

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
—oOo—

وزارة التعليم و البحث العلمي
Ministère de l'Enseignement et de la Recherche Scientifique
—oOo—

9/87

1ED

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT: MINES & METALLURGIE

المدرسة الوطنية المتعددة التخصصات
BIBLIOTHEQUE — المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

PROJET DE FIN D'ETUDES

SUJET

Etude Comparative De Traitement
Thermochimique De Cyanuration
Et De Carboisel

Proposé par :
SNVI-CVI

Etudié par :
S./ BELAÏFA

Dirigé par :
NGUYEN

PROMOTION: JUIN 87

Bilder

— R E M E R C I E M E N T S —

Nous tenons à exprimer notre vive reconnaissance
à toutes les personnes , qui , de loin ou de près nous
ont aidé et soutenu durant notre formation et pendant
notre projet .

Nous ne saurions présenter cette étude sans exprimer
nos remerciements les plus sincères :

- à la direction de la SNVI CVI de Rouiba ;
- aux techniciens des laboratoires du département
mécanique.

/// O M M A I R E

	Page
I - INTRODUCTION	I
II - PARTIE THEORIQUE	2
1) Principe et But	2
2) CYANURATION	2
3) CEMENTATION AU CARBOSEL	3
4) Choix et Nuance d'Acier.....	3
5) Influence de divers facteurs	4
6) Principaux insuccès de la cementation....	5
III - <u>PARTIE EXPERIMENTALE ET RESULTATS</u>	
I) Mise en oeuvre pratique.....	6
I.1) Opération de cementation	6
I.2) Présentation et composition des bains.....	7
I.3) Bain de sel Cyanuré	7
I.4) Bain de sel CarboSEL	7
2 - EXPERIENCES ET RESULTATS	
2.1) Régime de cyanuration	8
2-2) Régime pour CarboSEL	9
2-3) Les Aciers.....	9
3 - <u>CINETIQUE</u>	
3 - a) RESULTATS DES MESURES DE CEMENTATION ...	10
a) Cyanure	
b) CarboSEL	
3 - b) INTERPRETATION DES RESULTATS	12
b-1) Influence de la température	

b- 2) Calcul du coefficient de diffusion.....	15
b- 3) Conclusion.....	23
4 - <u>STRUCTURE</u>	
4- I) traitements thermiques apres cementation	24
4 -2) micrographie	24
2- a) cyanure	
2- b) carbosel	
4 -3) conclusion	26
5 - <u>ESSAI MECANIQUES</u>	
5 -I) macrodureté	27
5 -2) microdureté	28
5 -3) essai de traction et de resilience ...	33
5 -4) conclusion.	39
IV ETUDE ECONOMIQUE	40
V CONCLUSION GENERALE	44
VI ANNEXE	46
BIBLIOGRAPHIE.	

INTRODUCTION

Entrant dans le cadre de la substitution des produits cyanurés.

La S.N.V.I C.V.I de Rouiba envisage l'utilisation du Carbosel (Appellation du fournisseur français SOPHOS) qui est un sel de cementation liquide exempt de cyanure parmi tant d'autres en remplacement du sel cyanuré (Perlitex 45 appellation du fournisseur allemand HOUGHTON). Cette étude permettra donc de vérifier les avantages ainsi que les inconvénients ce nouveau produit.

Etant donné que la cementation en bain de sel est une opération longue et couteuse faisant intervenir de nombreux éléments de dépenses.

Une étude très stricte est donc nécessaire telle l'épaisseur de la couche, sa concentration, sa structure, ses propriétés mécaniques, et ceci pour la détermination de la qualité, du mode d'action et de la richesse en agent carburant de ce nouveau ciment.

.../...

II

PARTIE

THEORIQUE

PRINCIPE ET BUT

La cementation au cyanure (cyanuration) ou au Carbosel a le même but, celui de carburer la couche superficielle d'une pièce en acier par l'action d'un ciment dans un bain liquide. Pour cela il suffit de chauffer la pièce à cimenter en présence d'un de ces ciments (cyanure ou carbosel). Le procédé permet donc d'obtenir un acier duplexe, l'ame présente une bonne ténacité, jointe à une grande résilience et qui est susceptible de prendre extérieurement sur la couche carburée une très grande dureté (60 à 65 HRC), résistante à l'usure qui pourra donc supporter certains efforts dynamiques ainsi que des frottements sévères.

a) Cyanuration : c'est la cementation dans un bain liquide contenant du cyanure.

Avantages :

- Le contrôle du bain est simple et peu fréquent.
- Température d'utilisation pas assez élevée (870°C) d'où économie et sécurité contre le grossissement du grain.
- La couche cimentée est généralement homogène, *éductoïde*.
- Les pièces à la sortie du bain sont propres
- Cementation partielle possible sans protection spéciale.

.../...

Inconvénients

- Bain toxique
- Odeur désagréable malgré l'existence d'une hotte d'aspiration.
- Risque de détonation et de jet de sel fondu.
- Problème de destruction de déchets.

b / CARBOSEL

Avantages

- Élimination des risques inhérents à l'emploi des cyanures .
- Suppression des frais de neutralisation et des effluents et des déchets.

Inconvénients

- Conduite et démarrage du bain difficile et long (24h)
- Température de cémentation assez élevée (24h)

4) CHOIX ET NUANCES D'ACIER

La cémentation est appliquée à des aciers de faibles teneurs en carbone ou faiblement alliés ne prenant pas de trempe .

Les concentrations du carbone varient de (0,8-0,20%)

Le choix est fonction des propriétés à cœur et de ce que l'on désire obtenir comme propriétés mécaniques.

Les aciers utilisés généralement sont:

- X C 10 ; X C I 2
- IO N C 6 ; I 2 N C 6 ...
- I 8 C D 4 ; I 6 N C D I 3

5 -1/ INFLUENCE DE DIVERS FACTEURS:

Indépendamment de la nature du ciment , qui dépend de sa composition , d'autres facteurs agissent sur la cementation.

- La température et la durée de chauffage.

-- La nature de l'acier soumis à la cementation.

PRINCIPAUX INSUCCES AU COURS DE LA CEMENTATION.

-Les Principaux Insucces sont :

- a)- La fragilité excessive de la couche superficielle; il peut se résulter soit d'une teneur en carbone excessive soit d'une surchauffe avec un traitement ultérieur mal adopté.
- b) - Pour certains aciers, si la teneur de la couche superficielle est trop élevée, la trempe ne peut plus conduire à une structure martensitique pure mais contiendra une proportion notable d'austénite résiduelle.
- c) - Le chauffage à une température relativement élevée de la cementation peut entraîner à coeur un grossissement du grain rendant les pièces fragiles.
- d)- Apparition de tensions susceptibles d'entraîner des tapures et des déformations, car la cementation s'accompagne d'une transformation avec augmentation de volume en surface. La couche superficielle augmente de volume, tandis-que l'intérieur de la pièce n'est pas modifié; il en résulte une mise en tension de l'intérieur de la pièce et une mise en compression de la surface.

.../...

III / PARTIA EXPERIMENTALE

ET

RESULTS

III - I / Mise en Oeuvre Pratique.

III I.I / Opération de Cementation.

-La température de cementation étant choisie, la durée de chauffage, dépend uniquement de l'épaisseur de cementation désirée, laquelle est fixée par la destination et l'usage des pièces.

Avant d'immerger les pièces dans le bain, elle sont attachées à des crochets, qui reposeront sur des supports fixes, les pièces donc sont lavées à 70° c et ceci pour enlever toute trace de rouille ou de calamine, puis elles sont préchauffées à 450° - 500° c pendant 45 mn environ pour éviter de plonger dans le bain les pièces humides ce qui provoqueraient une explosion.

Après réaction et diffusion dans le bain les pièces sont trempées soit à l'huile (aciers, faiblement alliés), soit à l'eau (aciers non alliés).

Les pièces subiront ensuite un revenu de détente à 200° c pendant 2 heures.

Les pièces traitées à la S.N.V.I. C.V.I ; sont généralement :

-Leviers, Ecrous, Boulons.

.../...

III - I.2/

PRESENTATION ET COMPOSITION DES BAINS

III I.2.1/

BAIN DE SEL CYANURE

- Le sel de cyanuration est le cyanure de sodium ajouté au perlitex
45" Ce dernier se compose :

-Chlorure de Baryum.

-Chlorure Alcalin.

-Zone d'utilisation 780°C - 900°C pour un temps de 7 h.

-Réaction Globale lors de la cementation.



III I.2.2/ BAIN DE SEL - CARBOSEL.

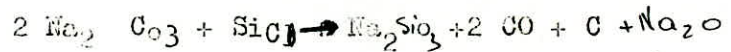
C'est un ciment donc exempt de cyanure ou autre produits toxiques
et qui est à base de carbure de silicium il se compose de 2 sels :

- Carbonates de sodium.....

↳ Chlorure Alcalin.

.../...

- Zone d'utilisation : 880° C ---- 950° C Pour un temps de 7 H.
- La réaction mise en jeu pour la diffusion :



III - 2 EXPERIENCES ET RESULTATS.

-Les regimes utilisés pour nos essais ont été difficile à choisir vu que les 2 cements ne pouvaient être appliqués aux mêmes températures (voir zone d'utilisation). Pour cela on a essayé de les rapprocher et d'avoir des marges identiques.

III 2-1 / REGIME DE CEMENTATION.

-Température recommandée 870° pour un temps de 7 h. De ceci on a choisi 2 autres températures : 815° C et 930° C ; donc on a pris un pas de 50° et ceci pour observer l'influence de la température. Donc pour chaque température de cementation 815° C, 870° C et 930° C Le temps de cementation est de 5 h, 7 h, 9 h.

Aussi pour remarquer l'influence de la durée de cementation.

... / ...

III 2-2 / REGIME POUR CARBOSEL

- Les régimes recommandés : température 905°C , temps : 7heures.

De même pour le choix des essais au Carbosel

2 autres températures : 875°C et 935°C .

On ne pouvait aller au delà de 935° car, la limite du four était aux environs de 945°C _____ 950°C .

De ce fait notre pas était de 30°C .

donc pour chaque température, la durée de cementation était :

5 h., 7 h , 9 h.

III 2 - 3 / LES A C I E R S

Pour nos essais on a choisi 2 nuances d'Aciers fréquemment utilisés en cementation.

- XC 10

- IO NC 6

Nos pièces d'essai sont de petites dimensions toutes égales approximativement.

Leurs composition chimique est la suivante :

	C%	C _v %	N _i %	M _n %	Si %
XC 10	0,12	-	-	0,6-0,8	0,5
IO NC 6	0,12	0,8-1,2	1,2-1,6	-	0,4

.../...

III - 3 / C I N E T I Q U E / :

III - 3 a / R E S U L T A T S D E S M E S U R E S D ' E P A I S S E U R D E C E M E N T A T I O N .

L'épaisseur de cementation de nos essais est prise conventionnellement comme étant la distance entre la surface et la couche dont la dureté est de 550 points Vickers correspondant à celle de l'Acier contenant 0,4 % de C pour lequel les teneurs en ferrite et perlite sont égales à l'état cementé.

