الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE DR. YAHIA FARES DE MEDEA

FACULTE DE TECHNOLOGIE

Département du Génie de la matière



Mémoire de Fin d'Études

Présenté pour l'obtention du Diplôme
de Master en Génie de la matière

Option : ingénierie des matériaux et des surfaces

THEME

Vue panoramique sur l'acier

Proposé et dirigé par,

M.SLATNIA TAHER

Préparé et présenté par,

-ALI ABDESSAMED NASSIM

-BOFERRACH MOURAD

PROMOTION 2020

Remerciement

Nous remercions en premier lieu Dieu qui nous avons donnés ce bien là et pour que nous venons ce jour et la force et la patience pour terminer ce travail.

Nous tenons à exprimer nos remerciements à notre encadreur Monsieur **slatnia taher** qui a proposé et a dirigé ce travail.

Nous remercions monsieur le président de jury Monsieur **djagdhouget** Monsieur **hebireche** ainsi que les membres de jury d'avoir accepté de juger ce travail.

Nous tenons à remercier les responsables et tout le personnel du département de génie mécanique de Médéa pour les facilités qu'ils n'ont accordés pour terminer ce travail.

Le travail de mémoire que nous avons effectué doit beaucoup à certaines personnes que nous tenons à les remercier sincèrement. Enfin, nous remercions toutes les personnes, qui ont contribué de près ou de loin, directement ou indirectement à l'aboutissement de ce travail

Remercîment	
Dédicace	
Sommaire	
Table des matière	
Liste des figures	
Introduction	
CHAPITRE 1: .NOTION DE MINERAI	
1.1 Les divers états de la matière	
1.2 Constitution de la matière	
1.3 Introduction aux minerais:	
CHAPITRE 2: SIDERURGIE	
2.1. Le haut fourneau	
2.2. Fours électriques à fonte « TYSLAND HOLE» **(FIGURE : 2. 6)**	
2.3. Transformation fonte-acier:	
2.4. Acier Thomas	
2.5, Acier à l'oxygène:	
2.6. Aciers martin :	
2.7. Electro sidérurgie:	
2.8. Application du vide en aciérie:	
2.9. La coulée de l'acier	
2. 10. Les défauts des lingots:	
2 11. Ferro-alliages	
3.0 de dos principaux essais :	
3 . 1 Essais de traction : essai statique. (FIGURE : 3, 0)	
3.2. Essais de dureté	
3.3 essai au choc	
3.4. Essal de pliage (FIGURE:3.21)	
3.5. Essai d'emboutissage	

3.6. essai de fatigue	
3.7. Essai de fluage	
3.8.Essai de aux rayons X	
3.9. Gammagraphie	
3.10. Ultra-sons	
3.11. Fluorescence	
3.12. Macrographie	
3.13. Micrographie	
CHAPITRE 4 : THEORIE ELEMENTAIRE DES ALLIAGES	
4.1 Structure cristalline (FIGURE: 4.1)	
4.2. Fusion et solidification d'un métal pur (Figure : 4.2)	
4.3. Fusion et solidification d'alliages (FIG: 4.3)	
4.4. Diagramme fer-carbone (FUG: 4.5)	
CHAPITRE 5: TRAITEMENT THERMIQUE	
5.Généralités	
5.1. La trempe (théorie)	
5.1.La trempe(pratique) :(FIGURE :5.5)	
5.2.Le revenu (théorie) FIGURE 5.7)	
5.2 Le revenu (pratique):	
5.3 Le traitement thermique de l'acier rapide(FIGURE: 5.8)	
5.4.1Recuit de normalisation N :	
5.5.les durcissements des surface	
5.6. essais de trempabilité « jominy» (FIGURE: 5. 15)	
Chapitre 6 : Propriétés des Aciers et Emploi	
6.0 Généralités	
6.1. Normalisation	

INTRODUCTION

0. Acier

Un acier est un **alliage** métallique constitue principalement de fer et de carbone (dans des proportions comprises entre 0.02% et 2% en masse pour le carbone)

C'est essentiellement la **teneur** en carbone qui conféré à l'alliage les propriétés de métal qu'on appelle **acier** , Il existe d'autres métaux à base de fer qui ne sont pas des aciers comme les **fontes** et les ferroalliages par exemple

1. Constitution de l'acier

l'acier est élaboré pour **résister** à des sollicitations mécaniques ou Chimiques ou une combinaison des deux

Pour **résister** à ces sollicitations, des Éléments chimiques peuvent être ajoutés a sa composition en plus de carbone. Ces éléments sont appelés **éléments d'additions**, les principaux sont le manganèse (Mn) , le chrome (Cr) . le nickel (Ni) , le molybdène (Mo)

. **Les éléments chimiques présents dans l'acier peuvent être classés en 3 Catégories** :

les impuretés, originellement présentes dans les ingrédients de **haut fourneau** qui serviront à produire la **fonte** qui servira à fabriquer **l'acier**. Ce sont le soufre (S) et le phosphore (P) présent dans **le coke** mais aussi le plomb (Pb) of 16tain (Sn) qui peuvent être présents dans Tes noiers **de récupération** ainsi que nombre d'autres éléments à **bas point a de fusion** comme l'arsenic (As) , l'antimoine (Sw)

Pour des raisons **mal comprises**, le plomb est dans certaines circonstances (dans l'industrie nucléaire notamment) un " **contaminant métallurgique** " qui peut contribuer à la dissolution , l'oxydation et la fragilisation d'aciers qui sont exposés aux alliages de plomb.

-**Les éléments d'addition** mentionnés plus haut et qui sont ajoutés de manière intentionnelle pour conférer au matériau les propriétés recherchées , et enfin .

-Les éléments d'accompagnement que l'aciériste utilise en vue de **maîtriser** les diverses **réactions** physico - chimiques nécessaires pour obtenir finalement un acier **conforme** à la spécification . C'est le cas d'éléments comme l'aluminium , le silicium , le calcium .

2- **Aperçu de la composition , des avantages et des inconvénients** :

-La teneur en carbone a une influence considérable (et assez complexe) sur les propriétés de l'acier : en dessous de **0,008 %** . l'alliage est plutôt malléable et on parle de « « fer » , au - delà de 2,1 % on entre dans le domaine de **l'eutectique** fer / carbure de fer ou bien fer / graphite , ce qui modifie profondément la température de **fusion** et les propriétés mécaniques de l'alliage , et l'on parle de **fonte** .

-Entre ces deux valeurs, l'augmentation de la teneur en carbone a tendance à améliorer la dureté de l'alliage et à diminuer son allongement à la rupture ; on parle **d'aciers** « doux, mi - doux, mi - durs, durs ou extra - durs >> selon la " classification traditionnelle "

-Dans les manuels de métallurgie un peu anciens , on peut trouver comme définition de l'acier un alliage fer - carbone ob le carbone

varie de **0.2 1.7 % :** la limite actuelle a été établie à partir du diagramme **binaire** fer **/** carbone . Toutefois , il y a des aciers avec des concentrations de carbonc supérieures à ces limites (acier lédéburitiques) , obtenus par **frittage** .

-On **modifie** également les propriétés des aciers en ajoutant d'autres elements , principalement **métalliques** , ct on parle d'aciers alliés . De plus , on peut encore améliorer grandement leurs caractéristiques par **des traitements thermiques** (notamment les trempes ou la cementation) prenant en surface ou à cœur de la matière : on parle alors **d'aciers traite**

-Outre ces diverses potentialités , et comparativement aux autres alliages métalliques , l'intérêt majeur des aciers réside d'une part dans **le cumul** de valeurs élevées dans les propriétés mécaniques fondamentales :

raideur , résistance à la déformation élastique : **module d'élasticité E** : dureté , résistance à la deformation irreversible , à la rupture : **limite dlastique Re , resistance minimale à la rupture Rm , dureté H** :

resistance aux chocs : **resilience K**

-D'autre part, **leur cout d'élaboration** reste relativement **modéré**, car le minerai de fer est abondant sur terre (environ 5 % de l'écorce) et sa réduction assez simple (par addition de carbone à haute température) En fine les aciers sont pratiquement entièrement **recyclables** grâces à la filière **ferrailles**.

-On peut néanmoins leur reconnaitre quelques **inconvénients** notamment leur **mauvaise** résistance à la corrosion à laquelle on peut toutefois **remédier** soit par divers **traitements de surface** (peinture ,brunissage , zingage galvanisation à chaud , etc.) , soit par l'utilisation de nuances d'acier dites « inoxydables >> Par ailleurs , les aciers sont difficilement **moulables** , donc peu recommandés pour les pièces wolumineuses de formes complexes (bátis de machines , par exemple) . On leur prétre ailos des fontes 4. CD Enfin , lorsque lleur grande masse volumique est pénalisante (dans le secteur aéronautique par exemple) , on se tourne vers des matériaux plus légers (alliages à base d'aluminium , ditane , composites , etc.) , qui ont l'inconsénient d'adre plus chers -Lorsque le partie est au critere de choix important , les aciers restent privilégiés dans presque tous les domaines d'application technique : équipements publics (ports et chaussées , signalisation) , industrie chimique ,

pétrochimique , pharmaceutique et nucléaire (équipements sous pression , équipements soumis à l'action de la flamme , capacités die stockage , mécipients divers) , agro - alimentaire (conditionnement et Stockage) , bidanand (armatarres ,charpentes , fermonerie , quincaillerie) , industrie mécanique et dheanamique (moteurs , turbines , compresseurs) , automobile (crosserie , quipements) , ferroviaire , aéronautique et aérospatial , construction maails , médical Costruments , appareils et prothèses) , composants mécaniques (visserie , ressorts , cables , roulements , engrenages) , outillage de frappe (marteaux , burins , matrices) et de coupe (fraises , forets , porte - plaquette) , mobilier , design et équipements électroménagers , etc.

3. Histoire de l'acier i Inbrication d'acier au Moyen Âge dans un bas fourneau . Lâge du fer se caractérise par l'adaptation du bas fourneau à la réduction du fer 5 CHO Ce bas fourneau produit une loupe , un mélange hétérogène de fer , d'acier et de laitier , dont les meilleurs morceaux doivent Être sélectionnés , puis cinglés pour en chasser le laitier . -En poussant le vent , on attise la combustion et la température de fusion du métal est atteinte . On extrait le métal par vidange du creuset : c'est la production au haut fourncau . On obtient alors de la fonte , le fer liquide se chargeant de carbone au contact du charbon de bois

. En effet , deux phénomènes complémentaires se déroulent dans le creuset du haut fourneau : le fer se charge de carbone lorsqu'il arrive au contact du charbon de bois , ce qui abaisse son point de fusion . Puis ce métal fondu continue à s'enrichir en carbone , en dissolvant le charbon de bois . Les premières coulées de fonte ont été réalisées par les Chinois durant la période des Royaumes combattants (entre -453 ct - 221) .

Ceux - ci savent aussi brûler le carbone de la fonte , en le faisant réagir avec de l'air , pour obtenir de l'acier . Il s'agit du procédé indirect , car l'élaboration de l'acier se fait après l'obtention de la fonte . En Europe et en Asie , durant l'Antiquité , on produisait également de l'acier en décarburant le fer avec des gaz de combustion et du charbon de bois (acier de cémentation)

-Réaumur , en réalisant de très nombreuses expériences et en publiant les résultats de ses observations en 1722 , fonde la sidérurgie moderne : il est le premier à théoriser le fait que l'acier est un état intermédiaire entre la fonte et le fer pur , mais les connaissances du temps ne lui permettent pas d'être scientifiquement précis . Il faut attendre 1786 pour que la métallurgie devienne scientifique : cette année - là , trois savants français de l'école de Lavoisier , Berthollet , Monge et Vandermonde présentent devant l'Académie royale des sciences un Mémoire sur le fer dans lequel ils définissent les trois types de produits ferreux : le fer , la

fonte et l'acier L'acier est alors obtenu à partir du fer , lui - même produit par affinage de la fonte issue du haut fourneau

L'acier est plus tenace que le fer et moins fragile que la fonte , mais chaque transformation intermédiaire pour l'obtenir augmente son coût .

-La révolution industrielle apparait grâce à la mise au point de nouvelles méthodes de fabrication et conversion de la fonte en acier. En 1836, le procédé Bessemer , est capable d'élaborer directement l'acier à partir de la fonte . Son amélioration par Thomas et Gilchrist permet sa généralisation . Ces découvertes, menent à la fabrication en masse d'un acier de qualité (pour l'époque) . Enfin , vers la seconde moitié du xixe siècle , Dmitri Tchernov découvre les transformations polymorphes de l'acier et établit le diagramme binaire fer / carbone , faisant passer la métallurgie de l'état d'artisanat à celui de science ,

4. Fabrication de l'acier :

5. Composition et structure des aciers :

5.1 Teneur en carbone : Diagramme de phase fer - carbone, permettant de visualiser les conditions d'existence des formes d'acier, en absence d'éléments gamma gènes et de trempe, La température de transition a h varie avec la teneur en carbone On distingue plusieurs types d'aciers selon le pourcentage massique de carbone qu'ils contiennent : -les aciers hypoeutectoides (de 0,0101 à 0,77 % de carbone) qui sont les plus malléables .

-les aciers extra - doux ont une teneur inférieure à 0,022 % de carbone ; ils sont hors de la zone d'influence » de l'eutectoide (perlite) et n'ont donc pas de perlite ; ils sont durcis par des précipités de cémentite en faible quantité ; entre 0,022 et 0,77 % de carbone , la cémentite est présente dans la perlite mais n'existe pas sous forme « seule >> ; -l'acier eutectoïde (0,77 % de carbone) appelé perlite ; -les aciers hypereutectoïdes (de 0,77 à 2,11 % de carbone) qui sont les plus durs et ne sont pas réputés soudables . acно La limite de 2,11 % correspond à la zone d'influence de l'eutectique (lédéburite) ; il existe toutefois des aciers lédéburitiques

. -La structure cristalline des aciers à l'équilibre thermodynamique dépend de leur concentration (essentiellement en carbone mais aussi d'autres éléments d'alliage) ,et de la température . On peut aussi avoir des structures hors équilibre (par exemple dans le cas d'une trempe) .

-La structure du fer pur dépend de la température : -jusqu'à 912 ° C , le fer (fer a) a une structure cristalline cubique centrée appelée ferrite -entre 912 ° C et 1 394 ° C , le fer (fer y) a une structure cristalline cubique à faces centrées appelée austénite

-entre 1 394 ° C et son point de fusion à 1 538 ° C , le fer (fer 6) retrouve une structure cristalline cubique centrée appelée ferrite delta (cette ferrite joue un rôle essentiel dans la mise en œuvre et surtout le soudage des aciers duplex) -La structure du fer + carbone évolue d'une façon plus complexe en fonction de la température et de la teneur en carbone . Les règles différent selon que l'on est hors de la « zone d'influence » de l'eutectoïdeſ entre 0 % et 0,022 %) , entre 0,022 % et 0,77 % hypoeutectoïde) ou entre 0,77 % et 2,11 % (hypereutectoide , au - delà , il s'agit de fonte) . Voir l'étude du diagramme fer - carbone . acно -D'une manière simplifiée , pour un carbone compris entre 0,022 % et 2,11 % : jusqu'à 727 ° C on trouve un mélange de ferrite et de cémentite ; -à partir de 727 ° C le fer a se transforme en fer y (changement de phase appelé austénitisation) ; La température de fin de transformation dépend de la teneur en carbone . -Les aciers non alliés (au carbone) peuvent contenir jusqu'à 2,11 % en masse de carbone . -Certains aciers alliés peuvent contenir plus de carbone par l'ajout d'éléments dits « gammagènes » .

-Les différentes phases de l'acier : 11

Austents Buinito Cementite Perrits • Martensite • Perlite

5.2 Elements d'alliage HOLMS

Le carbone a une importance primordiale car con la que associé au fer , confere a l'alliage le nom deder , som influence sur les proprietes mecaniques de Vacier est preponderante . Par eremplo , en es qui conceme l'amélioration de la propriae de durett , raddition de carbone est trente fois plus efficace que l'addition de manganese , L'aluminium excellent dlusydant . Asadl a Yoxyge , but la croissance du grain en phase austenitique , Au dela d'un certain saal , il peut rendre l'acier inapte à la galvanisation a chaud , Le chrome den l'element d'addition qui confiere a l'acier la propriate de résistance meanique à chaud a à l'oxydation (aciers Ciractaires) Il joue aussi un rôle determinant dans la résistance à la corrosion lorsqu'il est présent a une leur de plus de 123.33 % (valon la tencur en carbone) , Additionne de 0,9 % 9 % il augmente la trempabilité et la conservation des propretts mtwaniques uk temperatures

supérieures l'ambiente famille des aciers alliés au chrome) . Il a un role alphardne Le cobalt : utilise dans de nombreux alliages magnétiques . Provoque une résistance à l'adoucissement lors du revenu , Le manganese : forme des sulfures qui améliorent l'usinabilité , Augmente modérément la trempabilité , 11 HO Le molybdéng : augmente la température de surchauffe , la résistance à haute température et la résistance au fluage . Augmente la trempabilité . Le nickel : rend austenitiques (role gammagene) les aciers a forte teneur en chrome . Sert à produire des aciers de trempabilité modérée ou élevée (selon les

autres éléments présents) , a basse température d'austénitisation et à ténacité élevée apres traitement de revenu . C'est l'élément d'alliage par excellence pour l'élaboration des aciers ductiles à basses températures (acier à 9 % Ni pour la construction des réservoirs cryogéniques , acier à 36 % Ni dit INVAR pour la construction des cuves de méthaniers ct des instruments de mesure de précision) . Le niobium : même avantage que le titane mais beaucoup moins volatil . Dans le domaine du soudage il le remplace donc dans les métaux d'apport Le phosphore : augmente fortement la trempabilité . Augmente la résistance à la corrosion. Peut contribuer à la fragilité de revenu .

Le silicium : favorise l'orientation cristalline requins pour la fabrication d'un acier magnétique, aguente la resistivité électrique , Améliore la résistance à l'oxydation de certains aciers réfractaires , Utilisé comme élément désoxydant LENO Le titane : pouvoir carburigene élevé (comme le niobium) et duit donc la dureté de la martensite . Capture de carbone en solution à haute température et de ce fait , réduit le risque de corrosion inter granulaire des aciers inoxydables (TiC se forme avant Cr23C6 et évite dong l'appauvrissement en chrome au joint de grain) , Le tungstene : améliore la dureté à haute température des aciers trempés revenus . Fonctions sensiblement identiques à celles du molybdene . Le vanadium : augmente la trempabilité. Élève la température de surchauffe. Provoque une résistance à l'adoucissement par revenu (effet de durcissement secondaire marqué) . 5.3 Structure des aciers -Structure cristalline des aciers pour un refroidissement lent : répartition de la ferrite (jaune) et de la cementite (bleu) -Lors d'un refroidissement lent , le carbone est chassé des mailles de ferrite et va former des carbures (gauche) . Lors d'une trempe , le carbone reste piégé dans la maille lors de la transformation y - 0 , cela forme la martensite (droite) .

-Lors du refroidissement d'un lingot , l'acier se solidifie à l'état austénitique . Au cours du refroidissement, à 727 ° C , l'austénite se décompose , soit en ferrite + perlite , soit en perlite + cémentite. La vitesse de refroidissement ainsi que les éléments d'alliage ont une importance capitale sur la structure obtenue , et donc sur les propriétés de l'acier

En effet : 13 CHO -les joints de grain bloquent les dislocations , donc augmentent la dureté et la limite élastique ; or , plus les grains sont petits , plus il y a de joints de grain ... -la cémentite est un carbure , une céramique très dure ; sa présence augmente la dureté et la limite élastique , mais diminue la ductilité . De manière générale : -un refroidissement rapide donne de petits grains ,alors qu'un refroidissement lent donne de gros grains ;

-la réorganisation des atomes pour passer de la structure austénitique (cubique à faces centrées) à la structure ferritique (cubique centrée) se fait par des mouvements d'atomes de faible ampleur (quelques distances interatomiques) ;

-la ferrite pouvant contenir moins de carbone dissous (voir Solution solide et Site interstitiel) , le carbone doit migrer sur de plus grandes distances pour former de la cémentite ; la distance à parcourir , est moins grande dans le cas de la perlite (eutectoïde) , puisque la cémentite s'intercale entre des « tranches >> de ferrite .

la germination de nouveaux cristaux me fait de maniere préférentielle aux défauts , et notamment aux joints de grain de l'austénite ; ainsi , la structure de solidification de l'austenite joue un rôle important (voir Solidification) , -Certains éléments chimiques peuvent pilier le carbone pour former des carbures (par exemple le titane ou aluminium) , Ils empêchent ainsi la formation de cementite .

-On peut modifier la structure de l'acier par des traitements thermomécaniques : -Déformations : écrasement du lingot , laminage à froid ou à chaud , forgeage ... -traitements thermiques , qui permettent de rejouer » refroidissement : -trempe , éventuellement suivie d'un revenu : la rapidité de la transformation ne permet pas au carbone de diffuser et le « pikene dans la maille cubique centrée , qui se déforme pour donner de la martensite ; les cristaux forment de petites aiguilles -une trempe plus lente , ou bien une trempe étage , permet la formation de bainite ; -recuit , permettant la diffusion des éléments , la réorganisation des atomes et l'élimination des dislocations .

-La métallurgie des poudres consiste à compacter de la poudre d'acier et de la chauffer en dessous de la température de fusion , mais suffisamment pour que les grains se « soudent » (frittage) Cela permet de maîtriser la structure de l'acier et son état de surface (en particulier pas de retrait ni de retassure) , mais introduit de la porosité .

6. Différentes « familles » d'aciers :

-Il existe des aciers faiblement alliés , à faible teneur en carbone , et au contraire des aciers contenant beaucoup d'éléments d'alliage (par exemple , un acier inoxydable typique contient 8 % de nickel et 18 % de chrome en masse) .

6.1 Différentes classifications :

-Principes de désignation symbolique des aciers selon la norme EN 1007-1-2 . -Chaque pays a son mode de désignation des aciers . Le schéma ci-contre indique la désignation européenne selon la norme EN10027 Cette norme distingue quatre catégories : -les aciers non - alliés d'usage général (construction) ;

-Jes aciers non

- alliés spéciaux , pour traitement thermique , malléables , soudables , forgeables

-les aciers faiblement allies , pour trempe et revenu ; les éléments d'alliage favorisent la trempabilité et permettent d'avoir des structures martensitiques ou bainitiques , donc des

aciers à haute dureté , à haute limite élastique , pour les outils , les ressorts , les roulements ... -les aciers fortement alliés : AG CHO les aciers inoxydables ,

✓ les aciers rapides , pour les outils à forte vitesse de coupe comme les forêts .

6.2 Aciers non alliés :

6.2.1 Aciers non alliés d'usage général :

-Ils sont destinés à la construction soudée , à l'usinage , au pliage ... On distingue :

-Le type S qui correspond à un usage général de base (construction de bâtiment ...)

-Le type P pour usage les appareils à pression -Le type L pour les tubes de conduites - Le type E pour la construction mécanique .

-Le type R pour les rails

-La désignation de ces aciers comprend la lettre indiquant le type d'acier, suivie de la valeur de la limite élastique (Re) exprimée 18

en méga pascals (MPa) . Noter qu'il s'agit de la valeur à faible épaisseur , les résistances décroissant avec l'épaisseur .

-S'il s'agit d'un acier moulé , la désignation est précédée de la lettre G. La désignation peut être complétée par des indications supplémentaires (pureté ,application dédiée ...) **Exemples** : 17 CHO ✓S185 (anciennement A33) , Re = 185 MPa S235 (anciennement A37 , E24) , Re = 235 MPa E295 (anciennement A50) , Re = 295 MPa GE295 , acier moulé , Re = 295 MPa S355 12 WP (anciennement A52 , E36) , Re = 355 MPa , à grain fin et auto - patinable (c'est l'acier Corten A)

6.2.2 Aciers non alliés spéciaux : (type C) La teneur en manganèse est inférieure à 1%, et aucun élément d ' addition ne dépasse 5 % en masse .

Leur composition est plus précise et plus pure et correspond à des usages définis à l'avance.

-Leurs applications courantes sont les forêts (perceuses), ressorts, arbres de transmission, matrices (moules) ...

-Leur désignation comprend la lettre C suivie de la teneur en carbone multipliée par 100. S'il s'agit d'un acier moulé , on précède la désignation de la lettre G. 19

Exemples : C45 ,

acier non allié comportant un taux de 0,45 % de carbone : GC22 , acier moulé non allié comportant un taux de 0,22 % de carbone 6.3 Aciers faiblement alliés : 18 CHO -La teneur en manganèse est supérieure à 1 % et aucun élément d ' addition ne doit dépasser 5 % en masse . Ils sont utilisés pour des applications nécessitant une haute résistance. -Exemples de désignation normalisée :

-35NiCrMo16 : contient 0,35 % de carbone , 4 % de nickel , du chrome et molybdène en plus faible teneur Cet acier présente une bonne tenue aux chocs ainsi qu'une haute résistance mécanique jusque 600 ° C ; -100Cr6 : 1 % de carbone et 1,5 % de chrome

C'est l'acier typique utilisé dans les roulements à billes .

6.4 Aciers fortement alliés : Au moins un élément d'addition dépasse les 5 % en masse destinés à des usages bien spécifiques , on y trouve des aciers à outils , réfractaires , maraging (très haute résistance , utilisés dans l'aéronautique, Hadfields (très grande résistance à l'usure) , Invar (faible coefficient de dilatation)

-Un exemple de désignation normalisée : X2CrNi18-9 (c'est un acier inoxydable) Les aciers rapides spéciaux (ARS , ou high speed steels , HSS) font partie de cette famille

. 6.4.1 Aciers inoxydables : -Ces aciers présentent une grande résistance à la corrosion , à l'oxydation à chaud et au fluage (déformation irréversible) .

Ils sont essentiellement alliés au chrome , élément qui confère la propriété d'in oxydabilité , et au nickel , élément qui confère de bonnes propriétés mécaniques . -Les aciers inoxydables sont classés en quatre familles : Ferri tique, austénitique, martensitique et austéno – ferritique

. Les aciers inoxydables austénitiques sont les plus malléables et conservent cette propriété à très basse température (-200 ° c) -Leurs applications sont multiples : chimie , nucléaire , alimentaire , mais aussi coutellerie et équipements ménagers

. Ces aciers contiennent au moins 10,5 % de chrome et moins de 1.2 % de carbone

6.4.2 Aciers multiphasés :

-Ces aciers sont conçus suivant les principes des composites : par des traitements thermiques et mécaniques , on parvient à enrichir localement la matière de certains éléments d'alliage .

On obtient alors un mélange de phases dures et de phases ductiles , dont la combinaison permet l'obtention de meilleures caractéristiques mécaniques . On citera , par exemple :

-les aciers Dual Phase qui sont la déclinaison moderne de l'acier damassé , mais où la distinction entre phase dure (la martensite) et phase ductile (la ferrite) , se fait plus finement , au niveau du grain ;

-Les aciers duplex formés de ferrite et d'austénite dans des proportions sensiblement identiques ; 20 cю -les aciers TRIP (TRansformation Induced Plasticity) , où l'austénite se transforme partiellement en martensite après une sollicitation mécanique . On débute donc avec un acier ductile, pour aboutir à un acier de type Dual Phase .

-les aciers damassés où des couches blanches ductiles pauvres en carbone absorbent les chocs , et les noires , plus riches en carbone , garantissent un bon tranchant perso.orange.fr **; 7. Propriétés et caractéristiques des aciers** :

-L'acier est un alliage essentiellement composé de fer , sa densité varie donc autour de celle du fer (7.32 à 7,86) , suivant sa composition chimique et ses traitements thermiques . La densité d'un acier inox austénitique est typiquement un peu supérieure à 8, en raison de la structure cristalline. Par exemple, la densité d'un acier inoxydable de type AISI 304 (X2CrNi18-10) est environ 8,02 . 22

Les miers cut un medule de Young environ 200 SP 200 milleeds de prestals) , la dépendamment de leur composition Les autres propriétés varient énormément en fonction de leur corrisposition , du traitement thermomécanique et des traitements de surface auxquels ils onneté soumis . - le coefficient de dilatation thermique de l'acier : 11.7 * 10 ^ -6 tama / men / " C - Le traitement thermo mécanique est l'association : 21 CH -d'un traitement thermique , sous la forme d'un cycle chauffage refroidissement (trempe , revenu ...) ; d'un traitement mécanique , une déformation provoquant de Vécrouissage (laminage , forgeage , tréfilage ...) . Le fraitement de surface consiste à modifier la composition chimique ou la structure d'une couche extérieure d'acier . Cela peut Stre : -uns réaction en phase liquide (chromatation , carburation , nitruration en bain de sel , galvanisation , parkerisation ...) ; une réaction en phase gazeuse (nitruration en phase gazeuse) ; -Unie projection d'ions (implantation ionique) ; un recouvrement (peinture , émail) .

8. Sumbeliaue et entesalot L'acier est le 7 wiveau dans le progression de la carne sportives Selon certaines sources , Vacier peut désigner le 11 wwiversaire de mariage Le terme « Adler sunt caractériser ce qui est solids , par exemple un moral d'acier Le « poumon d'acier designs an ancien modele de respirateur artificiel (respirateur la pression negative) , de gris neler est une couleur gris bleu reproduisant la couleur de l'acier trempé . La couleur adier , en héraldique designe le gris , 9. Sondabilité des aciers La soudabilité des aciers est inversement proportionnelle a la teneur on cartone , Toutes les nuances d'acier non pas la même aptitude a soudage et allichent des deures de soudabilite differents Certains acers sont d'ailleurs intrinsiquement non soudables Pear Quran acier soit soudable il est primordial que les acieristes se priboraupent de la soudabilne des aciers qu'ils produisent des Uzberation dans le souci d'optimiser la mise en oeuvre tulekure . A dare d'exemple , on sigmatera que le code ASME american Society of Mechanical Engineers) , dans son volume

spécifique à la construction d'équipements sous pression , we que l'attestation de conformité d'un acier utilisé ne serait - ce que comme pièce provisoire soudée à titre

temporaire sur moving soumis au dit code mentionne sans ambiguite la qualité du ater soudable » .

10 . Facteurs déterminant le coût de production de l'acier -Sept facteurs au moins déterminent le coût de production d'un acier : 23 ans -La composition de l'acier selon sa teneur en éléments notes (chrome , nickel , manganese , cobalt , etc.) et le niveau de parete chimique (basse teneur en soufre , phosphore , éléments as point de fusion comme le plomb , l'arsenic , Tétain , le tmc , clos),

-Les exigences particulières liées à la reglementation (Directives , décrets , loi , etc.) et les spécifications techniques des doneurs d'ordres : -Les choix d'option (s) proposée (s) par des normes ou des standards internationaux comme des aptitudes au plizy , à l'emboutissage , à l'usinage ,

-Les exigences dimensionnelles (tolérance de plante , classe d'épaisseur , etc.) . On remarquera que chez les aciéristes , la densité de l'acier n'est pas une constante ! Par exemple , dans le cas de l'acier de construction , elle n'est pas égale à 185 Les aciéristes considèrent une densité de facturation différente de la densité physique tout simplement pour tenir compte du fait que

la masse réelle livrée (pesée) est toujours supérieure à la masse théorique (calculée) du produit commande ,

-Les examens et essais effectués sur échantillons prélevés sur coulte ou directement sur produit ainsi que le mode de réception du produit . Il existe 3 principaux modes de réception classés ci - après dans l'ordre de coût croissant :

par le vendeur (la réception du produit est donc effectuée par la première partie) , par l'acheteur (la réception du produit est effectuée par la seconde partie) , et par une entité administrative extérieure (bureau de contrôle , compagnie d'assurance , ministère , association ...) autre que le vendeur ou l'acheteur (la réception du produit est effectuée par ce que l'on appelle une tierce partie)

. Les exigences internes (et donc supplémentaires) requises par les procédés de fabrication de l'utilisateur (planéité , limitations de Ioncurs en éléments chimiques , marquage) , et La Joi de l'offre et de la demande et la spéculation sur les métaux qui conditionnent bien sûr le prix du marché . L'impact des premières exigences peut avoir une incidence de quelques dizaines d ' curos la tonne à plus de 50 % du prix de base (le prix de base étant le prix de l'acier standard conforme à la norme et sans aucune option) , d'où l'importance , avant toute .

passassions de commande , de consulter le vendeur ou l'aciériste (qu'on appelle aussi « forge » ou « fonderie » sur la base d'une spécification technique d'achat rédigée en accord avec les exigences techniques contractuelles et / ou administratives . Le 7 € point quant à lui n'a pas de limite rationnelle . 25 CHO 11 . Remarques : 11.1 . Le bas fourneau a été mis au point pendant l'âge du bronze pour la réduction du cuivre plus facile car se faisant à plus basse température : d'après le diagramme d'Ellingham , le CO réduit efficacement les oxydes de cuivre au - delà de 400 ° C , alors qu'il faut dépasser 900 ° C pour réduire les oxydes de fer . 11.2 . L'absorption du carbone s'arrête lorsque le métal en est saturé . La teneur en carbone de la fonte dépend donc uniquement de sa température : plus une fonte liquide est chaude , plus elle peut absorber de carbone .

11.3 . Valeur supérieure de la teneur en carbone : « Les alliages fer - carbone contenant plus de 2 % de carbone constituent les fontes , >> 3 Cependant , les valeurs retenues varient selon les auteurs entre 1,67 et 2.11 % selon que l'on se base sur les teneurs habituellement utilisées par les fabricants ou les valeurs des diagrammes obtenus en laboratoire .

11.4. Les sources diffèrent, nous avons donc retenu la valeur de 2,1 % ; quoi qu'il en soit, cette valeur est théorique car on n'utilise dans la pratique aucun acier non allié avec une telle teneur en carbone. Pour le diagramme métastable fer / carbure de fer : 2.08 % - 2.11 % - 2.14 %. 2,6 CHO Pour le diagramme stable fer / graphite, la valeur est de 2,03 %

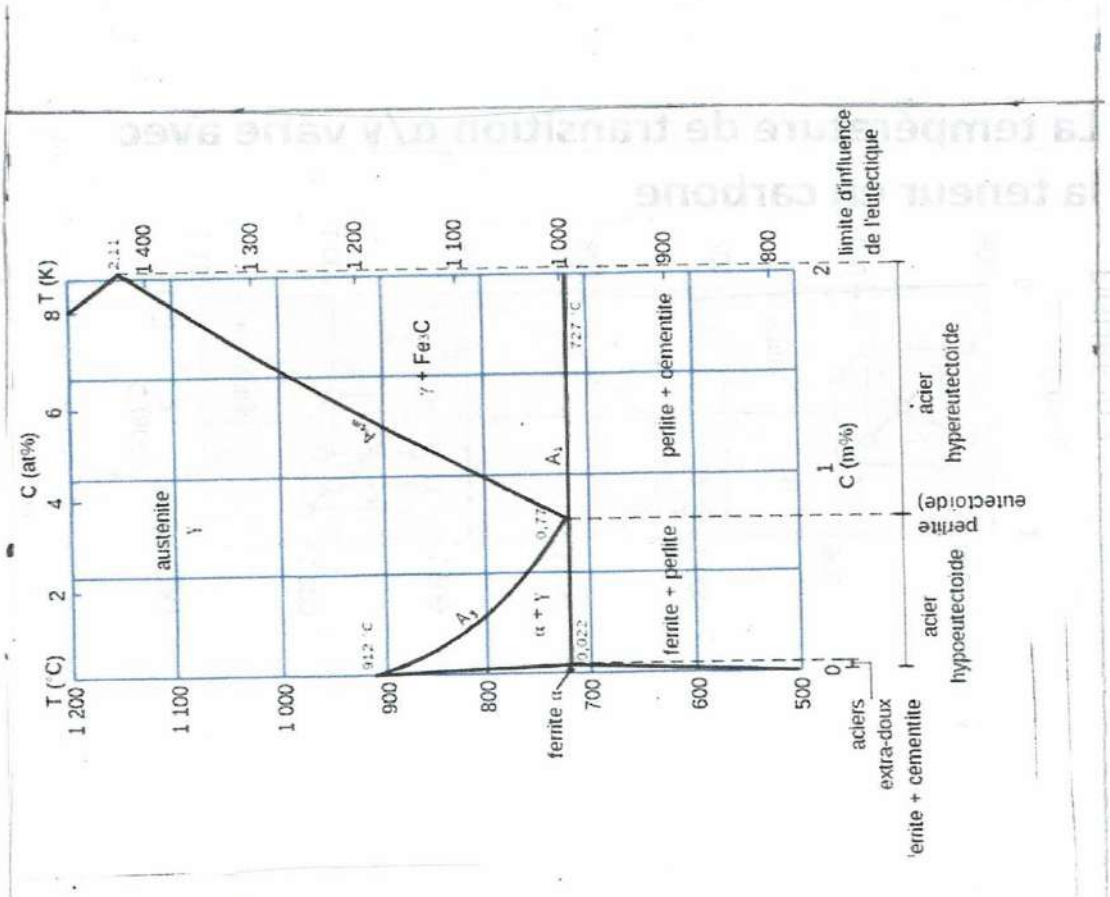


Diagramme de phase fer-carbone, FIGURE : 0.1 **permettant de visualiser les conditions d'existence des formes d'acier, en absence d'éléments gammagènes et de trempe.**

La température de transition α/γ varie avec la teneur en carbone

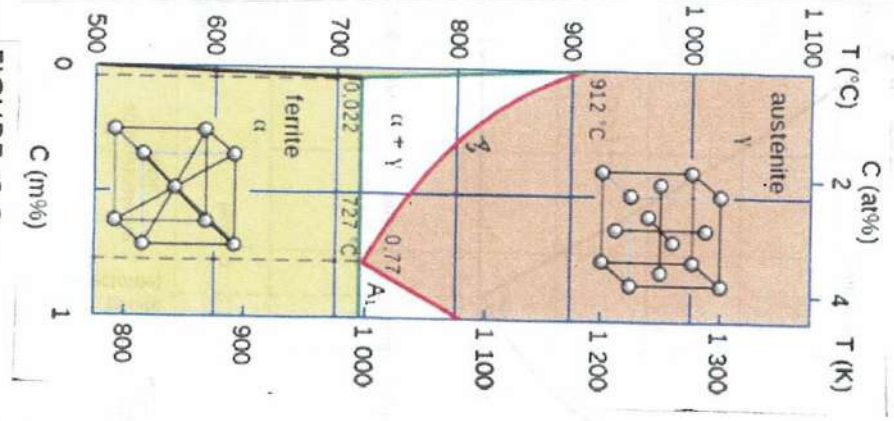
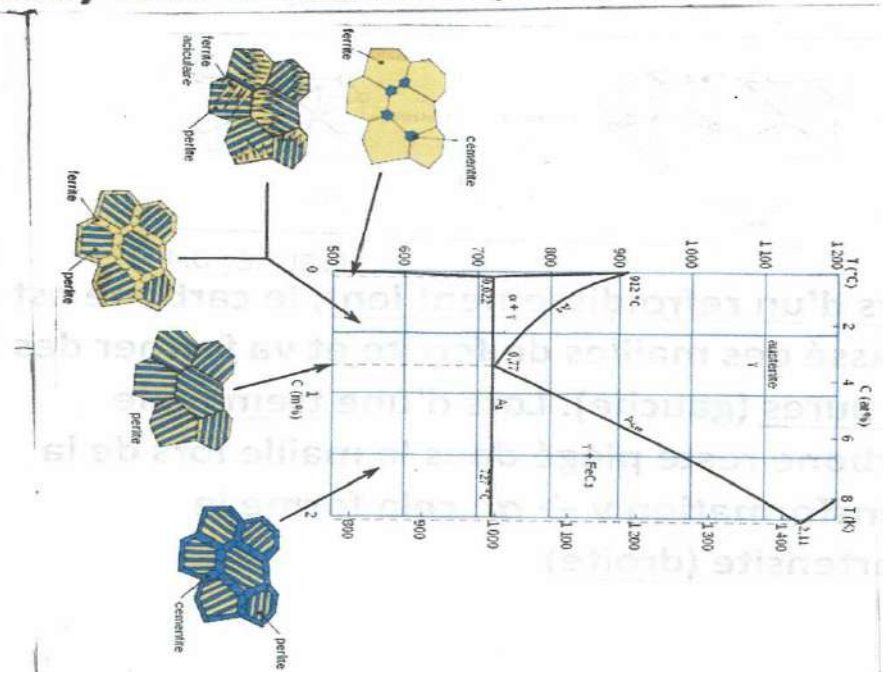


FIGURE :0.2

Structure cristalline des aciers pour un refroidissement lent : répartition de la ferrite (jaune) et de la cémentite (bleu) FIGURE :0.3



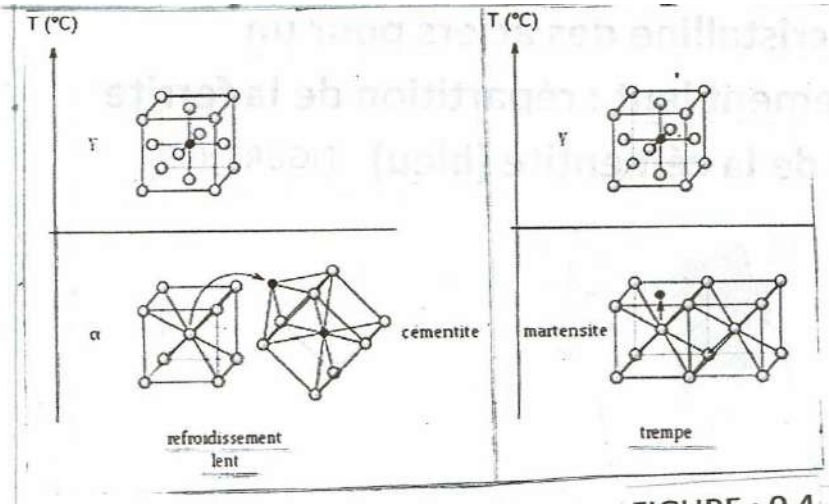


FIGURE : 0.4

Lors d'un refroidissement lent, le carbone est chassé des mailles de ferrite et va former des carbures (gauche). Lors d'une trempe, le carbone reste piégé dans la maille lors de la transformation γ → α ; cela forme la martensite (droite)

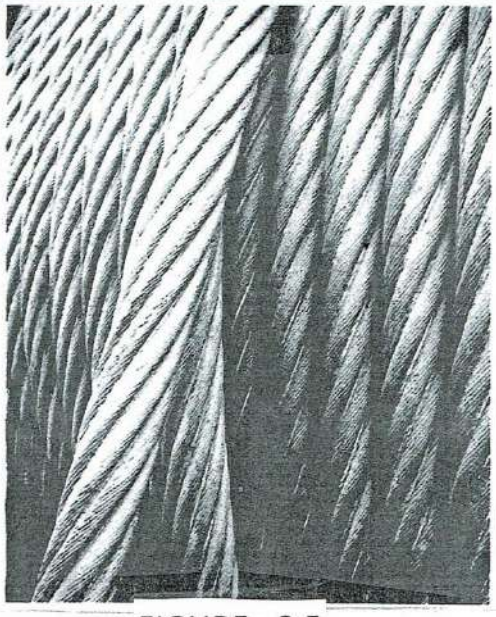


FIGURE : 0.5

Câble d'acier (treuil de mine)

CHAPITRE 1
NOTION DE MINERAI

1.1 Les divers états de la matière

Rappel:

la matière, dans la nature, se présente sous les trois états physiques suivants :

1-solide

2-liquide

3-gazeux

1.1.1 Caractéristiques des solides:

Rigidité, élasticité, incompressibilité, forme propre.

1.1.2 Caractéristiques des liquides:

Surface libre apparente, incompressibilité, élasticité, sans forme propre,

1.1.3 Caractéristiques des gazeux

Sans surface libre, grande compressibilité, expansibilité, élasticité. La plupart des corps peuvent aisément changer d'état, sous l'action de la chaleur, de la compression, etc. peuvent aisément changer d'état, sous l'action de la chaleur, de la compression, etc.

1.2 Constitution de la matière

La matière est constituée de particules très petites appelées molécules, dont I'ordre de grandeur est del A (10 cm).par exemple, Icm d'eau(H_2O) contient 33*1021 molécules.

Pour les solides, les molécules, très rapprochées, se maintiennent en place par des forces d'attraction et de cohésion .Une disposition géométrique régulière des molécules, dans l'ensemble de la masse caractérise un état cristallin.

Dans le cas une disposition irrégulière des molécules dans la masse caractérise un contraire, état amorphe.

Un corps cristallisé est anisotrope, c'est-à-dire que ses propriétés varient suivant la direction qui sert à les évaluer.

Un liquide peut être obtenu, par exemple, à partir d'un solide, par la diminution des forces d'attraction ou de cohésion.

Un corps gazeux est obtenu à partir d'un solide ou d'un liquide par la suppression de la quasi - totalité des forces déjà citées.

Un même corps peut se présenter (suivant les conditions) sous l'un des trois états: solide, liquide, gazeux.

Par voie chimique, il est possible de décomposer la molécule jusqu'à son plus petit élément: l'atome.

On a identifié 92 éléments dits naturels, c'est-à-dire se trouvant dans la nature.

(La physique nucléaire a créé plus d'une dizaine d'autres éléments.)

Ces 92 éléments se répartissent en deux grands groupes, les métaux et les métalloïdes.

L'atome est formé d'un noyau positif et de satellites négatifs appelés électrons, répartis en plusieurs couches concentriques autour du noyau K, L, M.N,O,P.Q, définissant des niveaux décroissants d'énergie.

Le noyau est composé de deux sortes de particules : les protons positifs et les neutrons de masse semblable, mais électriquement neutres. Ces dernières particules équilibrent les forces de répulsion des protons (+et+ se repoussent).

Le nouveau est donc caractérisé par deux constantes:

1-le nombre de protons Z:

qui détermine le numéro atomique, il varie de 1(l'hydrogène) à92 (l'uranium), Ce nombre indique également la charge et le nombre d'électron planétaire.

2-le nombre de masse A:

Indique la somme des particules protons+ neutrons, il correspond sensiblement à la masse atomique.

Les caractéristiques d'un élément sont symbolisées de la façon suivante:

Z

Symbole

A

Exemple:

23892U

Le noyau d'uranium est composé de 238 particules dont 92 protons et (238-92)-146 neutrons.

Les propriétés chimiques des atomes sont fonction de la dernière couche d'électrons (dite couche périphérique).

Les métaux sont des éléments électropositifs, c'est-à dire qu'ils libèrent facilement les électrons de la couche périphérique ; par contre, Les métalloïdes sont électronégatifs, c'est- à dire qu'ils ont tendance à compléter leur dernière couche périphérique.

Le nombre d'électrons cédé par les métaux, ou le nombre d'électrons absorbe par métalloïdes, définissent le nombre de liaisons ou valences; on dit qu'ils sont mono, bi, ti,... lorsqu'ils ont 1.2.3... Valences.

Les atomes possédant leur couche périphérique complète sont à l'état naturel des gaz rares ou inertes, donc très stables; cette stabilité est permanente lorsque l'atome contient 8 électrons sur la dernière couche (2 pour l'hélium).

Les liaisons entre atomes, pour la formation de molécules, peuvent intervenir:

a) Par l'abandon d'électrons, d'un atome au bénéfice d'un autre (métal à métalloide)

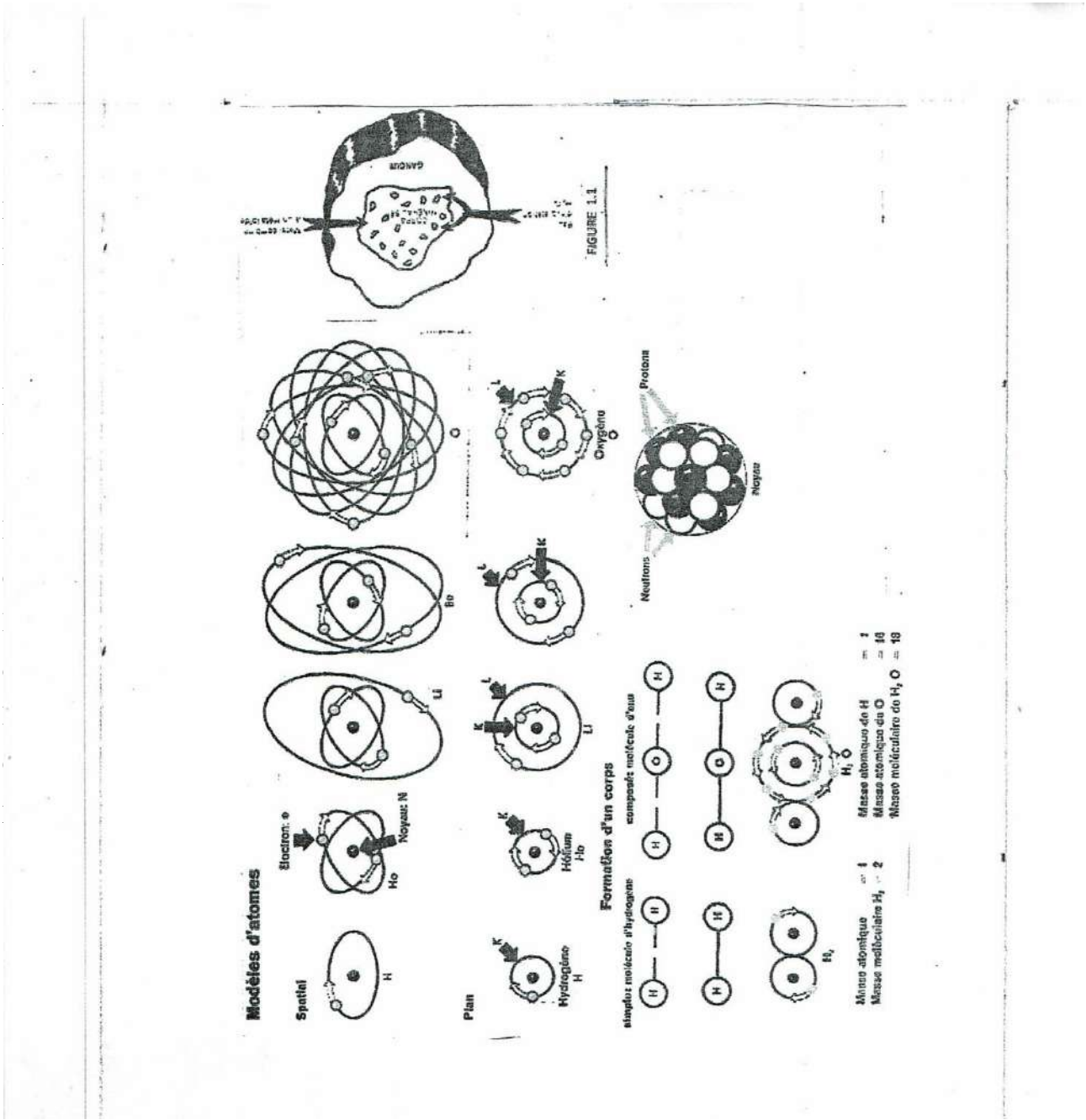

Modèles d'atomes
Spatial
Plan
Hydrogène H
Hélium He
Li
Be
O
Oxygène O
Noyau
Protons
Neutrons
Formation d'un corps
composés moléculaire d'eau
Masse atomique de H = 1
Masse atomique de O = 16
Masse moléculaire de H2O = 18

FIGURE 1.1

CHAPITRE 2
SIDERURGIE

2.1. Le haut fourneau

Principe de la sidérurgie:

Le minerai à traiter, comprenant de l'oxyde de fer (fer + oxygène) et de la gangue, il faut pour obtenir le métal:

1°Libérer le fer: en faisant agir un corps susceptible de se combiner avec l'oxygène de l'oxyde.

Un tel corps est appelé réducteur. Pratiquement, c'est le carbone qui est utilisé.

Pour que cette réduction soit possible, il est nécessaire de fournir de la chaleur. Aussi fait-on brûler un excès de carbone.

2° Séparer le fer de la masse: par fusion du métal qui coule et se rassemble à la partie inférieure du four. La chaleur nécessaire à ce changement d'état est fournie par la combustion du carbone.

