée dans une pince, dans un mandrin, ou entre pointes.



Figure 12 : Composants du tour

Les opérations de tournage :

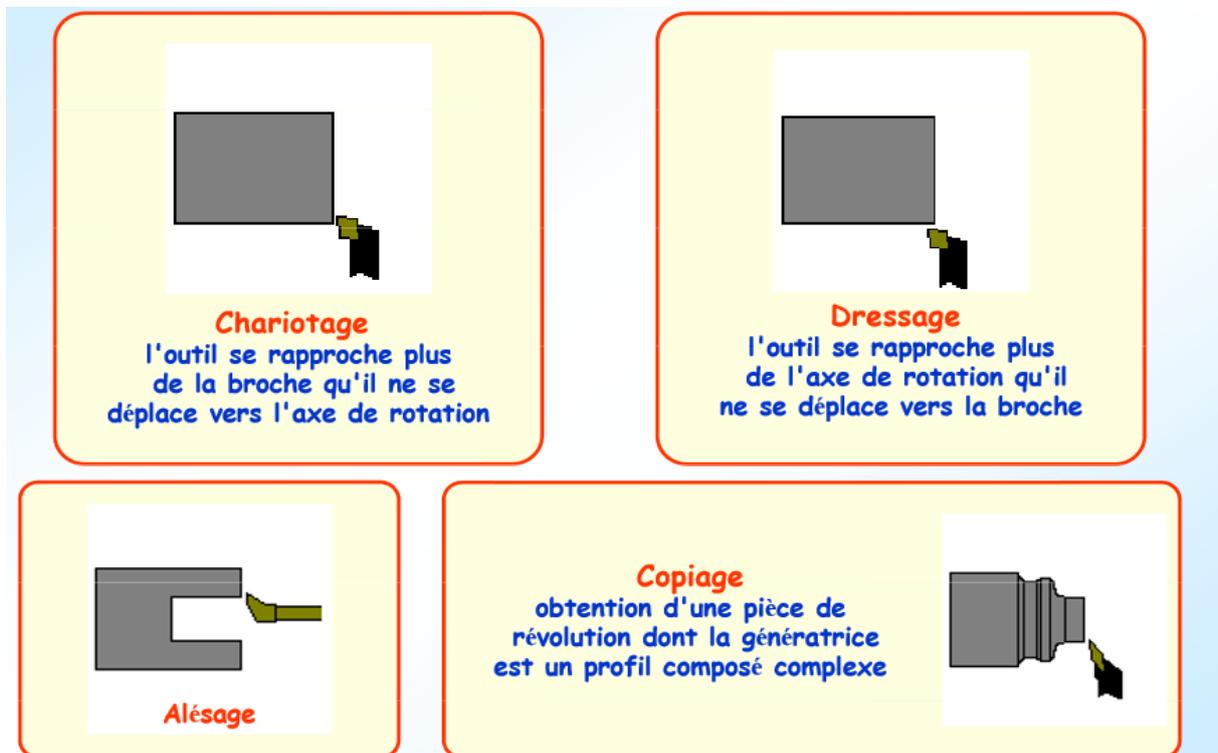


Figure 13 : Opérations de tournage

2.2.1.2-Fraisage :

* C'est un procédé d'usinage de formes globalement prismatiques.

* Il utilise des outils de coupe à dents multiples de forme circulaire appelés fraises.

* La fraise est animée d'un mouvement circulaire uniforme (mouvement de coupe)

* Son axe est généralement fixe. La pièce est solidaire d'une table qui est déplacée en fonction de l'usinage à réaliser (mouvement d'avance).



Figure 14 : Fraiseuse

Opérations de fraisage :

- Les opérations " en bout " : La surface usinée est sous la fraise.
- Les opérations "en roulant" : La surface usinée est tangente à la génératrice de la fraise. C'est donc le profil de la fraise qui va déterminer la forme. Le profilage, le détournage, l'usinage de poche, le contournage sont des opérations "en roulant".

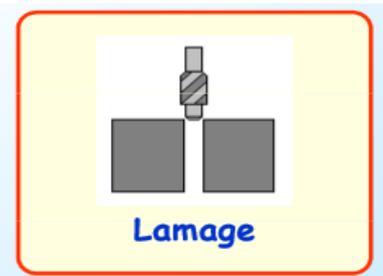
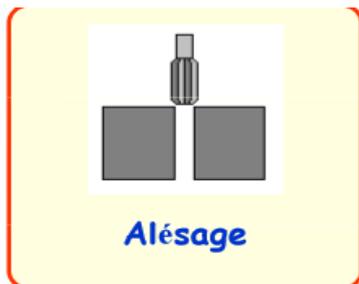


Figure 15 : Opérations de fraisage

2.2.1.3-Perçage :

Le perçage est un usinage consistant à faire un trou dans une pièce. Ce trou peut traverser la pièce de part en part ou bien ne pas déboucher. On parle alors de trou borgne. Ce trou peut être effectué par un foret sur une perceuse, une mèche sur un vilebrequin, etc. Ce trou peut servir à faire passer une pièce (un arbre, un tube), un fluide, ou peut encore être taraudé pour recevoir une vis.[7]

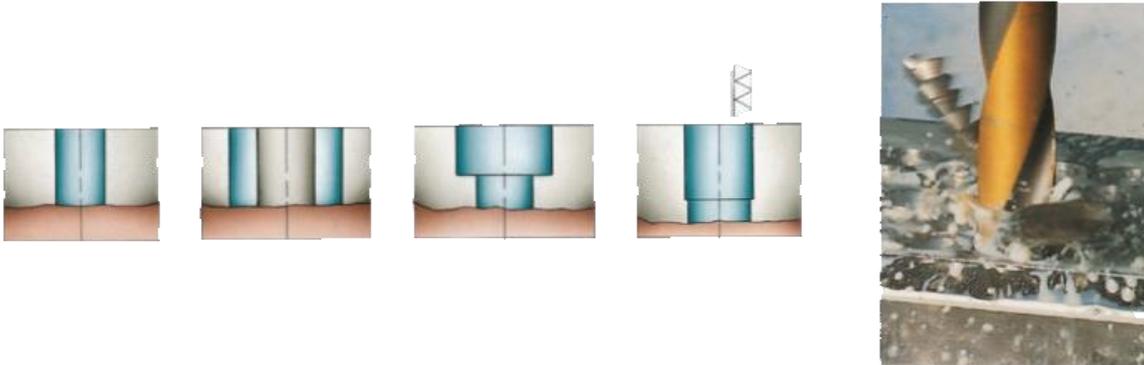


Figure 16 : Points de perçage



Figure 17 :Machine-outil: Perceuse

2.2.2-Electroérosion - Usinage par étincelage :

Principe général

L'électroérosion est un procédé d'usinage qui consiste à enlever de la matière dans une pièce en utilisant des décharges électriques comme moyen d'usinage. Cette technique se caractérise

par son aptitude à usiner tous les matériaux conducteurs de l'électricité (métaux, alliages, carbures, graphites, etc.) quelle que soit leur dureté [6]



Figure 18 : Principe de l'électroérosion

On distingue deux procédés d'enlèvement de matière basés sur le principe de l'usinage par étincelage : L'enfonçage et l'électroérosion à fil

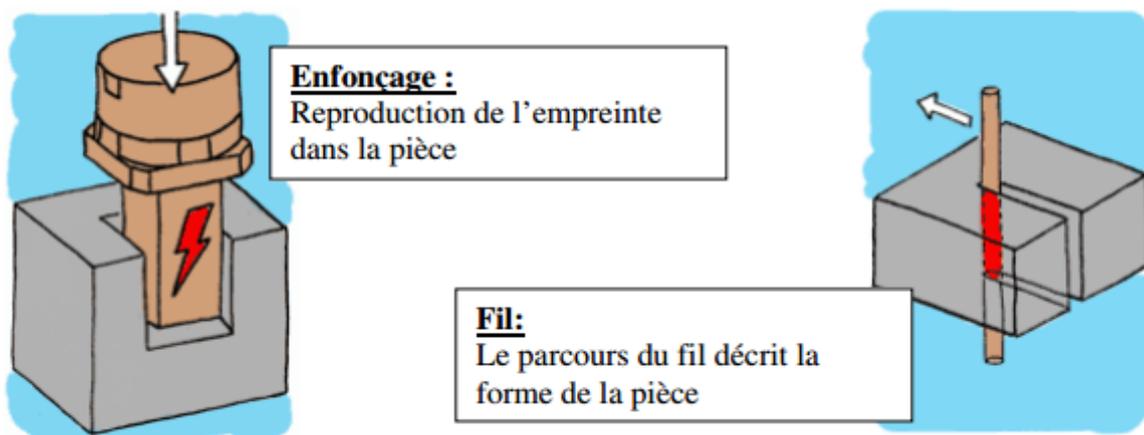


Figure 19 : Procédés d'usinage par étincelage

2.2.3-Rectification par enlèvement de matière à l'aide des grains abrasifs d'une meule :

La rectification est un procédé d'usinage sur machines-outils qui consiste à enlever la matière, sous forme de petits copeaux, au moyen d'un outil particulier appelé meule. On fait appel à ce procédé pour des raisons de précision qui tiennent à la fois aux dimensions, aux états de surfaces et aux conditions de dureté des pièces.

Mode d'action de l'outil meule :

La rectification d'une surface s'opère comme suit : La meule constituée d'une multitude de grains d'abrasifs, reliés ensemble par un matériau dit agglomérant, est animée d'un mouvement de rotation et placée en contact avec la pièce à usiner. Ces petits grains enlèvent

la matière sous forme de minuscules copeaux.[8]

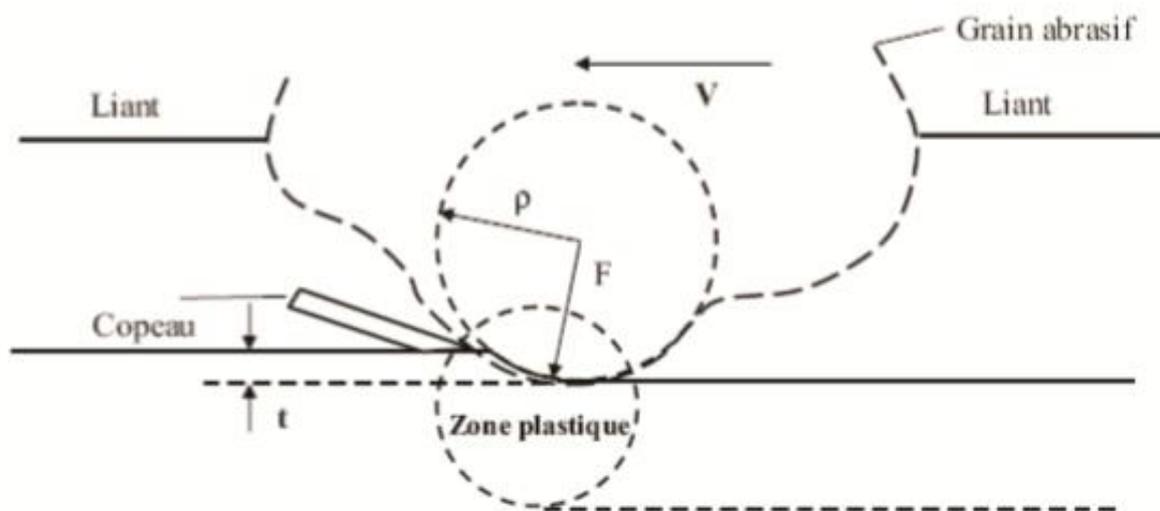


Figure 20 : Mode d'action de l'outil meule.