Les tableaux de valeurs de microdureté sont à l'annexe :

- I) Tableau des résultats de l'épaisseur de cementation en fonction du temps et de la température.

a) C Y A N U R E /

X C 10

TEMPERATURE 815°

10 NC 6

mm/h	5	7	9
d	3/10	4/10	4/10

mm/h	5	7	9
d	2/10	4/10	4/10

TEMPERATURE 875°

mm/h	5	7	9
d	6/10	6/10	8/10

mm/h	5	7	9
d	4/10	6/10	7/10

TEMPERATURE 930°

mm/h	5	7	9
d	8/10	11/10	9/10

mm/h	5	7	9
d	7/10	9/10	11/10

b) C A R B O S E L

XG 10

TEMPERATURE 815° C

10 NC 6-

mm/h	5	7	9
d	5/10	5/10	6/10

mm/h	5	7	9
d	4/10	5/10	6/10

TEMPERATURE 805° C

mm/h	5	7	9
d	7/10	8/10	9/10

mm/h	5	7	9
d	6/10	6/10	8/10

TEMPERATURE 935° C

mm/h	5	7	9
d	9/10	11/10	11/10

mm/h	5	7	9
d	9/10	10/10	10/10

.../...

III . 3 -b / INTERPRETATION DES RESULTATS

b - I / INFLUENCE DE LA TEMPERATURE

[Voir Fig (a 1 et a 2)]

Pour les 2 cements l'augmentation de la température entraine une augmentation de l'épaisseur surtout pour des durées ne dépassant pas 6 h. pour un temps plus long on remarque une diminution de cette vitesse surtout pour les hautes températures car on a une saturation de la couche superficielle, en effet le ciment cède du carbone aux couches superficielles celles-ci en cèdent par diffusion aux couches sous-adjacentes.

C'est pour cela qu'il existe une teneur d'environ 1,4 % au maximum de ce que l'on peut atteindre pratiquement avec les Aciers non alliés, pour les Aciers alliés, la couche superficielle peut-être plus riche et cela en raison de la faible vitesse de diffusion.

A cause du risque de grossissement du grain susceptible de fragiliser la pièce ni la température, ni la durée du traitement ne peuvent être trop élevées ; donc le régime qui sera choisi pour le carbosel sans influencer sur les grains et obtenir une épaisseur suffisante pour l'application est :

-Température - 905 - 910°C

-Temps : 7 - 8 heures

.../...

XC 10

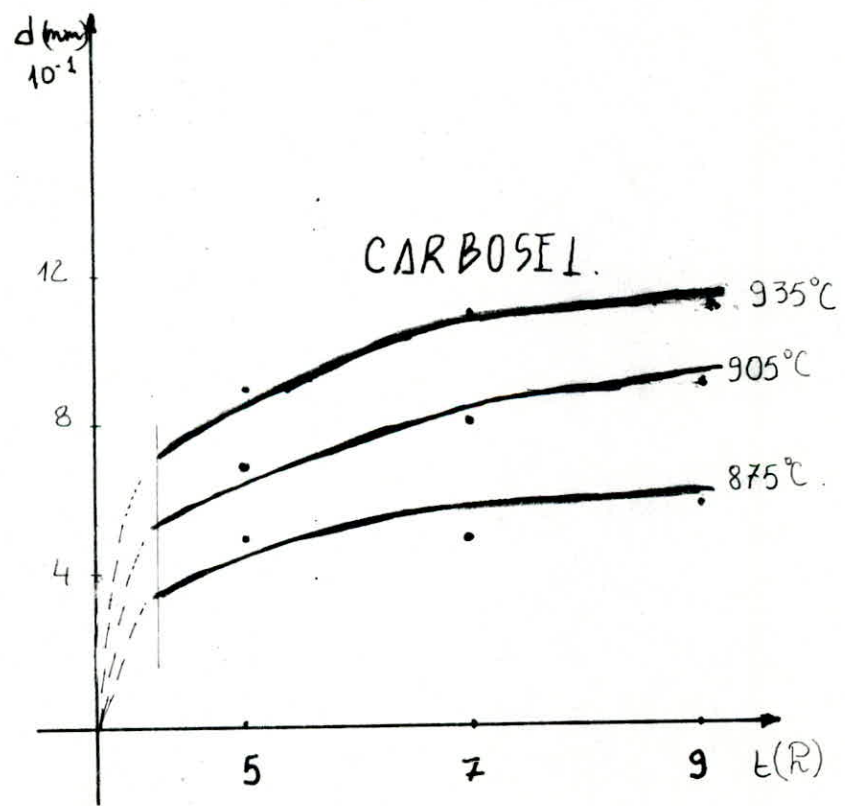
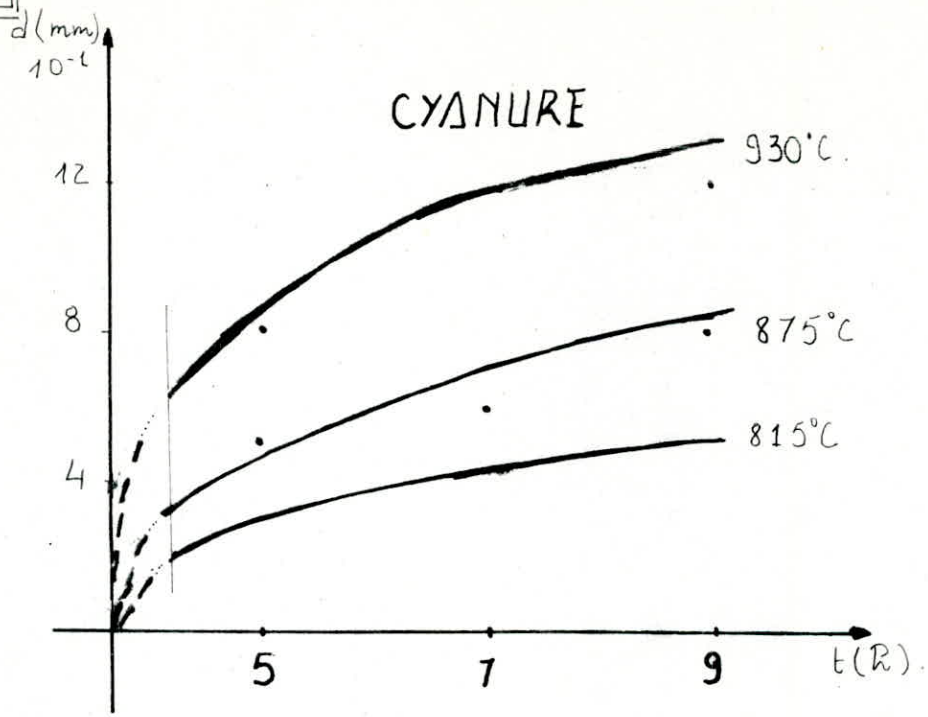


fig: a1

10 NC 6

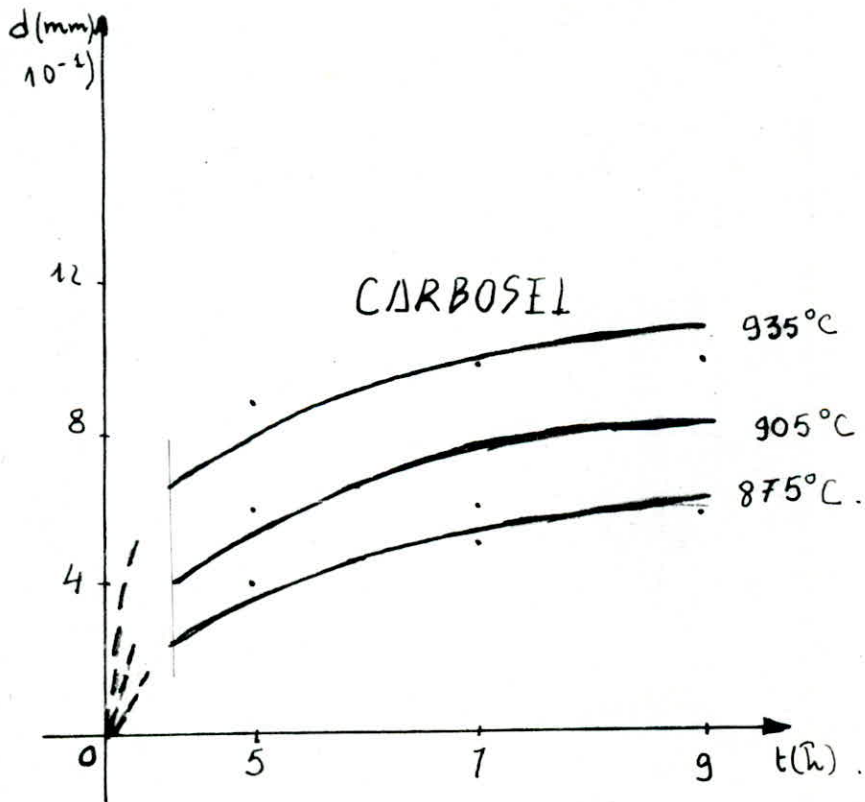
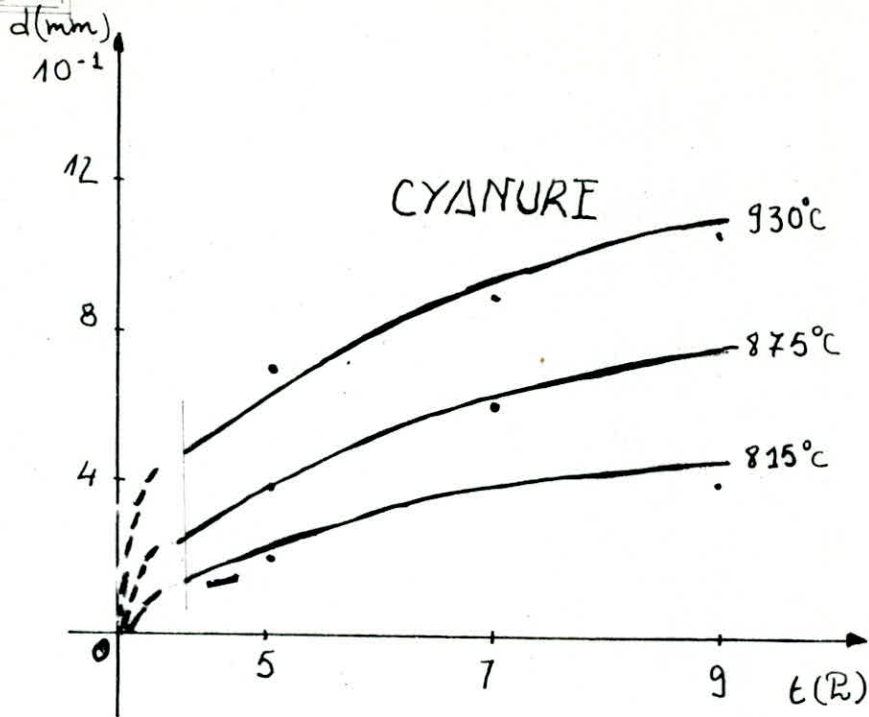


Fig: Q2

b - 2 / CALCUL DU COEFFICIENT DE DIFFUSION.

De la théorie de diffusion, on prendra la distance de diffusion par la relation :

$$X = 2 \sqrt{Dt}$$

- X: DISTANCE DE DIFFUSION
- D: COEFFICIENT DE DIFFUSION
- t : TEMPS DE DIFFUSION

Relation trouvée par analogie à la I^{er} Loi de FICK et à la loi de transmission de la chaleur de FOURIER.

Expression démontrée par EINSTEIN en 1905.

[J. BENARD (Page 102)]

comme : $D = D_0 e^{-Q/RT}$ - En I^{er} approximation car D dépend de la nature du solvant, de la concentration de l'élément qui diffuse ainsi que des autres éléments présents.

$$X = 2 \sqrt{Dt}$$

$$D = D_0 e^{-Q/RT}$$

$$X = 2 \sqrt{t \cdot D_0 e^{-Q/RT}}$$

$$X^2 = 4 t D_0 e^{-Q/RT} \quad \text{-----} : X^2/t = 4 D_0 e^{-Q/RT}$$

$$\ln (X^2/t) = \ln 4 D_0 - Q/R \cdot 1/T$$

X = d (épaisseur de cementation)

de la forme : Y = a x + b

... / ...

