

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT : GENIE METALLURGIQUE

PROJET DE FIN D'ETUDES

SUJET

**Etude Comparative Entre
la Cimentation Gazeuse et la
Cimentation par le Carboisel**

Proposé par :
SNVI / CVI

Etudié par :
A. Boumeshal
M. Harmoun

Dirigé par :
M. Chitroub

PROMOTION :
JUN 1990.

-REMERCIEMENTS-

Nous ne saurions présenter cette étude sans exprimer nos remerciements :

- à tous les enseignants de l'Ecole Nationale Polytechnique qui ont contribué à notre formation, en particulier, Monsieur CHITROUB qui a bien voulu diriger cette étude, lui qui a su si bien nous accueillir chaque fois, et qui nous a toujours largement fait profiter de ses remarques.

- au laboratoire central, département de mécanique (CVI), qui a bien voulu nous accueillir en tant que stagiaires et qui n'a jamais hésité de mettre à notre disposition les moyens nécessaires pour l'élaboration de ce modeste travail.

- à tous les ingénieurs, techniciens et travailleurs qui nous ont été d'une aide précieuse et qui ont fait de notre stage bénéfique et réussi.

Et enfin, que tous ceux qui, de loin ou de près, ont contribué à l'élaboration de cette étude, trouvent ici l'expression de notre profonde gratitude.

-SOMMAIRE-

I- INTRODUCTION	2
II- THEORIE DE LA CEMENTATION	
II-1- Définition	5
II-2- Mécanisme	6
II-3- Cémentation en bain de sel	7
II-4- Cémentation gazeuse	8
II-5- Défauts de cémentation	10
III- PROCEDES DE CEMENTATION	
III-1- Aciers utilisés.....	12
III-2- Cémentation gazeuse	12
III-3- Cémentation liquide	14
III-3-1- Description du CARBOSEL	14
III-3-2- Préparation du bain	15
III-3-3- Couche de graphite	16
III-3-4- Contrôle du bain de CARBOSEL	17
III-4- Traitement thermique après cémentation	20
III-5- Mesure de la couche cimentée	21

III-5-1- Mesure de la profondeur de la couche cimentée .21
III-5-2- Mesure de la dureté23

IV- RESULTATS ET INTERPRETATION

IV-1- Résultats expérimentaux25
IV-2- Interprétation32

V- CONCLUSION46

BIBLIOGRAPHIE49

Introduction

I-INTRODUCTION :

La cémentation aux bains de sels s'est implantée dans l'industrie depuis plusieurs décades déjà. Son succès est dû aux nombreux avantages qu'offre ce procédé par rapport à la cémentation en caisse qui est compliquée et sale du fait de l'emballage des pièces et du ciment en poudre dans des caisses métalliques.

Pour le bain de sel, le chauffage, sans être brutal, est rapide et uniforme. Par conséquent, la cémentation sera également très uniforme. La vitesse de cémentation est telle que les pièces restent un temps assez court à haute température, ce qui permet de supprimer, la plus part des temps la trempe de régénération.

La composition des bains de cémentation est telle que malgré la grande vitesse de cémentation, une surcarburation n'est jamais à craindre.

Après cémentation en bain de sel, est apparue la cémentation en atmosphère contrôlée. Certes, cette dernière technique s'est imposée dans les ateliers de grosses productions mais elle n'a pas détrôné le bain sel qui demeure, pour les raisons citées ci-dessus, chaque fois que l'entreprise:

- a une grande-diversité des pièces à cémenter exigeant de la souplesse et de la simplicité dans l'exécution.

- veut obtenir ses profondeurs de cémentation dans un laps de temps relativement court.

- ne dispose pas d'une production en quantité ou en valeur ajoutée liée:

- aux investissements élevés exigés par une bonne installation de cémentation gazeuse.

- au personnel de maîtrise nécessaire pour le réglage et la surveillance du matériel.

La SNVI/CVI utilise les deux procédés pour la cémentation de ses pièces. Il nous a semblé utile de faire une étude de comparaison entre ces deux procédés en utilisant les mêmes conditions techniques de cémentation appliquées au CVI.

Partie I

II- THEORIE DE LA CEMENTATION:

II-1- Définition:

La cémentation est un traitement de surface qui consiste à chauffer l'acier doux (le pourcentage de carbone est inférieur à 0,25%) à une température élevée dans un milieu carburant appelé "cément". Cette opération comprend essentiellement l'enrichissement des couches superficielles en carbone dans le but d'améliorer les propriétés d'usage de la pièce par durcissement superficiel.

L'enrichissement par le carbone comprend plusieurs stades, à savoir:

- Une réaction chimique à haute température du milieu ambiant sur la surface de la pièce avec fixation du carbone.

- Ensuite, une diffusion du carbone dans les couches superficielles de l'acier qui est à l'état austénitique.

- Enfin, un traitement thermique de trempe et de revenu à basse température.

Généralement trois objectifs sont recherchés:

- Dureté très élevée en surface (58 HRC) sans fragilité.

- Bonne tenacité au cœur.

- Contraintes de compression en surface.

II-2- Mécanisme :

La cémentation proprement dite fait intervenir deux phénomènes simultanés; une réaction chimique dans le ciment qui, après dissociation, produit du carbone à l'état atomique à la surface du métal et une diffusion de ce carbone dans la couche superficielle de l'acier qui se trouve à l'état austénitique. Donc, la migration du carbone dans les aciers est un processus de diffusion à l'état solide mais la complexité des conditions techniques de l'opération de cémentation rend difficile l'analyse mathématique du processus, sauf dans des cas simples auxquels les équations de diffusion peuvent être appliquées.

La vitesse de cémentation sera aussi fonction d'une part du potentiel ou de l'activité du carbone à la surface (qui dépend du milieu cémentant et de l'action qu'exerce sur lui la surface) et d'autre part du coefficient de diffusion du carbone dans le métal. Le coefficient lui même est fonction en première approximation de la température.

L'absorption du carbone à la surface de l'acier fait apparaître une différence de concentration de cet élément entre la surface et le cœur.

Comme le carbone est en solution dans le fer gamma, il diffuse à l'intérieur vers les zones de concentration plus faible et continue tant que la composition n'est pas encore uniformisée.

Le degré d'approche de cette uniformité est fonction non seulement de la vitesse de diffusion du carbone du fer et du temps de séjour en température, mais aussi de la vitesse d'absorption du carbone par la surface de l'acier.

La quantité de carbone qui diffuse par unité de temps et de surface est donnée par la première loi de Fick dont l'expression est :

$$q = -D \cdot d \cdot \frac{\partial c}{\partial x} \quad [1]$$

où;

D: coefficient de diffusion, exprimé en cm^2/s .

d: densité de l'acier.

$\frac{\partial c}{\partial x}$: gradient de la concentration en un point.

II-3- Cémentation en bain de sel :

La cémentation en bain de sel utilise des sels que l'on chauffe au dessus de leur point de fusion. L'opération

n'est réellement effective qu'à partir de 850°C. L'emploi de de ciment liquide est intéressant pour durcir superficiellement les petites pièces qui, le plus souvent, peuvent être trempées tout aussitôt sans autre réchauffage. La décarburation superficielle ne peut pas se produire et l'opération est simple.

II-4- Cémentation gazeuse :

Quelque soit le mode de cémentation adopté, le transfert du carbone dans les aciers se fait pratiquement en phase gazeuse. Il paraît donc logique d'utiliser un gaz pour carburer rationnellement un alliage fer-carbone. C'est le principe de la cémentation gazeuse qui consiste en un chauffage des pièces dans une enceinte étanche remplie d'une atmosphère convenable, susceptible de lui fournir à la surface le carbone nécessaire.

Dans une cémentation gazeuse, le mélange carburant reste bien défini et parfaitement stable durant toute la phase active de la cémentation, mais les réactions sont beaucoup complexes et que même certaines d'entre elles peuvent être franchement nuisibles, en cas de dérèglement de l'atmosphère gazeuse.

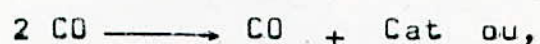
Il s'ensuit qu'une installation de cémentation gazeuse nécessite un matériel moderne comprenant un ensemble d'ap-

pareils de contrôle et de sécurité. La conduite de ces appareils exige une qualification technique du personnel.

Il ne s'agit plus ici d'agir sur un seul facteur qui est la température, mais bien de contrôler de façon permanente la constance du produit cémentant gazeux malgré sa continue transformation durant son débit.

La meilleure couche cémentée s'obtient en employant comme agent de cémentation le gaz naturel (CH₄) composé presque de méthane, ainsi que les mélanges de butane et de propane soumis à un traitement.

La réaction chimique principale qui assure la carburation est la dissociation du méthane et de l'oxyde de carbone



En résumé, les mélanges utilisés en cémentation gazeuse sont composés :

- d'oxyde de carbone.
- d'une faible proportion de carbure d'hydrogène.
- d'une addition de gaz diluant: azote, hydrogène.

Le mélange gazeux doit nécessairement être dépourvu de gaz carbonique CO₂, qui s'oppose à la cémentation et ne saurait être toléré incidemment qu'en très faible proportion (par exemple: inférieur à 1% pour l'obtention d'une carburation eutectoïde).

II-5- Défauts de cémentation :

Un bain de sel mal régénéré peut entraîner dans les couches cimentées des teneurs en carbone faibles. Il en résulte des insuffisances en dureté. Néanmoins, la teneur en carbone ne doit pas être trop élevée, ceci entraîne des carbures en nodules et aussi en réseaux intergranulaires, ce qui est plus gênant. On peut aussi avoir sur certains axes des grossissements de grains importants et des oxydations de bord. Enfin, les refroidissements mal appropriés conduisent à des criques.

Partie II

III- PROCÉDES DE CEMENTATION :

III-1-Aciers utilisés :

Les principaux aciers de cémentation utilisés sont les suivants: XC10; XC18; 16MC5; 18CD4; 20CD4; 10NC6; 12NC6; 20NC6; 14NC6; 20MC2; 18NCD6. Pour compléter l'étude faite précédemment [2], on a choisi les deux nuances suivantes: 18CD4 et 20NC6.

Les compositions chimiques de ces aciers selon la norme AFNOR sont:

Elts% Nuance	C	Mn	Si	S	P	Ni	Cr	Mo	Cu	V
18CD4	0,17	0,80	0,23	0,025	0,020	0,21	1,06	0,240	0,18	0,006
20NC6	0,19	0,55	0,30	0,010	0,018	1,52	0,81	0,100	0,20	--

III-2- Cémentation gazeuse :

La cémentation gazeuse, à la SNVI/CVI, se fait dans des fours par le perlitol qui est un mélange de 80% d'alcool isopropylique et de 20% de white spirit.

