

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

10/95

وزارة التربية الوطنية

MINISTRE DE L'EDUCATION NATIONALE

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات  
BIBLIOTHEQUE — المكتبة  
Ecole Nationale Polytechnique

DEPARTEMENT

*Mécatronique*

## PROJET DE FIN D'ETUDES

### SUJET

*Expertise d'une serrure de fixation  
d'un reacteur d'avion*

Proposé par :

*ERMA (Alger)*

Etudié par :

*KACI EMBAREK*

Dirigé par :

*E. SALHI*

PROMOTION

*Septembre 1995*

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التربية الوطنية

MINISTRE DE L'EDUCATION NATIONALE

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT *Métallurgie*

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات  
BIBLIOTHEQUE — المكتبة  
Ecole Nationale Polytechnique

## PROJET DE FIN D'ETUDES

### SUJET

*Expertise d'une serrure de fixation  
d'un reacteur d'avion.*

Proposé par :  
E R M A (Alger)

Etudié par :  
KACI EMBAREK

Dirigé par :  
E. SALHI

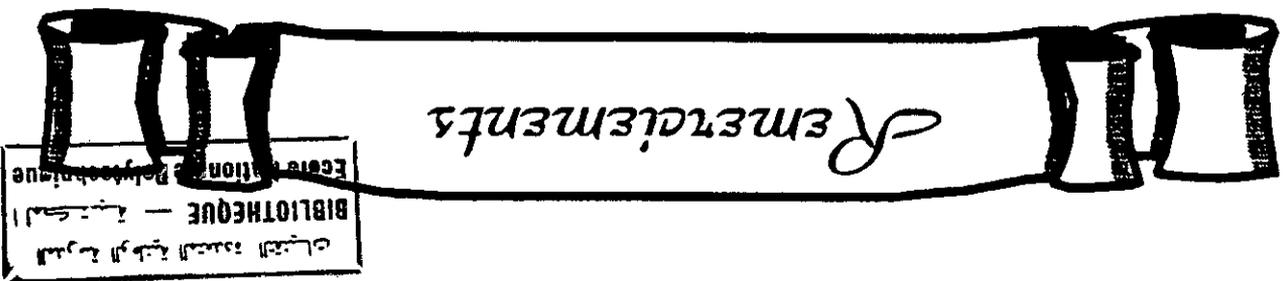
PROMOTION  
Septembre 1995

المدرسة الوطنية المتعددة التخصصات  
BIBLIOTHEQUE — المكتبة  
Ecole Nationale Polytechnique

## DEDICACES

Je dédie ce modeste travail :

- A mes très chers parents
- A mes frères et soeurs
- A toute la grande famille KACI.
- Tous mes amis .



Je remercie M<sup>r</sup> Saffi qui était à l'origine de ce travail. Qu'il trouve ici mes vifs

remerciements pour m'avoir orienté et dirigé tout au long de la réalisation de ce

travail. Mes remerciements vont également à tous les enseignants du département

métallurgie : qui ont contribué à ma formation surtout M<sup>r</sup> Kacer pour son

aide et ses multiples conseils.

Ma profonde reconnaissance et mes vifs remerciements vont à M<sup>r</sup> Nait-Ali

Nacer Ex. directeur du laboratoire de métallurgie des poudres (H.C.R.) pour

son aide, sa bravoure, et sa compréhension.

Mes remerciements vont également à M<sup>r</sup> Abid, ainsi que tous le personnel du

laboratoire C.N.D. Rouba. Je profite de cette occasion formelle pour exprimer

ma gratitude à tous les membres du jury qui ont bien voulu accepter de participer à

l'évaluation de ce modeste travail.

Enfin, à tous ceux qui, de près ou de loin m'ont aidé dans ce travail.

## ABREVIATIONS ET SIGLES

NF : Norme française

ACI: Température de palier eutectoïde

$\alpha$  : Ferrite

$\gamma$  : Austénite

M<sub>s</sub> : Début de formation de la martensite

HRC: Dureté de ROCKWELL

Rm : Résistance à la traction

M.O: Microscope optique

M.E.B: Microscope électronique à balayage

# SOMMAIRE

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات  
المكتبة — BIBLIOTHEQUE  
Ecole Nationale Polytechnique

INTRODUCTION:	1
CHAPITRE I: PRESENTATION ET FONCTIONNEMENT DE LA PIECE A EXPERTISER	2
1.1- Dessin de définition de la pièce	2
1.2- Fonctionnement de la pièce	2
CHAPITRE II: TECHNIQUES EXPERIMENTALES	5
2.1- Analyse chimique	5
2.2- Analyse métallographique	5
2.2.1- Présentation des échantillons	5
2.2.1.1- <i>Prélèvement</i>	5
2.2.1.2- <i>Enrobage</i>	6
2.2.1.3- <i>Polissage</i>	6
2.2.1.4- <i>Attaque chimique</i>	6
2.2.2- Observation micrographique	7
2.3- Caractérisation Mécanique	7
2.3.1- Essai de dureté	7
2.4- Cycles thermiques	8
2.4.1- La ferrure: 42 CD4	8
2.4.2- La vis: Z15C18	9
CHAPITRE III: ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE	10
3.1- Caractérisation de l'acier faiblement allié 42 CD4	10
3.1.1- Désignation conventionnelle	10
3.1.1.1- <i>Composition chimique</i>	11
3.1.1.2- <i>Caractéristiques mécaniques</i>	11
3.1.2- Les éléments alliés	11
3.1.2.1- <i>Influence des éléments d'élaboration</i>	12
3.1.2.2- <i>Influence des éléments d'addition</i>	15

3.1.3- Traitements thermiques des aciers _____	16
3.1.3.1- <i>Recuit complet</i> _____	19
3.1.3.2- <i>Traitements thermiques dans la masse</i> _____	19
3.1.4- Résistance en température _____	21
3.2- Caractérisation de l'acier inoxydable _____	21
3.2.1- Effets du chrome _____	21
3.2.2- Diagramme d'équilibre fer-chrome _____	22
3.2.3- Effets des autres éléments d'alliages _____	25
3.2.4- Principales familles d'aciers inoxydables _____	25
3.2.5- Les aciers inoxydables ferritiques _____	27
3.2.5.1- <i>Différentes familles d'aciers inoxydables ferritiques</i> _____	27
3.2.5.2- <i>Evolutions structurales</i> _____	28
3.2.5.3- <i>Caractéristiques mécaniques des aciers ferritiques</i> _____	30
<b>CHAPITRE IV: RESULTATS ET DISCUSSIONS</b> _____	31
4.1- La ferrure: acier faiblement allié 42 CD4 _____	31
4.2- La vis inoxydable ferritique Z15C18 _____	39
<b>CHAPITRE V: GAMME DE FABRICATION DE LA PIECE</b> _____	44
5.1- La ferrure: 42 CD4 _____	44
5.2- Les vis de fixation: Z15C18 _____	46
<b>CONCLUSION</b> _____	47
<b>ANNEXE: ANALYSE CHIMIQUE</b> _____	49

## INTRODUCTION :

Actuellement , le choix d'un matériau, pour réaliser une pièce donnée, fait l'objet d'une sélection de plus en plus sévère ; les matériaux sont employés dans des conditions d'utilisation extrêmes, résultant d'un compromis technico-économique.

Toutefois, le développement technologique impose un choix de matériaux de plus en plus performants possédant des propriétés superficielles et volumiques, parfois même, contradictoires.

Dans cette compétition, l'ingénieur a plus que jamais pour obligation de procéder à une expertise dont le but de connaître les matériaux et leur potentiel. Souvent, l'innovation consiste à remplacer une pièce faite d'un matériau par un autre matériau, en redessinant la pièce pour tirer au mieux parti des possibilités offertes par le changement. Pour cela, l'ingénieur doit comparer et évaluer avec précision les propriétés des matériaux concurrents. Cette décision nécessite la connaissance des propriétés de base des matériaux, et la façon dont elles sont apportées par le procédé de fabrication ; également les techniques de mise en forme, d'assemblage et de finition ; enfin la logique d'un raisonnement sur la base scientifique assure le bon choix.

Dans notre étude expérimentale, nous allons procéder à une expertise d'une pièce mécanique utilisée en aéronautique en l'occurrence une ferrure de fixation d'un réacteur d'un avion MIG 21, ainsi que les boulons de fixation.

La pièce mécanique nous a été fournie gracieusement par l'entreprise de rénovation du matériel aéronautique d'Alger (E.R.M.A.). Les travaux ont été effectués au laboratoire de métallurgie de l'E.N.P.

Ce mémoire comporte cinq chapitres ; dont le premier présente la pièce à expertiser. Les techniques expérimentales sont exposées au deuxième chapitre, le troisième chapitre se suivra d'une étude bibliographique sur la pièce étudiée, après quoi on passe aux résultats et discussions exposés au quatrième chapitre. Enfin le dernier chapitre est réservé à la gamme de fabrication de cette pièce.