Chapitre 2 :

Partie

expérimentale

Introduction :

Le chapitre 2 présente la partie expérimentale de notre étude sur l'influence du forgeage sur les propriétés mécaniques de la matière étudiée.

Ce deuxième chapitre se subdivise en trois parties :

La première partie est consacrée à la procédure de réalisation de la broche conique.

La deuxième partie, est réservée à la caractérisation de la broche avant et après forgeage.

La troisième partie présente l'analyse et l'interprétation des résultats.

Partie 1 : réalisation de la broche conique

1-Introduction

L'activité de forgeron est apparue en même temps que la découverte du travail des métaux, environ 1500 ans av. J.-C. ; elle est devenue un métier à part entière à mesure que les peuples exprimèrent leur besoin d'avoir des objets plus résistants et aux usages variés (armes, parties mécaniques, grilles, clefs, bijoux, etc.).

Le forgeage est un procédé de travail qui permet de modeler le métal ramolli à chaud, par chocs ou par pression afin de l'amener par déformations successives à la forme désirée.

Notre objectif dans cette partie est de décrire la procédure de cycle de production d'une broche conique [9].

2-Matériel utilisé :

La description du matériel utilisé dans notre chaîne de production est comme suit :

2.1-Cisaille ERFURT

Description :

C'est une cisaille d'occasion ERFURT ScPK 1 500, destinée pour découper des pièces rondes de 125 mm de diamètre et de section carrée (123x123 mm²). La cisaille est équipée d'un convoyeur de 6m.

Caractéristiques techniques :

Capacité en tonne	500
Capacité du moteur (KW)	32
Course par minute	32
Dimension en totale (L*L*h)	2500 * 2950 *4300
Poids totale (Tonne)	22
Pression en service (bar)	8

Tableau 1 : Caractéristique technique de la_Cisaille ERFURT



Figure 21 : Cisaille ERFURT

2.2-Four de forge 150 kg :

Généralités :

1* Dimensions intérieures

- Longueur : 1 m
- Largeur : 0.5 m
- Hauteur : 0.55 m

2*Température :

- 1200/1250 C°

3* combustible

- Gaz naturel
- Fuel léger



Figure 22 : Four de forge 150 kg

2.3- marteau pneumatique à forger

Type : marteau pneumatique à forger

Modèle : M418

Les paramètres essentiels et les dimensions du marteau correspondent à IOCT712-G5

Paramètres	Unité de mesure	Valeur
*Energie du coup minimum	KG	2800
*Nombre nominal des masses tombantes	KG	1000
*Nombre de coup par minute		95

*Distance entre l'axe du mouton et le bâti (profondeur du col de cygne)	Mm	800
Hauteur de la zone de travail ,claire-voie	Mm	750
Dimension de la face de la frappe *1- longueur *2-largeur	Mm Mm	360 140
Hauteur de la face de la contre-frappe au-dessus du sole	Mm	750
Diamètre du cylindre de travail	Mm	620
Diamètre du cylindre de compresseur	Mm	700
Course du piston de compresseur	Mm	550
Vitesse des masses tombantes au moment du coup	M/S	7.5
Section optimum forgeable de l'ébranché *carré ,coté de *rond, diamètre de	Mm Mm	150 170
Poids : 1- Avec chapote 2- Sans chapote	Kg Kg	38200 24200
Encombrement : A- Gauche-droite B- Avant-arrière	Mm Mm	4330 1600
Hauteur au-dessus du sol	Mm	3510

Tableau 2 : Les paramètres essentiels et les dimensions du marteau pneumatique



Figure 23 : Marteau pneumatique

3-Produit à réaliser :

Une broche conique commandée par la société Bâti-Métal afin de l'utiliser dans l'assemblage (boulonnages) de la charpente métallique.



En mécanique industrielle, la fabrication d'une pièce à partir d'une quantité de matière livrée sous forme de matière première requiert la mise en œuvre d'un ensemble de techniques. L'une d'entre elles est le forgeage, c'est-à-dire un traitement thermique puis matriçage.

Pour arriver au produit fini il faut d'abord passer par les étapes suivantes :

- 1- Découpage (cisaillement)
- 2- Chauffage
- 3- Forgeage

3.1-découpage :

Le découpage est un procédé de fabrication de pièces qui consiste à diviser un sous-produit en plusieurs parties. Il y a plusieurs techniques de découpage. Parmi ces techniques nous utilisons le cisaillement qui est une contrainte appliquée de manière parallèle ou tangentielle à une face d'un matériau, par opposition aux contraintes normales qui sont appliquées de manière perpendiculaire[10].

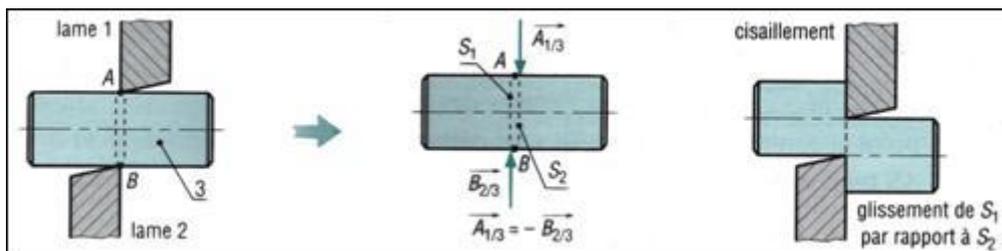


Figure 24 : Schéma de cisaillement

La machine utilisée est la cisaille ERFURT



Figure 25 : Opération de cisaillement

3.2-Chauffage

Le chauffage est l'action de transmettre de l'énergie thermique à un objet, un matériau ou à l'air ambiant, dans le domaine de la mécanique l'échauffement d'une pièce c'est dans le but de la rendre plus malléable. Le chauffage se fait avec un four de forge 150 KG.

Les mesures dans cette étape sont prises voie visuelle par l'opérateur donc par variation de la couleur de la pièce, plus sa couleur varie vers le jaune, la pièce est prête pour le forgeage.



Figure 26 : Chauffage de la pièce dans le four

3.3-forgeage :

La dernière étape de notre travail se résume par le forgeage de la pièce en utilisant un marteau CFI c'est-à-dire formé une pièce par frappes répétitives du matériau entre l'enclume et le pilon qui donne à la fin la forme finale de la broche conique.



Figure 27 : Etalonnage de la pièce

Comme ça on arrive à notre fin de chaîne de production « broche conique » en utilisant le forgeage libre.



Figure 28 : produit fini

Partie 2 : caractérisation de la broche avant et après forgeage.

1-Introduction :

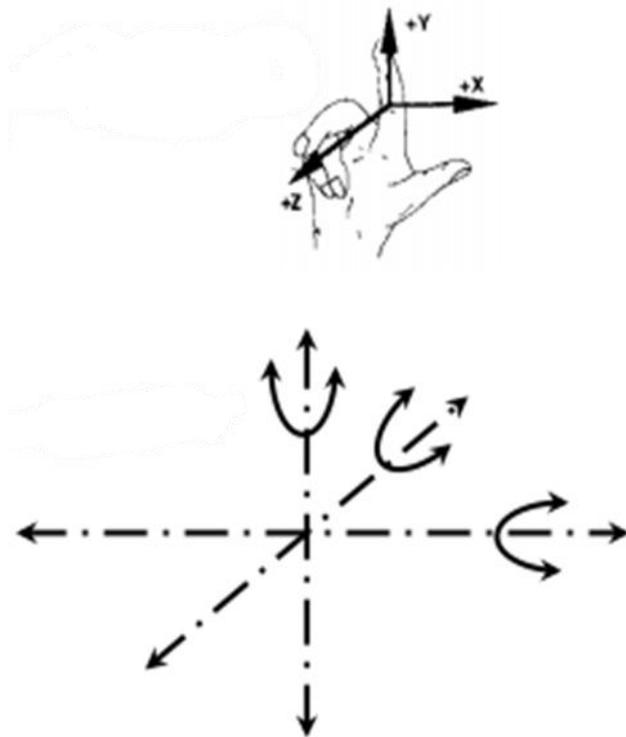
La deuxième partie résume les étapes essentielles de notre étude, relatives à l'impact du forgeage sur les propriétés mécaniques de la matière «C22 ». Dans cette partie on va travailler sur deux éprouvettes de la même matière : la première est une pièce brute à l'état de livraison et l'autre à l'état forgé.

Dans cette partie on va présenter la procédure de la découpe des éprouvettes, la microstructure des échantillons, la mesure de la dureté et enfin l'analyse chimique.

2-Découpe des éprouvettes :

Pour découper les éprouvettes nous avons utilisé le fraisage. Ce dernier est un procédé de fabrication mécanique par enlèvement de matière, faisant intervenir, en coordination, le mouvement de rotation d'un outil à plusieurs arêtes (mouvement de coupe) et l'avance rectiligne d'une pièce (dit mouvement d'avance).

En fraisage l'outil tourne autour de l'axe de la broche et la pièce se déplace linéairement. Sur certaines machines les deux peuvent se déplacer sur un axe ou tourner autour d'un autre axe.

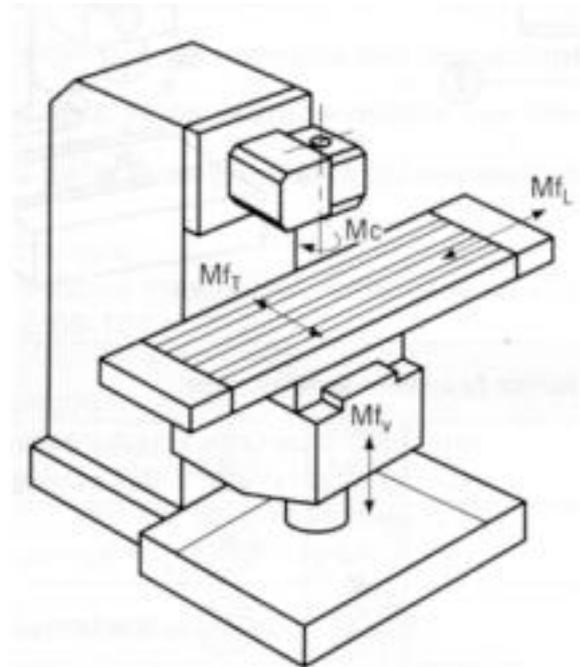


Les trois axes de l'espace sont appelés couramment : X, Y et Z.

On distingue 2 types de mouvement :

1. Le mouvement de coupe

Il permet à l'outil de couper la matière de la pièce dans la zone de coupe. Il est noté M_c . En fraisage, c'est l'outil qui est animé du mouvement de coupe. C'est généralement une rotation. La vitesse associée à M_c est la vitesse de coupe, notée V_c [11].



2. Le mouvement d'avance

Il permet à l'outil de se déplacer le long de la pièce. Il est noté M_f . En fraisage, c'est la pièce qui est animée du mouvement d'avance. Il est généralement une translation. La vitesse associée à M_f est la vitesse d'avance, notée V_f .