Le craquage du perlitol se fait dans l'enceinte du four pour obtenir une atmosphère cémentante. Pour cela, on envoie sous pression et en quantité réglable dans la chambre de trai-

tement de perlitol qui va par la suite tomber sur une plaque qui est solidaire du couvercle. La température de la plaque assure une vaporisation instantanée et une décomposition du liquide pour former une atmosphère convenable de cémentation. Ce liquide est injecté, une fois que le four est à température de travail, à raison de 0,6l/h, environ pendant 20% du temps; ceci nous donne par expérience un potentiel carbone de 0,8%C.

Les pièces placées dans les paniers, sont chargées dans le laboratoire du four, en même temps qu'un fil de fer et trois ou quatre témoins dans la goulotte. Il s'ensuit alors une baisse de la température initiale. On attend la remontée de la température du four pendant une heure à peu près, puis on retire de la goulotte le fil de fer que l'on trempe. Si le fil se casse, cela prouve que l'atmosphère est cémentante. C'est en ce moment qu'on introduit nos échantillons pour la cémentation à cette température et qu'on maintient à des temps différents.

Il faut noter que le four de cémentation est menu d'une turbine qu'on fait fonctionner pendant toute l'opération. Cette turbine de brassage de l'atmosphère assure une homogénéisation de la température et du potentiel carbone à travers tout le volume du laboratoire du four.

L'atmosphère réductrice obtenue après craquage est composée de :

CO: 35%

H2: 40%

CO2: 0,1 à 0,2% lorsque le four est purgé

CH4: variable avec le débit de la pompe

d'injection. Il doit être environ

1,35% pour être en équilibre à 0,8%C

pour les aciers alliés au Cr-Ni.

III-3- Cémentation liquide :

III-3-1- Description du CARBOSEL :

Le CARBOSEL est un sel de cémentation exempt de cyanure ou d'autres produits toxiques. Il est livré sous forme de poudre et s'utilise à l'état fondu dans des fours à creusets métalliques.

Le CARBOSEL comporte deux constituants :

- CARBOSEL C
- CARBOSEL E

Les caractéristiques du bain en service sont les suivantes :

- Point de fusion648°C
- Zone d'utilisation880° à 950°C
- Densité.....2,07 à 970°C

Le CARBOSEL est prévu pour la cémentation d'aciers doux aux profondeurs requises. Il est particulièrement indiqué pour les concentrations profondes et il sera avantageusement utilisé pour la cémentation des aciers alliés en Nickel-Chrome, sensible à l'austénite résiduelle.

III-3-2- Préparation du bain :

Pour obtenir un bain de cémentation efficace et de conduite aisée par la suite, il est indispensable que l'opération de première fusion du bain de CARBOSEL soit effectuée avec soin.

Pour l'obtention de 100 Kg de sels fondus, il faudra utiliser:

- 75 Kg de CARBOSEL C
- 25 Kg de CARBOSEL E

Pour avoir un bain liquide, on commence par charger dans le four les 75 Kg de CARBOSEL C. Cette quantité sera portée à une température de 850°C à laquelle sera fondue puis maintenue pendant une heure. Par la suite, on fait monter la température jusqu'à 900°C. Lors de la montée en température, qui se fait de 10° en 10°C en marquant un arrêt de 15 à 30 minutes à chaque température intermédiaire, le bain a tendance à mousser. Si la mousse est trop importante, pour éviter les débordements, il y a lieu de ralentir la vitesse de chauffage. une

fois cette température est atteinte, on fait un palier d'une heure.

A ce stade et à 900°C, le bain fondu sera couvert d'une fine couche de mousse et de carbone, indice d'une réaction des constituants bien équilibrée. On ajoute alors au sel fondu les 25 Kg de CARBOSEL E en huit portions d'environ trois kilogrammes chacune en maintenant de 15 à 30 minutes. Après le dernier ajout, on progressivement la température à 920/930°C. A cette température, la surface du bain est bien recouverte d'une couche formée de carbone qui, après immersion partielle, entraîne un bouillonnement de grosses bulles et que la couche carbonée se forme immédiatement. A ce moment, la teneur en Na₂O est entre 12 et 15%; donc on peut cémenter.

Le temps de chauffe, à titre orientatif est de vingt-quatre heures.

III-3-3- Couche de graphite :

En effet, la surchauffe occasionne un déséquilibre chimique du CARBOSEL et détruit sa couverture carbonée.

A température élevée, l'oxygène de l'air, par son action sur le CO qu'il transforme en CO₂, diminue le potentiel de carbone disponible dans le sel fondu, par là diminue la vitesse de

cémentation.

C'est pour éviter cette oxydation des bains de cémentation que leur surface doit être isolée du contact de l'air par une couche carbonée qu'il convient de constituer, si c'est nécessaire avec la poudre à base de graphite (carbone spécial SOPHOS).

La couche de graphite qui, de plus, recouvre les bains de cémentation fondus, limite les pertes calorifiques par radiation et, de ce fait, permet des économies d'énergie.

III-3-4-Contrôle du bain de cémentation :

Dans le but d'une meilleure cémentation, on a intérêt à contrôler le bain d'une manière rigoureuse avant chaque opération de cémentation.

Au CVI, le contrôle se fait de différentes manières, à savoir :

- Contrôle visuel :

Ce contrôle se fait en observant la manière dont elle se manifeste la croûte superficielle une fois la température visée est atteinte.

Comme il a été déjà cité, un bain de CARBOSEL en bon état sera toujours recouvert de sa croûte carbonée uniforme et une effervescence avec apparition de flamèches aura lieu lorsqu'elle sera brisée. Ces phénomènes constatés, la croûte doit se reformer.

- Contrôle par témoins :

Le contrôle par témoins se fait juste après qu'on soit assuré que le bain est en bon état. Il peut se faire en immergeant des témoins en 16NC6 qui après deux heures de maintien à 930°C, devront atteindre une profondeur de cémentation de 0,6mm; Mais en général, on pratique le test du fil de fer qui est plus facile. Cette pratique se fait en l'immergeant qui, après un maintien d'environ une heure, trempé aussitôt doit casser au pliage lorsque l'angle obtenu est d'environ 90°. Si tel n'est pas le cas, l'activité du bain n'est pas parfaite.

- Contrôle analytique :

Le contrôle analytique du bain de CARBOSEL se fait par une méthode indirecte et qui consiste à déterminer l'alcalinité du bain exprimée en Na₂O dont le principe est le suivant :

On dissout 1g de sel fondu, exempt de croûte et de scorie, dans l'eau distillée que l'on verse dans une fiole jaugée de 500cc puis on complète jusqu'au trait de jauge. De cette so-

lution, on prélève 50cc qu'on dilue avec 50cc d'eau distillée puis on ajoute 4 à 5 gouttes de phénolphthaléine. On titre avec une solution d'acide 0,1N jusqu'au virage du rouge à l'incolore. On note la quantité (a) d'acide utilisée. On ajoute dans la solution titrée quelques gouttes de méthylorange puis on titre avec le reste de l'acide 0,1N et on note la quantité utilisée ; la quantité totale utilisée est b. La teneur en Na₂O est exprimée par la relation suivante :

$$\text{Na}_2\text{O}\% = \frac{(2a - b) \cdot 3,1}{- P}$$

où P est le poids de sel prélevé exprimé en g.

Il faut noter que la teneur en Na₂O d'un bain de CARBOSEL doit être comprise entre 15 et 25%.

- Contrôle de la température :

La température de cémentation doit être contrôlée d'une façon continue au moyen de pyromètres thermo-électriques. Cette température doit être maintenue aussi constante que possible . Pour cela, on utilise un régulateur de température automatique ainsi qu'un enregistreur.

III-4- Traitement thermique après cémentation :

Après cémentation, une pièce est composée de deux aciers au carbone très différents:

- L'âme de la pièce demeure de l'acier extra-doux.
- La couche cémentée est un acier très carburée.

C'est ce qui nécessite un traitement des aciers à savoir une trempe et un revenu.

Après cémentation, il est très utile de refroidir les témoins rapidement afin d'obtenir une structure à grains aussi fins que possible et de conserver une bonne répartition des carbures. On ne doit pas leur faire cependant un refroidissement trop brutal car sans cela, les déformations risquent de devenir trop importantes. Pour cela, on a fait subir à nos témoins de cémentation une trempe à l'huile. Après cette trempe, on procède à un second traitement qui est le revenu de détente.

Le revenu de détente, effectué à 180°C avec un maintien d'une heure, ne change rien en la structure, par contre, il permet de libérer les contraintes thermiques et les contraintes de compression dues au fait que la densité de la martensite est supérieure à celle de l'austénite résiduelle. Après, le refroidissement est fait de préférence à l'air ambiant.

III-5- Mesure de la couche cimentée:

III-5-1- Mesure de la profondeur de la couche cimentée:

La définition de l'épaisseur de la couche cimentée varie suivant les auteurs et les problèmes posés. En voici quelques unes:

- Soit la profondeur jusqu'à laquelle on retrouve le pourcentage initial de carbone de l'acier.

- Soit la profondeur à laquelle on retrouve un pourcentage de carbone donné, 0,5% par exemple. Dans ce cas, la couche considérée présente pratiquement sur toute son épaisseur la ou les mêmes caractéristiques.

- Soit conventinnellement, et c'est celle là que nous prendrons dans la suite de notre travail, la distance entre la surface et la couche dont la dureté est de 550points VICKERS.

Après le revenu de détente, les témoins sont coupés transversalement, dont le but d'avoir une surface plane et une mesure exacte. Ces témoins sont ensuite enrobés dans la résine et polis spéculairement. On les positionne sur la plaquette du microduromètre.

Le principe de mesure de cet appareil est basé sur la méthode VICKERS mais avec de faibles charges (10g, 20g,.....

.., 500g)

Le pénétrateur utilisé est un diamant pyramidal à base carrée dont l'angle dièdre de deux faces opposées vaut 136° .
L'empreinte a la forme d'un carré.

La dureté VICKERS (H_v) est exprimée par la relation suivante:

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

où;

P: charge d'essai en g

d: distance moyenne arithmétique des deux diagonales de l'empreinte mesurée après suppression de la charge.

Lors des essais des microduretés effectués sur nos témoins, nous avons appliqué une charge de 500g. Les points de microdureté sont faits sur les échantillons perpendiculairement au bord. L'épaisseur cimentée est alors la distance du bord au point de microdureté 550Hv pris conventionnellement.

Les valeurs, après mesure, de la couche cimentée (d) et de la microdureté sont données par les tableaux I, II, III,

..., VIII, et IX, X, XI, XII.

III-5-2- Mesure de la dureté :

La dureté est mesurée directement après le revenu. Pour cela, on a utilisé l'essai ROCKWELL dont le principe consiste à imprimer dans les témoins étudiés un pénétrateur, de type normalisé, en diamant dont sa pointe est légèrement arrondie, avec un angle au sommet de 120° .