## CHAPITRE I

# 1- PRESENTATION ET FONCTIONNEMENT DE LA PIECE A EXPERTISER

### **1.1. Dessin de définition de la pièce :**

(voir planche I et II)

Les lieux de prélèvement pour la « ferrure » sont représentés par les échantillons a,b et c :

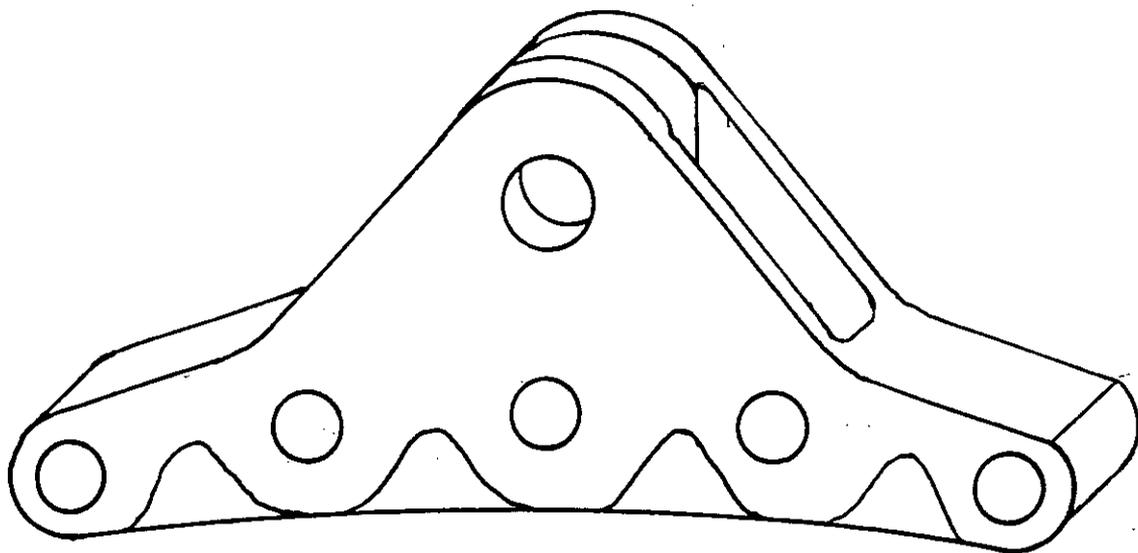
- échantillon a : coupe transversale au niveau de la fixation
- échantillon b : coupe transversale au niveau de la tringle
- échantillon c : vue de la surface de la tringle. Pour les vis de fixation, les lieux de prélèvement sont représentés par les échantillons d,e et f :
- échantillon d : coupe transversale au niveau de la tête de vis
- échantillon e : coupe transversale au niveau de la tige non fileté de la vis
- échantillon f : coupe transversale au niveau de la tige fileté de la vis .

### **1.2. Fonctionnement de la pièce :**

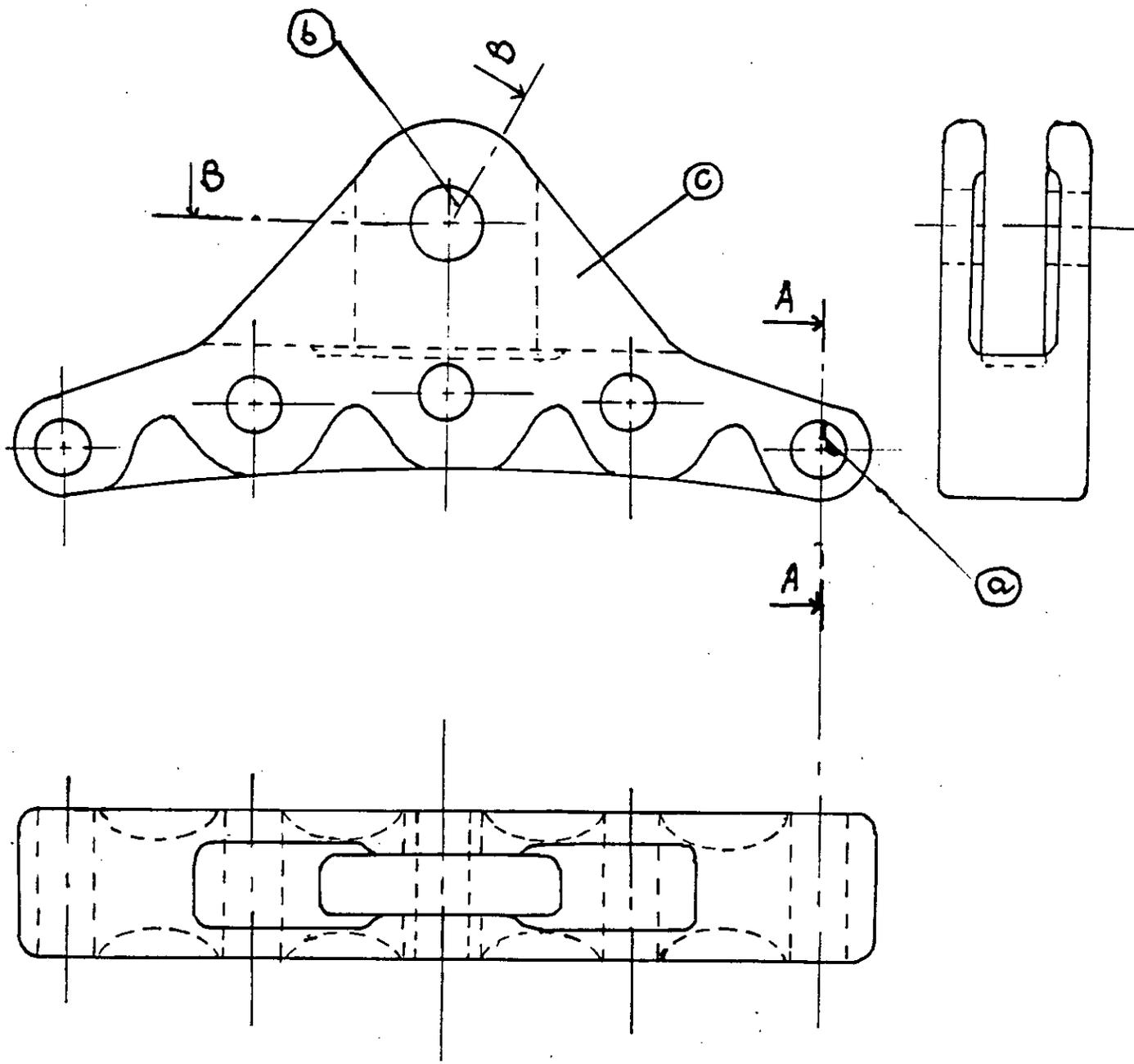
La pièce à expertiser est une ferrure de la fixation d'un réacteur d'avion MIG 21. La fixation de cette ferrure est assurée par des vis qui font eux aussi l'objet de notre expertise.

Cette pièce travaille entre la température ambiante et une température de 300°C, dans des conditions atmosphériques. Les contraintes subies par cette pièce sont :

- Des contraintes traction-compression (vibrations) , pour la ferrure
- Des contraintes de cisaillement pour les vis de fixation .



Rep	Nb	DESIGNATION	MATIERE	OBSERVATION
		FERRURE DE FIXATION		KACI
	ECHELLE : 1			EMBAREK
	25-09-1995			PI: 1
ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE				



1	5	Vis DE FIXATION	ACIER INOX.	
Rep	Nb	DESIGNATION	MATIERE	OBSERVATION
		FERRURE DE FIXATION -		KACI
ECHELLE : 1				EMBAREK
25-09-1995				PI : 2
ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE.				

## CHAPITRE II

### 2- TECHNIQUES EXPERIMENTALES

## 2 - 1 - ANALYSE CHIMIQUE

La pièce, sujette de notre expertise, se compose de deux parties : La ferrure et ses vis de fixation.

Cette pièce nous a été dispensée gracieusement par l'Entreprise de rénovation du matériel aéronautique d'Alger (E.R.M.A).

L'analyse spectrochimique révèle la composition suivante :

Eléments	Fe	C	Mn	Si	Cr	Mo
Composition chimique (% at)	97.7	0.41	0.59	0.36	0.82	0.12

*Tableau 1 : Analyse spectrochimique de la ferrure*

Eléments	Fe	C	Mn	Si	Cr
composition chimique (% at)	80.24	0.15	0.51	0.59	18.51

*Tableau 2 : Analyse spectrochimique de la vis*

Cette analyse a été faite au laboratoire de contrôle de C.V.I (ROUIBA). Les méthodes utilisées dépendent des éléments à analyser :

- Analyse volumétrique pour Cr, Mo
- Analyse gravimétrique pour S;
- Analyse conductivimétrique pour C.
- Analyse spectrophotométrique pour Mn.

Les méthodes d'analyse sont exposées en annexe (ANNEXE I).

D'après ces analyses spectrochimiques, on peut conclure que :

- La ferrure est un acier faiblement allié au chrome-molybdène, de nuance 42 CD4.
- Les vis de fixation sont en acier inoxydable ferritique, de nuance Z15C18.

## 2-2 - ANALYSE METALLOGRAPHIQUE :

### 2 - 2 - 1 - PREPARATION DES ECHANTILLONS :

#### 2 - 2 - 1 - 1 - PRELEVEMENT :

Pour procéder à une bonne expertise, on doit caractériser soigneusement le lieu et le sens du prélèvement d'échantillonnage, qui est un facteur important. Pour cela, on effectue plusieurs prélèvements dans chaque partie de la pièce. Le prélèvement des échantillons s'est effectué à l'aide

d'une scie à métaux, suivis d'une meule mécanique pour dresser les surfaces usinées.