Avec : $Y = \text{Ln } d^2 / t$

$$x = 1/T \text{ (}^\circ\text{K)}$$

$$b = \text{Ln } 4 D_0$$

$$a = Q/R$$

CALCUL DE D_0 et Q

Fig. (B I - b 2)

Utilisant la méthode des moindres carrés pour avoir des résultats rapprochant l'exactitude.

- Méthode des moindres carrés

$$a = \frac{\sum x_i y_i - x \sum y_i}{\sum x_i^2 - x \sum x_i} = -Q/R$$

$$b = y - a x = \text{Ln } 4 D_0$$

$$x = \frac{\sum x_i}{n}; \quad y = \frac{\sum y_i}{n}$$

b - 2 - I / Pour la Cyanuration :

I - a) KC IO:

$$-T_1 = 1093^\circ\text{K} \quad -1/T_1 = 9149 \cdot 10^{-7} \text{ }^\circ\text{K}^{-1} = x_1$$

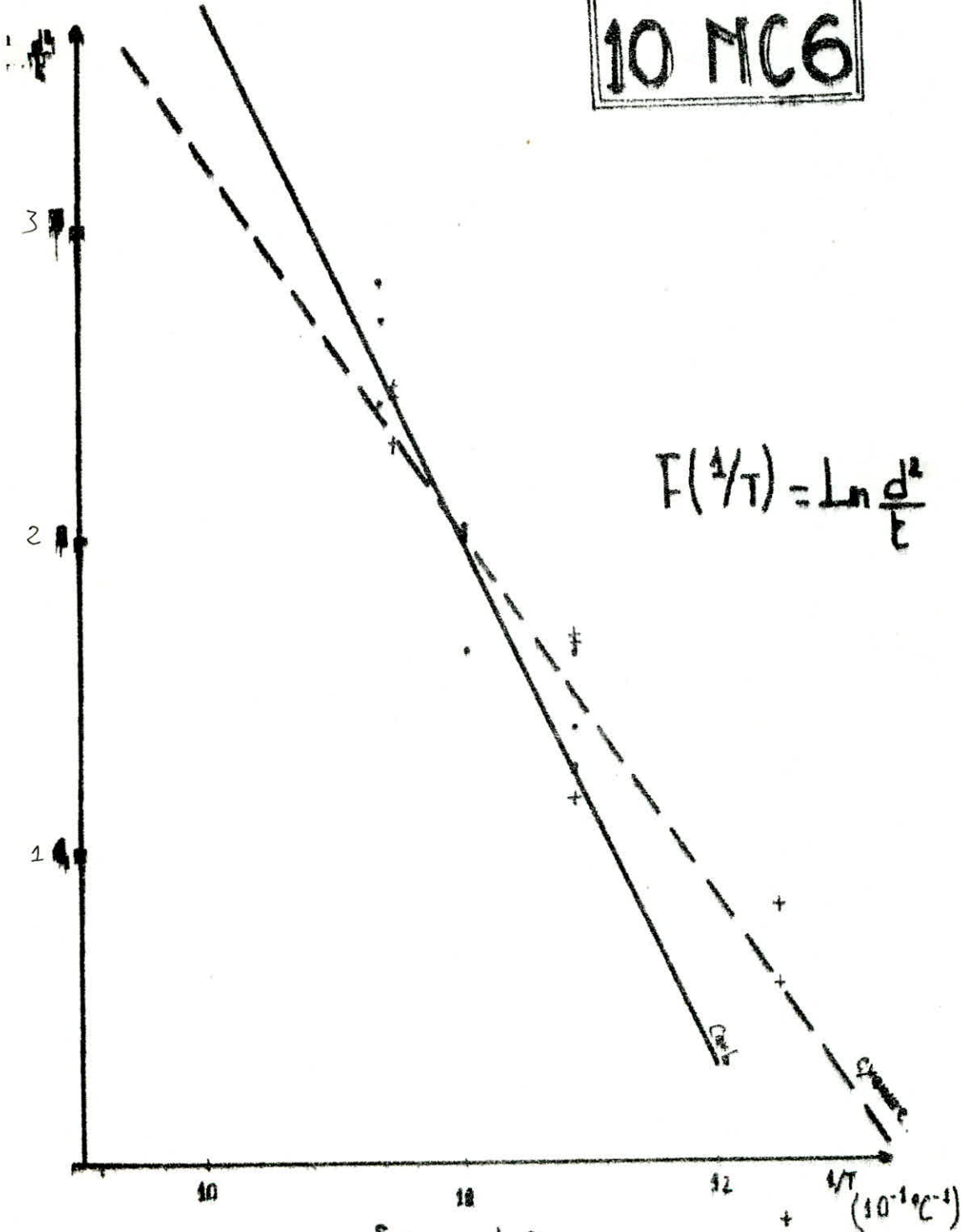
$$-T_2 = 1148^\circ\text{K} \quad -1/T_2 = 8711 \cdot 10^{-7} \text{ }^\circ\text{K}^{-1} = x_2$$

$$-T_3 = 1208^\circ\text{K} \quad -1/T_3 = 8278 \cdot 10^{-7} \text{ }^\circ\text{K}^{-1} = x_3$$

.../...

N.B : d est prise au 1/10 de mm.

10 MC6



N.B : d est prise au 1/10 de mm.

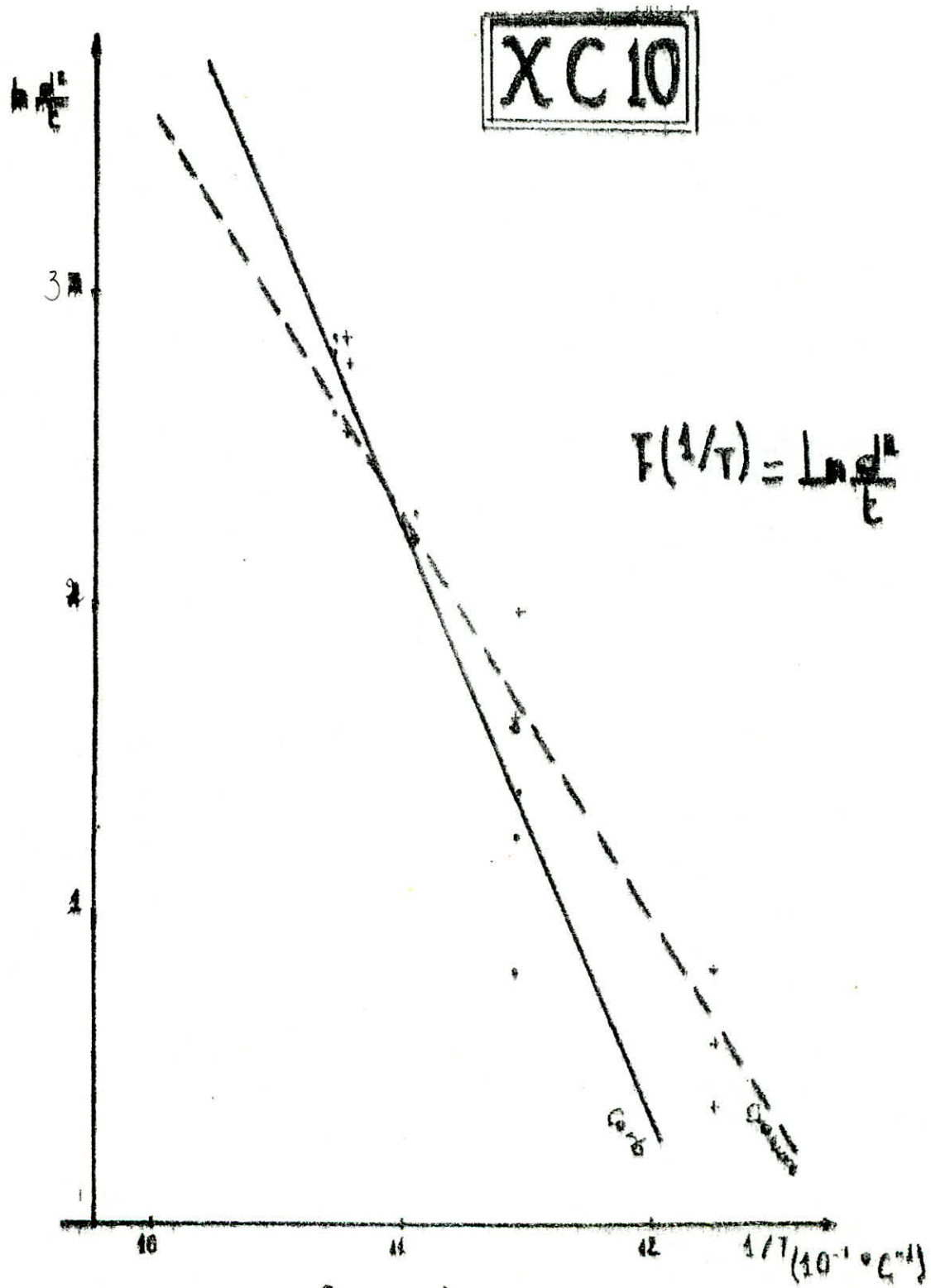


Fig: b 1

$$\begin{aligned} \bar{x} &= 8712,66 - 10^{-7} \text{ } ^\circ\text{K}^{-1} \\ \sum_{i=1}^3 x_i^2 &= 22,81 - \text{ " } - \text{ " } \\ \sum x_i &= 26138 - \text{ " } - \text{ " } \\ \bar{x} \sum x_i &= 22,77 - \text{ " } - \text{ " } \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Y_i &= \ln d^2/\Psi & - \bar{Y}_1 &= 3,941 \text{ (pour 5 h. } \\ & & - \bar{Y}_2 &= 2,868 \text{ pour 7 h. } \\ & & - \bar{Y}_3 &= 1,881 \text{ " 9 h. } \end{aligned}$$

$$\sum_{i=1}^3 \bar{Y}_i = - 8,69 \quad \sum x_i \bar{Y}_i = x_1 \bar{Y}_1 + x_2 \bar{Y}_2 + x_3 \bar{Y}_3$$

$$\bar{Y}_i = - 2,883 \quad \sum x_i \bar{Y}_i = 76610,3 \text{ } 10^{-7}$$

$$\bar{x} \sum \bar{Y}_i = 75713,7 \text{ } 10^{-7}$$

$$a = - 22415$$

$$\frac{-Q}{R} = a \cdot \frac{C(N)}{X C IO} = 41,916 \text{ Kcal/mole}$$

$$R = 1,87 \text{ cal } ^\circ\text{K}^{-1} \text{ mole}^{-1}$$

.../...

$$b = \bar{Y} - a\bar{x}$$

$$b = -2,863 - (22415 \cdot 8712,66 \cdot 10^{-7})$$

$$b = -16,66 \text{ mm}^2/\text{h}$$

$$b = \ln 4 \cdot D_0 \dots D_0 = e^{b/4} \dots D_0 = 11,94 \text{ cm}^2/\text{s}$$

$$D = D_0 e^{-Q/RT} \dots$$

C (N)	10 ⁻⁸
D = 3,94	cm ² /s
XC IO	T = 870°C
C(N)	
Q = 41,91	K cal/mole
XC IO	

I - b /ID NC 6

x_i : connus pour la cyanuration.

$$\bar{y}_1 : Y_1 = -4,212$$

$$Y_2 = -3,106$$

$$\bar{Y}_3 = -2,161$$

$$\bar{y} = -3,16$$

$$\sum \bar{y} = -9,48$$

$$\sum_{i=1}^3 x_i \bar{y}_i \quad x_1 y_1 = -38535,6 \cdot 10^{-7}$$

$$x_2 y_2 = -27056,4 \cdot "$$

$$x_3 y_3 = -17888,7 \cdot "$$

$$\sum_{i=1}^3 x_i y_i = 83480,66 \cdot 10^{-7}$$

$$x \sum y_i = 82596,07 \cdot "$$

$$a = -22116,08$$

2-b / IO NC 6

$$y_i ; \bar{y}_1 = - 3,331$$

$$\bar{y}_2 = - 2,747$$

$$\bar{y}_3 = - 1,985$$

$$\sum_{i=1}^3 \bar{y}_i = - 8,063$$

$$\bar{y} = - 2,688$$

$$\sum_{i=1}^3 x_i \bar{y}_i ; x_1 y_1 = - 28889,76 \cdot 10^{-7}$$

$$x_2 y_2 = - 23220,39 \cdot "$$

$$x_3 y_3 = - 16364,34 \cdot "$$

$$\sum_{i=1}^3 x_i \bar{y}_i = - 68474,05 \cdot 10^{-7}$$

$$a = 28844$$

$$Q = 53,94 \text{ Kcal/mole}$$

$$b = 21,70$$

$$D_0 = 1852,4 \text{ cm}^2/\text{s}$$

C (si)	
D =	4,72 · 10 ⁻⁸ cm ² /s
IO NC 6	T = 905°C
C (si)	
Q =	53,94 Kcal /mole
IO NC 6	

.../...