V_f est généralement beaucoup plus petit que V_c .

2.1-Matériels et équipements utilisés :

- I. La machine-outil utilisée dans notre travail est une fraiseuse universelle.
- II. l'outil utilisé est une fraise scie

2.1.1-La fraiseuse universelle :



Figure 27 : Fraiseuse universelle

CARACTERISTIQUES TECHNIQUES	
Course longitudinale X	1500 mm
Course transversale Y	700 mm
Course verticale Z	550 mm
Surface de la table	2000 x 460 mm
Nb de rainures en T	écartement 8
Nombre de vitesses	27
Vitesse de broche	30 à 2066 tr/min
Encombrement (L x l x H)	2500 x 2500 x 2000 mm
DONNEES DE LA MACHINE	
Puissance moteur	7.5 cv
Poids	4500 kg

Tableau 3 : Caractéristiques techniques de la fraiseuse universelle

2.1.2-Fraise scie :



Figure 28 : fraise scie

3-Polissage :

3.1-Généralités sur le polissage :

Le polissage ou poli est l'action de polir, de rendre lisse et éventuellement brillant. Le polissage est l'étape principale de la métallographie (la méthode d'observation de la structure du métal). En effet, pour pouvoir observer les détails microscopiques de la structure, il faut éliminer les rayures.

Le polissage est également utilisé lorsque l'on veut faire un essai mécanique :

- En compression, pour réduire le frottement de l'échantillon sur le tas de compression pour éviter la déformation « en tonneau » et le flambage ;
- De manière générale (en traction, compression et flexion) pour éviter les concentrations de contraintes ;
- Il est également indispensable pour observer les traces dans les essais de micro dureté.

Enfin, le polissage peut être utilisé pour enlever la couche superficielle et avoir accès au cœur du matériau, qui n'a pas nécessairement les mêmes propriétés.

On vise en général le « poli miroir », c'est-à-dire qu'aucun défaut, aucune rayure n'est visible au microscope optique, les défauts résiduels ont donc une taille inférieure au micromètre ; on se contente souvent d'une impression à l'œil nu ou à la loupe binoculaire.

On se contente parfois d'un polissage plus grossier, selon les applications.

Pour le polissage mécanique, on utilise des papiers avec des particules abrasives, sorte de toile émeri, de papier de verre, mais avec une taille de particules plus fine et maîtrisée, en général en carbure de silicium (SiC) ou en alumine (Al_2O_3). Si la surface n'est pas plane, on commence par un papier « à gros grain », puis on passe successivement à des papiers à grains plus fins. Entre deux papiers, il faut :

- bien nettoyer l'échantillon, afin de le débarrasser des particules du papier précédent qui auraient pu s'incruster ; on utilise en général un bain à ultrasons ;
- croiser la direction de polissage : pour un papier donné, on polit toujours dans le même sens, et on croise les sens d'un papier à l'autre, ce qui permet de faire ressortir les rayures résiduelles de l'étape précédente [12].

3.2-Polissage (partie pratique) :

3.2.1-Matériel utilisé :

Struersplanopol-V



Figure 31 : Machine de polissage Struersplanopol-V

Description :

- Diamètre 200 mm
- Vitesse 40-600 Tpm
- Moteur électrique 370 W / 0.50 HP
- Tension / fréquence 200-240 V / 50-60 Hz
- Puissance de ralenti 12 W
- Largeur 410 mm
- Profondeur 670 mm
- Hauteur 310 mm
- Poids 25 kg

3.2.2-Etapes de polissage :

Le polissage a été effectué au laboratoire du département de métallurgie.

Dans le cas de l'acier C22 :

Grade 380, polissage à l'eau avec papier carbure de silicium (pour tous les papiers constitués d'un abrasif + liant, il faut changer très souvent de papier du fait de l'usure rapide des grains le constituant).



Figure 32 : polissage de l'échantillon

En effet si ces grains sont usés ils ne coupent plus la matière mais glissent et roulent sur le métal à polir avec des résultats insatisfaisants, on ne gagne en effet pas de temps à insister avec un papier usé, et une étape loupée est difficile à rattraper par la suite :

- Grade 600 selon ce que l'on trouve, à l'eau.

- Grade 800, à l'eau.

- Grade 1000, à l'eau.

- Grade 1200, à l'eau.

- Grade 1400, à l'eau.



Figure 32 : Echantillon avant et après polissage

C'est une discipline de la métallurgie qui a pour objectif d'étudier les microstructures microscopiques des métaux. L'observation se fait au microscope métallographique optique suite à un polissage très fin et une attaque chimique par un produit formé par 95% alcool et 5% d'acide nitrique.

4-La microstructure

4.1-Définition de la microstructure :

C'est la structure à petite échelle d'un matériau, défini comme étant la structure d'une surface préparée d'un matériau tel que révélé par un microscope au-dessus de 25 grossissement x. La microstructure d'un matériau (par exemple, des métaux , des polymères ,

des céramiques ou composites) peuvent influencer fortement les propriétés physiques telles que la résistance, la ténacité, la ductilité, la dureté, la résistance à la corrosion, le comportement à haute/basse température ou résistance à l' usure [13]..

4.2-Microscope utilisé : LEICA DM LM



Figure 34 : Microscope LEICA DM LM

Description :

- Optique HC infini
- Objectifs spéciaux (1.6x a 250x)
- 20, 22 et 25mm champs de vision
- 100W éclairage halogène.
- Rotatif, étape de revêtement céramique.
- réglage de la hauteur de la scène souple (jusqu'à 100 mm) pour les objets larges.
- 3 vitesses accent entraînement avec réglage du couple individuel et arrêt de la hauteur de la scène.
- la compensation de la dérive de mise au point d'origine thermique (nouveau stand breveté).

Résultat obtenus :

Dans la figure suivante, sont montrées les microstructures de la pièce brute et forgée dans deux zones différentes de la surface de l'échantillon et à différents diamètres.

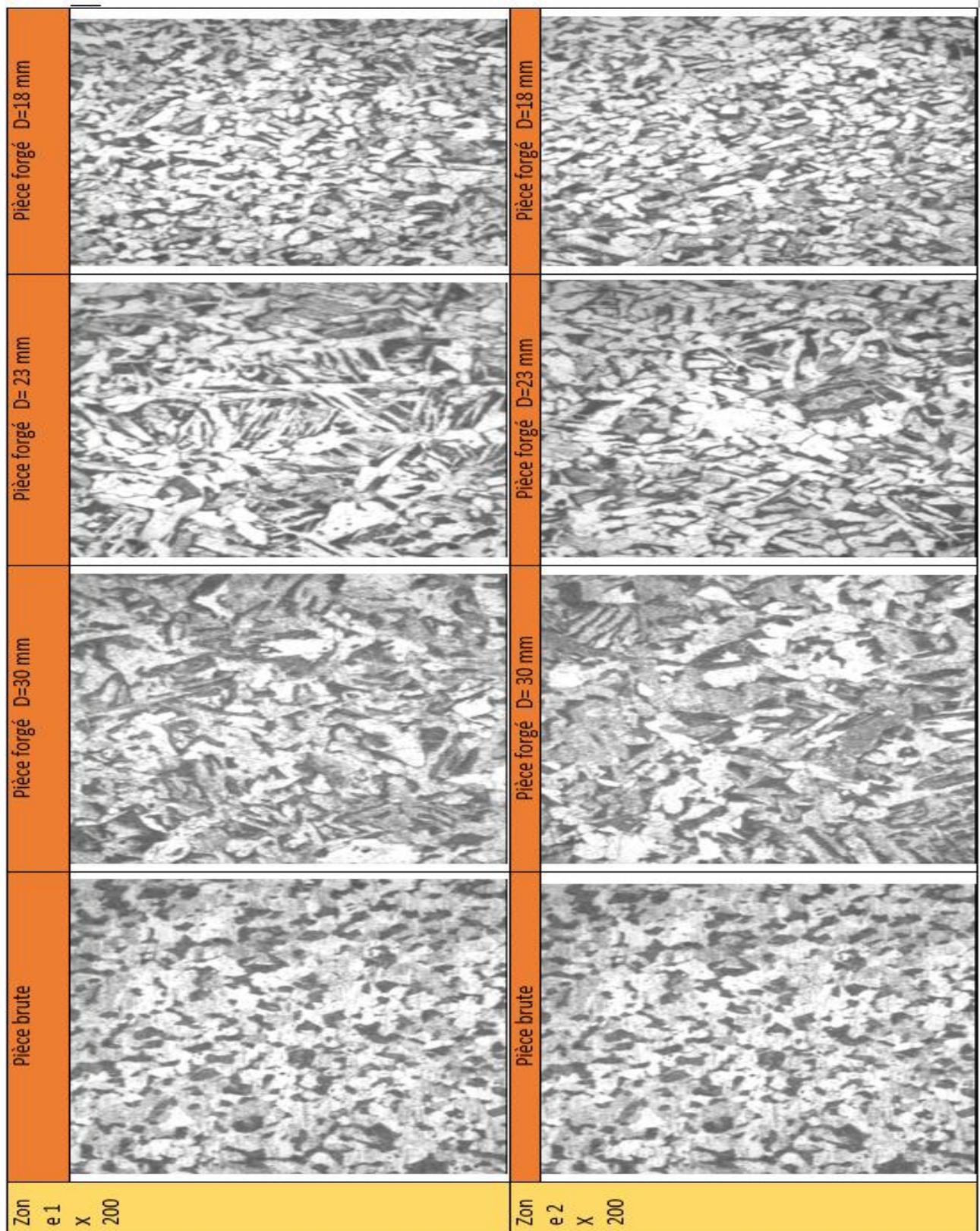


Tableau 4 : Comparaison de la microstructure prise dans deux zones du même échantillon avant et après forgeage (x200)