#### **2 - 2 - 1 - 2 - ENROBAGE :**

On a utilisé l'enrobage à chaud à l'aide d'une presse hydraulique, sous une pression de 4 bars, avec chauffage et refroidissement intégrés. La matière d'enrobage est de la Bakélite noire. La température de chauffage atteinte est de 100 °C. Enfin la durée d'enrobage s'est déroulée en 15 minutes.

#### **2 - 2 - 1 - 3 - POLISSAGE :**

Les échantillons ont été polis en utilisant successivement les papiers : 120, 320, 600, 1000 et 1200, sous lubrification d'eau. La finition sur un feutre avec une suspension d'alumine permet d'obtenir des surfaces parfaitement polies.

#### **2 - 2 - 1 - 4 - ATTAQUE CHIMIQUE :**

- Pour l'acier faiblement allié, le réactif d'attaque utilisé est le nital à 4 % de  $\text{HN03}$  + alcool méthylique
- Pour l'acier inoxydable, le réactif d'attaque utilisé est l'acide nitrique ( $\text{HNO}_3$ ) pur à 60° C.

Durée d'attaque :

- 5 s pour l'acier faiblement allié.
- 8 s pour l'acier inoxydable.

## **2-2-2 - OBSERVATION MICROGRAPHIQUE [1]:**

Le microscope optique constitue l'instrument de base de tout laboratoire métallographique. En effet, comme les propriétés mécaniques dépendent de la microstructure, l'étude de cette dernière est absolument indispensable, et les grossissements que permet d'atteindre le microscope optique sont, en général, suffisants pour les études de ce type. Cependant, dans les cas de structures particulièrement fines, il convient d'avoir recours à la microscopie électronique.

Dans notre étude, nous avons utilisé le microscope optique de type zeiss ainsi que le microscope électronique à balayage. Cette étape a été ponctuée par une prise de photos.

## **2 - 3 - CARACTERISATION MECANIQUE :**

### **2 - 3 - 1 - ESSAI DE DURETE [2]**

Dans nos essais de dureté, on a choisi la dureté Rockwell utilisée particulièrement pour les aciers étudiés :

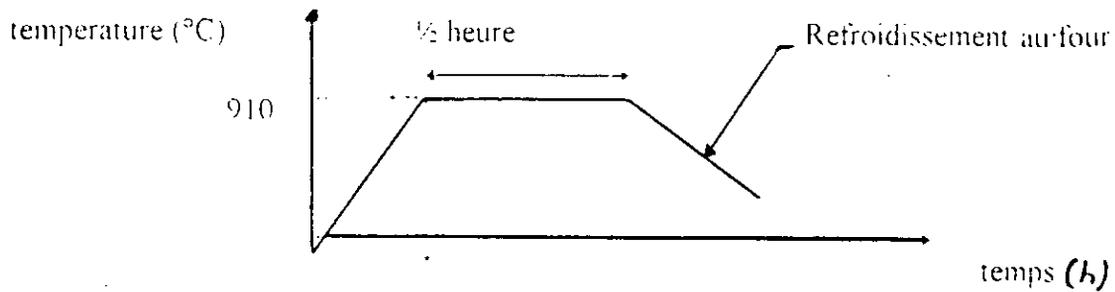
- L'essai Rockwell consiste à mesurer l'accroissement rémanent de profondeur de pénétration  
$$HRC = 100 - e_1 \quad \text{avec } e_1 = e / 0.002 \quad (\text{mm})$$
- Nos essais de dureté ont été effectués sur un duromètre de marque « LECO-TR-240 » (labo de métallurgie ENP).
  - charge : 150 kg f
  - Pénétrateur en diamant de forme conique

## 2.4. CYCLES THERMIQUES

### 2.4.1. LA FERRURE : 42CD4

Recuit complet : Il s'effectue de la manière suivante :

Un chauffage jusqu'à 910 °C, ensuite un maintien au four d'environ une demie heure et après un refroidissement au four ( figure 1 )

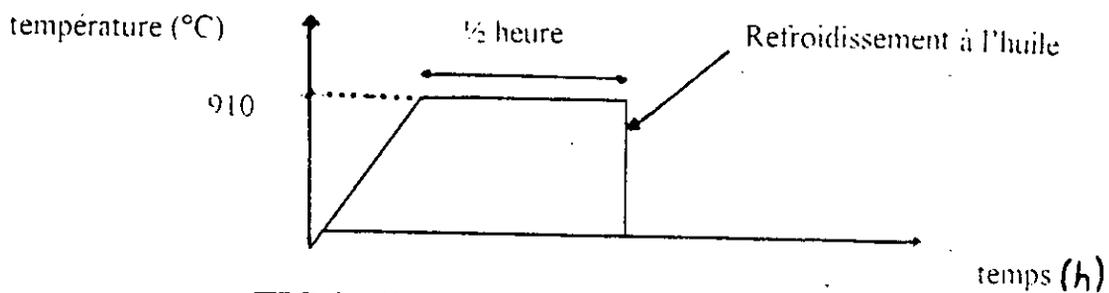


**FIG.1 :** Recuit complet

Trempe

Elle s'obtient comme suite:

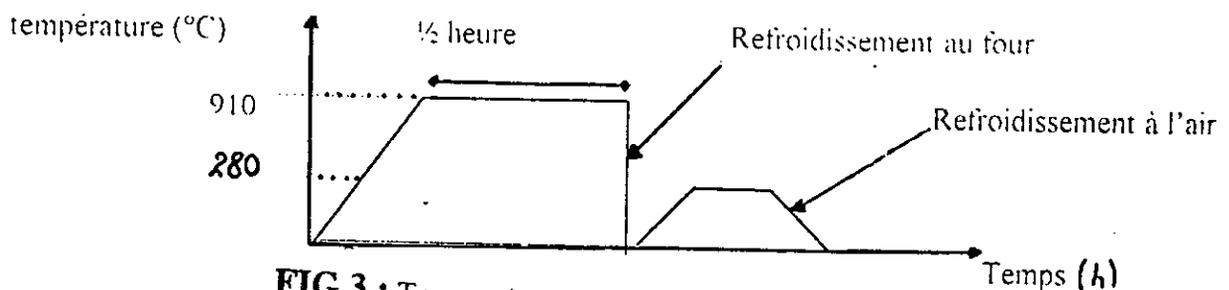
Un chauffage jusqu'à 910 °C suivie d'un maintien d'une demie heure et après ça on refroidit à l'huile ( figure 2 )



**FIG.2 :** Trempe

Trempe + revenu 280°C

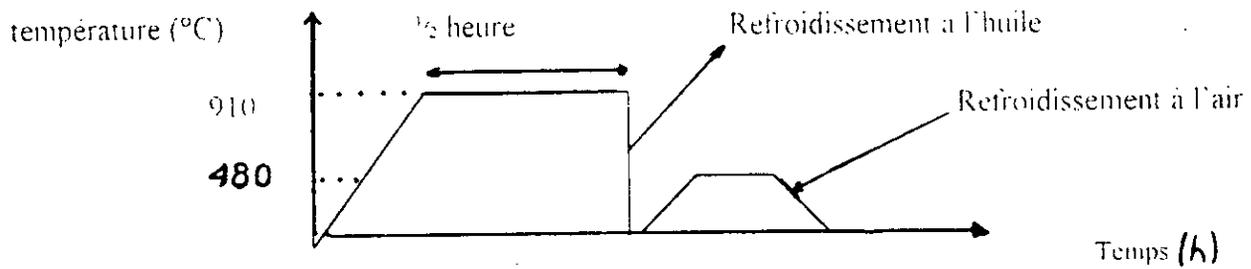
Après la trempe, on effectue un chauffage jusqu'à 280 °C suivie d'un maintien d'une demie heure puis refroidissement à l'air ( figure 3 )



**FIG.3 :** Trempe + revenu 280°C

Trempe + revenu  $480^{\circ}\text{C}$  :

Après la trempe, on effectue un chauffage jusqu'à  $480^{\circ}\text{C}$  suivie d'un maintien d'une demie heure puis refroidissement à l'air ( figure )



**FIG.4 :** Trempe + revenu  $480^{\circ}\text{C}$

#### 2.4.2 LA VIS : Z15C18

Recuit complet :

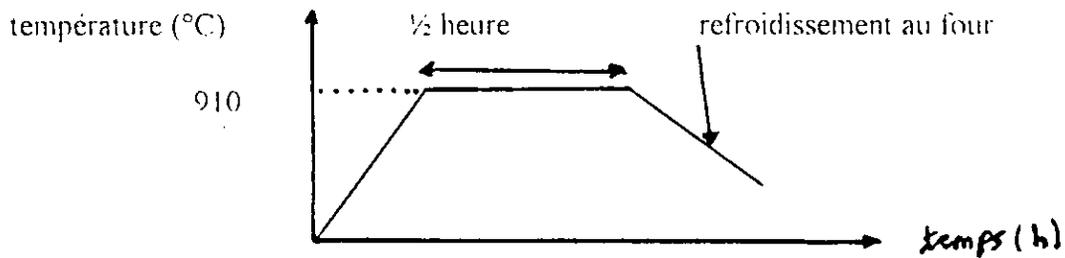


fig.5 : Recuit complet

Trempe :