3° Eliminer la gangue: On ajoute pour cela un fondant (pierre à chaux ou à magnésie) qui grossier : le laitier. Plus fusible et plus léger que le fer, ce donne avec la gangue un verre laitier coule et se rassemble au-dessus du métal liquide. On peut alors l'évacuer à l'extérieur du four par décantation. **(FIGURE :2.2)**

Le laitier est utilisé à diverses fins, en particulier:

moellons pour les digues

ballast de voies ferrées

briques

laine de laitier en qualité d'isolant phonique et thermique

HAUT FOURNEAU

(Caractéristiques):

Les hauts fourneaux modernes sont des appareils d'une trentaine de mètres de hauteur, constitués principalement de deux troncs de cônes accolés par le bas:

1° Le tronc inférieur ou « étalages» se prolongeant par partie cylindrique de 8 m, et plus de diamètre appelée « creusets », dans lequel s'accumulent les produits du travail: La fonte et le laitier.

Par les « tuyères», tuyaux coniques placés en haut du « creuset», on insuffle un énorme volume d'air chaud (800 à 1200°C) destiné à provoquer la combustion du coke.

2° Le tronc supérieur ou «cuve» se terminant par un orifice appelé «gueulard ».

C'est par le gueulard, orifice à double fermeture, que sont introduites en couches alternées les matières premières, les charges, qui sont transportées à sa hauteur dans des bennes par un monte-charge verticale ou une sorte de funiculaire, le «skip» de chargement.

L'utilisation de courroies transporteuses est de plus en plus fréquente.

NOUVEAUX PROCÉDÉS

Parmi les perfectionnements il faut citer les techniques d'injection de vapeur d'eau e d'hydrocarbures:

a) gaz naturel (méthane)

b) huiles minérales (fuels légers et lourds).

Ces fluides sont introduits avec le vent chaud par les tuyères à l'aide d'un appareillage qui assure la pression et le débit désirés.

L'injection d'hydrocarbures exige une augmentation de la température du vent et de la consommation de gaz des «cowpers».

Elles permettent en contrepartie d'économiser 10 à 20 % du coke et d'accroître la production journalière de fonte, tout en régularisant et améliorant sa composition

PRODUIT DU HAUT FOURNEAU:.

La fonte:

Lorsque le creuset est plein et que les laitiers ont été évacués, on procède à la coulée de la fonte:

On débouche le trou de coulée.

Comme le haut fourneau fonctionne d'une façon continue, on procède à plusieurs coulées par jour.

On peut obtenir ainsi plus de 2000 tonnes de fonte par24 heures destinées à :

La coulée des gueuses: destinées à être utilisées dans les fonderies de deugième fusion **(FIGURE 2.3)**

L'exécution de grosses pièces par coulée directe dans des moules

La fabrication de l'asier: La fonte est alors coulée dans de grands récipients appelés mélangeurs. Cet appareil, qui comporte un dispositif de chauffage au gaz, vise trois 3 CH2 objectifs:

1° I permet une régularisation de la qualité de la fonte, puisqu'il reçoit plusieurs coulées successives

2° II joue le rôle régulateur dans l'exploitation

3° Enfin, par son stockage durant plusieurs heures, la font ainsi entreposée subit un véritable affinage qui en améliore ses qualités.

USINOR DUNKERQUE Exemples d'installation

Nature caractéristiques

Haut fourneau N°1 o du creuset 8,50m volume utile 1285m^3

Haut fourneau N°2 a du creuset 8,70m volume utile 1350m^3

Chargement par bandes porteuses au débit de 700 m3 h soit:

Agglomeré et minerai ……..... 2000t/h

Coke……...350 t/h

Ils peuvent atteindre une production d'environ 5500t/jour de font, avec une charge composée de minerais riches non phosphoreux.

>HAUT FOURNEAU

(Fonctionnement):

Ce sont des appareils qui fonctionnent en marche continue, et qui sont le siège **d'un double mouvement**:

Marche ascendante des gaz, par opposition à la marche descendante des solides.

1 Le mouvement de descente des solides, constitué par les charges, introduites par le «gueulard ».

Le charge sont constituées par:

a) Le minerai à l'état d'oxyde, concassé et aggloméré.

b) Le coke métallurgique qui doit avoir une bonne résistance à l'écrasement et une excellente porosité pour laisser passer le courant gazeux.

c) Le fondant est un produit d'addition qui permet la séparation du métal de la gangue, à une température relativement basse, La nature du fondant dépend donc de la nature de la gangue.

De la castine si la gangue est alumineuse.

De l'argile (erbue) si la gangue est calcaire.

2° le mouvement de montée des gaz, des tuyères au gueulard. Ces deux mouvements forment les zones suivantes:

-La dessiccation, entre 300 et 350° C. Période pendant laquelle la vapeur d'eau contenue dans les éléments des charges s'évapore. C'est une La **déshydratation**,

La réduction entre 350 et 750°C, du minerai (oxyde de fer) est obtenue non par le charbon, mais par l'oxyde de carbone.

Le contact entre le minerai et le charbon serait trop grossier pour obtenir un bon rendement, le contact du minerai avec un gaz est bien meilleur.

L'oxyde de fer perd son oxygène.

La carburation, entre 750 et 1150 C. A la température élevée qui règne dans les « étalages », le fer se combine partiellement au carbone; c'est pourquoi on n'obtient pas du fer pur, mais de la fonte, produit renfermant de 2,5 à 5 % de carbone et d'autres éléments en petite quantité (manganèse, phosphore, silicium).

La fusion, entre 1150 et 1800° C. Passage du fer carburé (fonte) de l'état solide à l'état liquide.

La liquation. La température est voisine de 1600° C. Le métal liquide (fonte) coule dans le faisant par séparation fond du creuset; sur le métal surnage le laitier, la se différence de densité.

Le laitier constitue un écran de protection à l'air des tuyères, pour empêcher la fonte de s'oxyder.**(Figure : 2.4)**

HAUT FOURNEAU:

Les fontes

La fonte produite par le haut fourneau est appelée : **fonte de première fusion**.

a)FONTE BLANCHE

Dans la fonte blanche, tout le carbone est combiné au fer pour donner du carbure de fer (cémentite), corps très dur, très fragile, dont la couleur est gris clair avec éclat métallique

Aussi la cassure de la fonte est-elle blanche, compacte, sans trace de graphite. Cette fonte est très dure. Elle ne s'usine pratiquement pas ou difficilement.

Elle est utilisée comme fonte d'affinage pour la fabrication de l'acier.

Elle est obtenue en haut fourneau marchant à allure froide (moins de coke et vent moins chaud que pour l'obtention de la fonte grise).

La composition moyenne présente les valeurs suivantes

C-2.3 à 3%; p-2 % ; Mn - 1.5%;

Si-0.6%; Fe reste.

Masse volumique: 7.4Kg/dm^3

Point de fusion : 1200° C.

b) FONTE GRISE

Dans la fonte grise, presque tout le carbone se trouve à l'tat libre sous forme de graphite. Ce sont les petites paillettes noires de graphite. Mélangées aux cristaux de fer, qui donnent à la cassure de la fonte une teinte grise. La présence du silicium a favorise la précipitation du carbone sous forme de graphite. Cette fonte sert à faire des gueuses pour les fonderies de deuxième fusion et moulage de grosses pièces.

La composition moyenne présente les valeurs suivantes:

C-3 à 4.5 %; Si-1.5 à 5 %; Mn=1 %;

P-0.08%; S= 0,054.

Masse volumique: 7.4kg/dm^3.

Point de fusion : vers 1200° C.

MINERAI DE FER

(5% de l'écorce terrestre environ)

Généralités

La nature ne nous fournit pas à l'état pur (à part les petites quantités de fer météorique), mais sous forme **de combinaisons chimique** de métaux agglomérés à des roches ou de la terre: cet agglomérés s'appelle «gangue» composé de silice, alumine, chaux, magnésie. Tout l'ensemble porte le nom de minerai.

La valeur marchande du minerai dépende de la teneur en fer contenu dans le minerai, désignée en pour-cent (au minimum28%)et de la composition chimique du minerai:

Les charbons doivent contenir très peu d'impuretés car celles-ci formées en majeure partie de soufre et de phosphore passeraient tout entières dans la fonte.

CARBONE:

Symbole C de masse atomique 12

Généralités

C'est un métalloïde solide très résistant à la chaleur, et que ni les gaz ni les solides ne peuvent attaquer. Il se volatilise vers 3500°C.

Le carbone est insoluble dans les liquides, à l'exception de quelques métaux en fusion, le fer particulier. Les atomes de carbone ont la propriété remarquable de pouvoir s'attacher les en uns aux autres jusqu'à former de très longues chaînes.

Le carbone existe dans la nature à l'état pur sous deux formes différentes:

a) **Le diamant (fig. 2-5).Il** est formé de cristaux parfois transparents, appartenant au système dit cubique.

On l'extrait des mines d'Afrique du Sud, du Brésil, de l'Australie ou de l'Inde.

C'est le plus dur de tous les corps connus.

Dureté Mohs……...10

Masse volumique……..3 à 3,5Kg /dm

Isolant électrique excellent.

Les applications commerciales et industrielles du diamant sont: fabrication des trépans destinés à perforer les roches très dures lors de la recherche du pétrole, diamant des vitriers, burins...

b) **Le graphite.** C'est un corps noirâtre, tendre, au touché onctueux, formé de cristaux à base hexagonale. On le trouve à Madagascar, au canada, en bohême.

Masse volumique :2,2kg /dm^3

Très bon conducteur du courant électrique.

a)avec de **l'oxygène** pour former **des oxydes**.

1° La magnétite$Fe_3 0_4$ Minerai très riche, 60 à 65 % de fer. Ce minerai donne des aciers d'excellente qualité. On le trouve en suède, Espagne, Algérie, Etats-Unis, Russie.

2° L'hématite rouge, **$Fe_2 O_3$**

Couleur rouge vif, c'est le plus pur et le plus recherché de tous les minerais de fer.

Une bonne hématite contient 60 à 68% de fer, le reste est l'oxygène et il ne s'y trouve que peu d'impuretés .On la trouve en France, Algérie, Angleterre, Allemagne, Etats-Unis.

En suisse, le gisement de Gonzen, prée de Sargans, contient environ un million de tonne d'hématite rouge à 50% de fer.

3 Le fer oolithique

Des gisements très abondants se trouvent est appelée «minette»; ce minerai présente l'inconvénient d'être riche en phosphore mais la découverte du procédé Thomas et Gilchrist pour la déphosphoration des aciers a permis au en Lorraine où

Cette variété bassin lorrain de connaître un grand essor.

b) avec l'acide carbonique. Pour former des carbonates.

1° La sidérose ou fer spathique Fe CO_3.

Il est d'une réduction facile, après avoir subi une calcination. Pauvre en phosphore et très recherché pour sa teneur en manganèse.

c) avec le soufre pour former des **sulfures**

1° La pyrite de fer. Fe_2

Peu utilisé suite des difficultés d'éliminer complètement le **soufre**, par grillage

LE COKE :

Le coke joue, dans l'élaboration de la fonte, un double rôle : celui de combustible et celui de **réducteur.**

Un réducteur est un corps qui peut s'emparer de l'oxygène combiné à d'autres éléments

Le coke provient de la distillation, en vase clos, de charbon ayant des caractéristiques particulières.

Les applications commerciales et industrielles du graphite sont: fabrication des électrodes, fabrication des « mines » de nos crayons...

Les combinaisons du carbone sont extrêmement nombreuses:

carbure d'hydrogène, alcool, sucre, graisse, albumine, cellulose.

Elles entrent pour une part importante dans la constitution des organismes animaux et végétaux (homme 17 % C) .

.b) Les charbons. Ils contiennent une quantité plus ou moins abondante de carbone associé à des impuretés diverses, ils proviennent de la décomposition de la matière végétale enfouie à des périodes géologiques anciennes. On extrait principalement:

L'anthracite (90 à 95% de C)

La houille (75 à 90 % de C)

Le lignite (50 à 70 % de C)

La tourbe (20 à 40 % de C)

2.2. Fours électriques à fonte « TYSLAND HOLE» **(FIGURE : 2. 6)**

Principe: four à réduction électrique à basse du système norvégien cuve «TYSLAND HOLE ».

Dans le four électrique, le charbon est utilisé exclusivement pour la réduction du minerai et pour la carburation du fer, ce qui représenté environ les deux cinquièmes de la quantité de charbon utilisé dans les hauts fourneaux à coke, les trois cinquièmes restant sont remplacés par l'énergie électrique qui produit la chaleur nécessaire à la fusion.

Dans le haut fourneau, la combustion du charbon est possible grâce à l'introduction du vent des souffleries.

Dans le four électrique, avec la suppression des charbons de combustion, **les vents sont également supprimés**.

Caractéristiques :

Comme l'indique le nom de l'appareil, on voit qu'il s'agit d'un four de hauteur réduite et qui se rapproche même plus d'un four à sole que d'un four à cuve.

Les diamètres des appareils sont, par contre, relativement grands. Pour des fours de 200 à 250 tonnes de fonte par jour, on obtient, en effet un diamètre de l'ordre de 12m.

Le chargement est généralement réalisé par bennes qui déversent leurs contenus dans des trémies, ces dernières alimentent directement de nombreux points de chargement aménagés dans la voûte du four.

Les électrodes sont au nombre de trois, disposées en triangle. Sur les grands fours, les électrodes atteignent des dimensions impressionnantes de l'ordre de 1,80 m de diamètre la régulation de la hauteur de l'électrode dans la charge peut être faite manuellement ou de façon automatique.

Matières:

Dans le haut fourneau au coke, il était de prime importance que le coke introduit dans le four soit fabriqué spécialement avec une bonne résistance à l'écrasement et une excellente porosité pour laisser passer le courant gazeux ascendant, conditions qui ne sont plus du tout nécessaires dans le four électrique.

Les minerais peuvent être aussi plus fins.

Pour un meilleur rendement, La charge doit être préparée par agglomération. Bien que la production de fonte actuelle dans les fours électriques atteigne à ce jour au maximum 1 % de la production mondiale, **ce système de fusion est considéré comme étant la méthode moderne**.

Les pays : Brésil Israël - Italie- Espagne - Canada- Pérou-Suisse -Suède -Norvège - Venezuela - Russie - Japon- Yougoslavie, etc...

L'usine de Choindez de von Roll SA

La Société des usines de Von Roll SA, de Choindez, possède un four électrique à cuve basse du type « TYSLAND HOLE ». **(FIGURE : 2.6)**

Caractéristiques

Cette entreprise utilise 200 tonnes de matières premières par jour.

Soit:

1° Du minerai de Fricktal à 28-29% de fer. Des cendres de pyrite, sous-produit des usines d'acide sulfurique, 60 %de fer.

2° Du coke des usines à gaz suisses mélangé à des anthracites français à forte teneur en cendre.

3° Un fondant,, du calcaire.

La production journalière du four à cuve basse est de 80tonnes de fonte brute, qui a la composition suivante: 3,5 à 4% de carbone, 2% de silicium, 0,3 % de manganèse, 0,7 % de phosphore et moins de 0,05 %de soufre. Cette fonte est directement utilisée pour les trois quarts dans la fonderie de Choindez, pour la fabrication des tuyaux.

Les 45 tonnes de scories sont reprises par l'industrie du ciment.

Le gaz est utilisé comme source de chaleur dans les fours à recuire les fontes et les fours à sécher.

2.3. Transformation fonte-acier:

ELABORATION DE L'ACIER:

Classification des métaux ferreux:

1° Fontes

Fer + 2,5 à 6,67% de C.

2°Aciers sauvages (peu utilisés en raison de leurs grandes fragilités).

Fer+ 1,7 à 2,5% de C

3°**Aciers**

Fer + 0,05 à 1,7 % de C.

4°Fer pur ou fer de Suède.

Fer + trace de C.

Affinage:

Pour transformer **La fonte** en **acier**, il faudra donc enlever en partie le carbone, le silicium, le manganèse et en totalité le phosphore et les impuretés.

Affinage ACIDE: fonte de première fusion obtenue par un minerai riche en Si (2%) et pauvre en P (0,07) (minerais américains).

Affinage BASIQUE: fonte de première fusion obtenue par un minerai riche en P (2%) et pauvre en Si (0,5) (minerais européens).

Quelle que soit la nature du procédé utilisé:

Conversion de la fonte ou affinage sur sole: la fabrication de l'acier comporte une phase fondamentale d'élimination des impuretés d'un bain liquide.

Le résultat sera obtenu par l'action de **l'oxygène pur**, soit **l'oxygène** contenu dans l'air, ou **l'oxygène** contenu dans les oxydes de fer des minerais ou des riblons qui brûlera les corps en excès (oxydation), donnant ainsi des **produits volatils**, évacués dans les fumées, ou des **produits solides**, évacués sous forme de laitiers liquides grâce à l'action d'un fondant :la chaux.

Le soufre ne fait pas partie de l'affinage, il a été éliminé en grande partie dans le haut fourneau.

Le séjour de la fonte dans le mélangeur fait baisser encore la teneur en S

Quel que soit le procédé employé pour l'affinage, le garnissage des fours sera:

1° Briques réfractaires siliceuses (affinage acide).

2° Briques réfractaires chaux et magnésie (affinage basique) inattaquable à la chaux que l'on doit introduire pour éliminer le phosphore de la fonte.

2.4. Acier Thomas

Convertisseur (FIGURE: 2.7)

Principe:

Oxydation du C de la fonte par **l'oxygène de l'air**. Ce procédé tend à disparaître, remplacé par **l'oxygène pur**.

Four: le convertisseur est une cornue en tôle avec revêtement intérieur en briques réfractaires.

Sous la partie inférieure, percée de trous (100-200 de 10 mm de diamètre), est placée une fait arriver de l'air froid sous pression qui traverse et brasse la boîte à vent dans laquelle on coulée du métal en fusion.

Le four peut basculer autour d'un axe de rotation pour permettre son remplissage et la coulée du métal.

Les grandeurs peuvent atteindre 8,50 m de hauteur et 5 m de diamètre pour contenir environ 70 tonnes de fonte.

Conduite des opérations :

1° La cornue étant inclinée, on charge de la fonte liquide phosphoreuse.

2° On donne du vent et on redresse l'appareil, L'air soufflé traversant lamasse de fonte en fusion élimine par combustion:

a) Etincelles, combustion du silicium, 2 à 3 min

b) Période des flammes bleues, combustion du carbone, 10 à 12 min

c) Période des fumées ou sursoufflage, combustion du phosphore, 3 à 4 min

d) Enfin, des fumées rousses apparaissent; elles annoncent le début de l'oxydation du fer.

Le contrôle de l'opération se fait par l'aspect de la flamme observée à l'ceil, au spectrographe ou également par cellule photo-électrique.

On prélève un échantillon de métal dans une petite lingotière. L'éprouvette est forgée, trempée, pliée à bloc et ne doit pas former de criques

3° La période de décrassage correspond à l'enlèvement de la scorie abondante (25% environ de la quantité du métal) qui surnage l'acier.

Les scories broyées sont livrées à l'agriculture. Elles contiennent 15 à 25% d'anhydride phosphorique

4°Addition finale. Dans la cornue, il n'ya donc plus que du fer et un peu d'oxyde de fer. Pour transformer le métal en acier, il faut donc:

a) Ajouter du carbone.

b) Réduire l'oxyde de fer.

Aussi ajoute-t-on une fonte spéciale (ferromanganèse) qui contient le carbone, 6-10% , indispensable à la transformation du fer en acier. Ensuite le manganèse, 70-80 % , plus avide d'oxygène que le fer, réduit l'oxyde de fer déjà formé et le transforme en fer.

5° coulée de l'acier. L'opération complète est très rapide ; elle dure environ vingt minutes.

La chaleur nécessaire pour maintenir la masse en fusion est poussée par la combustion des **éléments thermogènes Si Mn et C**.

Le bain ne se refroidit pas ; au contraire, la température s'élève de près de 500°.

Acier Thomas:

L'acier Thomas comporte trois éléments indésirables:

Le soufre et le phosphore provenant de la fonte, l'azote provenant de l'air soufflé.

- **Le soufre augmente la fragilité à chaud.**
- **Le phosphore augmente la fragilité à froid.**
- **L'azote provoque le vieillissement et les inclusions de nitrures.**

2.5, Acier à l'oxygène:

Aciers à l'oxygène pur:

Les progrès réalisés dans la fabrication de l'oxygène grande quantité à un prix de revient en peu élevé ont permis d'envisager **en sidérurgie I 'utilisation d'oxygène pur à la place de l'air**.

Convertisseurs (FIGURE: 2.8)

LD: (Linz-Dona witz).

OLP: (Oxygène - lance - Poussière).

Principe

Oxydation du C de la fonte per **l'oxygène pur**.

Four

Les convertisseurs LD et OLP sont semblables aux Bessemer et Thomas dont le fond serait plein.

La hauteur peut atteindre 9,90 m et 'le diamètre intérieur du corps cylindrique en tôle, 7,30m.

Volume intérieur environ: 150m^3

Garnissage permanent : briques en dolomie.

Garnissage d'usure : briques en dolomie goudronnée.

La lance verticale, refroidie par circulation d'eau, pénètre par le bec et souffle de l'oxygène à une certaine distance du bain.

Capacité:

180 tonnes d'acier liquide, procédé LD 150 tonnes d'acier liquide, procédé OLP.

Conduite des opérations:

1° La cornue étant inclinée, on charge de **la ferraille** (riblon) 30 à 45 %, l'on déverse **la fonte** provenant du mélangeur.

2° Le four est ensuite redressé et l'on installe la lance en même temps que commence le soufflage de l'oxygène. Pour le convertisseur LD, les composants du laitier, chaux et fondant, sont amenés par une goulotte.

Pour le convertisseur OLP, un réglage précis de la mise en suspension de la poudre de chaux dans le courant d'oxygène supprime l'addition de produits quelconques pour constituer le laitier.

3° En observant l'image de la flamme, courte d'abord, s'allongeant ensuite pour redevenir petite, on peut déterminer avec précision la fin de l'opération.

4° Eprouvette.

5° Décrassage et coulée de l'acier avec les additions finales C, Mn, Si.

Convertisseur KALDO (FIGURE: 2.9)

Principe:

Oxydation du C par l'oxygène pur.

Il permet en outre **la combustion dans le four de l'oxyde de carbone** dégagé et l'utilisation métallurgique des calories ainsi produites en fondant jusqu'à 99% de ferraille (riblon).

Four

Le four est en position inclinée et tourne sur lui-même à raison de 30 tours par minute. Cette rotation favorise les échanges entre le métal et les scories.

Le tout est monté sur un berceau de rotation, ce qui permet le chargement et la coulée.

Revêtement basique.

La lance refroidie par circulation d'eau est inclinée à 17°.

Conduite des opérations

1° avec environ 3 tonnes de laitier partiellement solidifié de la coulée précédente, on charge environ 80 tonnes de fonte en fusion.

2° La moitié des ferrailles nécessaires, 30 tonnes est chargée à son tour +7 tonne de chaux.

3° Le four est alors soufflé pour réchauffer l'ensemble.

4° La seconde moitié des ferrailles, 30 tonnes, est introduite.

5° Le soufflage continue.

6 prise de l'éprouvette premier décrassage si l'analyse est bonne.

7° Addition de 1,5 tonne de chaux, le soufflage reprend jusqu'à ce qu' on obtienne l'analyse voulue.

8° Deuxième décrassage, le laitier est séché par procédé spécial et servira dans la coulée. Suivante.

9°Coulée de l'acier après les additions nécessitées par l'analyse finale recherchée.

Lock La moyenne des poids de coulée varie de 120 à 125 tonnes d'acier.

Acier à oxygène

L'acier obtenu ne contient pratiquement pas d'azote dissous, il est très pur en soufre et en phosphore.

Ses qualités permettent de l'utiliser dans les domaines jusqu'ici réservés à l'acier «Martin»

2.6. Aciers martin :

Four MARTIN (FIGURE: 2.10):

Principe:

1° Fusion des aciers de récupération et modification du pourcentage de carbone par addition soit de la fonte pour l'augmenter, soit de l'oxyde de fer pour le diminuer. (Principe de dilution.)

2 Oxydation du carbone de la fonte par l'oxygène de l'oxyde de fer (minerais).

3 Le principe le plus courant emploie à la fois la dilution et l'oxydation. Dans les trois cas on ajoute de la chaux qui facilite la formation de laitiers fusibles et l'évacuation des impuretés

Four:

Le four Martin proprement dit comprend:

a) **La sole** : sorte de cuvette rectangulaire, légèrement creuse, dont le fond est incliné vers le trou de coulée La construction,, faite de briques réfractaires en silice ou en dolomie, est montée sur poutrelles pour permettre le refroidissement de la surface inférieure .

b) **Le laboratoire**: espace compris entre la sole et la voûte. Des portes placées sur la face avant du four permettent le chargement. L'une d'elles est disposée pour permettre l'évacuation des scories et le décrassage du four.

c) **La voûte** : du type suspendu, légèrement convexe, constituée par des briques en chrome-magnésie armées intérieurement et munies de languettes de suspension.

d) **Récupérateurs** : la sole est placée entre deux récupérateurs de chaleur permettant le préchauffage de l'air (1200) envoyé dans le laboratoire.

Ils travaillent alternativement pour permettre le chauffage des récupérateurs avec les fumées qui sortent du laboratoire.

L'inversion de la marche de l'air s'opère de manière semi-automatique d'après le temps et la différence de température dans les récupérateurs.

e) **Les brûleurs**: pour le chauffage des fours Martin, on emploie comme combustibles : des gaz, de l'oxygène, du fuel-oil pulvérisé par 1'air comprimé. Les éjecteurs de gaz, du fuel et d'oxygène sont logés dans une enveloppe commune, refroidie par eau.

Le fondeur a la possibilité de régler, à partir du pupitre de commande, l'inclinaison des brûleurs et la longueur de leurs flammes.

La capacité très variable peut dépasser 200 tonnes d'acier.

Conduite des opérations

1° chargement du four: On commence par introduire les paquets de ferraille au moyen de pelles mécaniques (60 à 80 %) . On introduit ensuite de la chaux + la fonte liquide au moyen de poches spéciales.

2° Fusion et affinage: Quand le chargement est terminé, on donne le vent et les brûleurs sont réglés.

L'affinage se poursuit en même temps que la fusion en ‘procédant de temps à des en additions de minerais. Comme dans l'affinage au convertisseur, le Si et le Mn s'oxydent les premiers, et finalement le carbone.

Le phosphore passe dans les scories.

3°Essais : on prélève des échantillons de métal quand on juge l'affinage suffisant.

4° Addition finale : on décrasse soigneusement le bain en enlevant la scorie et on procède aux additions finales, ferro-alliages.

L'opération est très longue, plusieurs heures, mais elle permet d'obtenir des aciers mieux dosés.

Le fondeur a la possibilité de régler, à partir du pupitre de commende l'inelinaison-des brûleurs et le longueur de leurs flammes

La capacité très variable peut dépasser 200-tommes d'acier.

Conduite des opérations

1°chargement du four :

On commence par introduire es paquets de ferraille au moyen de pelles mécaniques (60-&-80%) On introduit ensuite de la chaux+ la fonte liquide au moyen de poches spéciales.

2° Fusion et affinage

Quand He chargement est terminé, on donne-le vent et les brûleurs sent réglés.

L'affinage se poursuit en même tempe te fusion en précédent de temps en temps à des additions de mincirais Comme dans Parfilage au convertisseur, le Si et e Mn s'oxydant les premiers et finalement le carbone.

Le phosphore passe dans les scories.

3°Essais: on prélève des échantillons de métal quand on juge l'effanage suffisant.

4°Addition finale: on décrasse soigneusement le bain en enlevant la scorie et on procède aux additions finales Ferro alliages .

L'opération est très longue, plusieurs heures, mais elle permet d'obtenir des aciers mieux dosés

2.7. Electro sidérurgie:

Acier électrique(FIGURE: 2.11)

2.7.1. Four à are (Caractéristiques):

L'arc électrique: Le plus important parmi les procédés de fabrication d'acier à l'aide de l'énergie électrique comme source de chaleur est le procédé **du four à are électrique**.

L'aciériste se sert, au lieu d'une flamme, d'un are électrique produit entre d'énormes électrodes de graphite et le contenu du four.

Haute température on peut atteindre de hautes Grâce à la température élevée de l'arc électrique (3500° C) températures de fusion et dépasser 1800° C.

Elle favorise également la dissolution de matières et d'alliage à fusion difficile.

Elimination du soufre et du phosphore:

La haute température de fusion permet la formation de scories très liquides fortement basiques, grâce auxquelles on obtient une élimination particulièrement bonne **du soufre et du phosphore**.

Abaissement du taux en oxygène (réduction) :

La teneur en oxygène du bain peut être abaissée à un taux minimum car on peut utiliser des laitiers carburés. Non intervention de l'atmosphère du four.

Le laboratoire du four électrique est pratiquement clos. L'atmosphère au-dessus du bain peut être oxydante début; mais pour peu que l'on prenne soin d'éviter tout tirage au ne se renouvelle pas, les gaz oxydants sont remplacés progressivement par l'atmosphère les gaz réducteurs où neutres qui se dégagent du bain,

Pas d'oxydation des éléments d'alliage :

L'atmosphère est donc neutre et les réactions s'effectuent uniquement entre le métal et les additions

On peut fondre les éléments oxydables (Cr ,W, Ni, Mo) sans craindre de perte par oxydation.

En résume: élimination poussée du' phosphore, du soufre et de l'oxygène.

On arrive aux teneurs limites suivantes:

P 0,01% S 0,008% O 0,003%

ACIERS ELECTRIQUES

- Aciers au carbone
- Aciers alliés
- Aciers rapides
- Aciers inoxydables

- Aciers réfractaires
- Aciers électriques
- Four Héroult **(Figure: 2,11)**

(Four à are électrique et sole non conductrice)

Le principe Héroult, selon lequel la formation d'un arc électrique entre les électrodes et passant par la charge, **s'est imposé par rapport à d'autres systèmes**.

Principe : par oxydation du carbone de la fonte au moyen d'un oxyde de fer (minerai). Par mélange et fusion de ferrailles et de fonte.

Par mélange et fusion des matériaux nécessaires à l'obtention du produit désiré : acier et métaux d'addition.

Four:

Le four a la forme d'une poche en acier revêtue intérieurement d'un garnissage réfractaire. La voûtées amovible et son garnissage siliceux doit résister aux très hautes températures Elle comporte des alvéoles laissant traverser trois électrodes de graphite.

Les électrodes sont montées sur potence de hauteur réglable.

Toute la construction est montée sur un chemin de roulement en arc de cercle facilitant le basculement du four pour la coulée de l'acier ou du laitier.

La charge s'effectue en une seule fois, la capacité des fours est très variable de 0.5 à 200 tonnes environ. Pour un four possédant une cuve de 7400 mm.il faut une puissance du transformateur de 50 000-68 000 k VA. Les tensions s'étagent en général entre 80 et 500V

Pour un grand four, la tension maximale en période de fusion peut atteindre 560 V.

Les diamètres des électrodes sont de 600 mm. La capacité maximum est de 180 tonnes.

Conduite des opérations:

1° Chargement des matières :

Le four est chargé à l'aide du panier de riblons, de minerai oxydé et de chaux pour la formation du laitier.

2°Fusion et oxydation :

Le phosphore passe au laitier et le fer s'oxyde après élimination complète du phosphore.

Le bain est recouvert d'une scorie noire oxydée. La teneur en carbone du bain est alors basse.

Une prise d'éprouvette renseigne sur la fin de cette phase.

3°Décrassage complet :

La déphosphoration étant terminée, le bain suffisamment chaud et le laitier suffisamment fluide, on arrête le courant et on décrasse soigneusement Car i est nécessaire que pendant la période suivante, qui ne sera plus oxydante, le phosphore ne puisse pas repasser du laitier dans le métal.

4° Desorvdationctdésulfuration

On rétablit le courant et l'on ajoute de la chaux et des fondants (spath-luor, silice alumine) pour refaire un deuxième laitier.

La haute température réalisée permet la formation de carbure de calcium, excellent réducteur, qui se diffuse dans le laitier où il accélère la désoxydation et par la suite la désulfuration.

On ajoute également des déchets d'électrodes ou de l'anthracite dont lerdleest de désoxyder le laitier.

Il est facile de reconnaître que le laitier est pauvre en oxyde : il devient blanc.

5° Additions finales. Après les essais technologiques sur les échantillons et l'analyse chimique de l'acier, on procède aux additions finales en ajoutant des ferro-alliages, ou les éléments alliés (Ni, Cr, W, Co, etc.) pour ajuster l'acier à la composition voulue

6°La coulée. Le métal amené à la température et à la composition recherchée peut être coulé après le décrassage.

UTILISATION DES INJECTIONS:

Au four électrique à are (figure : 2, 12)

A. La déphosphoration: elle se fait par insufflation au moyen d'une lance émergée, refroidie à l'eau, d'un mélange de chaux et de spath en poudre véhiculé par l'oxygène pur. Le débit de poudre et le débit d'oxygène, contrôlés automatiquement, apportent ainsi à l'intérieur du four les éléments nécessaires à la composition du laitier.

B. La décarburation: elle s'effectué par insufflation, au moyen d'une lance immergée, de poudre de graphite ou de coke véhiculée par l'air dans le bain d'acier recouvert ou non de laitier.

C .La désulfuration: elle s'effectue par insufflation de chaux et de magnésium véhiculés par l'azote ou l'argon, au moyen d'une lance immergée.

D. Les additions métalliques:

1. Produit de réduction

2. Ferro-alliages

Les additions s'effectuent ainsi par insufflation, véhiculées par air ou par azote, toujours au moyen d'une lance immergée.

Aciers électriques:

2.7.2.Le four à induction (Figure : 2, 14)

Le four à induction, considéré pendant longtemps comme outil de luxe réservé aux fabrications de quantités minimes de métaux très spéciaux, est devenu aujourd'hui un outil de production de masse qui, tout en restant très loin des capacités évoquées dans <<petit four » précédents, a cessé d'être procédés les un Sa capacité, limitée à quelques tonnes jusqu'en 1950, atteint maintenant pour l'acier environ 20 tonnes.

Avantages:

Bon mélange de la charge fondue.

Obtention d'alliages parfaits, suivant analyse.

Bonne régulation de la température en adaptant judicieusement l'amenée de puissance par réglage de la tension.

-Aucune surchauffe locale, d'où pertes au feu minimes, même lors de la fonte de copeaux

-Frais minimes d'exploitation et d'entretien.

Principe:

Mélange et fusion des matériaux nécessaires à l'obtention du produit désiré: acier et métaux d'addition.

Four

Le four à induction est constitué par un creuset cylindrique en matière réfractaire (acide, basique ou neutre) entouré d'un tuyau de cuivre à grand nombre de spires, servant de circuit primaire, par lequel on fait passer de l'eau de refroidissement et du courant alternatif de quelques centaines à plusieurs dizaines de milliers de périodes par seconde.

Des courants de très forte intensité sont ainsi «induit dans la masse métallique formant circuit secondaire ferraille par exemple-placée dans le creuset à l'intérieur du champ magnétique et provoquant l'élévation de la température nécessaire à la fusion. Une enveloppe extérieure en tôle d'acier maintient le tout et comporte le dispositif de basculement du four pour la coulée de l'acier.

Conduite des opérations:

1° La charge est constituée par des riblons sélectionnée, des alliages précis, des ferro manganèse, des Ferro-siliciums, etc...

2° Fusion et affichage: les réactions d'affinage y sont limitées, bien que favorisées par un brassage du bain dû aux forces électromagnétiques.

Dans le four à induction à creuset, il n'est pas possible de travailler avec de la scorie peut atteindre les liquide, étant donné que la scorie est chauffée par le métal et ne températures requises pour la liquéfaction des scories ;par contre, il est possible de procéder à la désulfuration avec de la scorie sèche.

En raison de l'absence du graphite des électrodes, il n'y a pas de carburation du bain.

L'affinage à l'oxygène ne peut être pratiqué qu'avec certaines restrictions à cause de l'usure excessive du creuset.

3° Prise de l'éprouvette.

4° Additions finales

Après le décrassage, dès que le bain est suffisamment pur, on ajoute les quantités voulues des ferro-alliages.

5° Coulée de l'acier électrique.

2.8. Application du vide en aciérie:

Les recherches effectuées en laboratoire et en atelier ont montré l'influence néfaste des gaz en solution dans l'acier.

-**L'hydrogène provoque**: flocons et fissurations capillaires.

-**L'azote**: le vieillissement et les inclusions de nitrures.

-**L'oxygène**: les inclusions d'oxydes.

Par le traitement sous vide, on a la possibilité d' éliminer en partie ces gaz, ce qui entraine une amélioration de la ductilité de l' acier (allongement et striction)

Ce traitement sous vide réservé pour les aciers spéciaux tend à devenir une pratique courante en aciérie.

La mise en œuvre de cette technique du vide a été faite suivant les processus suivants:

PREMIER PROCEDE :

Dégazage de la masse de métal (Figure : 2, 15)

Principe

Traitement sous vide de métal liquide poche ou en lingotière après l'élaboration en par les procédés classiques (le four Martin, les convertisseurs Thomas, Bessemer ou à oxygène, les fours électriques à are, à induction).

Conduite des opérations:

Placer la poche de coulée dans une cuve à vide.

L'efficacité de ce traitement très simple est rapidement éliminée dans le cas de poches de grande profondeur, le dégazage de l'acier situé dans la partie inférieure **de la poche est médiocre**.

DEUXIEME PROCEDE:

Traitement du jet d'acier au défilé (Figure : 2, 15)

Principe

(Bochumer Verein en Europe, F. J. Stockes aux Etats-Unis.)

Conduites des opérations

La poche venant du four d'élaboration n'est pas mise sous vide, mais on fait écouler le métal provenant de la poche principale dans une poche intermédiaire placée sur la cuve à vide.

De cette poche intermédiaire l'acier va s'écouler dans la cuve où sera placée une autre poche ou une lingotière.

C'est donc essentiellement le jet de métal qui est soumis aux dégazages

Les inconvénients sont:

Refroidissement de l'acier et, d'autre part, I ‘éclatement du jet, qui se produit en général lorsque celui-ci est brusquement soumis au vide ,peut être préjudiciable à la coulée Certains profils de busettes mis au point par l'Inside ont porté. remède à cet inconvénient .

TROISIEME PROCEDE (Figure : 2, 16)

Traitement du prélèvement de métal contenu dans une poche:

Principe:

Circulation du métal sous vide.

Utilisation de la pression atmosphérique pour faire remonter une partie du métal dans un récipient sous vide placé au-dessus de la poche.

Appareil:

Une chambre de dégazage avec à sa partie inferieure deux canalisations immergées dans la poche de coulée.

Conduite des opérations

Après avoir immergé les deux tubes dans le métal, la mise sous vide du récipient a pour effet de faire monter le niveau du métal dans les tubes et de le faire pénétrer dans le récipient où il se dégaze.

La circulation est obtenue par les deux principes suivants:

a) Ruhrstahi-Heraeus (Europe).

Par un flux de gaz neutre introduit dans un des canaux, ce qui accélère la remontée de l'acier.

b) Thermo flow et F. J. Stockes (USA).

Par deux pompes électro- magnétique exerçant respectivement sur le métal contenu dans chaque tube une force de sens contraire.

Le même dispositif assure le chauffage par induction de l'acier dans les tubes

Le débit de circulation est de 30 tonnes/min avec des tubes de 500 mm de diamètre intérieur pour une poche de 115 tonnes.

En résumé

Pour avoir un meilleur rendement au traitement sous vide, il faut éviter les pertes thermiques et avoir la possibilité d'effectuer des additions pour amener l'acier à la composition voulue.

Four à électrode consommable (Figure : 2, 17)

Principe:

Refondre sous vide une électrode (l'électrode consommable) constituée par le métal élaboré à l'analyse cherchée.

Cette électrode peut être préparée par un four à are électrique ou dans un four à induction sous vide.

Appareil:

Voir dessin **(Figure : 2, 17)**

Conduite des opérations:

L'électrode à refondre est fixée à un support relié à une source de courant continua: **pôle négatif**.

Après avoir fait le vide, on amorce l'arc, entre le pôle positif, constitué par le fond du creuset en cuivre.

La fusion de l'électrode et la solidification du lingot produit se poursuivent progressivement jusqu'à la fin de l'opération.

Caractéristiques:

Pas de risque de contamination par le garnissage du creuset (Four à induction).

Le refroidissement rapide du lingot réduit la ségrégation.

Les inclusions ont tendance à se rassembler en tête du lingot par flottation.

L'ensemble de ces qualités a Permis de réaliser des lingots très gros, 25 tonnes environ, en alliages très complexes et de rendre forgeables des qualités considérées in forgeables.

Four à induction sous vide (Figure: 2, 17)

Principe

Elaboration et coulée sous vide du ‘métal.

Appareil:

Voir dessin (Figure : 2, 17)

Conduite des opérations (sous vide):

1. La charge est constituée d'acier dont la composition est connue et de Ferro- manganèse, Ferro-silicium.

2. L'acier est fondu et purifié.

3. Additions de ferro-alliages pour la composition recherchée

4. Le four est basculé et la coulée est effectuée en lingotières

En résumé :

Cette méthode permet d'obtenir une grande précision d'analyse et une propreté micrographique

Pas de perte par oxydation, ce qui permet la composition d'alliages nouveaux contenant des additions importantes de produits très oxydables, tels que **titane et aluminium.**

2.9. La coulée de l'acier

A. Coulée en source (FIGURE: 2.18)

1. Poche de coulée en acier revêtue intérieurement d'un garnissage réfractaire.

2. Quenouille pour la fermeture

3. Nourrice alimentant les lingotières par le bas. Principe des vases communicants.

4. Briques réfractaires percées d'un trou central formant canal. Ces dernières sont placées dans les rainures que comporte la plaque de bas en fonte.,

5. Lingotière en fonte légèrement conique généralement ouverte en haut et en bas

6. Lingotière avec masselotte.

B. coulée directe ou en chute

7. Plaque de bas en fonte.

C. Coulée continue-Modèle «S»

8. Panier distributeur pour plusieurs lingotières.

9. lingotière curviligne en cuivre avec refroidissement à eau pour obtenir des **billettes, brames et blooms**.

10. Chambre de réfrigération. Pulvérisation d'eau pour continuer le refroidissement.

11. Corset de guidage en arc de cercle.

12. Redresseuse.

13. Chalumeau oxycoupeur pour la coupe des barres.

Le chalumeau se déplace à la même vitesse d'évacuation de la barre pour obtenir une coupe droite.

La coulée continue supprime: lingot, four de réchauffement et le train de blooms.

2. 10. Les défauts des lingots:

2. 10.1. Retassure:

Le passage de l'état liquide à l'état solide est accompagné d'une diminution de volume (retrait).

Le refroidissement s'effectue à partir des parois et se développe perpendiculairement à celle- ci, donc la retassure se produit dans la partie qui se solidifie en dernier lieu.

Moyens de remédier

L'élimination par chutage, qui consiste à enlever la partie du lingot contenant la retassure.

Pour diminuer I' importance de la chute, divers procédée sont utilisés:

- Localiser la retassure en disposant les lingotières, la grande base en haut.
- sur le haut de la Par l'emploi d'une masselotte (moule en terre réfractaire) placée lingotière pour maintenir à cet endroit le métal liquide assez longtemps.
- Soit par réchauffage de la partie supérieure du lingot.

2.10 2. Ségrégation :

La ségrégation se produit par l'accumulation des impuretés dans la partie du lingot qui solidifie la dernière. A noter que la ségrégation, qui est très accentuée au voisinage de la se poche de retassure, se produit également dans toute la région voisine de l'axe du lingot, tout en diminuant à mesure que l'on approche du pied du lingot.

Moyen de remédier :

La coulée continue entraîne la suppression de la ségrégation majeure.

2.10.3. liquation :

La liquation se traduit par un manque d'homogénéité dans un même lingot, c'est-à-dire que toutes les parties d'un lingot n'ont pas la même composition chimique. La partie qui solidifie la dernière (le centre) contient plus de carbone, de silicium et de phosphore que la périphérie

Moyen de remédier:

La coulée continue.

2.10. 4. Soufflures:

Ce sont des poches dont les parois oxydées ne se ressoudent pas à chaud. Elles sont dues à la présence de gaz occlus dans le bain métallique persistant dans le lingot après la coulée et qui n'ont pu s'échapper au cours du refroidissement trop rapide.

Moyen de remédier:

Pour réduire les soufflures au minimum, on introduit dans la poche de coulée de l'aluminium 1/1000 en poids de l'acier) ou du silicium, le dégagement gazeux cesse, **on dit que l'acier est calmé**.

2. 10. 5. Criques:

Les criques sont des déchirures de la peau du lingot, elles sont causées par le retrait.

Moyen de remédier:

On les supprime par un écroûtage.

2.10. 6. Tapures:

Déchirures internes causées par le retrait.

Moyens de remédier:

En ralentissant le refroidissement de l'acier par une augmentation de l'épaisseur de parois de la lingotière.

En coulant à une température moins élevée.

2 10.7. Flocons

Ils se traduisent par de faibles cavités produites par la présence de l'hydrogène dans la partie ségrégée du lingot.ils sont surtout fréquents dans les aciers à teneur élevée en constituants spéciaux (Ni, Cr, Mo).

Moyens de remédier

lls peuvent être éliminés par un refroidissement lent.

2 10.8.Gouttes froides:

Elles prennent naissance lorsqu'on coule directement le métal dans les lingotières. Des gouttelettes de métal jaillissent sur les parois de la lingotière, se solidifient et viennent se coller sur la peau du lingot.

Moyens de remédier:

Lorsqu'on coule en chute, il faut régulariser le débit de l'acier, ce qui réduit la violence de l'impact du jet de coulée.

2 11. Ferro-alliages

Composition: les ferro-alliages sont formés de fer, de carbone et d'un élément essentiel: Si, Mn, W ou Mo, etc...., qui domine avec des teneurs pouvant atteindre 70 à 90% .

Utilisation:

les ferro-alliages sont presque exclusivement utilisée comme addition finales dans la fabrication de l'acier, soit pour désoxyde et ajuster le bain, ferromanganèse, Ferro- silicium, soit pour introduire les éléments dans l'acier alliè, Cr, W, Mo, etc.

Fabrication:

Les Ferro-siliciums

Dont la teneur en Si est inférieure à 15 % et **les ferromanganèses** titrant mois de 25%de Mn, appelés Spiegels, sont fabriqués dans le haut fourneau. Pour la grande majorité, le four électrique type Héroult sans voûte, ce qui facilite le chargement.

Principaux Ferro- alliage:

1.Ferro- manganèse:

25 à 85% de Mn

0,05 à 6,5% de C

Un excès de silice dans la charge donne:

Silico-spiegel

10 A 12% de Si

18 & 22% de Mn

Silco- manganèse

20 a 30% de Si

50 à 70% de Mn

2Ferro-silicium

10 à 99% de Si

3 Ferro-chrome

70 %de Cr

0,03 à12% de C

4.Ferro- tungstène

80%de W

5.Ferro molybdène

60%de Mo

6.Ferro-vanadium

35 & 85%de V

7.Ferro-titane

30 à 50% de Ti

8 à 12%de C

8.mangano- silico- aluminium

18 à 22% de Si

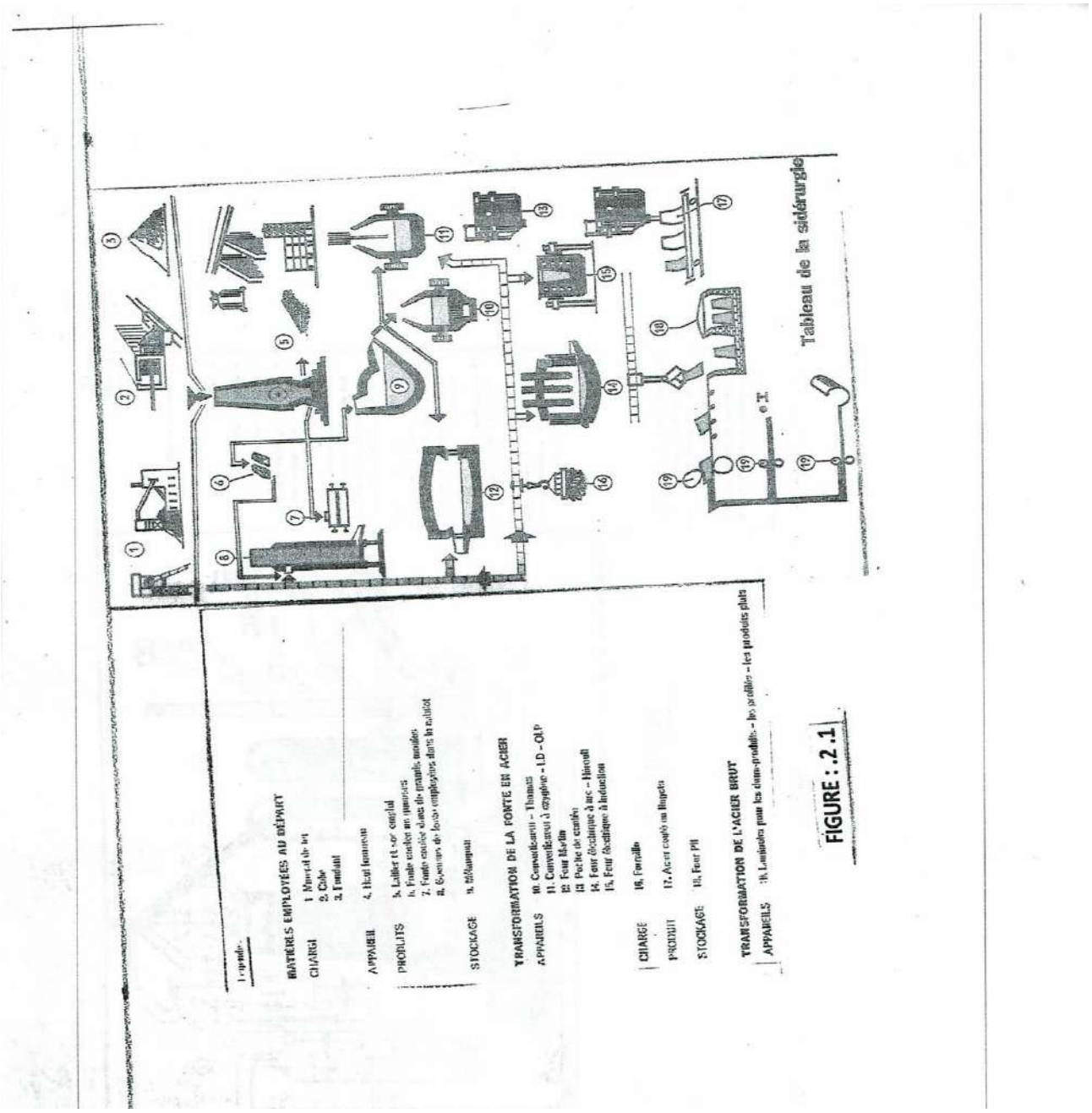
18 à 22% de Mn

9 à 12 % Al

9.Silico-aluminium

30 à 75% Si

10 à 50 % Al



Le haut fourneau et ses installations annexes

FIGURE : .2.2

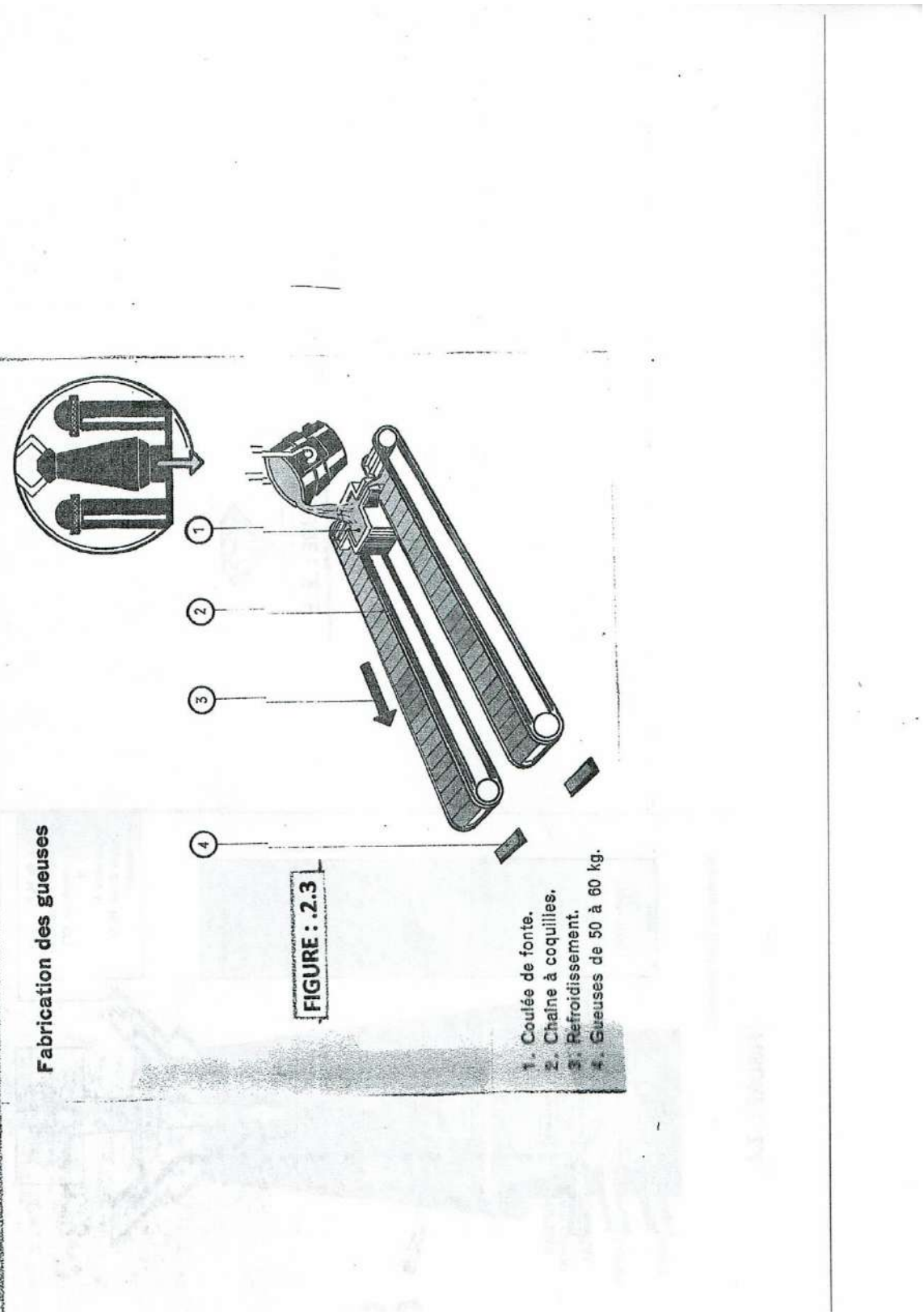

Fabrication des gueuses
1
2
3
4
1. Coulée de fonte.
2. Chaîne à coquilles.
3. Refroidissement.
4. Gueuses de 50 à 60 kg.

