

وزارة الجامعات
Ministère aux Universitaires

200

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
BIBLIOTHEQUE - المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

DEPARTEMENT

Métallurgie

PROJET DE FIN D'ETUDES

SUJET

Traitements Superficiels
d'Outils Speciaux de
Frappe

Proposé par :

La banque
d'Algerie

Etudié par :

A. Ardjane

Dirigé par :

M. Chitroub

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة الجامعات
Ministère aux Universitaires

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
المكتبة — BIBLIOTHEQUE
Ecole Nationale Polytechnique

PROJET DE FIN D'ETUDES

SUJET

Proposé par :

Etudié par :

Dirigé par :

PROMOTION

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
المكتبة — BIBLIOTHEQUE
Ecole Nationale Polytechnique

*****_o***** BENVENUES *****_o*****

Je tiens à dédier ce modeste travail à :

- Mon père et ma mère pour leur soutien moral et financier
- Tous mes frères et sœurs.
- tous mes amis particulièrement MOHAMED et ceux de l'ENP
- ceux qui de loin ou de près ont contribué à la réussite de ce travail.

ARDJANE ADDA

***** REMERCIEMENTS *****

que

Tous les professeurs du département métallurgie qui ont contribué à ma formation, particulièrement M. CHITROUB pour l'aide qu'il n'a cessé de me prodiguer tout au long de cette mémoire,

Messieurs SEBBHI et TROUCHE DE la banque d'ALGERIE pour précieuse aide

trouvent ici l'expression de mes plus sincères remerciements.

-o- S O M M A I R E -o-

I- Introduction

II- Généralités sur la cémentation solide et la trempe superficielle

II.1- Cémentation solide

II.1.1- Définition de la cémentation solide p.1.

II.1.2- Mécanisme de la diffusion p.5

II.1.3- Pratique de la cémentation en caisse p.8

II.1.4- Choix des aciers de cémentation p.11

II.1.5- Traitements thermiques après cémentation p.12.

II.2- la trempe superficielle

II.2.1- Généralités sur la trempe..... p.14

II.2.2- Principales méthodes de trempe superficielle p.16

III. Techniques expérimentales

III.1- Cémentation en caisse..... p.19

III.2- Trempe superficielle (Méthode Allemande)..... p.21

III.3- Mesure de la microdureté..... p.24

IV. Résultats et interprétations

IV.1. OPTImisation des paramètres de la cémentation.....p.25

IV.2. Interprétations p.34

IV.2. Optimisation des paramètres de la trempe superficielle p.36

(METHODE ALLEMANDE).....

IV.2.2. Interprétations p.42

V. Conclusion . p.43

INTRODUCTION:

La mise hors service des pièces mécaniques est le plus souvent imputable à l'usure et à la corrosion. De plus, il est souvent très intéressant qu'une pièce ait à la fois une haute dureté en surface alliée à une excellente résilience dans la masse.

Or, c'est le cas de la virole sur laquelle est exécuté notre travail, qui est une pièce qui se veut dure en surface et résiliente au cœur. Celle-ci étant utilisée par la B.C.A comme outil spécial de frappe de monnaies.

Mais, les caractéristiques citées ci-dessus sont tout à fait contradictoires et amènent à trouver un compromis. La réalisation de cette exigence se fait généralement de deux manières, à savoir:

- Ne tremper que les couches superficielles, la masse ayant été traitée pour obtenir une haute résilience.
- Modifier la composition chimique superficielle d'un acier, cette opération étant accompagnée de traitement thermique.

Selon l'élément diffusé que l'on utilise, on classera les différents types de traitements thermo-chimiques:

- Cémentation: Enrichissement superficiel en carbone.
- Nituration: Enrichissement superficiel en azote.
- Carbonituration: Combinaison de ces deux premiers modes de traitements.
- Cyanuration: Enrichissement superficiel en cyanure.

Le but de notre travail est de parvenir à choisir le procédé le plus adéquat pour traiter ces viroles.

L'Etude est répartie en quatre parties

La première partie traite les généralités de la cémentation solide et de la trempe superficielle. les techniques expérimentales sont décrites dans la deuxième partie.

Les résultats seront présentés et interprétés dans la troisième partie.

La quatrième partie quant à elle est réservée à la conclusion.

partie : 1

11. GENERALITES SUR LA CEMENTATION SOLIDE ET LA TREMPE SUPERFICIELLE

11.1- Cimentation solide

11.1.1- Définition de la cimentation:

La Cimentation est une opération métallurgique qui consiste essentiellement dans le processus de saturation en carbone des couches superficielles d'un acier.

Le principal but de cette opération est l'amélioration des propriétés d'usage telle que la tenue à l'usure par un durcissement superficiel.

La cimentation comprend en général trois étapes:

-a) Réaction chimique d'un milieu capable de céder du carbone avec la surface de la pièce à haute température.

-b) Simultanément, fixation du carbone et diffusion, dans les couches superficielles.

-c) Durcissement de ces couches superficielles cimentées par un traitement thermique qu'est la trempe.

Généralement, trois objectifs primordiaux sont recherchés par un tel traitement, à savoir :

- Dureté très élevée en surface
- Bonne tenacité au coeur
- Contrainte de compression en surface

Rôle et Influence du carbone:

Le carbone destiné à diffuser dans les couches superficielles pour changer les caractéristiques d'usage remplit certaines conditions qui en font de lui le meilleur élément d'apport:

* Le carbone donne avec le fer une solution étendue de cristaux mixtes d'insertion donnant de la martensite après trempe.

* Un revenu à une température modérée ramène le fer à l'état cubique avec une précipitation ultrafine d'une combinaison dure de fer et carbone.

* Le carbone possède une grande vitesse de diffusion dans la phase, car étant un élément léger, petit, s'insérant facilement dans le réseau.

* Le carbone est apporté aisément par réduction du ciment à haute température dans les couches superficielles.

Réactions chimiques de la cémentation:

Le charbon de bois additionné à du carbonate de Barium $BA CO_3$ et du carbonate de calcium $(CA CO_3)$ réagit à haute température à la surface de la pièce et fait que le carbone libéré s'insère dans le réseau austénitique : $C_{sol} \rightleftharpoons C$

On remarque qu'à chaque instant, il y a équilibre entre la quantité de carbone diffusé et celle libérée par le ciment solide.

Il faut donc une composition chimique du ciment beaucoup plus carburante que celle en équilibre avec la composition désirée dans les couches superficielles.

Equilibres Chimiques Reversibles:

Les équilibres chimiques réversibles permettent de définir une valeur de la composition du ciment.

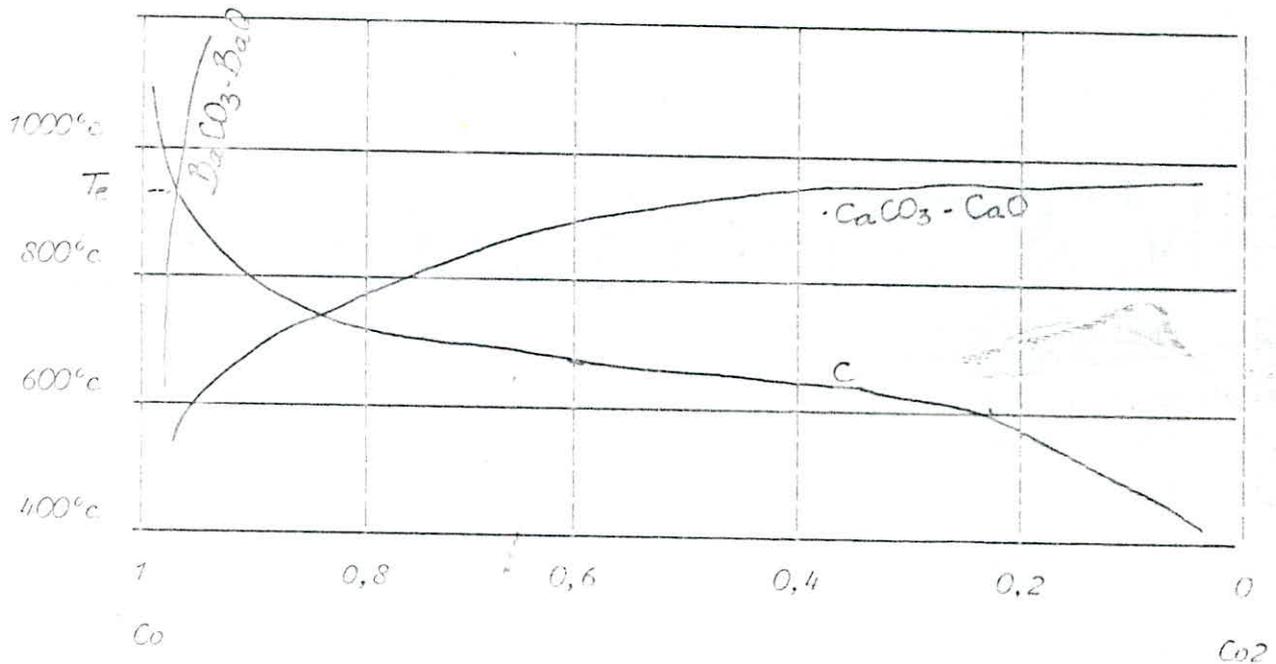
L'élément le plus simple et le plus susceptible d'apporter du carbone lors de la cémentation solide est le monoxyde de carbone (CO) qui donne avec l'austénite, l'équilibre réversible suivant:



Cet équilibre est défini en fonction de la pression P , de la température T , et de la concentration du carbone inséré dans la phase | 1 |.

De même on a la décomposition de BaCO_3 et CaCO_3 :





T_e : Température d'équilibre

Si la température est inférieure à la température d'équilibre qui est d'environ 860°C , la pression partielle de CO_2 provenant de la dissociation du carbone est supérieure à celle de CO_2 provenant de la dissociation de BaCO_3 . Donc la concentration du carbone inséré dans la phase dépend seulement de la dissociation du charbon. Une fois, la température d'équilibre dépassée, la dissociation des carbonates est totale. Donc l'apport de carbone provient à la fois et de la dissociation du charbon et de la dissociation des carbonates.

Cémentation par Co :

Une cémentation douce de l'acier peut être obtenue grâce à Co. Mais celle-ci est limitée par l'équilibre réversible précédent, ce qui rend nécessaire que la vitesse de circulation des gaz soit suffisante à la surface des pièces pour obtenir la carburation.