$a = -Q/Rr$; $Q = 41,357 \text{ Kcal/mole}$

$b = \ln 4 D_0$

$b = y - a x$; $b = -2,471 - (-22116,08 ; 8456,66 \cdot 10^{-7})$

$b = 16,23 \text{ mm}^2/\text{h}$

$D_0 = \frac{ab}{4} = 7,78 \text{ cm}^2/\text{s}$

C (N)	
D =	$3,33 \cdot 10^{-8} \text{ cm}^2/\text{s}$
IO NC 6	$T = 870^\circ\text{C}$
C (N)	
Q =	$41,36 \text{ Kcal /mole}$
IO NC 6	

b -2-2 / Pour le Carbofel :

2 - a / XC IO :

$x_i = 1/T_i \text{ (}^\circ\text{K}^{-1}\text{)} ; x_1 = 8673 \cdot 10^{-7} \text{ }^\circ\text{K}^{-1}$

$x_2 = 8453 \cdot \text{ " } \text{ "}$

$x_3 = 8244 \cdot \text{ " } \text{ "}$

$\bar{x} = 8456,66 \cdot 10^{-7}$

$\sum_{i=1}^3 x_i = 25370 \cdot \text{ "}$

$\sum_{i=1}^3 x_i^2 = 21,45 \cdot 10^{-7}$

$\sum_{i=1}^3 x_i^3 = 21,46 \cdot \text{ "}$

$\bar{y}_i = y_1 + y_2 + y_3 \rightarrow y_1 \rightarrow 5^h$
 $y_2 \rightarrow 7^h$
 $y_3 \rightarrow 9^h$

$\bar{y}_1 = -3,18$

$\bar{y}_2 = -2,37 \quad \Rightarrow \quad \sum \bar{y}_i = -7,41$

$\bar{y}_3 = -1,86 \quad \bar{y}_i = -2,47$

$x_1 \bar{y}_1 = -27580 \cdot 10^{-7}$
 $x_2 \bar{y}_2 = -20033 \cdot 10^{-7}$
 $x_3 \bar{y}_3 = -15335 \cdot 10^{-7}$

$\sum_{i=1}^3 x_i \bar{y}_i = -63248 \cdot 10^{-7}$

$\bar{x} \sum_{i=1}^3 y_i = -62985,26 \cdot 10^{-7}$

$a = -28,374$

$Q = -aR = 53,06 \text{ Kcal/mole}$

$D_{O_2}^{(i)}$	$1548 \text{ cm}^2/\text{s}$
Q_{XCIO}	$53,06 \text{ Kcal/mole}$

$D = 5,87 \cdot 10^{-8} \text{ cm}^2/\text{s} \text{ pour } T = 905^\circ\text{C}$

CONCLUSION

On remarque que sur le graphe la pente de la courbe du carbosel pour les 2 nuances est nettement plus importante, le calcul précis confirme cette supériorité. La valeur du coefficient de diffusion du carbosel est plus grande que celle du cyanure ce qui implique une vitesse de pénétration plus rapide surtout pour l'acier non allié, donc du point de vue cinétique le carbosel est meilleure que le cyanure.

4) STRUCTURE

La structure finale de la pièce cémentée dépend essentiellement des traitements thermiques appliqués à celle-ci à savoir la trempe (à l'eau ou à l'huile) et un revenu.

4- I - Traitement thermique après cémentation :

a) La trempe : cette trempe s'effectue directement à la sortie du bain afin d'obtenir une dureté élevée de la couche cémentée. On obtient ainsi une structure composée essentiellement de martensite avec une quantité d'austénite résiduelle.

-A coeur les aciers au carbone se compose de ferrite et de perlite (sorbite).

-Pour les aciers alliés le coeur se compose de ferrite et de martensite (ou bainite) avec une dureté de 20 à 30 Hrc.

b) Revenu : Les pièces ainsi trempées sont toujours suivies d'un revenu de détente qui ne change rien à la structure et qui transforme la martensite en martensite de revenu. Cela permet de libérer les contraintes thermiques et les contraintes de compression.

4 - 2 MICROGRAPHIE (Voir fig. A et B)

Le choix des échantillons pour la micrographie a été basé pour les 2 sels en fonction de l'épaisseur de la couche cémentée qui est sensiblement égale.

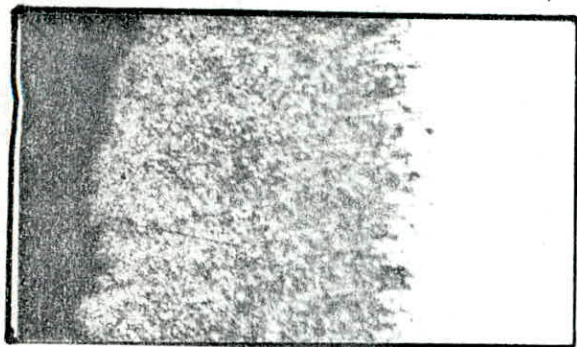
L'examen micrographique des échantillons représentatifs des pièces cyanurées et au Carbosel après un enrobage à froid, polissage et une attaque au métal (4%) montre 3 zones bien distinctes de la surface au coeur, une couche de cémentite (hypereutectoïde) puis une zone de transition intermédiaire (hypoeutectoïde) composée de ferrite et de perlite et au coeur une zone pauvre en perlite formée essentiellement de ferrite à fur et à mesure que l'on s'éloigne de la périphérie.

a) Cyanure : 2 zones sont bien distinctes, une nette différence separe la couche cémentée à l'autre couche, la zone intermédiaire n'est pas visible surtout pour le XC10 contrairement au IONC6 les 3 zones sont bien visibles mais une quantité appréciable de δ résiduelle apparait dans la couche cémentée.

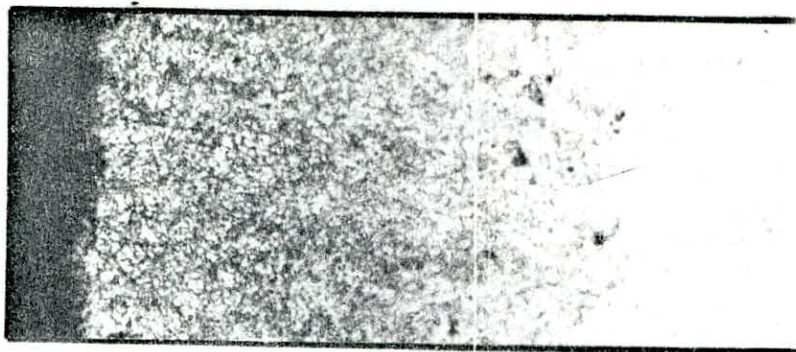
-25-

CYANURIS

Tp: 875°C t: 9h



XC 10

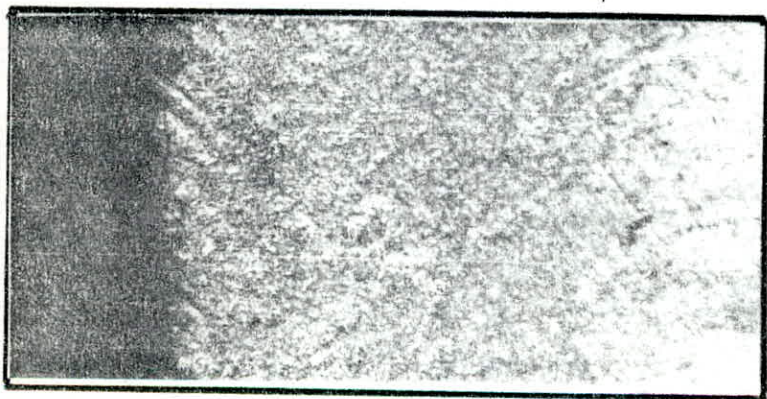


10 NC6

(X80) FIG. A

CARBOSEL

Tp: 905°C t: 7h



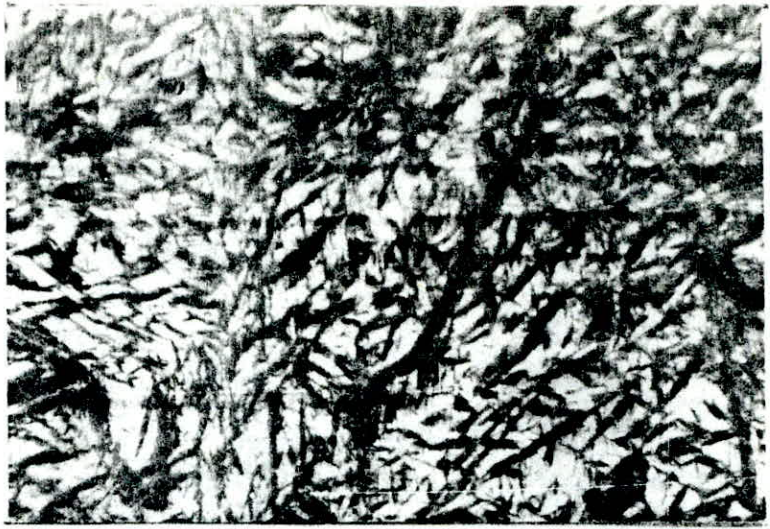
XC 10



10 NC6

CYANURI

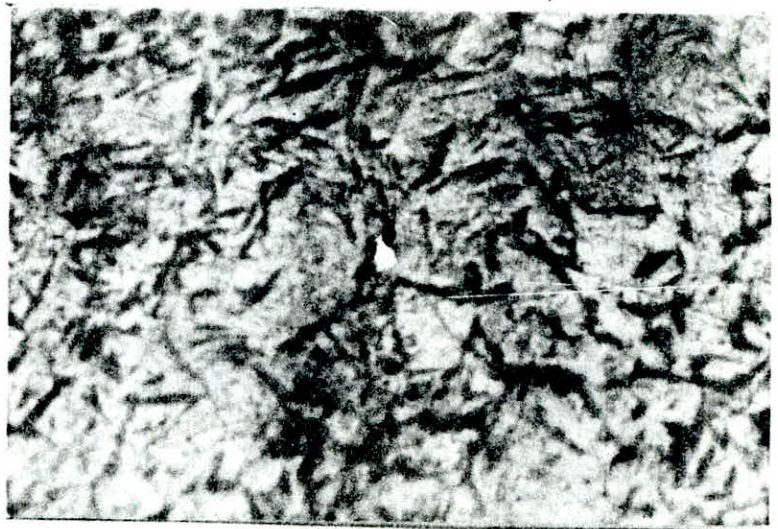
Tp: 875°c t: 9h



(x500) FIG. B

CARBOSEI

Tp: 905°c t: 7h



✓ CARBOSSEL

Les quantités de δ résiduelles sont plus importantes
mais les 3 zones apparaissent homogènes, car on constate
une diminution progressive de la concentration du carbone
de la surface au cœur de la pièce.