FIGURE : .2.3

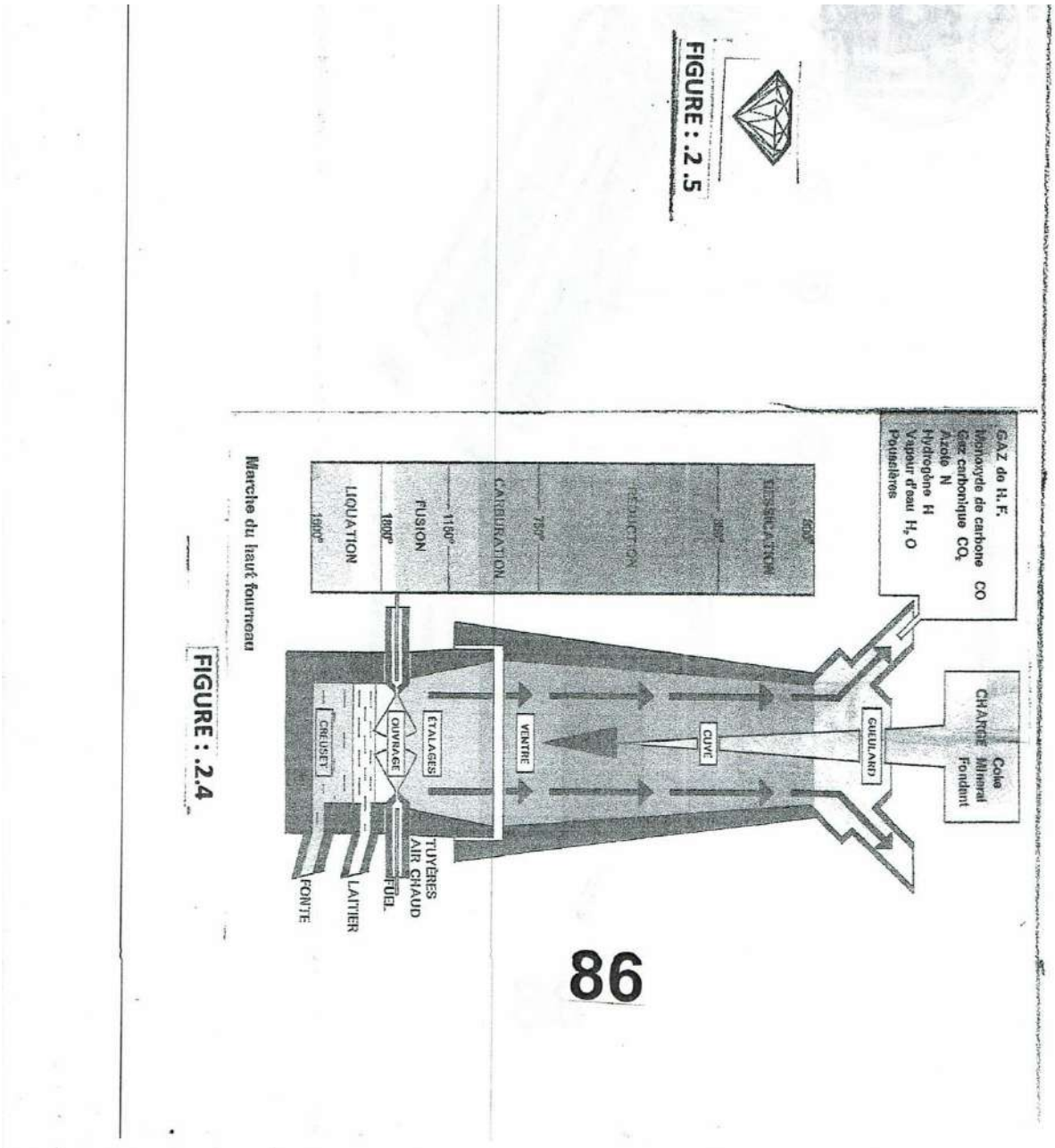


FIGURE : .2 .5

FIGURE : .2.4

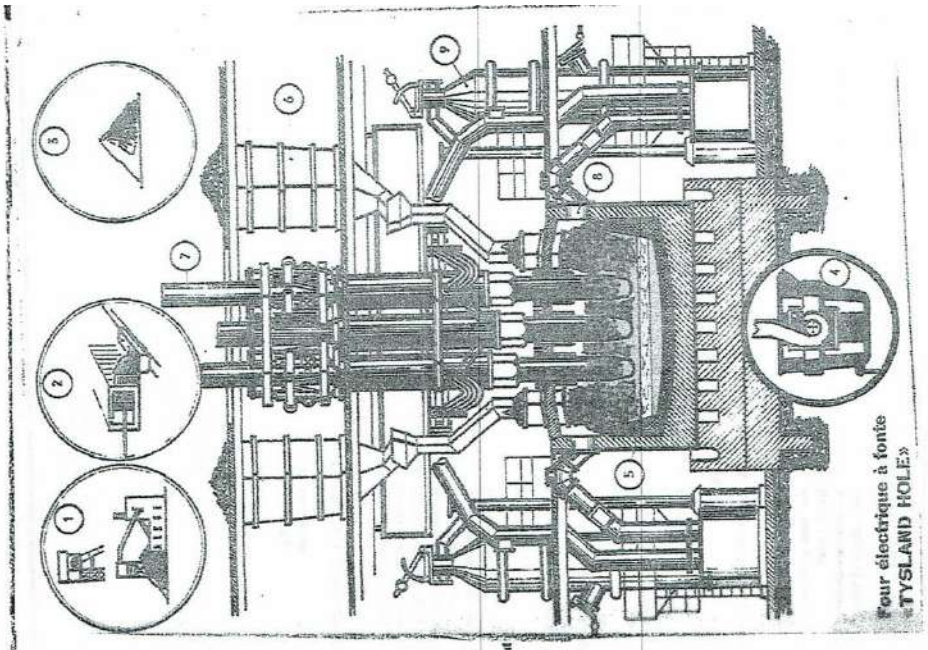

Légende
CHARGE
1. Minerais
2. Coke
3. Fondant
PRODUIT
4. Fonte
DÉTAILS
5. Sole
6. Virole de chargement
7. Electrode Söderberg
8. Récupération des gaz
9. Tour de forage
Four électrique à fonte
«TYSLAND HOLE»

FIGURE : .2.6

FIGURE : .2.7

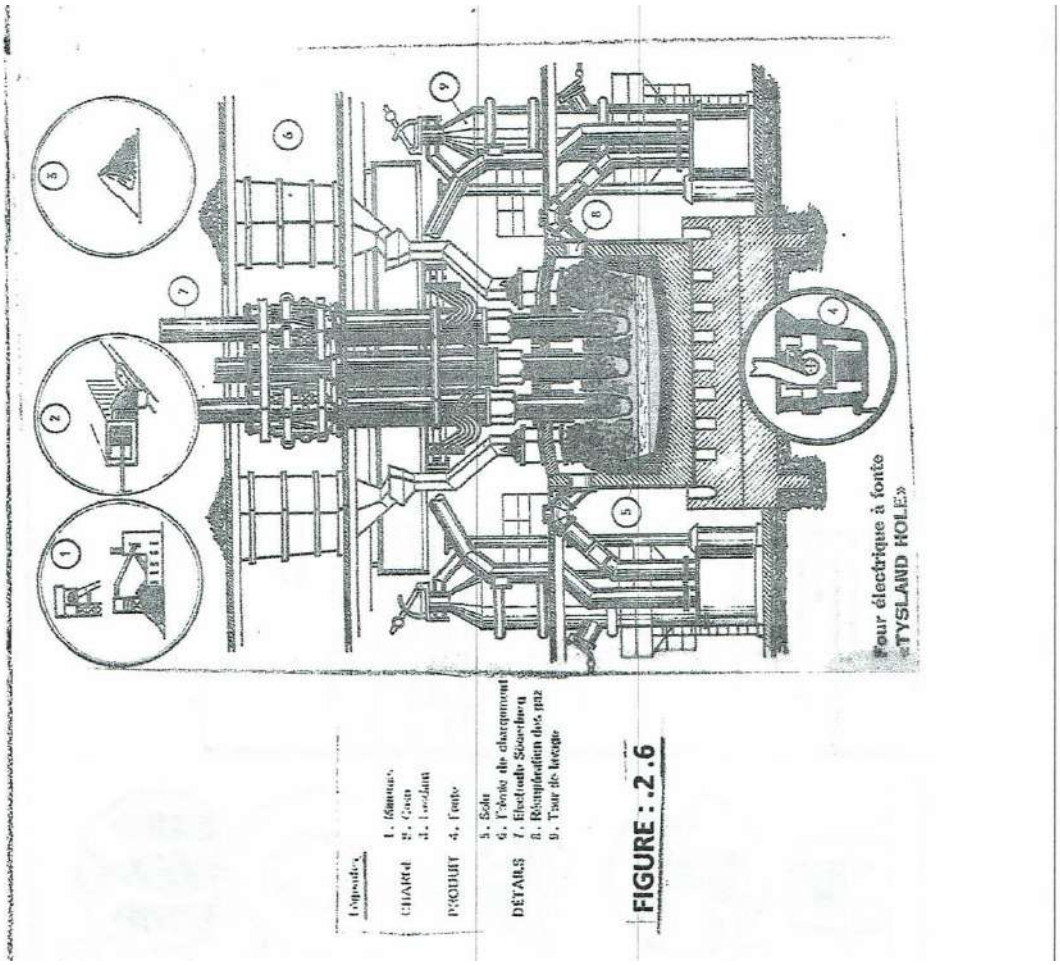

Légende
CHARGE
PRODUIT
DÉTAILS
Four électrique à fonte
«TYSLAND HOLE»

FIGURE : .2.6

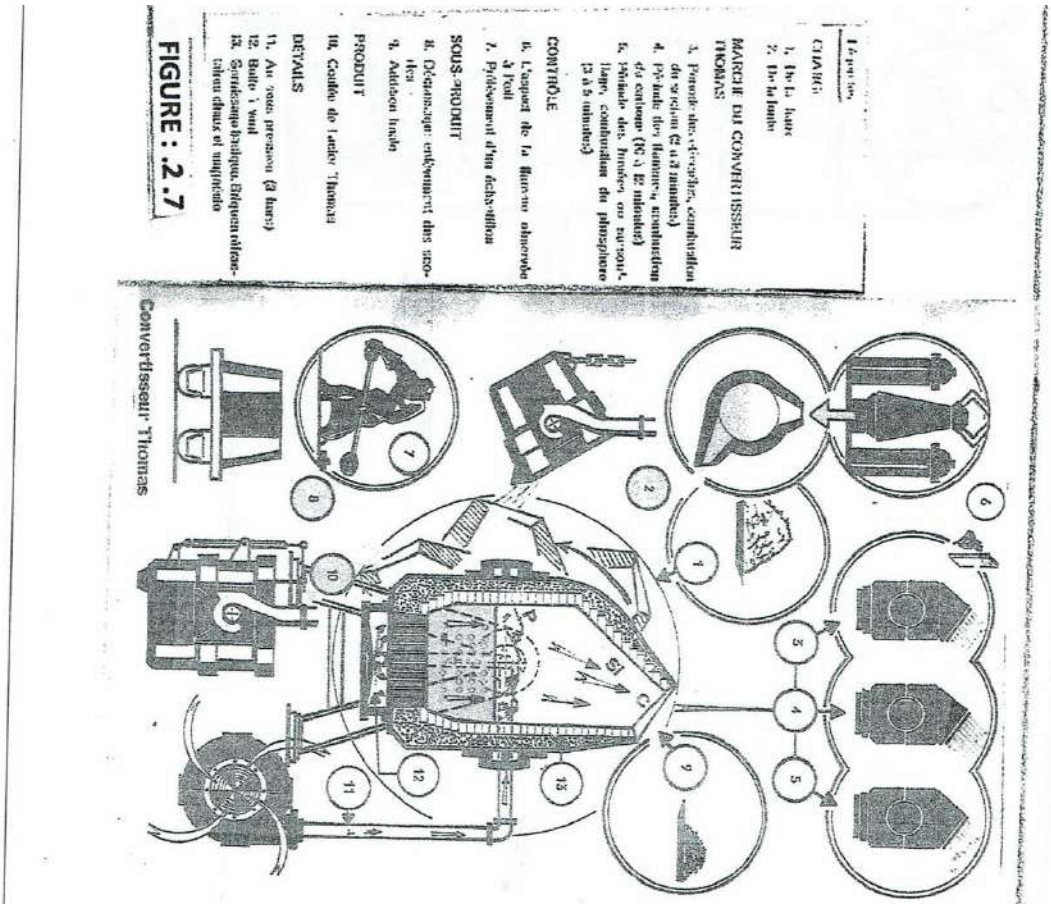

CHARGE
1. De la fonte
2. De la ferraille
MARCHE DU CONVERTISSEUR THOMAS
3. Période des réactions (combustion du silicium (2 à 3 minutes)
4. Période des flammes, accélération de combustion (10 à 12 minutes)
5. Période des fumées, arrêt soufflage, combustion du phosphore (3 à 5 minutes)
CONTRÔLE
6. L'aspect de la flamme observée à l'œil
7. Prélèvement d'un échantillon
SOUS-PRODUIT
8. Déchargement des scories
9. Addition laitier
PRODUIT
10. Coulée de l'acier Thomas
DÉTAILS
11. Air sous pression (3 bars)
12. Boîte à vent
13. Soufflage latéral. Réglement réfractaires usés et uniformité
Convertisseur Thomas

FIGURE : .2 .7

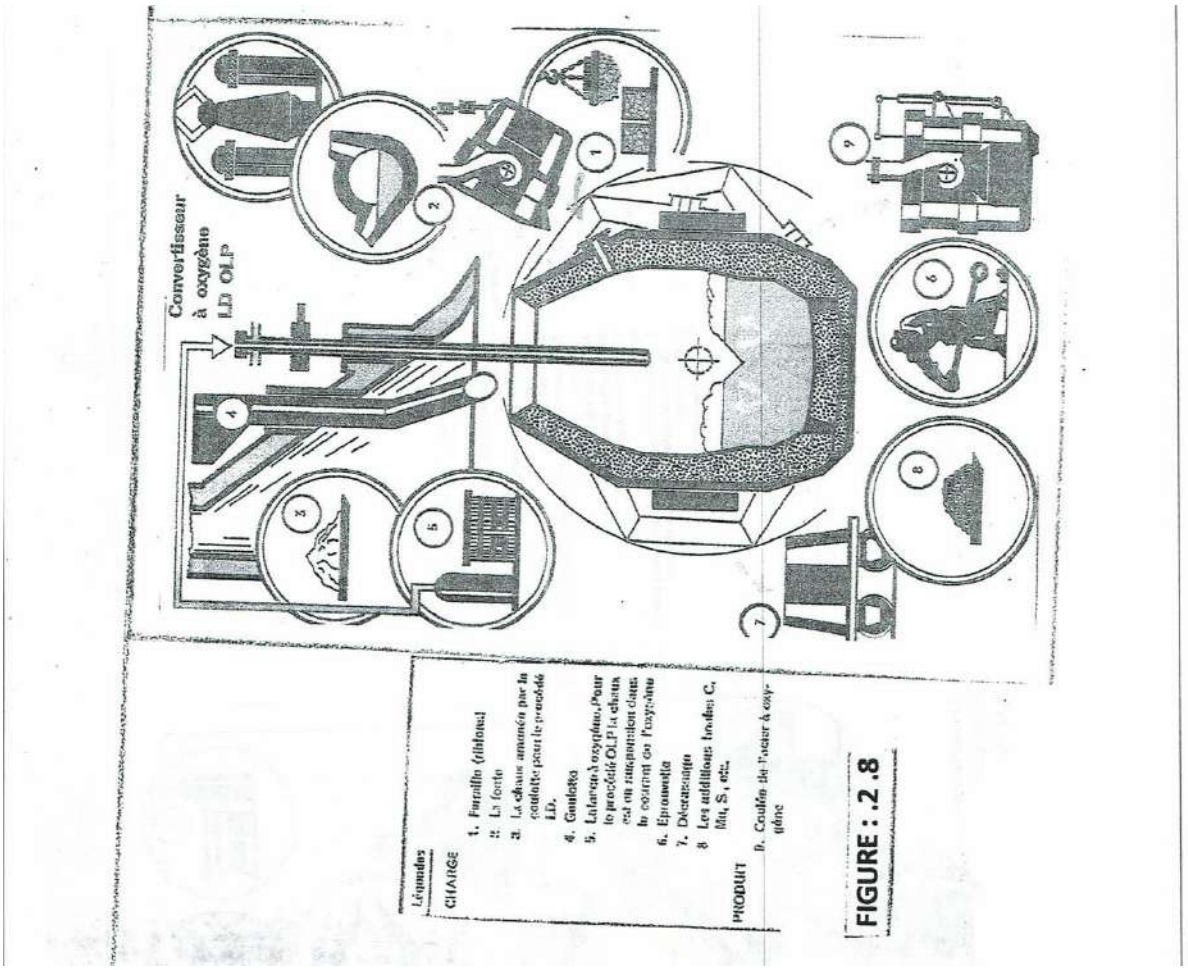

Convertisseur
à oxygène
LD OLP
Légendes
CHARGE
1. Panier (chaux)
2. La fonte
3. La chaux amenée par la goulotte pour le procédé LD.
4. Goulotte
5. Lance à oxygène. Pour le procédé OLP la chaux est en suspension dans le courant de l'oxygène
6. Epaisseur
7. Décrassage
8. Les additifs (oxides C, Mn, S, etc.
PRODUIT
9. Coulée de l'acier à oxygène

FIGURE : .2 .8

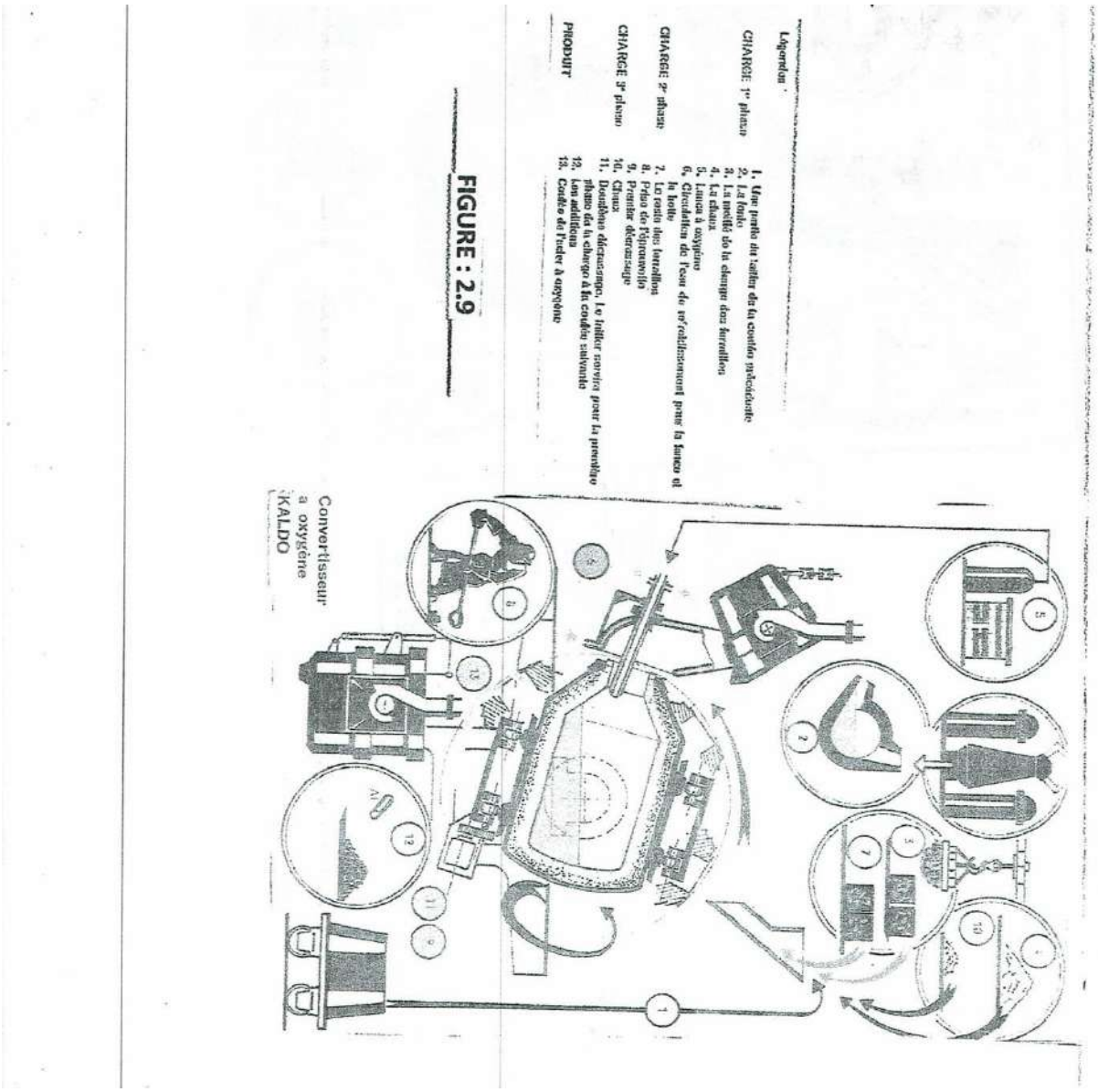

Légende :
1. Une partie du taillis du convertisseur
2. La fonte
3. La moitié de la charge des ferrailles
4. La chaux
5. Lance à oxygène
6. Circulation de l'eau de refroidissement dans la lance et la hotte
7. La ronde des lingotières
8. Pelle de l'épurateur
9. Poutre de déscrasage
10. Chaux
11. Deuxième déscrasage, le taillis servira pour la première phase de la charge à la coulée suivante
12. Les additifs
13. Coulée du fonte à oxygène
CHARGE 1re phase
CHARGE 2e phase
CHARGE 3e phase
PRODUIT
Convertisseur à oxygène KALDO

FIGURE : 2.9

Même installation à l'opposé
Four Martin
Légendes :
CHARGE
1. Les paquets de ferraille
2. La fonte
3. La fonte
ADDITIONS
4. Minerais
Ferro-alliages
DÉTAILS
5. Un des deux brûleurs fonctionnant alternativement
Gaz, oxygène, fuel-oil
6. Vent chauffé par les récupérateurs fonctionnant alternativement
CONTRÔLE
6. Prise d'éprouvette
PRODUIT
7. Les scories
8. Acier fondu

FIGURE : .2.10

FIGURE : 2 .11

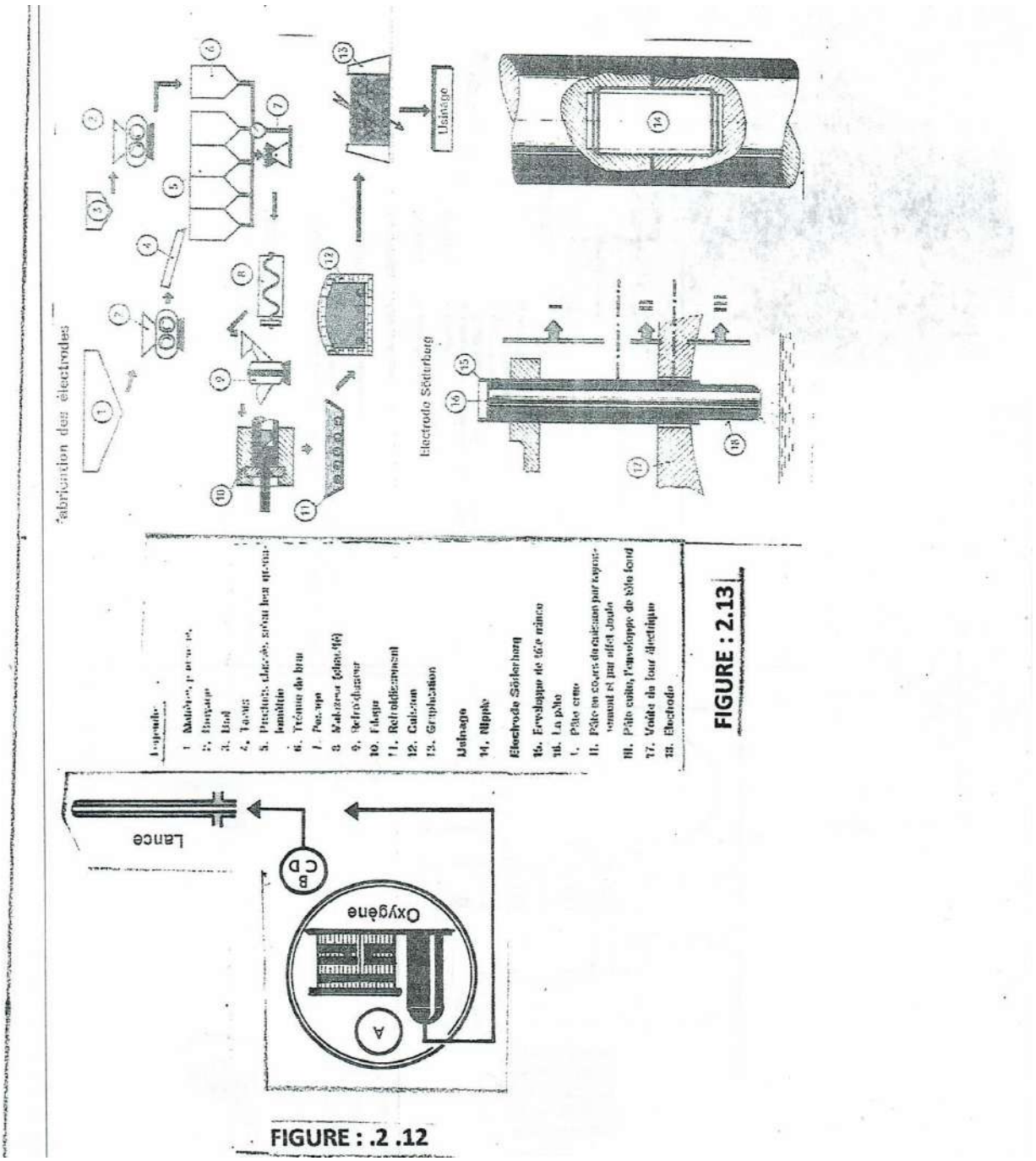


FIGURE : .2 .12

FIGURE : 2.13

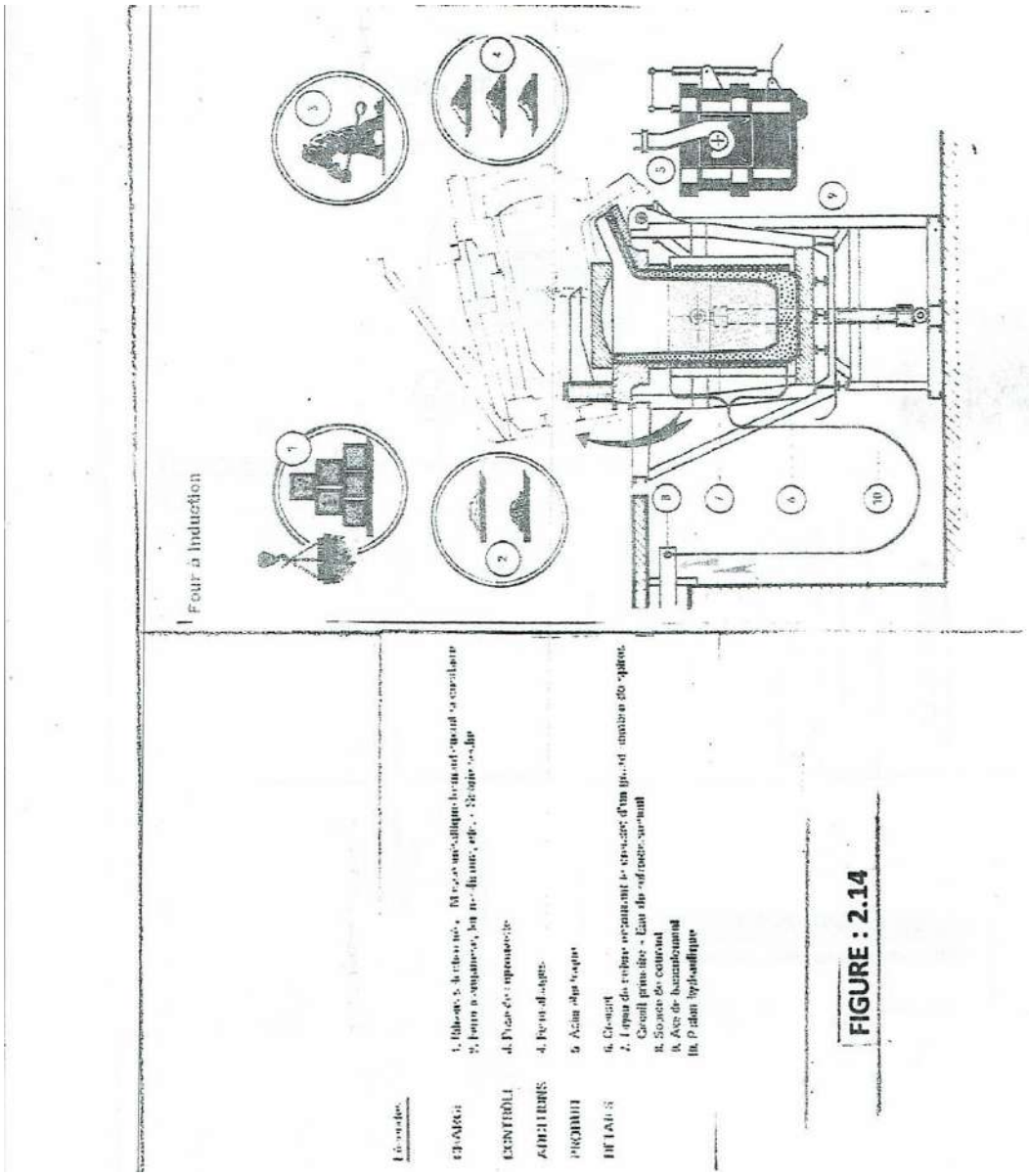


FIGURE : 2.14

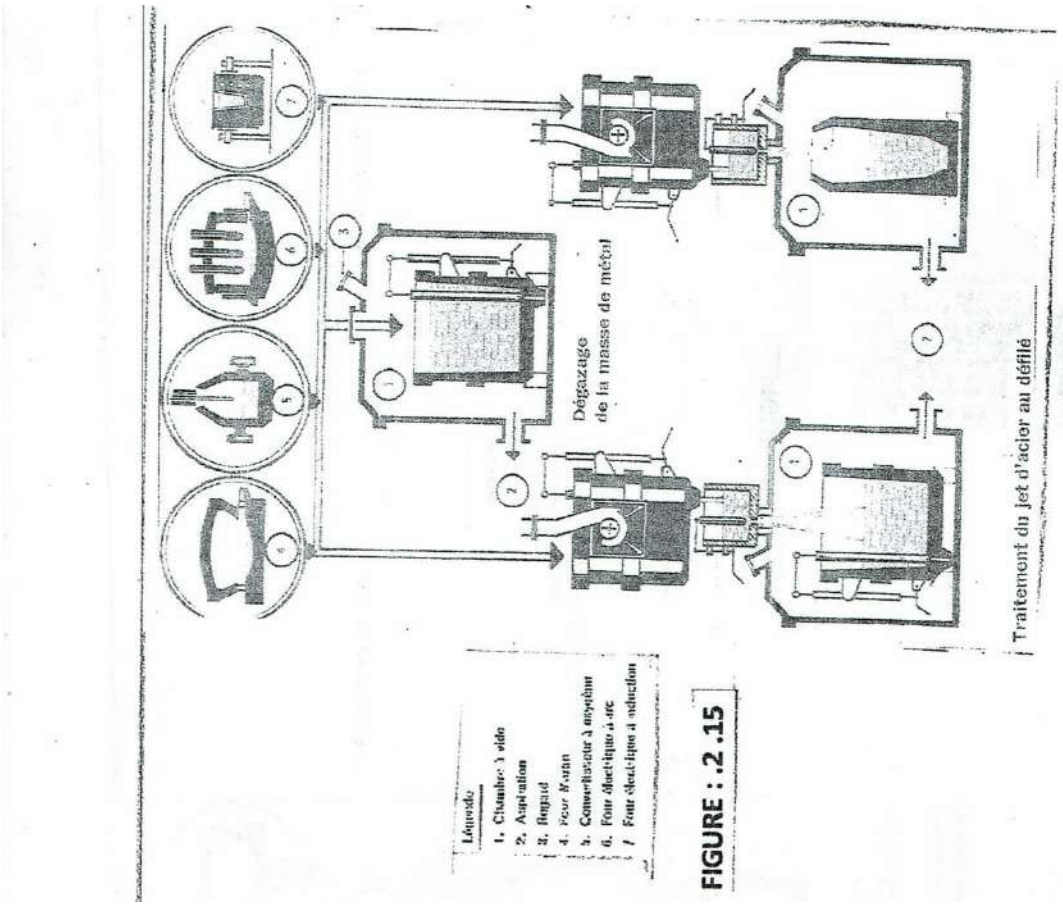

Dégazage
de la masse de métal
Traitement du jet d'acier au défilé

FIGURE : .2 .15

FIGURE : .2 .16

Traitement du prélèvement de métal contenu dans une poche

Thermoflow et F. J. Stockes (USA)

Ruhrstahl – Heraeus (Europe)

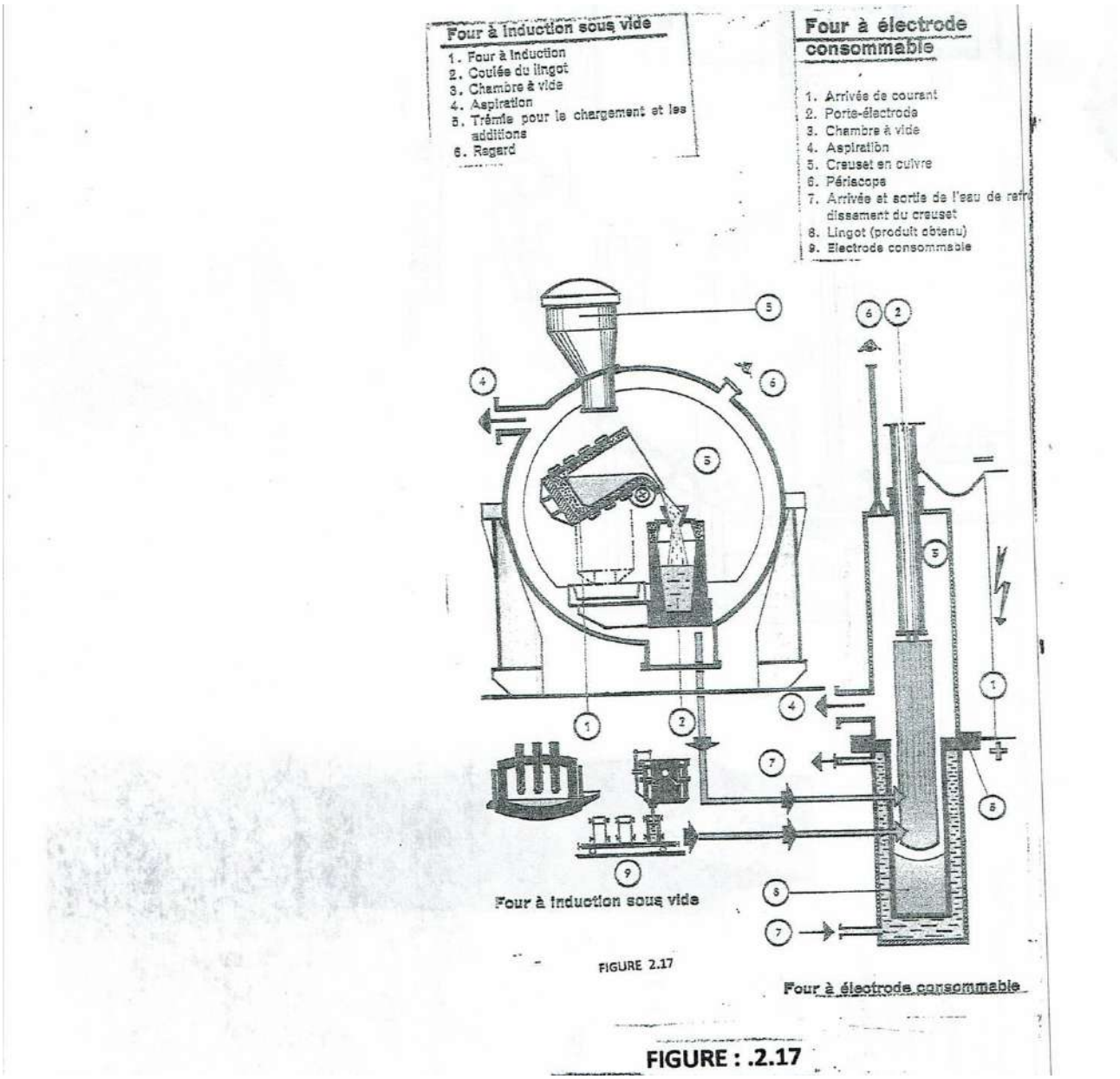


FIGURE 2.17

FIGURE : .2.17

FIGURE : 2.18

Défauts des lingots d'acier
(fig. 1-19)
1. Retassure
2. Piqures
3. Ségrégation
4. Soufflures
5. Ségrégation en V
6. Partie chutée

Coupe d'un lingot

FIGURE : 2.19

CHAPITRE 3
ESSAIS DES MATERIAUX

3.0 de dos principaux essais :

Généralités :

Les matériaux employés dans les constructions :

1. - Constructions civiles : ponts , bâtiments , routes , etc
2. - Constructions mécaniques : meuleuses , tours , friseuses , cto .
3. . Constructions d ' engins avions , , automobiles to . . . doive triste des force dites de sollicitations qui tendent les déformer , les user ou même les bras L ' étude de leurs propriétés mécaniques appelées caractéristiques donne un intérêt Capital

   But de la résistance des matériaux :
4. - faire le choix des matériaux employés dans une construction donnée !
5. - déterminer les formes et les dimensions des pièces pour obtenir des construction solides et économiques , c ' est - - dire , le poids de matière le plus faible avec la plus grande résistance possible
6. - les traitements thermiques ou autres
7. - mesurer ou évaluer les déformations subies par ces pièces.
8. - calculer la grandeur et le sens des sollicitations exercées pièce, sollicitations qui sont habituellement évaluées Système SI [N / mm)

3 . 1 Essais de traction : essai statique. (FIGURE : 3, 0)

Définition

Une éprouvette de la matière à contrôler , de forme et de dimensions déterminées , est soumis à l ' aide d ' une machine spéciale à un effort de traction pur , suivant l ' axe géométrique de l ' éprouvette , augmentant lentement jusqu'à la rupture . Pour éviter toute action dynamique , l ' augmentation de la sollicitation ne doit pas excéder 10N / mm de section par seconde . La température reste pratiquement invariable au cours d ' un même essai . Des appareils adapter la machine permettent de mesurer à chaque instant l ' effort de tracions , c ' est - dire la charge l ' allongement correspondant de l ' éprouvette .

3.1 .1 détails des éprouvettes :

Il est à noter les résultats des essais dépendent non seulement de la sensibilité des s eis utilisés , mais encore des précautions prise au cours du prélèvement et de l ' usinage des Eprouvettes . Ces dernières devront toujours être terminées par une passe de finition de s enlever toutes les amorces de rupture

que constituent toujours les traits d ' outils , cette phase de finition comprendra un polissage à la toile abrasive a grains fins ou une rectifications meule . Pour l ' usinage , ébauche ou finition , l ' emploi d ' un bon arrosage est indique

3. 1. 2 Diagramme de lésai de traction (FIGUREA 3. 6)

Les machines de traction donnent l ' enregistrement graphique de l ' allongement de l ' un **(A [%] ou [mm])** en fonction de la charge **F[N]**

Selon la section de l ' éprouvette, il est possible de déterminer la tension R(appelle charge unitaire ou contrainte) , quotient de la charge **F[N]** par la section So[mm^2] . **1er periodr . Domaine élastique :**

Selon la loi de Hooke, les allongements sont proportionnels aux charges unitaires; si l'effort de traction devient 2 ou3 fois plus grand, I ‘allongement devient également 2.respectivement 3 fois plus grand**, (FIGURE; 3.1)**

Domaine élastiaue:

la déformation subie sous l'effort de traction ne persiste pas après enlèvement de cet effort; l'éprouvette repend sa longueur primitive, d'où persistance de ls cohésion moléculaire. mais le dérangement cristallin pour certains matériaux n'est pas instantané, il doit se produire à ce moment un certain trouble, d'où difficulté de définir exactement la limite d'écoulement.

On considèrerai à sa place la charge unitaire pour laquelle l'allongement permanent est de 0.2%de Lo (FIGURE; 3.2)

2periode. Domaine des déformations permanentes

Domaine plastioue:

l'éprouvette reste allongée après suppression de l'effort, autrement dit sa déformation est permanente.

C'est la période des grands allongements qui croissent plus vite que les charges, d'ou diminution de la section. La charge maximum F, en [N], est la plys grande charge supportée par l'éprouvette au cours de l'essai.

3 ' période striction et rupture :

Apparition du phénomène de striction ou diminution localisée de section **(FIGURE:3.3)**

La striction est accompagnée d ' une diminution de la charge agissant sur l ' éprouve rupture de l ' éprouvette .

Un matériau cassant ne peut être déformé , un tel matériau se casse en pratique avant que es produise aucune striction .

Exemple : acier trempé , fonte , etc **. (FIGURE : 3 . 4)** .

Exemple : cuivre , grande allongement . **(FIGURE ; 3 . 5)**

L'allongement spécifique après rupture A :

Exprimé en pour-cent est l'allongement permanent de l'éprouvette rompue (Lu-LO) divisé par la longueur initiale entre repère Lo. il est déterminé par **la formule** :

A [%] = (Lu - LO / LO) * 100

Tensions:

La tension, ou charge unitaire, exprimée en **N/mm^2** est le quotient de la charge par la section initiale **S0** de l'éprouvette ct cela à chaque instant de l'essai. Remarquons que la charge signifie rien sans la surface de la matière **(S0)**.La tension est une grandeur très représentative puisque l'on peut s'imaginer le nombre de N "attachés" à chaque millimètre carré de matière sollicité en traction. A Chaque charge correspond donc une tension dans le diagramme de la **figure 2-6**.la plus importante est la tension correspondant à la charge maximum F: elle est désignée par le terme de résistance à la traction **Rm [N/mm)-Fm/S0**

3.1.3 Facteur de sécurité n :

La matière ne peut raisonnablement être utilisée en dehors du domaine élastique (**1pèriode de la figure 2-6**).or, la matière est caractérisée très souvent par sa résistance à la traction **Rm** En introduisant la notion de facteur de sécurité n.il apparait alors une tension **Radm Rm/** Cela signifie que **Radm** est inférieur à la limite d'écoulement, donc dans le domaine élastique (voir exemple pour n-3)(**FIGURE :3.6**)

Remarque

Plus n est grande, plus la sécurité de la construction augmente, tout en se souvenant que le poids de matière augmente également

Exemple de calcuLA la traction (EGURE 3.7) :

Calculer le diamètre (d) du barreau, AC 45-2, sollicité en traction par une charge (F) de 18000N avec une sécurité (n) de 5.

Salution

la dénomination **Ac 45 signifie que son Rm-450 IN/mm]**

Par définition, nous pourrons poser:

Radm-Rm/450/5-9o[**N/mm^2**].

Section (s)**-FRadm-18000/90-200mm**

d-15,95mm

Réponse

d-16mm, arrondi suivant le stock des barres d'acier disponibles

3.2. Essais de dureté

Généralités

La dureté, de symbole H, d'un métal peut être définie par la résistance qu'il offre à la pénétration sous pression (statique) ou avec choc (dynamique) d'un autre corps de matière plus dur que le métal à essayer.

On préfère dans la majorité des cas utiliser des procèdes permettant la mesure sans choc, soit d'un diamètre d'empreinte du pénétrateur:

3.2.1. Dureté BRINELL

3.2.2. Dureté VICKERS

Soit d'une profondeur de pénétration

3.2.3. Dureté ROCKWELL bille

Dureté ROCKWELL cône

Ces essais, pour la plupart non destructifs, trouvent leurs applications dans les cas suivants

1. Dureté des métaux à usiner:

Brinell, Rockwell bille

2. Efficacité d'un traitement thermique:

Rockwell, Vickers

3. Dureté d'un traitement de surface, cémentation, nitrurstion, recouvrement: **Vickers**

Remarque :

La préparation de la surface qui recevra le préparation doit être l'objet de grands soins. Elle doit être polie, en évitant tout échauffement et tout écrouissage superficiels

3.2.1.Essai Brinell

Symbol HB

Le pénétrateur est une bille en acier trempé

Principe

Amener la bille en contact avec la surface a essayer(**figure :3.8**)..Charger la bille, **progressivement et sans choc**, d'un poids correspondant au diamètre de ls bille, de manitre atteindre la charge maximum en 15 secondes. Maintenir cette charge pendant 15 secondes pour les aciers, et 30 secondes pour les métaux bille, au centième de millimètre près, au moyen d'un microscope à oculaire micrométrique. **La dureté HB est exprimée par le rapport de la charge appliquée sur la bille, par la surface non ferreux. Mesurer l'empreinte laissée par la de l'empreinte dans la matière**.

Remarque:

Il est recommandé de ne soumettre à l'essai BRINELL que des matières dont la dureté est inférieure à 4000 N/mm2 ou la résistance à la traction d'environ 1400 N/mm **(tableau 3-10)** Choisir la charge de façon que l'empreinte laissée par la bille soit de : d-0,3D& 0,6D.L distance des centres de deux empreintes voisines doit être égale à 3d au moins et 2d du bord de la pièce (**figure: 3.11**)

On ne doit en aucun cas constater une déformation à l'envers de la face portant 'empreinte Pour les essais, on prend la moyenne des résultats donnés par au moins deux, généralement trois empreintes voisines

3.2.1.1.Relation entre la dureté HB et l'essai de traction

La relation entre la dureté HB et l'essai de traction, seulement pour les aciers au carbone ou les aciers faiblement alliés, est sensiblement égale au tiers de la dureté BRINELL **Cette relation ne signifie pas que l'essai BRINELL remplace P'essai de traction**.

3.2.1.2. Procès-verbal d'essai

Le symbole HB désigne l'essai normale :bille de 10 mm de diamètre chargée à 30000 N pendant 15 secondes.

Le symbole HB suivi de chiffres rappelle les conditions de l'essai:

Exemple :HB 5 /750/15.

Bille de 5mm de diamètre chargée à 7500 N pendant 15 secondes

Important

Les valeurs numériques HB dans les tableaux des aciers sont exprimées aux 1/10 de la résistance à la pénétration [N/mm2].

Exemple:

Résultat obtenu 2010 [N/mm]-HB 201

3.2.2.Essai Vickers

Dureté Vickers

Symbole HV

Le pénétrateur est un diamant. taillé en forme de pyramide à base carrée dont l'angle des faces est de 136 D

Principe(figure :3.12)

La pyramide en diamant est amenée en contact avec la surface à essayer.

Charger cette pyramide graduellement, sans choc et sans vibrations, à la charge maximum fixe. En règle générale, maintenir cette charge pendant 15 secondes.

Mesurer l'empreinte laissée par la pyramide avec des appareils de haute précision munis de microscopes. Le tambour divisé et le vernier donnent la longueur de la diagonale au dix millième de millimètre.

La dureté HV est le rapport de la charge appliquée sur le pénétrateur & la surface de l'empreinte laissée par la pyramide.

Remarques:

Le contrôle de la dureté VICKERS est un des plus précis

- Il est utilisé pour les carbures métalliques ou l'efficacité d'un traitement thermique
- 1l convient pour le contrôle de pièce très petites et surtout de très faible épaisseur
- Les charges généralement utilisées sont :50 N, 100N, 300N, 500N

La dureté VICKERS est pratiquement indépendante de la charge exercée, les résultats obtenus avec des charges différentes sont comparables entre eux

Il faut éviter d'utiliser la méthode VICKERS peur déterminé la dureté de la fonte malléable et de la fonte grise riche en carbone ou en graphite.

3.2.2.1.Procès-verbal d'essai

Le symbole HV 30 exprime la dureté VCKERS mesurée sous une charge de 300 N exercée pendant 15 secondes. Le symbole HV 30/30 rappelle les conditions de l'essai : 300 N pendant 30 secondes.

Important

Les valeurs numériques H V dans les tableaux des aciers sont exprimées aux 1/10 de la résistance à la pénétration [N/mm2]

Exemple:

Résultat obtenu 4100 [N/mm^2]- HV 410.

3.2.2. Essai ROCKWELL

ROCKWELL BILLE SYmbole HRB

Le pénétrateur est une bille en acier trempé de diamètre 1 ,59 mm,exactement 1/16 de pouce anglais (figure 3,14)

DURETE ROCKWELL CONE Symbole HRC

Le pénétrateur est un cone de diamant dont l'angle au sommet est de120° J'extrémité est une calotte sphérique de rayon 0 ,2 mm (figure :3,15)

Remarque

La dureté ROCKWELL n'est pas indiquée pour les fontes malléables ou grises riches en carbone ou graphite

3.2 3.1, Procès-verbal d'essai

Le symbole HRB désigne l'essai ROCKWELL bille

Le symbole HRC désigne l'essai ROCKWELL cône

Principe (figure : 3,16)

Le pénétrateur est amené en contact avec la surface à essayer et enfoncé progressivement avec une charge initiale :F_o100 N .On amène le zéro du cadran en face de l'aiguille et le pénétrateur est soumis à une charge supplémentaire F:

F_1 Pour HRB =900 N

F_1 Pour HRC-1400 N

Lorsque l'aiguille, qui se déplace dans le sens inverse des aiguilles d'une montre, s'est arrêtée, on supprime la charge supplémentaire F_1 pour ne laisser que la charge initiale F_o En raison de la suppression des déformations élastiques de la matière, le pénétrateur remonte légèrement, l'aiguille du comparateur revient en arrière

3.2.3. Essai KNOOP

Le pénétrateur est un diamant taillé en forme de pyramide à base de losange et dont la grande diagonale est 7,11 fois plus grande que la petite diagonale.