En effet, expérimentalement le CO_2 formé s'accumule à la surface et limite l'équilibre à une valeur très faible de la composition du ciment | 2 1 .

II.1.2 Mécanisme de la diffusion:

Lors de la cémentation, l'apport du carbone se fait par migration de celui-ci dans l'acier qui est un processus de diffusion solide normal.

La complexité des conditions techniques rend difficile l'analyse mathématique sauf dans les cas les plus simples où l'on peut appliquer les lois de la diffusion.

Selon une étude basée sur la cémentation gazeuse, on a pu démontrer que la surface du métal agit catalytiquement sur le gaz qui lui cède le carbone sous deux formes:

- Carbone atomique qui diffuse dans l'acier
- Carbone élémentaire qui donne une suie graphitique empêchant la cémentation.

Donc la vitesse de céméntation serait fonction de deux paramètres:

- Potentiel ou activité du carbone à la surface de l'acier
- Coefficient de diffusion du carbone dans l'acier en fonction

de la température.

La diffusion du carbone dans l'acier fera donc apparaître une différence de concentration en cet élément de la surface vers le cœur.

Loi Générale de la diffusion:

On considère que la diffusion se déroule selon des tranches planes parallèles selon l'axe Cx :

Le flux entrant dans l'élément de volume $dx \cdot dy \cdot dz$ est:

$$\Phi_1 = D \cdot d \left(\frac{\partial c}{\partial x} \right) dy \cdot dz \cdot dt$$

Le flux sortant est:

$$\Phi_2 = \left[D \cdot d \cdot \frac{\partial c}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \left(D \cdot d \cdot \frac{\partial c}{\partial x} \right) dx \right] dy \cdot dz \cdot dt$$

Où :

D : Coefficient de diffusion

d : Densité de l'acier

L'augmentation de la masse de carbone contenue dans cet élément de volume est égale à la différence entre ce qui rentre et ce qui sort ; c'est à dire :

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(D \cdot d \frac{\partial c}{\partial x} \right) dx \cdot dy \cdot dz \cdot dt \quad (1)$$

D'autre part, cette augmentation peut par définition s'écrire:

$$d \cdot \left(\frac{\partial c}{\partial t} \right) dx \cdot dy \cdot dz \cdot dt \quad (2)$$

En égalant (1) à (2) on aura :

$$\frac{\partial c}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(D \cdot \frac{\partial c}{\partial x} \right)$$

Dans la mesure où le coefficient de diffusion D peut-être considéré indépendant de la concentration C , cette équation peut s'écrire

$$\frac{\partial c}{\partial t} = D \cdot \frac{\partial^2 c}{\partial x^2}$$

Ce qui représente la 2ème loi de FICK

La 1ère loi de FICK :

$$dq = -D \cdot dS \left(\frac{\partial c}{\partial x} \right) dt$$

où :

dq : masse de carbone passant à travers un élément de surface

dS pendant un temps dt .

Cémentation dans le cas idéal:

Dans ce cas simple, on supposera que :

- Le coefficient de diffusion est indépendant de la concentration en carbone C .

- la concentration finale C_f d'équilibre chimique avec le milieu ambiant est atteinte instantanément en surface.

Ceci amène à ce que la solution de l'équation suivante: $\frac{\partial C}{\partial t} = D \cdot \frac{\partial^2 C}{\partial x^2}$

soit de la forme:

$$y = 1 - G(u) \quad \text{où}$$

$$y = (C - C_i) / (C - C_f)$$

$$u = x / 2\sqrt{D \cdot t} \quad G(u) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^u e^{-v^2} dv$$

II .1.3 Pratique de la cémentation en caisse:

Principe: La cémentation en caisse consiste à noyer dans un ciment solide les pièces à traiter.

L'ensemble ciment et pièces est maintenu dans une caisse portée à une haute température.

L'air agira ainsi sur les grains du ciment et donnera une atmosphère très riche en oxyde de carbone CO et très carburante.

Cette atmosphère permettra simultanément la fixation et la diffusion du carbone dans les couches superficielles. Après un certain temps, on défoune la caisse et on trempe les pièces.

Cément: Il est constitué de carbone amorphe sous une forme réactive telle que le charbon de bois. Il peut-être sous forme pulvérisée ou granulée.

On ajoute au charbon de bois des produits adjuvants dont en particulier le carbonate de Barium et le carbonate de calcium.

Le meilleur et le plus utilisé des ciments est celui de CARON dont les proportions en charbon et en carbonate de Barium sont les suivantes:

- Charbon de bois : 60% en poids
- Carbonate de Barium : 40% en poids

Caisnes de cémentation:

Les caisses pour des pièces unitaires hors série peuvent être constituées en tôle d'acier doux, mais dans le travail de série on a recours aux boîtes coulées en alliage réfractaire.

Le plus employé surtout est l'alliage coulé:

C = 0,2% ; Ni = 6% ; Cr = 24% ; Si = 2%

On évite les caisses dont la manipulation est pénible, les déformations à chaud plus à craindre, la transmission de chaleur plus mauvaise.

Mise en caisse:

On verse et étale une couche de 2 cm environ de ciment au fond de la caisse. Les pièces sont rangées en ménageant entre elles un espace d'environ 2 cm.

Les espaces sont comblés avec du ciment, et on recouvre d'une couche de 2 cm environ de ciment.

On respectera l'opération jusqu'au remplissage complet de la caisse.

Pour assurer l'étanchéité, il vaut mieux renverser la caisse chargée pour que celle-ci repose sur son couvercle que de colmater avec de l'argile qui peut souiller le ciment.

Défournement:

Après cémentation en caisse, plusieurs procédés peuvent être employés dont aucun n'est pleinement satisfaisant:

- Refroidissement en caisse:

Le refroidissement est très lent, et si la cémentation a été hypereutectoïde, la carbure se sépare en réseau cellulaire autour de grains d'austénite.

Cette répartition cause la fragilité des pièces, qui ne disparaît pas après un traitement subséquent si celui-ci est à température modérée.

Aussi cherche t'on à réduire l'activité du ciment en utilisant un mélange de ciment neuf et de ciment déjà utilisé en grande proportion.

Défournement à chaud en trempe directe:

là , les pièces sont enlevées des caisses encore chaudes et trempées individuellement.

Elles peuvent être aussi placés dans un four d'où elles sont extraites après stabilisation pour être trempées successivement.

Choix des Aciers de Cémentation:

La teneur en carbone est généralement limitée à 0,25% pour les aciers de cémentation. Leur aptitude à la cémentation est conditionnée par une uniformité de pénétration de carbone. Ceci n'est compatible qu'avec une finesse de grain convenable qui de plus résistera au grossissement au cours de la cémentation.

Généralement , trois objectifs sont recherchés:

- Dureté très élevée en surface (58HRC) sans fragilité
 - Une résistance optimum à coeur dépendant du type de sollicitation
- ce qui fera que le trempabilité de l'acier intervient donc comme critère principal. Expérimentalement il a été démontré que l'optimum de résistance à coeur pour la fatigue sous forte charge est de l'ordre de 850 à 1080

N.mm² - | 4 |.

± Contrainte de compression en surface des principaux aciers utilisés pour la cémentation sont:

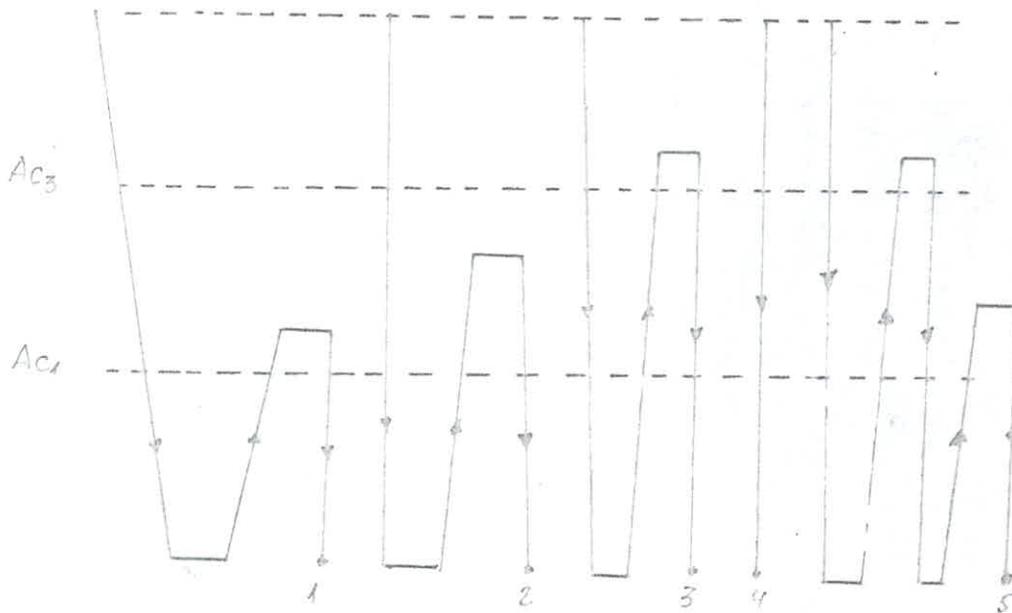
XC10 . XC18 . 16NC5 . 20 NC5 . 18 CDA . 25 CDA . 16NC6
10NC6 . 20 NC6 . 11NC11 . 20 ND2 . 18 NCD6.

Traitements Thermiques après cémentation:

Le durcissement de la couche carburée s'obtient par temps (en général à l'huile). Après trempe, les pièces subissent un revenu de détente vers 150 à 200°C conduisant à une augmentation de la tenacité de la couche.

Divers cycles sont représentés ci-dessous:

T° de Cémentation



Les traitements 1, 2 et 3 font que :

- La teneur en carbures non dissous de la couche cémentée diminue

- La teneur en austénite résiduelle, l'affinement de la structure

du cœur ainsi que la dureté et la résistance augmentent. Tandis que la

trempe directe: à partir de l'état cémentée ne peut s'appliquer

qu'aux aciers à grains contrôlés. En effet dans le cas contraire il y a

risque d'y avoir grossissement très important du grain austénitique

et même au traitement adéquat peut parfois ne pas régénérer la structure

Dans le cas où l'acier utilisé est sensible au grossissement du grain

(aciers non alliés), le traitement utilisé sera de type $A_{1} + A_{2}$ à $A_{1} + A_{2} + A_{3}$

double trempe conduisant à une grande dureté superficielle et à une

zone centrale de résilience élevée.