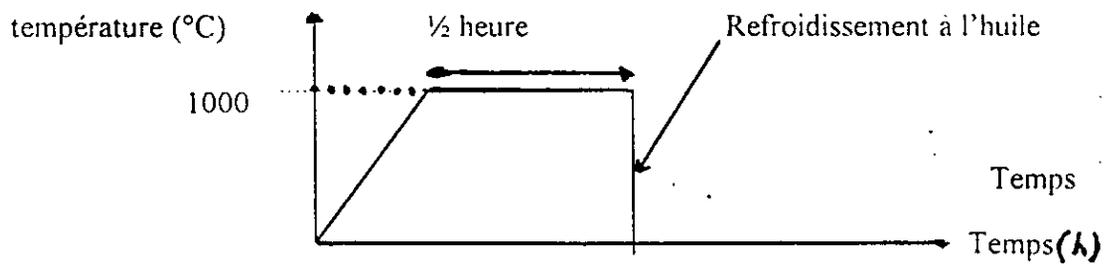


fig.6 : Trempe

## CHAPITRE III

### 3 . ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

### **3-1 - CARACTERISATION DE L'ACIER FAIBLEMENT ALLIE : 42CD4**

La présence des éléments chrome et molybdène, même en faible quantité, assure à l'acier hypoeutectoïde des propriétés remarquables de ténacité, de résistance à chaud et à la corrosion, de ductilité, d'usinabilité, de soudage...etc. Grâce à ces propriétés, les aciers au chrome-molybdène sont utilisés dans un domaine très étendu de l'industrie mécanique : chaque fois que les pièces sont appelées à supporter de fortes sollicitations mécaniques et thermiques faisant appel à des résistances à l'usure et à chaud élevées.

#### **3-1-1 - DESIGNATION CONVENTIONNELLE :**

L'acier 42CD4 fait partie de la famille des aciers faiblement alliés au chrome-molybdène. Selon les normes Françaises AFNOR NF A35-351, Allemande DIN 17200 et Américaine SAE AISI.

La somme totale des taux de chrome et de molybdène ne doit pas dépasser 5%. Les nuances apparentées sont :

- 40CD4, 45CD4 et 42CDV4 pour l'acier 42CD4.

Cet acier est classé comme un acier de construction à traitement thermique, il est trempant ordinaire et a une résistance à chaud élevée.[-3.]

### 3-1-1-1 - COMPOSITION CHIMIQUE :

La composition chimique visée se présente de la manière suivante :

% C : 0,42            % Cr : 1,00            % Mo : 0,20

Les fourchettes retenues par les normes sont présentées dans le tableau 3 suivant : [4]

Composition Norme	C (%)	Mn (%)	Si (%)	Cr (%)	Mo (%)
AFNOR NF A35-551 42CD4	0.39-0.45	0.60-0.90-	0.10-0.40	0.85-1.15	0.15-0.30
DIN 17200 42CrMo4	0.31-0.45	0.50-0.80	0.15-0.40	0.90-1.20	0.15-0.30
SAE AISI 4142	0.40-0.45	0.70-0.90	0.20-0.35	0.80-1.00	0.15-0.25

Tableau 3 : Composition chimique de l'acier 42CD4 selon différentes normes.

### 3-1-1-2 CARACTERISTIQUES MECANIQUES :

Les caractéristiques mécaniques minimales que doit vérifier cet acier à l'état recuit et revenu sont présentées dans le tableau 4 suivant : [2]

Caractéristique	Re 0.2 (daN/mm <sup>2</sup> )	Rm (daN/mm <sup>2</sup> )	Dureté HB
Etat			
Recuit 850°C	50	77	<b>220</b>
Trempe à l'huile 840°C + revenu 200°C	150	190	<b>500</b>
Trempe à l'huile 840°C + revenu 480°C	100	115	<b>350</b>

Tableau 4 : Caractéristiques mécaniques minimales de l'acier 42CD4.

Les caractéristiques mécaniques désignées sont :

Re<sub>0,2</sub> : limite élastique conventionnelle à 0,2 % en daN/mm<sup>2</sup>

R<sub>m</sub> : résistance à la rupture en daN/mm<sup>2</sup>.

### 3-1-2 LES ELEMENTS ALLIES :[5-6]

Les éléments présents dans l'acier sont : le carbone, le manganèse, le silicium, le chrome et le molybdène. Seuls les deux derniers sont considérés comme éléments alliés. Les éléments C, Mn et Si sont obtenus lors de l'élaboration de l'alliage de base après un ajustement convenable de la

composition. Avant d'étudier l'influence des éléments Cr et Mo, nous jugeons utile d'étudier les effets des éléments d'élaboration.

### 3-1-2-1 INFLUENCE DES ELEMENTS D'ELABORATION :

- carbone

Cet élément est présent dans les aciers sous deux formes :

En solution solide d'insertion dans la ferrite, dans l'austénite, dans la bainite ou dans la martensite. La solubilité maximale dans chaque phase dépend de la température et des autres éléments présents. La dureté des différentes phases est accrue par le carbone.

Sous forme de carbure : la cémentite  $Fe_3C$  de structure orthorhombique et contenant 6,67 % C. Ce carbure possède une dureté élevée correspondant à une fragilité importante et il se présente dans l'acier sous forme de lamelles minces dans la perlite, de plaquettes dans la bainite et sous forme de particules sphériques dans une matrice ferritique. Cette dernière forme peut être obtenue soit par recuit de globulisation d'une structure ferrito-perlitique, soit par revenu à haute température de la martensite.

Lorsque le taux de carbone augmente, la proportion de la perlite augmente, ce qui entraîne des caractéristiques de résistance ( $R_m$ ,  $R_e$ ) élevées et une ductilité plus faible.

- manganèse

Le manganèse est un élément gammagène et carburigène, il élargit le domaine de stabilité de l'austénite par l'abaissement de la température  $A_3$  (transformation  $\gamma \leftrightarrow \alpha$ ) et le relèvement de la température  $A_4$  (transformation  $\delta \leftrightarrow \gamma$ ), (fig. 7). Le manganèse est soluble dans l'austénite en toute proportion, il se dissout partiellement dans la ferrite en provoquant son durcissement (fig.8). Le pouvoir carburigène du manganèse est faible mais suffisant pour stabiliser la cémentite et contrecarrer l'effet graphitisant du silicium. Le coefficient de partage du Mn dans la ferrite et le carbure est moyen. La présence de cet élément agit sur les conditions de la transformation perlitique, il abaisse la température  $A_{c1}$  et la composition eutectoïde (fig.9).

- silicium :

Le silicium est un élément alphagène et non carburigène, il rétrécit le domaine austénitique par le relèvement de la température  $A_3$  et l'abaissement de la température  $A_4$  (fig.10).

La solubilité du silicium dans la cémentite est pratiquement nulle, il se retrouve totalement dans la ferrite qui subit un durcissement très important et une chute notable de sa ductilité (fig.8).

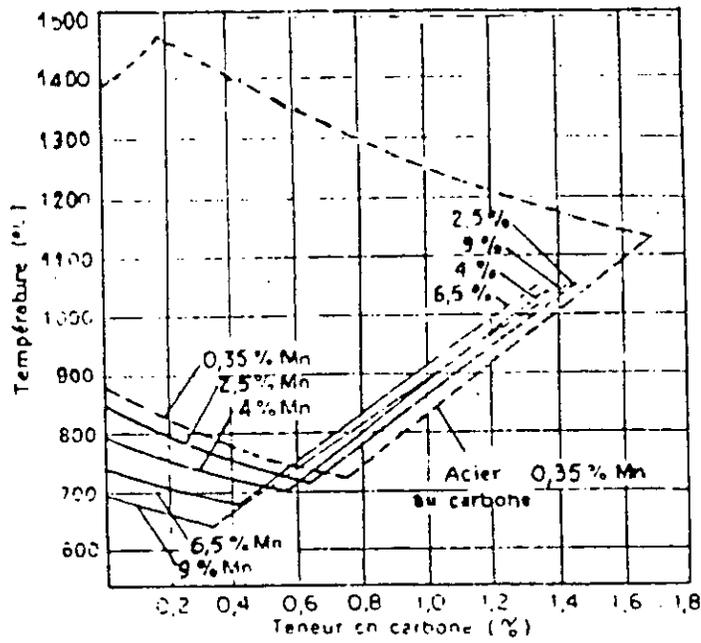


Fig. 7 - Influence du Manganèse sur le domaine  $\gamma$ . [3]