L'angle correspondant à la grande diagonale est de 172° 30 tandis que l'angle formé par les deux autres arêtes est de 130°. (figure :3,17)

Principe :

Les charges sur le diamant sont en rapport avec la nature de l'essai .On mesure l'empreinte laissée par la grande diagonale au moyen d'un microscope spécial

Une table fournit le chiffre de dureté Knoop en fonction de la charge et de la longueur de la grande diagonale

Remarque

L'avantage de l'essai Knoop est de permettre l'essai de matériau très durs et en même temps fragiles. La dureté knoop est intéressante en horlogerie pour mesurer la dureté des pivots o des lames de ressorts dont les diamètres, respectivement les épaisseurs, sont de l'ordre de quelques centièmes de millimétré. On I 'utilise aussi pour déterminer la dureté des pierres employés en horlogerie.

3.2.5. Tableau de comparaison (figure: 3.18) :

Les chiffres de cette table ne sont que des valeurs de comparaison et ne sont donnés q indicatif

le facteur 0,34est employé pour l'acier trempé et revenu de moyenne résistance

le facteur 0,36 est employé pour l'acier au carbone recuit ou non traité, ainsi que pour & haute résistance après trempe, avec ou sans revenu

- HB ^{1}/10 de la résistance & la pénétration [N/mm^2]
- HB ^{1}/10 de la résistance & la pénétration [N/mm^2]

3.3 essai au choc

Essai dynamique

Centralités

On dit qu'un corps est fragile lorsqu'il se rompt sous l'action de chocs ou d'effort brusques. Un même corps peut être à la fois très dur et très fragile

Exemple : le diamant, le verre, l'acier trempé, la fonte, etc....

Définition (**FIGURE: 3.19**)

L'essai au choc consiste **à rompre en un seul coup**, à laide d'une machine spécial dite « mouton-pendule », une éprouvette de dimension déterminée, préalablement entaillée en son milieu, et à mesurer l'énergie absorbée par ce travail de rupture.

Résilience=l'aptitude que possède un métal à résister au choc que l'on désigne par la lettre **K.Grande résilience signifie matériau tenace.**

3.3.1. Eprouvette

L'éprouvette est préparée suivant les indications de (FIGURE 3 20) on ne toléreras en aucun cas des stries parallèles à l'axe du trou au fond de l'entaille

3.3.2.Machine (**FIGURE:3.19**)

La machine d'essai (mouton) doit être de construction rigide et reposer sur un socle solide. L vitesse du mouton au moment de l'impact doit être de 5..7 m/s

Le plan d'oscillation du pendule doit passer le plus exactement possible par le centre de gravité du bâti de la machine (A)

3.3.3. essai

On soulève le pendule jusqu'a la position d'arrêt 1, puis on l'abandonne: le couteau viendra frapper l'éprouvette sur la face opposée à l'entaille et la brisera. La résistance de 1'éprouvette absorbe une partie de l'énergie nécessitée par sa rupture, de sorte que le pendule ne remontera qu'en position 2.d'où perte de hauteur Ah h-h

K= travail de rupture (J) section de l'éprouvette So **[cm^2]**

K[J/cm^2]-F.Δh / So

Remarques

Les résultats ne sont comparables que pour des éprouvettes de même modèle

3.4. Essal de pliage (FIGURE:3.21)

Généralité

L'essai de pliage a pour but de déterminer les ténacités de la matière au pliage

Principe

On place l'éprouvette sur deux rouleaux d'applui parallèles, on la fléchit en appliquant &m distance des rouleaux un mandrin demi- cylindrique

a) Pliage jusqu'à un angle donné, 90 ou 180

b) Pliage autour d'un mandrin de diamètre égal à l'épaisseur de l'éprouvette

c) Pliage à bloc; l'achèvement du pliage se fait en agissant sur les extrémités de l bande.

d) Pliage sur cale ; le pliage s'achève sur cale placée entre les faces

Remarque

Le pliage doit être exécuté lentement et sans interruption

3.4.1 Eprouvette

L'éprouvette est généralement de section rectangulaire avec arêtes arrondies .

Epaisseur: 20 mm pour les produits semi-facturés et les pièces de forge

Pour les tôles, elle est égale à celle de la tôle à essayer.

Pour les tôles dépassant 30 mm, la mise d'épaisseur est faite par usinage de l'une de ses

3.4.2. procès- verbal

L'échantillon correspond si aucune fissure n'apparaît dans la zone de traction

A l'apparition des criques, on mesure dans l'axe de l'éprouvette, au moyen d'un gabarit tôle, le plus petit rayon de courbure extérieur que l'on diminue de la moitié de l'épaisseur de l'éprouvette pour obtenir le rayon r. le coefficient de pliage de Tetmajer **Bg** est donné par

La formule

$$Bg_{(\%)}=(a/2r)*100$$

3.5. Essai d'emboutissage

Généralité

L'essai consiste à se rapprocher des conditions pratiques d'emboutissage. La tôle est la fois refoulée et étirée, elle subit donc un effort différent de l'essai de traction

Principe

L'essai consiste à appliquer, au centre d'une éprouvette, un poinçon oo une bille de e 20 qu'un effort mécanique ou hydraulique presse progressivement jusqu'a 1'apparition des premières fissures

3.5.1. essai Erichsen (FIGURE:3,22)

L'éprouvée est de forme carrée 70*70 mm avec comme épaisseur maximale 2 mm **IMPORTANT** : l'éprouvette est laissée libre entre les mâchoires

3.5.2 essai Persoz (FIGURE : 3.23)

L'éprouvette &un diamètre de 90 mm, avec comme épaisseur maximale 2 mm

IMPORTANT: l'éprouvette est serrée entre les mâchoires

3.5.3 procès-verbal

On détermine la force F maximale, ainsi que la profondeur maximale atteinte lors d déchirement de la pièce d'essai

3.5.4 Emploi

L'essai permet de comparer les propriétés d'étirage (en profondeur) des tôles et bandes métalliques. Contrôle de la qualité du recuit des tôles: non recuites ou mal reculâtes, flèche plus petite que la normale

3.6. essai de fatigue

Généralités

Les essais de traction, de choc et de dureté ne permettent pas de qualifier les métaux en vue de toutes l'ours applications

Les recherches poursuivies sur la fatigue ont montre l'insuffisance de ces essais.

Le pièces soumises à des efforts variables et répètes se rompent au bout d'un certain temps ,sans que jamais la contrainte n'ait dépassé la tension de rupture (Rm) et même la charge limite d'écoulement (Re)

Il est donc indispensable de faire sur les métaux des essais dans des conditions aussi voisines que possible de leur utilisation

Ce sont les essais de flexion par rotation qui ont permis de réunir la plus grande partie de la documentation sur la fatigue

3.6.1..Essai de fatigue par flexion rotative (FIGURE :3.24)

Principe

On soumet une rotation autour de son axe e éprouvette, de type donné, dont l'extrémité de façon rigide dans l'arbre do moteur (M) et à l'extrémité de partie libre est suspendu un poids.

Pendant la rotation, les fibres de l'éprouvette sont alternativement tendues et comprimées.

Important

L'éprouvette est meulée pour ne pas avoir d'amorces de cassure dues su tournage

Exemple: la fibre « A » est tendue et la fibre « B » comprimée, pour un demi-tour la fibre « A » devient comprimée et la fibre «B » tendue. Le taux de travail est maximum pour les fibre de périphérique.

Limite de fatigue

Si l'éprouvette n'est pas rompue au bout d'un nombre d'alternances conventionnelles :10-20- 30 ou 100 millions suivant le métal & essayer, la charge appliquée est inferieure ou égale à la limite de fatigue.

Alternance

Deux variations de l'effort F(tendu et comprime). (FIGURE3.24)

3.62. Courbe Wöhler (FIGURE :3.24)

On essais une série d'éprouvettes du même métal avec des charges décroisses (F1-F2 F3,etc....) et l'on note pour chacune d'elles les nombres croissants correspondant d'alternances ou la rupture a lieu ou n'a pas lieu. Chaque éprouvette est soumise a une seule charge pendant toute la durée de l'essai.

3.6.3 Résultats obtenus :

Influence de l'état de surface

Les rayures d'outil constituent des amorces de cassure, elles diminuent dans des proportions assez grandes la limite de fatigue.

Changements brusques de section

Les trous, les entailles ont une influence sur la tenue des pièces soumises aux efforts variables.

Certains traitements thermiques

Incorrectement exécutés, diminuent également la limite de fatigue

Influence de la forme des pièces

(X.Y.Z)(FIGURE :3.24)

3.7. Essai de fluage

Généralités

La connaissance des propriétés mécaniques à haute température est d'une grande importance (tableau. 3.25) .Un métal ou un alliage soumis à un effort statique continu d'une certaine valeur, se déforme et même se rompt, en fonction du temps à partir d'une certaine température.

Pour la construction de turbines à gaz, turboréacteurs, des soupapes de moteurs à explosions subissant une charge mécanique pendant de longues périodes, à hautes températures, il faut tenir compte non de la limite d'élasticité mais de la résistance au fluage

Principe

On soumet plusieurs éprouvettes de traction à une charge et une température constantes perdant un temps de:

1 45 heures pour les essais de courte durée
2 10000 heures pour les essais de longue durée.

En variant les charges et en relevant l'allongement temps, on peut déterminer la résistance au fluage (FIGURE3.26)

3.7.1.procès-verbal

La résistance au fluage est la charge statique maximale que peut supporter indéfiniment une éprouvette sans qu'il y ait rupture. Toutefois, les valeurs ainsi déterminées sont si basses qu'elles ne peuvent utilement servir au calcul des dimensions des pièces en service. Pour cette raison, on tolère en général une contrainte des pièces plus élevée, mais parallèlement on décide de limiter la durée d'emploi des pièces

3.8.Essai de aux rayons X

Historique

En 1895, le physicien allemand röntgen découvrit, par hasard, des rayons capables de traverser la main et un écran fluorescent.

En raison du caractère mystérieux de ces rayons, il leur donna le nom de rayons X

En 1913, le chimiste américain W.D Coolidge, inventeur d'un tube cathodique à chaud, vient apporter une très grande amélioration.

Principe (FIGURE 3.27)

L'émission des rayons X est due au choc d'un faisceau d'électrons projetés & trts grande vitesse sur un obstacle matériel.

Le faisceau d'électrons est généralement obtenu dans un tube & émission thermoélectrique (A)

Ce tube est formé d'un ballon de verre portant deux tubulures diamétralement opposées s lesquelles sont soudées deux électrodes (cathode négative et anode positive). Il régna dans ce tube un vide aussi poussé que possible, afin de ne pas ralentir les électrons

La cathode: Chargée négativement, est constituée par un filament spiralé de tungstène porté A l'incandescence par un courant à basse tension (B).

A haute température, une évaporation électronique se produit, le métal émet des électrons et d'autant plus que la température est élevée.

L'anode: chargée positivement est une pièce en cuivre taillée obliquement par rapport l l'axe longitudinal du tube, dans laquelle est encastrée une pastille de tungstène (anticathode) ou d'un autre métal à point de fusion élevé.

Les électrons: ils entrent dans la composition de tous les atomes, ce sont des corpuscules chargés négativement auxquels on communique une grande accélération en établissant une forte tension de plusieurs milliers de volts entre les électrodes.

Les électrons sont aspirés par l'anticathode chargée positivement (C)

En frappant I 'anticathode, les électrons ou rayon cathodique émettent des rayons X, mais la presque totalité de l'énergie cinétique des électrons est transformé en chaleur.

Cette élévation de température est donc abaissée par une circulation d'eau ou d'huile Intérieur de l'anode (D).

3.8.1, Emplois

Contrôle de la bonne exécution des soudures. Pour les moulages, décèle les vanités (Soufflures, porosités, criques, retassures) et l'inclusion (scories, laitier).

3.9. Gammagraphie

Les rayons gamma produits par une désintégration de la matière, corps radio-actifs comme le radium, s'apparentent de façon très proche aux rayons X, mais ils ont une force de pénétration considérable

Les rayons gamma peuvent traverser une plaque de plomb de plus de 100 mm d'épaisseur .

Pour obtenir des rayons X aussi durs, donc aussi pénétrants, Il faudrait une tension de plus de un million de volts.

Principe

On utilise des éléments à radioactivité artificielle créée dans les piles atomiques par un bombardement de neutrons, tels que le radiocobalt 60 avec une durée de cinq ans et la radio tantale 182 de quatre mois de durée.

Les éléments créés artificiellement sont aussi efficaces que le radium difficile à obtenir et très onéreux.

3.9.1 Même emploi que les ravons X

. De grosses pièces de fonderie à parois très épaisses (200 mm et plus)

On peut mesurer l'épaisseur des parois de récipients métalliques pour voir I 'importance des ravages causés par l'oxydation.

Remarques

Ils n'exigent pas l'emploi d'installation compliquée, Une surveillance continue en cours d'essai n'est pas nécessaire et la méthode peut être utilisée en n'importe quel endroit des pièces.

Il faut observer les règles de protection contre les rayons gamma, dangereux pour le corps humain.

3.10. Ultra-sons

Historique:

1880, découverte de l'effet « piézo-électriques du cristal de quartz par les frères curie.

1917, paul Langevin utilise le premier l'effet « pièzo- électriques » du cristal de quartz pour produire des Ultra- sons.

3.10.1. ondes sonores

Généralités (FIGURE : 3.28)

L'amplitude des vibrations est indiquée par la distance AB (A).

Fréquence, nombre de périodes complètes accomplies en une seconde (B). La fréquence se désigne en hertz, kilohertz ou mégahertz.

Exemples:

-1000000H2

-1000 kHz

-1 MHz 17

Ultra-sons, ondes sonores dont la fréquence est supérieure à 20000 Hz ou 20 kHz. L'ouïe humaine ne peut capter que les sons dont la fréquence est comprise:

Entre 16 Hz et 20000 Hz.

Infra-sons, les sons dont la fréquence est inferieure à 16Hz les revenir à la ligne animaux dont le chien, peuvent entendre des ultra-sons de 30000 Hz. (sifflets spéciaux à ultra-sons)

La vitesse du son se propage :

Dans I 'air à 340 m/s. ou 1224 km/h.

Dans l'eau à 1504 m/s ou 5414 km/h

Dans l'acier à environ 5850 m/s .ou 21060 km/h.

Echo: lorsque les ondes sonores rencontrent un obstacle fixe, elles se réfléchissent de telle sorte que l'angle de réflexion est égal à l'angle d'incidence

3.10.2. L'effet « piézo-électriques »

Lorsque certains cristaux, dont le quartz, taillés spécialement sont soumis à une pression, ils produisent des charges électriques positives sur une des faces et négatives sur l'autre face Si la pression fait place à la traction, ces charges électriques changent de sens.

En inversant le mécanisme, et en envoyant une charge positive ou négative sur le cristal de quartz, il se dilate ou se contracte.

En appliquant à la lame de quartz une différence de potentiel alternative, la lame se dilate ou se contracte à la cadence des alternatives de la tension électrique.

C'est-á-dire que ces faces vibrent comme une membrane.

Une tension de HF (4000Hz) appliquée sur la …….. de quartz la fait vibrer à la même fréquence, ce qui produit les ultra-sons.

3.10.3. Différentes méthodes de contrôle des pièces

1 méthode par écho ou par réflexion... (C)

Dans cette méthode, on Utilise un seul palpeur qui fonctionne en émetteur- récepteur .

En l'absence de défaut, l'onde émise traverse la pièce et se réfléchit sur le fond (face opposée).L'onde reçue sur le palpeur se traduit sur l'écran du tube cathodique par un écho di « écho de fond» à une distance fixe de l'image de l'impulsion émise. Lorsqu'un défaut entre dans le champ du faisceau, il se réfléchit et provoque à la fois la disparition totale ou partielle de l'écho de fond et provoque l'apparition d'un écho dit «de défaut » dont la position par rapport à I 'impulsion d'émission indique la profondeur, dans le rapport A/L.

Cette méthode, la plus employée; a l'avantage de ne nécessiter l'accès que sur une seule face de la pièce et de localiser les défauts en profondeur.

2sondage en incidence oblique.... (D)

Le sondage s'effectue avec un palpeur à prisme. Lorsque la pièce est homogène, l'onde subit plusieurs réflexions et en général ne revient pas. En cas de défaut, il y a réflexion sur le parcours et une partie de l'énergie revient sur méthode permet d'explorer des régions difficilement accessibles. le palpeur par un trajet analogue. Cette méthode permet d'explorer des régions difficilement accessibles.

3 méthode par transparence...E).

La pièce à examiner est placée entre deux palpeurs, le premier émetteur, le second récepteur. Si la pièce présente un défaut, la hauteur de l'écho est d'autant plus faible que le défaut est important. Cette méthode est peu employée car elle nécessite l'accessibilité des deux faces opposées de la pièce. Il faut aussi que les deux faces soient parallèles.

Important :

Les ultra- sons sont entièrement réfléchis par une très petite couche d'air. Pour assurer un bon contact acoustique entre la pièce et le palpeur, on interpose un fluide dit « de contact »

(Graisse, huile, ou eau selon les cas) (F)

3.10.4. Utilisations

Recherche d'une tapure de trempe par ondes de surface.

Sondage par écho d'une billette

Sondage en incidence oblique d'un cordon de soudure, etc…

3.10.5. Choix de la fréquence

Le coefficient d'absorption étant proportionnel au carré de la fréquence, il s'ensuit qu'une fréquence élevée pénètre moins profondément qu'une fréquence basse.

Mais une fréquence élevée permettra de mieux déceler les petits défauts.

Des essais successifs permettent de connaitre rapidement la fréquence la plus convenable en fonction des contrôles à assurer.

Les fréquences de 2-4-6 MHz s'emploient pour les aciers à grains fins

Les fréquences de 0,25-0,5-1MHz pour les aciers coulés, bronze, matériaux à gros grains.

3.11. Fluorescence

La Fluorescence est la propriété d'un produit capable d'émettre de la lumière sous un rayonnement de faible longueur d'onde (notamment les rayons ultraviolets).

Principe

1 on enduit la pièce à contrôler d'un liquide fluorescent (sulfure de zinc).

2n essuyer la pièce.

3 on éclaire la pièce avec une source de lumière filtrée de façon à ne laisser projeter que les rayons ultraviolets. Toutes les parties resteront noires, sauf: les fentes, les porosités, etc., qu' s'éclaireront et l'on pourra les photographier, Grace au liquide fluorescent qui se sera infiltre

3-11.1. Emploi

Pour tous les défauts de surface, ou qui atteignent la surface : trempe, laminage emboutissage etc.

Les défauts internes entourés de métal sain ne pourront pas être détectés.

3.12. Macrographie

Examen de la structure.

Echelle des grandeurs le millimètre.

Généralités

La macrographie est un moyen simple et industriel, susceptible de fournir des indications sur les défauts des métaux et sur leur structure interne. On ne l'utilise généralement que pour les aciers

Sa technique simple peut être employée dans les ateliers.

Principe

Observation à l'œil nu ou à la loupe d'une surface ou d'un ensemble poli et attaqué par un réactif.

3.12.1. Polissage

écrouissage, puis polie à la toile abrasive La surface à observer est soigneusement usinée, sans fine de façon à obtenir une surface n'ayant aucune trace de rayures. La pièce est débarrassées débarrassée de tout corps gras par un lavage à l' éther.

3.12.2. Attaque lente

La pièce est plongée dans le réactif, généralement de l'acide sulfurique dilué & 20% 11 faut de temps en temps brosser la surface attaquée dans un courant d'eau pour la débarrasser des dépôts adhérents. L'opération dure quelques heures dans le bain froid. L'opération est d'environ une demi-heure si le bain est porté & l'ébullition

3.12.3. attaque rapide

La pièce est badigeonnée à l'aide d'un pinceau du réactif suivant:

L'ode…….…… 10gr

lodure de potassium……. 20gr

Eau……100g

La durée de l'attaque varie de quelques secondes à quelques minutes

3.12.4. Attaque par impression

Détection de soufre, procède Baumann. Ce procède consiste à tremper un papier photographique au bromure d'argent dans une solution d'acide sulfurique à 3% On applique 1a surface polie de la pièce sur le papier durant une minute environ en évitant les glissements et les bulles d'air. L'épreuve est ensuite lavée à l'eau 10 mn, puis trempée dans un bain de thiosulfate de sodium à 20% pendant 10 mn ce qui dissout l'excès de bromure, puis lavée i l'eau pendant deux heurs. Les taches foncées ainsi formées indiquent la présence de soufre.

3.12.5. Procès-verbal

Déceler les inégalités, les défauts d'homogénéité d'un lingot (scories, retassures, soufflures).Présence d'éléments néfastes (soufre etc....)

Connaitre le mode de fabrication d'après l'orientation des fibres métalliques ((forgeage matriçage, laminage FIGURE: 3.29),

Les causes de rupture L'examen d'une soudure.

3.13. Micrographie

Examen de la structure (FIGURE: 3.30.)

Echelle des grandeurs, le micron.

Généralités

La micrographie met en évidence la structure de l'alliage métallique, ce qui permet de déceler:

- ✓ Le nombre de leurs constituants, leurs formes, leurs répartitions, leur dimension
- ✓ les défauts du métal ou les inclusions qu'il renferme lorsqu'ils. ont présents & u l'échelle microscopique, porosités, fissures, inter cristallines, silicates, sulfures, oxydes, etc..;
- ✓ L'hétérogénéité ou I 'homogénéité de la structure;
- ✓ L'efficacité des traitements thermiques

Principe

Observation à l'aide d'un microscope métallographique avec des grossissements qui atteignent couramment 1000,la surface de l'échantillon, polie puis attaquée par des réactifs choisis pour différencier les constituants

.3.13.1. Polissage

La préparation des-échantillons consiste à réaliser des sections planes et convenablement polies, ne présentant aucune rayure susceptible de gêner l'examen.

A polissage mécanique (procède classique)

Les sections dressées, soit à la meule ou à la lime, sont polies avec du papier abrasif de plus en plus fin, changeant le sens du polissage de 90

On continue le polissage avec une meule de drap ou de feutre, arrosée d'une poutre suspension dans l'eau. Après le polissage, l'échantillon est soigneusement lave d'alumine en à l'eau puis à l'alcool et sèche.

B)polissage électrolytique

Les laboratoires utilisent des dispositifs de polissage électrolytiques plus rapides et aussi plus précis que le procédé classique.

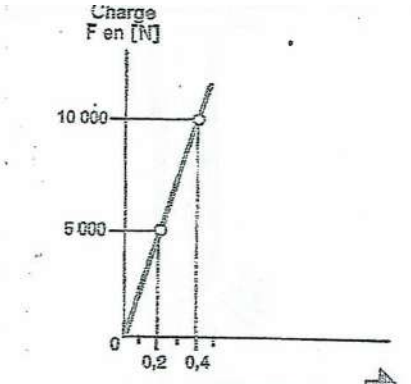


FIGURE : 3.2

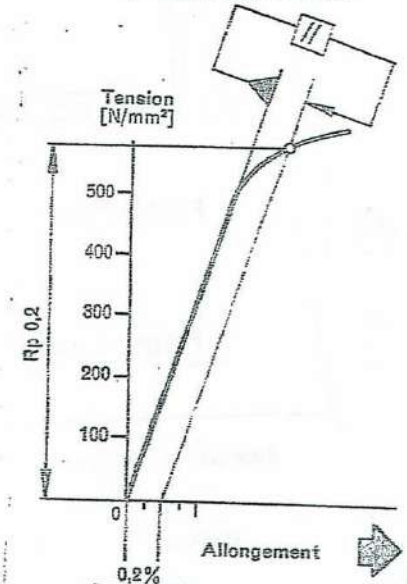


FIGURE : 3.3

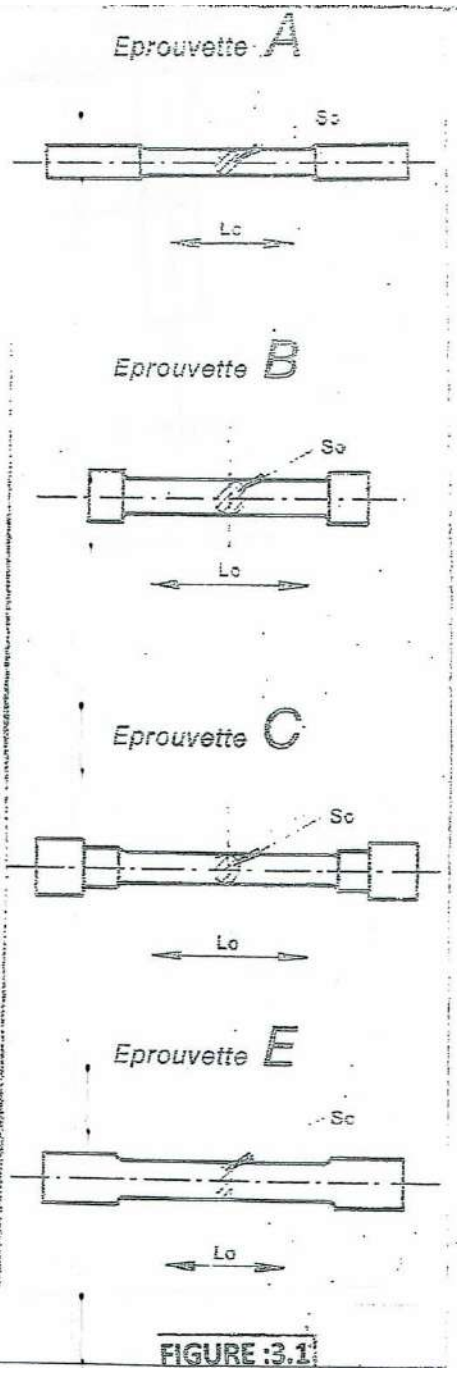


FIGURE :3.1

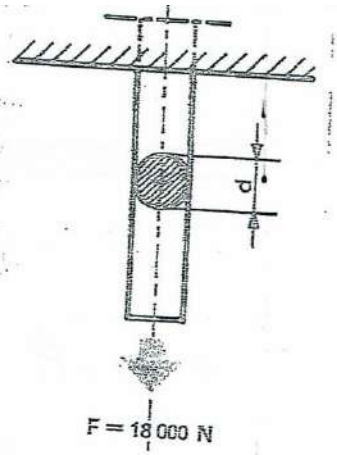


FIGURE : 3.7

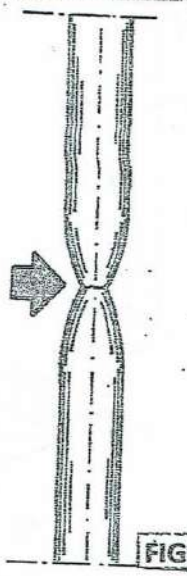


FIGURE : 3.4

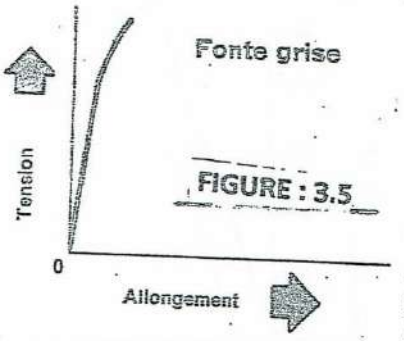


FIGURE : 3.5

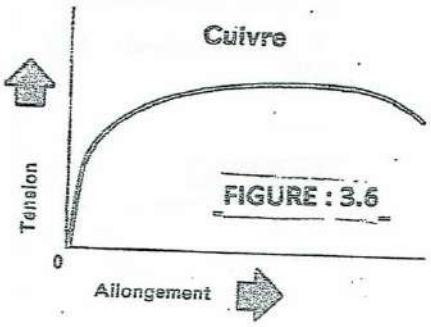


FIGURE : 3.6

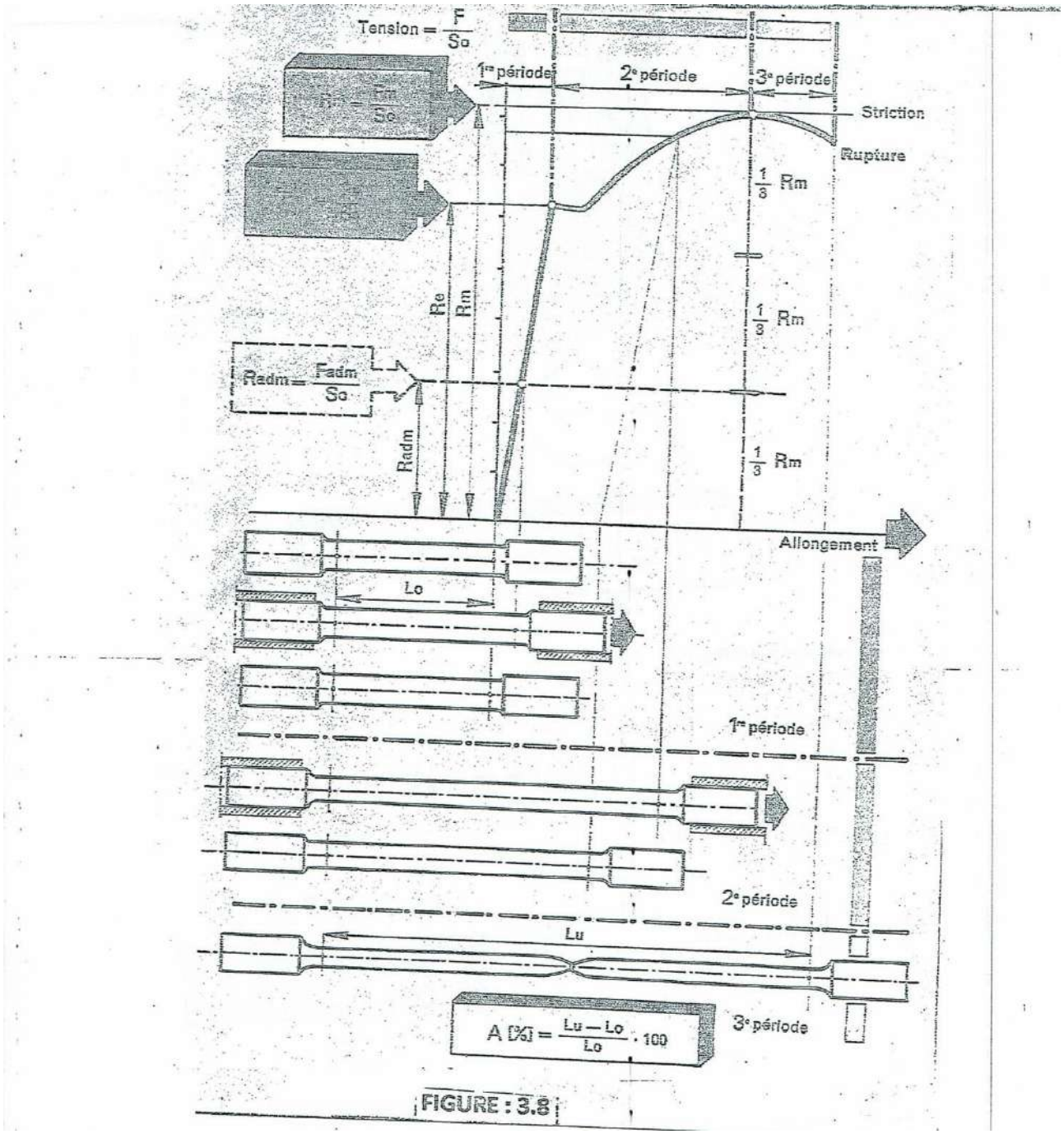
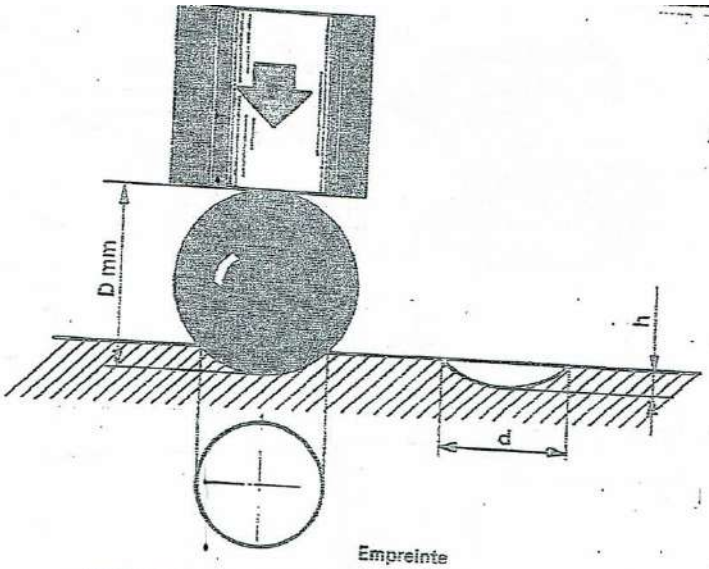

Tension = F/So
1re période
2e période
3e période
Striction
Rupture
1/3 Rm
Re
Rm
Radm = Fadm/So
Radm
Allongement
Lo
1re période
2e période
Lu
3e période
A [%] = (Lu − Lo)/Lo . 100

FIGURE : 3.8



$$HB\left[\frac{N}{mm^2}\right] = \frac{\text{Charge F [N]}}{\text{Surface de la calotte Sc [mm²]}}$$

Développement (fig. 2-8)

Surface de l'empreinte = Surface de la calotte Sc

$$Sc = \pi \cdot D \cdot h$$

$$h = \frac{D}{2} - y = \frac{D}{2} - \sqrt{\left(\frac{D}{2}\right)^2 - \left(\frac{d}{2}\right)^2} = \frac{D}{2} - \frac{1}{2}\sqrt{D^2 - d^2} = \frac{D - \sqrt{D^2 - d^2}}{2}$$

$$Sc = \frac{\pi \cdot D\,(D - \sqrt{D^2 - d^2})}{2}$$

$$HB\left[\frac{N}{mm^2}\right] = \frac{F[N]}{Sc\,[mm^2]}$$

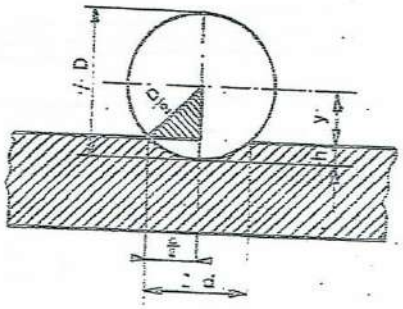


FIGURE : 3.9

Diamètre de la bille D mm	Epaisseur à l'endroit de l'essai mm	Charge F en N			
		Acier et fonte $F = 300\ D^2$	Cuivre et ses alliages $F = 100\ D^2$	Métaux légers $F = 50\ D^2$	Métaux tendres $F = 25\ D^2$
10	plus de 6	30 000	10 000	5 000	2 500
5	plus de 3	7 500	2 500	1 250	625
2,5	moins de 3	1 875	625	312,5	156

TABLEAU 3.1

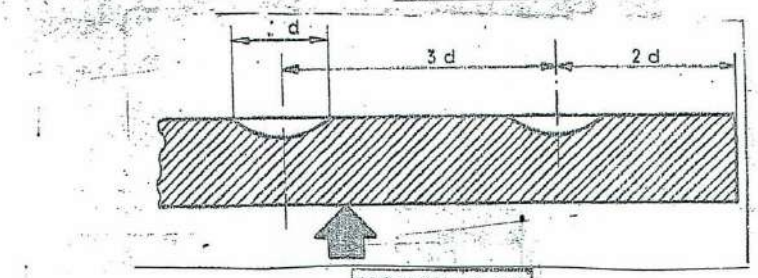


FIGURE : 3.10

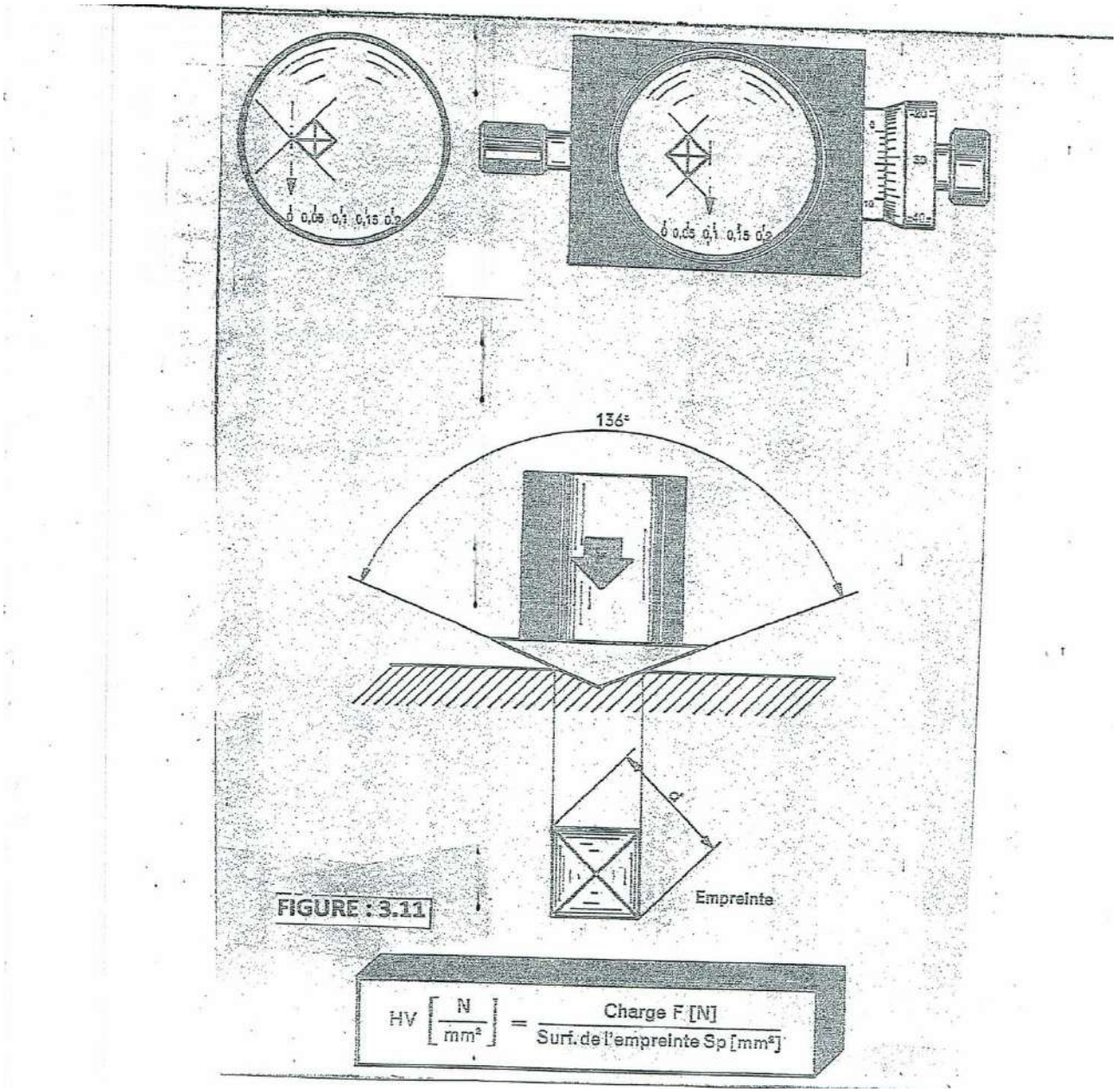


FIGURE : 3.11

$$HV\left[\frac{N}{mm^2}\right] = \frac{\text{Charge F [N]}}{\text{Surf. de l'empreinte Sp [mm²]}}$$

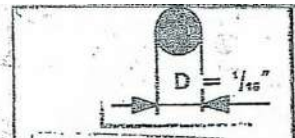


FIGURE : 3.13

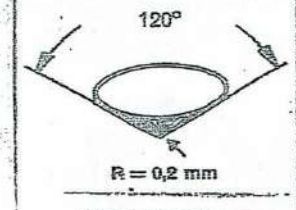


FIGURE : 3.14

Développement
Fig. 2-12

Surface de l'empreinte = Surface de la pyramide Sp

$$Sp = 4\frac{a \cdot d}{2 \cdot \sqrt{2}}$$

$$a = \frac{d}{2 \cdot \sqrt{2} \cdot \cos 22°}$$

$$Sp = \frac{d^2}{2 \cdot \cos 22°} = \frac{d^2}{1{,}854}$$

$$HV \left[\frac{N}{mm^2}\right] = \frac{F\,[N]}{S\,[mm^2]}$$

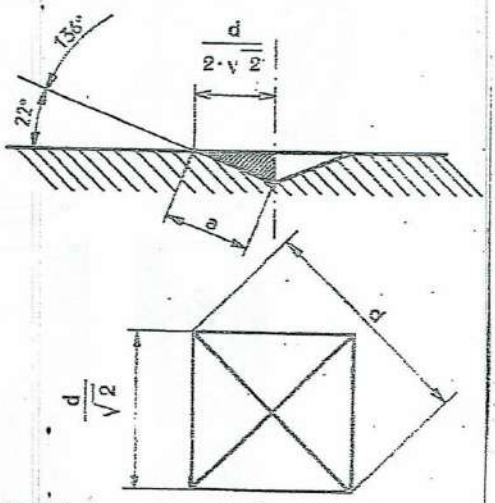


FIGURE : 3.12

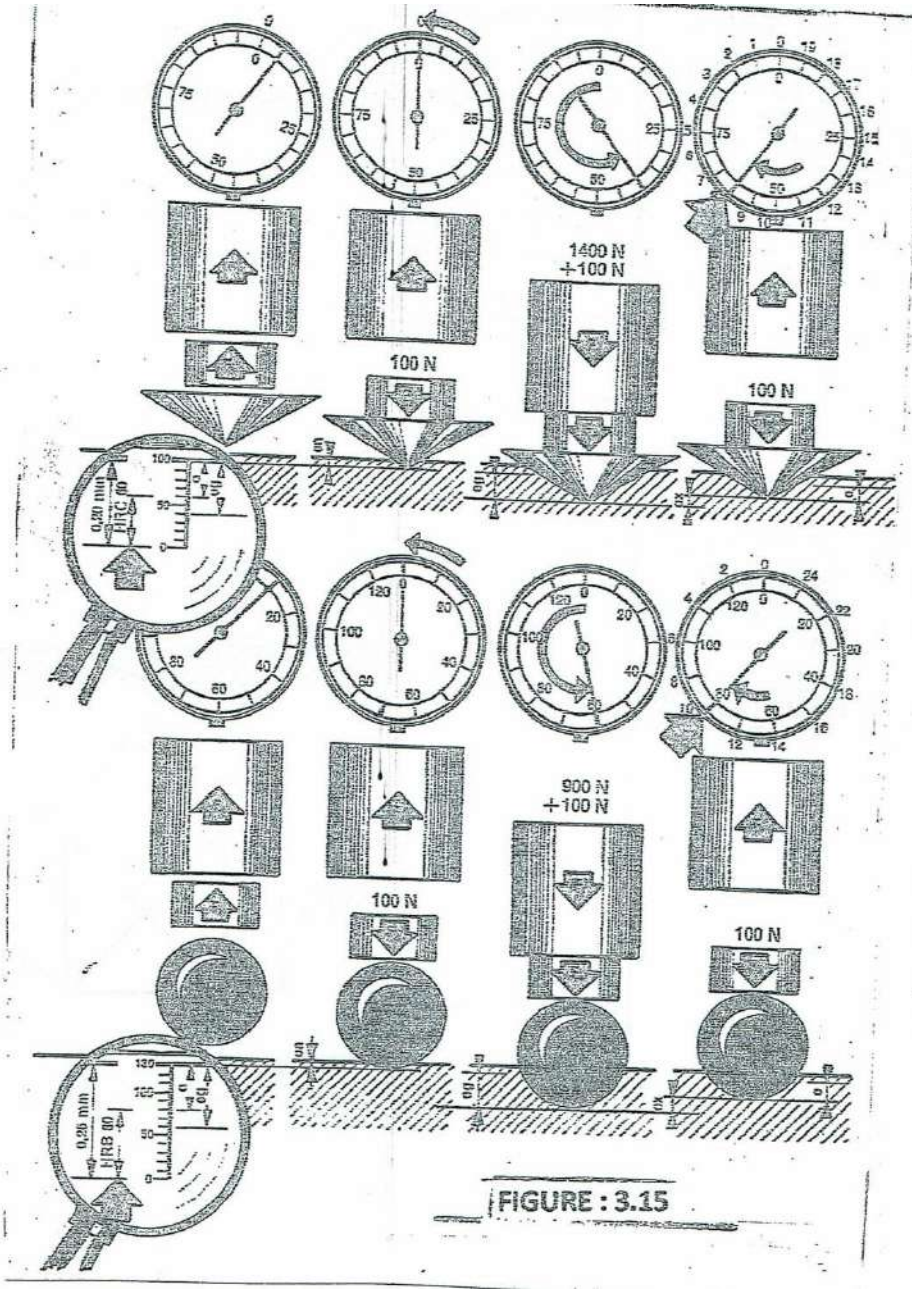

1400 N
+100 N
100 N
100 N
900 N
+100 N
100 N
100 N
0,26 mm
HRC 60
0,26 mm
HRB 80

FIGURE : 3.15

La dureté ROCKWELL est indiquée directement sur le cadran par la position de l'aiguille.

L'échelle pour HRB est de 130 divisions.
L'échelle pour HRC est de 100 divisions.
Pour avoir une mesure précise, une division correspond à une différence de profondeur de 0,002 mm

Dureté HRC = 100 divisions — la profondeur e

Exemple: HRC 60
Profondeur de l'empreinte e:

100 — 60 = 40
40×0,002 = 0,08 mm

TABLEAU 3.2

Dureté HRB = 130 divisions — la profondeur e

Exemple: HRB 80
Profondeur de l'empreinte e:

130 — 80 = 50
50×0,002 = 0,1 mm

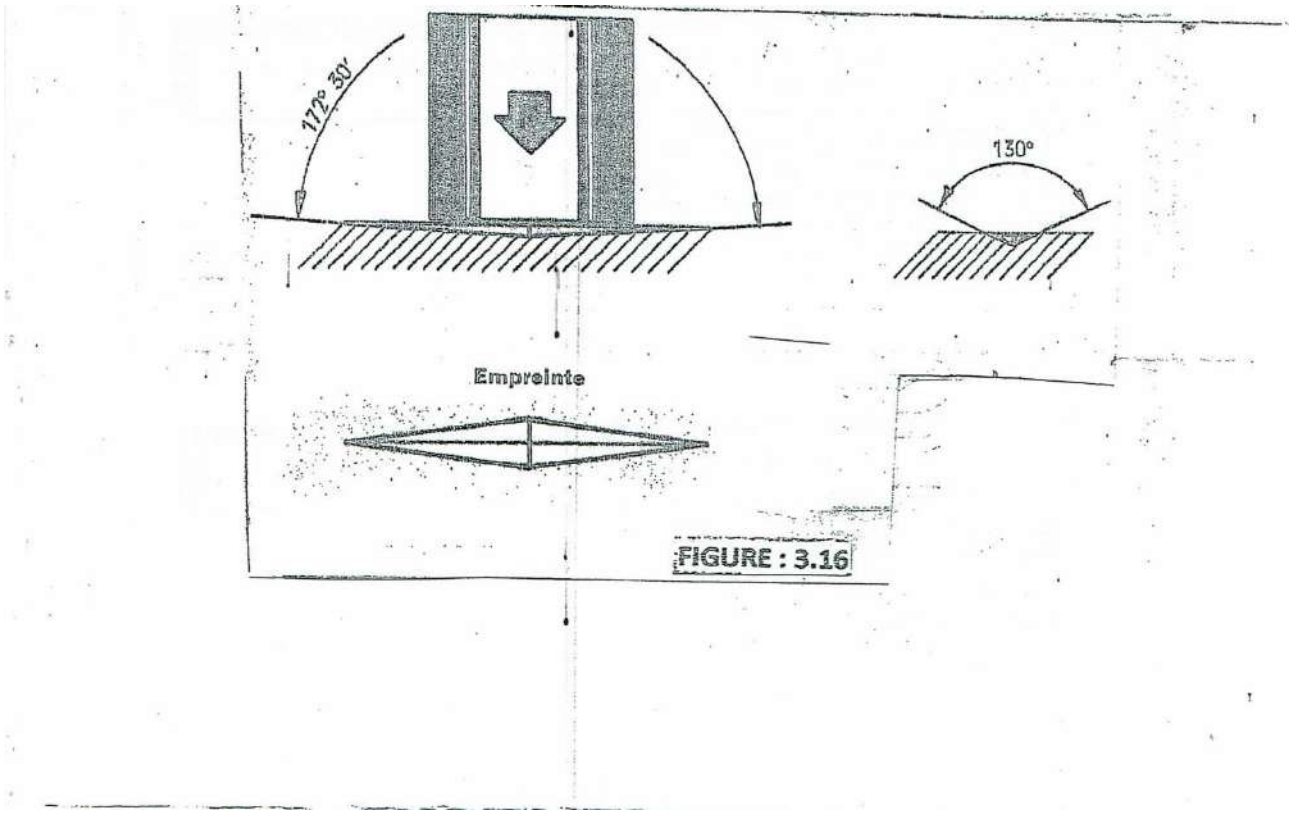


FIGURE : 3.16

TABLEAU 3.3

Tableau de comparaison

Les chiffres de cette table ne sont que des valeurs de comparaison et ne sont donnés qu'à titre indicatif.

* Le facteur 0,34 est employé pour l'acier au carbone recuit ou non traité, ainsi que pour l'acier à haute résistance après trempe, avec ou sans revenu.