11.2. Trempe superficielle:

Définition:

On appelle trempe:

- Un chauffage à la température supérieure à celle de AC_3 (cas des aciers hypoeutectoides) ou AC_1 (cas des aciers hypereutectoides).

Avec un maintien à cette température jusqu'à la fin des transformations de phases, suivis d'un refroidissement à une vitesse supérieure à la vitesse critique de trempe.

Choix de la température:

Les aciers hypoeutectoides doivent être chauffés de 30 à 50°C au dessus de AC_3 . On obtient alors une structure austénitique qui se transforme en Martensite lorsqu'on trempe l'acier.

Les aciers hypereutectoides quant à eux chauffés au dessus de AC_1 de 50 à 10°C.

Choix des agents de refroidissement pour la trempe:

Pendant la trempe, le refroidissement doit assurer dans la section donnée de la pièce l'obtention de la martensite sans produire de défauts tels que rapures, déformation gauchissement et contraintes de traction résiduelles élevées dans les couches superficielles.

Ordinairement, on utilise comme bain de trempe: de l'eau, des solutions aqueuses de sels, ainsi que l'huile.

Le meilleur refroidissement est celui qui se fait à une:

* grande vitesse (- à la vitesse critique) dans l'intervalle

$M_1 - M_3$ pour étouffer la décomposition de l'austénite dans le domaine perlitique.

* Vitesse moyenne dans l'intervalle $M_3 - M_f$ éviter les contraintes résiduelles et les tapures.

Les caractéristiques des différents bains de trempe sont données par le tableau suivant:

Nature du bain	caractéristiques après trempe
Eau	Contraintes thermiques faibles contraintes structurales élevées
Huile	Gauchissement des pièces Différence minimale des propriétés entre l'âme de la pièce et la surface
Solutions aqueuses de sel (8 - 12% NaCl + NaOH)	Pas d'apparition de tapures Meilleure sévérité de trempe

De delà, il ressort que le meilleur bain de refroidissement est celui des solutions aqueuse de sels.

II.2.2 Principales méthodes de trempes superficielles:

La trempé superficielle consiste à prendre un acier allié ou non, moyennement riche en carbone (0,3 à 0,5%).

Les couches superficielles sont chauffées à une vitesse d'apport de calories supérieure à leur vitesse de diffusion vers la masse.

La température étant atteinte, on refroidit à une vitesse permettant la formation de martensite.

Indépendamment du mode de chauffage, on distingue

- La trempé générale instantanée:

La région à traiter est portée dans son ensemble à la température de trempé. Le refroidissement qui suit immédiatement se fait par douche ou immersion.

- La trempé de proche en proche ou au défilé:

Elle est généralement utilisée pour les pièces longues et les grandes surfaces.

La tête de chauffage qui contient aussi le mode de refroidissement défile à une vitesse déterminée le long de la pièce.

Le refroidissement suivant aussitôt la mise en température.

partie = 2

999 Techniques Expérimentales:

Aciers utilisés:

Pour cette étude le choix s'est porté sur deux nuances d'acier: le 20 NC6 et le 25 CDA.

Selon la norme AFNOR, les compositions chimiques seraient les suivantes:

Eléments Nuance	C	Mn	Si	S	P	Ni	Cr	Mo	Cu	V
20 N C 6	0,19	0,55	0,30	0,01	0,018	1,52	0,81	0,100	0,20	-
25 C D A	0,24	0,80	0,23	0,025	0,020	0,21	1,06	0,24	0,18	0,006

Formes et dimensions des éprouvettes:

- Les éprouvettes destinées à l'optimisation des paramètres de la cémentation en caisse sont cylindriques de diamètre $\varnothing = 35$ mm et d'épaisseur $e = 8$ mm
- Ceux destinés à l'optimisation des paramètres de la trempe superficielle (méthode allemande) ont les dimensions suivantes:

\varnothing int : 20 mm ; \varnothing ext : 90 mm , e : 14 mm

les viroles quant à elles sont représentées dans la figure - 3-

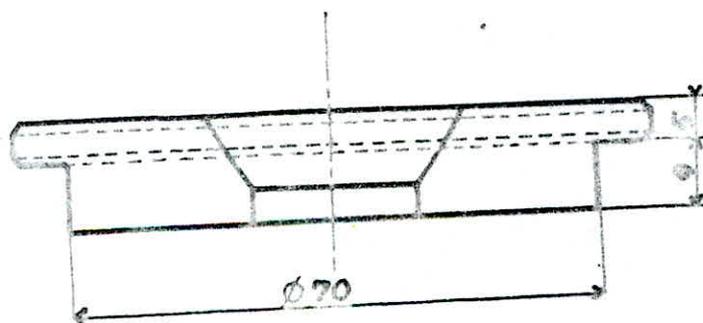
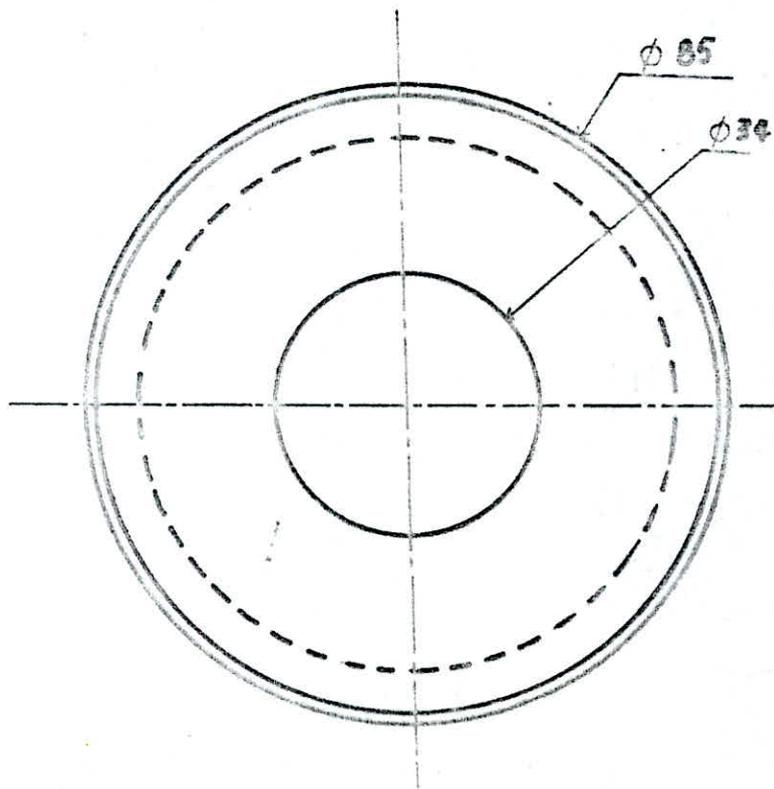


FIG. .Forme et dimension d'une virole.

III - 1 - Cimentation en caisse:

- Cément: Le ciment utilisé pour les expériences de la cimentation en caisse, présente la composition suivante:

- Charbon de bois: 60% en poids
- Carbonate de Barium: 37% en poids
- Carbonate de calcium: 3% en poids

Ce ciment utilisé est granulé, les grains sont de 2 à 5 mm

Le carbonate de calcium a été additionné pour éviter le frittage.

- Caisse de Cimentation:

Les caisses de cimentation utilisées sont en acier réfractaire.

Elles sont de forme cylindrique, de diamètre $\Phi = 40$ mm, et d'épaisseur $e = 15$ mm.

- Mise en caisse:

Après étalage d'une couche de ciment d'environ 2 mm, on place les éprouvettes et on recouvre d'une autre couche de ciment.

Après mise en caisse, les brèches ont été colmatées au moyen de l'argile afin d'éviter toute sortie de gaz.

Traitement thermique après cémentation:

Après cémentation, la pièce est composée de 02 aciers au carbone très différents.

- L'âme de la pièce demeure de l'acier extra-doux
- la couche cémentée est un acier à forte teneur en carbone

Ce qui nécessitera un traitement des aciers à savoir une trempe et un revenu.

Une fois les caisses défournées, les pièces sorties on les a laissé refroidir aussi rapidement que possible afin de conserver une bonne répartition des carbures. ce refroidissement a été fait au moyen de l'huile.

Une trempe à l'eau ferait que le refroidissement soit trop brutal et causerait ainsi des déformations trop importantes.

Après trempe, un revenu à 200°C pendant 30 mn a été effectué.

Ce revenu ne change rien à la structure, cependant il permettra de libérer les contraintes thermiques dues à la trempe.

Mesure de la profondeur de la couche cémentée:

- Critère d'épaisseur de cémentation:

La profondeur de la cémentation ne peut-être définie que d'une manière arbitraire.

Pour cela plusieurs critères ont été avancés, dont nous citerons les plus importants.

1 - L'épaisseur cémentée est définie par le caractère structural (Martensité pure par ex) en relation avec le développement du maximum de dureté et de contraintes résiduelles en compression.

2 - Elle est aussi définie comme étant l'épaisseur jusqu'où l'on retrouve le pourcentage initial du carbone dans l'acier.

3 - Enfin, elle est prise conventionnellement comme étant l'épaisseur à la zone où la dureté est supérieure à 550 HV. C'est celui que nous prendrons en compte, et nos mesures seront prises sur la base de ce critère.

Trempe superficielle (Méthode Allemande):

C'est une forme de trempe superficielle. Seulement elle diffère des autres (décrites dans l'étude théorique) par ce qui suivra:

- Le chauffage se fait au moyen d'un four électrique à température réglable, maintenue constante par un système de régulation lié à un thermocouple.

- Les parties à ne pas traiter (tremper) seront recouvertes au moyen de plaques d'amiante.

L'atrempe se fera au moyen d'un jet d'eau et non pas par immersion.