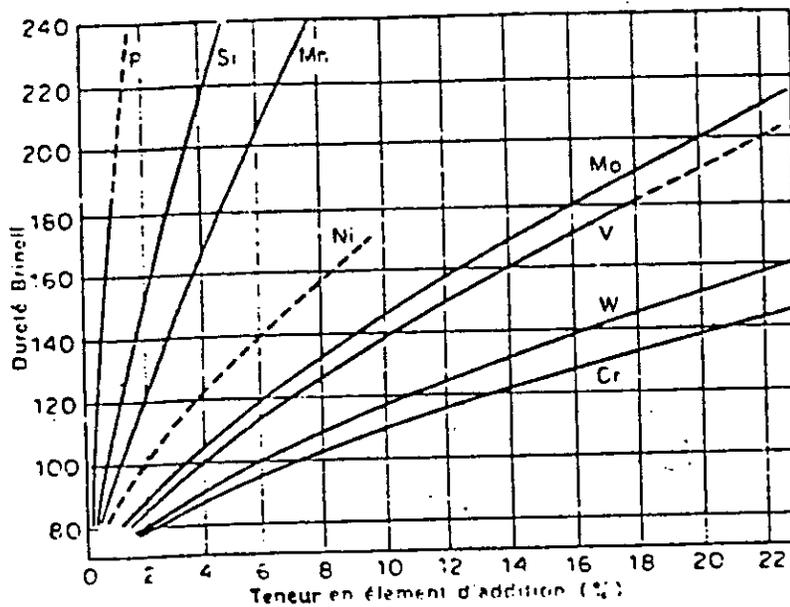


Fig. 8 - Durcissement de la Phase  $\alpha$  par les éléments d'addition. [3]

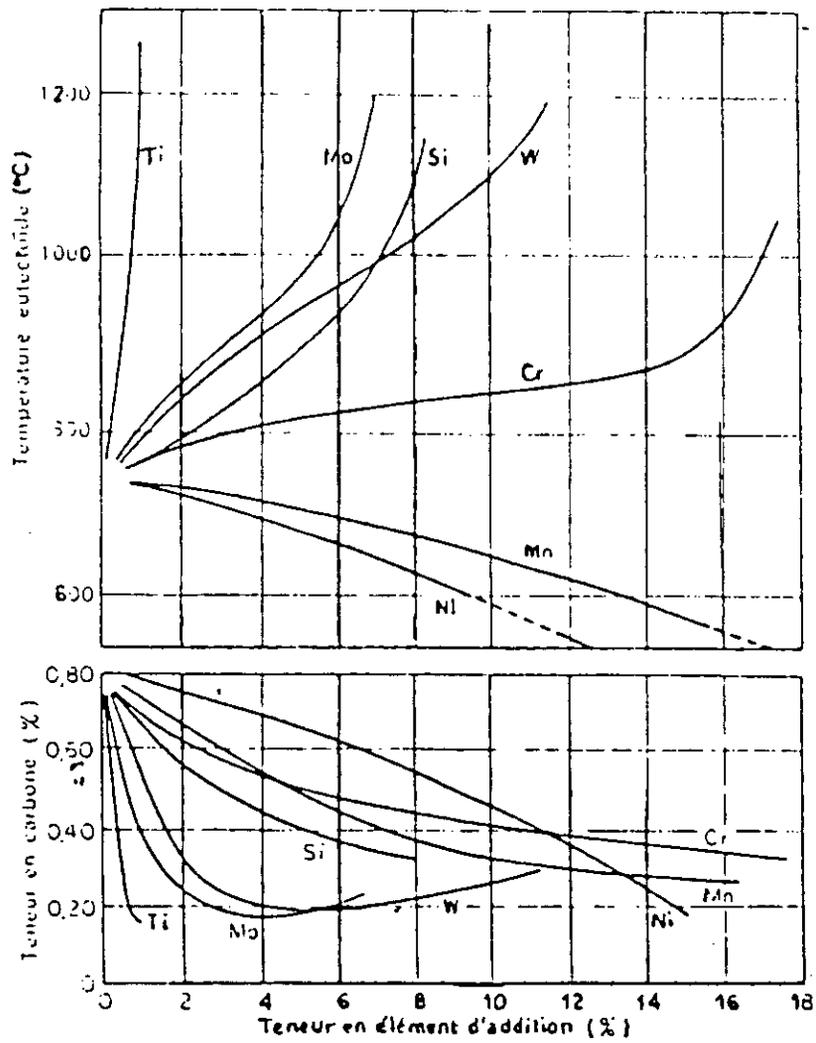


Fig. 9 - Influence des éléments d'addition sur la composition et la température eutectoïde. [3]

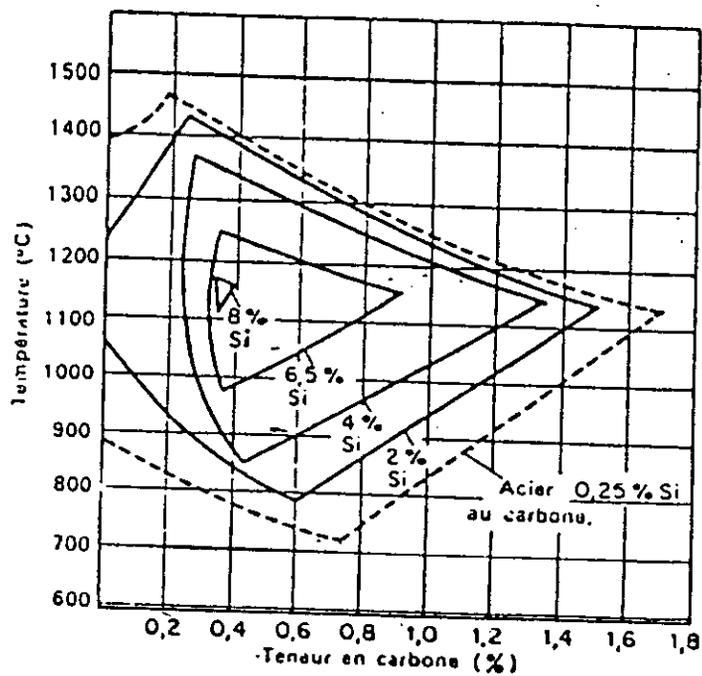


Fig.10 - Influence du silicium sur le domaine  $\gamma$ . [3]

Le silicium a tendance à déstabiliser la cémentite et empêche sa formation au profit du graphite ou d'un autre carbure, mais en limitant son taux, et grâce à la présence du manganèse et des autres éléments carburigènes, la cémentite précipite. Les conditions de la transformation, perlitique sont affectées (fig.9) : relèvement de la température  $A_{c1}$  et abaissement de la composition eutectoïde.

### **3-1-2-2 INFLUENCE DES ELEMENTS D'ADDITION :**

- chrome :

Le chrome est un élément alphagène et carburigène, il rétrécit le domaine austénitique (fig.11). Jusqu'à 7 à 8 % de Cr, le point  $A_3$  est abaissé puis il est relevé pour des taux supérieurs, mais l'abaissement du point  $A_4$  étant rapide ce qui engendre la réduction du domaine de stabilité de l'austénite. Aux faibles taux ( $\% Cr < 5$ ), le seul carbure qui précipite est la cémentite alliée  $(Fe, Cr)_3C$ , (fig.12).

Le pouvoir carburigène du Cr est supérieur à celui du manganèse avec un coefficient de partage moyen entre la cémentite et la ferrite. L'action du chrome sur les conditions de la transformation perlitique est identique à celle du silicium, mais de façon moins marquée (fig.9). Par son effet alphagène, le relèvement du points  $A_3$  a un effet nuisible sur la résilience de la ferrite.

- molybdène :

Comme le chrome, le molybdène est à la fois alphagène et carburigène. Il rétrécit le domaine austénitique (fig.13). Son pouvoir carburigène est plus élevé que ceux du chrome et du manganèse. D'après la figure14, le seul carbure stable au dessous de 700 °c pour un taux en Mo inférieur à 1% est la cémentite alliée  $(Fe, Mo)_3C$  . L'action sur les conditions de la transformation perlitique est semblable à celle du chrome, mais avec une intensité plus importante (fig.9).

Les effets des éléments C, Mn, Si, Cr, Mo sur les propriétés des aciers sont relatés dans le tableau 5 suivant :

propriétés	C	Cr	Mo	Mn	Si	Effet cumulatif
charge de rupture	++	++	++	++	+	C, Cr, Mo, Mn, Si
dureté	++	++	++	++	+	C, Cr, Mo, Mn, Si
ductilité	-	+	+	+		Cr, Mo, Mn
résistance à la chaleur et à la corrosion		++	+	-	-	Cr, Mo
soudabilité	-		+	+	-	Mo, Mn
usinage	-	-		-	-	
Elasticité	+	+	+	+	++	C, Cr, Mo, Mn, Si
Résilience	-	+	+	+		Cr, Mo, Mn

*Tableau 5 : Influence des éléments C, Cr, Mo, Mn, Si, sur les propriétés mécaniques des aciers*

### **3-1-3 - TRAITEMENTS THERMIQUES DES ACIERS :**

Pour le plan technologique, les aciers et les alliages à base de fer sont toujours d'une importance capitale, puisqu'on les retrouve sous une forme ou sous une autre dans presque tous les matériaux industriels.