L'essai s'exécute en trois temps; tout d'abord l'application d'une précharge constante (P - 10 Kgf 100N). La couche superficielle de la pièce étant brisée, on libère le contre-poids au moyen d'un levier; un effort P' de 150 Kgf s'exerce alors sur la pointe de diamant. Après suppression du contre-poids, le comparateur à cadran fait apparaître la dureté recherchée et qu'on lit directement.

Partie III

IV- RESULTATS ET INTERPRETATIONS :

IV-1- Résultats expérimentaux :

Les tableaux I, II, III, ... , VIII représentent les résultats de la microdureté de la couche cimentée en partant de l'extrémité vers le cœur de la pièce pour les différentes valeurs de temps de maintien pour une température de cémentation donnée.

Les tableaux IX, X, XI, et XII donnent les différentes valeurs de l'épaisseur de la couche cimentée en fonction du temps de maintien et de la température.

Par les deux procédés de cémentation, on obtient une couche cimentée de dureté en Rockwell C après trempe et revenu à 180°C de 61.

tps en h \ d en	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,55	0,6	0,66	0,7	0,75	0,8	0,85	0,9
6	905	826	757	659	609	-	552	-	-	-	-	-	-
7	851	779	715	659	626	-	594	-	552	-	-	-	-
8	905	826	757	696	659	-	609	-	579	552	-	-	-
9	878	826	757	715	677	-	626	-	594	-	579	552	-

Tableau I: Microdureté de la couche
cémentée en fonction du temps de
maintien pour T 900°C. Nuance 18CD4
Procédé: cémentation gazeuse.

tps en h \ d en	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,55	0,6	0,66	0,7	0,75	0,8	0,85	0,9
6	826	779	715	642	565	526							
7	878	802	757	677	626	-	594	-	552				
8	857	802	757	715	677	-	642	-	594	-	552		
9	878	802	757	696	659	-	626	-	594	-	565	-	536

Tableau II: Microdureté de la couche
cémentée en fonction du temps de
maintien pour T 920°C. Nuance 18CD4.
Procédé: Cémentation gazeuse.

tps en h	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,55	0,6	0,65	0,7	0,75	0,8	0,85	0,9
6	851	779	696	642	579	-	538	-	-	-	-	-	-
7	851	779	715	677	609	-	565	552	-	-	-	-	-
8	851	802	757	715	677	-	642	-	552	-	-	-	-
9	878	802	757	715	696	-	659	-	626	-	594	-	552

Tableau III: Microdureté de la couche
cémentée en fonction du temps de main-
tien pour T 900°C. Nuance: 20NC6.
Procédé: Cémentation gazeuse.

tps en h	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,55	0,6	0,65	0,7	0,75	0,8	0,85	0,9
6	878	802	736	642	579	-	526	-	-	-	-	-	-
7	851	802	736	677	626	-	579	-	552	-	-	-	-
8	851	802	736	715	696	-	659	-	609	-	552	-	-
9	851	802	757	696	642	-	609	-	579	-	565	-	536

Tableau IV: Microdureté de la couche
cémentée en fonction du temps de mai-
ntien pour T 920°C. Nuance: 20NC6.
Procédé: Cémentation gazeuse.

tps en h	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,55	0,6	0,65	0,7	0,75	0,8	0,85	0,9
6	802	757	659	543	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7	851	757	715	677	609	538	-	-	-	-	-	-	-
8	905	779	715	677	626	513	-	-	-	-	-	-	-
9	965	905	851	802	677	-	626	-	609	538	-	-	-

Tableau V: Microdureté de la couche
cémentée en fonction du temps de main-
tien pour T 870°C. Nuance 18CD4.

Procédé: Cémentation par le CARBOSEL.

tps en h	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,55	0,6	0,65	0,7	0,75	0,8	0,85	0,9
6	851	757	715	659	594	565	-	-	-	-	-	-	-
7	878	826	757	677	609	-	579	552	-	-	-	-	-
8	851	802	757	696	626	-	579	-	552	-	-	-	-
9	934	878	802	757	715	-	659	-	594	579	538	-	-

Tableau VI: Microdureté de la couche
cémentée en fonction du temps de main-
tien pour T 920°C. Nuance: 18CD4.

Procédé: Cémentation par le CARBOSEL.

tps en h	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,55	0,6	0,65	0,7	0,75	0,8	0,85	0,9
6	851	757	736	726	594	552	-	-	-	-	-	-	-
7	902	826	715	642	594	-	526	-	-	-	-	-	-
8	878	779	736	677	594	-	552	-	-	-	-	-	-
9	905	826	757	696	659	-	594	-	565	552	-	-	-

Tableau VII: Microdureté de la couche
cémentée en fonction du temps de main-
tien pour T 870°C. Nuance: 20NC6.
Procédé: Cémentation par le CARBOSEL.

tps en h	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,55	0,6	0,65	0,7	0,75	0,8	0,85	0,9
6	851	779	696	642	609	552	-	-	-	-	-	-	-
7	802	736	677	642	609	-	579	-	552	-	-	-	-
8	905	826	779	736	677	-	626	-	594	536	-	-	-
9	851	802	757	715	642	-	626	-	594	-	552	-	-

Tableau VIII: Microdureté de la couche
cémentée en fonction du temps de main-
tien pour T 920°C. Nuance: 20NC6.
Procédé: Cémentation par le CARBOSEL.

$T^{\circ}C$ \ tps h	6	7	8	9
900	0,6	0,7	0,75	0,9
920	0,55	0,7	0,8	0,9

Tableau IX: Epaisseur de la couche
cémentée en fonction de la tempéra-
ture et du temps. Nuance: 18CD4.
Procédé: Cémentation gazeuse.

$T^{\circ}C$ \ tps en h	6	7	8	9
900	0,6	0,65	0,7	0,9
920	0,6	0,7	0,8	0,9

Tableau X: Epaisseur de la couche
cémentée en fonction de la tempé-
rature et du temps. Nuance: 20NC6.
Procédé: Cémentation gazeuse.

tps en h \ T°C	6	7	8	9
870	0,4	0,55	0,55	0,75
920	0,55	0,65	0,7	0,8

Tableau XI: Epaisseur de la couche cimentée en fonction de la température et du temps. Nuance: 18CD4. Cémentation par le CARBOSEL.

tps en h \ T°C	6	7	8	9
870	0,55	0,6	0,6	0,75
920	0,55	0,7	0,75	0,8

Tableau XII: Epaisseur de la couche cimentée en fonction de la température et du temps. Nuance: 20NC6. Procédé: Cémentation par le CARBOSEL.

IV-2- Interprétation :

Les figures I, II, III et IV montrent les variations des microduretés des couches cémentées.

Sur la figure I, on constate que la microdureté de la couche cémentée varie de 950 à 550HV en utilisant le procédé gazeux alors que, pour le procédé par le CARBOSEL, elle varie de 980 à 550 HV pour la nuance 18CD4 cémentée à 920°C.

La figure II donne les résultats pour la même nuance cémentée à 900°C pour le procédé gazeux et à 870°C pour le procédé par le CARBOSEL; elle varie respectivement de 960 à 550HV et de 1030 à 550HV.

Les figures III et IV donnent les résultats pour la nuance 20NC6 pour les mêmes températures de cémentations. Pour le procédé gazeux, on obtient une variation de 950 à 550HV et de 975 à 550HV pour le procédé par le CARBOSEL pour la température 920°C; alors que pour les températures 900 et 870°C, on obtient respectivement une variation de 935 à 550HV et de 980 à 550HV.

En général, on constate que la microdureté de la couche cémentée varie en moyenne de 970 à 550HV pour les deux procédés, néanmoins les valeurs de celle-ci au bord de la

couche cimentée sont légèrement supérieures dans le cas du procédé par le CARBOSEL.

Les figures V, et VI représentent les variations de la profondeur de la couche cimentée en fonction du temps de maintien pour une température de cimentation donnée.

Pour les deux nuances, on constate que quelque soit la valeur de la température de cimentation et du temps de maintien, la profondeur de la couche de cimentation obtenue par le procédé gazeux est toujours supérieure à celle obtenue par le procédé par le CARBOSEL.

L'explication de ces différences est que dans la cimentation gazeuse, le craquage du perlitol continue à se faire constamment, ce qui donne une constance de la concentration en carbone sur la surface des témoins, alors que pendant la cimentation par le CARBOSEL, la régénération du bain est mal contrôlée, ce qui implique son appauvrissement progressif en carbone.

Les micrographies montrent la présence d'une oxydation intergranulaire du bord de la couche diffusée pour les témoins cimentés par le CARBOSEL, alors qu'elle n'apparaît pas du tout dans le cas du procédé gazeux.

Cette oxydation devient importante en augmentant le temps de maintien et la température de cémentation. Ceci est valable pour les deux nuances étudiées. Ce phénomène s'interprète de la manière suivante:

Un bain de CARBOSEL en bon état au début, sera recouvert d'une croûte carbonée qui deviendra dure. Donc, pour faciliter le retrait des témoins du bain, on a intérêt à la casser à chaque fois qu'elle se reforme. Il s'ensuit une action de l'air à la surface du bain qui est à haute température. Cette dernière favorise la diffusion de l'oxygène de l'air dans le bain et par la suite dans les couches superficielles des témoins. Ce qui n'est pas le cas pour la cémentation gazeuse dont l'atmosphère est protectrice.