Choix de la température

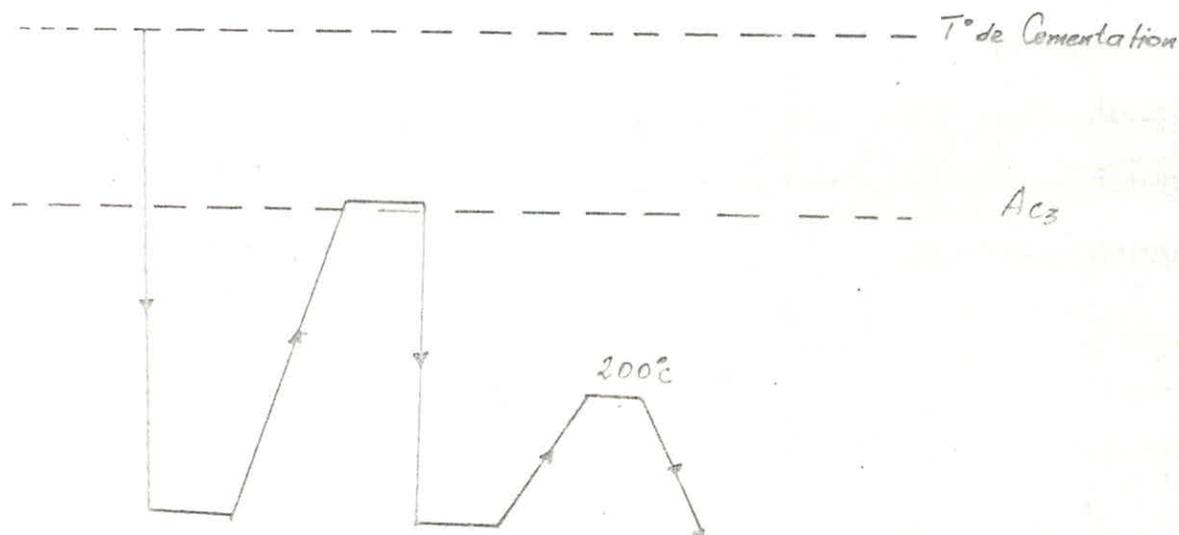
Généralement la trempe se fait pour une température T comprise entre $AC3 + 30^{\circ}C$ et $AC3 + 50^{\circ}C$.

De ce fait pour nos deux nuances, on a choisi les températures 850 et $900^{\circ}C$.

Choix du temps de maintien

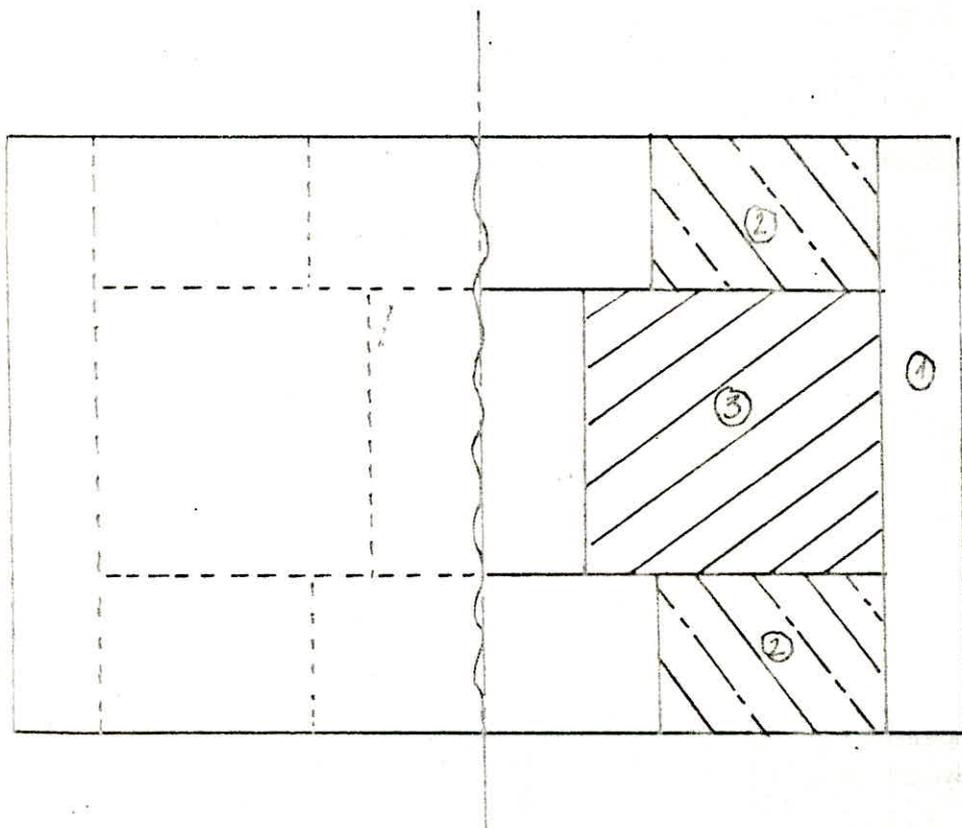
Du fait que les températures de trempe sont élevées, un maintien long, à ces températures engendrerait un grossissement des grains et par la suite une grande fragilité, un maintien d'une demie-heure suffirait à l'austénisation de l'acier.

Cycle thermique:



Dispositions de la pièce:

La pièce à tremper sera disposée selon le schéma suivant:



Légende:

1 - Cylindre en amiante

2 - Plaque en amiante

3 - Pièce à tremper

333 - 3 - Mesure de la Microdureté:

Les mesures de microdureté ont été prises sur des échantillons enrobés dans la résine et polis superficiellement.

L'appareil est le microduremètre " TESWELL " dont le principe de mesure est basé sur la méthode VICKERS.

Les charges varient quant à elles de 10 à 1000g.

Le pénétrateur est un diamant pyramidal à base carrée, ayant un angle égal à 136° .

L'empreinte vue au moyen de l'oculaire, présente une forme carrée, dont nous calculerons la moyenne arithmétique des 2 diagonales.

Le calcul étant permis grâce à la graduation présente dans la lunette.

Une fois la valeur moyenne trouvée, la microdureté VICKERS est lue directement sur les tables de conversion qui en fait donnent, en fonction de la charge appliquée les résultats de la relation suivante:

$$H_v = \frac{P}{S} = 2 \cdot \frac{P}{d^2} \sin \frac{136^\circ}{2} = 1,8544 \cdot \frac{P}{d^2}$$

P : Charge

d : Moyenne des 2 diagonales.

partie : 3

IV-Résultats et interprétations :

IV-1-Optimisation des paramètres de la cémentation :

Les tableaux I, II, III, IV, V et VI représentent les résultats de la microdureté de la couche cémentée ; en partant de l'extrémité vers le cœur de la pièce ; pour les différentes valeurs de la température pour un temps de maintien donné, et pour les deux nuances d'aciers utilisés.

Les tableaux VII et VIII donnent les différentes valeurs de l'épaisseur de la couche cémentée en fonction du temps de maintien et de la température.

Distance à l'extré- mité (mm)	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7
Température (°C)							
900	723	641	562	531	491	-	-
950	831	752	728	552	526	492	-
1000	975	748	663	649	580	566	506

I - Microdureté de la couche cimentée en fonction de la température.

T = 3 heures (Nuance : 20 NC6)

Distance à l'extré- mité (mm)	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7
Température (°C)							
900	629	597	580	574	562	552	-
950	757	723	663	635	591	557	541
1000	779	715	610	580	552	526	-

II - Microdureté de la couche cimentée en fonction de la température

T : 3 heures Nuance : 25 CD4

Distance à l'ex- trémité (mm)	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
Température (°C)									
900	821	784	748	649	591	546	-	-	-
950	990	972	732	677	622	603	562	-	-
1000	952	894	784	757	656	610	557	552	552

III - Microdureté de la couche cimentée en fonction de la température
 $t = 6$ heures Nuance : 20NC6

Distance à l'ex- trémité (mm)	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
Température (°C)									
900	977	952	929	905	802	784	635	541	-
950	826	757	740	715	670	656	610	564	552
1000	894	841	774	732	663	574	546	-	-

IV - Microdureté de la couche cimentée en fonction de la température
 $t : 6$ heures Nuance : 25 CD4

Distance à l'extrémité (mm)	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1
Température											
900	1030	940	891	821	723	670	635	591	568	557	536
950	929	872	821	793	732	715	622	568	552	-	-
1000	975	748	663	649	580	556	506	-	-	-	-

V - Microdureté de la couche cimentée en fonction de la température
 $t = 9$ heures Nuance: 25C04

Distance à l'extrémité (mm)	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
Température (°C)									
900	905	883	831	757	663	645	616	585	546
950	1027	802	736	715	677	649	597	552	526
1000	1102	984	774	715	642	552	-	-	-

VI - Microdureté de la couche cimentée en fonction de la température
 $t = 9$ heures Nuance : 20 NC6

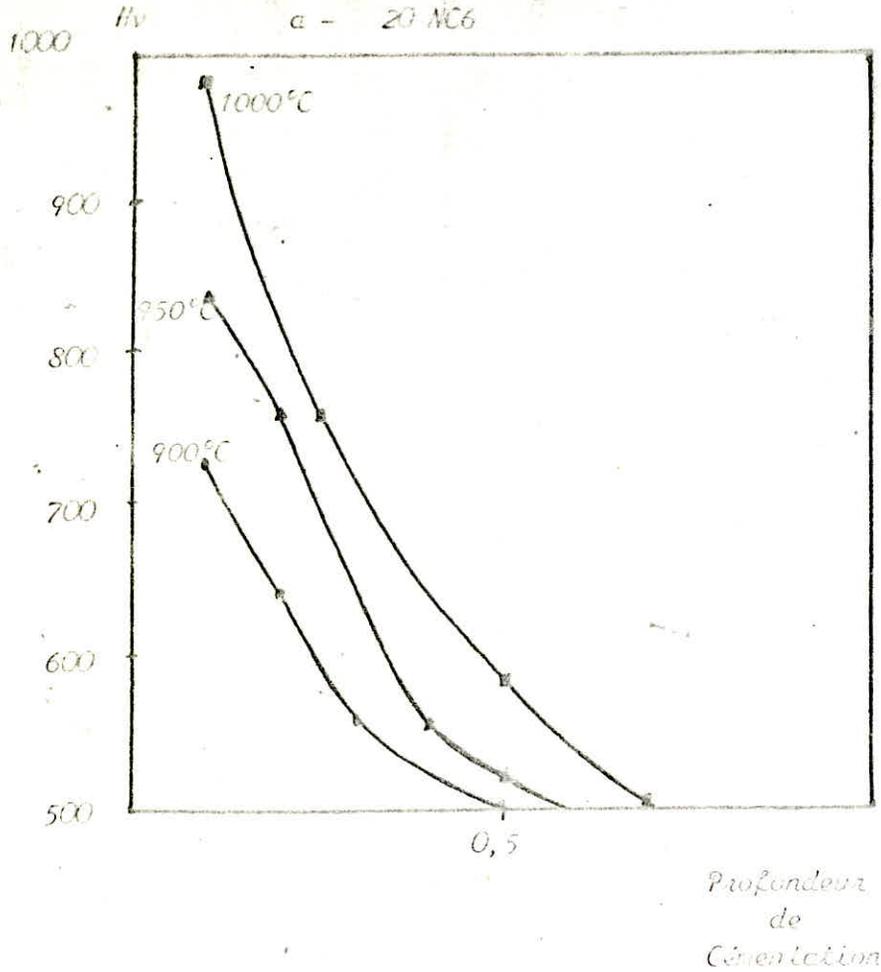
Température (°c)	900	950	1000
Temps de maintien			
03	0,7	0,4	0,6
06	0,5	1,2	0,8
09	0,8	1,3	0,6