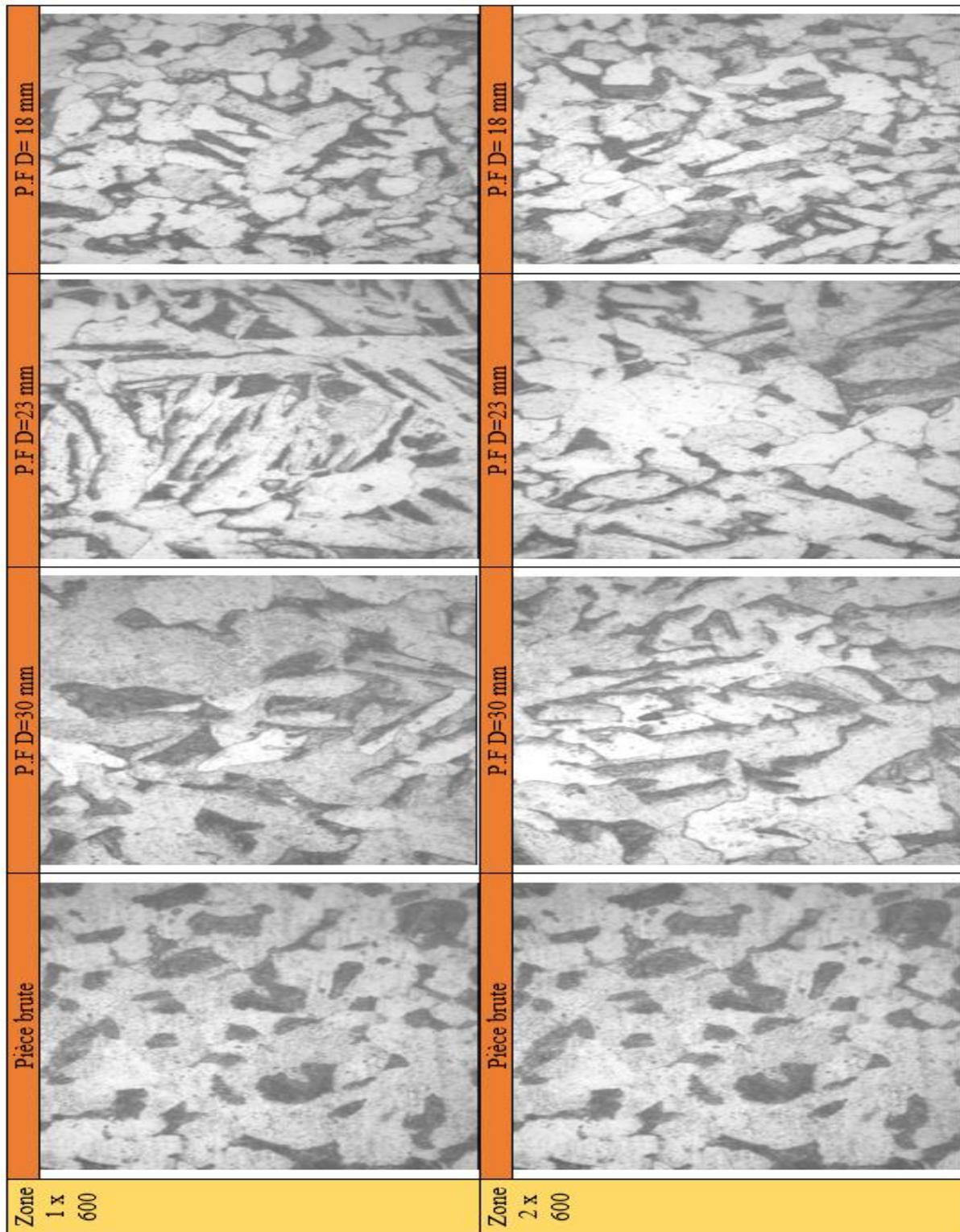


Tableau 5 : Comparaison de la microstructure prise dans deux zones du même échantillon avant et après forgeage (x600)

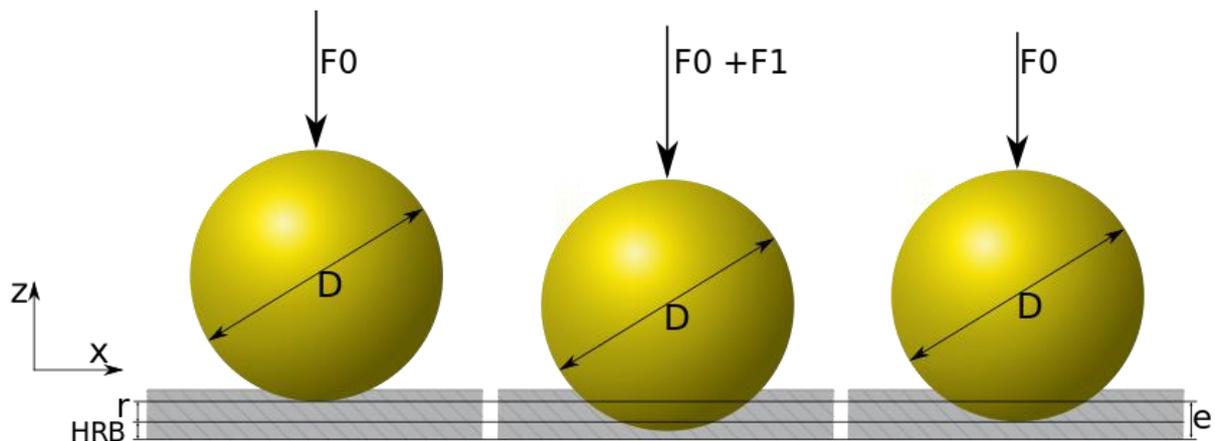
5-La dureté :

La dureté d'un matériau définit la résistance qu'oppose une surface de l'échantillon à la pénétration d'un poinçon, par exemple une bille en acier trempé (dureté Brinell) ou une pyramide en diamant (dureté Vickers). S'il y résiste bien, il est dit dur, sinon il est dit mou. La dureté se mesure sur différentes échelles selon le type de matériau considéré.

5.1-Principe de la dureté Rockwell (échelle B, bille en acier)

Les essais de dureté Rockwell sont des essais de pénétration. Il existe en fait plusieurs types de pénétrateurs qui sont constitués d'un cône en diamant ou d'une bille en acier trempé polie. Pour obtenir une valeur de dureté Rockwell, on mesure une pénétration rémanente du pénétrateur sur lequel on applique une faible charge [14].

L'essai se déroule en trois phases :



- application sur le pénétrateur d'une charge initiale $F_0 = 98$ N (soit 10 kgf). Le pénétrateur s'enfonce d'une profondeur initiale. Cette profondeur étant l'origine qui sera utilisée pour mesurer la dureté Rockwell ;
- application d'une force supplémentaire F_1 . Le pénétrateur s'enfonce d'une profondeur de P ;
- relâchement de la force F_1 et lecture de l'indicateur d'enfoncement.
 - La valeur de r étant l'enfoncement rémanent obtenu en appliquant puis en relâchant la force F_1 .
 - La valeur de dureté est alors donnée par la formule suivante :
- **Échelle B, E et F**

$$\text{HRB} = 130 - r$$

- **Échelle C**

$$\text{HRC} = 100 - r$$

- Une unité de dureté Rockwell correspondant à une pénétration de 0,002 mm.

5.2-Les différentes échelles :

Échelle	Symbole	Pénétrateur	Valeur de la force totale $F_0 + F_1$ (N)	Application
A	HRA	Cône de diamant de section circulaire à pointe arrondie sphérique de 0,2 mm	588,6	Carbure, acier et en épaisseur mince
B	HRB	Bille d'acier de 1,588 mm (1/16 de pouce) de diamètre	981	Alliage de cuivre, acier doux, alliage d'aluminium Matériaux ayant une résistance à la rupture comprise entre 340 et 1 000 MPa
C	HRC	Cône de diamant de section circulaire à pointe arrondie sphérique de 0,2 mm	1 471,5	Acier, fonte, titane Matériau ayant une dureté résistance à la rupture supérieure à 1 000 MPa
D	HRD	Cône de diamant de section circulaire à pointe arrondie sphérique de 0,2 mm	981	
E	HRE	Bille d'acier de 3,175 mm (1/8 pouce) de diamètre	981	Fonte, alliage d'aluminium et de fonte
F	HRF	Bille d'acier de 1,588 mm de diamètre	588,6	Alliage de cuivre recuit, fine tôle de métal.
G	HRG	Bille d'acier de 1,588 mm de diamètre	1 471,5	Cupro-nickel, alliage cuivre-nickel-zinc

Tableau 6 : Les différentes échelles de dureté

5.3-Moyen utilisé :Duromètre Zwick Roell ZHU



Figure 35 :Duromètre Zwick Roell ZHU

Description :

Les variantes de l'appareil d'essais de dureté universelle Zwick/ZHU 187,5 servent à l'essai de dureté d'après Vickers, Brinell et Rockwell.

Caractéristiques :

- Application de la charge par poids morts
- Temps d'essais réglable entre 1 et 50 s
- Affichage LCD de la valeur de dureté et de l'échelle avec une résolution de 0.1 unités (ex.: 60.3 HRC) · ajustement de la tolérance
- Réglage de la tolérance de dureté
- Statistiques (x et R)
- Nombreuses options de conversion
- Microscope de mesure intégré avec barre de mesure et bouton pour transmission des données mesurées à l'électronique.

5.4-Les résultats :

1^{ère} série :

	HRB1	HRB2	HRB3	HRBmoy
Pièce brute	96.3	94.6	96	95.63
P.F D=29 mm	82.8	88.7	87.6	86.36
P.F D=23 mm	91.1	94	93.3	92.8
P.F D=18 mm	92.3	91.6	93.3	92.4

Tableau 7 : résultats de dureté pour série 1

2^{ème} série :

	HRB1	HRB2	HRB3	HRBmoy
Pièce chauffée avant forgeage	90.1	90.3	91.2	90.53
P.F D=14 mm	92.6	91.6	90.9	91.7
P.F D=10 mm	94.2	95.2	94.3	94.56

Tableau 8 : résultats de dureté pour série 2

Interprétation graphique des résultats :

1^{ère} série : cette présentation graphique résume les résultats collectés dans le tableau de la 1^{ère} série