** HB 1/10 de la résistance à la pénétration [N/mm²].

** HV 1/10 de la résistance à la pénétration [N/mm²].

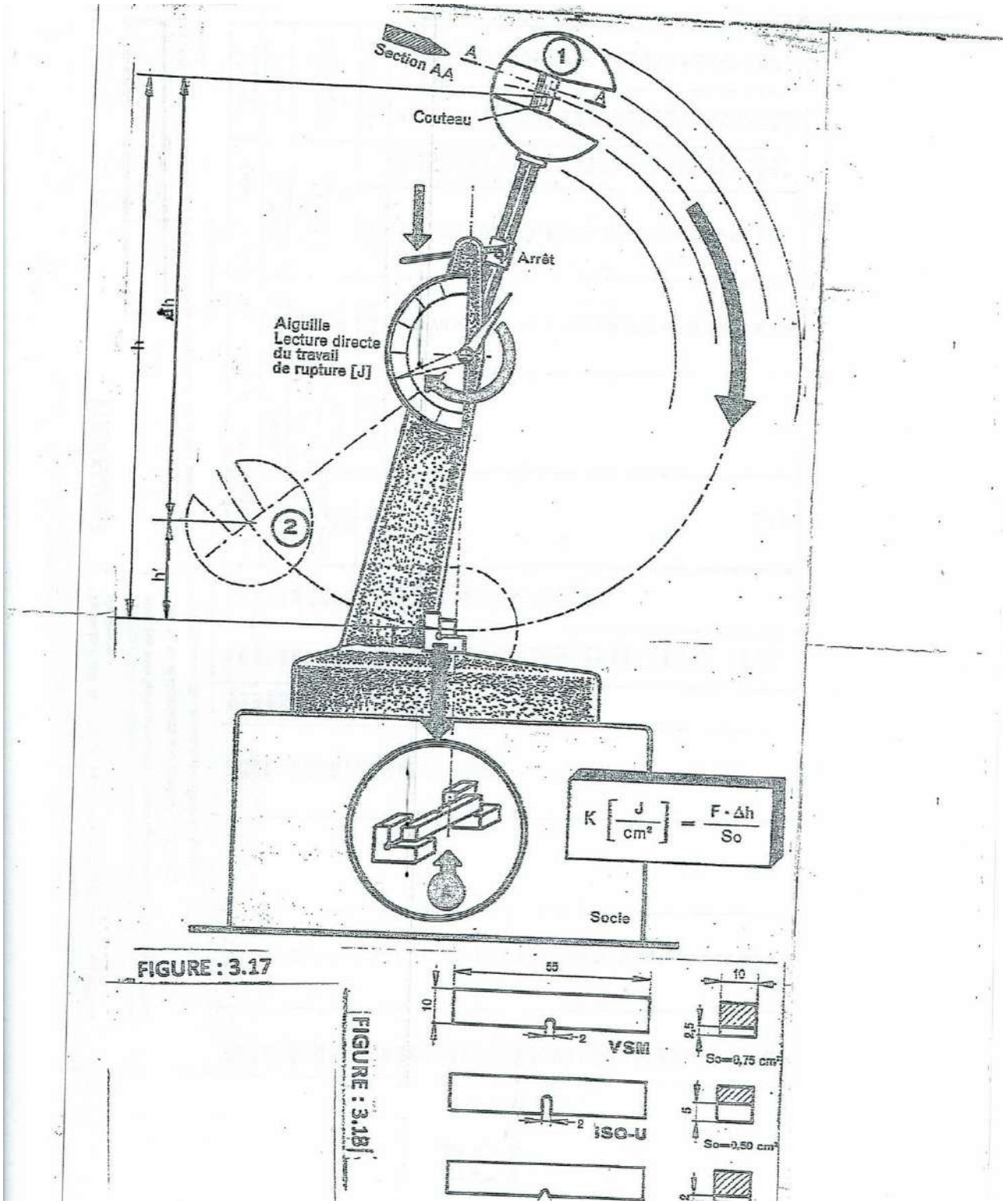


FIGURE : 3.17

FIGURE : 3.18

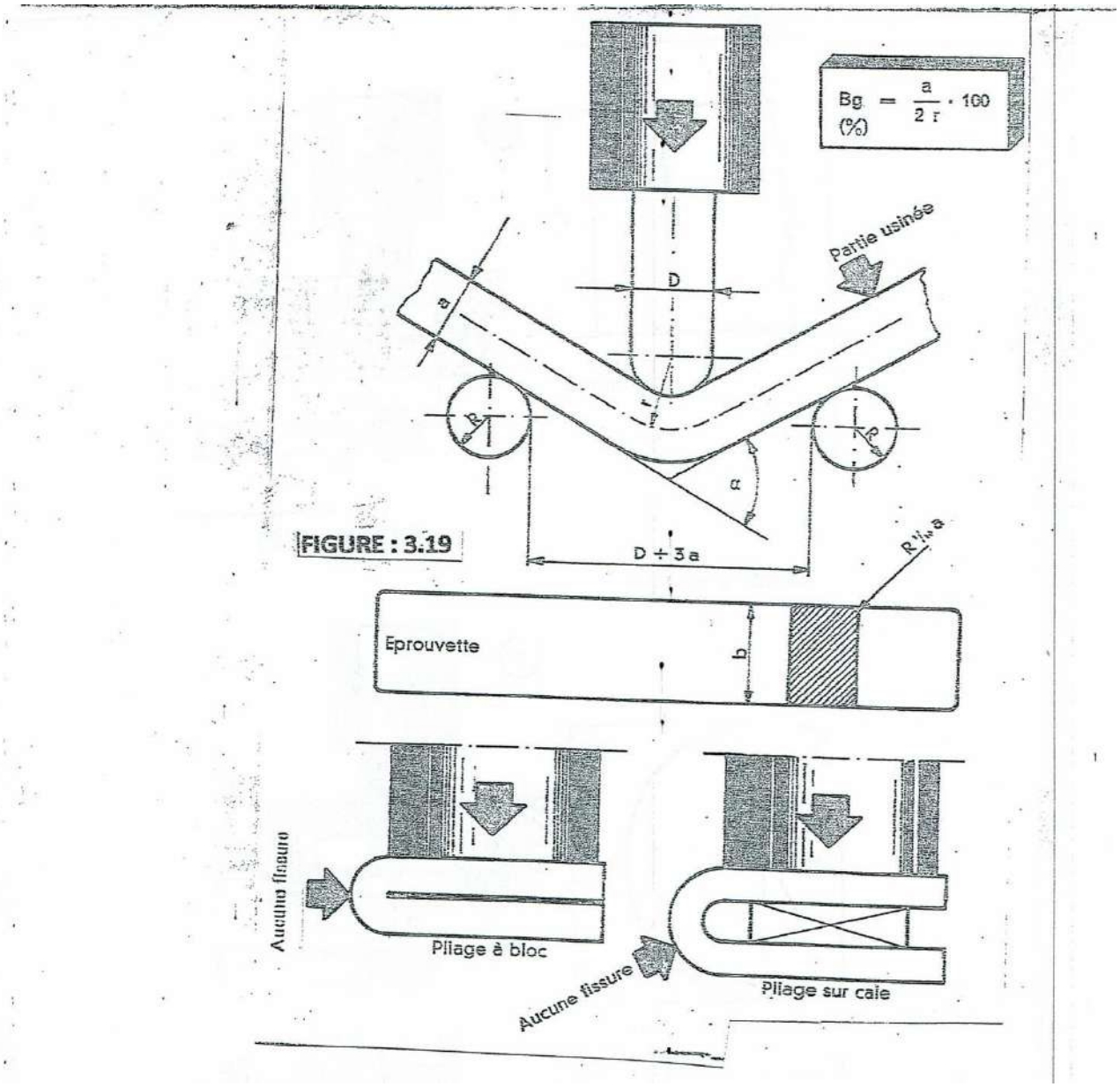

Bg (%) = a / 2r · 100
Partie usinée
D
a
R
R
α
D + 3a
R ≤ a
Eprouvette
b
Aucune fissure
Pliage à bloc
Aucune fissure
Pliage sur cale

FIGURE : 3.19

Essai Erichsen

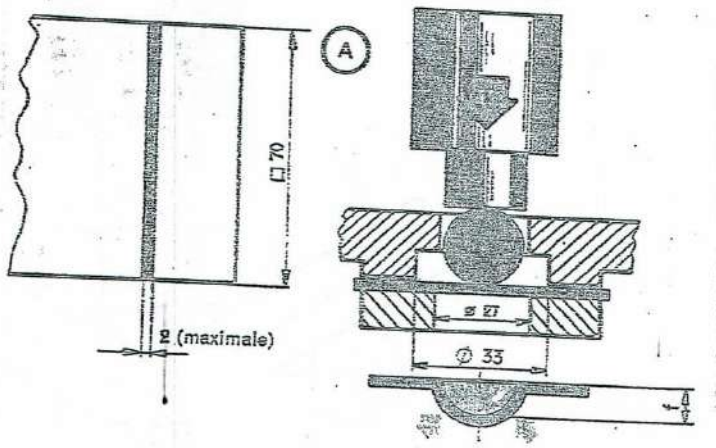


FIGURE : 3.19

Essai Persoz

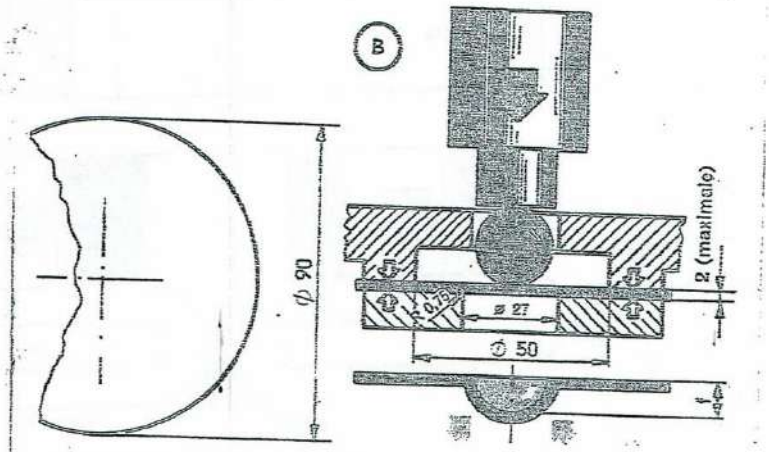


FIGURE : 3.20

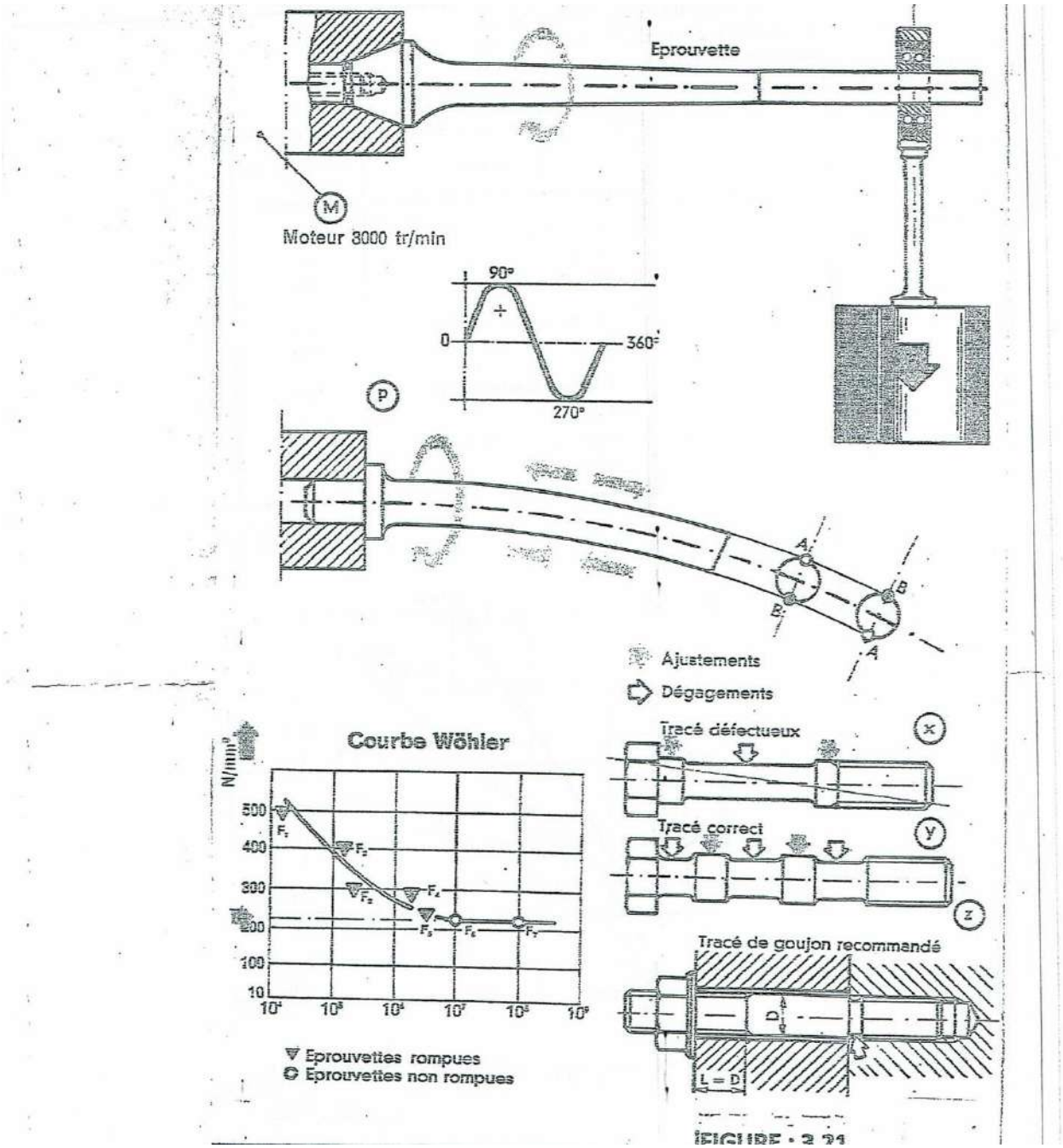

Eprouvette
M
Moteur 3000 tr/min
90°
0
360°
270°
P
A
B
B'
A'
Ajustements
Dégagements
Courbe Wöhler
N/mm²
500
400
300
200
100
10
10⁴
10⁵
10⁶
10⁷
10⁸
10⁹
F1
F2
F3
F4
F5
F6
F7
Eprouvettes rompues
Eprouvettes non rompues
Tracé défectueux
x
Tracé correct
y
z
Tracé de goujon recommandé
D
L = D

FIGURE 3.21

Température de quelques matériaux au-dessus de laquelle il faut tenir compte du fluage.

Matériaux		Température °C
Acier fondu		350
Fonte		350
« Monel »		350
Alliages de cuivre	Cu Sn	200
	Cu Zn	150
Alliages d'aluminium		100–200
Plomb, Etain, Zinc	et alliages	< 20

TABLEAU 3.4

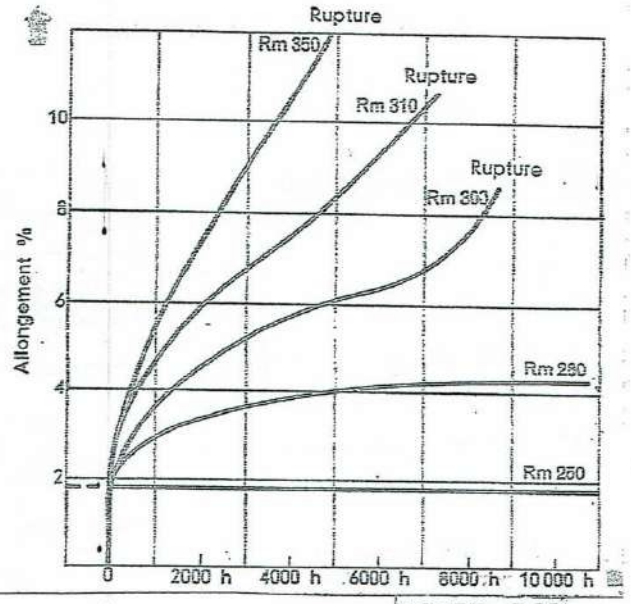


FIGURE : 3.22

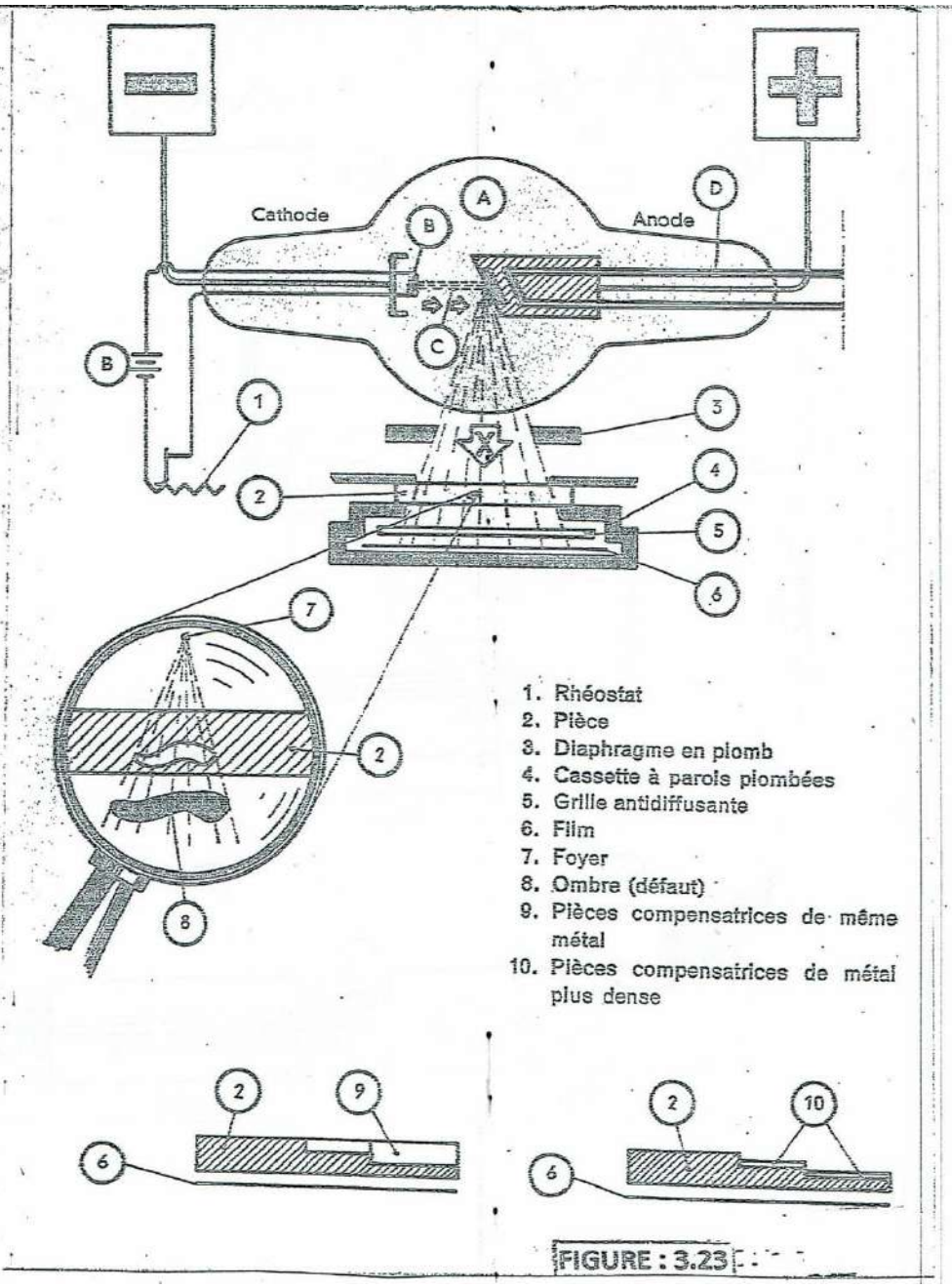

Cathode
Anode
A
B
C
D
B
1
2
3
4
5
6
7
2
8
1. Rhéostat
2. Pièce
3. Diaphragme en plomb
4. Cassette à parois plombées
5. Grille antidiffusante
6. Film
7. Foyer
8. Ombre (défaut)
9. Pièces compensatrices de même métal
10. Pièces compensatrices de métal plus dense
2
9
6
2
10
6

FIGURE : 3.23

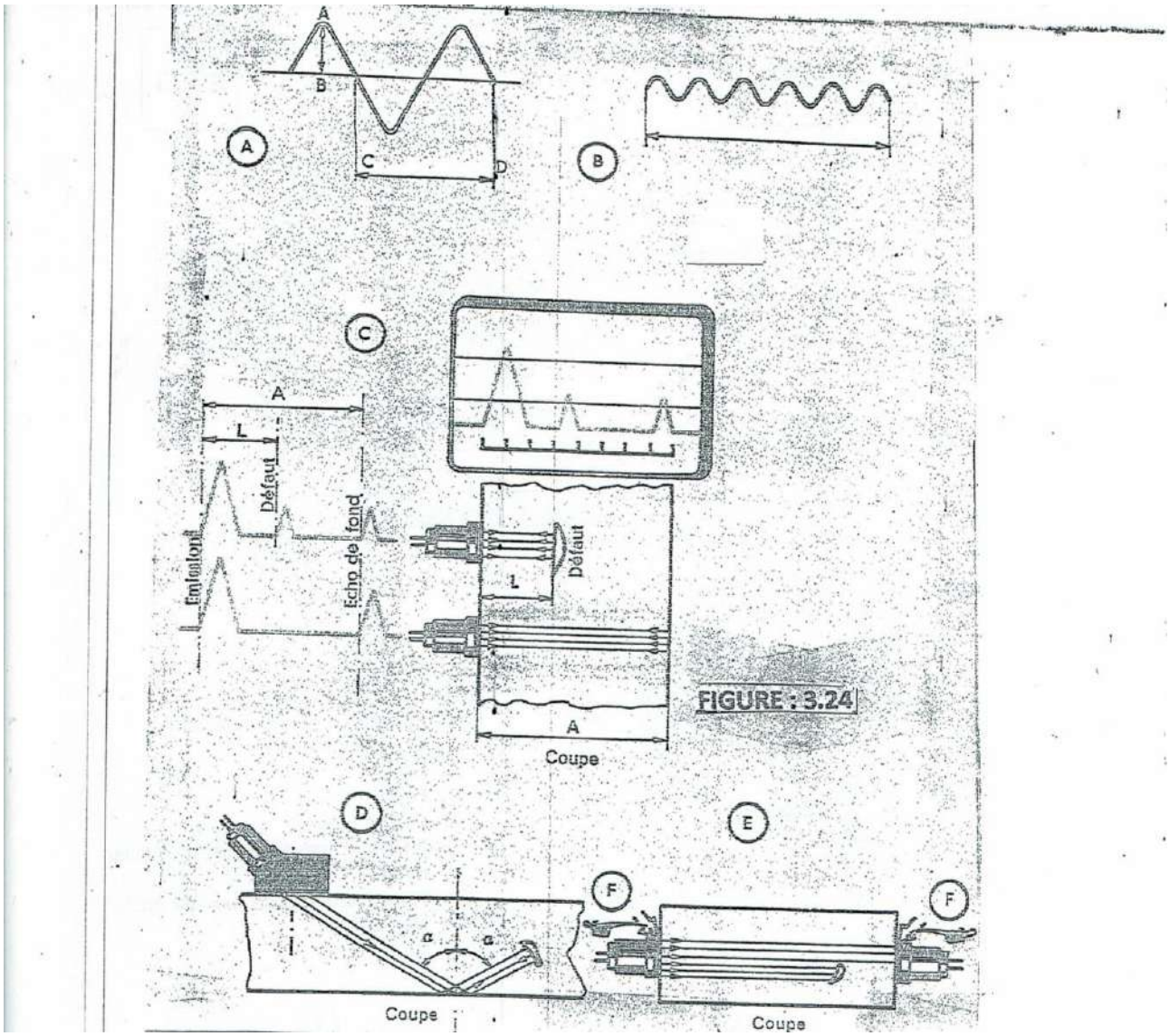

A
B
C
D
A
B
C
A
L
Défaut
Emission
Echo de fond
Défaut
L
A
Coupe
D
E
F
F
α
α
Coupe
Coupe

FIGURE : 3.24

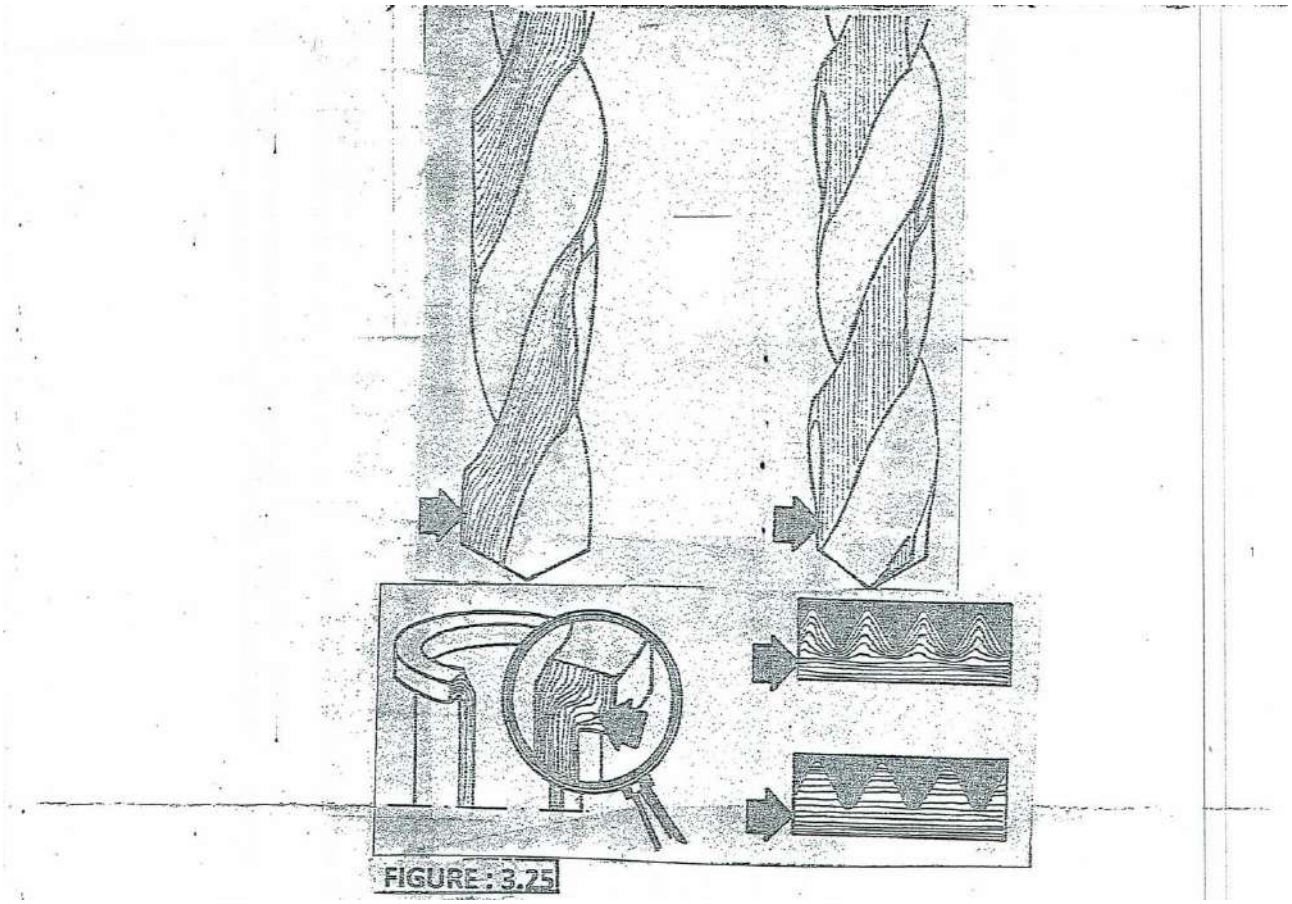


FIGURE : 3.25

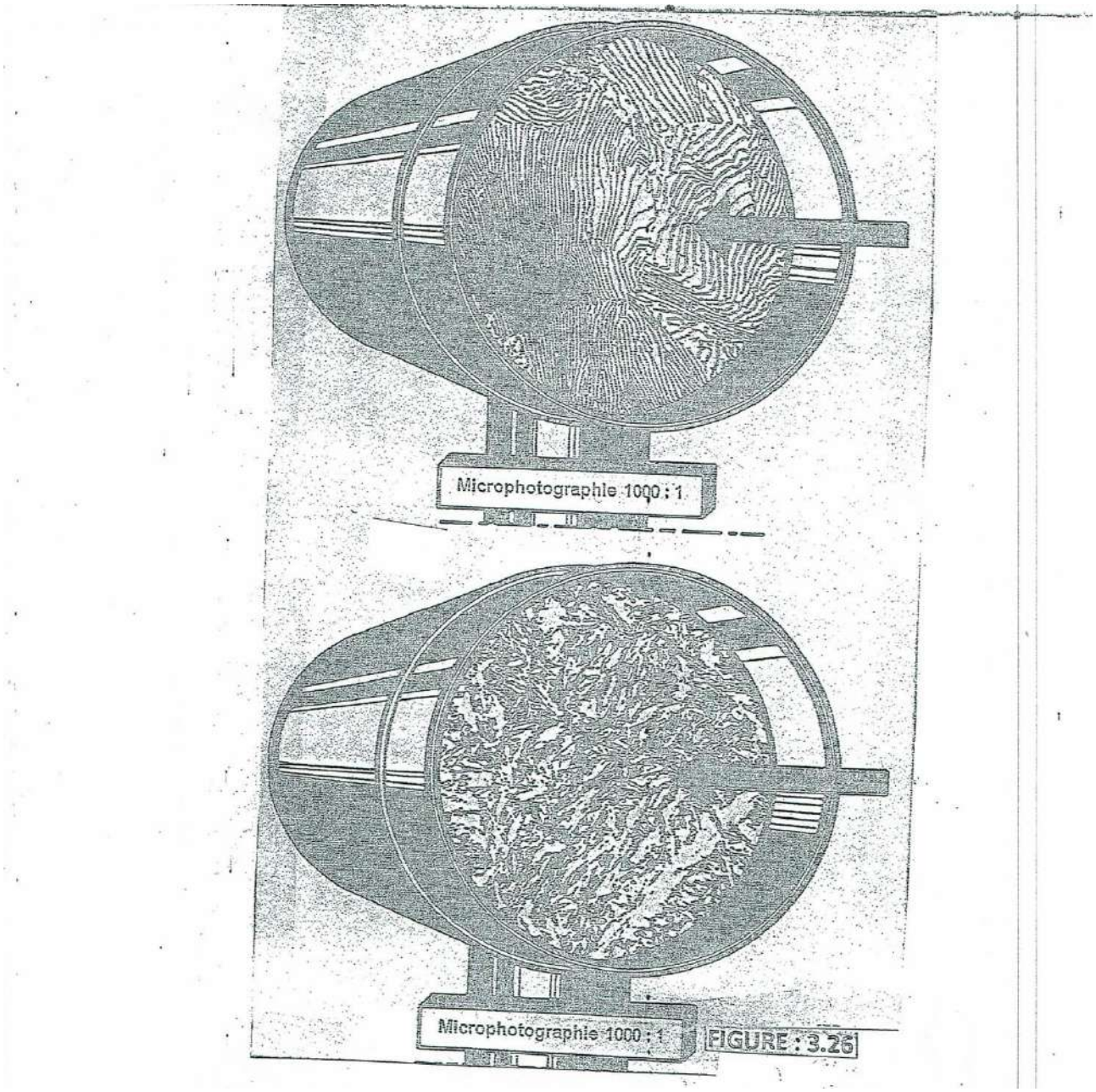


FIGURE : 3.26

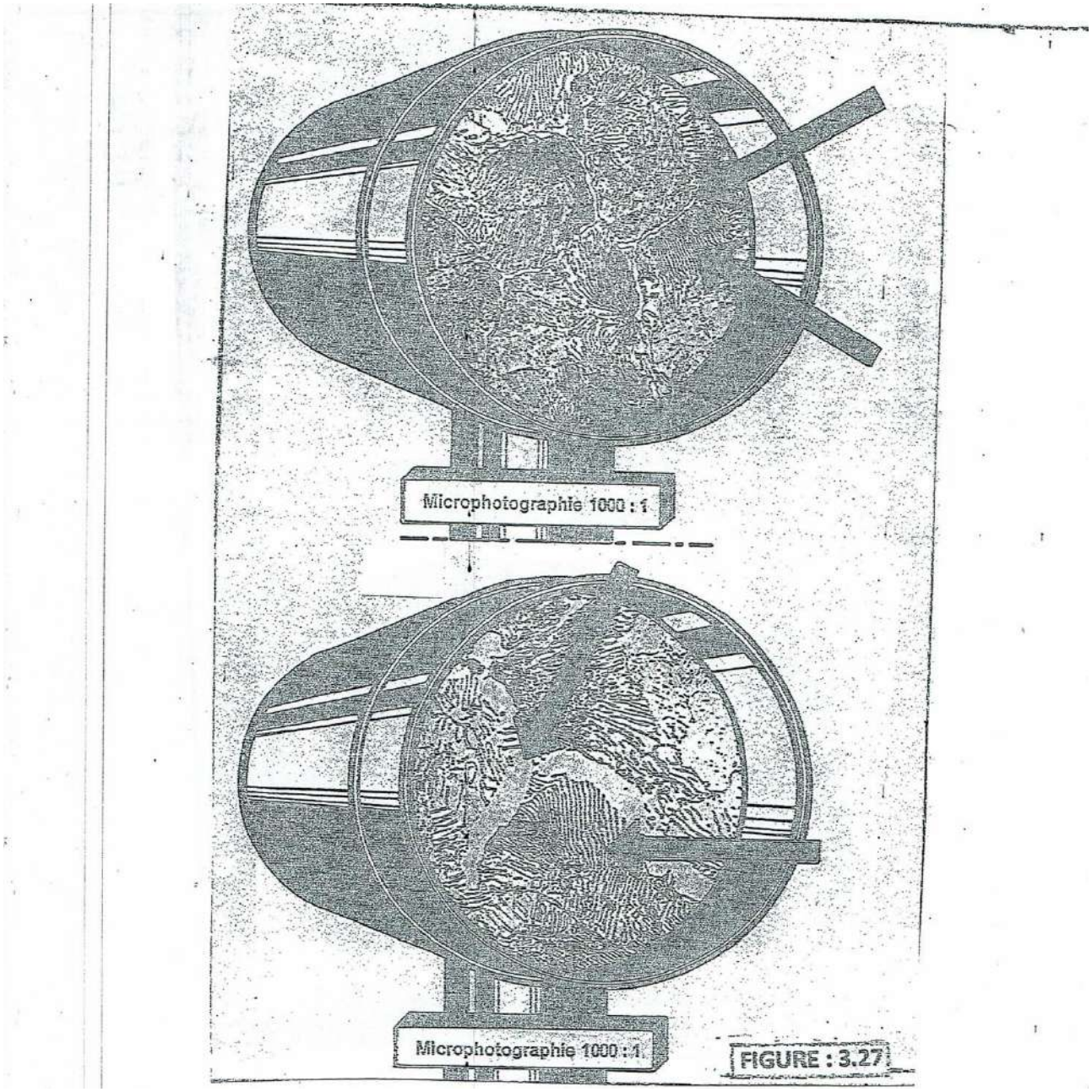


FIGURE : 3.27

CHAPITRE 4
THEORIE ELEMENTAIRE DES ALLIAGES.

4.1 Structure cristalline (FIGURE: 4.1)

4.1.1.Les atomes

En se solidifiant.les métaux sont formé par une masse de petits cristaux constitués par des atomes. Ces atomes sont toujours disposés de façon régulière dans les cristaux pour former des solides géométriques parfaits Lorsque les atomes ne sont pas distribués régulièrement, on a **une substance amorphe** non cristalline

4.1.2.La maille

Les atomes de fer sont disposés selon deux systèmes cubiques :

1. Système cubique centré pour le fer alpha et delta L'arête mesure 0.29 millième de micron.

Ii faudrait, pour former une longueur de 1 mm , environ 3 000 000 d'arêtes.

2. System cubique a face centrées pour le fer gamma .L'arête mesure 0.36 millième de micron.

4.1.3. le cristal :

Les mailles formées s'assemblent entre elles et constituent ainsi un réseau, appelé cristal.

4.1.4. les dendrites :

Juxtaposition enchevêtrée des cristaux constitue los dendrites

principe

L'axe principal se forme le premier, puis apparaissent à angles droits des axes secondaires plus courts et à angles droits de ceux-ci des axes encore plus courts .

Ces divers axes s'allongent et grossissent progressivement

Leur croissance se trouve limitée aux surfaces de rencontre des cristaux issus de centres voisins

Le nombre de centres de solidification est d'autant plus grand que la solidification est plus rapide

Une solidification rapide produit donc de petits dendrites et inversement un solidification lente conduit à de gros dendrites.

4.1.5. Les grains:

Chaque axe ou centre de solidification a engendré principal grain. Ces grains sont un aussi appelés macro cristaux.

Le métal solide est alors constitué par un assemblage compact de grains n'ayant aucune forme extérieure géométrique régulière et dont chacun correspond à une orientation cristalline constante dans tout son intérieur.

Remarque

Les rayons X ou le microscope électronique permettent de connaître la structure cristalline.

4.2. Fusion et solidification d'un métal pur (Figure : 4.2)

Principe :

Chauffons un échantillon de métal pur par un apport régulier de chaleur, puis relevons, l'élévation de température de cet échantillon sur un diagramme .

Avec en abscisse les temps de chauffage et en ordonnée les températures.

1. La température s'élève régulièrement.
2. La température se fixe dés qu'apparaît une goutte de liquide **et reste constante tant qu'on est en présence de liquide et solide.**

Cette température constante est le point de fusion du métal à la pression de l'expérience.

Remarque

La chaleur fournie au métal pendant la fusion sert uniquement à la transformation du solide en liquide sans élévation de température.

3.La température continuera de s'élever régulièrement quand toute la masse sera parvenue à l'état liquide.

Inversement, si nous laissons refroidir le liquide:

1. La température s'abaisse régulièrement.

2. La température reste constante à l'apparition de solide dans le liquide (voir cristallisation).

Remarque

La chaleur de solidification est égale à la chaleur de fusion.

3.La température continuera de diminuer quand tout la masse sera parvenue à l' état solide.

4.2.1. Transformations allotropiques:

L'étude du refroidissement de certaines métaux, fer, nickel, étain, etc., montre que la courbe présente, en plus du palier de solidification, **un ou plusieurs autres palier à l'état solide du métal.**

Le palier correspond à une transformation du métal, caractérisée essentiellement par une modification profonde de sa structure cristalline, **désignée par transformation allotropique.**

La température de transformation, comme pour les changements d'état solide en liquide en solide, s'effectue à température constante.

Exemple:

Le fer en le chauffant (AC) subit une première transformation vers 906° C.

Le fer alpha se transforme en fer gamma et à 1401 C une deuxième transformation, le fer gamma en fer delta (fig.4-2).

Les deux transformation sont inversées si on laisse refroidir (Ar) le fer en fusion.

4.3. Fusion et solidification d'alliages (FIG: 4.3)

Généralités:

Le phénomène de fusion et de solidification pour un seul élément, métal pur, marque une température constante appelée **point de fusion**.

Pour le mélange de métaux avec d autres éléments. Métaux ou métalloïdes, l'alliage commence à fondre à une certaine température et passe entièrement à l'état liquide à une température plus élevée ou inversement de l'état liquide à l'état solide à une température plus basse.

Entre ces deux points de température l'alliage forme une masse pâteuse constituée de métal liquide et de cristaux solides dont les proportions varient en fonction de la température.

4.3.1. Alliage donnant une solution solide(FIG: 4.3)

Principe :

Sur un diagramme portons en abscisse de 0 à 100% de l'élément A et de 100% à0 pour l'élément B, en ordonnée les températures, puis relevons tous les points de début et de fin de fusion d'alliage des deux éléments A et B suivant leur pourcentage

En joignant tous les points obtenus, nous tracerons une courbe de début de fusion appelée « solidus» et une autre courbe de fin de fusion appelée « liquidus ».

Remarque:

Les cristaux obtenus de cet alliage contiennent à la fois les deux éléments A etB.

Il est impossible de différencier les deux éléments dans les cristaux.

Exemple L'eau ne se distingue pas du sel dans une solution salée.

L'alliage est à l'état de solution solide.

Les deux métaux restent parfaitement **miscibles à l'état solide. Alliages.**

Alliages :

Cuivre-nickel, cuivre-platine, fer-molybdène, antimoine-or, etc.

4.3.2. Alliage donnant lien à la formation d'un mélange eutectique (figure: 4.4)

Principe:

Sur un diagramme avec en abscisse de 0 à 100 % de l'élément X et 100 % à 0 pour l'élément Y, relevons en ordonnée les températures des points de fusion des éléments X et Y ainsi que tous les points de début et de fin de fusion des alliages formés par X-Y suivant leur pourcentage.

4.3.2.1. Point eutectique

En joignant tous les point obtenus, nous constations que les deux courbes de liquides rejoignent se en un point C appelé:

Point eutectique:

Ce mot dérive du grec, et signifie « fondant bien ».

La température de l'alliage eutectique est constante pour le passage de l'état liquide ou inversement du liquide au solide ,**elle est inférieure au point de fusion**

Remarque

La masse, appelée mélange eutectique, est constituée par un enchevêtrement de cristaux très petits de chacun des deux éléments.

4.3.2.2. Alliages inférieurs ou supérieurs à l'eutectique

Le mélange solide obtenu n'est pas homogène, les deux métaux ne sont pas miscibles à l'état solide.

Dans la partie inférieure, il y aura des cristaux de Y et un mélange eutectique.

Dans la partie supérieure, il yaura des cristaux dex et mélange eutectique.

Alliages

Plomb-étain,plomb-cadmium,plomb-antimoine,étain-cadmium,béryllium-silicium,etc.

4.4. Diagramme fer-carbone (FUG: 4.5)

Principe:

Le diagramme est formé en abscisse:

-à gauche **100% de ferrite** (le fer pur);

-à droite **100% de cémente**(le carbure de fer), combinaison chimique de fer et de carbone, dont la molécule est Fe_3 C;

-en ordonnée **la température**.

Remarque

Pratiquement, il est important de connaître la teneur en carbone d'un tel alliage, c'est la raison de l'introduction de l'échelle du carbone.

Poids atomique du fer 55,84

Poids atomique du carbone 12

Poids atomique de la molécule de fe_3c- 55,85 3+12-179.52Pour 12 de carbone.

Pour 100%de cémentite pur il ya :12/179.52*100=6.67 % de carbone.

4.4.1. Etude du diagramme:

Pour étudier d'une manière logique le diagramme fer-carbone, il est nécessaire de distinguer:

1. Nous avons affaire à un système binaire avec l'existence de deux diagrammes d'équilibre suivant l'influence de la vitesse de refroidissement:

A) Diagramme métastable (trairs pleins)

Refroidissement assez rapide le carbone se trouve à l'état de carbure de fer ou cémentite.

Fontes blanches.

(Les 'élément tel que le Mn ou le Cr favorisent la formation de la cémentite)

B)Diagramme stable(en pointillés)

Refroidissement lent, le carbone se trouve à l'état de graphite l'alliage ne subit aucune modification sous l'action de la chaleur **fonte grise**

(Les éléments tels que le Si, Al, jouent le rôle de catalyseurs, ils favorisent la formation d'un équilibre stable)

1. Une zone liquide, au- dessus du liquidus.

2. Une zone solide, au- dessous du solidus.

3. Deux zones de transformation de liquide solide ou de solide en liquide, selon le sens de variation de la température (état pâteux).

1. Point eutectique C- lèdèburite

Point de formation bien déterminé pour:

4,3%de carbone à 1145 C.

Cette température constante est inférieure au point de fusion du métal le plus fusible. Passage de l'état liquide homogène au solide à deux composants distincts:

Austénite + cémentite

2. Point eutictoi de(perlite).

Même propriété que l'eutectique mais se forme à partir de corps solidifiés à:

721 C pour 0.83 % de carbone.

L'austénite, dont le carbone est intimement mélangé au fer y à l'intérieur même du. Cristal, se transforme par perte de chaleur en un agrégat.

Chaque grain sera composé par juxtaposition de réseaux de cristaux de fer aet de réseaux de carbure de fer (cémentite).

Transformation allotropiques de fer ***y*** en fer ***a*** à température constante.

3. 7680 C points de curie. Perte du magnétisme du fer ***a***

4. 2100 Capette du magnétisme de la cémentite.

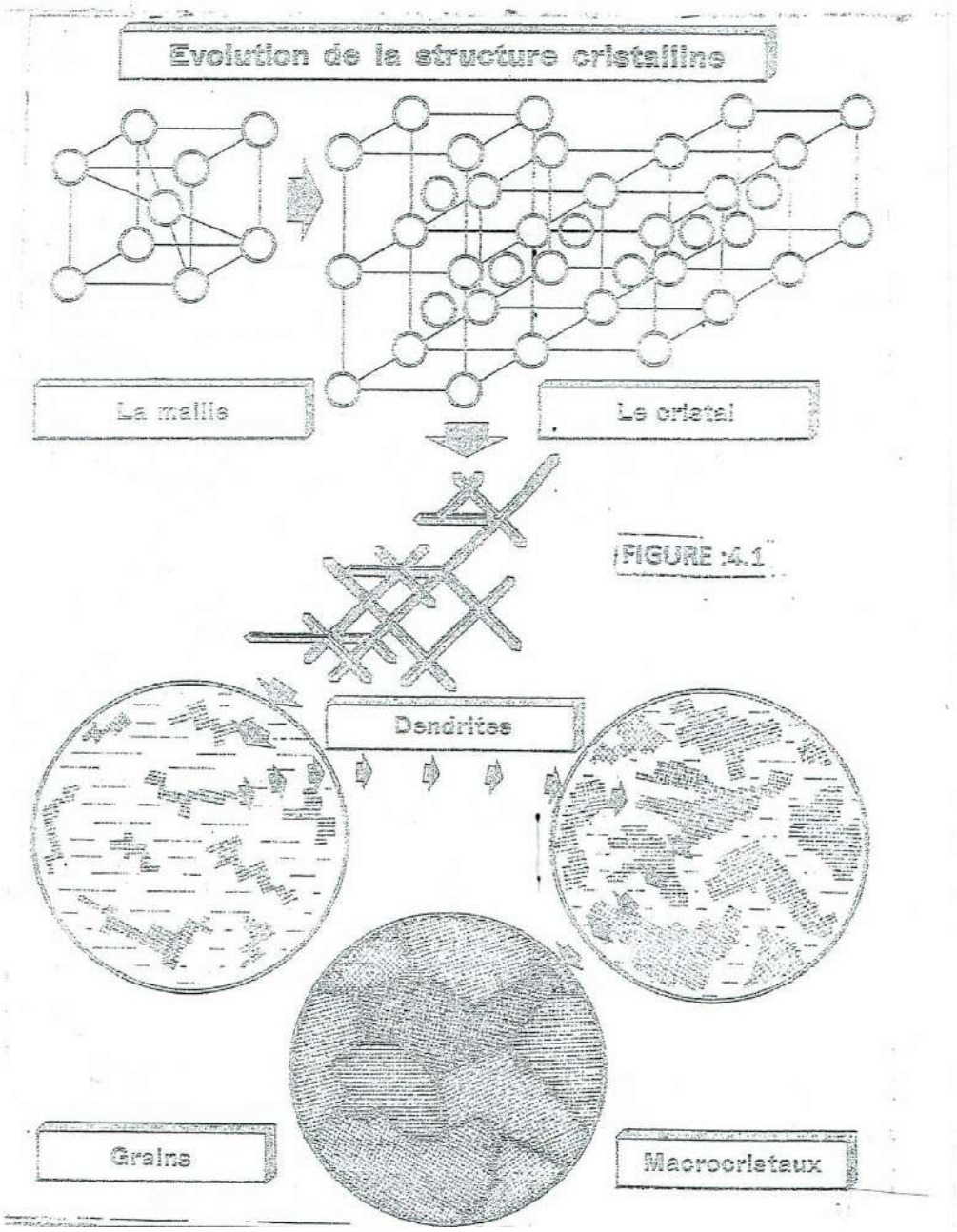

Evolution de la structure cristalline
La maille
Le cristal
Dendrites
Grains
Macrocristaux

FIGURE :4.1

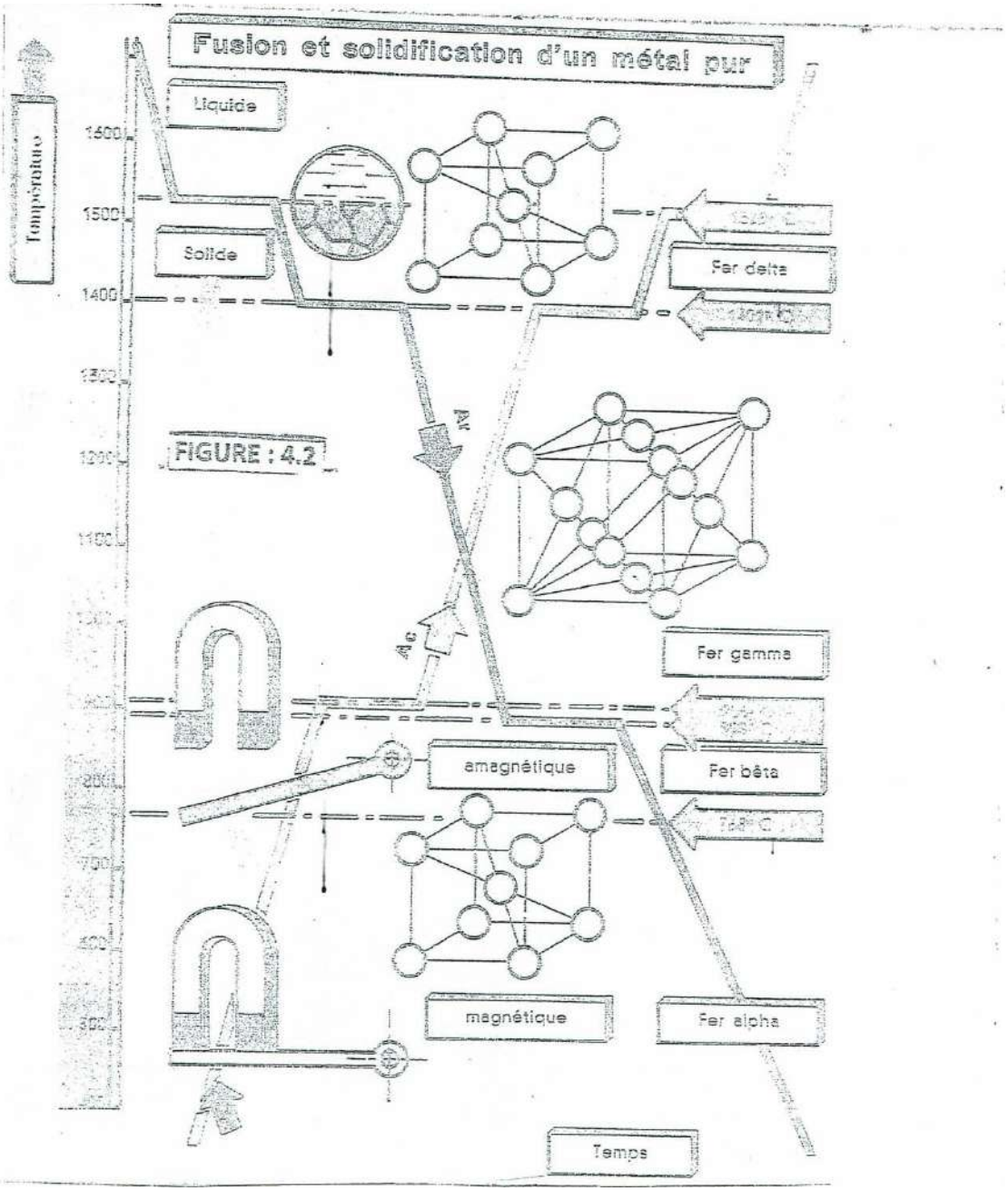

Fusion et solidification d'un métal pur
Liquide
Solide
Température
1600
1500
1400
1300
1200
1100
1000
900
800
700
600
500
Fer delta
Fer gamma
Fer bêta
Fer alpha
amagnétique
magnétique
Ar
Ac
Temps

FIGURE : 4.2

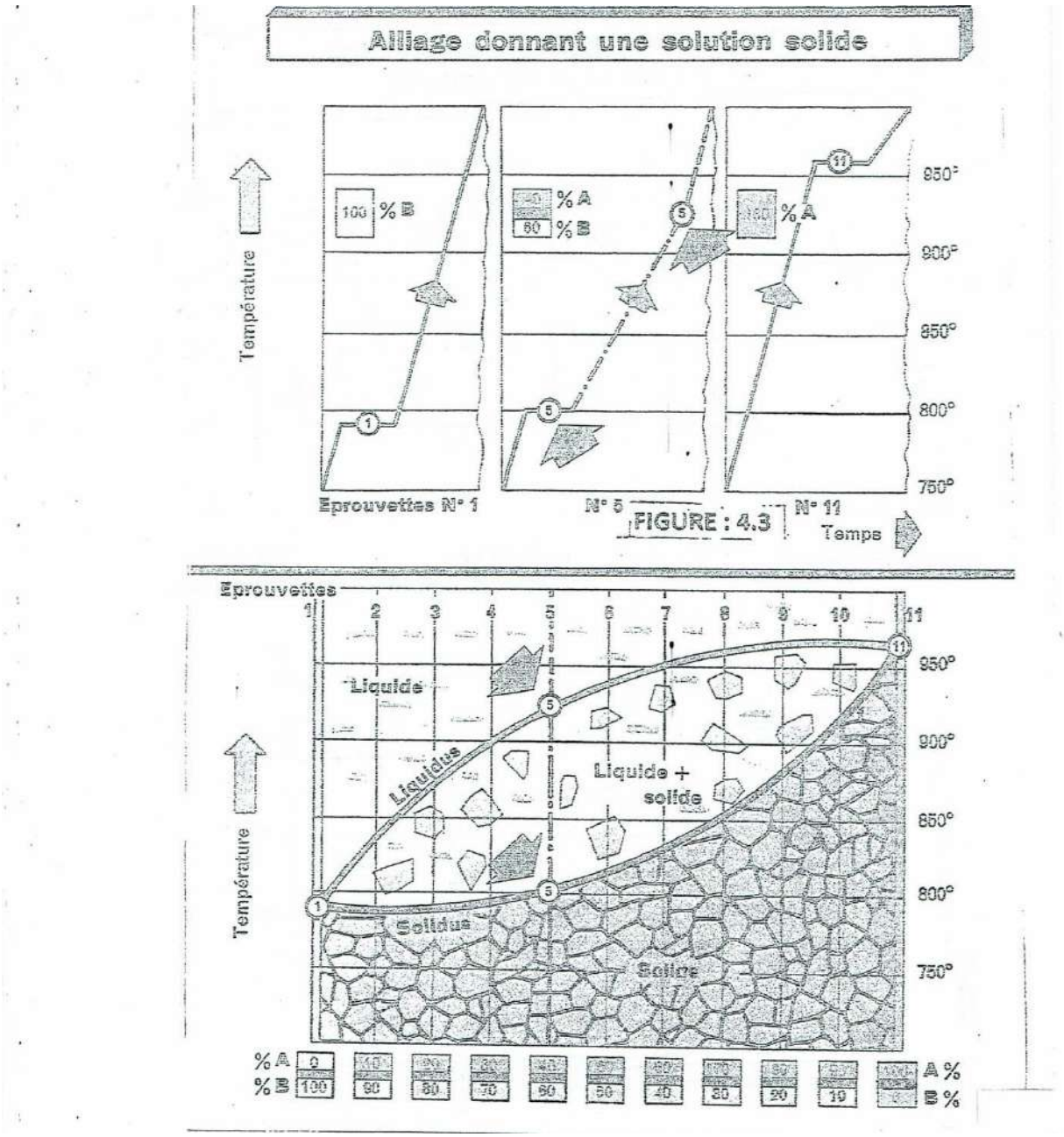

Alliage donnant une solution solide
Température
100 % B
% A
50 % B
100 % A
950°
900°
850°
800°
750°
Eprouvettes N° 1
N° 5
N° 11
Temps
Eprouvettes
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11
Liquide
Liquidus
Liquide + solide
Solidus
Solide
% A 0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100 A %
% B 100 90 80 70 60 50 40 30 20 10 0 B %

FIGURE : 4.3

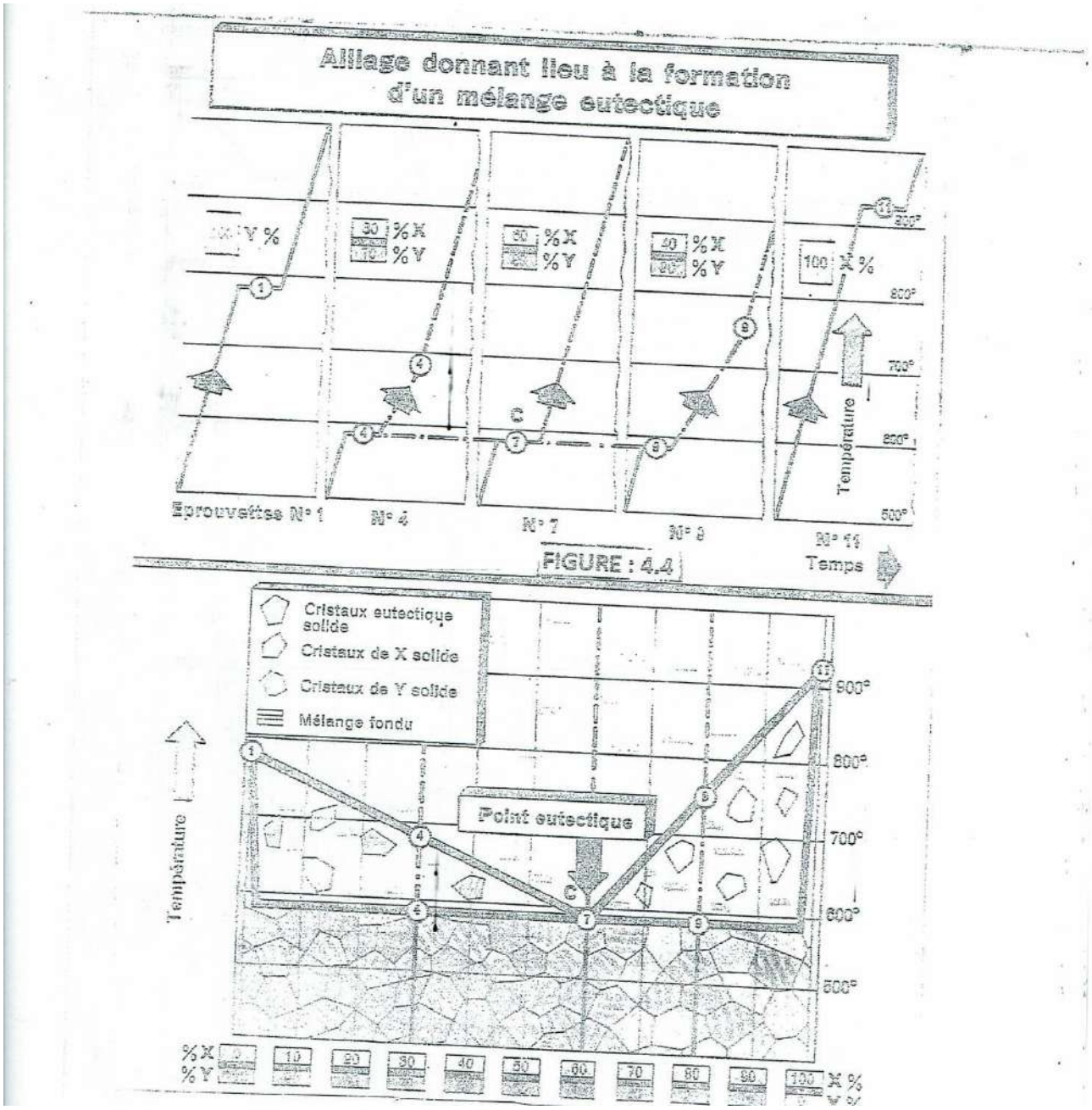

Alliage donnant lieu à la formation d'un mélange eutectique
Température
Temps
Eprouvette N° 1
N° 4
N° 7
N° 9
N° 11
Cristaux eutectique solide
Cristaux de X solide
Cristaux de Y solide
Mélange fondu
Point eutectique
900°
800°
700°
600°
500°
%X
%Y

FIGURE : 4.4

Alliage de fer-carbone

APPELLATIONS	% de carbone	COMPOSITIONS
Les aciers hypoeutectoïdes	0% à 0,83%	Grains de ferrite + grains de perlite
Les aciers eutectoïdes	0,83%	Grains de perlite
Les aciers hypereutectoïdes	0,83% à 1,7%	Grains de perlite + de la cémentite, formant un réseau autour des grains
Les fontes hypoeutectiques	1,7% à 4,3%	Perlite + cémentite + lédéburite
Les fontes eutectiques	4,3%	Les deux constituants présents, perlite et cémentite, sont juxtaposés et forment une matrice homogène.
Les fontes hypereutectiques	4,3% à 6,67%	Lédéburite + cémentite.