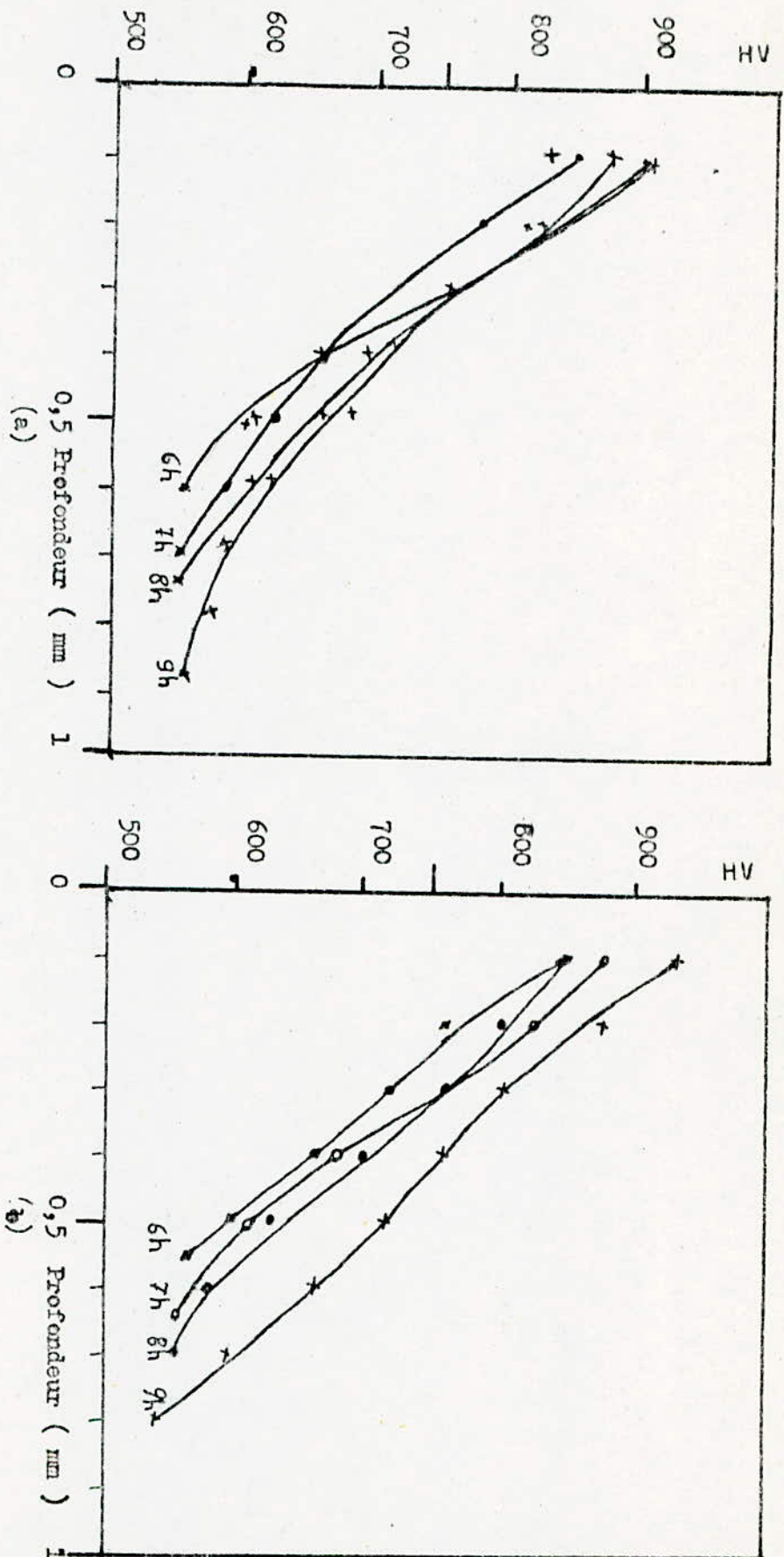


Figure 1: Variation de la microdureté en fonction de la profondeur de la couche cimentée pour $T=920^{\circ}\text{C}$. Nuance: 18CD4
 a- Cimentation gazeuse.
 b- Cimentation par le CARBOSEL.

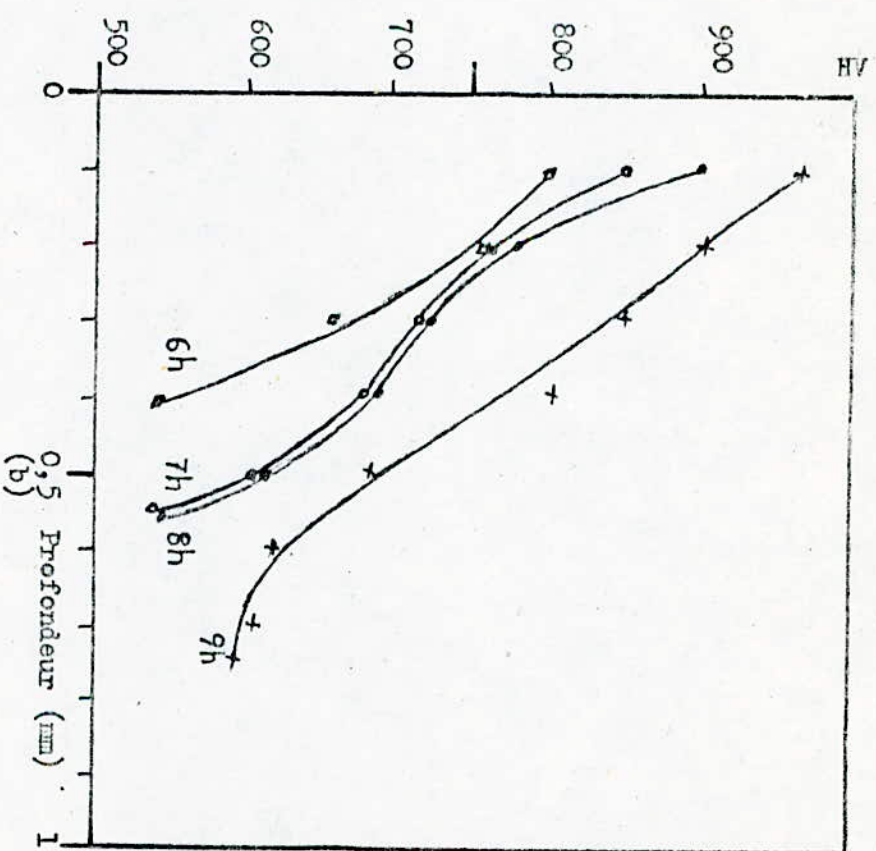
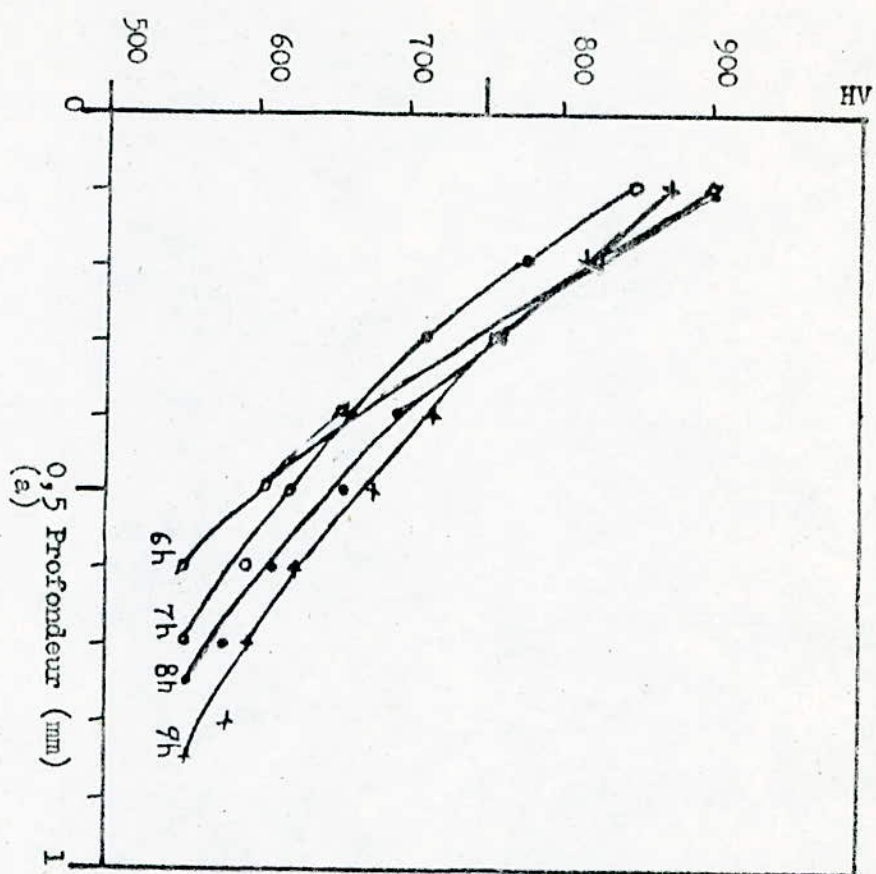


Figure II: Variation de la microdureté en fonction de la profondeur de la couche cimentée. Nuance: 18CD4
 a- Procédé gazeux pour $T = 900^{\circ}\text{C}$.
 b- Procédé par le CARBOSEL pour $T = 870^{\circ}\text{C}$.

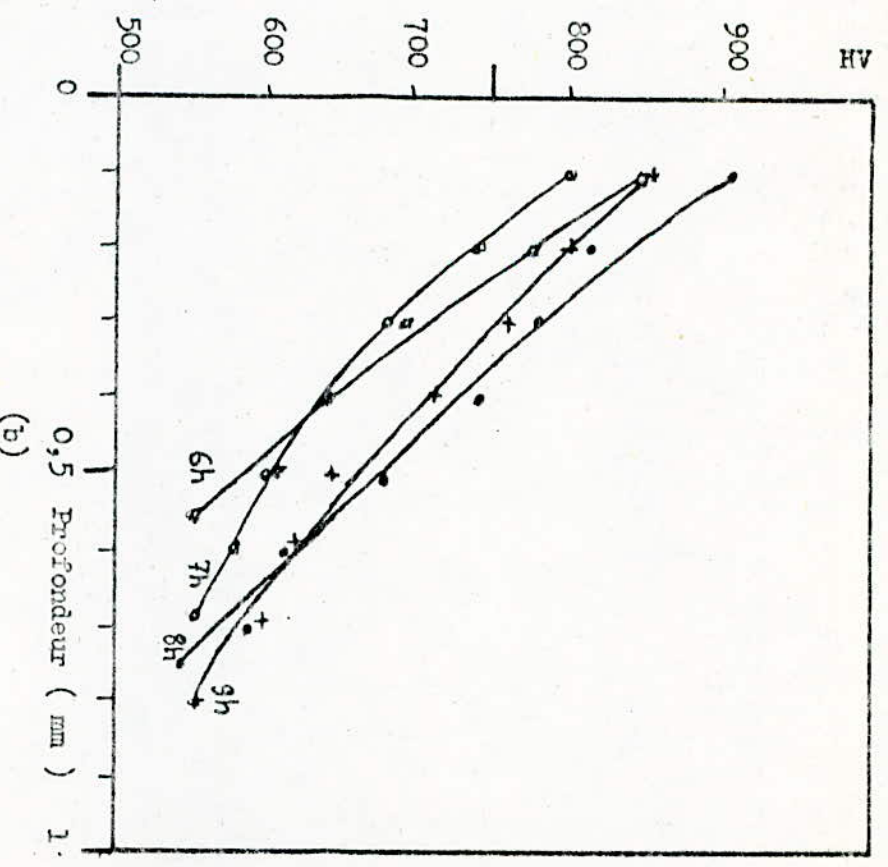
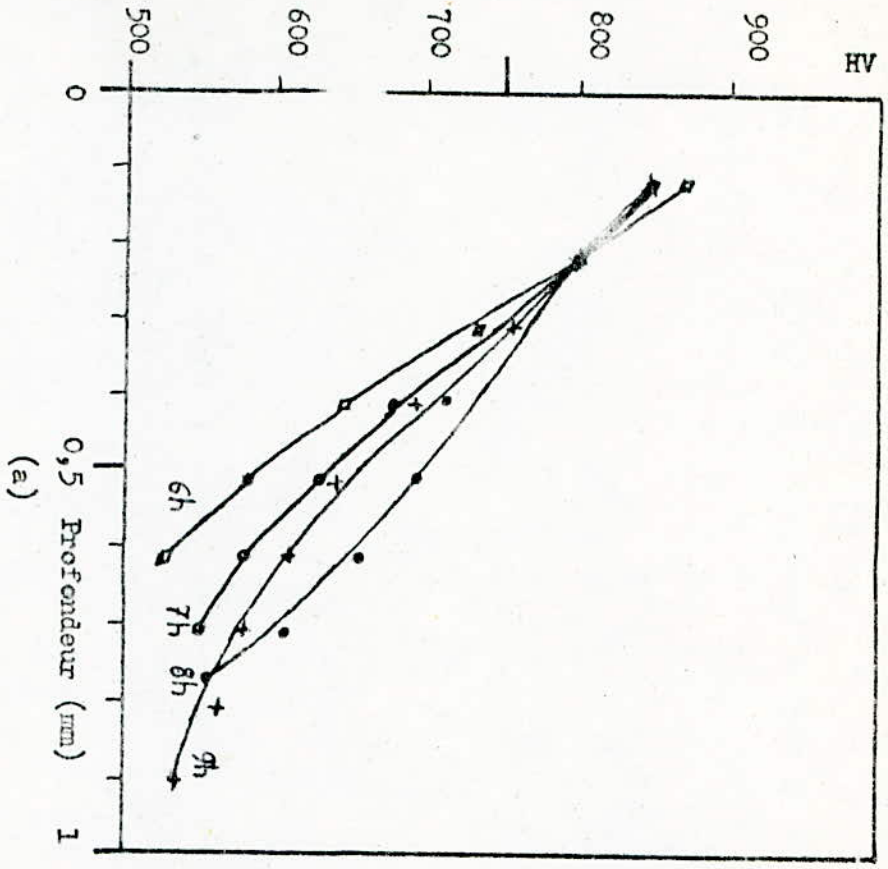