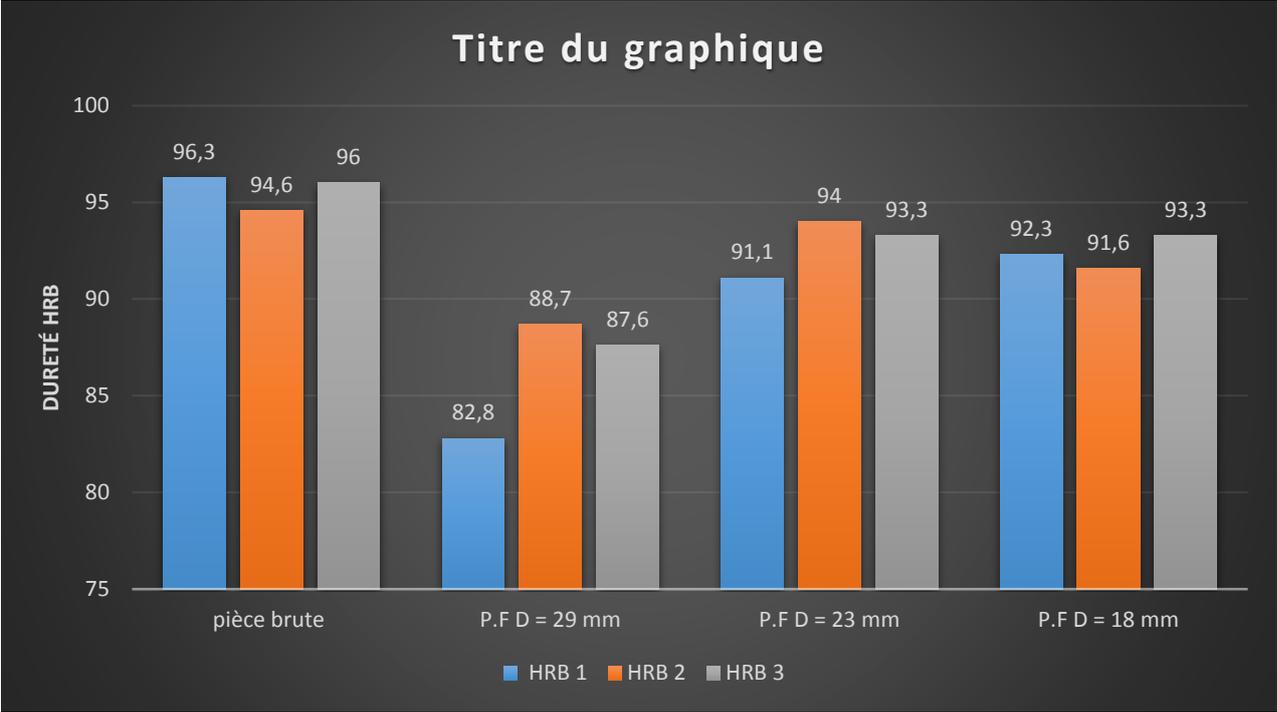
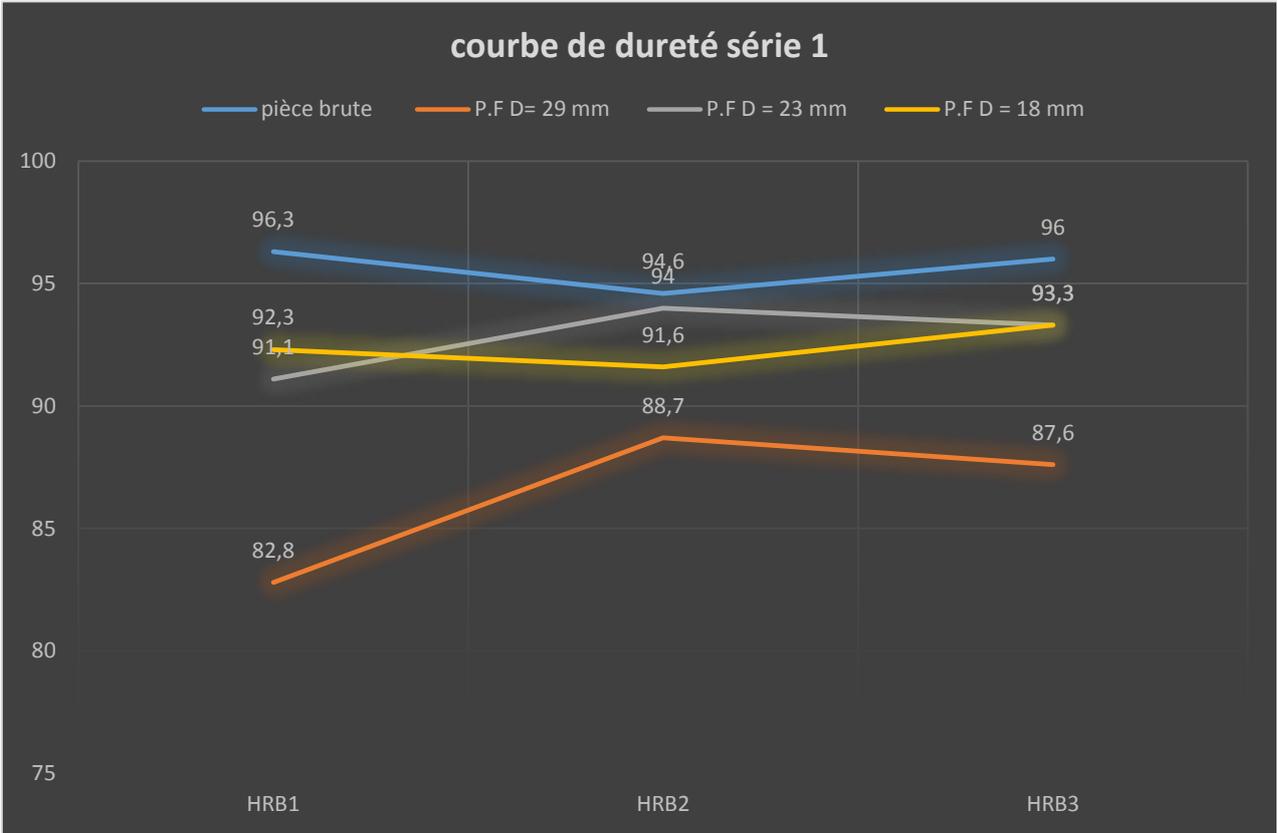


Diagramme 1 : Diagramme de dureté de la 1^{ère} série



Courbe 1 : courbe de dureté série 1

2^{ème} série : cette présentation graphique résume les résultats collectés dans le tableau de la 2^{ème} série

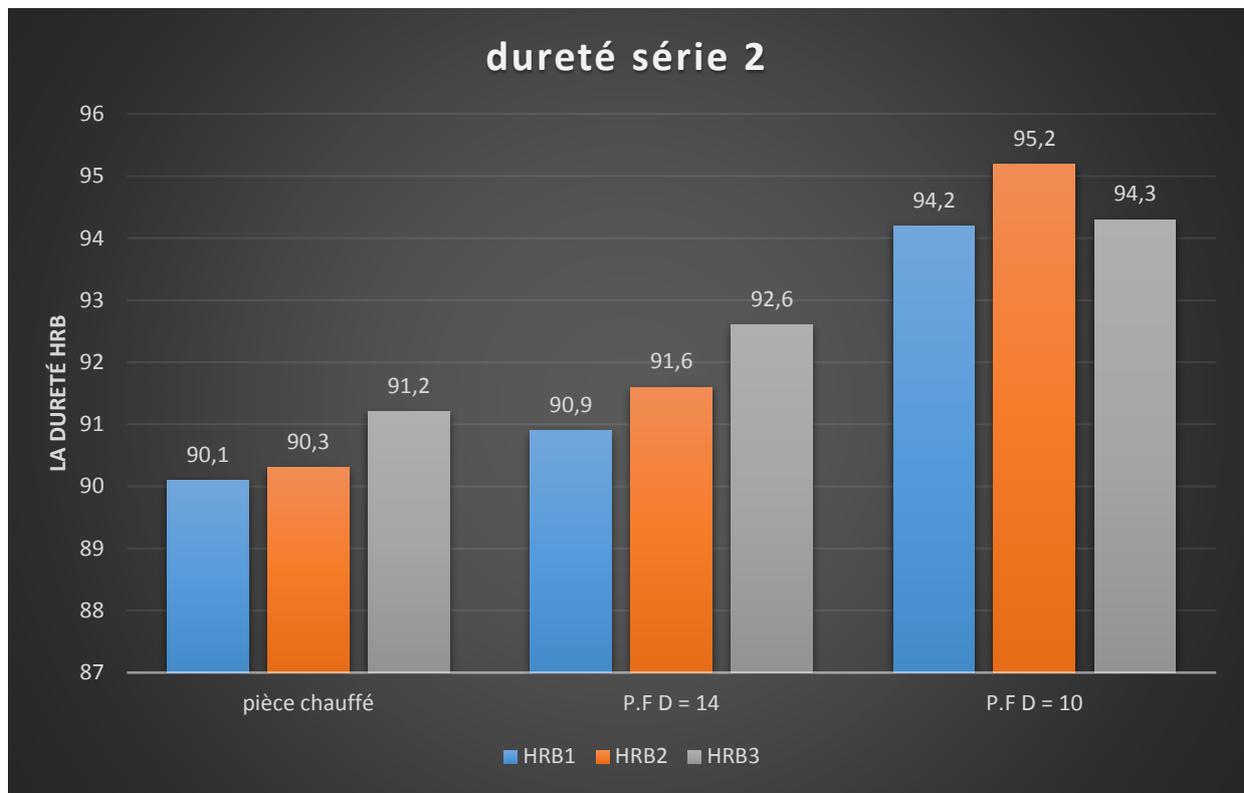
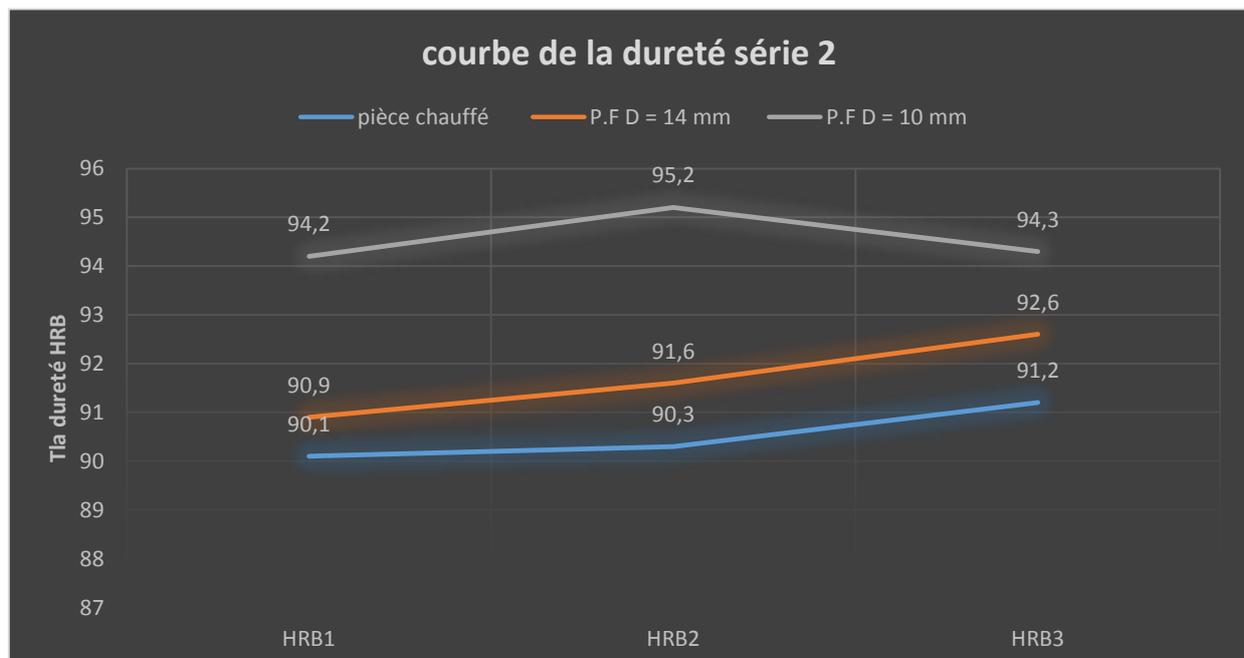