TABLEAU 4.1

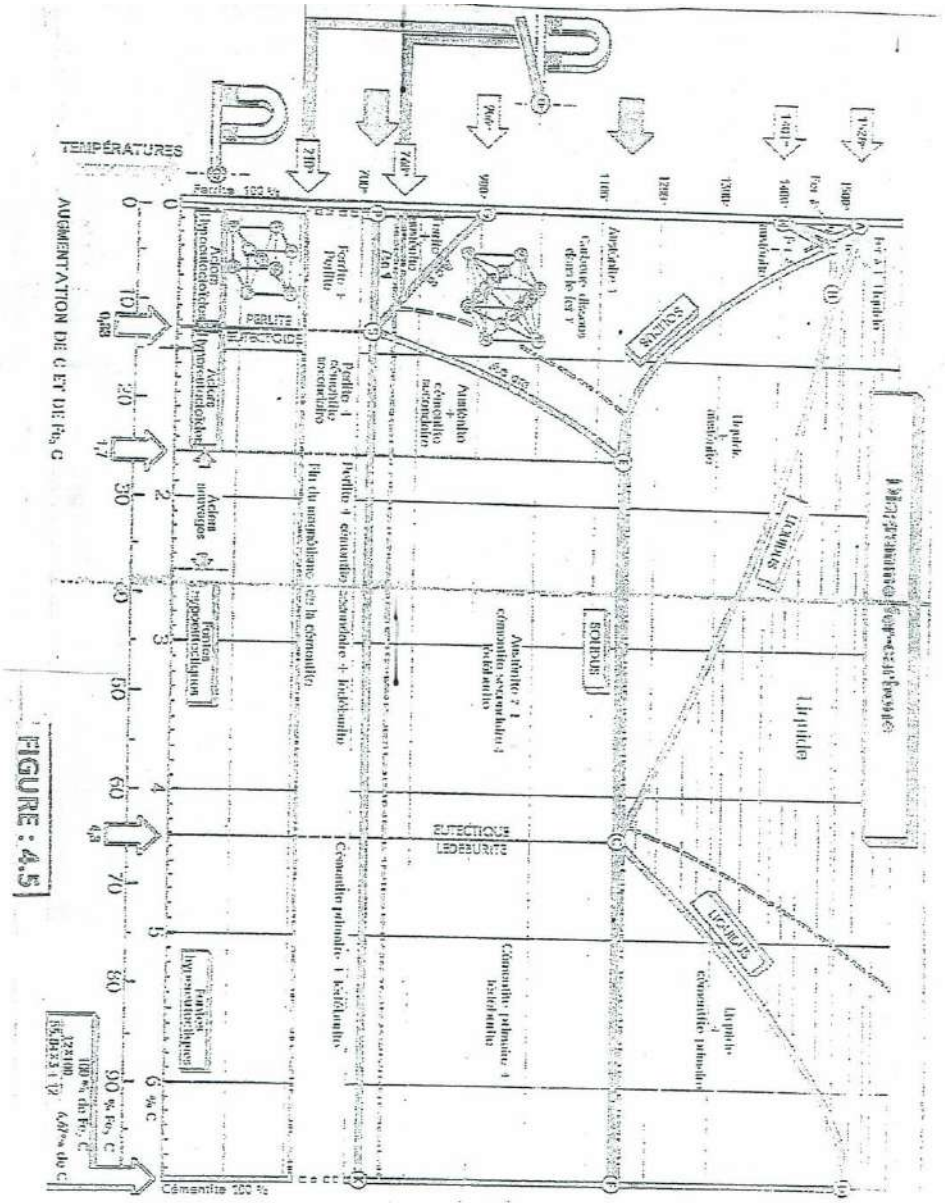

TEMPÉRATURES
AUGMENTATION DE C ET DE Fe3 C
SOLIDUS
LIQUIDUS
EUTECTIQUE LEDEBURITE
Cémentite 100 %
Cémentite 200 %

FIGURE : 4.5

CHAPITRE 5

TRAITEMENT THERMIQUE

5.Généralités

Les traitements thermiques des métaux et des alliages ont pour but de modifier les propriétés de ces corps, uniquement par variation de température.

Les catégories de traitement thermiques sont:

-La trempe

-Le revenu -les recuits

Remarque

La détermination des traitements thermiques à imposer à un métal (alinge Fe-C parex) est basée sur :

Le diagramme fer-carbone(FIG5)

Observation des points critiques du métal

Les températures de chauffe

Pour le déplacement de AC1-AC)- ACCm des aciers alliés. Temir compte de l'influence des éléments d'alliages ajoutés.

La courbe TTT(FIG:5.3)

Etude du refroidissement

Les températures de refroidissement

-Pour le déplacement des courbes TTT des aciers alliés. A l'acier au carbone.

5.1. La trempe (théorie)

Généralités

La trempe est une opération qui consiste à **refroidir brusquement** un produit métallurgique porté à une température bien définie, **afin d'en modifier les propriétés.**

Température de chauffe

Le diagramme fer-carbone avec la courbe de trempe nous indique les températures de chauffe des aciers

-eutecoides

-hypoeutectoides

-hyperentectoidés

1. Température de chauffe pour les aciers eutectoides

L'élévation de la température produit une modification de la nature des constituants.

Structure d'un acier eutecoide avant le chauffage,

- Ferrite ou fer pure cristallisé selon la variété (Alpha)

- Cémentite ou carbure de fer ,

molécules formé de 3 atomes de fer 1 atome de carbone . Magnétique.

- Des grains de perlite

Structure de chauffe après le point AC 1+50°

Des grains d'austénite :

- **Austénite** :

Solution à l'état solide du carbone dans le fer gamma, le carbone est mélangé au fer à l'intérieur même du cristal. Magnétique

2. Température de chauffe pour les aciers bypoeuctoldes

Augmentation De la température vers la gauche, pour obtenir toute la structure austénitique. Ac3+50

Remarque

Pour une température inférieure Ac3, la ferrite non transformée en austénite subsisterait après la trempe, d'o diminution de la dureté.

Important

Le minimum de carbone pour qu'un acier prenne une dureté suffisante à la trempe trouve à 0.4 % environ

3. Température de chauffe pour les aciers hpersutectoides

Même température que pour les aciers eutectoides.

Remarque

La cémentite non transformée subsiste après la trempe, mais sa dureté étant plus grande que la martensite, l'influence sur la dureté sera bénéfique.

Températures de refroidissements:

Généralités

Les structures et la dureté obtenues avec le refroidissement sont fonction de la vitesse de refroidissement.

Diagramme TTT

(Temps, température, transformation)

Le diagramme donne les structures ou les phases de transformation que subit l'austénite refroidie à des températures différentes, en dessous de 721', en fonction du temps.

Pour observer les réaction, 5 éprouvette d'acier eutecoide sont chauffées à la température de trempe, 50 au-dessus de Acl, puis refroidies à des températures différentes.

Interprétation du diagramme TTT (FIGURE: 5.4)

A-Structures obtenues par le refroidissement:

Superposons au diagramme TTT diverses courbes de refroidissement continu, eau, huile, air ou dans un four.

On. Admet qu'aux points o la courbe de refroidissement continu rencontre la courbe en S, l'échantillon ou la pièce se trouve dans le même état que s'il avait été brusquement refroidi é la température ou commence la transformation parité ou bainine

Remarque

La vitesse critique de trempe correspond à la courbe de refroidissement tangente à la courbe en S dans sa partie supérieure.

B-Trempe étagée martensitique

La trempe est effectuée dans un bain chaud, d'une température aussi voisine de Ms, et maintenue un certain temps pour être suivie d'un refroidissement & l'air

Remarque

Le bain de trempe doit être capable d'absorber la chaleur assez rapidement

C-Trempe étagée bainitique

La pièce est maintenue un certain temps dans un bain chaud d'une température comprise entre Ms et 450 puis refroidie à l'air.

Remarque

La trempe bain tique donne aux pièces une dureté de 42 à 55 HRC, mais améliore les qualités de résistance et d'allongement.

D-choix du meilleur de refroidissement:

Le meilleur choix sera la trempe à l'huile.

5.1.La trempe(pratique) :(FIGURE :5.5)

La pleine réussite de la trempe dépend des conditions suivantes:

-Observation exacte des températures de trempe et du moyen de refroidissement, prescrites par les aciéries.

-Utilisation de four permettant un chauffage uniforme, ainsi que des appareils très précis pour le contrôle de la température.

-ne devant pas prendre laj

-Il est avantageux de protéger les alésages et autres parties trempe, par une couche d'argile, d'amiante ou de pâte d'isolation du commerce.

Chauffage

Pour amener les pièces à la température de trempe, on procède de la façon suivant

1Une préchauffe

Les pièces sont chauffées lentement et progressivement jusqu'à

600à 650 pour les aciers au carbone; 800 pour les aciers rapides

Remarque

Ne jamais mettre les pièces froides dans un four très chaud.

Le charbon de bois en grain préparé spécialement ou le coke calciné et pilé donnent de bons résultats.

Refroidissement:

La vitesse de refroidissement dépend d'un grand nombre de facteurs:

I. Influence da bain de trempe

La nature du bain de trempe a une action sur la vitesse de refroidissement

-Pour la trempe vive, l'eau. Une addition de 10 % de sel de cuisine augmente encore l'effet de refroidissement

-Pour la trempe douce, l'huile et l'air soufflé.

-Pour la trempe au bain chaud, un bain de sel.

2. Température des bains de trempe,

20à 30 pour l'eau. Dès que la température de l'eau dépasse 30, la trempe devient irrégulière

50 environ, pour l'huile. Avec cette température, on obtient un meilleur effet de refroidissement.

Remarque

Un bac de trempe doit être conçu de façon à assure le maintien à température. constante du liquide, surtout s'il s'agit d'un traitement thermique exécuté en série. Ce résultat s'obtient:

1. En donnant au bac la plus grande capacité possible.

2. En prévoyant un système de réfrigération.

3. Un renouvellement du liquide, s'il s'agit de l'eau

3.Agitation du bain ou de la pièce

L'agitation du bain par un dispositif convenable où de la pièce dans le bain favorise l'échange de chaleur, on assure une répartition identique du liquide sur toute la surface de la pièce.

4, Le volume du hain de trempe

L'augmentation du volume du bain limite évidemment l'élévation de sa température, donc favorise le refroidissement

4. Présentation des pièces au bain de trempe

A la sortie du four on plonge les pièces **immédiatement** dans le bain suivant les conditions:

-Les pièces longues seront trempées verticalement:

Les pièces à sections irrégulières seront immergées de façon à présenter la plus grosse partie au contact du liquide.

Forme des pièces

Les pièces qui seront trempées ne doivent pas avoir des différences de section trop brusques, ni des traces de tournage, celle-ci comme également les marques de poinçons provoquant très souvent de fortes tensions qui peuvent être la cnuse de fissures au moment de la trempe.

II faut éviter autant que possible les différences de section trop brusques et les remplacer par un léger arrondi.

Ces défauts d'usinage sont cause de ruptures prématurées d'outils soumis aux chocs ou vibration.

Surépaisseurs

Après forgeage et recuit, la surface de l'acier est recouverte d'un couche de calamine rugueuse, présentant même une certaine décarburation.

Afin d'obtenir une surface parfaitement saine et présentant la pleine dureté, ainsi que pour éviter les fissures de trempe, il faut usiner la pièce sur toutes ses faces.

Il est nécessaire, lors de la commande, de prévoir les surplus de dimension pour l'usinage, comme indiqué ci-après, environ 5 % des mesures finies:

Mesures finies mm	Surépaisseurs en général mm	Surépaisseurs pour acier de nitruration
6-16	2	3
17-25	3	4
26-40	3	5
14-63	4	6
64-80	5	7
81-100	6	10
101-125	7	7
126-160	9	15
161-200	11	18
201-250	13	21
251-315	16	25
316-400	20	-
401-500	25	-

Modification des caractéristiques mécaniques du métal

Un tel traitement modifie très sensiblement les caractéristiques suivantes:

-la résistance à la traction a augmenté

-la contrainte de la limite élastique a augmenté

-la dureté II R Ca augmenté

-la résistance à l'usure a augment

-l'allongement a diminué

-la résilience a diminué

5.2.Le revenu (théorie) FIGURE 5.7)

Après la trempe, l'acier est extrêmement dur et fragile**, il ne pourrait en aucun cas servir aux emplois auxquels il était destiné.**

But

Le but du revenu est de diminuer les effets de la trempe, et d'atténuer ou de faire disparaitre les tensions internes par les traitements thermique suivants:

-un chauffage entre 100 et 650

–maintenir cette température

-un refroidissement, en général à l'air

Nouvelle structure: LA SORBITE

Pendant le chauffage la martensite, solution solide de carbone dans le fer alpha, est transformé en un constituant nouveau, **la sorbite,** agrégat de fer et de carbure de fer (Cémentite) analogue à la troostite.

Le grain de sorbite est constitué de lamelles très minces de carbure de fer, disposées entre les couche très fines de fer.

La sorbite est presque aussi dure que la martensite mais beaucoup moins fragile.

Diminution de la dureté avee l'augmentation de la température

Un acier trempé qu'on chauffe à moins de 150 ne subit aucune diminution sensible de sa dureté.

Si l'on propose d'augmenter la ténacité d'un manière plus prononcée et en conséquence d'obtenir une dureté plus faible, on déterminera la température

Adéquate en se servant **du diagramme de revenu correspondant à l'acier dont il**

5.2 Le revenu (pratique):

Vu la nécessité d'u contrôle rigoureux de la température. l'emploi de fours de revenu spéciaux est à recommander.

Chauffage

La chauffage se fera lentement jusqu'à la température de revenu

- On se sert avantageusement pour le revenu:
- -soit d'un four à circulation d'air
- -soit d'in liquide
- Bain d'huile
- Bain de sels
- Bain d'eau

Durée de revenu

Suivant les expériences, le plein effet du revenu ne peut être réalité que Si la durée a été suffisante.

Elle sera d'une demi-heure et jusqu'à deux heures pour 10 mm de matière.

Pour les températures basses, on choisira les durées de revenu plus longues que pour les températures hautes.

Refroidissement

Le refroidissement est exécuté généralement à l'air.

Un refroidissement trop rapide peut provoquer de nouvelles contraintes.

Revenu à la couleur

A défaut d'appareils de mesure, on peut juger de la température de revenu d'une pièce d'après la couleur que prend sa surface préalablement blanchie à la toile abrasive.

Remarque

Pour les aciers fortement alliés, il faut tenir compte du fait que les couleurs de revenu apparaissent à des températures supérieures, observées pour les autres aciers.

Cette méthode empirique, qui est fonction de l'épaisseur de la couche d'oxyde, de l'éclairage de l'atelier et de l'eil de l'opérateur ne peut donner de résultats précis et constants.

5.3 Le traitement thermique de l'acier rapide(FIGURE: 5.8)

Important

Le traitement thermique correct des outils en acier rapide est aussi important que l'élaboration de l'acier lui-même.

Analyse

L'analyse chimique montre qu'il renferment, indépendamment du fer, les éléments suivants :

Carbone :

Forme des carbures, augmente la résistance à l'usure, détermine la dureté de la masse de fond (matrice).

11 Tungstène o molybdène :

Forme des carbures spéciaux très durs, améliore la dureté à chaud, la résistance au revenu et à chaud de la matrice.

Vanadium: Forme des carbure tris durs, augmente la résistance à l'usure à chaud, la résistance au revenu et la dureté à chaud de la masse de fond.

Chrome: assure la pénétration de trempe et forme des carbures facilement solubles.

Cobalt: ne forme pas de carbures mais reste dissous dans la masse, augmente la dureté à chaud et la résistance au revenu de la matrice.

5.3.1. Trempe (Températures très élevées)

Pour que la martensite atteigne par la trempe pleine dureté, il faut que l'austénite absorbe dans la zone de la température de trempe, suffisamment de carbone, de tungstène, de molybdène et de vanadium.

La dissolution des carbures précipite les pourcentages d'alliages nécessaires Les quantités requises des carbures ne pouvant être dissoutes qu'à des températures très élevées, 1180 à 1320 (suivant la masse de l'acier).

Structure

La structure de l'acier rapide trempé se compose d'environ 70% de martensite, 20N d'austénite résiduelle et 10% de carbures non dissous

Dureté (après la trempe)

La dureté après trempe se situe à peu prés à 61-63 HRC.

5.3.2. Revenu

Important

On obtient également, par le revenu, pour cette catégories d'aciers une certaine détente, mais le but principal de l'opération n'est **pas une diminution, mais** une **augmentation de la dureté et de la résistance à l'usure**.

Austénite résiduelle

On trouve toujours, dans ces catégoriques d'aciers à l'état trempé, la présence, à coté de In martensite, de l'austénite résiduelle, quantité variant selon la température de en trempe et le mode de refroidissement employé.

Par le chauffage du revenu, 580 à 600, on arrive à détendre la martensite,

et lors du refroidissement qui suit cette opération, une partie de l'austénite résiduelle se transforme à son tour en martensite.

Double revenu

Comme cette martensite nouvellement constituée n'a pas encore été s0oumise au revenu, elle est très fragile, il est donc nécessaire de procéder à un deuxième revenu, dont la température sera environ la même.

Augmentation de la dureté

le deuxième revenu sert avant tout à détendre la nouvelle martensite, mais il opère en même temps une nouvelle transformation en martensite d'une petite partie du solde d'austénite résiduelle

Remarque

La dureté étant fonction de la quantité de martensite, on comprend donc l'augmentation de la dureté,

Structure:

La structure d'un acier rapide correctement traité se compose de martensite revenue, de carbure spéciaux (ledeburitiques) et de moins de 8% d'austénite résiduelle.

Le revenu améliore aussi la ténacité

5.13 Nitruratientau bain):

Le traitement confère aux surfaces une résistance à l'urge particulièrement élevée.

La dureté de coupe des outils peut être augmentée de 10% et même avantage.

Remarques

L'avantage de la nitruration ne se manifestera pleinement que si les outils en acier rapide sont nitrurés après avoir été trempés, revenus et finis à la meule.

5.4. Les recuits (FIGURE:5.9)

Généralités:

Tout pièce compliquée, ayant obtenu sa forme définitive par un façonnage à chaud, nécessite avant I 'usinage un recuit

En général, on ne tient pas assez compte que le fraisage Je tournage ou le rabotage provoquent également des tensions dans l'acier Ces tensions peuvent être à l'origine de déformations et de fissures au moment de la trempe.

Décarburation

La décarburation en cours de chauffage s'évite, si l'on empêche tout contact entre l'acier et l'oxygène, **par une atmosphère neutre**, ou en enfouissant les pièces dans **des caisses remplier de copeaux de fonte**

5.4.1Recuit de normalisation N :

Les aciers de moins de 1 % de carbone (acier de construction) sont le plus souvent soumis au recuit de normalisation.

Température de chauffage:

L'opération consiste à chauffer l'acier juste au-dessus du point Ac_3 transfomation de la structure en austénite

L'acier est maintenu à cette température juste quelques minutes

Refroidissement

Le refroidissement s'effectue à l'air libre.

5.4.2. Recuit doux G:

Avec le recuit doux on transforme les plaques de cémentite dans la perlite et le réseau de cémentite en excès de telle façon qu'il adopte la forme de boule appelée **cémentite sphéroidiser**

Remarque

Le recuit doux ordinaire ne se pratique pas pour les acier de moins de 0,4 % de carbone.

But

Bonne structure pour l'usinage et très favorable pour la trempe

L'acier est plus doux et plus malléable perte de la tension interne, occasionnées par le travail à chaud.

Recuit doux de l'acier hypoeutectoide

Température de chauffage

L'acier est chauffé à une température à peine au-dessus du point Ac1,et laissé oscille autour de ce point pendent une durée de trois à quatre heures.

Refroidissement

Laisser refroidir lentement dans le four, à une vitesse de 20 à 30° par heure, jusqu'à 600 environ puis continuer le refroidissement à l'air libre.

Recuit doux de l'acier hyperentectoidé

II importe non seulement de transformer la perlite-cémentite en forme de boule, mais de sphéroidiser 1'excèdent de cémentite

Température de chauffage

La température du recuit est liée avec la teneur en carbone, donc augmentation de carbone augmentation de température

Le maintien de la température est de deux à quatre heures

Refroidissement

Laisser refroidir lentement dans le four à la vitesse de 20par heure, jusqu'à la température de 600°

Le refroidissement peut se poursuivre à l'air libre sans inconvénient.

5.4.3, Recuit de stabilisation ou recuit intermédiaire

Ce recuit n'a pas pour but de modifier la structure de l'acier ni d'en atténuer la dureté.

Température de chauffage

L'acier est chauffé à une température de 550à650 pendent une demi-heure à deux heure.

Refroidissement

On laissera refroidir lentement dans le four même.

But

Eliminer les tensions internes après le soudage ou celles d'un travail préliminaire à chaud ou à froid

5.5.les durcissements des surface

But

Dans de nombreux cas une pièce finie doit avoir non seulement une dureté égale à l'acier trempé .**mais une bonne résilience.**

Elle doit être de composition **hétérogène**.

-L'intérieur, en acier doux, assure la résilience désirée.

-L'extérieur, en acier dur, permet d'obtenir la dureté recherchée.

Les méthodes les plus importantes de durcissement superficiel pour les pièces ayant leur forme définitive sont:

-la cémentation

- la nitruration

-la trempe superficielle (induction ou à la flamme)

5.5.1. Cémentation,

La cémentation est un traitement qui permet, sous l'effet de la chaleur, **d'introduire du carbone à l'acier doux** et former une couche extérieure plus ou moins profonde, de 0,2 à plusieurs millimètres, apte à prendre la trempe.

La cémentation comporte donc deux phases successives:

1. Cémentation proprement dite (Carburation)

2. Traitements thermiques (trempe, revenu)

5.5.1.1 Cémentation proprement dite

Principe

Pour enrichir en carbone la surface de la pièce, on dispose celle-ci au sein d'un milieu, **appelé cément**, susceptible de lui céder du carbone.

Le tout porté à une certaine température

Remarque

Quel que soit l'état physique du cément, le carbone est apporté à l'acier par l'intermédiaire de se dissout gaz carboniques qui,. au contact du fer, se décomposent en libérant le carbone qui dans le métal.

La température, 815 à 930 environ.

Le diagramme d'équilibre des alliages fer-carbone montre que la solubilité du carbone, pratiquement nulle dans le fer (alpha) devient relativement grande dans le fer (gamma) passant de 0,83% pour une température de 721° &1,7% pour une température de 1145°

Remarque

Il est donc nécessaire de chauffer au-dessus du point de transformation Ae3 de l'acier à cémenter pour permettre **la dissolution du carbone parle fer (gamma).**

Epaisseur de la couche cémentés

0,2 à plusieurs millimètres

L'épaisseur a un rapport avec la fonction, mais au maximum1/10 de l'épaisseur de la pièce. Pour des pièces subissant une usure, l'épaisseur sera plus grande que pour des pièces supportant des chocs.

La profondeur de pénétration et la teneur en carbone dépendent:

-de la température

-du cément utilisé

-de la durée de l'opération

La teneur en carbone (FIGURES :10)

La couche cémentée présente dans son épaisseur toutes les nuances d'aciers correspondant à Enter la variation de la teneur en carbone en surface, de 0.8%à 1 % .A la teneur en carbone de l'acier de cémentation, 0,2 %.

Epaisseur utile de cémentation

Les deux tiers de la couche cémentée.

L'épaisseur utile de la couche recarburée est comptée à partir d'une teneur voisine de 0,4 %de carbone.

Vitesse de pénétration du carbone: (FIGURE: 5, 11)

La couche cémentée ne croit pas de façon linéaire avec le temps, mais rapidement au début i puis de plus en plus lentement avec l'augmentation de la durée de la carburation.

Protection des parties ne devant pas être cémentées:

On peut protéger les parties par les moyens suivants:

- cuivrage électrolytique

une surépaisseur de matière qu'on aura soin d'enlever après la cémentation, c'est-à-dire avant la trempe.

Les céments

Le bon cément doit avoir M

- un effet constant de carburation

- une composition parfaitement définie.

- le pouvoir d'être utilisé un grand nombre de fois.

Pratique des opérations (FIGURE:5, 12):

Les pièces doivent présenter, avant la cémentation, des surfaces métalliques absolument propres et exemptes de graisse.

5.5.1.1.1. Cémentation solide A:

1-les pièces sont disposées dans de 6 boîtes de façon à ménager entre elles et les parois une épaisseur de cément de 10 à 20 mm

Les boites sont fermées avec un couvercle et les joints rendus étanches avec de l'argile. On évite ainsi la combustion du cément.

2-les boites sont disposées dans un four et chauffées à la température de cémentation pendant le temps nécessaire.

Remarque

Les boites sont choisies de dimensions aussi petites que possible de façon à permettre une répartition uniforme et rapide de la température de chauffe et de refroidissement.

Dans le cas de grosses pièces, on emploie des boites individuelles.

3-contrôle

Les éprouvettes de même acier que les pièces pénètrent dans les boites par une ouverture, permettant de contrôler la cémentation au cours de l'opération.

Elles sont probablement sciées à moitié et, sont cassées après cémentation et trempe.

4-généralement on laisse les pièces se refroidir dans les caisses, le tout à l'air.

L'extraction des pièces de leurs boites, lorsqu'elles sont encore à haute température, provoque par combustion une perte importante de cément et ne permet pas d'obtenir un traitement thermique précis.

5.5.1.1.2 cémentation liquide B:

Lorsque le bain de sels métalliques est fondu à la température de cémentation, on immerge les pièces fixées par un fil de fer

Les pièces peuvent être aussi disposées en vrac dans des paniers en tôle perforée

Avantages

La chauffe est plus régulière ,la température du bain est contrôlée par une canne pyrométrique.

La décarburation des pièces à la sortie du bain est éliminée par une légère couche de sel sir les surfaces.

La trempe peut être effectuée à la sortie du bain.

Remarque

Les pièces introduites dans le bain doivent être bien sèches, afin d'éviter toute projection de sel.

5.51.1.3 Cémentation gazeuse C:

Les pièces, disposées dans un moufle en acier réfractaire chauffé de l'extérieur, sont entourées d'un mélange gazeux, carburant, bien défini, stable et renouvelé par circulation.

avenage

Les conditions de carburation peuvent être réglées à volonté, par un dosage approprié de l’activeur. Les pièces cémentées restent propres une cémentation plus rapide.

5.5.1.4. cémentation rapide (FIGURE: 5, 13):

Le ferrocyanure, vendu sous le nom de prussiate, est utilisé comme cément brusque lorsqu'on désire obtenir rapidement une couche très dure de quelques 1/100 de mm sur un organe de machine (vis, rondelles, etc.)

Mode opératoire:

on chauffe les pièce au -dessus du point Ac3, puis, par intervalle, on plonge les pièces dans le cément et on les réchauffe pour finalement les tremper dans l'eau.

5.5.1.2 traitement thermiques:

Trempe A:

On refroidit les pièces dans la caisse après la carburation, de façon que l'austénite se transforme complètement en perlite/ferrite.

On les réchauffe ensuite à la température de trempe désirée, pour les plonger dans un réfrigérant.

Remarque

II est possible d'effectuer des opérations d'usinage avant la trempe.

Trempe BC:

Les nièces sont immédiatement trempées à la fin de la carburation. Suivant les cas, on pourra abaisser la température de trempe Ac3+50° du pourcentage de carbone de la couche cémentée.

Les réfrigérants

Le refroidissement peut être effectué:

-dans l'eau

-dans l'huile

-au bain chaud avec refroidissement final à l'air.

Remarque

Le choix du cément et le moyen de refroidissement sont en rapport avec l'acier employé.

Revenu:

Les pièces cémentées sont habituellement soumises à un traitement de revenu entre:

150° et 180°pour les aciers non alliés

160°et 210° pour les aciers alliés

Remarque

Un revenu améliore la rectification et diminue la sensibilité des pièces cémentées aux fissures de meulage.

5.5.2. Nitruration

Le but de la nitruration est de durcir superficiellement l'acier, par l'action de l'azote.

Principe

La nitruration consiste à soumettre l'acier, chauffé à certaine température, à l'action d'un courant d'ammoniac gazeux.

Le gaz ammoniac (NH3) réagit avec la surface de l'acier (catalyseur) pour former de l'azote naissant, qui pénètre dans la surface de l'acier alpha et l'hydrogène (H) est libère.

Température: 500° à 525° environ.

Le point cutectoide de l'alliage fer/azote se trouve, pour un taux d'azote de 2,3 % à un température de 590°. Aux températures plus élevées apparaissent des combinaisons Fe/N appelées nitrures, très fragiles et par conséquent absolument pas souhaitables.

Les températures sont donc situées au- dessous de cette température critique.

Dureté HV entre 1000-1200

L'influence de l'azote sur les propriétés mécaniques des aciers ordinaires est relativement peu marquée.

Cet accroissement de dureté ne peut être attribué qu'aux aciers alliés Cr Al Mo, par la formation de nitrures AIN ou CrN, qui, insolubles dans le fer alpha, s'insèrent dans le réseau cristallin.

La finesse de cette répartition entraine le blocage de presque tous les plans de glissement, d'où augmentation de la dureté.

Le Mo a le rôle d'empêcher les fragilités du revenu, particulièrement à craindre aux températures da nitruration.

Remarque

Le déroulement de la nitruration est accompagné d'une augmentation de volume de 2/100 de mm environ.

Fragilités:

Il faut agir avec les plus grandes précautions lors du transport et du stockage des pièces nitrurées.

La moindre choc fait courir le risque de fissure dans la couche nitrurée.

Il ne faut travailler qu'avec des marteaux de bois ou de caoutchouc lors du montage.

Profondeur

0,8 mm au maximum. Voir diagramme (FIGURE:5.14)

Durée de l'opération diagramme (FIGURE :5. 14)

Avantages

-On laisse refroidir les pièces dans le four.

- la déformation est nulle

-la couche nitrurée présente une certaine résistance à la corrosion

-bonne résistance à la fatigue

-propriétés excellentes de glissement

-grande résistance à l'usure

-la couche nitrurée conserve sa dureté jusqu'à 500° environ.

-amélioration de la résistance à l'usure des outils en acier rapide, nitrurée après la trempe et le revenu.

Pratique des opérations: (FIGURE :5. 14)

Préparation des pièces:

A. Ebaucher les pièces

B. Traitements thermiques

Trempe à l'huile, 870-900°

Revenu à l'air ,508-650°

Le revenu doit avoir une température supérieure à celle de la nitruration, pour éviter une modification des propriétés mécaniques au cours de l'opération

C. Achèvement de l'usinage:

D. nitruration gazeuse:

Les pièces sont nettoyées et dégraissées par un lavage aux ultrasons dans du tri-ou du perchlorèthylène.

Dans une cuve en tôle d'acier fortement allié, au Cr-Ni, résistante à la température et à la nitruration., les pièces sont disposées sur des grilles.

-la cuve est fermée par un couvercle, boulonné avec un joint, pour assurer une étanchéité parfaite.

-les fours utilisés sont généralement des fours électriques fortement calorifugés et munis d'un bon dispositif de régulation de la température

-le gaz ammoniac comprimé est amené à l'aide d'une bouteille

-il faut avoir environ 97 %de gaz ammoniac dans la cuve avant d'augmenter la température.

-après le temps nécessaire, on laisse refroidir jusqu'à 100° environ, avant d'enlever les pièces.

Important:

Il ne faut en aucun cas laisser entrer de l'air ou de l'oxygène pour le refroidissement, il se formerait un gaz tonnant.

Nitruration liquide:

L'opération de nitruration peut être aussi effectuée dans bains de sels nitrurant.

E. Rectification éventuelle

De quelques centièmes de millimètre- rodage

F. Contrôle de la dureté HY

Remarque

Suivre les indications des fournisseurs pour chaque cas particulier.

Protection

La protection de certaines parties des pièces contre la nitruration s'obtient par étamage ou badigeonnage à I ‘aide d'un pinceau avec pâte formée de suif, de résine, de poudre d'étain et de plomb.

5.6. essais de trempabilité « jominy» (FIGURE: 5. 15)

Généralités

Une éprouvette prélevée dans l'acier à examiner est portée à la température de Trempe, puis refroidie à sa base par un jet d'eau.

La dureté enregistrée sur l'extrémité refroidie et le long d'une génératrice de l'éprouvette permet de contrôler la trempabilité de l'acier.

Eprouvette:

Un recuit de normalisation st nécessaire avant la trempe (la dureté est influencée par la grosseur du grain).

Température de trempe:

On chauffe l'éprouvette à l'abri de l'air (oxygène), en évitant toute décarburation, pendant trente à quarante minutes pour atteindre la température de trempe (Ac3+50°C) que l'on 24 maintient pendant vingt minutes.

Refroidissement

On règle le jet d'eau de manière qu'il monte librement (sans éprouvette) à 65 mm de l'orifice du jet de diamètre 12 mm.

Le jet d'eau est commandé par un robinet à fermeture et ouverture instantanées de façon que ce dernier frappe aussitôt toute la surface de la base de l'éprouvette.

Essais de dureté

L'éprouvette trempée est meulée sur 0,4mm de profondeur, en vue de former deux méplats à 180°, avec une meule abondamment arrosée afin d'éviter tout échauffement.

La dureté est exprimée en unité HRC, mais on peut utiliser HV.

Courbes de trempabilité(FIGURE :5.15)

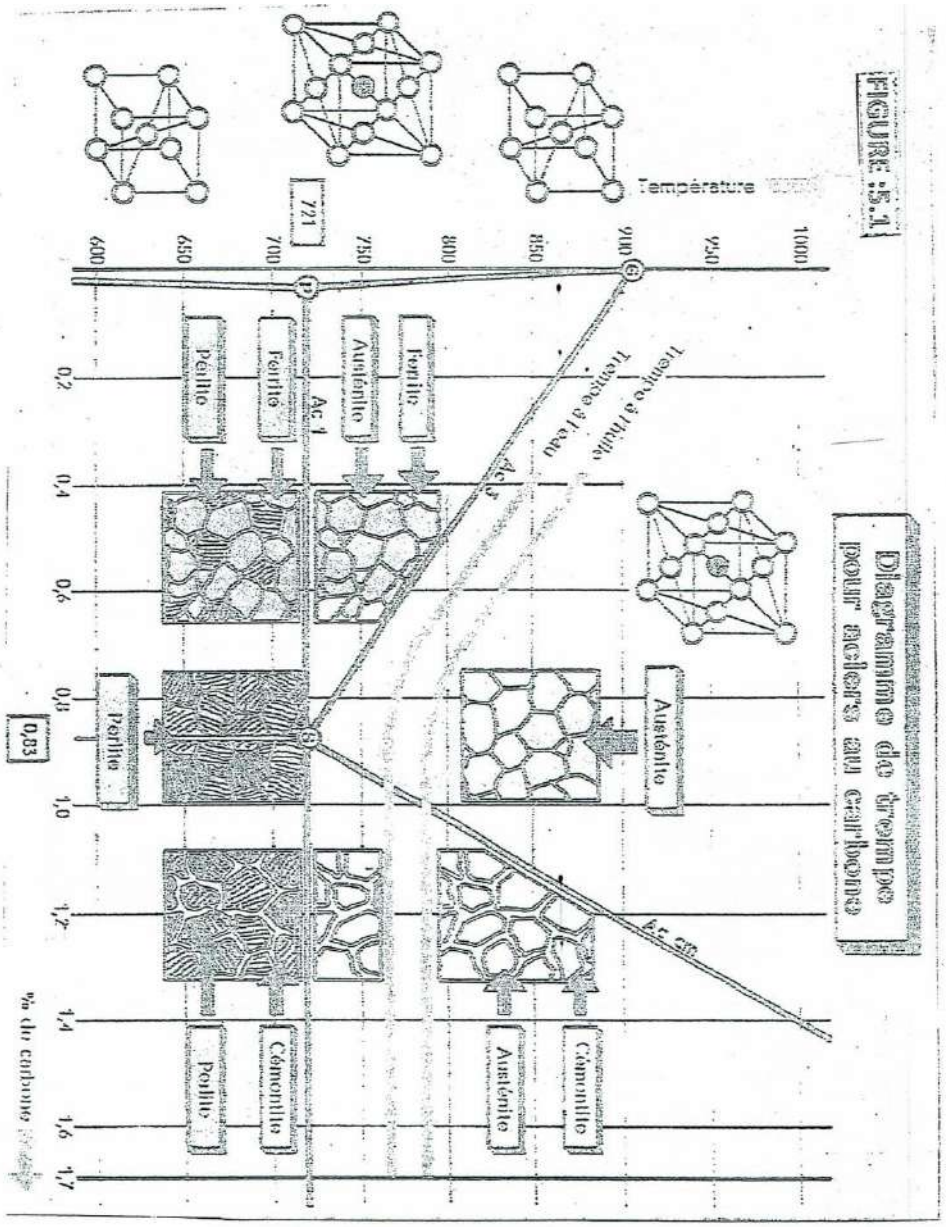
L'éprouvette est soumise à une série de mesures de dureté tous les 1,5 à 2 mm depuis la surface trempée, sur les premiers 25mm.

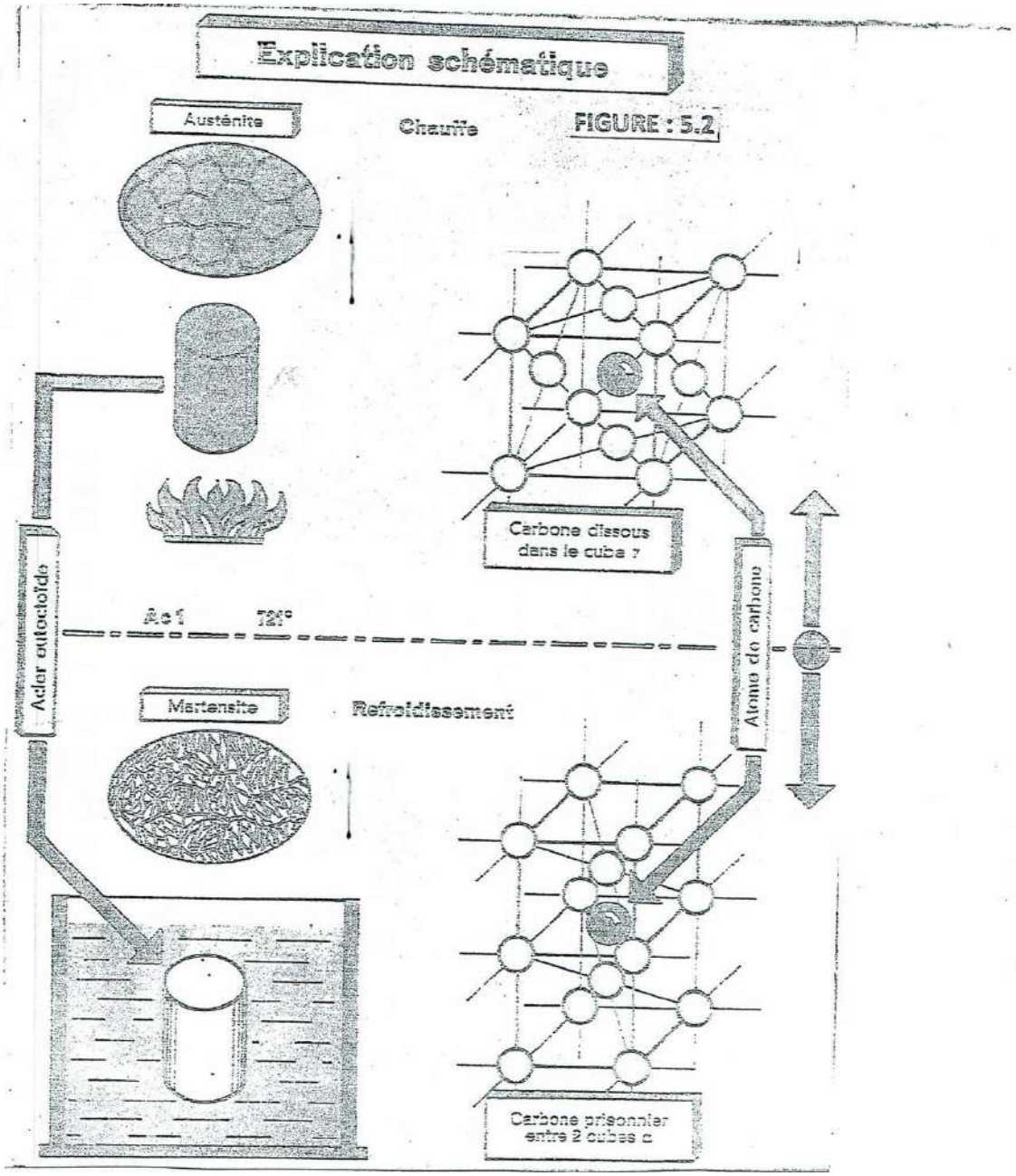
Les autres mesures sont faites à des intervalles suffisants pour permettre le tracé de la courbe de dureté sur le diagramme.

Remarques

Les courbes jominy sont utilisées comme essai rapide pour qualifier la trempabilité en comparant la courbe obtenue avec des courbes relatives à des aciers connus.

Elles permettent de déterminer la dureté réalisable à différentes vitesses de refroidissement allant de la trempe rapide à l'eau jusqu'à la trempe lente à l'air.


FIGURE : 5.1
Diagramme du traitement pour aciers au carbone
Température
600
650
700
721
750
800
850
910
950
1000
0,2
0,4
0,6
0,8
0,83
1,0
1,2
1,4
1,6
1,7
Perlite
Ferrite
Austénite
Ferrite
Austénite
Perlite
Cémentite
Austénite
Cémentite
Perlite
Ac 1
Ac 3
Ac cm
Trempe à l'huile
Trempe à l'eau
% de carbone


Explication schématique
Austénite
Chauffe
FIGURE : 5.2
Carbone dissous dans le cube γ
Acier entièrement
Ac 1
721°
Martensite
Refroidissement
Atome de carbone
Carbone prisonnier entre 2 cubes α

Essais	Température maintenue de refroidissement subite	Temps de l'austénite	Temps total nécessaire à la transformation de l'austénite	Structure obtenue Dureté
Phase perlitique. Le carbone se sépare du cristal gamma.				
N° 1	700°	240 sec.	3600 sec.	Perlite lamellaire HB 250 à 300
N° 2	650°	10 sec.	65 sec.	Perlite à fines lamelles. HB 300
N° 3	550°	moins de 1 sec.	3 sec.	Perlite à très fines lamelles. HB 400
Phase bainitique. Phase intermédiaire entre la perlite et la martensite.				
N° 4	300°	100 sec.	1000 sec.	Bainite Constituant assez mal connu. La dureté est fonction de la température de refroidissement.
Phase martensitique. Structure de trempe (fig. 1-2). Martensite : HB 500 à 600 environ. Le carbone reste emprisonné dans le réseau cristallin. La transformation du cristal gamma en cristal alpha étant très rapide, le carbone reste emprisonné dans le réseau alpha. Le domaine de la martensite est une transition. La dureté de la martensite est uniquement fonction de la température de refroidissement.				
N° 5	180° 80° 20°			80 % de martensite 50 % de martensite 20 % de martensite
Remarque : l'austénite retenue se nomme austénite résiduelle.				