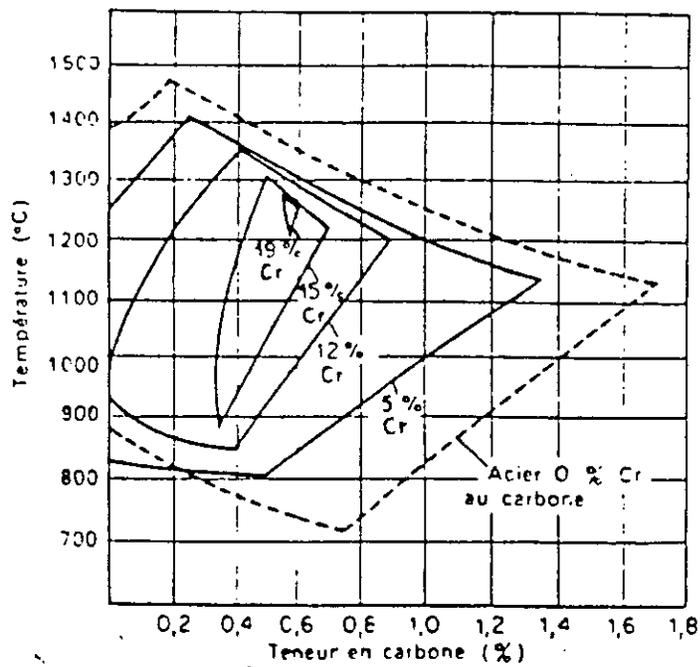


Fig. 11 - Diagramme d'équilibre des alliages Fe-C-Cr, à l'état recuit. [3]

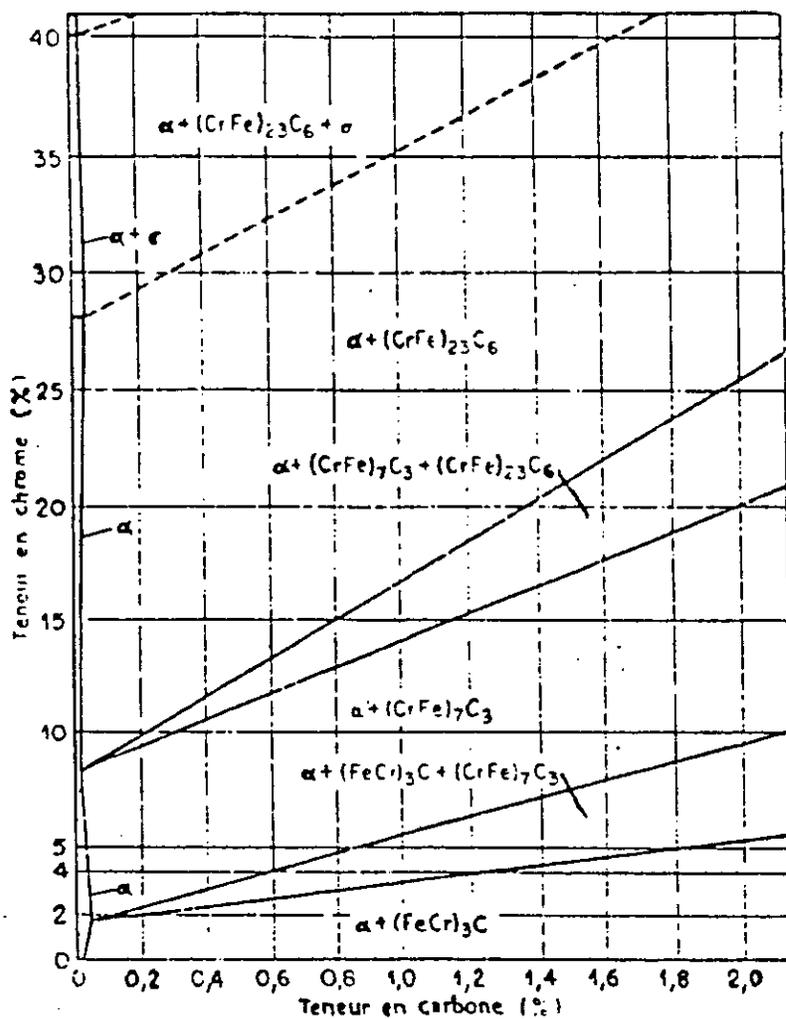


Fig. 12 - Influence du chrome sur le domaine  $\gamma$ . [3] état recuit. [3]

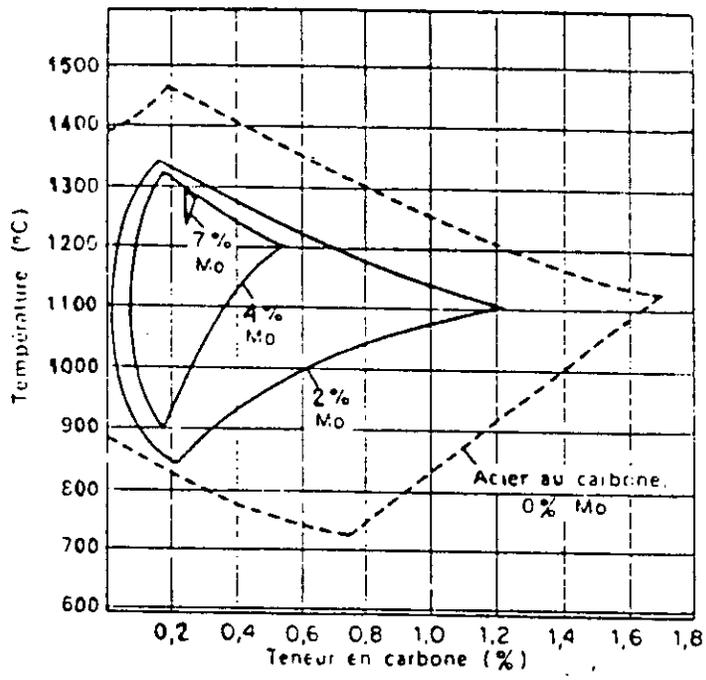


Fig. 13-- Diagramme d'équilibre des alliages Fe-C-Mo à 700°C. [3]

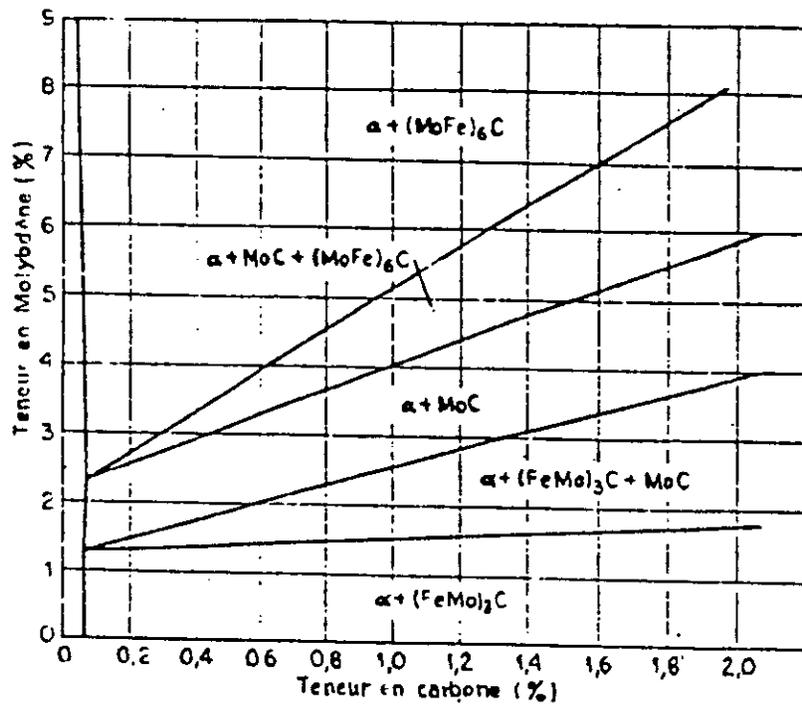


Fig. 14-- Influence du Molybdène sur le domaine  $\gamma$ . [3] ; [3]

### **3-1-3-1 - RECUIT COMPLET :[5]**

Ce traitement s'effectue sur des pièces ayant subi des traitements mécaniques variés. Il a pour but d'adoucir l'acier et faciliter son usinage. Pour cela, on procède au chauffage dans le domaine austénitique à la température  $Ac3 + 50^{\circ}C$  et au maintien pendant une heure, après quoi on laisse l'acier refroidir au four.

Ce traitement permet d'obtenir une perlite plus grossière et un adoucissement plus marqué des propriétés mécaniques.

### **3-1-3-2 - TRAITEMENTS THERMIQUES DANS LA MASSE :[7]**

Les traitements thermiques dans la masse ont pour but d'améliorer les propriétés mécaniques des aciers. Ces traitements thermiques comportent en général les étapes suivantes :

austénitisation, trempe et revenu.

- Austénitisation :

On procède au chauffage et au maintien à une température supérieure de  $50^{\circ}C$  à la température  $Ac3$ . La durée de maintien doit être choisie de façon à assurer un bon compromis entre une austénite plus ou moins homogène et une taille des grains acceptable.

- Trempe :

On veille à ce que le refroidissement soit suffisamment rapide afin d'éviter la transformation de l'austénite en constituant d'équilibre (ferrite et perlite) et obtenir plutôt une structure martensitique. La vitesse de refroidissement est fonction de la composition chimique de l'acier.