Diagramme 2 : Diagramme de la dureté série 2



Courbe 2 : courbe de dureté 2^{ème} série

1^{ère} série : Ces graphes présentent les résultats moyens de la 1^{ère} série

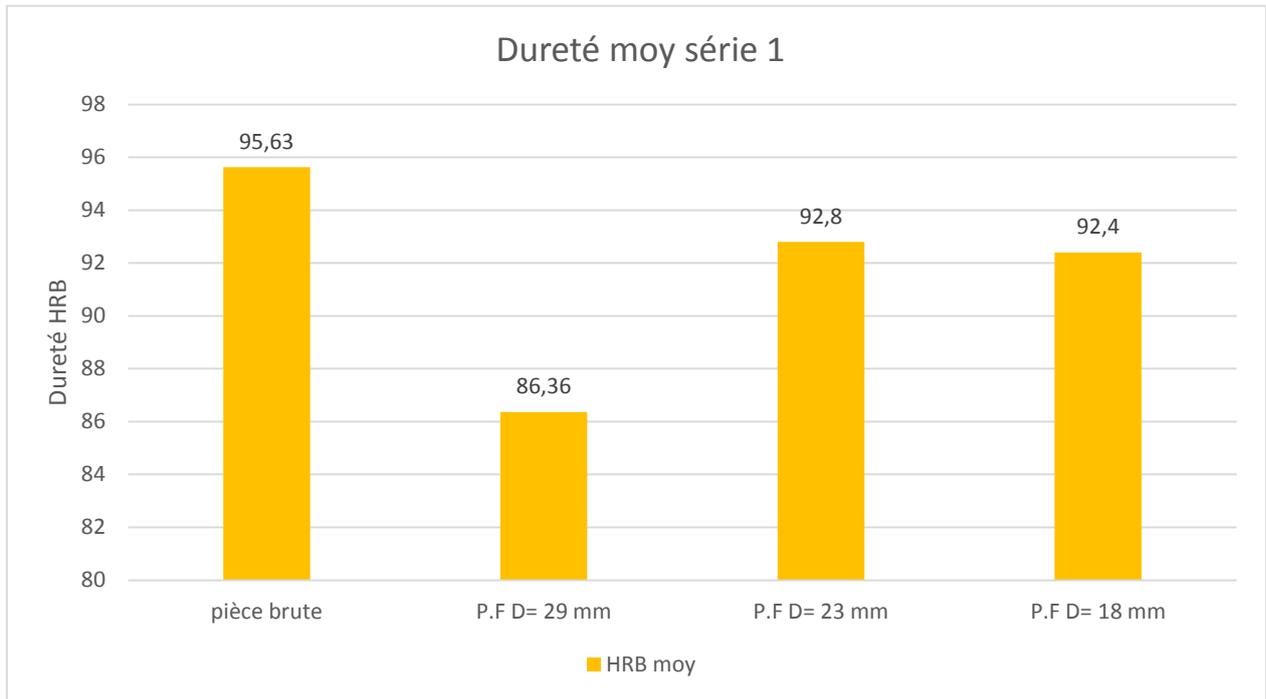
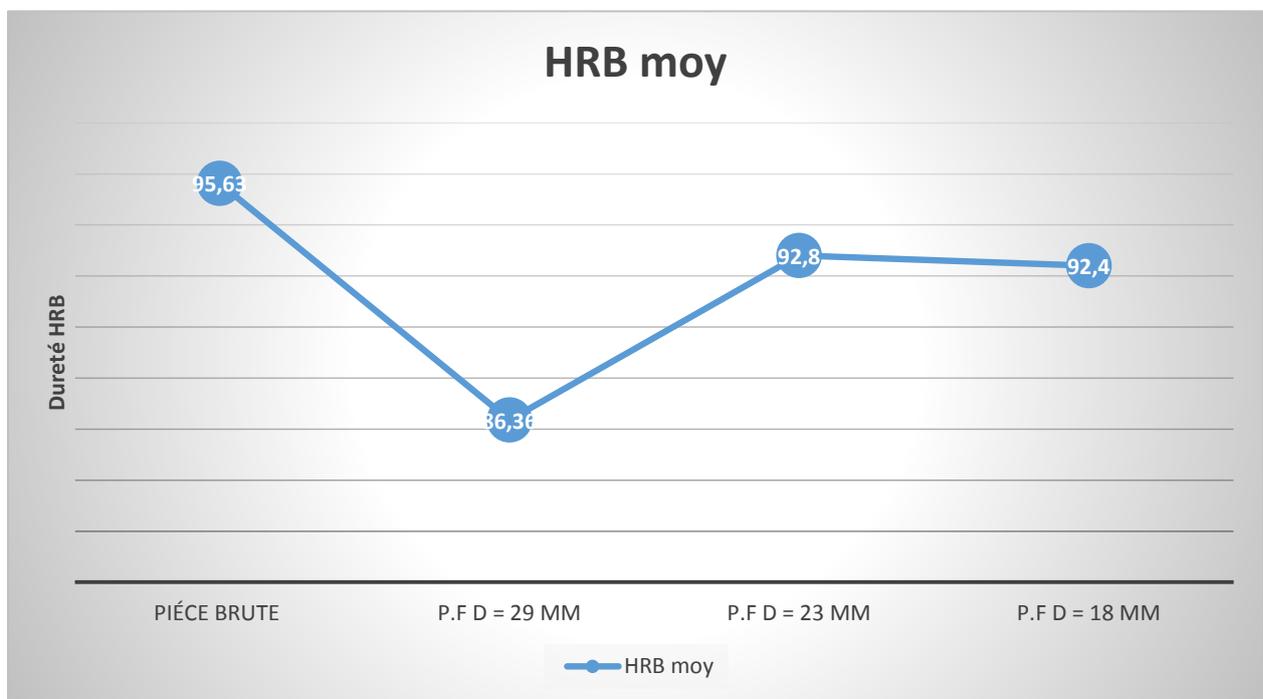


Diagramme 3 : Evolution de la dureté moyenne en fonction du diamètre de l'éprouvette (série 1)



Courbe 3 : Evolution de la dureté moyenne en fonction du diamètre de l'éprouvette (série 1)

2^{ème} série : Ces graphes présentent les résultats moyens de la 2^{ème} série.

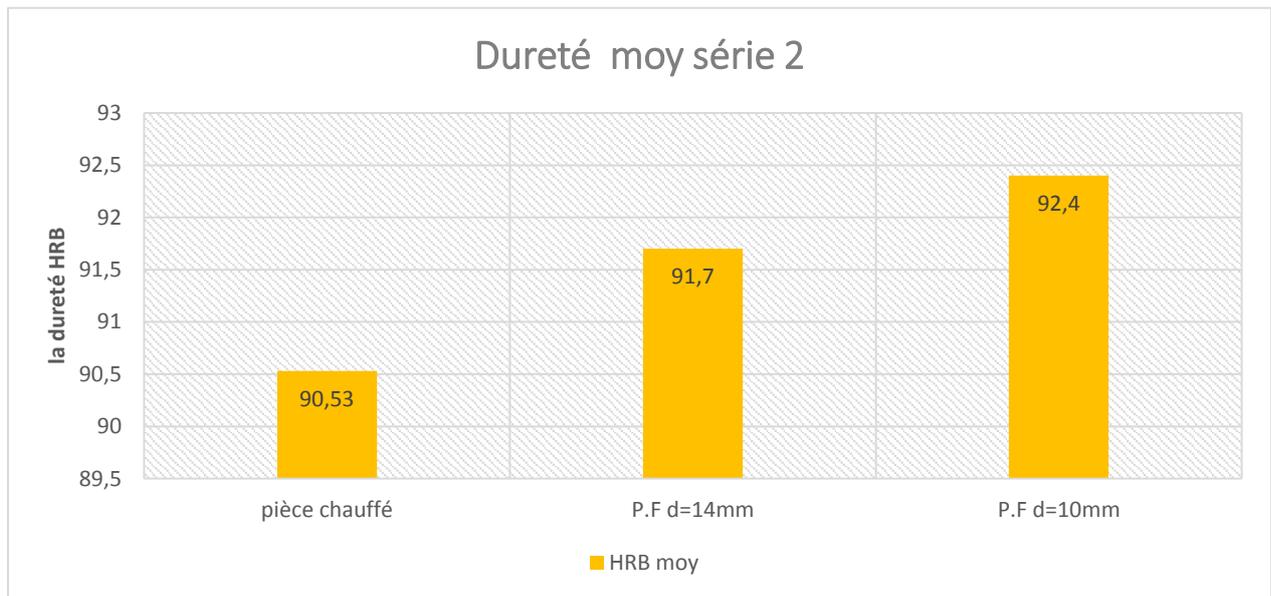
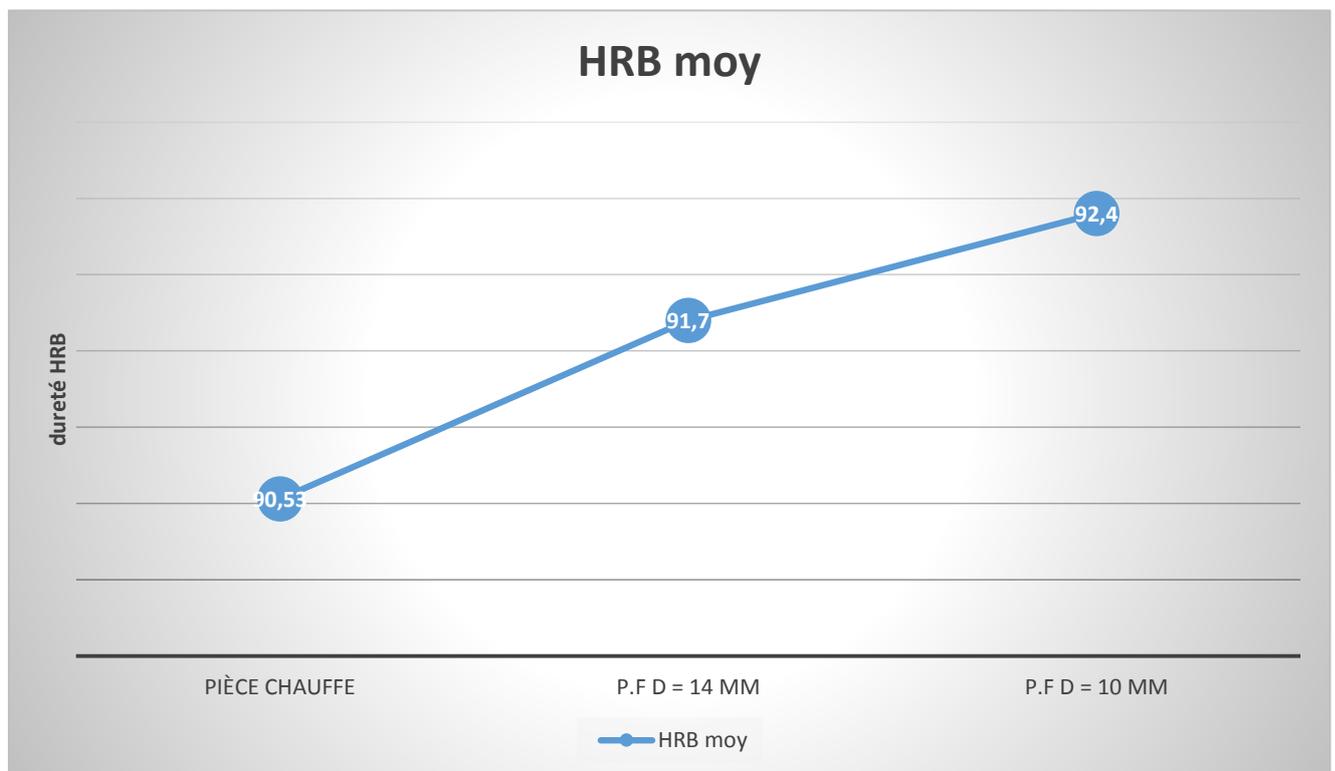


Diagramme 4 : Evolution de la dureté moyenne en fonction du diamètre de l'éprouvette (série 2)



Courbe 4 : Evolution de la dureté moyenne en fonction du diamètre de l'éprouvette (série 2)

6-Analyse chimique :

Une des premières préoccupations de la chimie depuis Antoine Lavoisier a été de déterminer les éléments, c'est-à-dire les produits dont sont composés tous les corps. Il a donc fallu trouver des méthodes pour diviser les corps complexes, puis caractériser les corps élémentaires issus de cette décomposition, c'est l'analyse chimique.