CONCLUSION

Les pièces traitées au carbosel possèdent donc une
structure semblable à celle traitées au cyanure à
savoir qu'elle forme après trempe et revenu une couche
cémentée eutectoïde possédant des caractéristiques
désirées tel

5- / ESSAIS MECANIQUES

Parmi les essais mecaniques les plus utilises on trouve la dureté ; par contre les essais de traction et de resilience le sont rarement mais dans nôtre etude ces essais ont ete fait dans un but comparative pour observer une amelioration ou une degradation des propriétés.

5-I/ Macro dureté

La dureté de la couche cémentée est l'un des criteres les plus importants pour la cementation en generale et pour l'industrie en particulier dû au fait qu'elle est facile à controler.

Pour les pieces cementées les duretés doivent avoir normalement une dureté ROCKWELL

-63-66 Pour les aciers non allies

-62-65 Pour les aciers allies

RESULTATS DES ESSAIS DE DURETE

La dureté mesuree pour nos essais avant et apres traitement est ~~une~~ de 10 essais. Les pieces proviennent d'un meme barreau de chaque nuance.

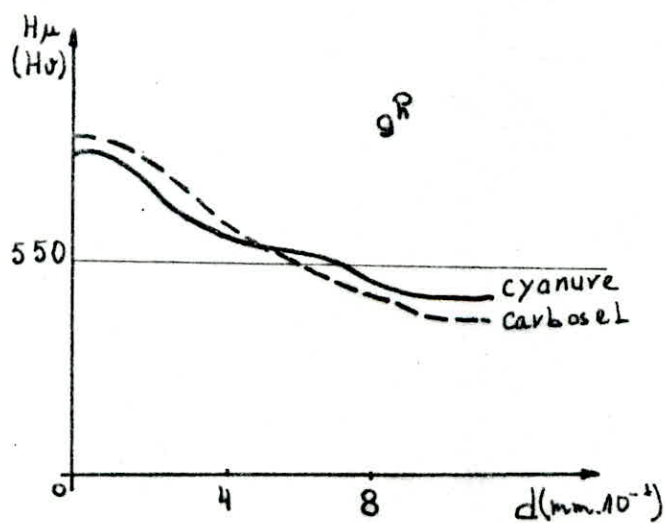
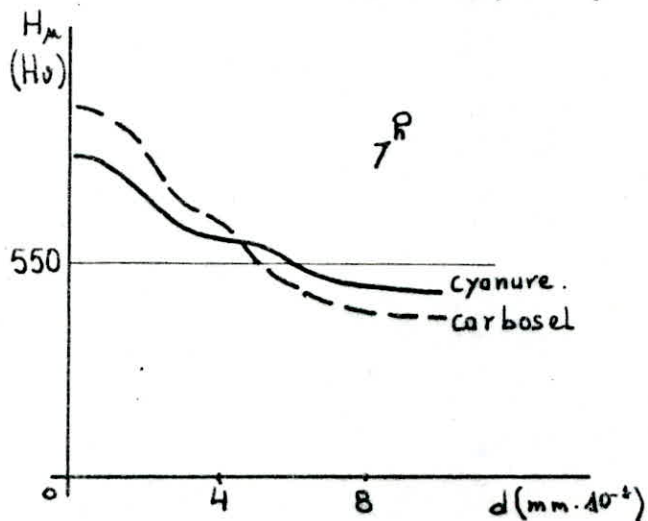
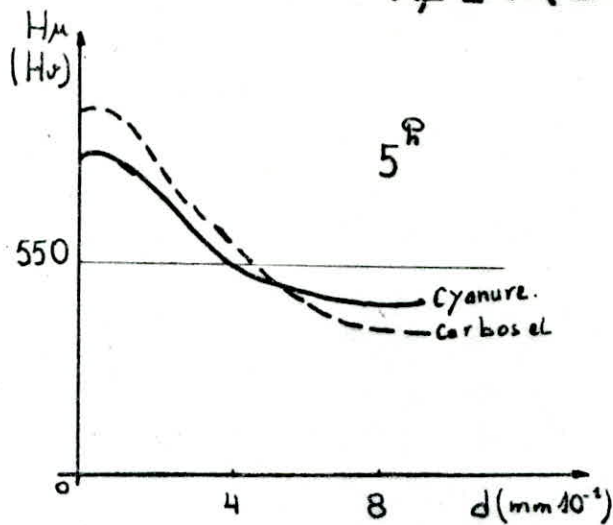
	AV. TRAITEMENT	TRAITE. AU CYANURE	TRAITE. AU CARBOS
XCO	46HR _a	63HR _c	64HR _c
IONC6	55HR _a	58 HR _c	62 HR _c

Le cement CARBOSIEL confere bien aux pièces des duretés convenables pour leur application.

TEMPERATURE 875°C

$H_{\mu} = F(d)$

Hv 500



XC 10

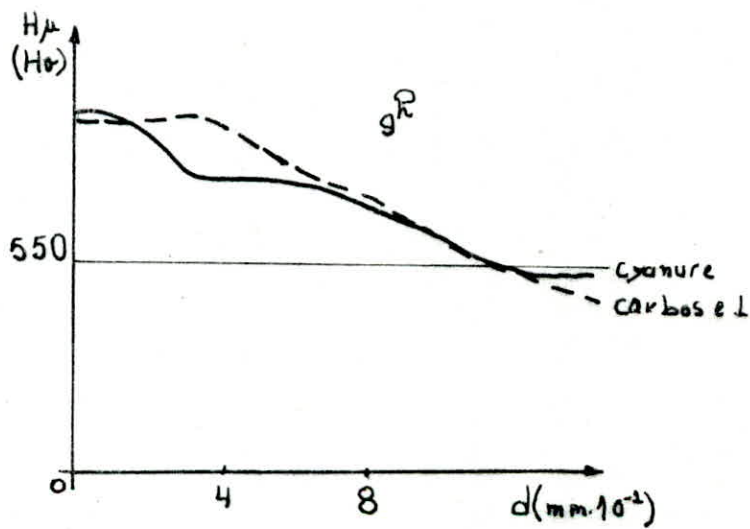
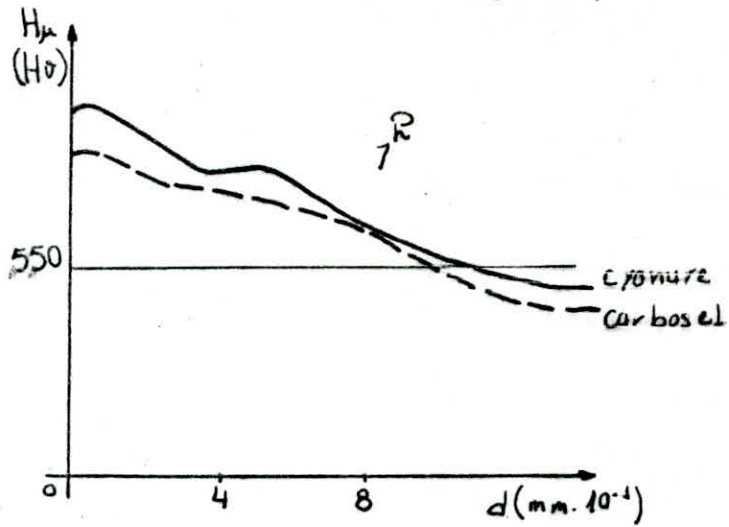
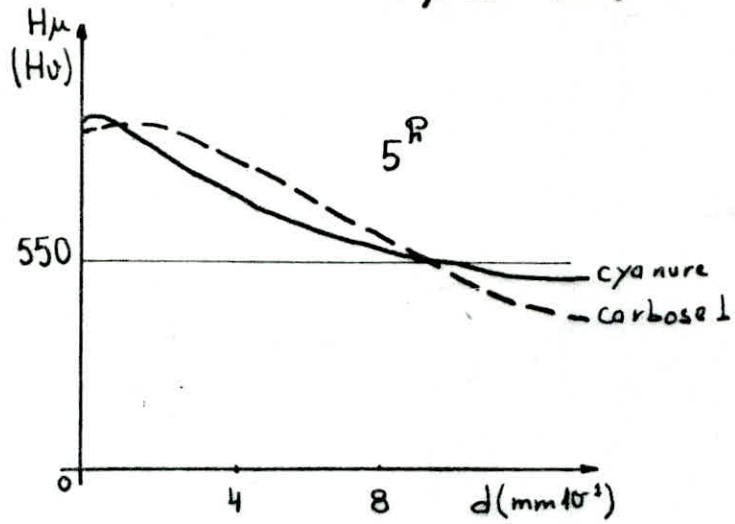
Fig: C1

-30

TEMPERATURE 930°C

$$H_{\mu} = F(d)$$

$H_{\nu 500}$



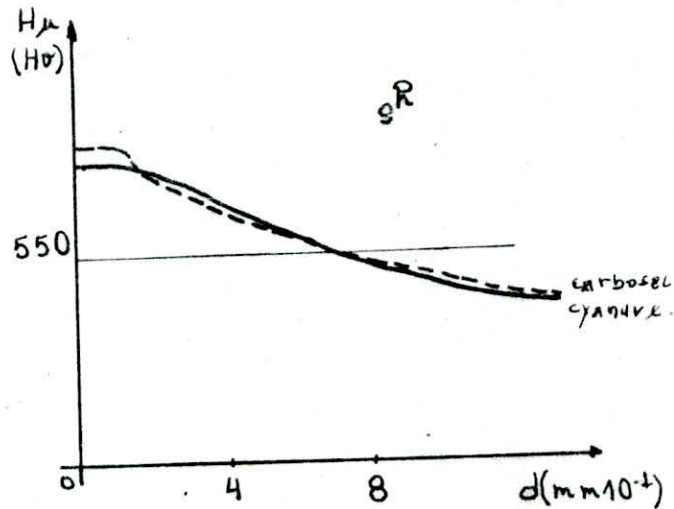
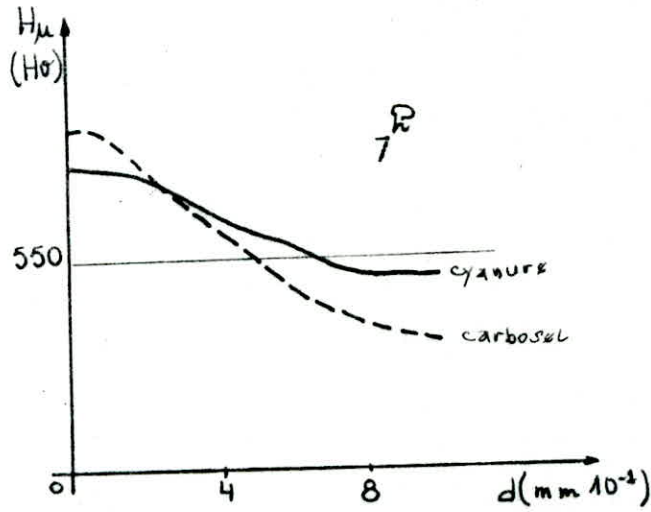
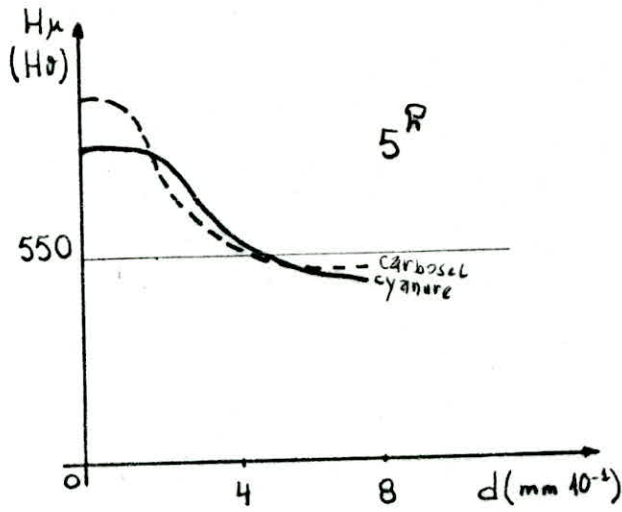
XC 10