Figure III: Variation de la microdureté en fonction de la profondeur de la couche cimentée pour $T = 920^{\circ}\text{C}$.
 Nuance: 20NC6
 a- Procédé gazeux
 b- Procédé par le CARBOSEIL.

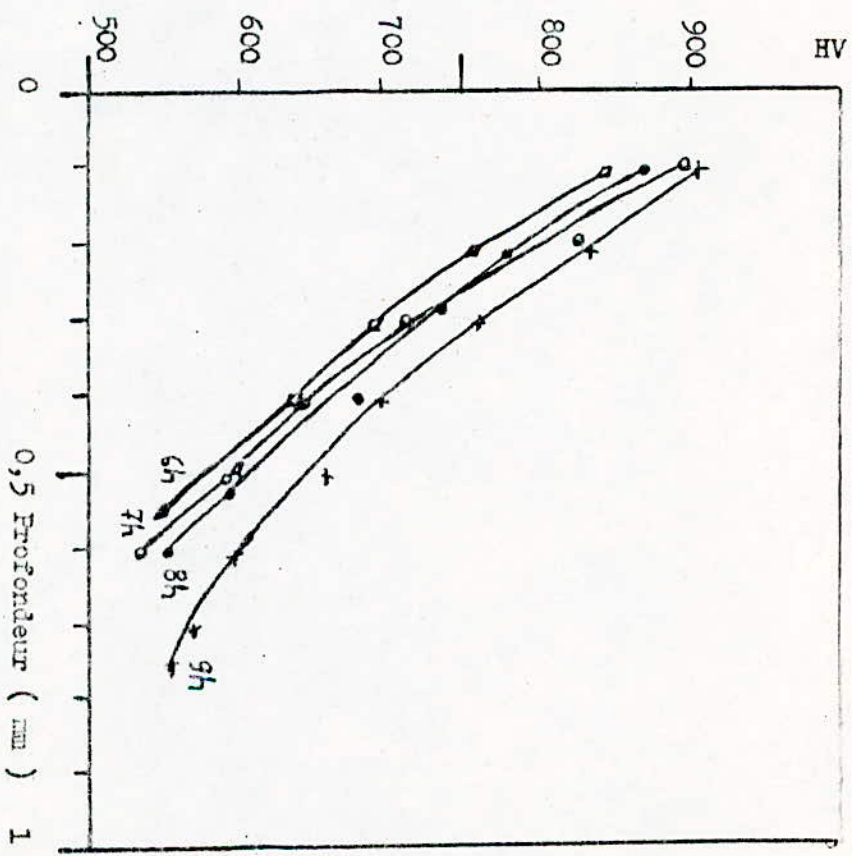
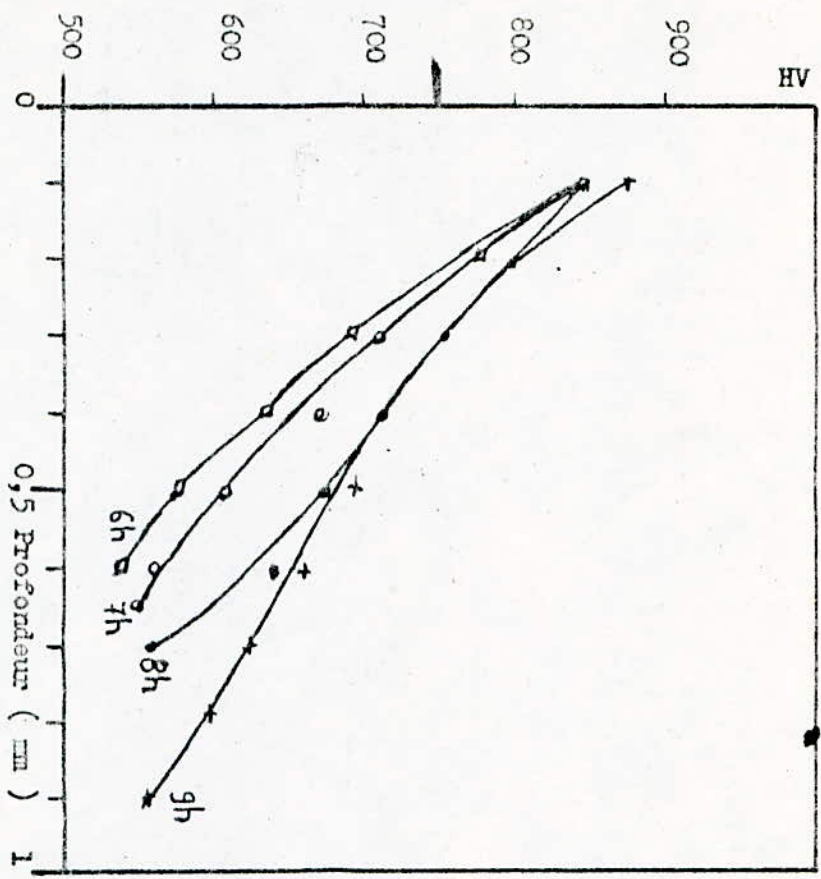


Figure IV: Variation de la microdureté en fonction de la profondeur de la couche cimentée. Nuance: 20MC6.
 a- Procédé gazeux à $T = 900^{\circ}\text{C}$
 b- Procédé par le CARBOSEL. à $T = 870^{\circ}\text{C}$

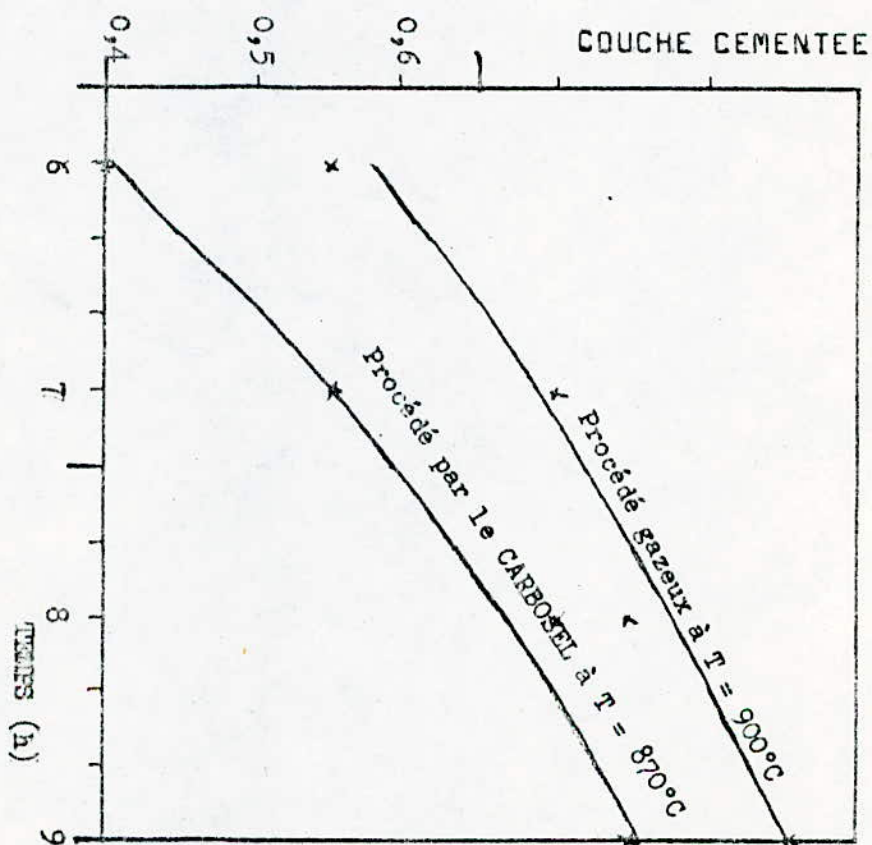
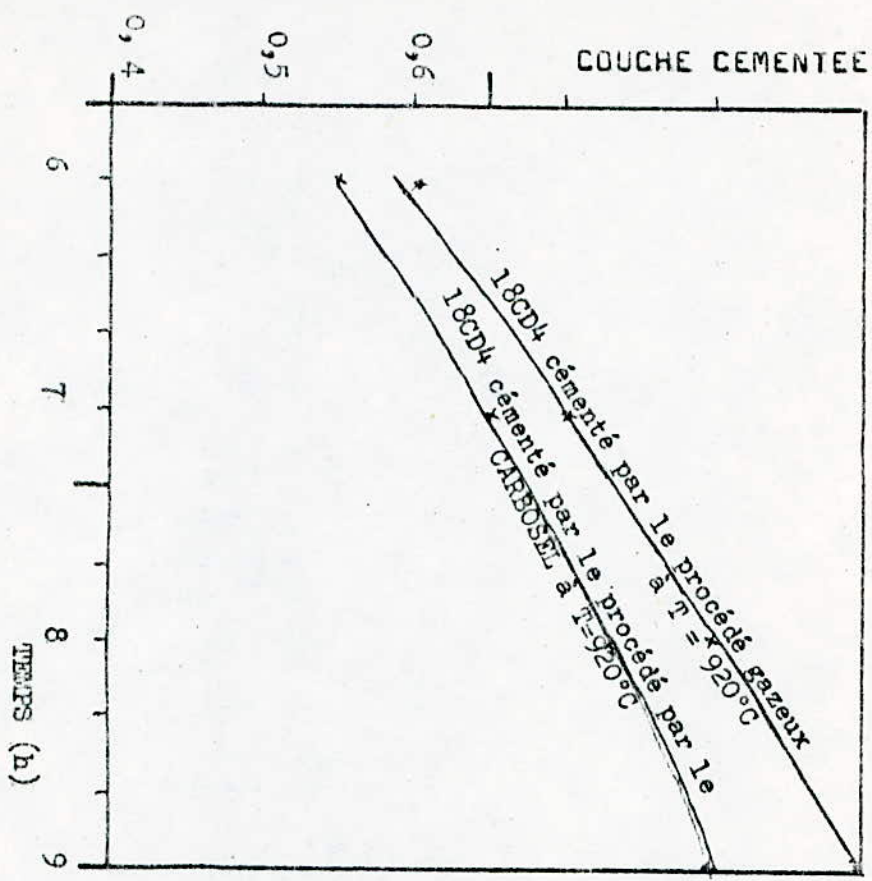