XIII - Epaisseur de la couche cimentée en fonction du temps de maintien et de la température - Nuance 20.NC6

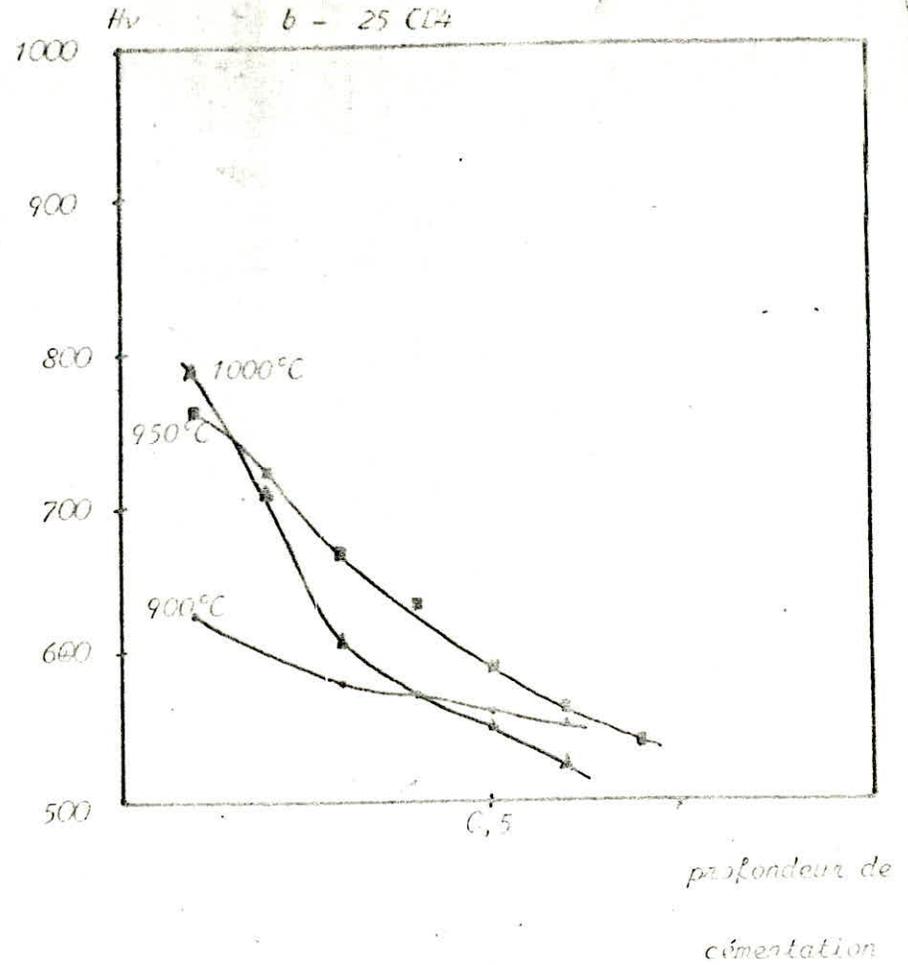
Température (°c)	900	950	1000
Temps de maintien			
03	0,7	0,6	0,5
06	0,9	1,2	0,6
09	1,1	1,0	0,7

XIV - Epaisseur de la couche cimentée en fonction du temps de maintien et de la température - Nuance : 25 CD4

FIG. 9

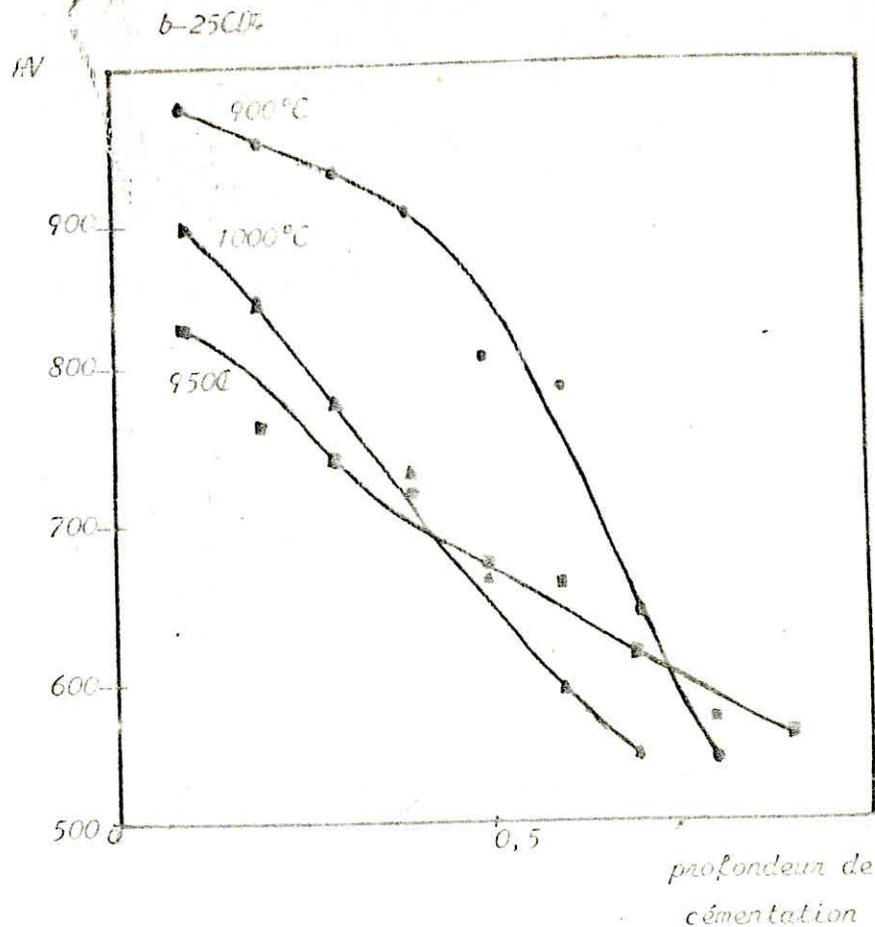
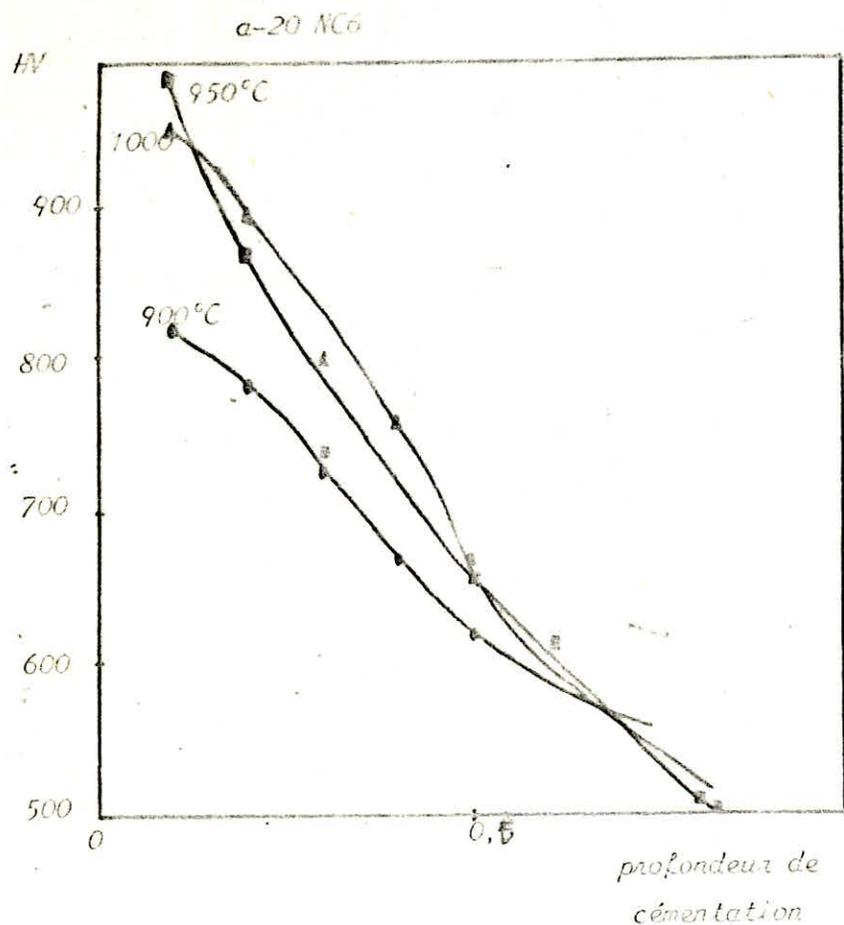


Microdureté de la couche cémentée en fonction de la température
 $T = 3$ heures (Nuance : 20 NC6)