6.1-La Structure chimique :

La structure chimique d'un système réfère à la fois à sa topologie moléculaire, à sa géométrie (géométrie moléculaire ou groupe d'espace pour un cristal) et à sa structure électronique.

6.2-Méthode et moyen utilisé :

Il existe plusieurs méthodes pour déterminer la structure chimique de l'éprouvette, dans notre étude on a utilisé la méthode optique.

Pour la spectrométrie d'émission optique, on parle de (Thermo scientifique ARL 4460).



Figure 36 : Spectrométrie Thermo scientifique ARL 4460

Dans ce cas, on utilise le fait que les électrons des atomes excités (ionisés), lorsqu'ils retournent à l'état fondamental, émettent un photon dont l'énergie est caractéristique de l'élément. La lumière émise par le plasma est en ce cas analysée par un ou plusieurs monochromateurs, par un réseau polychromateur, ou encore une combinaison des deux.

La lumière émise par l'élément recherché est alors détectée et mesurée, et son intensité comparée à celle émise par le même élément contenu dans un échantillon de concentration connue (étalon, standard en anglais), analysé dans les mêmes conditions

La sensibilité intrinsèque de la méthode et la présence de très nombreuses raies adjacentes, parfois peu ou pas séparées par les mono- et polychromateur, font que cette technique est appliquée essentiellement pour l'obtention rapide et précise des compositions en éléments majeurs (concentrations supérieures au pourcentage en poids) des échantillons minéraux.

6.3-La description du matériel

L'ARL 4460 Optical Emission Spectromètre peut déterminer jusqu'à 60 éléments simultanément en 50 secondes environ, avec d'excellentes limites de détection, la reproductibilité et la précision.

- Une construction robuste qui garantit des années de fonctionnement optimal de l'instrument dans l'environnement le plus dur.
- Capable d'analyser une gamme très étendue de métaux.
- Offre une stabilité et une fiabilité inégalée.
- Paschen-Runge vide polychromateur avec une distance focale de 1 mètre, ce qui permet une excellente résolution.
- Fonctionne avec rapidité et précision, même pour l'analyse finale de trace.
- CurrentControlled Source (CCS) permet la réduction des temps d'analyse et l'amélioration des performances d'analyse et de précision.
- système de temps Spectroscopie Résolu (TRS) permet une différenciation plus nette entre les signaux analytiques utiles et arrière-plan, la réalisation de meilleures limites de détection et de précision.
- Argon-rincé, table refroidi à l'eau avec l'auto-contenue, fermé le système de refroidissement en boucle.

- l'option CNO offre une analyse remarquable de carbone, d'azote et d'oxygène à des niveaux très faibles dans les aciers.
- Flexible et puissant Thermo Scientific™ OXSAS Software Analytical™ permet aux utilisateurs d'exécuter une variété d'analyses, y compris le développement de nouvelles méthodes et des étalonnages analytiques ainsi que des analyses de routine rapides de haute qualité.
- Key to Métal : acier complète et des métaux non ferreux et la base de données de référence croisée.

6.4-Résultats :

L'analyse chimique de notre échantillon d'essai a révélé la composition chimique suivante :

C	P	S	Al	Ni	Mo	Sn	Fe	Ta
0.2	0.003	0.007	0.002	0.021	0.003	0.001	99.08	0.003
Mn	Si	Cu	Ti	Cr	V	B	N	
0.45	0.17	0.021	0.000	0.037	0.001	0.000	0.01	

Partie 3 : analyse et interprétations des analyses

Dans cette partie on va analyser et interpréter les résultats obtenus dans la partie précédente c'est-à-dire :

- a) La microstructure
- b) La dureté
- c) Composition chimique

1-microstructure :

1.1-Analyse de la micro structure

On commence par une petite description de la microstructure de la pièce brute

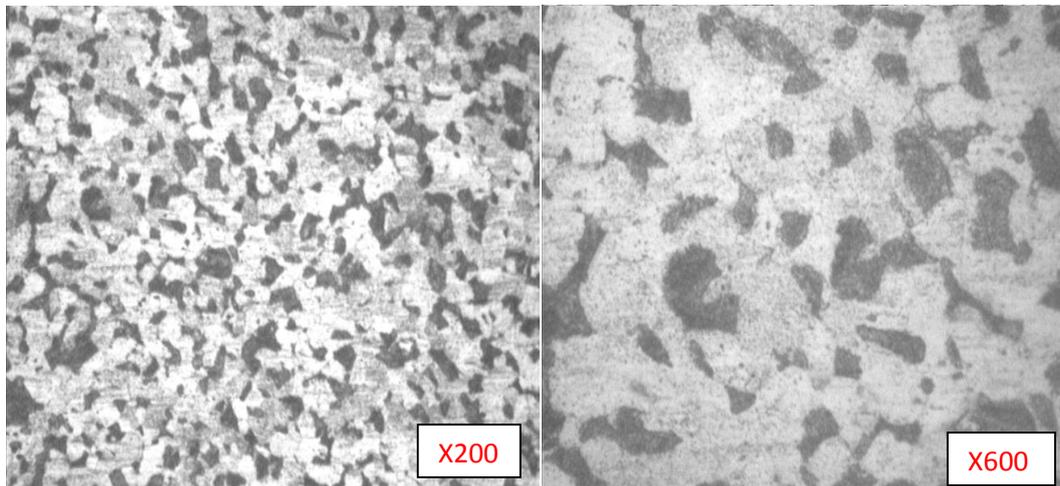


Figure 37 : Microstructure de la pièce brute à deux agrandissements différents

On observe que la structure est constituée de perlites (taches noires) et de ferrite (taches blanches), de plus on remarque que les grains ont généralement une taille moyenne et une concentration normale des grains de ferrite.

Microstructure de la pièce forgée :

On va faire une analyse des différents diamètres de la pièce forgée

1- Pièce forgée D= 29 mm

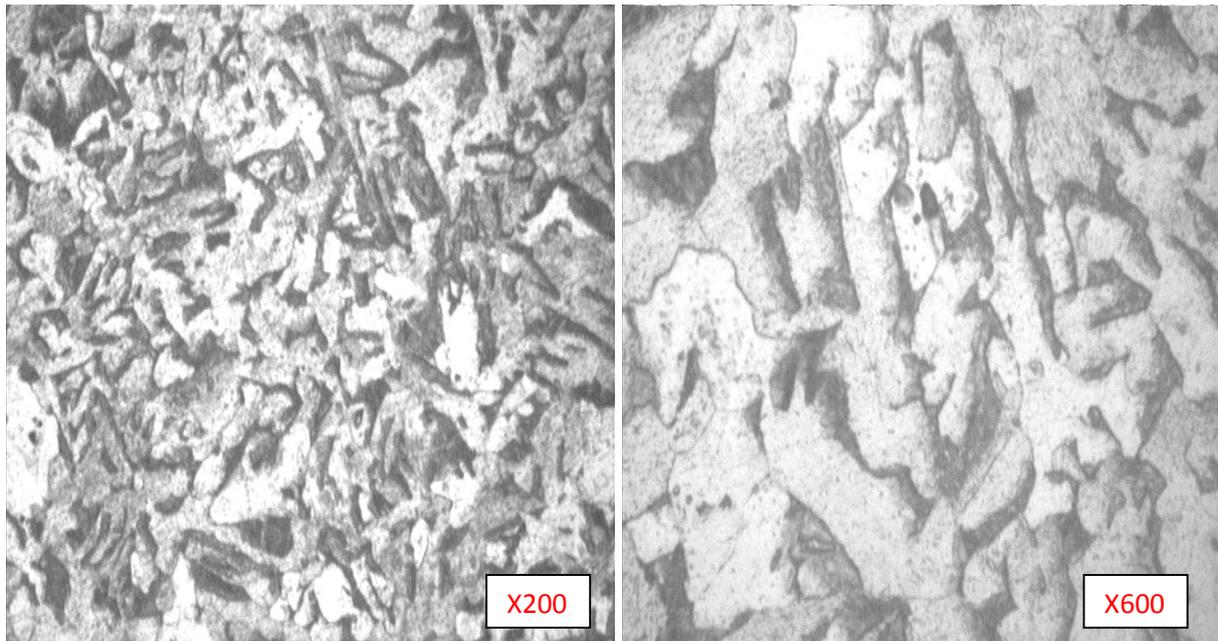


Figure 38 : Microstructure de la pièce forgée D= 29mm

L'échantillon après forgeage garde sa structure cristalline (Pearlite + Ferrite) Par contre, un changement apparent est visible au niveau de :

- 1- Augmentation de la concentration des grains.
- 2- Grossissement remarquable des grains .
- 3- Modification de la forme des grains (Allongement des grains).

2- Pièce forée D= 23 mm

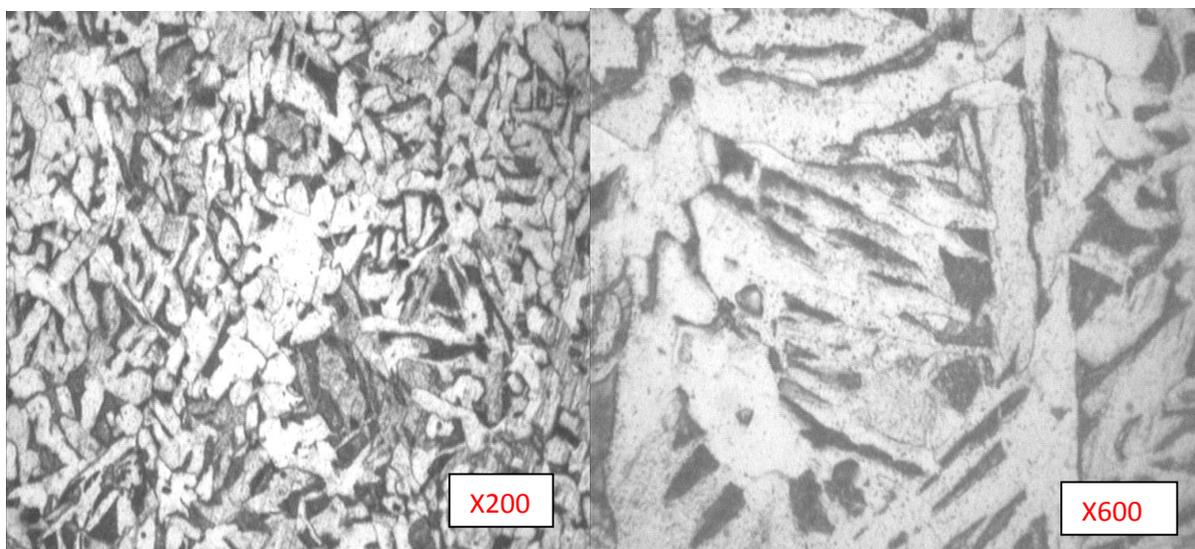


Figure 39 : Microstructure de la pièce forgée D= 23 mm

Les mêmes remarques sont encore observées au niveau de la structure mais avec un degré relativement plus intense. En effet, pour un diamètre plus petit on constate :

- Une augmentation de de concentration des grains.
- Modification de la forme des grains (allongement).