Figure V: Variation de la couche cimentée en fonction du temps de maintien. Nuance: 18CD4.

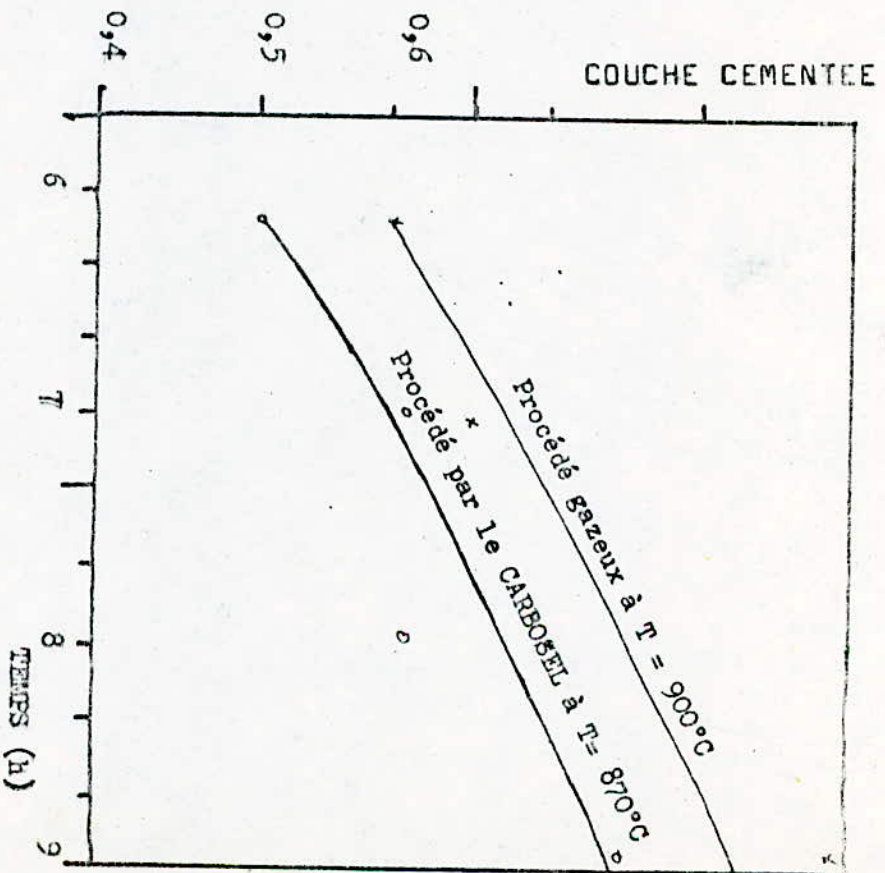
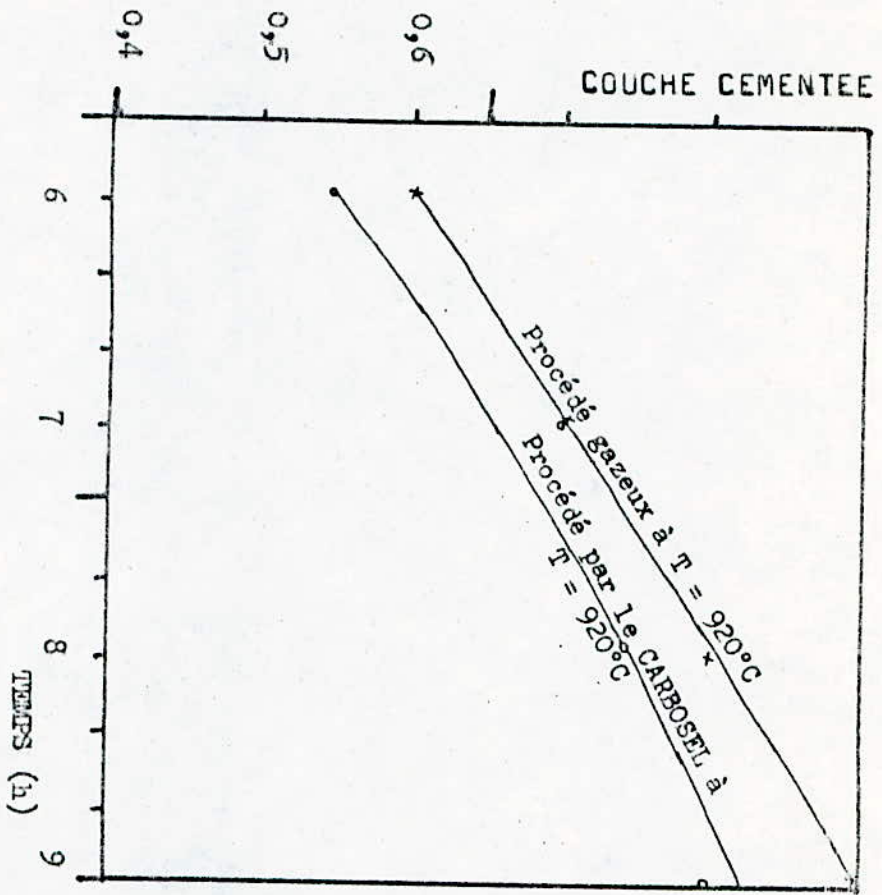
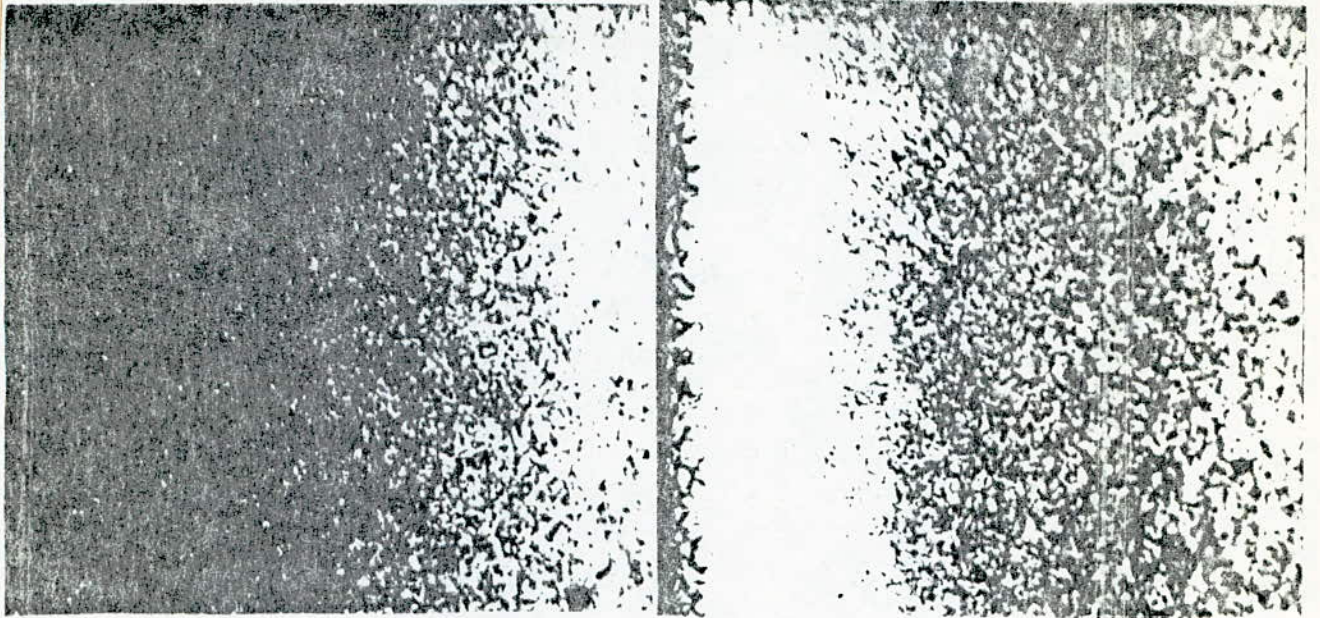
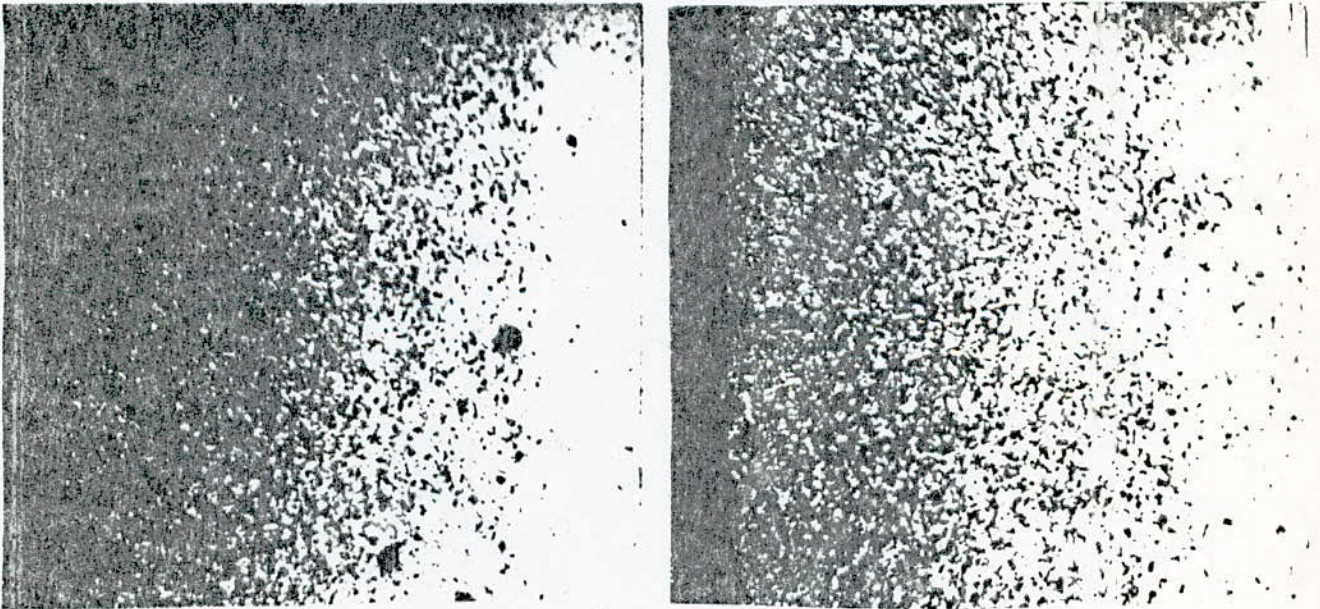