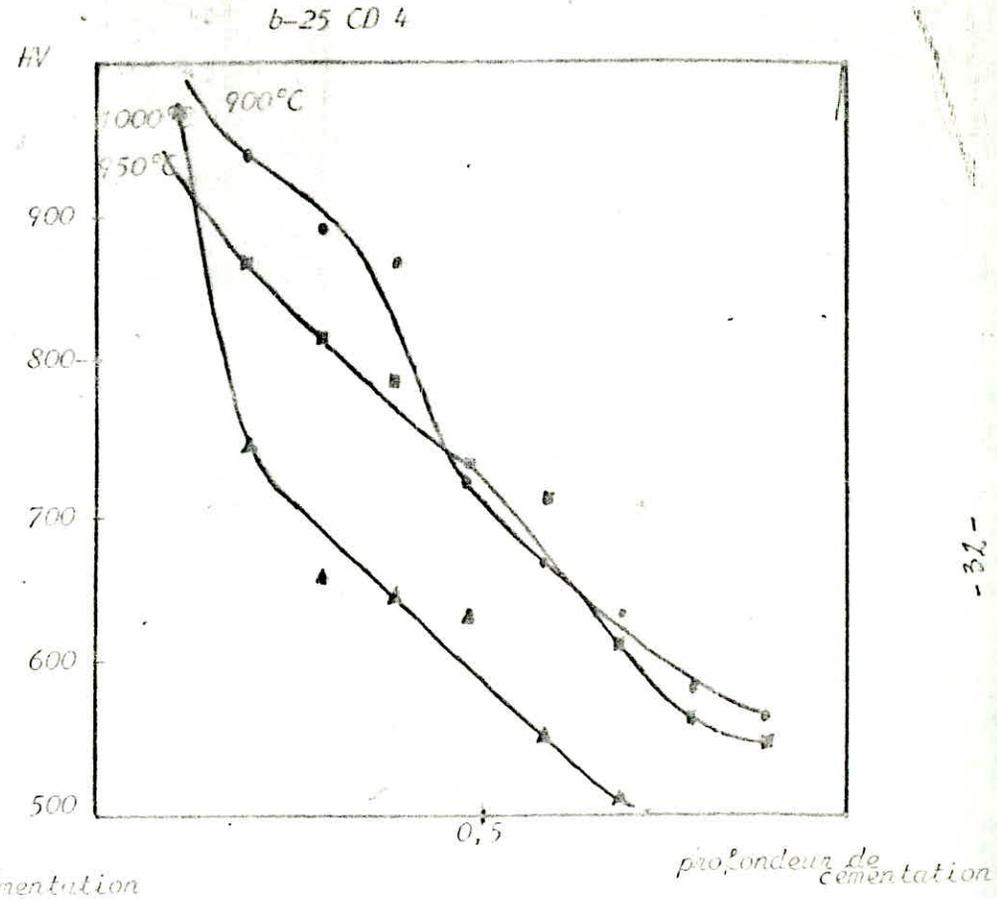
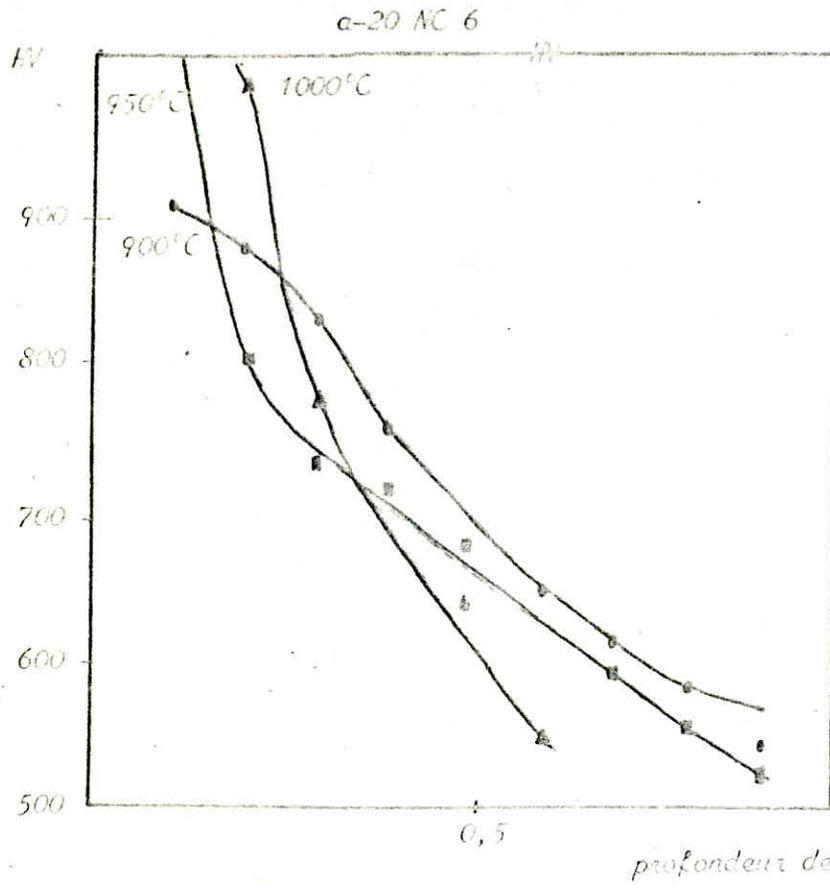
Microdureté de la couche cémentée en fonction de la température
 $t = 3$ heures (Nuance : 25 CD4)

Fig. 77



Microdureté de la couche cémentée en fonction de la
température (t=6 h)

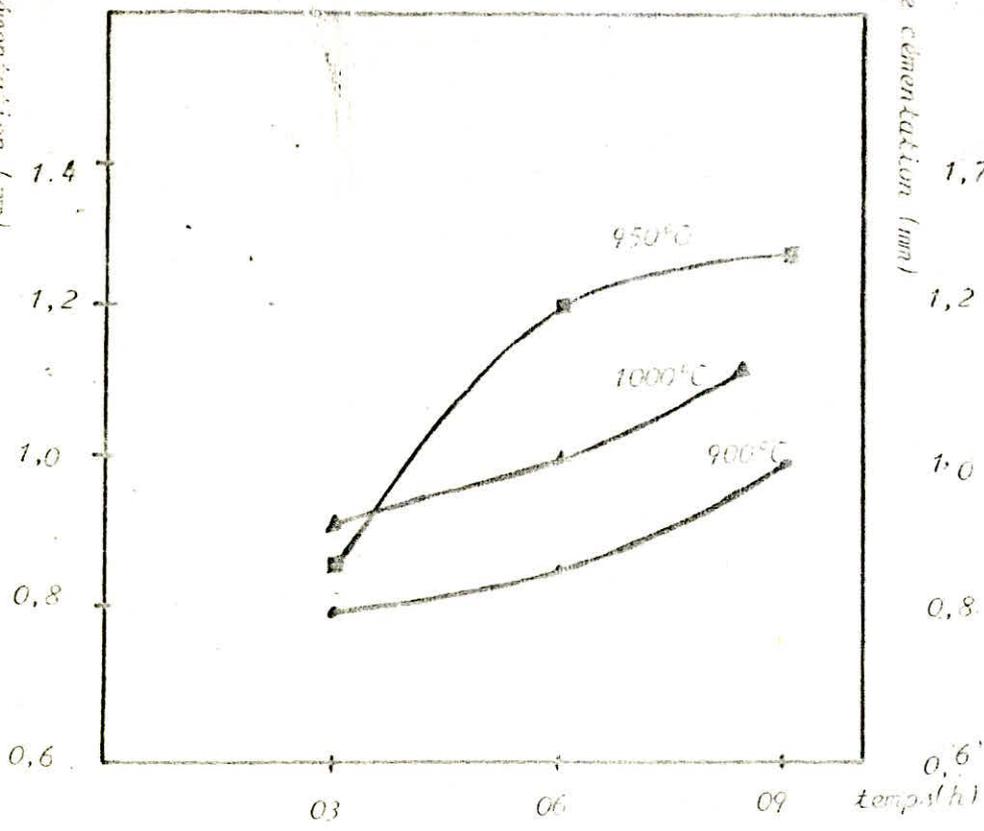
FIG. 333



Microuzete de la couche cimentée en fonction de la
temperature (t-90°)

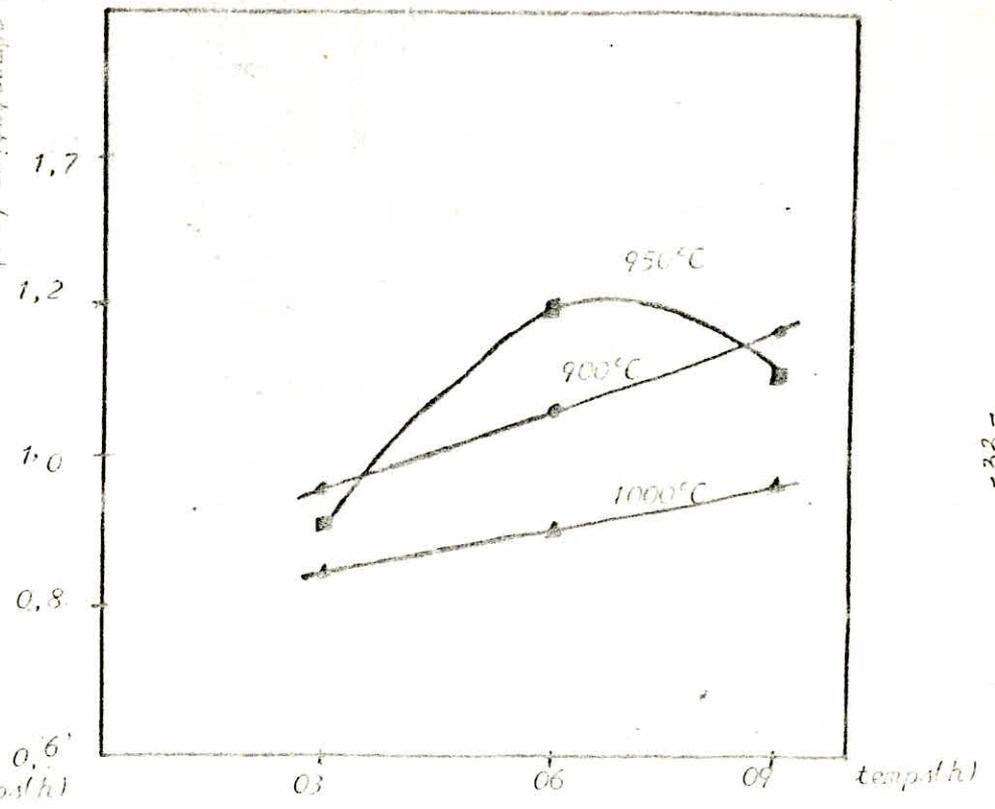
épaisseur de cimentation (mm)

b-20 AC 6



épaisseur de cimentation (mm)

b-25 cd 4



Épaisseur de la couche cimentée en fonction du temps
maintien et de la température

FIG. 74

IV.1.2- Interprétations :

D'après les figures I, II et III on constate que :

-La dureté de la couche cimentée augmente avec la température et le temps de maintien pour les deux nuances.

-Les faisceaux des courbes de la nuance 20 NC 6 sont moins dispersés que ceux de la nuance 25 CD 4.

-Pour le 20 NC 6 la dureté de la couche cimentée augmente avec la température pour un temps de maintien donné; alors que pour le 25 CD 4 cette règle n'est plus respectée pour un temps de maintien supérieur à trois (03) heures.