3-pièce forgé D= 18 mm

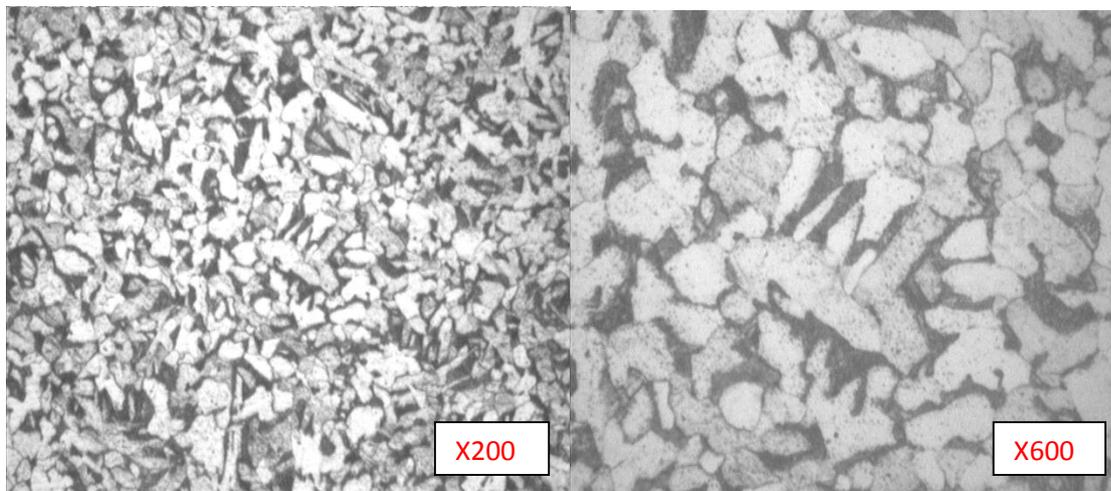


Figure 40 : Microstructure de la pièce forgée D= 18 mm

La structure montre une concentration très grande des grains lorsqu'on a diminué le diamètre

-légère diminution des volumes des grains.

- Rapprochement des grains entre eux.

1.2-Interprétation des résultats

Avant d'interpréter les résultats on doit noter que le forgeage est une opération effectuée sur des pièces, ayant subis un recuit de normalisation, On l'applique après un maintien à haute température (moulage, forgeage, homogénéisation) pour augmenter la grosseur du grain.

Normalisation : affinage du grain pour obtenir un état structural de référence.

Ce recuit (appelé également perlitisation) a pour objectif de produire une structure perlitique à grains fins régulièrement repartis. Ce qui pour un acier perlitique, correspondant aux propriétés mécaniques optimales. Par cette opération, on élimine les hétérogénéités et cristallographie provenant des structures brutes de coulées très grossières ou éventuellement de laminage.

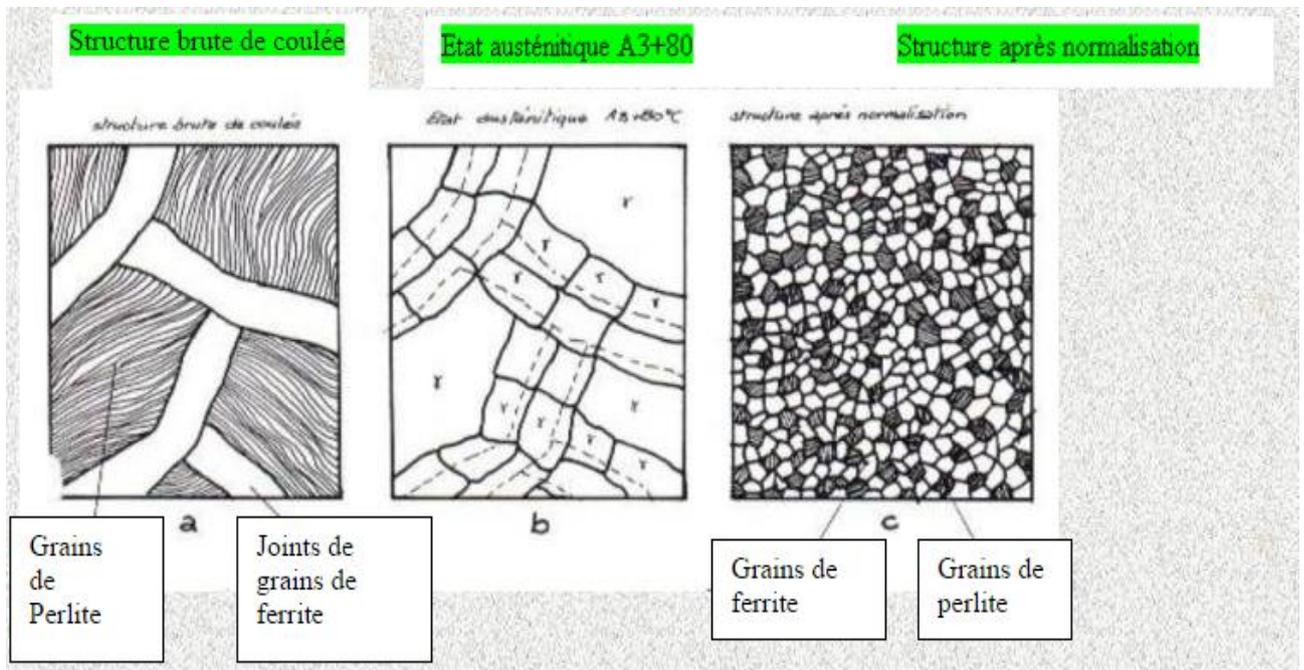


Figure 41 : Structure granulaire

La normalisation comprend en fait deux cristallisations :

- Transformation de la ferrite et de la perlite en austénite.
- Puis transformation, avec une répartition différente de l'austénite en perlite et ferrite. chaque transformation entraînant une cristallisation et un affinage du grain [15].

On remarque que la taille des grains augmente, et qu'ils s'allongent, on a l'impression qu'ils sont plus gros, et nombreux. En effet, après forgeage certains grains sont « cachés » par les grains des couches supérieures à cause des contraintes subies. On peut donc affirmer que le forgeage modifie la géométrie des grains mais ne fait pas varier le nombre de grains dans l'échantillon.

2-Dureté :

2.1-Analyse :

La 1^{ère} remarque, c'est que la dureté de la pièce brute est plus élevée que celle de la pièce chauffée. La dureté de la pièce chauffée est moins élevée que la dureté de la pièce à l'état initial.

2^{ème} : on remarque que la dureté augmente en fonction de la diminution du diamètre de la pièce forgée. Dans la 1^{ère} série, on note dès le premier passage que la dureté augmente très nettement. De plus, les écarts-types sont faibles, ce qui rend l'expérience plutôt fiable. En revanche, les résultats de la dureté de la 2^{ème} série ne suivent pas la tendance générale.

Dans la 1^{ère} série on remarque que la courbe de la dureté est proche d'être constante dans le petit diamètre

3^{ème} remarque les duretés de la 2^{ème} série augmente d'une façon claire (une augmentation presque 0.67 HRB de chaque passage).

4^{ème} remarque la dureté du plus petit diamètre de la pièce $D = 10$ mm est presque la même que la dureté de la pièce brute.

2.2-Interprétation :

Notre étude est basée sur des éprouvettes découpées d'une barre laminée c'est-à-dire que lors du laminage les contraintes provoquent la concentration des grains, ce qui rend la pièce plus dure aussi une déformation dans le volume (diminution au diamètre et augmentation de la longueur). En outre, lors de cette opération la matière subit des défauts invisibles à l'œil nu.

Le recuit c'est un échauffement de la pièce à une température élevée, suivi par un refroidissement lent. Pendant l'étape d'échauffement les grains se relaxent à cause de la température et une rectification des défauts de structure peut se produire. Par conséquent, la dureté baisse.

Après le recuit la pièce subit un traitement mécanique qui conduit à l'élévation de dureté est ceci est visible sur les résultats illustrés dans le tableau de dureté, qui montre que plus le diamètre est petit suite au forgeage, la dureté augmente.

3-Analyse de la composition chimique :

On remarque que la composition chimique de notre acier est confortablement compatible avec la norme **NF EN 10027-1**

Conclusion

L'étude a été réalisée sur la nuance C22 (1.1151). C'est un acier de construction non allié pour trempe et revenu. Il est utilisé également pour le traitement dans la masse.

Notre étude s'est portée sur l'influence de forgeage sur les propriétés mécaniques et structurales de l'acier étudié.

A travers ce travail, on a pu mettre en évidence l'effet de recuit sur le comportement structural et mécanique.

Pour réaliser ce travail nous avons utilisé plusieurs techniques conventionnelles à savoir la microscopie optique, découpage, polissage, la dureté, l'analyse chimique.

Au terme de cette étude nous sommes en mesure de dégager quelques conclusions :

- ✓ L'acier à l'état brut à une structure ferrito-perlitique.
- ✓ Durant le forgeage la pièce subit un recuit de matière
- ✓ Après le recuit l'austénite se transforme en une structure ferrito-perlitique.
- ✓ Le recuit diminue la dureté avec rectification du défaut de structure.
- ✓ D'un point de vue microstructural, après le forgeage, le nombre de grains constituant l'échantillon d'acier ne change pas, mais, leur morphologie, leur concentration, se trouvent nettement modifiées.
- ✓ les grains sont plus allongés et plus resserrés.
- ✓ La modification de la microstructure explique les résultats des essais mécaniques et des tests de dureté.
- ✓ La structure chimique peut déterminer les caractéristiques mécaniques

Liste bibliographies

- [1] Microtech L. ARAGON-Procédés d'obtention des pièces brutes- Chapitre Etude des Procédés- -18/03/2007
- [2] ferroviaal –bien venue sur le site ferroviaal
- [3] MDS métaux détails services
- [4] Qualité d'un acier Dodore, 29 Mars 2009
- [5] Frank MONTHEILLET - Métallurgie en mise en forme à chaud-Référence M3031 v1 | Date de publication-10 mars 2009.
- [6] KAPSA et CARTIEN, techniques de l'ingénieur- traité mécanique, 1986.
- [7] ALEXANDRE N. OVCEYENKO, MAKSIMILIAN. M. GAJEK, VLADIMIR I. CEREBRYAKOV, Formation de l'état de surface des pièces par procédés technologiques, Politecnika OPOLOSKA, NAKLAD, Opole.2001
- [8] M, H El Axir, An investigation into roller burnishing, int. J. Mach. Tools Manufact 40 (2003) 1603-1617.
- [9] F. Bendix, Technologie des Travaux sur Métaux, Éditions Spes-Lausanne et EyrollesParis, 1968
- [10] Techniques de l'Ingénieur, Procédés de mise en forme M3000
- [11] Lakhdar LAOUAR- Traitement mécanique de surface par brunissage des aciers XC48 et XC18– Optimisation et caractérisation-ANNABA- 2007
- [12] Morisot J.M., *Tableaux détaillés des prix de tous les ouvrages du bâtiment (marbrerie)*, Carilian, 1914
- [13] M. Kramer, S. Johnston & W. van Straten, High-resolution single-pulse studies of the Vela pulsar, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society.
- [14] EN ISO 6508-1 : Matériaux métalliques : essai de dureté Rockwell - Partie 1 : méthode d'essai (échelles A, B, C, D, E, F, G, H, K, N, T) Et l'ASTM International.
- [15] E.S. Bojonov, I. Voutchkov, Méthodes statistiques pour la modélisation, technica, Sofia, 1978