Fig: C'1

TEMPERATURE 875°C

$$H_{\mu} = F(d)$$

H_{500}



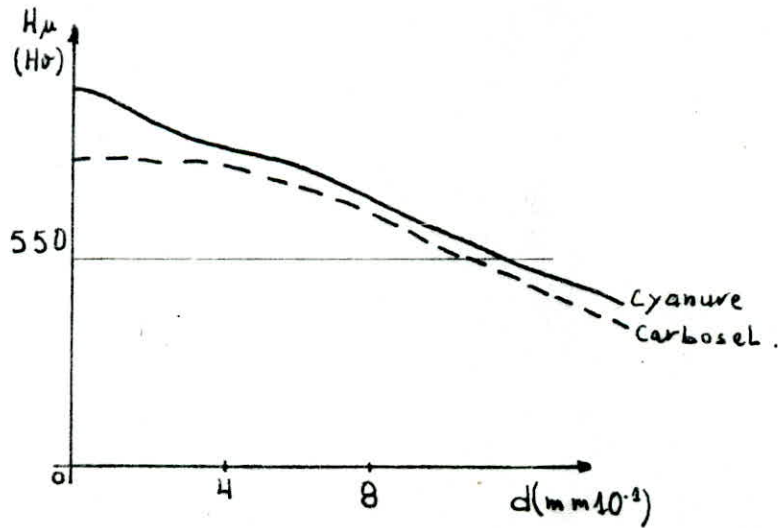
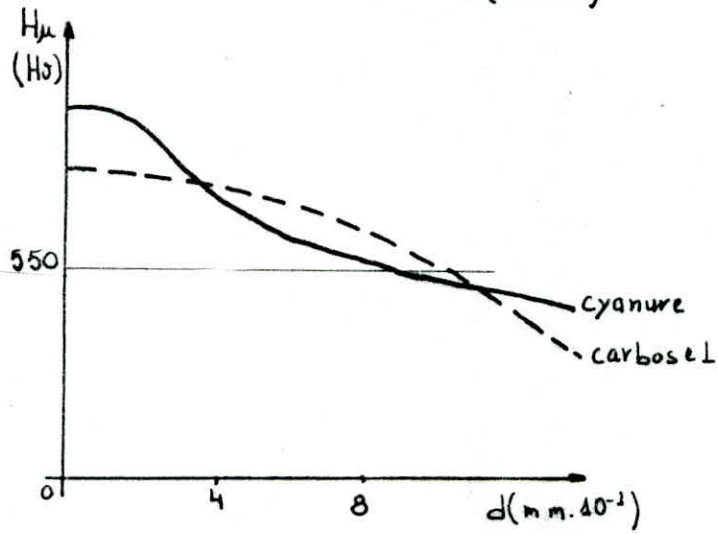
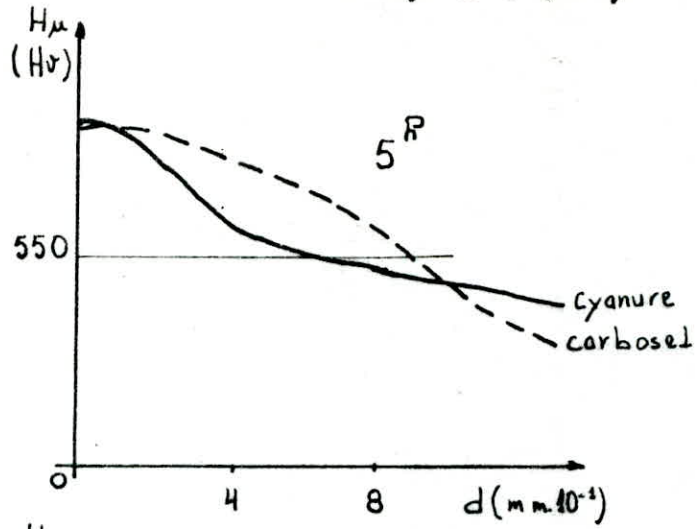
10 NC 6

Fig: C2

TEMPERATURE 930°C

$$H_{\mu} = F(d)$$

H_0 500



10 NC 6

Fig: C₂

CONCLUSION

D'après les courbes on peut affirmer que le ciment Carbosel offre à la pièce des couches homogènes dont la différence de dureté est régulière, légère ce qui démontre que le passage de la zone hypereutectoïde à la zone hypoeutectoïde n'est pas brusque, donc il n'y a pas risque d'apparition d'écaille ou de coïques qui peuvent fragiliser la pièce.

5 - 3 - ESSAI DE TRACTION ET DE RESILIENCE

a) Les éprouvettes soumises à l'essai de traction et de résilience ont été usinées du même barreau des autres essais et expérience. (voir fig. E)

Ces éprouvettes sont ensuite cémentées aux 2 bains de sel à la température et les temps suivants :

- Bain de cyanure 870° C 7 h.

- Bain de Carbosel 910° C 7 h.

Norme des éprouvettes (voir fig.)

Suivant les essais de traction ou de résilience on détermine :

- TRACTION

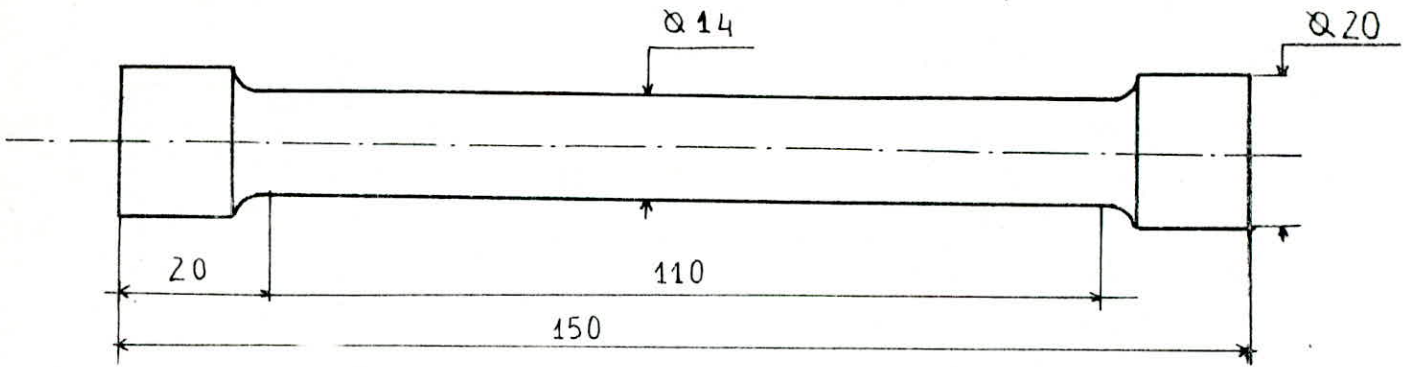
$-R_m = \frac{F_m}{S_0}$: Résistance à la rupture

$-R_e = \frac{F_e}{S_0}$: Résistance à la limite élastique.

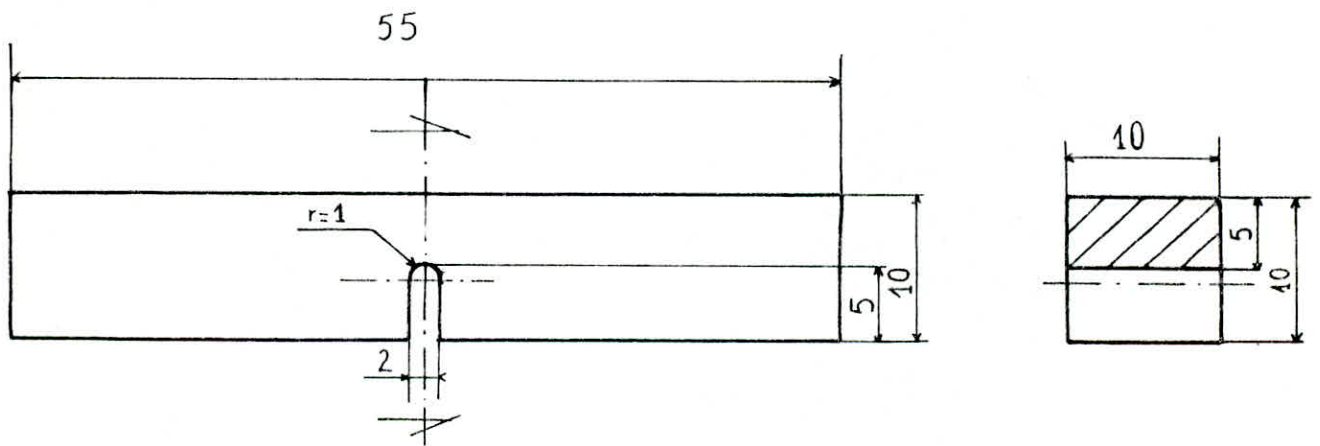
$-A \% \frac{\Delta L}{L_0}$: Allongement

- RESILIENCE : $K(dAJ/cm^2)$

.../...



EPROUVETTE DE TRACTION



EPROUVETTE DE RESILIENCE (ech: 2)

FIG. E.

b) TABLEAU DES RESULTATS

XC 10	AVANT-CEMENT	CYAN+TREMPE	+REVENU	CARBOS+TREMPE	+REVENU
Rm(dAN/mm ²)	45	68	63	78	66
Re(dAN/mm ²)	32	59	47	65	56
A %	36	3	5	2,5	5
K(dAJ/cm ²)	20,5	4,3	5,3	3,7	4,9

IO HC 6	AVANT.CEMENT	CYAN+TREMPE	+REVENU	CARBOS+TREMPE	+REVENU
Rm(dAN/mm ²)	56	86	84	91	84
Re(dAN/mm ²)	50	62	58	75	68
A %	27	2,5	4,5	3	6
K(dAJ/cm ²)	15,5	5	5,3	4,3	6,4

Pour chaque cas on a déterminé les caractéristiques à partir de 3 essais.

Le revenu a été fait à 200° pendant 2 heures.

les 2 cements ont pratiquement le même effet sur les éprouvettes ils améliorent Rm et Re mais diminuent considérablement A et K

Pour le Carbosel on constate une amélioration de K surtout pour l'acier IO IC6 avec un même Rm et Re.

Pour le XC 10 le Cyanure et le Carbosel agissent de la même façon

.../...