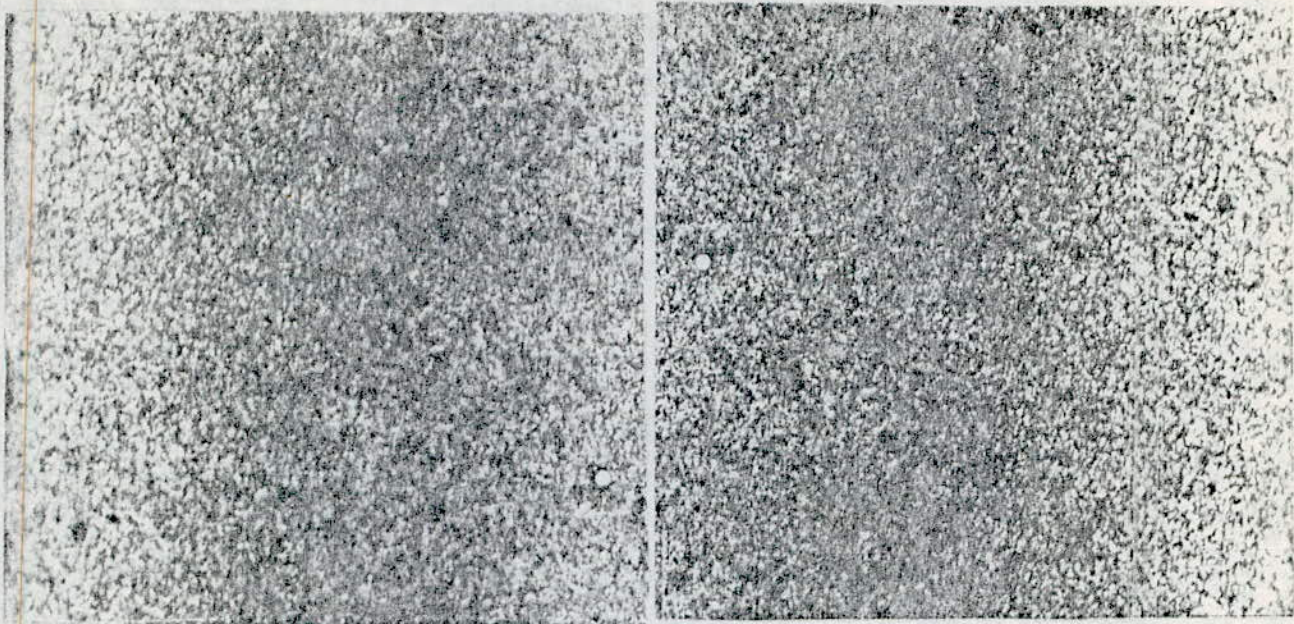
Figure VI: Variation de l'épaisseur de la couche cimentée (mm) en fonction du temps de maintien. Nuance 20NC6.



-a- -b-
Micrographie I: Cémentation à T - 920°C
pendant 9 heures. Nuance: 18CD4.
a- gazeuse
b- par le CARBOSEL



-a- -b-
Micrographie II: Cémentation à T - 920°C
pendant 6 heures. Nuance: 18CD4.
a- gazeuse
b- par le CARBOSEL



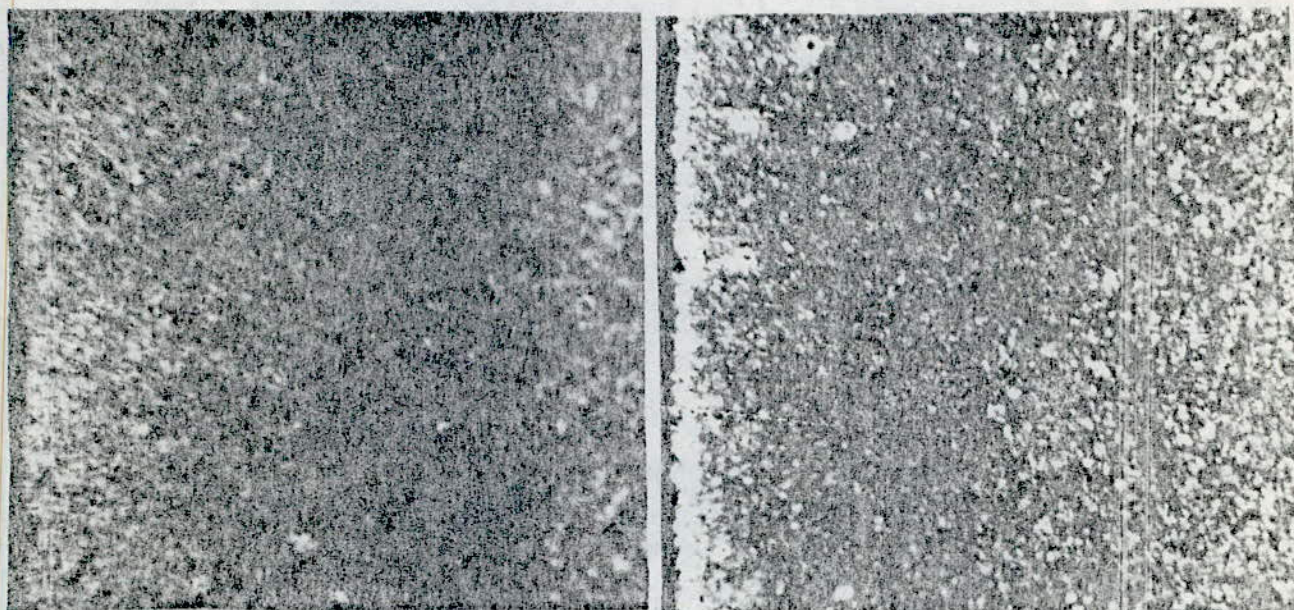
-a-

-b-

Micrographie III: Cémentation pendant
9 heures. Nuance: 18CD4.

a- gazeuse à T - 900°C

b- par le CARBOSEL à T - 870°C



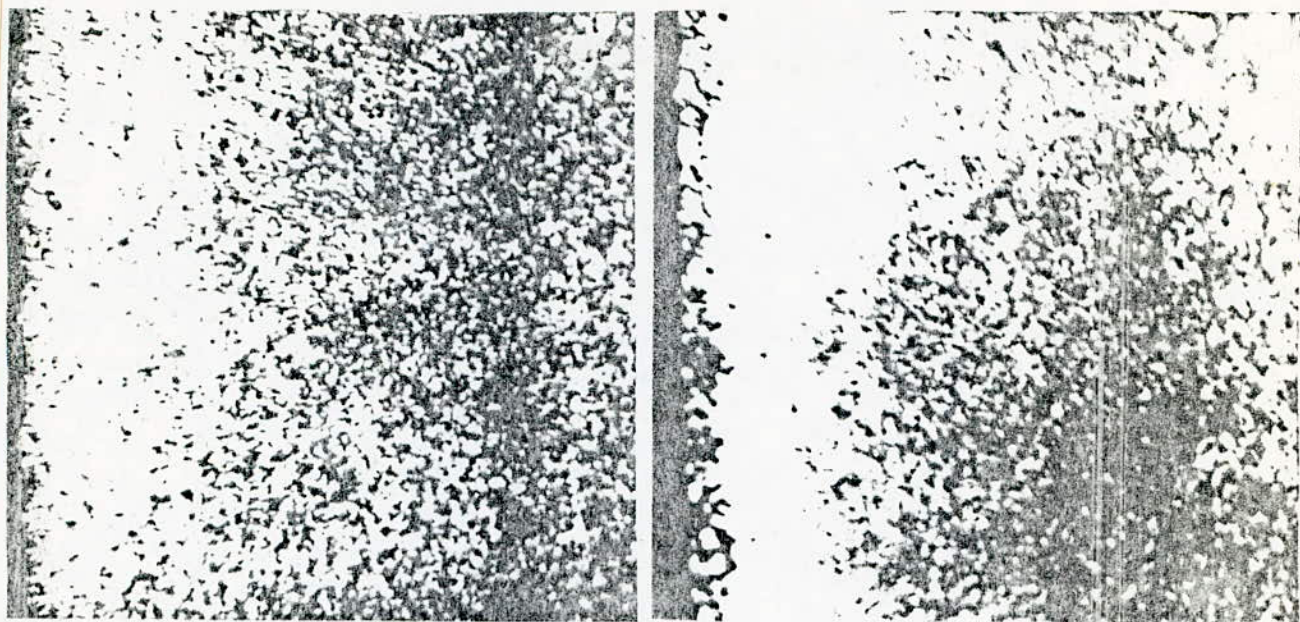
-a-

-b-

Micrographie IV: Cémentation pendant
6 heures. Nuance: 18CD4.

a- gazeuse à T - 900°C

b- par le CARBOSEL à T - 870°C.