-Les résultats obtenus pour des températures de 1000°C et un temps de maintien de neuf (09) heures sont très dispersés et aléatoires pour les deux nuances.

-L'épaisseur de la couche cimentée croît rapidement avec la température et surtout avec le temps de maintien.

Ceci peut être expliqué de la façon suivante :

* Le coefficient de diffusion augmente avec la température :

$$D = A \exp (-Q/R.T)$$

a A : constante

Q : énergie d'activation.

R : constante des gaz parfaits .

T : température .

L'activité du carbone est donnée quand à elle par la relation suivante:

$$* \quad a = \gamma \cdot c$$

a : activité .

γ : coefficient d'activité .

c : concentration en carbone .

Or d'après BIRCHENALL :

$$D = D_0 \left(\gamma + \frac{\partial \gamma}{\partial c} \right)$$

Donc si D augmente, le terme $\left(\gamma + \frac{\partial \gamma}{\partial c} \right)$ devrait augmenter ce qui explique l'augmentation de l'activité du carbone avec la température.

Quant à l'influence du temps de maintien la résolution des équations de FICK DONNE UNE RELATION parabolique entre le temps de maintien et l'épaisseur : $e = K \sqrt{t}$

e : épaisseur de la cémentation.

t : temps de maintien .

K : constante .

Les résultats aléatoires obtenus pour les valeurs élevées de la température et du temps de maintien et le non respect de la loi exponentielle pour certaines courbes de la nuance 25 CD 4 peuvent être expliqués de la façon suivante :

-L'étanchéité des caisses de cémentation se dégrade au fur et à mesure que la durée et la température de séjour augmente .

P -Possibilité de formation de carbures de chrome et de molybdène.

IV-2. Optimisation des paramètres de la trempe superficielle:

IV-2.1-résultats expérimentaux :

Les tableaux IX et X, XI, XII représentent les résultats de la micro-dureté de la partie trempée en partant de l'extrémité vers le coeur de la pièce; pour des différentes valeurs de la température pour un temps de maintien donné; et cela pour les deux nuances d'aciers utilisés.

distance à l'extrémité (mm)	0,25	0,50	1,00	1,50	2,00	2,50
microdureté HV	968	736	684	580	496	413

IX. Variation de la microdureté en fonction de la distance à partir de l'extrémité. (trempé à l'huile; température d'austénisation: 850°C ; nuance: 20 NC 6)

distance à l'extrémité (mm)	0,25	0,50	1,00	1,50	2,00	2,50
microdureté HV	1019	726	688	620	541	501

X. Variation de la microdureté en fonction de la distance à partir de l'extrémité. (trempé à l'huile; température d'austénisation: 900°C ; nuance: 20 NC 6)

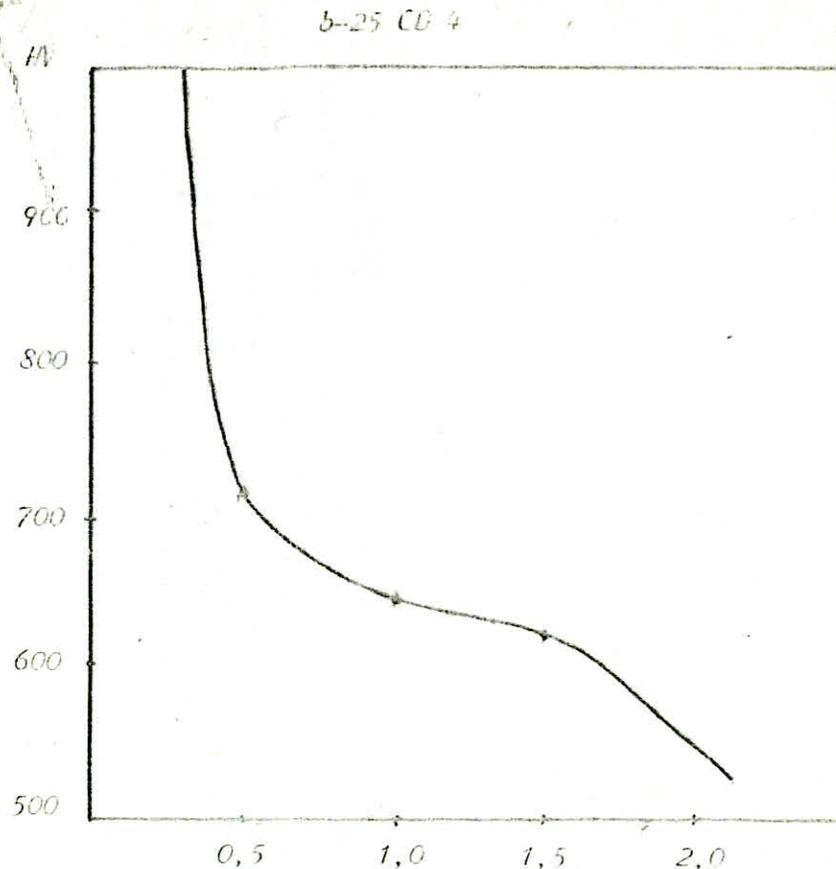
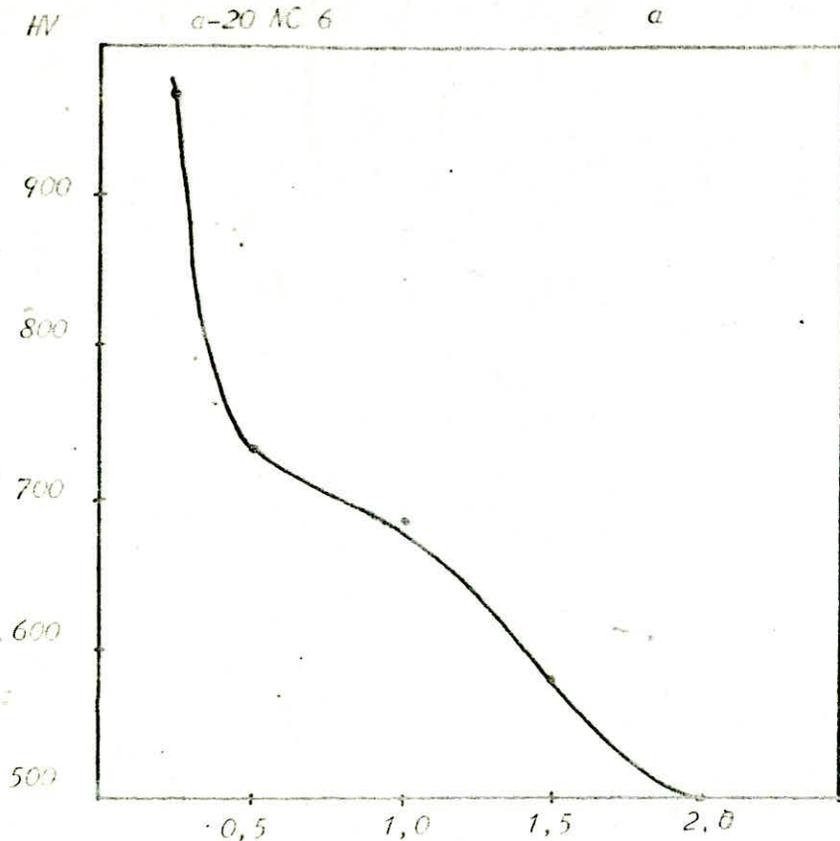
distance à l'extrémité	0,25	0,50	1,00	1,50	2,00	2,50
HV	1030	715	652	574	436	397

XI. Variation de la microdureté en fonction de la distance à partir de l'extrémité. (trempé à l'huile; température d'austénisation: 850°C; nuance : 25 CD 4)

DISTANCE à l'extrémité	0,25	0,50	1,00	1,50	2,00	2,50
HV	1080	757	692	603	514	447

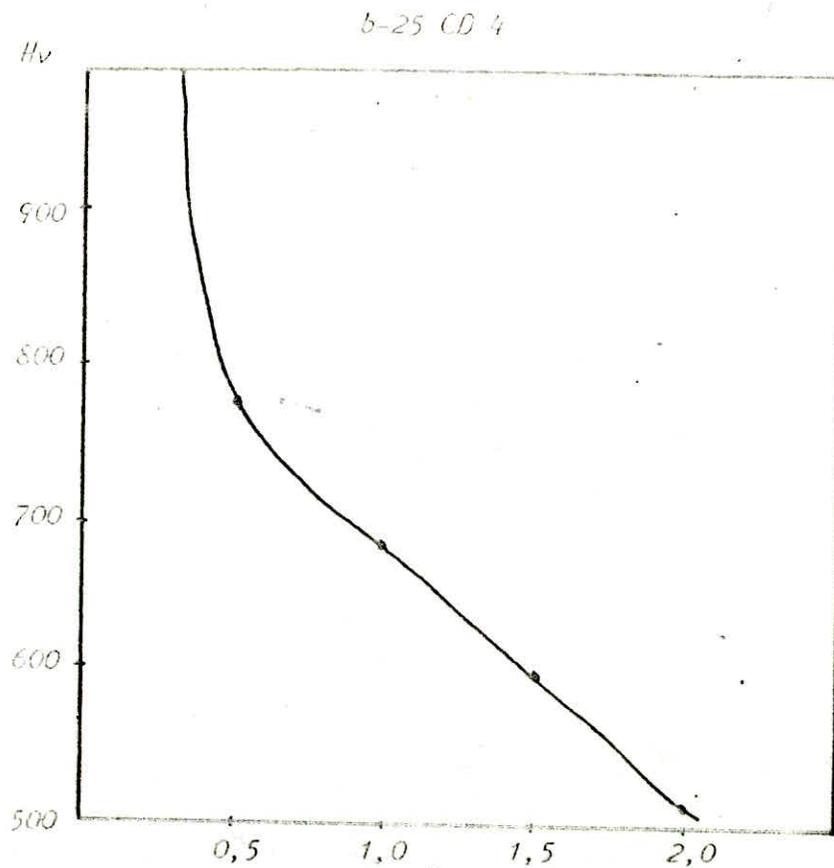
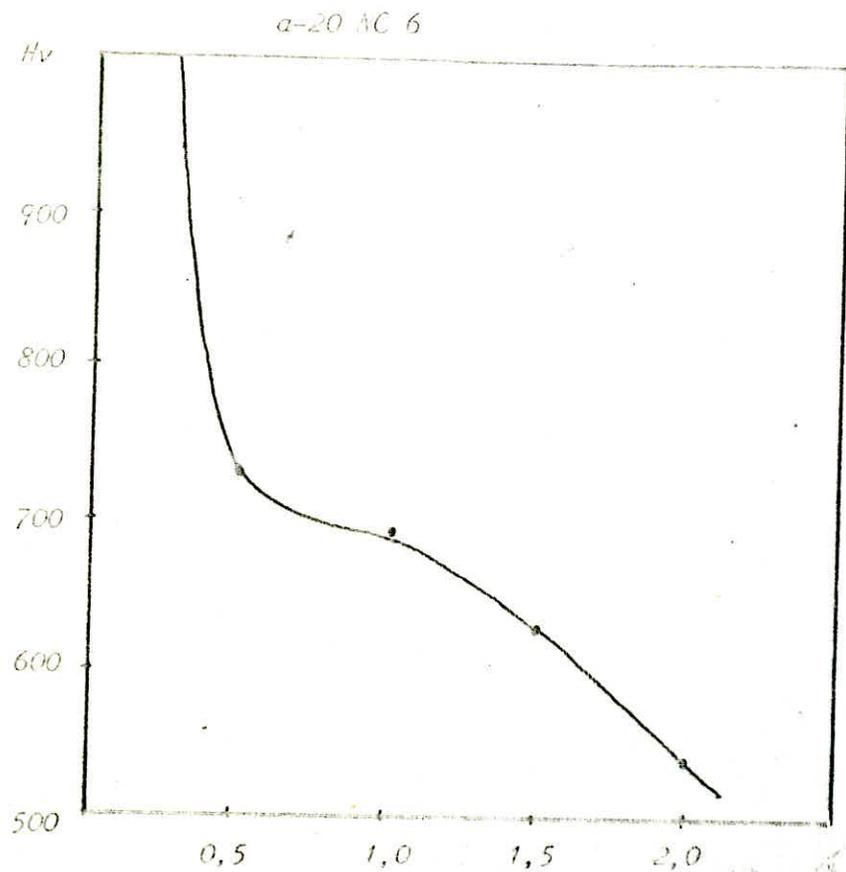
XII. Variation de la microdureté en fonction de la distance à partir de l'extrémité. (trempé à l'huile; température d'austénisation: 900°C; nuance: 25 CD 7/4)