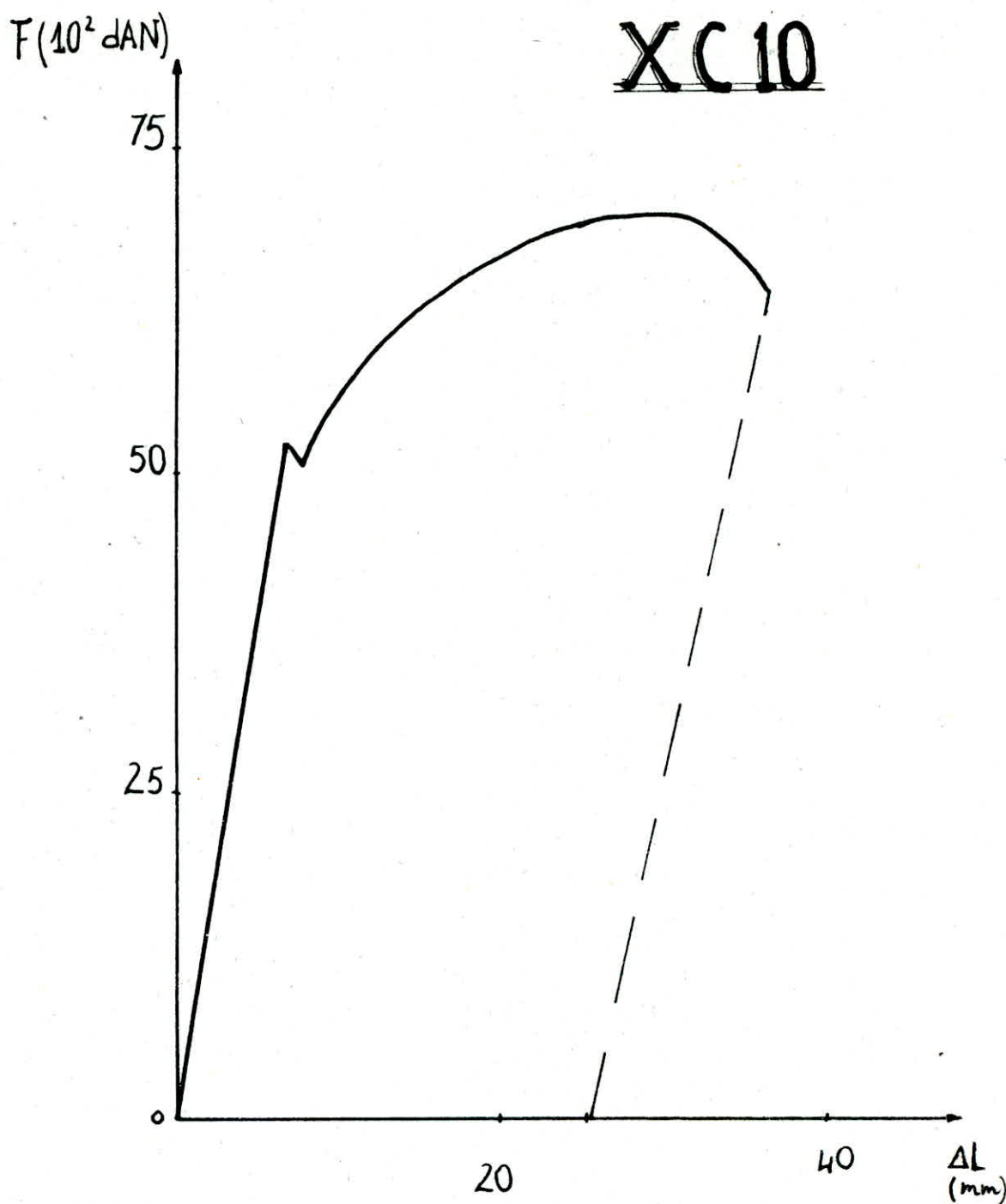


Fig. d₁: COURBE D'ESSAI DE TRACTION (avant traitement)

$F (10^2 \text{ DAN})$

10 NC6

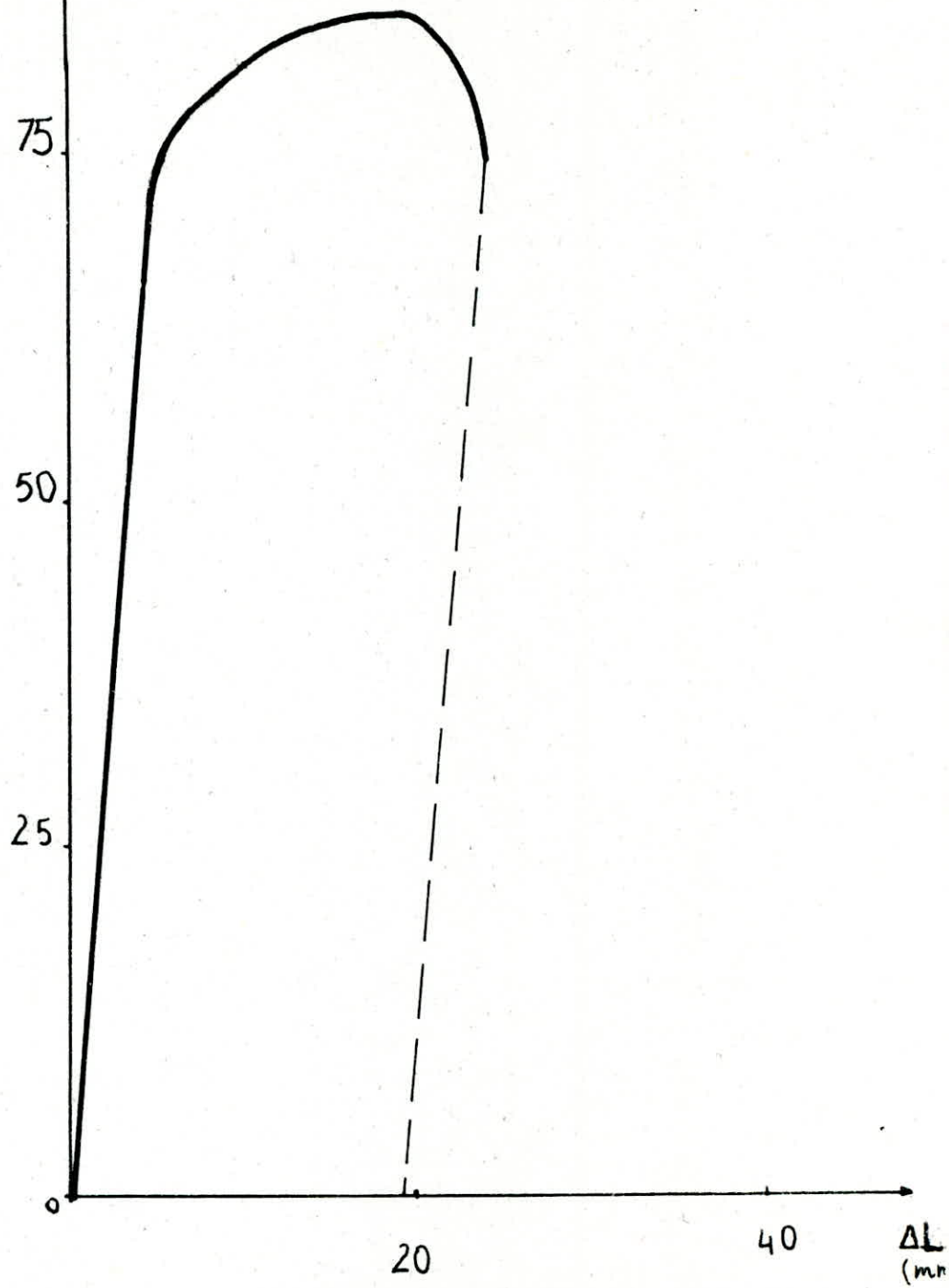


Fig d2 : COURBE D'ESSAI DE TRACTION
(avant traitement).

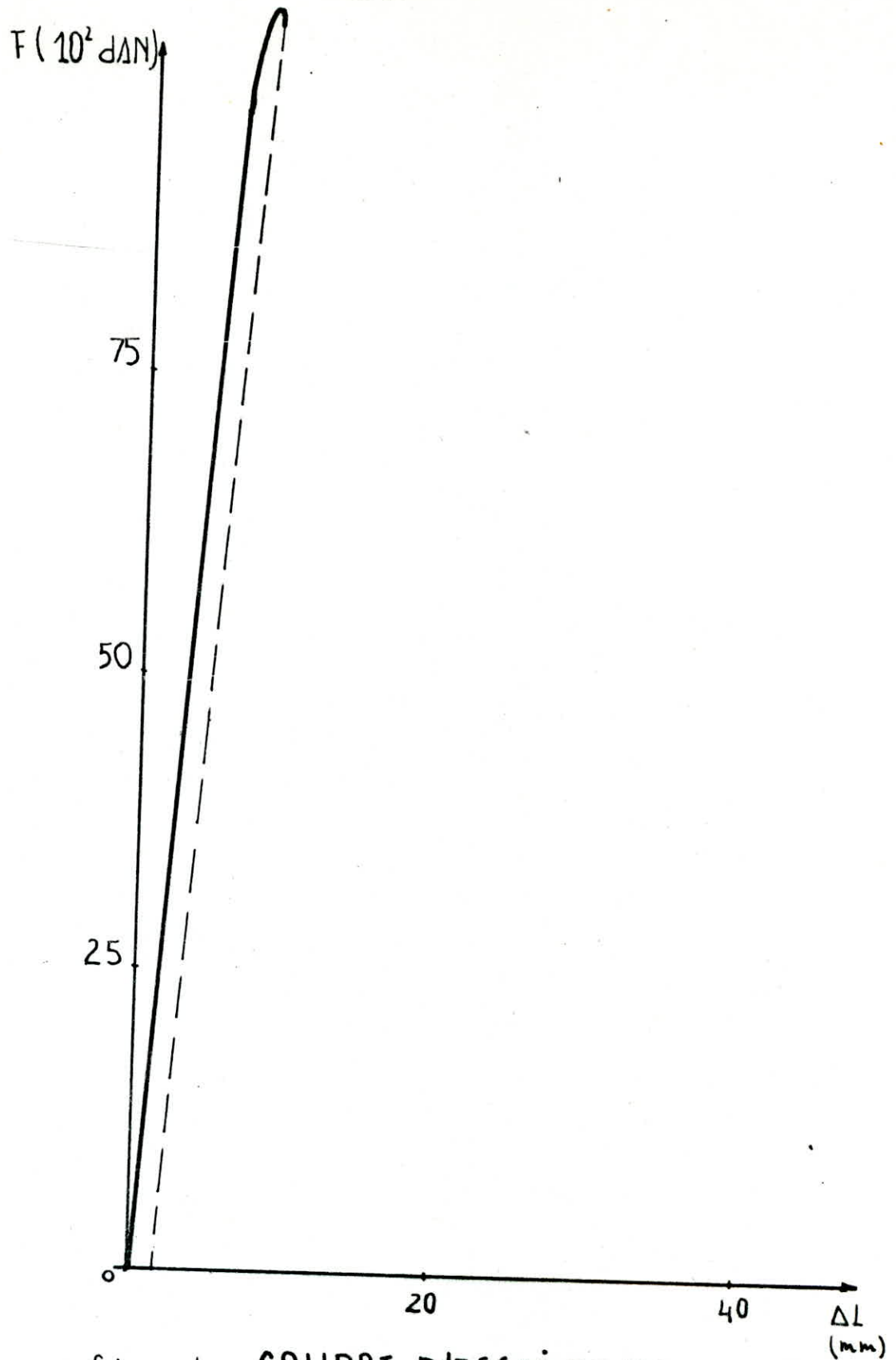


Fig: d₃; COURBE D'ESSAI DE TRACTION
(après cementation)

5 - 4/ CONCLUSION

Tout ces essais (dureté, traction...) ont pu montrer que le carbosel peut être utilisé sans gravité et sans variation notable des propriétés mécaniques des pièces.

IV

ESTUDE

ECONOMIQUE

IV - ETUDE ECONOMIQUE /

L'estimation du prix de revient d'une opération de cementation à sa juste valeur est très délicate, du fait que plusieurs facteurs sont mis en jeu où chacun a ses propres dépenses.