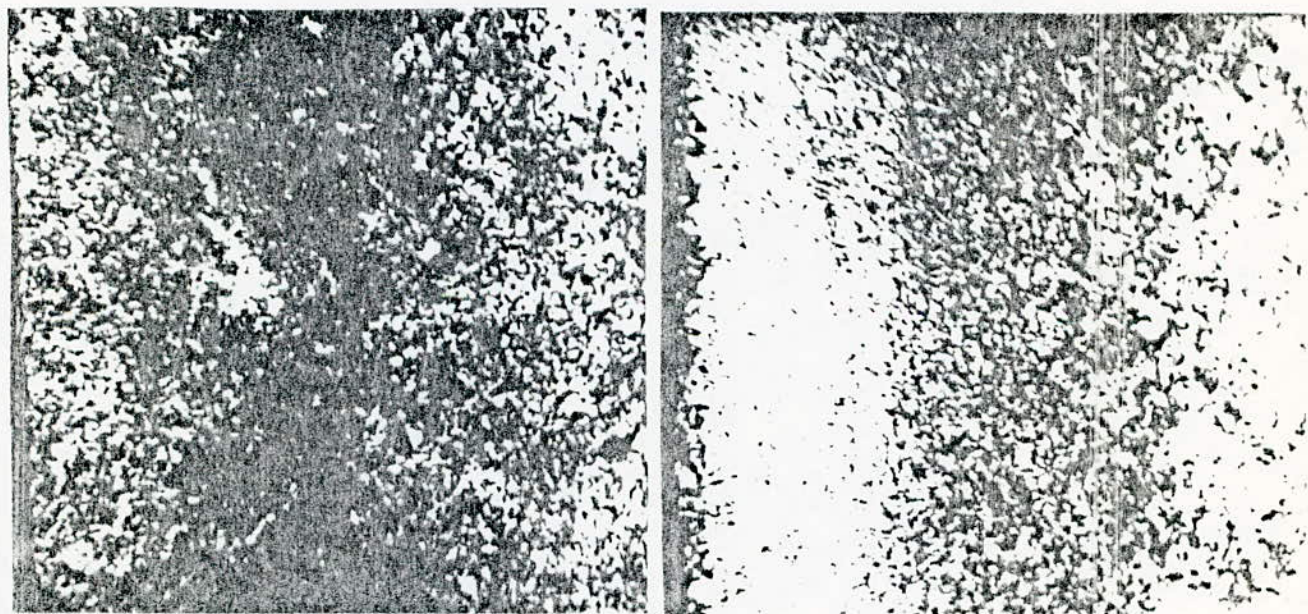
-a-

-b-

Micrographie V: Cémentation à T - 920°C
pendant 9 heures. Nuance: 20NC6.

a- gazeuse

b- par le CARBOSEL



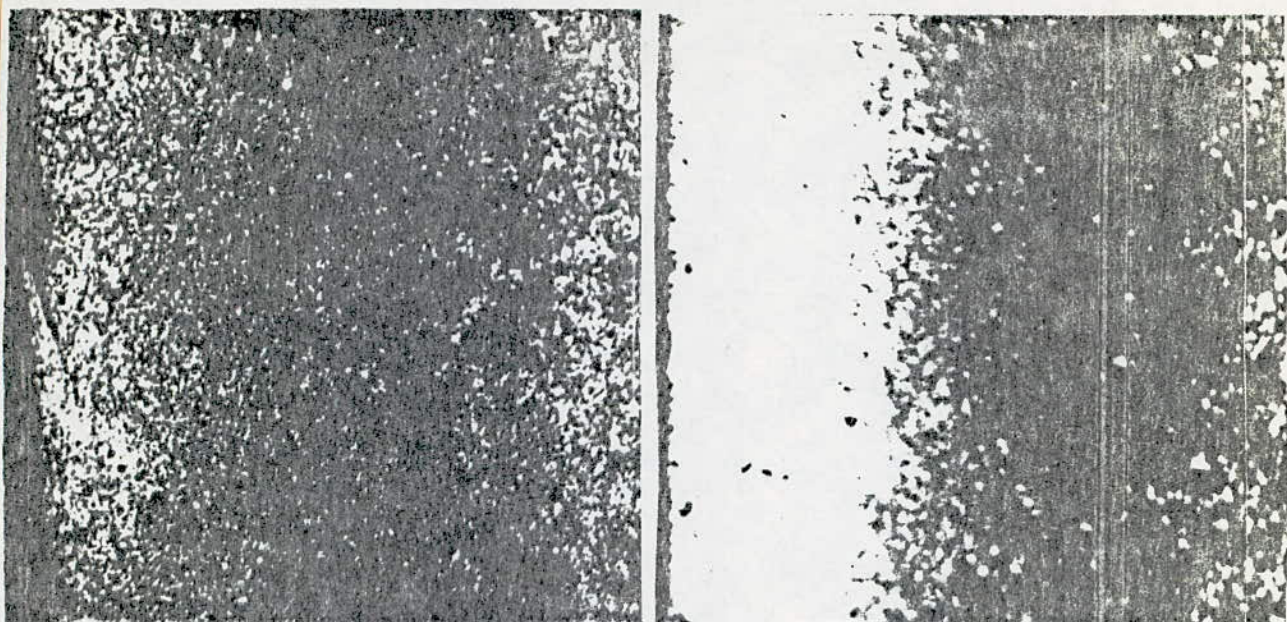
-a-

-b-

Micrographie VI: Cémentation à T - 920°C
pendant 6 heures. Nuance: 20NC6.

a- gazeuse

b- par le CARBOSEL



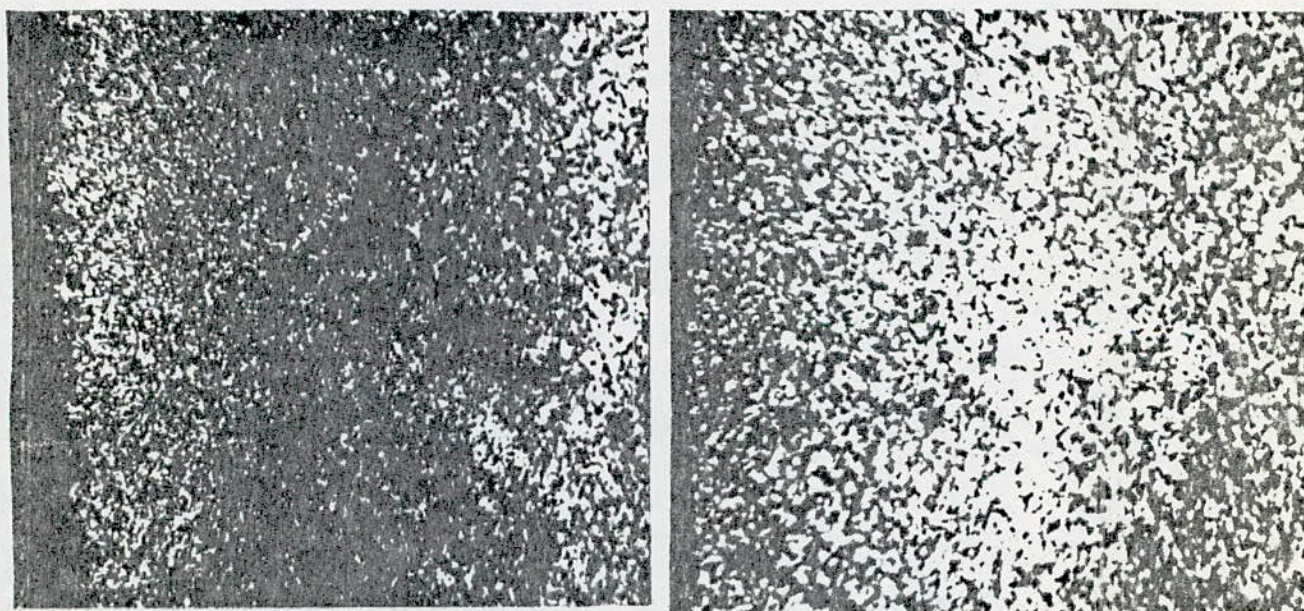
-a-

-b-

Micrographie VII: Cémentation pendant
9 heures . Nuance: 20NC6.

a- gazeuse à T - 900°C

b- par le CARBOSEL à T - 870°C



-a-

-b-

Micrographie VIII: Cémentation pendant
6 heures . Nuance: 20NC6.

a- gazeuse à T - 900°C

b- par le CARBOSEL à T - 870°C

Conclusion

V- CONCLUSION :

Le but de notre travail était de comparer entre deux procédés de cémentation, utilisés à la SNVI/CVI, du point de vue qualité des pièces cémentées.

On a constaté que :

- la dureté de la couche cémentée est la même (de l'ordre de 61HRc) pour les deux procédés.

- la microdureté du bord de la couche cémentée est légèrement supérieure dans le cas de la cémentation par le CARBOSEL.

- la couche cémentée est assez homogène (970 à 550HV pour les deux procédés).

- la profondeur de la couche cémentée pour une température et temps de maintien donnés, est plus grande dans le cas de la cémentation gazeuse.

- l'observation micrographique a révélé une oxydation intergranulaire pour les témoins cémentés par le CARBOSEL.

Une étude économique en parallèle, faite par les techniciens du CVI, a montré que le coût de la cémentation gazeuse revient à 4,264 DA la minute et 3,247 DA la minute pour la cémentation par le CARBOSEL.

Enfin, il est très intéressant d'étendre l'étude pour d'autres nuances d'aciers afin d'interpréter cette oxydation intergranulaire qui apparaît lors de la cémentation par le CARBOSEL.

Bibliographie

-BIBLIOGRAPHIE-

- 1- Diffusion dans les solides; t I & II. Y.ADDA & J.PHILIBERT.
- 2- Etude comparative de traitement thermochimique de cyanuration et de CARBOSEL; (Projet de fin d'études- 1987).BELAIFA
- 3- Précis de métallographie appliquée.Troisième édition.André ROOS & Bernard MILLET.
- 4- Les atmosphères contrôlées dans le traitement thermique des métaux. IVOR JEKINS.
- 5- Etude de la cémentation industrielle; (Projet de fin d'étude-1975) M. BENCHEIKH.
- 6- Etude de l'influence des additions du Nickel, du chrome et du molybdène sur les températures de transformations de revenu des aciers faiblement alliés;(Projet de fin d'études- 1989) M. KHERIF & D. ABDELLAOUI.
- 7- Ferrous materials and metallurgy. JIS. Hand book. " Japan Iron and Steel Exporters Association ".
- 8-Influence des éléments d'addition sur la cémentation des aciers; (Projet de fin d'études- 1989). B.DJERDJER & A.KARA

9- Métallographie et traitement thermique des métaux. Quatrième édition-1986. I. LAKHTINE.

10- Métallurgie générale. Deuxième édition- 1984. J. BERNARD
A. MICHEL. J.PHILIBERT & J. TALBOT.

11- Métallurgie physique. Alger- 1975. TUDOR IOAN.

12- Métaux ferreux. Fascicule 9. J. LIGNON & R.MAILLEBUAU.

13- La pratique des traitements thermiques des métaux industriels. D. DE SMET.

14- Précis de métallurgie- Elaboration, structures-propriétés et normalisation. Quatrième édition. J. BARRALIS & G. MAEDER.

15- Traitement thermique- Revue, N° 213- Octobre 1987. " Les aciers pour cémentation"

16- Technique de l'ingénieur- Métallurgie- M 11826- "Cémentation des métaux"- M 1184- "Pratique de cémentation"

17- Technologie professionnelle générale pour les mécaniciens t II. A. CAMPA.