TABLEAU 5.1

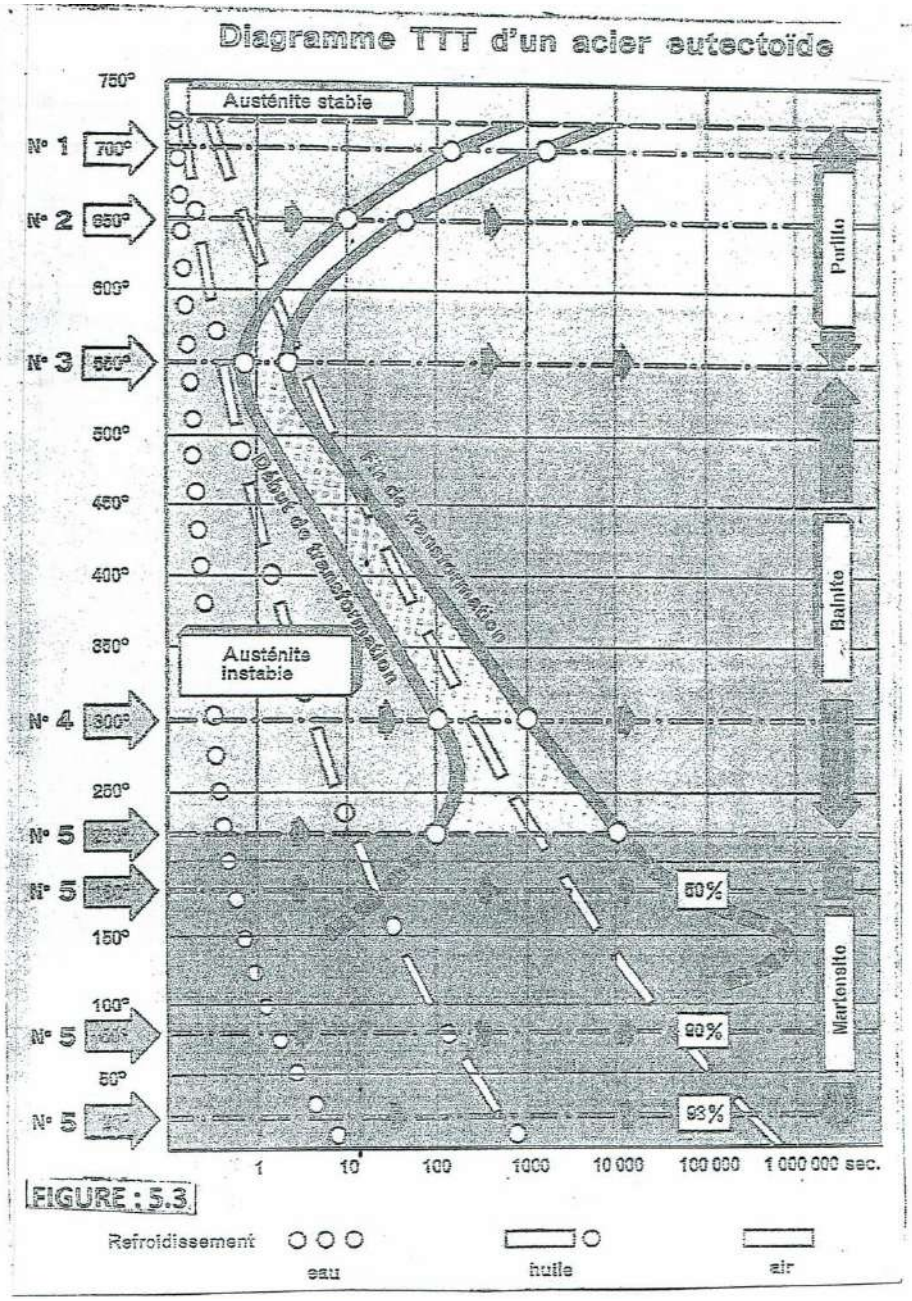

Diagramme TTT d'un acier eutectoïde
750°
Austénite stable
N° 1
700°
N° 2
650°
600°
N° 3
550°
500°
450°
400°
350°
Austénite instable
N° 4
300°
250°
N° 5
150°
100°
N° 5
50°
N° 5
Début de transformation
Fin de transformation
Perlite
Bainite
Martensite
50%
90%
98%
1
10
100
1000
10 000
100 000
1 000 000 sec.
Refroidissement
eau
huile
air

FIGURE : 5.3

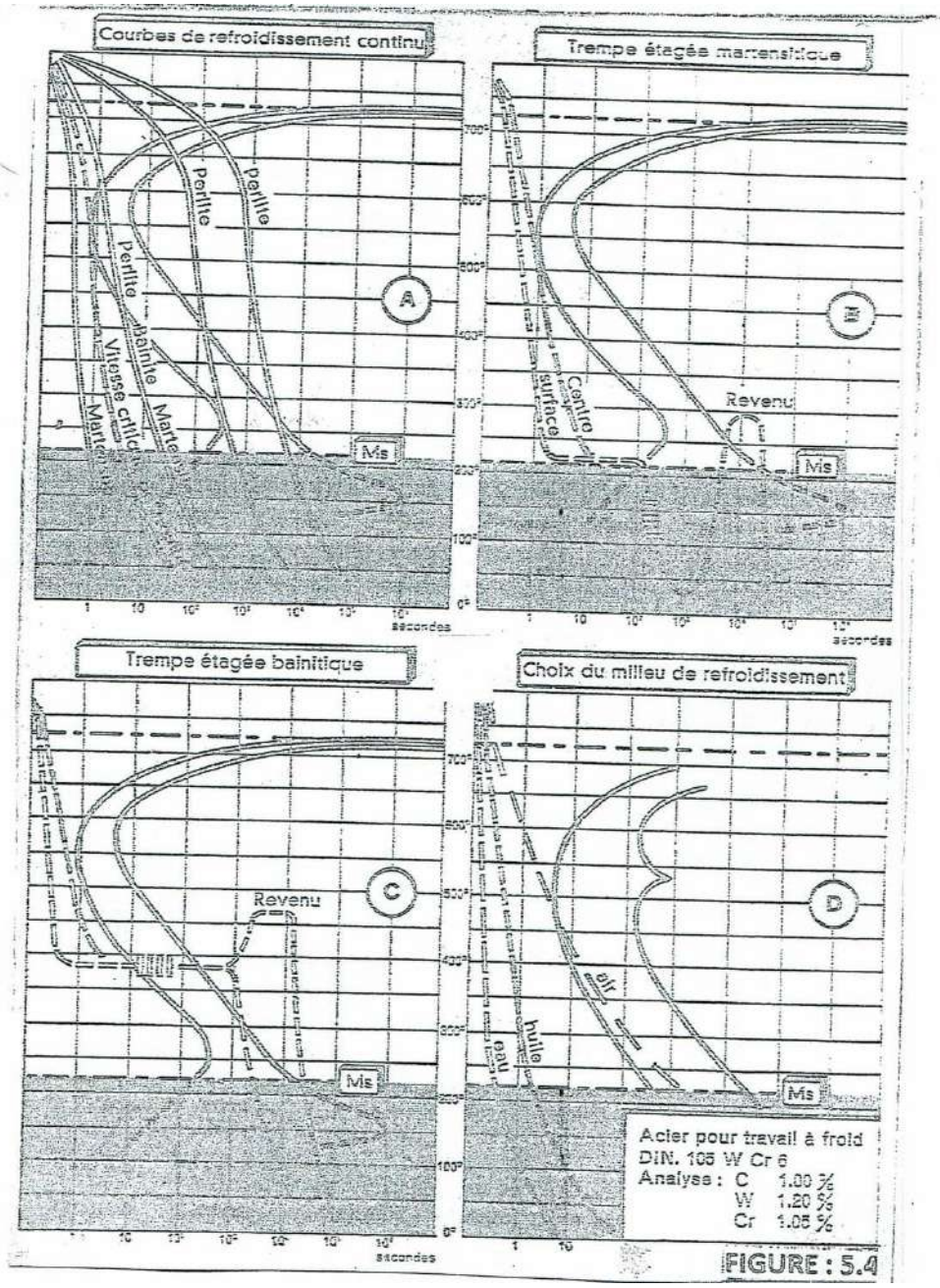

Courbes de refroidissement continu
Trempe étagée martensitique
Trempe étagée bainitique
Choix du milieu de refroidissement
Perlite
Bainite
Martensite
Vitesse critique
Centre
surface
Revenu
Ms
A
B
C
D
air
huile
eau
secondes
Acier pour travail à froid
DIN. 105 W Cr 6
Analyse : C 1.00 %
W 1.20 %
Cr 1.05 %

FIGURE : 5.4

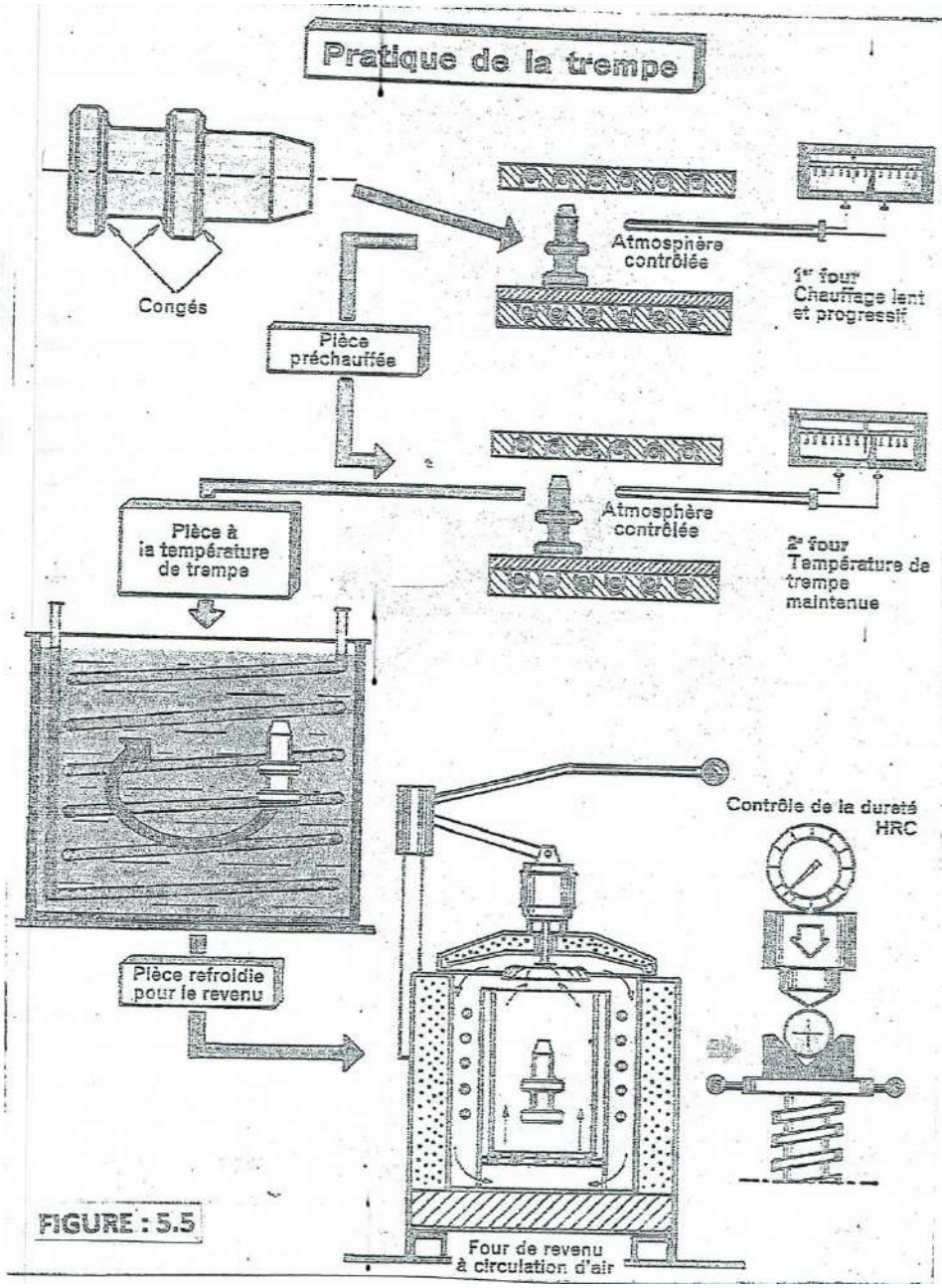

Pratique de la trempe
Congés
Pièce préchauffée
Atmosphère contrôlée
1er four Chauffage lent et progressif
Atmosphère contrôlée
2e four Température de trempe maintenue
Pièce à la température de trempe
Pièce refroidie pour le revenu
Contrôle de la dureté HRC
Four de revenu à circulation d'air

FIGURE : 5.5

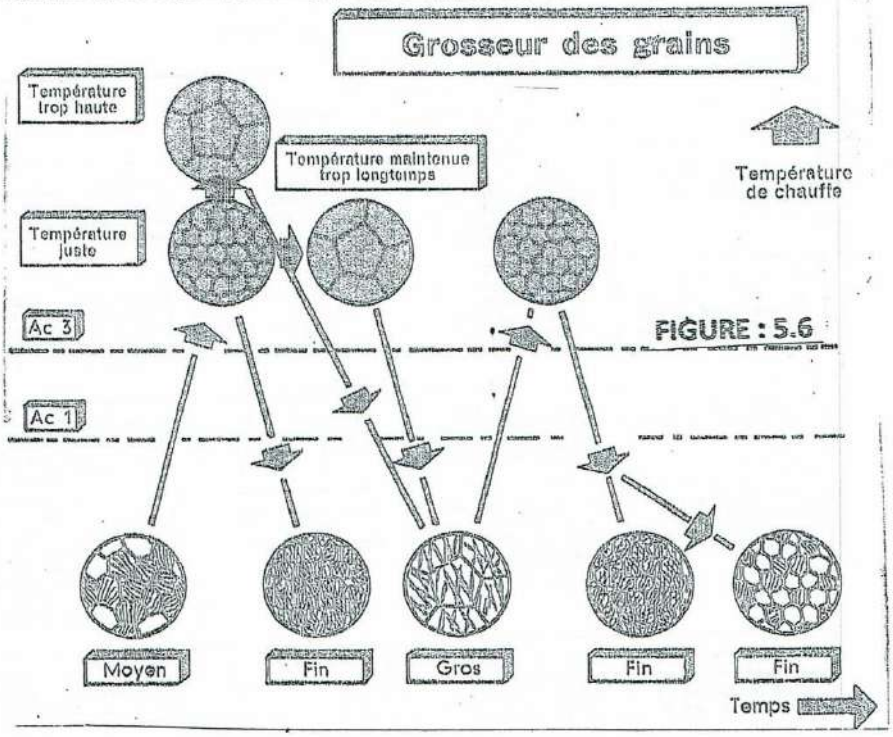

Grosseur des grains
Température trop haute
Température maintenue trop longtemps
Température de chauffe
Température juste
Ac 3
Ac 1
Moyen
Fin
Gros
Fin
Fin
Temps

FIGURE : 5.6

Les fautes les plus fréquentes commises à la trempe

Faute	Conséquences		Réparation
	Dureté	Cassure	
Outil chauffé trop rapidement, pas à cœur ni uniformément	Dureté irrégulière, lime attaque à certains points, l'outil se fissure souvent, les coins s'écaillent	Grain irrégulier, certaines parties non trempées, d'autres correctement trempées ou surchauffées	Soumettre l'outil empaqueté à un recuit doux et le retremper correctement
Outil n'ayant pas subi un refroidissement suffisamment énergique à la trempe (couche de vapeur isolante)	Dureté insuffisante, taches douces, surtout aux grandes surfaces. Lime attaque à certains points	Son grain trempé aux arêtes seulement, pour le reste grain non trempé	Après recuit doux de l'outil empaqueté, le retremper avec un refroidissement plus énergique en l'agitant dans le bain
Outil refroidi avec un réfrigérant trop doux pour l'acier employé (huile, air)	Dureté insuffisante et fréquemment irrégulière, lime attaque à certains points	Dans les parties douces grain semblable à celui de l'acier non trempé	Après recuit dans l'empaquetage, tremper à nouveau dans un réfrigérant plus énergique
Outil refroidi avec un réfrigérant trop énergique pour l'acier employé (par exemple eau salée)	Bonne dureté, surface présentant dureté de verre, lime n'attaque pas, tapures de trempe, forte déformation	Cassure semblable à celle de l'acier correctement trempé	Pourvu que les outils soient encore utilisables, opérer un recuit doux dans l'empaquetage et tremper à nouveau à la température correcte et dans un réfrigérant convenable.
Outil chauffé insuffisamment, la température de trempe nécessaire n'a pas été atteinte	Outil ne présentant aucune dureté ou une dureté insuffisante. La lime attaque	Grain ressemble à celui de l'acier non trempé	Recuire l'outil dans l'empaquetage et le retremper à la température juste, plus élevée
Outil chauffé au-dessus de la température qui convient = « surchauffé »	Bonne dureté, lime n'attaque pas, mais fréquemment fissures, fortes déformations, ruptures au travail	Grain fin à grossier, d'un certain brillant, parfois scintillant	Soumettre les outils empaquetés à un recuit doux et les tremper à nouveau à la température correcte. Les outils fissurés à la trempe sont généralement inutilisables.
Outil très fortement surchauffé, = « brûlé »	Fréquemment dureté insuffisante, lime n'attaque pas, éclatement à la trempe, ruptures au travail	Grain grossier d'un fort brillant blanc	Un outil brûlé n'est plus réparable.
Outil décarburé à sa surface pendant la chauffe (un usinage insuffisant de l'acier brut recuit a les mêmes conséquences)	Dureté obtenue paraît insuffisante, lime attaque la surface; sous la surface douce la dureté est souvent bonne	Surface de cassure montre souvent aux bords un grain ressemblant à celui du fer fondu. Sous cette zone le grain est celui de l'acier correctement trempé	Enlever à la meule la couche décarburée. En cas de décarburation profonde recuire l'outil, l'usiner suffisamment et le tremper à nouveau (si nécessaire employer un empaquetage à la chauffe ou chauffer au bain de sels)

TABLEAU 5.2

N'oubliez jamais que deux ou plusieurs fautes peuvent être commises à la fois!

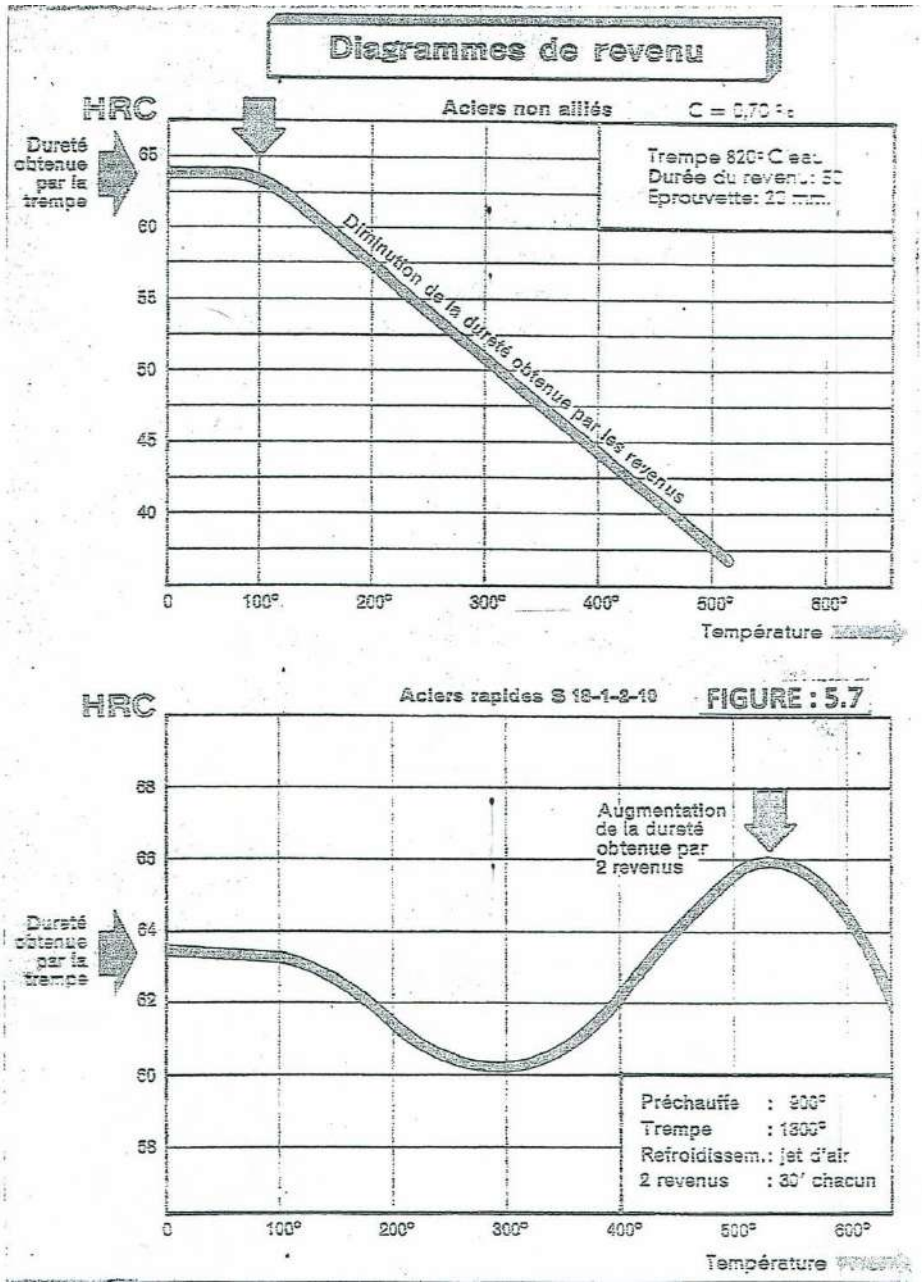

Diagrammes de revenu
HRC
Aciers non alliés
Dureté obtenue par la trempe
65
60
55
50
45
40
Trempe 820° C eau
Durée du revenu : 30
Éprouvette: 20 mm.
Diminution de la dureté obtenue par les revenus
0
100°
200°
300°
400°
500°
600°
Température
HRC
Aciers rapides S 18-1-2-10
68
66
64
62
60
58
Dureté obtenue par la trempe
Augmentation de la dureté obtenue par 2 revenus
Préchauffe : 900°
Trempe : 1300°
Refroidissem.: jet d'air
2 revenus : 30' chacun
0
100°
200°
300°
400°
500°
600°
Température

FIGURE : 5.7

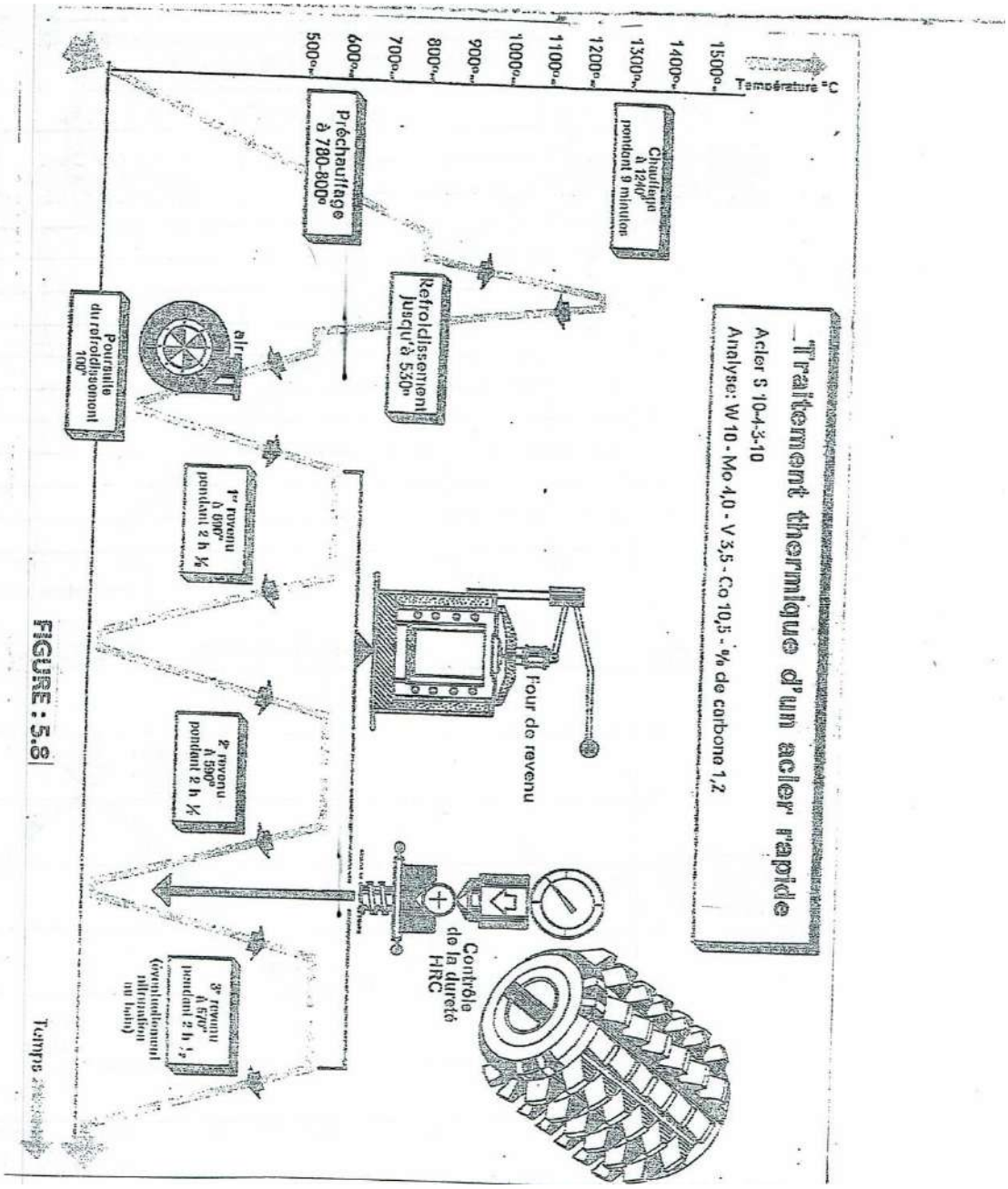

Traitement thermique d'un acier rapide
Acier S 10-4-3-10
Analyse: W 10 - Mo 4,0 - V 3,5 - Co 10,5 - % de carbone 1,2
Température °C
1500°
1400°
1300°
1200°
1100°
1000°
900°
800°
700°
600°
500°
Chauffage à 1240° pendant 9 minutes
Préchauffage à 780-800°
Refroidissement jusqu'à 530°
Four de revenu
Contrôle de la dureté HRC
1er revenu à 560° pendant 2 h ½
2e revenu à 560° pendant 2 h ½
3e revenu à 560° pendant 2 h ½
Refroidissement à l'air
Pourquoi du refroidissement 100°
Temps

FIGURE : 5.8

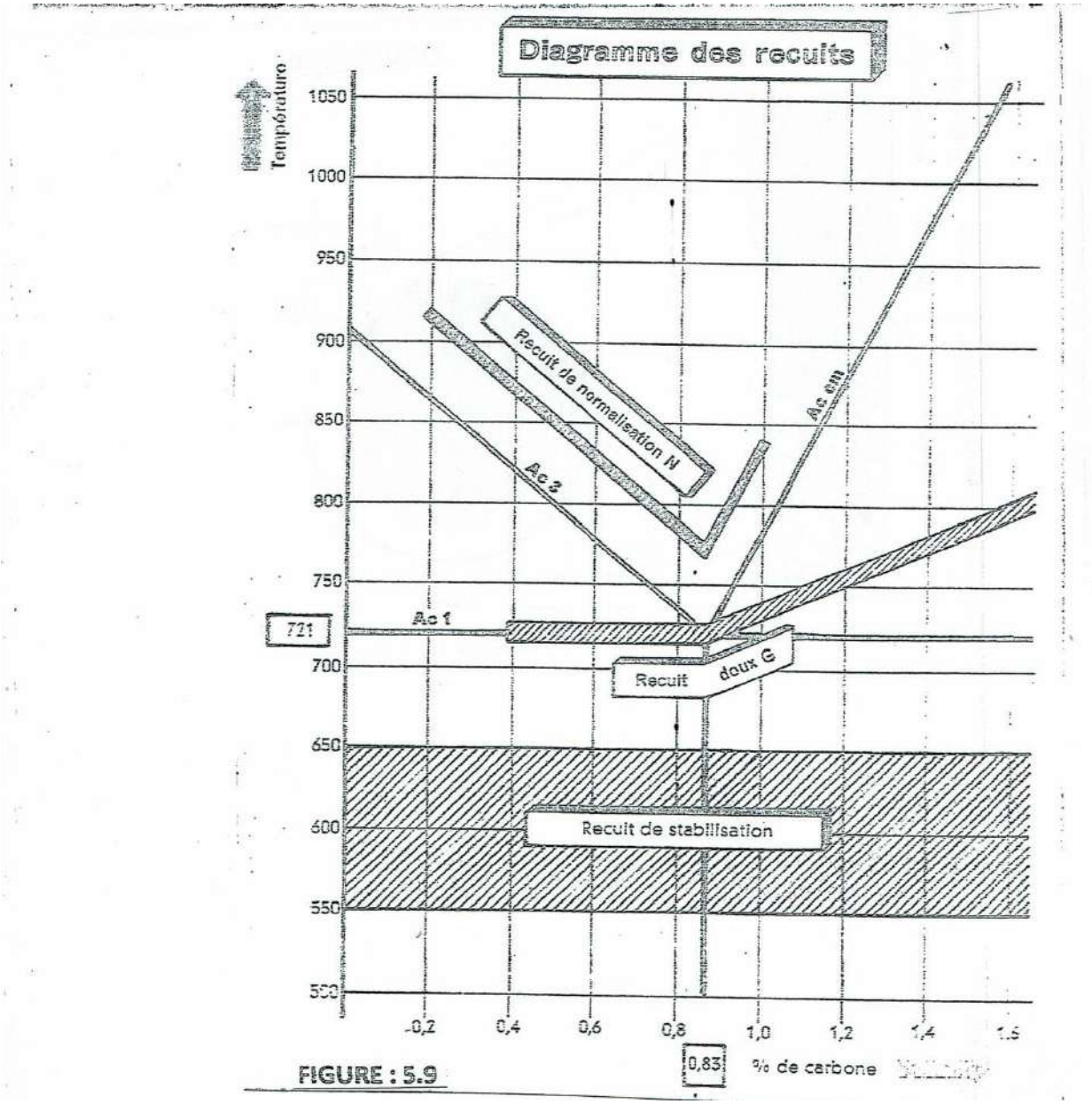

Diagramme des recuits
Température
1050
1000
950
900
850
800
750
721
700
650
600
550
500
Recuit de normalisation N
Ac 3
Ac cm
Ac 1
Recuit doux G
Recuit de stabilisation
0,2
0,4
0,6
0,8
1,0
1,2
1,4
1,6
0,83
% de carbone

FIGURE : 5.9

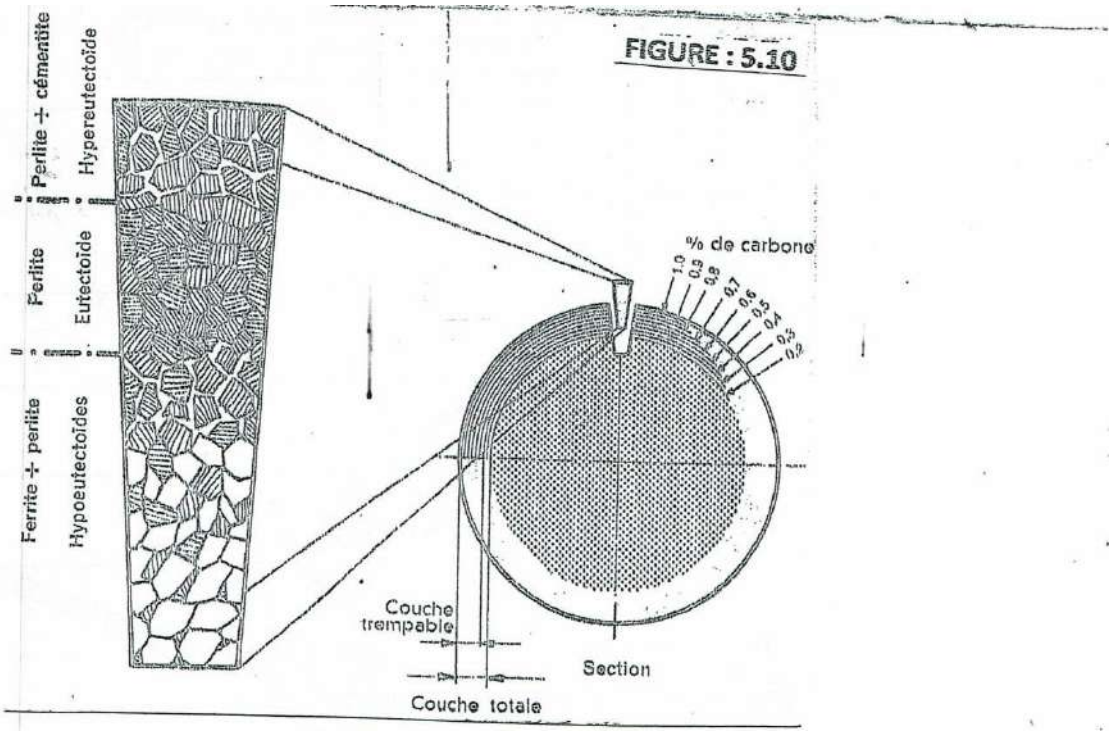

FIGURE : 5.10
Perlite + cémentite
Hypereutectoïde
Perlite
Eutectoïde
Ferrite + perlite
Hypoeutectoïdes
% de carbone
1.0
0.9
0.8
0.7
0.6
0.5
0.4
0.3
0.2
Couche trempable
Section
Couche totale

Tableau des céments

Etats	Les porteurs de carbone	Les activants	Régénération	Généralités
A. SOLIDE	Le coke Le charbon de bois	Carbonate de baryum	Addition de 10% de cément neuf après chaque emploi	Les céments actuels sont granulés et imprégnés de produits agglomérants dans toute la masse
B. LIQUIDE	Le cyanure de sodium	Des sels contenant des chlorures alcalins-terreux	Addition de sel frais régulièrement	Pour compléter les bains cyanurés, on suivra de préférence les indications des fournisseurs de sel
C. GAZEUX	Gaz naturel Méthane	Propane		Avec un mélange gazeux bien défini, stable et renouvelé par circulation, la cerburation reste constante

TABLEAU 5.3

Vitesse de pénétration

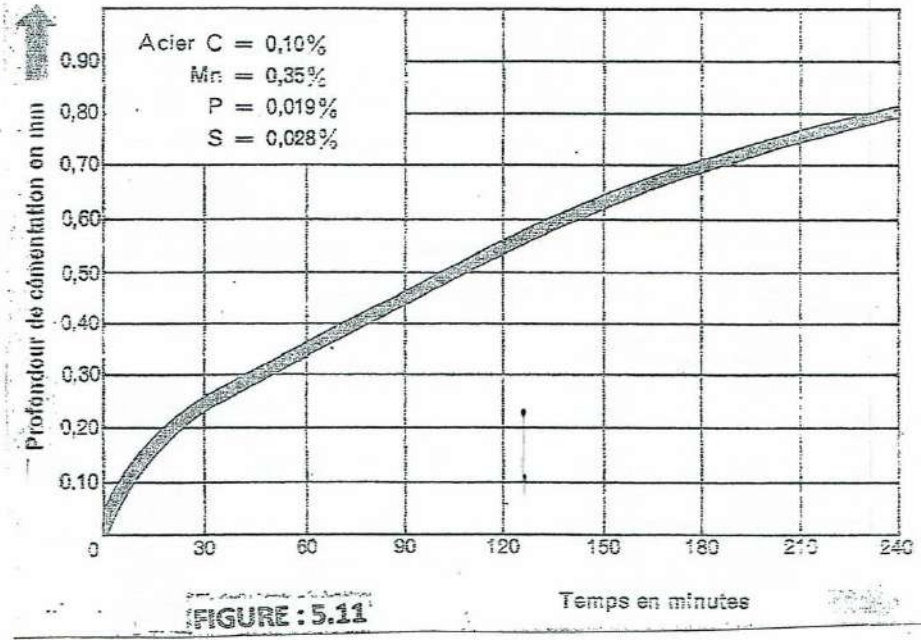


FIGURE : 5.11

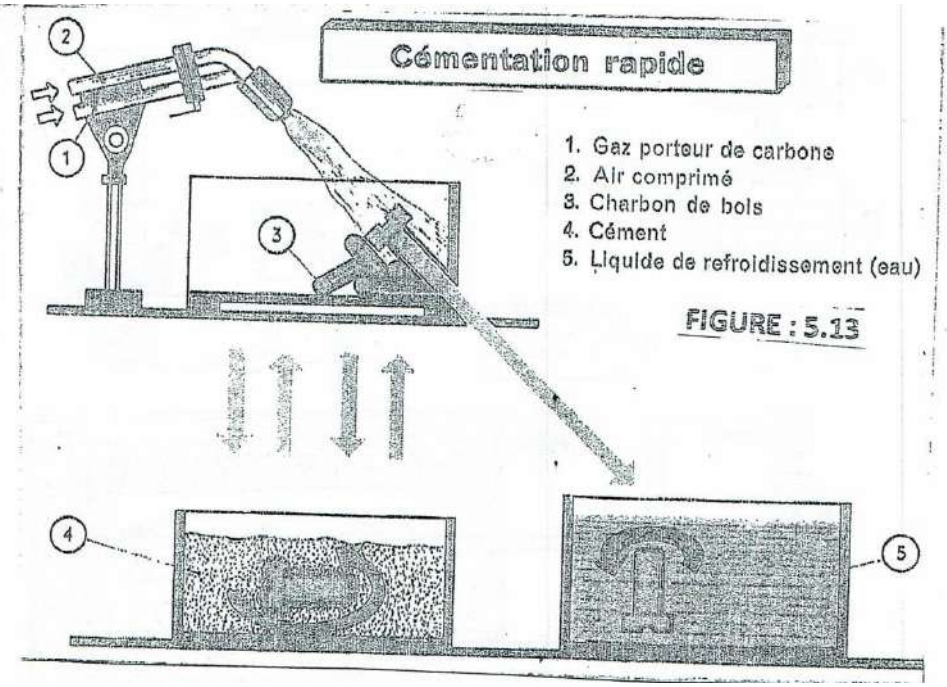

Cémentation rapide
1. Gaz porteur de carbone
2. Air comprimé
3. Charbon de bois
4. Cément
5. Liquide de refroidissement (eau)
1
2
3
4
5

FIGURE : 5.13

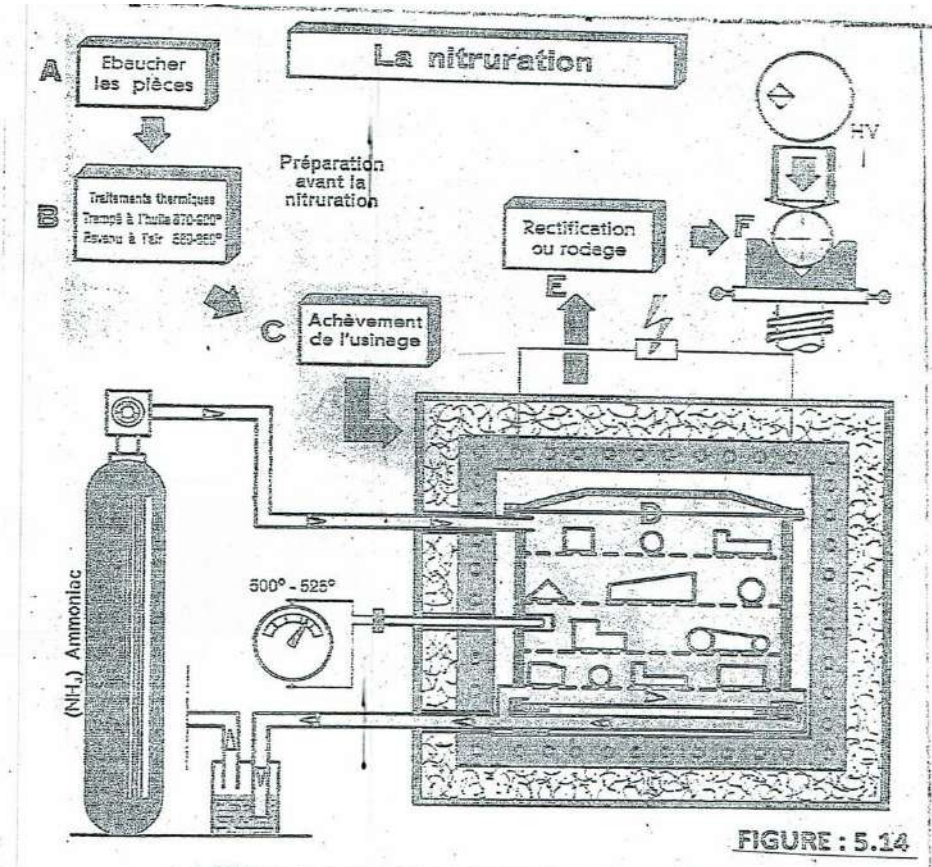
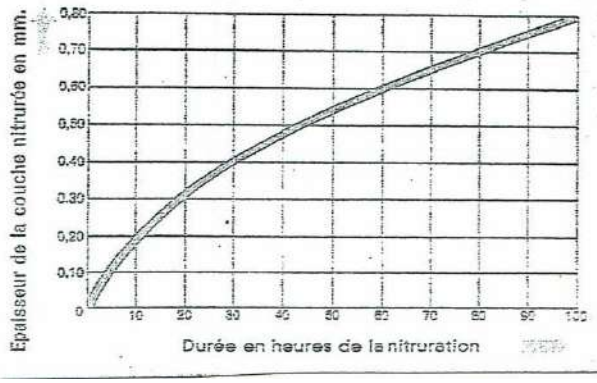

La nitruration
A
Ebaucher les pièces
B
Traitements thermiques
Trempé à l'huile 870-920°
Revenu à l'air 550-650°
Préparation avant la nitruration
C
Achèvement de l'usinage
Rectification ou rodage
E
F
HV
D
500° - 525°
(NH3) Ammoniac

FIGURE : 5.14


Epaisseur de la couche nitrurée en mm.
0,60
0,70
0,60
0,50
0,40
0,30
0,20
0,10
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100
Durée en heures de la nitruration

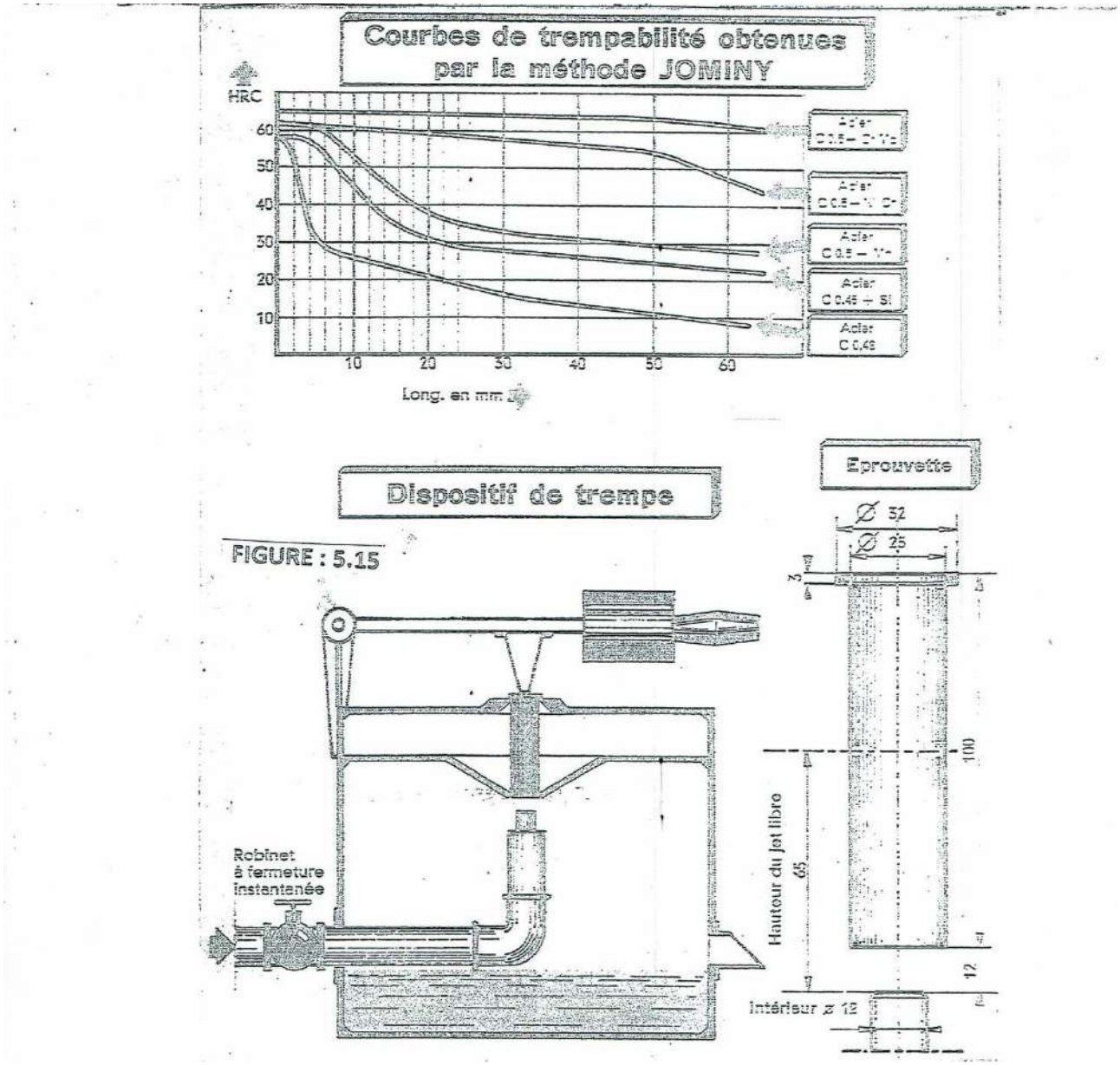

Courbes de trempabilité obtenues par la méthode JOMINY
HRC
60
50
40
30
20
10
10
20
30
40
50
60
Long. en mm
Acier C 0,45 + Si
Acier C 0,45
Dispositif de trempe
Eprouvette
Ø 32
Ø 25
3
100
65
12
Hauteur du jet libre
Intérieur x 12
Robinet à fermeture instantanée

FIGURE : 5.15

Chapitre 6
Propriétés des Aciers et Emploi

6.0 Généralités

Le chois d'un scier aussi judicieux solt- ne donnera en service plrins satisfaction que s des solns ont été pris, au cours des opérations suivantes :

- Trace des pièces(bureau de construction)

-Transformation des produits en objets finis (matriçage, filage, etc....)

-application correcte des traitements thermique (trempe revenu ,cémentation, nitruration)

-l'usinage soigné des surface sur lesquelles s'exercent les efforts principaux (tournage, fraisage, moulage)

6.1. Normalisation

La normalisation a pour but de grouper en un certain nombre de types les nombreuses sortes d'aciers existantes pouvant servir à un même usage ,en faisant abstraction de leur origine et de leur marque commerciale.

Cette limitation du nombre de type a pour conséquence de faciliter l'approvisionnement, en imposant des conditions **standards**.

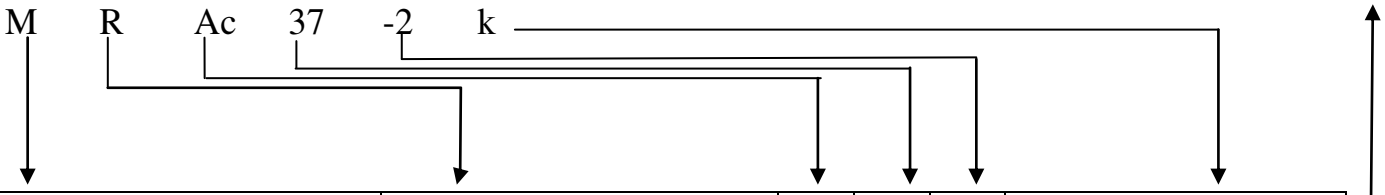
6.1.1. Normes DIN

Quelques indications pour la lecture des tableaux basés sur les normes DIN

Aciers fins au carbone

6.1.2 aciers de construction

Exemples : M R Ac 37-2 K



Procédé de fabrication	**Procédés de coulage**	**Acier de construction**	**1/10 de Rm mini .[N/mm^3]**	**Qualités 1-2-3**	**États à la livraison** **K=** étiré à froid **SH=** écrouté **N=** recuit de normalisation **G=** recuit doux
T= Acier Thomas **M=** Acier siemens-martin **W=**acier soufflé selon procède spécial. **E=** acier électrique **Y=** Acier soufflé a l'oxygéné	**U=** Acier non calmé **R=** Acier calmé **RR=** acier spécialement calmé				

6.1.3. Aciers de cémentation:

Exemple: CK 10

C-Symbole de carbone

K-Teneur minimum de soufre et de phosphore

10-Teneur moyenne de carbone en centième de pour-cent

6.1.4. Aciers d'amélioration

Exemple : **C60V**

C=Symbole du carbone

60- Teneur moyenne de carbone en centièmes de pour-cent (0.60)

V=Amélioré (traitement thermique obtenu à la livraison)

Aciers Faiblement alliés (alliages au-dessous de 5%)

Facteurs de multiplication		
4	**10**	**100**
Chrome cr	**Aluminium Al**	**Carbone C**
Cobalt co	**Béryllium Be**	**Azote N**
Manganèse Mn	**Bore B**	**Phosphore P**
Nikel Ni	**Cuivre Cu**	**Soufre S**
Silicium Si	**Molybdène Mo**	
Tungstène W	**Plomb Pb**	
	Tantale Ta	
	Titane Ti	
	Vanadium V	

6.1.5. Aciers pour travail à froid:

Exemple : **61 Cr Si V 5**

61 =teneur moyenne de carbone en centimes de pour- cent (0.61)

Cr= teneur moyenne en chrome 5/4-1,25 % (facteur 4)

Si et V = teneur moyenne non indiquées de silicium et de vanadium dans la norme.

6.1.6. Aciers pour travail à chaud :

Exemple : 21 Cr Mo V 5 11

21-teneur moyenne de carbone en centièmes de pour - cent (0.21)

Cr 5=teneur moyenne de chrome 5/4-1,25 % (facteur 4)

Mo 11=teneur en molybdène 11/10- 1,10 % (facteur 10)

V= teneur non indiquée de vanadium dans la norme.