Pour l'application du carbosel, il est exigé seulement le changement du creuset par rapport à l'installation du bain de cyanure d'où les frais d'amortissement sont extrêmement amoindris. Parmi d'autres frais à envisager:

- Prix du Cement
- Consommation du combustible
- Main d'Ouvre
- Coût de destruction

I/ PRIX DU CEMENT

	Perlitex 45	Na CN	CARBOSEL C	CARBOSEL E
PRIX DA/KG	8	6,46	7,04	7,04

2/ CONSOMMATION DU CEMENT

	Perlitex 45	Na CN	CARBOSEL C	CARBOSEL E
Consommation moyenne annuelle (Kg)	87	45	70	756

2 - I PRIX D'ACHAT ET PRIX DE CONSOMMATION :

a) CYANURE :

$$\text{Na CN} : 6,46 \times 45 = 360 \times \text{I2} = 4320 \text{ DA/An}$$

$$\text{Perlitex 45} : 8 \times 87 = 696 \times \text{I2} = 8352 \text{ DA/An}$$

$$\text{Donc P t}_a = 4320 + 8352 = 12672 \text{ DA/An}$$

b) CARBOSEL :

$$\text{Carbosel C} : 70 \times 7,04 = 492,8 \times \text{I2} = 5913,60 \text{ DA/An}$$

$$\text{CARBOSEL E} : 756 \times 7,04 = 5322,24 \times \text{I2} = 63866,88 \text{ DA/An}$$

$$\text{Donc P t} = 5913,60 + 63866,88 = 69780,50 \text{ DA/An}$$

3 CONSOMMATION DU COMBUSTIBLE :

Pour le Carbosel la consommation est plus importante vu d'abord la température d'utilisation supérieure à celle du Cyanure pour une même durée de cementation, et aussi lors du démarrage du bain qui demande plus de 24 heures pour son maintien à la température de cementation, la difficulté vient du fait que le mélange des 2 sels doit être bien ajusté.

.../...

4- / BAIN D'OEUVRE

Mis à part le travail commun aux 2 sels tels : le lavage, le prechauffage, la trempe, le revenu... D'autres paramètres sont spécifiques à chaque sel surtout pour la préparation des bains.

a / CARBOSEL

Pour le démarrage du bain et son contrôle un ouvrier permanent est exigé. Le procédé de la mise en équilibre thermochimique du sel doit être soigneusement respecté.

Donc pour une capacité de 200kg (charge du creuset)

-CARBOSEL C 150 kg

-CARBOSEL E 50 kg

D'abord on charge le creuset de carbosel et on chauffe jusqu'à 850°C et on maintient le bain pendant 1 heure puis on augmente la température jusqu'à 900°C de 10° en 10° toutes les 2 mn et s'il y a formation de mousse on s'arrête et s'il le faut on abaisse la température jusqu'à ce que le bain soit calmé. A 900°C le bain est maintenu pendant 1 heure puis on fait des ajouts de carbosel E en portion de 3 kg chaque heure. Puis on fait monter la température progressivement jusqu'à 910°C. Le temps total de chauffe pour cette mise en route dure environ 24 heures. Lorsque le bain est prêt on constate la formation d'une épaisse couche (5-10 cm) charbonneuse, très dure (laitier) qu'il a fallu briser toutes les 15mn qui normalement protège le bain et permet de limiter les pertes calorifiques, mais empêche la cementation partielle sans protection (cuivrage...).

b / CREASURE

Pour la mise en route le procédé est plus simple, il suffit de remplir le creuset aux 3/4 puis chauffer progressivement lorsque le bain est fondu on termine le remplissage du creuset avec du

PERLITEX45ajoute peu à peu .Sur le bain de cyanure ,il y a formation aussi d'une couche fine qui protege aussi le bain de la decarburation et permet la cementation partielle sans protection de la piece. Le seul risque est celui des explosions et des jets de sel, pour cela il suffit de se munir de gants en amiante et de lunettes de protection. Le bain de carbosel exige une main d'oeuvre permanente contrairement au cyanure un ouvrier qui s'occupera de la cyanuration pourra aussi etre affecte à un autre traitement.

5/ COUT DE DESTRUCTION

En raison des difficultes rencontres pour l'evacuation des dechets toxiques en Algerie cesderniers sont donc expedies à l'etranger (France). Pour le bain de sel cyanure , la consommation annuelle est d'environ 1,5t/an;

- cout de transport et de dedouanement/ 4290,00F/t

- cout de destruction 1550,00F/t

Donc le cout total: 8760,00F= 8000,00 D. Apour les 1,5t

CONCLUSION

Le cout total: cout de destruction +prix d'achat

Pour le carbosel/ = 69780,50 D.A

Pour le cyanure/ = 20672,00D.A

Le prix de revient de cementation au carbosel est 3fois plus que celle appliquee au cyanure sans compter la main d'oeuvre et ajouter à cela aussi la consommation du combustible avec tout cela encore plus cher.

V C O N C L U S I O N

G E N E R A L E

V CONCLUSION GENERALE:

Le but recherché dans cette étude était donc de vérifier l'efficacité ou l'inefficacité et de déterminer les avantages et les inconvénients du CARBOSEL.

Après ces différents essais et expériences plusieurs points sont favorables à son utilisation.

Parmi ces points :

- La sécurité au cours de son emploi
- Une couche de cimentation comparable à celle de la cyanuration.
- Une dureté élevée.
- Vitesse de diffusion plus grande.
- Des caractéristiques mécaniques appréciables.

Mais possède aussi des inconvénients:

- Démarrage du bain et son contrôle.
- Couche de laitier très dure à la surface.
- Saleté des pièces trempées à l'huile/.

Malgré ces inconvénients nous pensons que le CARBOSEL est apte à remplacer le traitement au cyanure et ceci pour une cause majeure celui de la toxicité du bain ainsi que son danger lors de son emploi et lors de sa destruction.

Cette étude nous a aussi permis de nous faire découvrir le milieu industriel avec ses particularités différentes de celle du laboratoire universitaire et de connaître les traitements thermiques concrètement.

TRAITEMENT AU CYANURE

(I. II. III)

TEMPERATURE : 815°C

HV 500 g (Vickers)

5 h (m.m)	1/10	2/10	3/10	4/10	5/10	6/10	7/10
X C 10	878	757	609	458	-	-	-
10 N C 6	802	679	538	479	-	-	-

7 H ₂	1/10	2/10	3/10	4/10	5/10	6/10	7/10
X C 10	905	802	609	579	468	-	-
10 N C 6	851	779	677	552	513	-	-

9 H	1/10	2/10	3/10	4/10	5/10	6/10	7/10
X C 10	878	736	626	565	479	-	-
10 N C 6	779	696	642	552	526	-	-

TABIEAU I

TEMPERATURES 8/5⁰e

5 heures	1/10	2/10	3/10	4/10	5/10	6/10	7/10	8/10	9/10	10/10	11/10	12/10
XC10	805	851	757	659	552	-	-	-	-	-	-	-
10NC6	826	779	689	579	513	-	-	-	-	-	-	-

7 heures	1/10	2/10	3/10	4/10	5/10	6/10	7/10	8/10	9/10	10/10	11/10	12/10
XC10	826	736	659	642	626	579	565	538	-	-	-	-
10NC6	802	779	736	659	626	594	513	-	-	-	-	-

9 heures	1/10	2/10	3/10	4/10	5/10	6/10	7/10	8/10	9/10	10/10	11/10	12/10
XC10	851	736	677	642	609	594	579	565	525	-	-	-
10NC6	802	779	715	696	642	609	551	513	=	=	=	=

TABLEAU II

TEMPERATURE 930°C

5 heures

	1/10	2/10	3/10	4/10	5/10	6/10	7/10	8/10	9/10	10/10	11/10	12/10
XC10	902	851	779	736	659	642	594	564	538	-	-	-
10NCC	878	802	736	626	609	579	552	-	-	-	-	-

7 heures

	1/10	2/10	3/10	4/10	5/10	6/10	7/10	8/10	9/10	10/10	11/10	12/10
XC10	965	905	851	802	757	696	642	609	579	565	513	-
10NCC	965	934	802	757	696	626	594	579	565	538	-	-

9 heures

	1/10	2/10	3/10	4/10	5/10	6/10	7/10	8/10	9/10	10/10	11/10	12/10
XC10	965	875	802	779	779	757	736	677	642	626	594	565
10NCC	965	905	878	851	802	779	757	696	642	626	565	538

TABLEAU III

TRAITEMENT AU CARBOSOL

(IV - V - VI)

TEMPERATURE 675

HV 500 Vickers

5 h	1/10	2/10	3/10	4/10	5/10	6/10	7/10
XC10	965	802	715	609	565	458	-
10NC6	965	779	677	565	538	-	-

7 h.	1/10	2/10	3/10	4/10	5/10	6/10	7/10
XC10	965	878	715	677	579	501	
10NC6	905	757	696	696	594	479	

9 h	1/10	2/10	3/10	4/10	5/10	6/10	7/10
XC10	905	851	757	677	626	579	513
10NC6	851	736	736	696	626	594	538

/ TABLEAU IV /

TEMPERATURE 935° C

5 h	1/10	2/10	3/10	4/10	5/10	6/10	7/10	8/10	9/10	10/10	11/10	12/10
XC10	878	905	851	802	779	735	642	609	565	479	=	=
10NCG	851	878	851	802	736	736	677	594	552	498	=	=

7 heures	1/10	2/10	3/10	4/10	5/10	6/10	7/10	8/10	9/10	10/10	11/10	12/10
XC10	851	851	779	779	717	736	696	677	626	609	565	513
10NCG	826	802	779	757	757	736	715	659	609	579	501	=

9 heures	1/10	2/10	3/10	4/10	5/10	6/10	7/10	8/10	9/10	10/10	11/10	12/10
XC10	878	878	965	934	851	802	802	696	642	609	565	
10NCG	779	802	826	826	802	779	736	735	642	779	538	

TABLEAUX - V -

TEMPERATURE 905° C

5 h.	1/IO	2/IO	3/IO	4/IO	5/IO	6/IO	7/IO	8/IO	9/IO	10/IO	11/IO	12/IO
XC IO	934	878	802	757	736	715	659	538	-	-	-	-
IO NC 6	905	851	757	715	594	579	526	-	-	-	-	-

7 h.	1/IO	2/IO	3/IO	4/IO	5/IO	6/IO	7/IO	8/IO	9/IO	10/IO	11/IO	12/IO
XC IO	965	934	905	826	757	642	594	552	-	-	-	-
IO NC 6	905	851	802	757	696	659	538	-	-	-	-	-

9 h.	1/IO	2/IO	3/IO	4/IO	5/IO	6/IO	7/IO	8/IO	9/IO	10/IO	11/IO	12/IO
XC IO	878	878	851	826	779	715	677	626	565	513	-	-
IO NC 6	851	757	757	677	696	677	642	579	471	-	-	-

TABLEAU VI

- § - CHAUSSIN - HILLY - " Métallurgie "
(DUNOD)
- § - G. DE SNEP. " LA PRATIQUE DES TRAITEMENTS THERMIQUES DES METAUX "
(ed. DUNOD)
- § - I. LAHETINE " METALLOGRAPHIE ET TRAITEMENTS DES THERMIQUES DES
METAUX "
(ed. MIR)
- § - J. BENOARD "METALLURGIE GENERALE"
(ed MASON)
- § - R. BENSIEMON - " LES ACIERS "
(tome I)
(C.E.S.T.I)
- § - REVUES
 - Revues de métallurgie . 236 - 79
 - Traitements thermiques. (1977(2) 1973 (12)
- § - PROJET
 - Le cementation Industrielle.
M. BENCHIKH (1974 - 75)