FIG. V



Variation de la microdureté en fonction de la distance à partir de l'extrémité. (trempé à l'huile; température d'austénisation: 850°C)

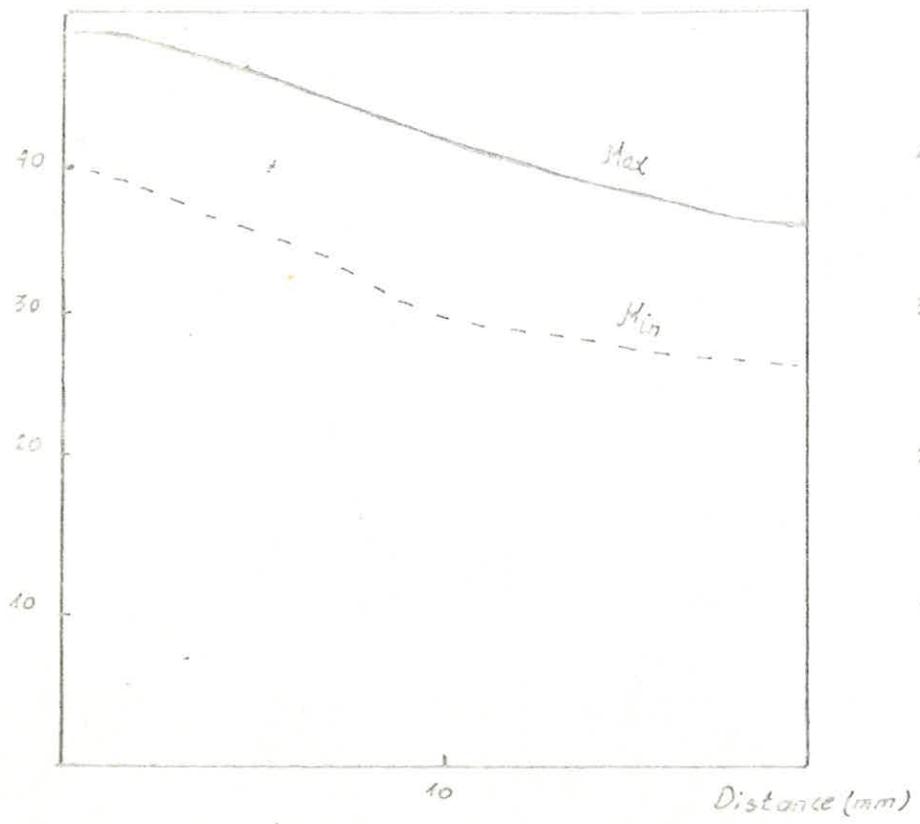
FIG. VJ



Variation de la microdureté en fonction de la distance à partir
de l'extrémité. (trempe à l'huile; température d'austénisation: 900°C)

a - 20NC6

HRC



b - 25CD4

HRC

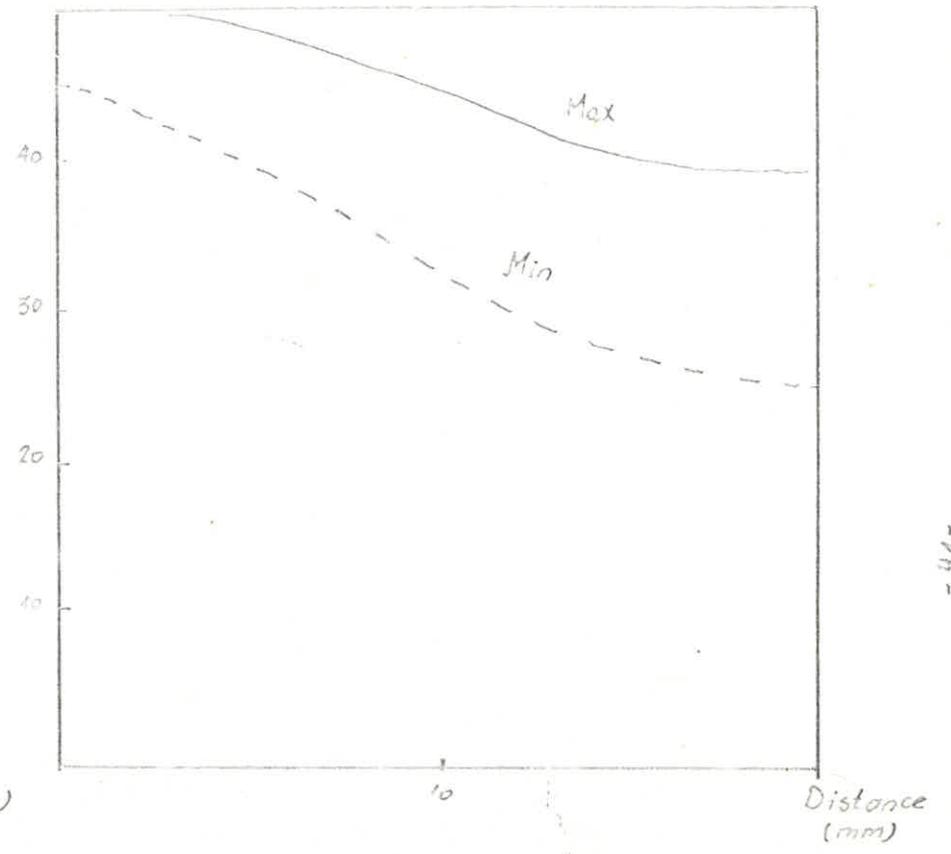


fig. VIII. Courbes JOMINY

IV.2.2. Interprétations :

D'après les figures V et VI on constate que :

-Une grande dureté en surface est obtenue par ce type de traitement (1020 Hv)

-Le gradient de dureté décroît rapidement au fur et à mesure que l'on va de l'extrémité vers le cœur.

-Cette dureté en surface augmente lorsque la température d'austénisation augmente.

L'allure de ces courbes devrait normalement suivre les courbes JOMINY (voir fig. VII) des deux aciers 20 NC 6 et 25 CD 4 mais comme on a opté pour la double trempe cela nous a permis de durcir davantage les couches superficielles et par conséquent on a un net décalage vers le haut et au début par rapport à celles de l'essai JOMINY.

La dureté de 550 Hv équivalente à l'épaisseur de cémentation correspond à une pénétration de trempe de l'ordre de 1,8 mm pour le 20 NC 6 et de 2,0 mm pour le 25 CD 4.

partie : 4

CONCLUSION:

L'objet du travail qui a été fait consiste à trouver le traitement thermique ou thermochimique adéquat pour traiter un outil spécial de frappe de monnaies qu'est la virole.

Le choix devrait émaner d'une comparaison entre deux modes de traitements qui sont la cémentation solide et la trempe superficielle. Les résultats obtenus ont été pleinement satisfaisants pour les deux méthodes.

En effet, des duretés de l'ordre de 950 à 1000 HV ont été obtenues en surface qui rappelle que le doit résister à l'usure.

Une étude comparative donne cependant un léger avantage à la trempe superficielle (méthode Allemande) du fait qu'il y a beaucoup moins, d'énergie à gaspiller ainsi que de matières premières nécessaires à utiliser.

Cependant le travail serait bénéfiquement complété par une étude comparative entre la cémentation gazeuse (largement utilisée de nos jours et la trempe superficielle (méthode Allemande) mais, avec d'autres isolants thermiques que l'amiante !

Notons enfin qu'un essai pratique a été conduit sur les viroles elles-mêmes et les résultats concordent parfaitement avec les expériences menées.

***BIBLIOGRAPHIE ***

- 1-Métallographie et traitement thermique des métaux. J. LAKHTINE. 1986.
- 2-Métallurgie (tome 1). BARRALIS/MAEDER.
- 3-Techniques de l'ingénieur .M 1184. 1^o édition
- 4-Etude de la cémentation industrielle. (P.F.E.), 1975. BENCHEKHI
- 5-Influence des éléments d'addition sur la cémentation des aciers
(P.F.E. 1989) DJERDZAR/KARA
- 6-Etude comparative entre la cémentation gazeuse et la cémentation
par le Carbozel. (P.F.E. 1990) BOUMESHAL / HARMOLIN
- 7-Alliages métalliques .
- 8-métaux ferreux .