- Revenu

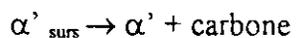
L'acier trempé présente souvent une dureté supérieure à celle demandée par les cahiers de charge, ce qui engendre naturellement une grande fragilité. Cependant pour répondre aux exigences de la mise en oeuvre du matériau, le remède le plus classique consiste à faire subir à l'acier un revenu à une température inférieure à  $Ac1$ .

La température de revenu est choisie en fonction de la composition chimique et plus particulièrement en fonction des propriétés chimiques exigées par le lieu d'emploi du matériau. Ainsi le but visé par un revenu à une température inférieure à  $Ac1$  c'est la réussite d'un compromis entre les caractéristiques de résistance, de ductilité et de plasticité.

La martensite possède la même composition que l'austénite mère, le retour à l'état d'équilibre se fait en quatre étapes. [8]

a - premier stade ( $\theta_r$  : 20 - 130 °c) :

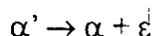
Le carbone a tendance à quitter le réseau quadratique de la martensite sursaturée ( $\alpha'$ ) en carbone. Cette migration du carbone n'est manifestée d'aucune précipitation décelable.



Pendant ce stade se produit une relation des contraintes ( $R_e$  est relevée,  $R_m$  varie peu)

b - Deuxième stade ( $\theta_r$  : 130 - 250°C)

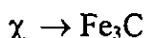
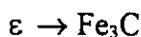
Précipitation du carbure ( $\text{Fe}_{2,3}\text{C}$ ) à partir du carbone déposé dans les dislocations et dans les joints de grain



un deuxième carbure  $\chi$  de Hagg peut précipiter, la martensite se transforme en ferrite et l'austénite résiduelle se décompose en agrégats ferrite - carbure.

c - troisième stade ( $\theta_r$  : 300 - 450 °c)

Les carbures  $\epsilon$  et  $\chi$  se transforment en cémentite



La structure est donc constituée de ferrite et de cémentite. Cette dernière est sous forme de plaquettes, entre les grains ferritiques et dans les joints également ; cette structure est proche de la bainite inférieure au voisinage de 300°C et de la bainite supérieure au voisinage de 450°C.

d - quatrième stade ( $\theta_r > 450^\circ\text{C}$ )

Diffusion des éléments carburigènes Mn, Cr, Mo dans la cémentite et substitution aux atomes de fer. La cémentite devient alliée au Mn, Cr et Mo.

D'autre part une globulisation suivie d'une coalescence de la cémentite se produit. La structure finale est constituée de cémentite alliée coalescée dans une matrice ferritique.

### **3-1-4 - RESISTANCE EN TEMPERATURE :[2]**

Les aciers au chrome - molybdène figurent parmi les aciers utilisés aux températures élevées (350 - 500°C), leurs caractéristiques de limite élastique à chaud et du fluage sont intéressantes.

Ce comportement est dû à la présence des éléments Cr et Mo dans l'acier. Ces éléments entraînent une élévation de la température de recristallisation de la ferrite et rendent plus difficile le processus de diffusion, ce qui conduit à l'amélioration de la résistance à chaud de l'acier.

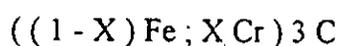
### **3-2 - CARACTERISATION DE L'ACIER INOXYDABLE :**

Les aciers inoxydables sont essentiellement des alliages fer-carbone (acier) renfermant des additions d'au moins 13 % Cr et éventuellement d'autres éléments, dont les principaux sont le nickel et le molybdène.

#### **3-2 1- EFFETS DU CHROME :**

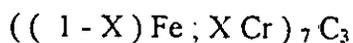
En tant qu'élément carburigène, il forme avec le carbone et le fer les carbures suivants :

- Cémentite substituée



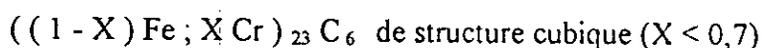
de structure orthorhombique qui peut contenir jusqu'à 15 % de chrome ( $X + 0.15$ )

- Carbure mixte



de structure hexagonale ( $X < 0,45$ )

- carbure mixte



en formant ces carbures, le chrome diminue la solubilité du carbone dans l'austénite. Le chrome constitue avec le fer un composé intermétallique  $\sigma$  de composition équiatomique.

Le domaine de stabilité de la phase  $\sigma$  s'étend largement autour de cette position. La phase  $\sigma$  a une structure tétragonale. Elle apparaît après un maintien prolongé entre 475°C et 700 °C, et fragilise l'acier. L'effet le plus marquant du chrome est la formation d'une fine couche d'oxyde  $Cr_2O_3$ , qui confère à l'acier une excellente tenue à l'oxydation et à la corrosion en général [ 8 ].

### 3.2.2- DIAGRAMME D'EQUILIBRE FER-CHROME [ 9 ]:

Le diagramme d'équilibre présente deux fuseaux. Le liquidus et le solidus possèdent un point de contact avec une tangente horizontale à 28 % de Cr et 1505°C. L'alliage correspondant à ce point se comporte comme un corps pur ( fig.15).

La visibilité des alliages Fe-Cr est totale. Ces alliages se solidifient sous forme d'une solution solide de substitution de structure cubique centrée ( ferrite au chrome ). L'effet alphagène du chrome réduit le domaine austénitique du diagramme, et il est entouré d'une boucle.

La température de la transformation  $\delta \leftrightarrow \gamma$  est régulièrement abaissée pour des additions croissantes de chrome. La température de la transformation  $\alpha \leftrightarrow \gamma$  est d'abord abaissée jusqu'à 850°C pour une teneur égale à 8 % de chrome, puis relever progressivement pour rejoindre la transformation.

En contournant progressivement le domaine  $\gamma$ , on passe de la ferrite  $\gamma$  à la ferrite  $\alpha$ . La transformation  $CC \rightarrow CFC$  disparaît au delà de 13 % de chrome. Les alliages contenant moins de 13 % Cr peuvent donc être austénitisés et peuvent conduire à une structure martensitique par trempe.

L'affinage du grain ferrite par traitement thermique est réalisable.

Les alliages contenant plus de 13 % Cr ne subissent pas la transformation  $\alpha \leftrightarrow \gamma$ . La martensite ne peut être obtenue.

L'affinage du grain ferritique par traitements thermiques n'est pas réalisable. La forme du diagramme Fe- Cr dépend de la composition chimique de l'alliage. Le carbone et l'azote favorisent ( fig.16 ):

- ♦ l'expansion du domaine,
- ♦ l'abaissement de la température de la transformation  $\alpha \leftrightarrow \gamma$ .
- ♦ l'augmentation de la température de la transformation  $\delta \leftrightarrow \gamma$ .

Ces éléments ( C, N ) fortement carburigènes et formant des nitrures réduisent considérablement le domaine austénitique. Une coupe à 17 % Cr du diagramme ternaire Fe - C - Cr