Aciers fortement alliés (alliages au- dessus de 5%) :

6.1.7 Aciers pour soupapes:

Exemple: X 45Cr Ni W 18 9

X= symbole des aciers fortement alliés

45= teneur moyenne de carbone en centièmes de pour-cent (0,45)

Cr18=teneur moyenne 18% de chrome

Ni9-teneur moyenne 9% de nickel

W=teneur non indiquée de tungstène

6.4.8 Aciers rapides

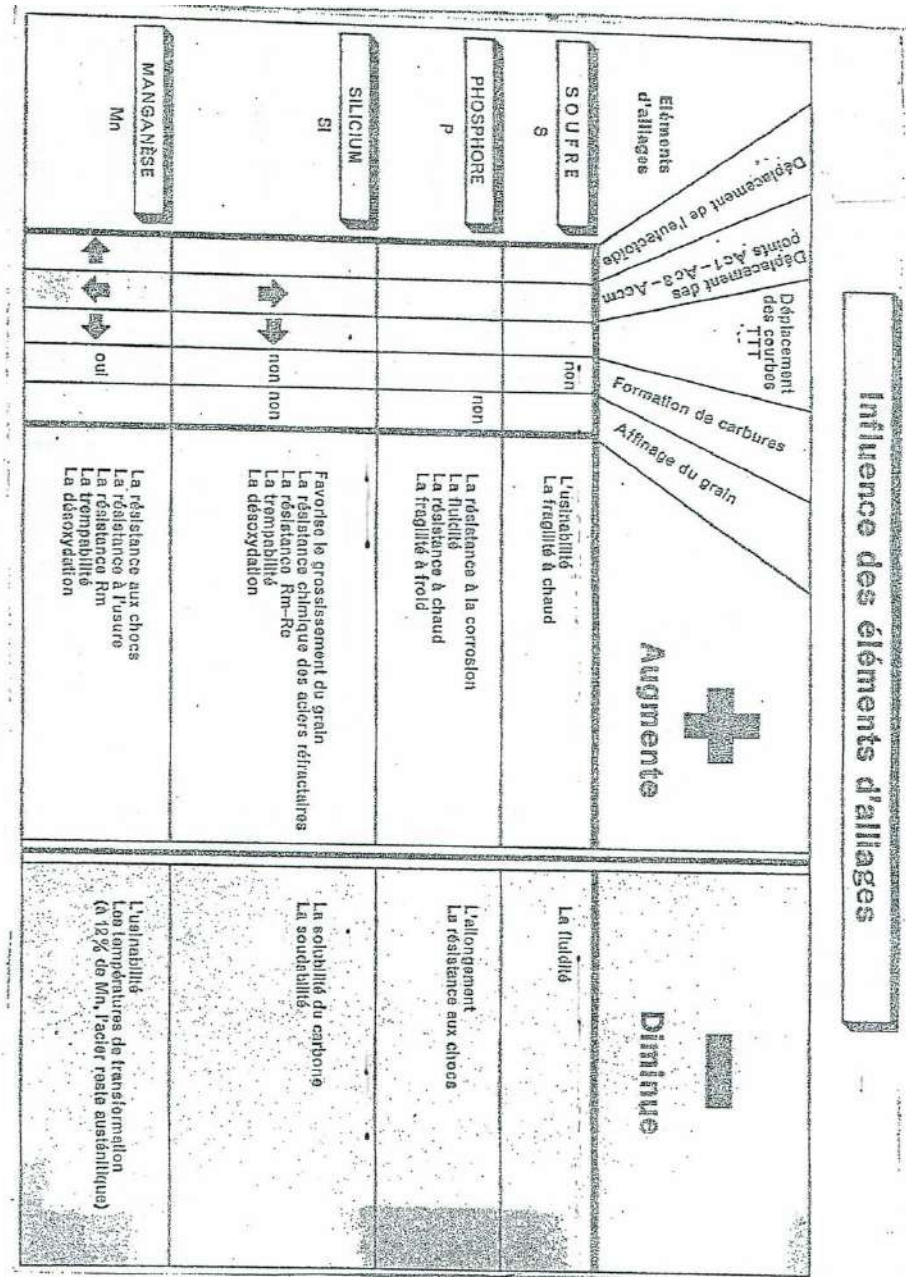
S 10-4-3-10 S= symbole des aciers rapides Ordre des alliages

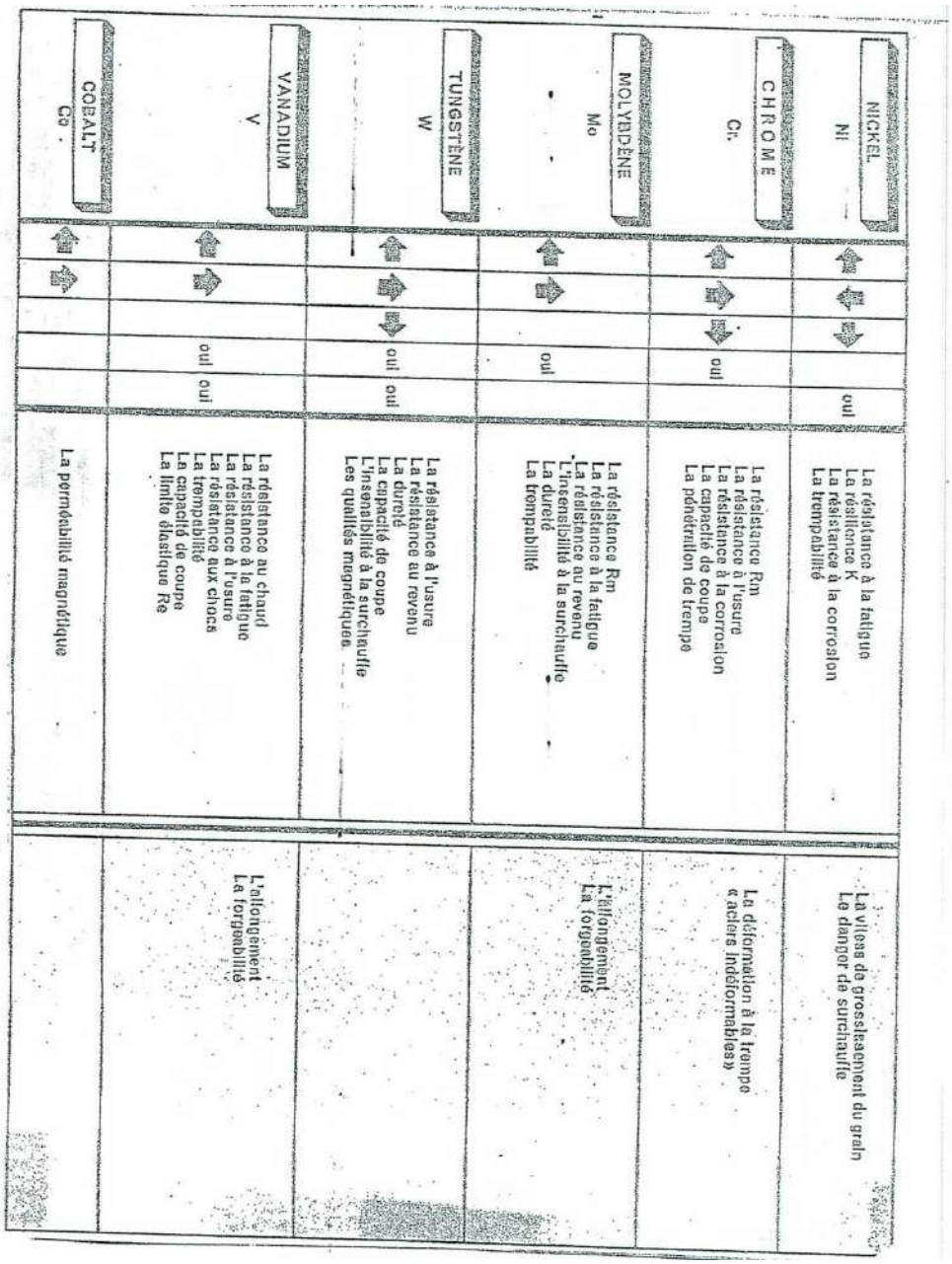
10- teneur moyenne de tungstène (10%)

4=teneur moyenne de molybdène (4%)

3=teneur moyenne de vanadium (3%)

10= teneur moyenne de cobalt (10%)


Influence des éléments d'alliages
Augmente
Diminue
Eléments d'alliages
Déplacement de l'eutectoïde
Déplacement des points Ac1 - Ac3 - Accm
Déplacement des courbes TTT
Formation de carbures
Affinage du grain
SOUFRE
S
non
L'usinabilité
La fragilité à chaud
PHOSPHORE
P
non
La résistance à la corrosion
La fluidité
La résistance à chaud
La fragilité à froid
SILICIUM
Si
non non
Favorise le grossissement du grain
La résistance chimique des aciers réfractaires
La résistance Rm-Re
La trempabilité
La désoxydation
MANGANÈSE
Mn
oui
La résistance aux chocs
La résistance à l'usure
La résistance Rm
La trempabilité
La désoxydation
La fluidité
L'allongement
La résistance aux chocs
La solubilité du carbone
La soudabilité.
L'usinabilité
Les températures de transformation
(à 12% de Mn, l'acier reste austénitique)


NICKEL
Ni
oui
La résistance à la fatigue
La résilience K
La résistance à la corrosion
La trempabilité
La vitesse de grossissement du grain
Le danger de surchauffe
CHROME
Cr.
oui
La résistance Rm
La résistance à l'usure
La résistance à la corrosion
La capacité de coupe
La pénétration de trempe
La déformation à la trempe
« aciers indéformables »
MOLYBDÈNE
Mo
oui
La résistance Rm
La résistance à la fatigue
La résistance au revenu
L'insensibilité à la surchauffe
La dureté
La trempabilité
L'allongement
La forgeabilité
TUNGSTÈNE
W
oui
oui
La résistance à l'usure
La résistance au revenu
La dureté
La capacité de coupe
L'insensibilité à la surchauffe
Les qualités magnétiques
VANADIUM
V
oui
oui
La résistance au chaud
La résistance à la fatigue
La résistance à l'usure
La résistance aux chocs
La trempabilité
La capacité de coupe
La limite élastique Re
L'allongement
La forgeabilité
COBALT
Co
La perméabilité magnétique

Aciers fins au carbone

Catégories	DIN	Matière N°	Analyse	HB recuit	Rm N/mm²	HRC revenu	K J/cm²	Usinabilité	Généralités
Aciers de construction	Ac 34-2 Ac 37-2 Ac 42-2 Ac 50-2 Ac 60-2 Ac 70-2	1.0034 1.0038 1.0040 1.0050 1.0060 1.0070	C 0.12 C 0.18 C 0.20 C 0.30 C 0.45 C 0.60	— — — — — —	330–410 360–440 410–490 490–590 590–710 690–840	— — — — — —			Aux essais : La dureté et la résistance à la traction augmentent avec le pourcentage de carbone La résilience et le pourcentage d'allongement diminuent avec l'augmentation de carbone Aux traitements thermiques : Faible pénétration de trempe. Grande vitesse critique (risques de fissures) Diminution rapide de dureté avec l'augmentation de température
Aciers de cémentation	Ck 10 Ck 15	1.1121 1.1141	C 0.10 C 0.15	— —	490–780 590–880	— —	120 70	Bonne, très malléable à chaud	**Ces aciers ne sont généralement employés qu'à l'état brut ou recuit, pour des pièces peu sollicitées** Maillons de chaîne, arbres à cames, arbres de moteurs, biellettes, manivelles, clavettes, leviers, douilles, pièces filetées, engrenages, etc...
Aciers d'amélioration	Ck 22 Ck 35 Ck 45 Ck 60	1.1151 1.1181 1.1101 1.1221	C 0.22 C 0.35 C 0.45 C 0.60	— — — —	Traité 490–690 540–780 660–840 740–980	— — — —	80 60 40		Pièces soumises à des efforts modérés, à surface dure et à noyau tenace Axes, douilles, roues dentées, etc. Pièces pour machines à coudre et à écrire
Aciers à outils (Acier argent)	C 80 W 1 C 105 W 1 C 110 W 2 C 125 W 2	1.1625 1.1545 1.1654 1.1663	C 0.80 C 1.00 C 1.10 C 1.25	180 200 195 210	Recuit 640 640 660 710	63–62 65–64 65–64 65–64			Les caractéristiques sont obtenues par trempe et revenu (500 à 600° C environ) Pièces travaillant sous faible charge. Arbres, broches, accouplements, vis, arbres cannelés, porte-fraises, raccords et bagues filetées, bagues extensibles, etc... **Acquièrent par la trempe une zone superficielle très dure mais de faible épaisseur** Cisailles, poinçons, matrices, outils tranchants, limes, scies, marteaux, haches, etc... Outils à travailler le bois

Aciers alliés de cémentation

Généralités

Les aciers de cémentation sont utilisés pour pièces de construction devant présenter, à côté des caractéristiques mécaniques requises pour le noyau, une dureté superficielle supérieure; en outre on leur demande souvent une limite de fatigue élevée

Catégories	DIN	Matière N°	Analyse %	Après cémentation à coeur Rm N/mm²	K J/cm²	HB
Chrome	15 Cr 3	1.7015	C 0.15 Cr 0.65	690 1030	70	118 174
Chrome-Nickel	14 Ni Cr 14	1.5752	C 0.15 Cr 0.75 Ni 3.50	880 1320	80	170 230
	18 Cr Ni 8	1.5920	C 0.18 Cr 1.95 Ni 2.00	1080 1470	60	170 235
Chrome-Molybdène	15 Cr Mo 5	1.7262	C 0.15 Cr 1.10 Mo 0.25	640 1180	60	170 207
	20 Cr Mo 5	1.7264	C 0.20 Cr 1.20 Mo 0.25	780 1370	40	179 217
Manganèse-Chrome	20 Mn Cr 5	1.7147	C 0.20 Mn 1.25 Cr 1.15	780 1370	40	170 217
	18 Mn Cr 5	1.7131	C 0.18 Mn 1.15 Cr 1.00	640 1180	60	140 207
Nickel-Chrome-Molybdène	17 Cr Ni Mo 6	1.6587	C 0.14–0.19 Cr 1.50–1.80 Ni 1.40–1.70 Mo 0.25–0.35	980 1420	60	159 228

Pour pièces de construction soumises à des exigences extraordinaires, même en cas de fortes sections, surtout où une résistance du noyau particulièrement élevée et une haute résistance à l'usure de la couche cémentée sont demandées
Engrenages de changement de vitesses, vis sans fin, croix de différentiel et de cardan, engrenages à rendement maxima, pour la construction d'avions et de camions, ainsi que pour la mécanique générale

Pour éléments de construction soumis à des efforts élevés de tous genres en construction automobiles, roues dentées, engrenages de changement de vitesse, arbres à cames, pièces de l'appareil de direction, etc...

Axes, engrenages, pignons, leviers de direction, pièces de sécurité, pièces devant présenter une bonne résistance aux chocs, etc..

Aciers alliés d'amélioration

Catégories	DIN	Matière N°	Analyse %	Traité Rm N/mm²	Traité K J/cm²	Soudabilité	Généralités
Chrome	41 Cr 4	1.7035	C 0.41 Cr 1.00	780 1180	50 00		Les aciers de traitement alliés sont utilisés pour les échelons les plus divers de résistance. Le traitement améliorant: ca traitement consiste en une trempe (refroidissement brusque) suivie d'un revenu (environ 630° à 670°) pour une résistance à la traction donnée.
Chrome-Vanadium	50 Cr V 4	1.8161	C 0.50 Cr 1.05 V 0.10	920 1670	30 00		Acier spécial de boulonnerie pour matriçage à froid et à chaud. Se prête à la trempe de surface autogène et par induction. Tendance à la fragilité de revenu
Chrome-Molybdène	42 Cr Mo 4	1.7223	C 0.42 Cr 1.05 Mo 0.30	780 1270	50 00	non	Pièces de construction fortement sollicitées, essieux, arbres, etc. Se prête à la trempe de surface autogène et par induction Tendance à la fragilité de revenu
	25 Cr Mo 4	1.7218	C 0.25 Cr 1.05 Mo 0.20	640 1080	70 80	oui	Pour la construction d'avions, d'automobiles et de machines fortement sollicitées, vilbrequins, fusée d'essieux, leviers de direction, bielles, arbres d'essieux, essieux de tramways, arbres de générateurs disc brioue, broches de porcenes, tiges de pompes Sans tendance à la fragilité de revenu
Chrome-Molybdène-Vanadium	30 Cr Mo V 9	1.7707	C 0.30 Cr 2.50 Mo 0.50 V 0.15	830 1270	50	non	Spécialement pour pièces de grandes dimensions et de grande résistance Pour la construction d'avions et d'automobiles, pièces d'engrenages fortement sollicitées, etc... Sans tendance à la fragilité de revenu
Nickel-Chrome	21 Ni Cr 14	1.5755	Ni 3.50 Cr 0.75	780 1080	80 90	non	Même emploi que l'acier 35 Cr Ni Mo 4 — 30 Cr Ni Mo 8 — 34 Cr Ni Mo 6
	35 Ni Cr 18	1.5864	C 0.35 Ni 4.50 Cr 1.30	1090 1270	50 60	non	Pour pièces de dimensions moyennes très fortement sollicitées, d'une résistance élevée aux chocs Se prête également à la trempe à l'air Tendance à la fragilité de revenu
Chrome-Nickel-Molybdène	36 Cr Ni Mo 4	1.6511	C 0.36 Cr 1.05 Ni 1.05 Mo 0.20	780 1275	60 70	non	Pièces soumises à la torsion alternée, à la flexion et aux chocs répétés Pour la construction de moteurs d'avions et d'automobiles, vilbrequins, bielles, arbres d'engrenages arbres de pont AR, fusées d'essieux, arbres de cardans, pièces de direction, construction mécanique arbres de commandes, accouplements, leviers, etc... Sans tendance à la fragilité de revenu
	30 Cr Ni Mo 8	1.6580	C 0.30 Cr 1.95 Ni 1.95 Mo 0.40	980 1420	60 70	non	Aciers recommandés plus tenaces et moins sensibles à la fragilité de revenu
	34 Cr Ni Mo 6	1.6582	C 0.34 Cr 1.55 Ni 1.55 Mo 0.20	880 1370	60 65	non	
Manganèse	40 Mn 4	1.1157	C 0.40 Mn 1.00	800 1080	60 60	non	Pièces de construction de faibles sections, essieux, arbres, tiges de pompes, boulons, vis, écrous Tendance à la fragilité de revenu
Manganèse-Silicium	37 Mn Si 5	1.5122	C 0.37 Mn 1.20 Si 1.20	720 1180	30 50	non	Pour pièces de haute résistance à l'usure et fortement sollicitées, vilbrequins, rouea d'engrenage, boulons tiges, etc... Tendance à la fragilité de revenu

Aciers de nitruration

Généralités

La nitruration permet d'atteindre les dureté superficielles les plus élevées, elle fournit en outre une certaine protection contre la corrosion

DIN	Matière N°	Analyse %	HB	Rm N/mm²	K J/cm²	HRV Dureté de la couche nitrurée	
41 Cr Al 7	1.8509	C 0.41 Cr 1.60 Al 1.00	262	980	50	950	Pièces pour la construction de machines textiles; guide-fils, etc.
34 Cr Al 6	1.8504	C 0.34 Cr 1.50 Al 1.00	217	780	60	900	Pièces pour la résistance à chaud des parties de robinetterie de vapeur surchauffée, etc.
34 Cr Al S 5 Acier pour automates	1.8508	C 0.34 Cr 1.20 Al 0.90 S 0.25	217	930	—	900	**Autres emplois** Roues et couronnes dentées Arbres-vilebrequins et arbres à cames Pistons et tiges de piston
34 Cr Al Mo 5 Pièces de faible section	1.8507	C 0.34 Cr 1.00 Al 1.00 Mo 0.20	248	780	60	950	Pièces pour pompes à huile d'automobiles Tige de soupape Glissières Chemises ou cylindres Broches de rectifieuses Outils de mesure, jauges, calibres, etc.
31 Cr Mo V 9 Pièces de grandes exigences	1.8519	C 0.31 Cr 2.50 Mo 0.20 V 0.15	248	1080 1230	70	750	
34 Cr Al Ni 7 Pour des pièces d'un diamètre supérieur à 70 mm	1.8550	C 0.34 Cr 1.70 Al 1.00 Ni 1.00	245	1470	50 60	900	

Aciers de construction pour travail à chaud

Catégories	DIN	Matière N°	Analyse %	Rm N/mm²	K J/cm² ISO V	HB	Résistance au fluage N/mm² Durée en heures				Généralités : L'emploi des aciers de construction à haute résistance à chaud dépend, en premier lieu, de la limite d'écoulement minimum, de la limite d'allongement de durée ou de charge de fluage nécessaire à la température maximum de service
							10 000	100 000	10 000	100 000	
Aciers faiblement alliés	15 Mo 3	1.5415	C 0.15 Mo 0.3	450 650	70	130 170	177 103	—	—	—	
	24 Cr Mo 5	1.7258	C 0.25 Cr 1.10 Mo 0.25	600 750	80	175 220	177 118	—	—	—	Pour joints, bourrelets et rondins à souder, vis et écrous, pièces forgées de chaudières à vapeur et de générateurs thermiques. **Réfractaire jusqu'à environ 520° C**
	24 Cr Mo V 5 5	1.7733	C 0.25 Cr 1.30 Mo 0.55 V 0.15	700 850	80	205 250	204 191	—	—	—	
	21 Cr Mo V 5 11	1.8070	C 0.21 Cr 1.35 Mo 1.10 V 0.30	680 830	80	205 250	304 211	—	—	—	
Aciers fortement alliés	X 16 Cr Mo 12 1	1.4920	C 0.17 Cr 11.50 Mo 1.00	700 850	70	—	177 118	69 39	—	—	Pour pièces de machines de résistance élevée, soumises au contact de l'eau et de la vapeur, telles que pièces de turbines à vapeur, aubes et disques, etc. **Réfractaire jusqu'à 600° C environ**
	X 20 Cr Mo V 12 1	1.4922	C 0.20 Cr 12.00 Mo 1.15 V 0.30	700 850	70	—	191 127	103 69	—	—	
	X 20 Cr Mo W V 12 1	1.4935	C 0.20 Cr 12.00 Mo 1.00 W 0.50 V 0.30	700 850	160	270	10 000 100 000	245 167	100 59	—	
Aciers austénitiques	X 8 Cr Ni Nb 16 13	1.4961	C 0.06 Cr 16.00 Ni 13.00 + Nb	820 700	150		10 000 100 000	216 147	157 103	76 44	Pièces pour l'industrie chimique, pièces pour turbines, etc. **Réfractaire jusqu'à 650° C**
	X 8 Cr Ni Mo Nb 16 16	1.4981	C 0.06 Cr 16.50 Ni 16.50 Mo 1.80 + Nb	680 680	150		10 000 100 000	324 235	225 162	83 44	

Aciers de décolletage

Catégories	DIN	Matière N°	Analyse %	HB	Rm N/mm²
			Généralités		
			Les tours automatiques ne peuvent être utilisés pleinement que si l'on dispose d'aciers pour automates permettant une réduction des temps de fabrication et un rendement maximum des machines		
Aciers pour automates	9 S 20	1.0711	C 0,12 / S 0,20	149 / 159	350 / 530
	9 S Mn 28	1.0715	C 0,12 / S 0,27	159 / 170	380 / 570
			Aciers pour grande vitesse de coupe, non calmés, non trempables. Ils se prêtent particulièrement bien pour la fabrication de vis, écrous, de pièces décolletées pour lesquelles des caractéristiques mécaniques spéciales ne sont pas demandées		
Acier de cémentation	10 S 20	1.0721	C 0,10 / S 0,20	149 / 159	360 / 530
			Acier calmé. Il possède après la cémentation une ténacité remarquable et s'utilise pour des pièces telles que vis, boulons, axes, etc...		
Aciers pour amélioration	35 S 20	1.0726	C 0,35 / S 0,25	192 / 197	490 / 630
			Pièces de mécanique soumises à de plus gros efforts		
	45 S 20	1.0727	C 0,45 / S 0,25	229	590 / 760
Acier trempable	60 S 20	1.0728	C 0,60 / S 0,25	270	660 / 880
			Pour des pièces dans l'industrie de l'horlogerie, axes, vis, pignons, etc...		
Acier de décolletage classique	9 S Mn Pb 28	1.0718	C 0,14 / S 0,27 / Mn 1,10 / Pb 0,20	159 / 170	380 / 570
			Acier semi-calmé, non trempable. Très grandes vitesses de coupe pour la fabrication de vis, d'écrous, de pièces décolletées de tous genres, mais n'est pas recommandé pour les pièces à parois minces		
Aciers de décolletage inoxydables	X 12 Cr Mo S 17	1.4104	C 0,12 / Cr 16,5 / Mo 0,25 / S 0,28	190 / 235	700 / 850
			Acier ferritique, se laisse très bien usiner. Pour résister à la corrosion l'acier doit subir un polissage. Il est employé pour la fabrication de vis, rivets, pièces détachées d'appareils, d'articles ménagers, etc...		
	X 12 Cr Ni S 18 9	1.4305	C 0,15 / Cr 18,00 / Ni 9,00 / S 0,15	130 / 180	500 / 700
			Acier austénitique, se laisse très bien usiner. L'acier se prête à la fabrication de pièces d'appareils exposés à une atmosphère humide ou à un climat tropical. Ustensiles de cuisine, récipients, outils, appareils de l'industrie alimentaire		

Aciers pour travail à chaud

DIN	Matière N°	Analyse %	HB	HRC suivant revenu	Rm N/mm² suivant revenu	Usinabilité	Emplois principaux: Matrices de forgeage	Matrices d'estampage	Moules à injection et à moulage sous pression	Outillages pour presses à filer	
X 30 W Cr V 41	1.2564	C 0.30 W 4.00 Cr 1.00 V 0.20	231	38 50	1200 1600	B	—	X	X	X	**Généralités:** Sous le nom « Aciers pour le travail à chaud », on désigne les aciers servant à la confection d'outils destinés à la déformation à haute température des matières métalliques sans enlèvement de copeaux **Mâchoires de forge — matrices et poinçons de perforation à chaud — lames de cisailles à chaud — outils d'une résistance jusqu'à 1600 N/mm² max. — etc...** **L'arrosage à l'eau peut s'effectuer avec précaution.**
X 30 W Cr V 9 3	1.2581	C 0.30 W 8.50 Cr 2.50 V 0.40	250	38 50	1200 1700	B	—	X	X	X	**Pour matrices à chaud à grand rendement pour la fabrication de vis et rivets — étampes à chaud pour la fabrication en série de pièces en acier (boîtes de montres) — mâchoires de forge — bouterolles, etc...**
X 37 Cr Mo W 5 1	1.2606	C 0.37 Cr 5.30 Mo 1.50 W 1.30	231 •	38 50	1200 1700	B	—	X	X	X	**Acier particulièrement recommandé pour une température de travail de 550° environ.** **Moules pour la fonte injectée d'aluminium et alliages — mâchoires à laminer les filets à chaud — etc...** **L'arrosage à l'eau peut s'effectuer**
55 Ni Cr Mo V 6	1.2713	C 0.55 Ni 1.70 Cr 0.70 Mo 0.30 V 0.10	240	30 40 41 51	950 1250 1300 1800	B	X	X	—	X	Acier spécial pour matrices de forge dont la résistance peut aller, selon leurs dimensions, jusqu'à 1600 N/mm² Poinçons de presses à filer les métaux, etc...

Aciers pour travail à froid

DIN	Matière N°	Analyse %	HB	HRC	HRC suivant revenu	Usinabilité	Cannelage Outils d'étirage	Outils de choc	Matrices et découpoirs	Matrices d'étampage	Outils de coupe rotatifs	Généralités
												La dénomination « Aciers pour travail à froid » est donnée à tous les aciers destinés à la fabrication d'outils qui ne subissent aucun échauffement en cours de travail
C 125 W 2	1.1663	C 1.25 W 1.20	210	65	54 62							**Acier pour la fabrication de limes**
140 Cr 3	1.2008	C 1.50 Cr 0.60	235	66	56 60							
100 Cr 6	1.2067	C 1.00 Cr 1.50	211	64	60 64	TB	—	X	X	—		**Acier spécial** caractérisé par sa bonne résistance à l'usure et sa grande ténacité – Outils coupants pour le travail du bois – Petits poinçons et matrices d'horlogerie
X 210 Cr 12	1.2080	C 2.10 Cr 12.00	231	63	58 63	B	—	X	—	—		**Acier autotrempant et indéformable** Broches à mandriner – Molettes et peignes à rouler les filets de vis — Outils à bois – Lames de cisailles – Alésoirs, etc.
125 Cr Si 5	1.2109	C 1.25 Cr 1.20 Si 1.20	230	64	58 64	TB	—	—	X	X		**Acier pratiquement indéformable**, ténacité remarquable et haute résistance à l'usure Etampes de frappe à froid pour cadrans de montres, médailles, bijouterie, etc.
115 Cr V 8	1.2210	C 1.15 Cr 0.70 V 0.10	211	64	58 64	TB						**Acier argent allié** Acier standard pour tous usages
61 Cr Si V 5	1.2243	C 0.61 Cr 1.20 Si 0.90 V 0.10	217	62	45 62	TB	—	X	—	—		Son alliage particulier favorise la trempe bainitique Pièces de machines fortement sollicitées
105 W Cr 6	1.2419	C 1.05 W 1.20 Cr 1.00	225	65	54 60	TB	—	—	X	—	X	**Acier indéformable** Couteaux à papier – Jauges – Calibres – Moules pour le plastique, etc.

X 210 Cr W 12	1.2080	C 2.10 Cr 12.00 W 0.70	250 230	64	60 64	M	X	—	—	—
Acier autotrempant pour outils d'emboutissage et d'étirage – Brochoir à marbrer – Alésoirs – Taraods – Tampons – Mâchoires à fileter à froid – Outils à bois – Filières d'étirage pour tubes et profils...										
X 130 W 5	1.2453	C 1.30 W 5.00	225	67	62 67	B	X	—	—	—
Burins pour les matériaux très durs – Lames d'alésage – Grattoirs, etc...										
80 W Cr V 3	1.2511	C 0.80 W 0.70 Cr 0.6 V 0.2	230	63	58 63					
Couteaux de machines pour le travail du bois et de la matière synthétique										
120 W V 4	1.2516	C 1.20 W 1.00 V 0.10	219	65	60 65					
Acier argent allié. Outils de précision à grand rendement pour l'industrie horlogère, la mécanique fine Taraods – Forets – Fraises – Instruments chirurgicaux, etc.										
45 W Cr V 7	1.2542	C 0.45 W 2.00 Cr 1.10 V 0.20	223	57	52 57	TB	—	X	—	—
Burins à mains – Burins pneumatiques – Bouterolles pneumatiques, etc...										
60 W Cr V 7	1.2550	C 0.60 W 2.00 Cr 1.10 V 0.20	230	60	47 60	TB	—	X	—	X
Poinçons à refouler – Découpoirs – Hachoirs à viande – Outils à écroûter										
142 W V 13	1.2562	C 1.42 W 3.00 V 0.25	265	60	60 66		X	—	—	—
Filières d'étirage à froid pour profilés – Mandrins et poinçons d'étirage pour la fabrication de tubes à collo et de pâte dentifrice...										
50 Ni Cr 13	1.2721	C 0.50 Ni 3.50 Cr 1.00	217	59	44 59	B	—	—	—	X
Acier spécial très résistant aux fortes pressions Pour la frappe à froid des couverts, des pièces d'horlogerie et bijouterie...										
90 Mn V 8	1.2842	C 0.90 Mn 2.00 V 0.10	211	64	59 64	TB	—	—	X	—
Acier pratiquement indéformable Outils de coupe – Jauges – Lames de cisaillon – Alésoirs à mains – Couteaux à papier										

Aciers pour soupapes

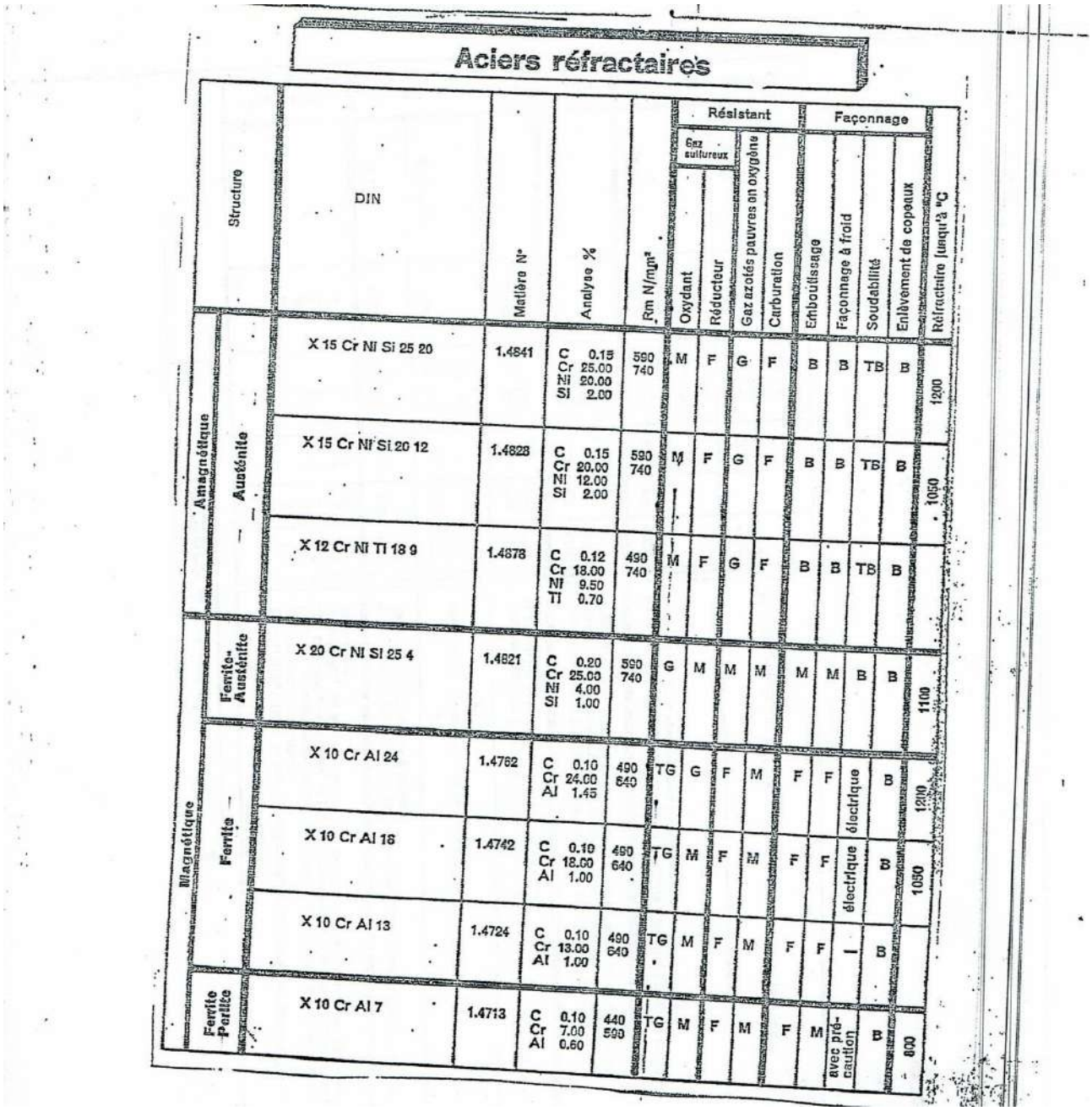
DIN	Matière N°	Analyse %	Rm N/mm² revenu	Rm N/mm² sustenté à °C						
				400	450	500	550	600	650	700
X 45 Cr Ni W 18 9	1.4873	C 0.45 Cr 19.00 Ni 9.00 W 1.00	780 980					660	560	410	260
X 80 Cr Ni Si 20	1.4747	C 0.80 Cr 20.00 Ni 1.50 Si 2.25	880 1150				590	290	140	80
X 45 Cr Si 9 3	1.4718	C 0.45 Cr 9.00 Si 3.10	860 1080			770	540	290	110	70
X 210 Cr 12	1.4721	C 2.10 Cr 12.00	780 980	740	690	640	590	390	200	100	—

Aciers pour roulements

DIN	Matière N°	Analyse %	HB	Rm N/mm²	HRC suivant revenu	Généralités Aciers devant posséder une bonne résistance à l'usure
105 Cr 4	1.3503	C 1.0 Cr 1.0	207	700	60 64	Pour roulements et bagues de 10 à 17 mm de diamètre
100 Cr 6	1.3505	C 1.0 Cr 1.3	207	700	59 64	Pour bagues de roulements à billes, disques et anneaux de butées à billes et à galets, alésages de roulements, etc.
100 Cr Mn 6	1.3520	C 1.0 Cr 1.5 Mn 1.0	207	730	59 65	Bagues de plus de 30 mm d'épaisseur de paroi à l'état fini
X 90 Cr Mo V 18	1.4112	C 0.90 Cr 18.00 Mo 1.0 V 0.10	260	850	58 59	Pour roulements inoxydables à rouleaux à billes à galets

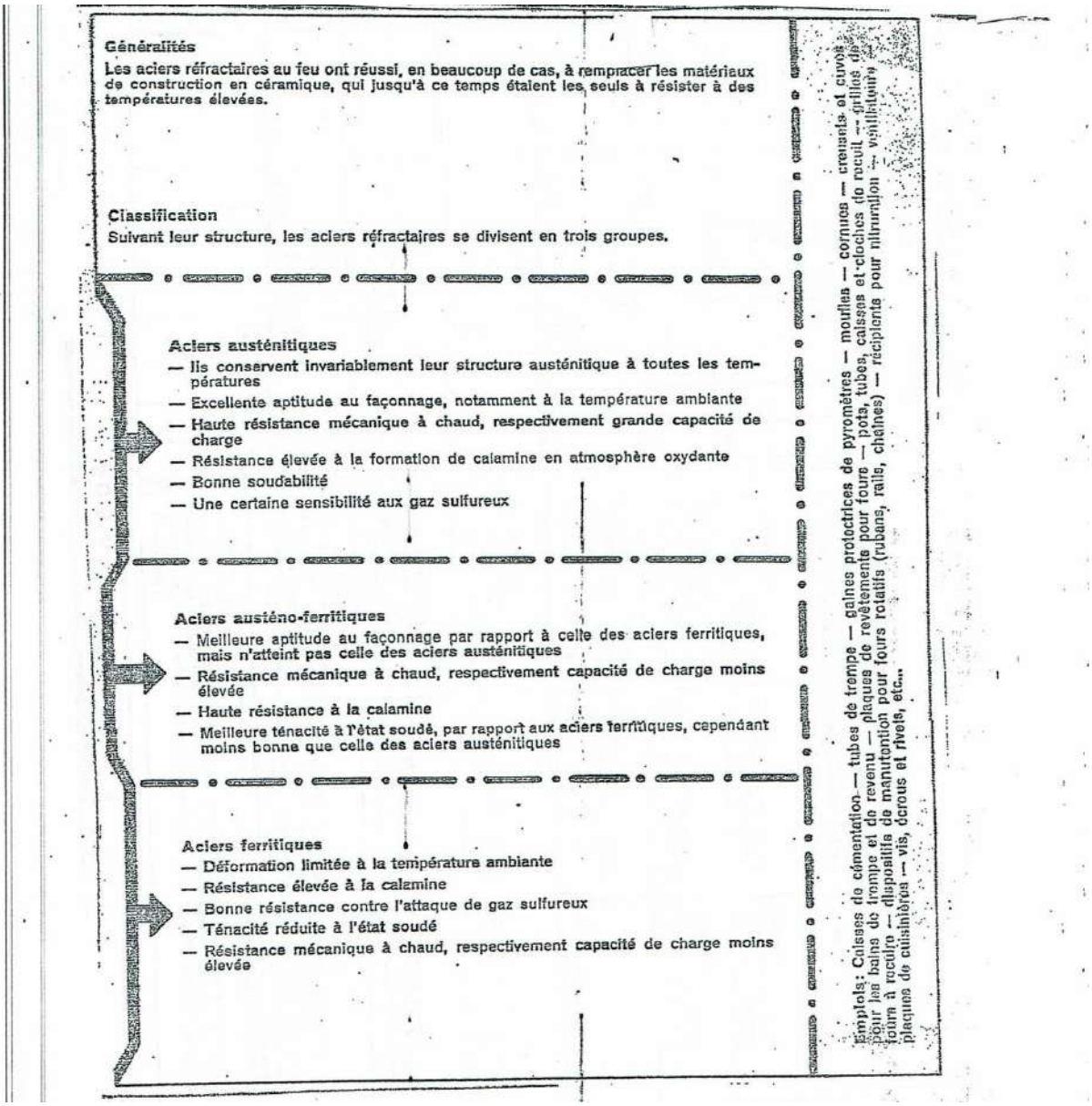
Aciers à ressorts

Catégories	DIN	Matière N°	Analyse	HB Recuit	Rm N/mm²	Rm N/mm² Traité	EMPLOI
Manganèse-silicium	46 Si 7	1.0902	C 0.45 Si 1.70	230	900	1270 1470	**Généralités:** Dans le cas de sollicitations normales, on emploie l'acier au manganèse-silicium. Pour un amortissement efficace et une longue durée d'existence aux des sollicitations élevées et parfois soumises à des températures allant jusqu'à 250, on emploie les aciers au chrome-silicium et au chrome-vanadium
	60 Si Mn 5	1.0908	C 0.60 Si 1.20 Mn 1.00	240	850	1320 1520	Spécialement pour ressorts de suspension pour locomotives et wagons Ressorts de véhicules à moteur
	51 Mn V 7	1.5225	C 0.51 Mn 1.80	230	750 900	1230 1420	Ressorts en spirale, coniques, hélicoïdaux, à lames, etc. Ressorts soumis à un taux élevé de flexions alternées — ressorts à lames et à boudin pour la construction de véhicules
Cr-Si	67 Si Cr 5	1.7103	C 0.67 Si 1.30 Cr 0.80	240	850	1470 1670	Acier à ressorts à grand rendement pour exigences élevées Ressorts d'automobiles — ressorts de suspension et de tampons pour wagons de chemins de fer — ressorts de soupapes et de régulateurs
Chrome-vanadium	50 Cr V 4	1.8159	C 0.50 Cr 1.00 V 0.1 Mn 1.00	235 — 800		1320 1420	Ressorts pour l'industrie automobile, ressorts à boudin, barres de torsion, ressorts de soupapes pour des températures maximum de 300°
	58 Cr V 4	1.8161	C 0.58 Cr 1.00 V 0.10 Mn 0.95	235		1470 1670	Mêmes emplois que 50 Cr V 4, mais pour des sections plus fortes



Aciers réfractaires

Structure		DIN	Matière N°	Analyse %	Rm N/mm²	Résistant				Façonnage				
						Gaz sulfureux								
						Oxydant	Réducteur	Gaz azotés pauvres en oxygène	Carburation	Emboutissage	Façonnage à froid	Soudabilité	Enlèvement de copeaux	Réfractaire jusqu'à °C
Magnétique	Austénite	X 15 Cr Ni Si 25 20	1.4841	C 0.15 Cr 25.00 Ni 20.00 Si 2.00	590 740	M	F	G	F	B	B	TB	B	1200
		X 15 Cr Ni Si 20 12	1.4828	C 0.15 Cr 20.00 Ni 12.00 Si 2.00	590 740	M	F	G	F	B	B	TB	B	1050
		X 12 Cr Ni Ti 18 9	1.4878	C 0.12 Cr 18.00 Ni 9.50 Ti 0.70	490 740	M	F	G	F	B	B	TB	B	
	Ferrito-Austénitique	X 20 Cr Ni Si 25 4	1.4821	C 0.20 Cr 25.00 Ni 4.00 Si 1.00	590 740	G	M	M	M	M	M	B	B	1100
	Ferrite	X 10 Cr Al 24	1.4762	C 0.10 Cr 24.00 Al 1.45	490 640	TG	G	F	M	F	F	électrique	B	1200
		X 10 Cr Al 18	1.4742	C 0.10 Cr 18.00 Al 1.00	490 640	TG	M	F	M	F	F	électrique	B	1050
		X 10 Cr Al 13	1.4724	C 0.10 Cr 13.00 Al 1.00	490 640	TG	M	F	M	F	F	—	B	
	Ferrite Perlite	X 10 Cr Al 7	1.4713	C 0.10 Cr 7.00 Al 0.60	440 590	TG	M	F	M	F	M avec précaution	B		800



Généralités

Les aciers réfractaires au feu ont réussi, en beaucoup de cas, à remplacer les matériaux de construction en céramique, qui jusqu'à ce temps étaient les seuls à résister à des températures élevées.

Classification

Suivant leur structure, les aciers réfractaires se divisent en trois groupes.

Aciers austénitiques

— Ils conservent invariablement leur structure austénitique à toutes les températures
— Excellente aptitude au façonnage, notamment à la température ambiante
— Haute résistance mécanique à chaud, respectivement grande capacité de charge
— Résistance élevée à la formation de calamine en atmosphère oxydante
— Bonne soudabilité
— Une certaine sensibilité aux gaz sulfureux

Aciers austéno-ferritiques

— Meilleure aptitude au façonnage par rapport à celle des aciers ferritiques, mais n'atteint pas celle des aciers austénitiques
— Résistance mécanique à chaud, respectivement capacité de charge moins élevée
— Haute résistance à la calamine
— Meilleure ténacité à l'état soudé, par rapport aux aciers ferritiques, cependant moins bonne que celle des aciers austénitiques

Aciers ferritiques

— Déformation limitée à la température ambiante
— Résistance élevée à la calamine
— Bonne résistance contre l'attaque de gaz sulfureux
— Ténacité réduite à l'état soudé
— Résistance mécanique à chaud, respectivement capacité de charge moins élevée

Emplois: Caisses de cémentation — tubes de trempe — gaines protectrices de pyromètres — moules — cornues — creusets et cuves pour les bains de trempe et de revenu — plaques de revêtement pour fours — pots, tubes, caisses et cloches de recuit — grilles de four à rouleaux — dispositifs de manutention pour fours rotatifs (rubans, rails, chaînes) — récipients pour nitruration — ventilateurs — plaques de cuisinières — vis, écrous et rivets, etc...

Aciers rapides

Généralités
On désigne sous le nom d'aciers rapides (c'est-à-dire à coupe rapide), des aciers trempants dont la composition d'alliage permet une dureté élevée, une résistance maximum à l'usure et une résistance au revenu jusqu'à environ 600° C.

Remarques
Les aciers rapides permettent donc d'adopter des vitesses de coupe considérables

Catégories	DIN	Matière N°	Analyse %	HB recuit	HRC suivant revenu	Usinabilité	Emplois	Matières d'usinage	Caractéristiques
Aciers au tungstène	S 18 – 0 – 1	1.3355	C 0.80 W 18.50 Mo 0. V 1.00	240 300	64	M	Outils de tous genres – outils à tranchant fin, tarauds, fraises à fileter, mèches hélicoïdales –	Acier d'une résistance de moins de 900 N/mm²	Excellente ténacité Bonne aptitude au moulage
	S 18 – 1 – 2 – 5	1.3255	C 0.80 W 18.50 Mo 0.80 V 1.70 Co 5.00	240 300	64	M	Outils soumis à de gros efforts, travaillant à grande vitesse de coupe et de fortes passes	Acier et fonte à haute résistance; acier moulé, fonte malléable, etc.	Sa forte teneur en cobalt lui confère des propriétés de coupe élevées
	S 18 – 1 – 2 – 10	1.3265	C 0.75 W 18.50 Mo 0.8 V 1.70 Co 10.00	240 300	64	M	Outils de coupe pour des conditions de travail les plus difficiles (dégrossissage)	Moulage d'acier – aciers inoxydables, au chrome-nickel, etc..	Résistance au revenu et dureté à chaud élevées
Aciers au molybdène	S 10 – 4 – 3 – 10	1.3207	C 1.20 W 9.50 Mo 4.00 V 3.50 Co 10.50	240 300	65	M	Outils soumis à des sollicitations élevées de dégrossissage et de finition, sur tours automatiques et tours revolver	Aciers austénitiques et alliages de grande résistance — Tronçonnage de tubes, etc.	Exceptionnelle tenue à l'usure
	S 6 – 5 – 2	1.3343	C 0.80 W 6.70 Mo 5.20 V 2.00	225 280	64	M	Outils de tous genres — scies à métaux — scies circulaires — mèches hélicoïdales, etc.	Acier d'une résistance de moins de 900 N/mm²	Excellente ténacité Bonne aptitude au moulage
	S 2 – 9 – 1	1.3348	C 0.80 W 2.00 Mo 9.20 V 1.30	225 280	64	M	Outils extra tenaces tels que tarauds, mèches hélicoïdales, etc.	Acier d'une résistance de moins de 900 N/mm²	Excellente ténacité Bonne aptitude au moulage
	S 6 – 5 – 3	1.3344	C 1.20 W 6.50 Mo 5.20 V 3.00	230 280	64	M	Fraises de grand rendement, utilisées exposés à de gros efforts, poinçons découpoirs et matrices	Acier et fonte de résistance moyenne, bronze, laitons, alliages d'aluminium, matières plastiques	Résistance maximum à l'usure

Aciers inoxydables
Chrome-nickel
Chrome
Aciers austénitiques amagnétiques, ne peuvent être trempés ni traités.
Remarque:
La structure est surtout déterminée par le nickel.
Aciers ferritiques magnétiques, ne peuvent être trempés ni traités.
Aciers martensitiques magnétiques, peuvent être trempés ou traités.
Remarque
La structure est déterminée par le rapport des teneurs en carbone et en chrome.

Aciers inoxydables

Généralités

Les aciers inoxydables et résistant aux acides sont des alliages d'acier présentant une résistance aux attaques atmosphériques et à l'action de certains acides organiques et inorganiques.
Cette résistance est acquise par la présence en grande quantité de Cr, de Ni, sans oublier d'autres éléments en plus petite quantité: le Mo, Mn, Co, Ti, Nb, Cu et S.

Structure	DIN	Matière N°	Analyse %	HB	Rm N/m²	Usinabilité: Emboutissage profond	Façonnage à froid	Soudabilité	Enlèvement de copeaux	
Magnétique — Martensite	X 10 Cr 13	1.4006	C 0.10 Cr 13.00	140 180	550 700	M	M	B	B	Batteries de cuisine – Garnitures – Instruments médicaux – Canons de fusils de chasse – Gabarits – Rivets – Pièces de pompes – Sièges de soupape, etc...
	X 20 Cr 13	1.4021	C 0.20 Cr 13.00	230 275	800 950	—	M	—	B	**Pièces de montage tels que: hélices de navire, roues et godets pour turbines — Pièces forgées, arbres, boulons, etc. — Garnitures – Sièges de soupape**
	X 40 Cr 13	1.4034	C 0.40 Cr 13.00	225	800	—	—	—	B	Dureté élevée et bonnes propriétés de coupe; instr. de chirurgie, couteaux de table, hachoirs, etc. Aiguilles du gicleur de turbines hydrauliques – Pieds à coulisses...
	X 35 Cr Mo 17	1.4122	C 0.35 Cr 16–17.5 Mo 1–1.30	225 275	780 930	—	—	—	B	**Acier inattaquable à l'eau de mer; il possède en outre une bonne résistance à chaud – Pièces de machines et de construction devant posséder une haute résistance mécanique – Pièces devant posséder une bonne résistance à chaud**
	X 22 Cr Ni 17	1.4057	C 0.22 Cr 16–17.5 Ni 2.0	275	950	—	—	—	B	
	X 6 Cr Mo 17	1.4113	C 0.07 Cr 16–18 Mo 0.9–1.2	130 180	450 850	—	—	—	B	Pièces pour la construction automobile d'une haute résistance à la corrosion.
Ferrite + structure de revenu	X 12 Cr Mo S 17	1.4104	C 0.12 Cr 16–17.5 Mo 0.25 + S	160 210	550 700	—	—	—	TB	**Usinabilité très facile, convient excellemment au décolletage – Vis et écrous, etc...**
	X 8 Cr 17	1.4016	C 0.08 Cr 15.5–17.0	130 170	450 600	B	B	B	B	Réservoirs – Ferrures, portes et fenêtres – Revêtements de couloirs – Batteries de cuisine – Guides – etc.

Ferrite	X 8 Cr Ti 17	1.4510	C 0.08 Cr 17.0–18.5 + Ti	130 170	450 600	B	B	B	Résistant contre la corrosion intercristalline Bacs, etc...
	X 8 Cr Mo Ti 17	1.4523	C 0.08 Cr 16.5–18.0 Mo 1.60–1.8 + Ti	140 180	480 640	B	B	B	Appareils résistant aux attaques chimiques indiquées: Sulfate d'ammoniac bouillant – Acide borique bouillant – Chlorure de soufre froid – Révélateur photographique – Vinaigre et acide acétique froids et bouillants – Acide sulfurique – Iode sec – Trichloréthylène froid et bouillant – Acide citrique
Austénite	X 12 Cr Ni 18 8	1.4300	C 0.12 Cr 17.5–19.0 Ni 8.0–9.0	130 180	400 680	B	TB	B	Polgnées et ferrures de portes et fenêtres – Miroirs en métal – Batteries de cuisine – Cuillères, fourchettes – Crochets et rails à viande – Instruments de chirurgie – Sièges de soupape, etc...
	X 5 Cr Ni 18 9	1.4301	C 0.05 Cr 17.5–19.0 Ni 9.0–10.0	130 180	500 700	TB	TB	TB	Pour tous les emplois demandant la meilleure aptitude au façonnage — Ustensiles et appareils pour l'industrie chimique et alimentaire – Pièces de construction pour réacteurs nucléaires
	X 10 Cr Ni Ti 18 9	1.4541	C 0.1 Cr 17.5–18.5 Ni 9.0–10.0 + Ti	130 190	500 750	B	B	B	
	X 12 Cr Ni S 18 8	1.4305	C 0.12 Cr 17.5–19.0 Ni 8.0–9.0 + S	130 180	500 700	—	B	TB	Crochets à viandes – Ecrous, contre-écrous – Vis à bielles, etc...
	X 2 Cr Ni 18 9	1.4306	C 0.03 Cr 18.0 Ni 11.0	120 180	450 700	TB	TB	B	Ustensiles et appareils pour l'industrie chimique et alimentaire...
	X 5 Cr Ni Mo 18 12	1.4436	C 0.05 Cr 17.0–18.5 Ni 11.5–12.5 Mo 2.5–2.8	130 180	500 700	B	TB	B	
	X 5 Cr Ni Mo Cu Nb 18 18	1.4505	C 0.05 Cr 17.0–18.5 Ni 19.0–20.5 Mo 2.0–2.3 Cu 2.00 + Nb	130 190	490 740	B	B	B	Acier pour conduites d'eau résiduaire – Armatures pour l'industrie de la cellulose – Alambics pour la distillation – Gicleurs résistants aux acides – Ecuelles à révélateur – Arbres et vis résistants aux acides – Clous et vis chirurgicaux pour ostéosynthèse...
Amagnétique									

Conclusion generale

Dans cette étude nous avons mis en évidence l'influence de traitement thermique sur les caractiristiques physiques de l'acier définissants l'état d'un matériau sont liés entre elle par des relation .Des traitment thermiques dans la masse ou en surface d'un matériau permettent ainsi de modifier ces caractiristique telles que la trempe ,le recuit ou encore le revenu.

A l'aide de ces différentes méthodes et techniques, nous pouvons ainsi critiquer et meme faire le choix du matériau le mieux adapté ,nous pouvons comprendre et decider l'utilisation de tel ou tel traitement thermique de l'acier.

Les critères de choix se feront donc suivant les fonctions principales de la pièce en service ,c'est –à-dire ces conditions de sollicitation ,son mode de mis en charge ,le milieu environnant ,le température d'utilisation ,etc.

En conclure de ce travail est de trouver une possible corrélation entre la microstructure et le comportement mécanique ,après application des traitements thermiques et influence de température de revenu sur les caractéristques mécaniques et mécorostructure des aciers.

- La transformation de la marteniste en mareteniste de revenu après le second revenu nous permet d'obtenir un acier ayant les meilleures caracéréristique.