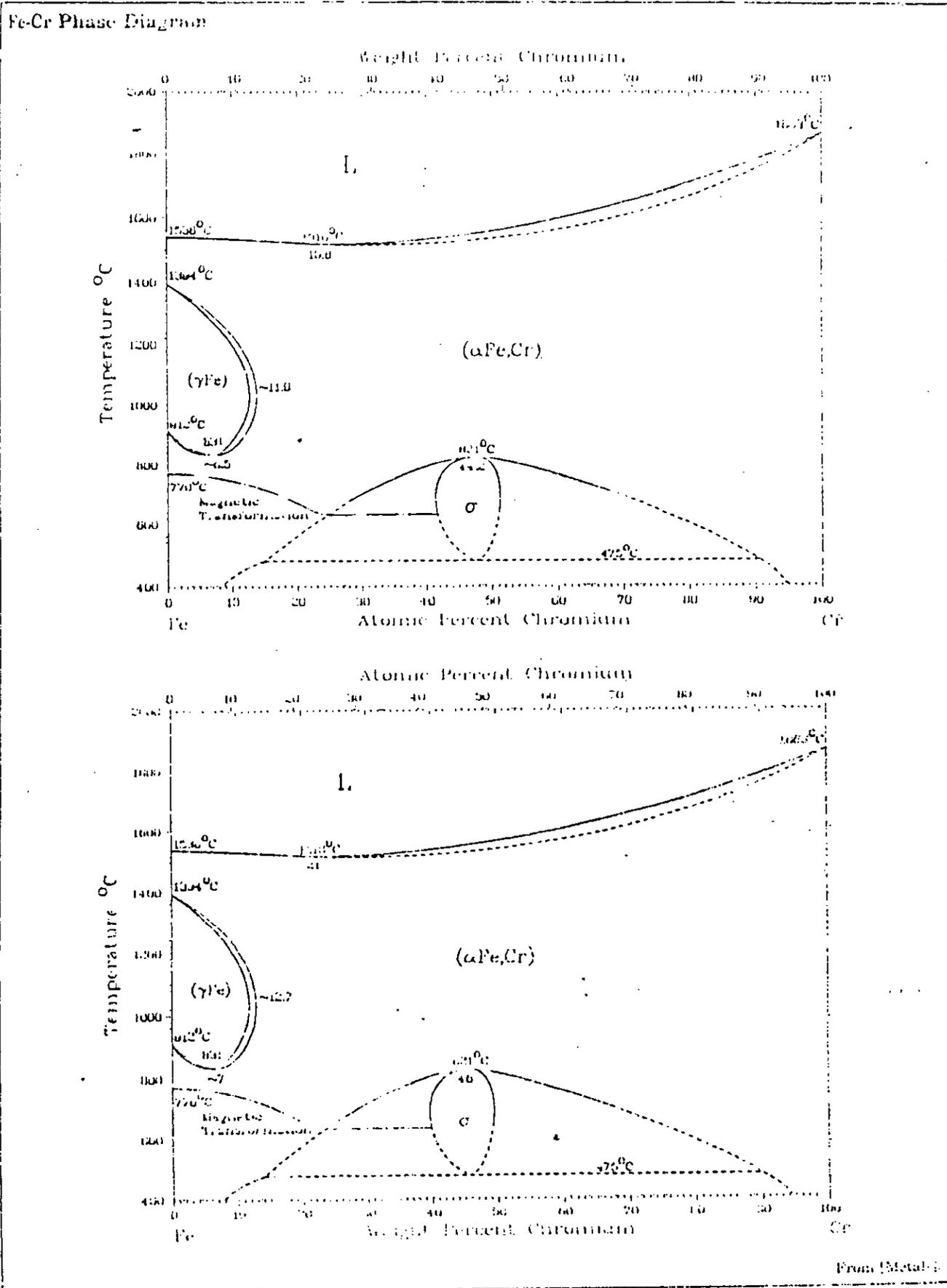


Fig. 15 - Diagramme d'équilibre Fe-Cr

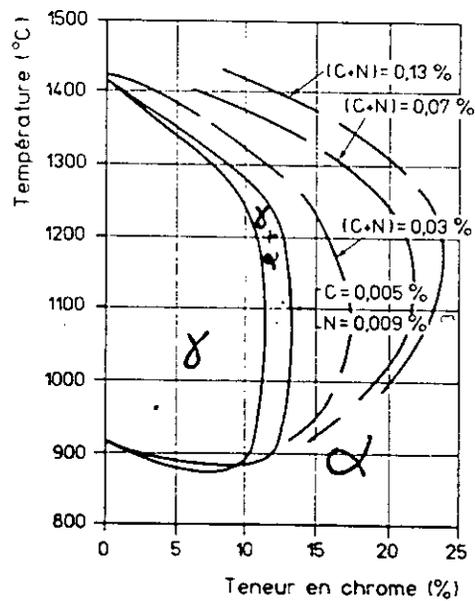


Fig. 16 - Influence des additions de C et N sur la boucle  $\gamma$ .

permet de montrer que c'est le carbure  $\text{Cr}_{23}\text{C}_6$  de structure cubique qui précipite dans l'acier Z8C17 (fig. 17).

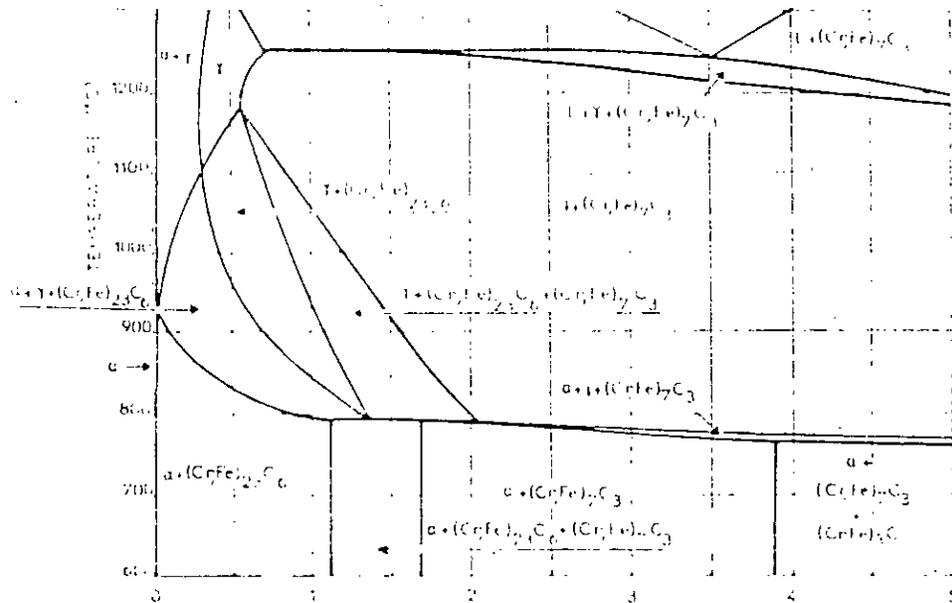


Figure 17 : diagramme ternaire Fe - C - Cr coupe à 17 % Cr

### 3-2-3 - EFFETS DES AUTRES ELEMENTS D'ALLIAGES

D'autres éléments d'alliages peuvent être ajoutés pour des raisons diverses. Leurs actions sur la structure se résume, en général, dans chaque cas de la façon suivante.

- le molybdène et le silicium ajoutés pour des raisons de corrosion sont des éléments alphagènes et vont modifier l'équilibre des nuances.
- Le manganèse, formant des sulfures  $\text{MnS}$  plus stables, permet d'éviter la présence de sulfures de chrome à basse température de fusion
- l'azote, soit à l'état d'impureté contrôlée, soit à l'état d'addition volontaire a une action gammagène puissante. Il est en solution solide interstitielle à haute température. Il peut être maintenu en précipité sous forme de nitrure de chrome  $\text{CrN}$ .

### 3-2-4 - PRINCIPALES FAMILLES D'ACIERS INOXYDABLES : [8]

On distingue, généralement, 4 grandes familles d'aciers inoxydables :

a) - Les aciers martensitiques :

Ce sont des alliages de base fer - chrome pour lesquels la teneur en Cr est comprise entre 12 % et 18 %.

La structure martensitique est obtenue par trempe d'une phase  $\gamma$  située à l'intérieur de la boucle  $\gamma$  du diagramme Fe-Cr. Ces aciers ont des propriétés de dureté et de résistance très élevée. Les aciers martensitiques sont ferromagnétiques.

b) - *Les aciers austénitiques :*

Ce sont des alliages de base Fe - Cr - Ni, tels que leur structure soit entièrement austénitique à haute température. Leur teneur en Cr est inférieure à 17 % et leur pourcentage en Ni est supérieure à 10%. L'austénite obtenue à haute température est maintenue à l'état métastable à l'ambiante ( $M_s < 20 \text{ }^\circ\text{C}$ )

Ces aciers présentent l'avantage d'une ductilité remarquable en même temps qu'une très bonne soudabilité, mais n'ont aucune variation appréciable de dureté après trempe.

c) - *Les alliages austéno-ferritiques :*

Ces alliages diffèrent des précédents par le seul fait que leur équilibre en éléments alphagènes et gammagènes est tel que la structure à haute température (1050 - 1150 °C) est mixte  $\alpha + \gamma$  elle est de même maintenue métastable à la température ambiante par hypertrempe. Ce qui nécessite que la stabilité de la phase austénitique soit suffisante. Dans le cas contraire, on obtiendrait une structure ferrite + martensite.

Ces produits présentent l'avantage :

- leurs caractéristiques mécaniques sont nettement supérieures à celles des aciers austénitiques tout en conservant une ductilité excellente.

d) - Les aciers ferritiques :

Ce sont des alliages de base fer - chrome ne subissant pas de transformation austénitique. L'équilibrage des éléments alphagènes, principalement chrome et gammagènes C, N et Ni doit être tel que l'alliage soit à toute température à l'extérieur de la boucle  $\gamma$  du diagramme Fe - Cr.

### 3-2-5 - LES ACIERS INOXYDABLES FERRITIQUES :

#### 3-2-5-1- DIFFERENTES FAMILLES D'ACIERS INOXYDABLES FERRITIQUES

On distingue trois groupes d'aciers inoxydables ferritiques utilisés dans les nuances industrielles (tableau 6).

Classe	teneur en Cr %	Teneur en C%	Autres
Groupe 1	11.5 à 13.5	$\leq 0.08$	Al ou Ti alphagènes 0.1 / 0.3 %
Groupe 2	16 à 18	$\leq 0.100$	eventuellement Mo- Ti (corrosion)
Groupe 3	$\geq 20$	C < 0.3 C < 0.002 C+N < 0.015	eventuellement Ti - Nb - Mo

Tableau 6 : Différents types d'aciers inoxydables ferritiques.

A - Groupe I : Cr = 11,5 à 13,5 et C < 0.08 % ; malgré la faible teneur en carbone, des additions d'éléments alphagènes, aluminium ou titane, sont nécessaires pour éviter la formation d'austénite.

B- Groupe II : Cr = 16 à 18 % et C < 0,10 % : ce sont de loin les aciers ferritiques les plus utilisés.

Ces nuances ne sont pas parfaitement ferritiques et il peut apparaître une certaine proportion de phase austénitique. Des additions éventuelles de molybdène et de titane permettent d'améliorer la résistance à la corrosion et parallèlement d'éviter l'apparition de la phase  $\gamma$ .

C - Groupe III :  $Cr > 20 \%$  ; dans cette famille pour laquelle les teneurs en chrome peuvent monter jusqu'à 30 % nous trouverons deux types de nuances :

- des aciers à teneurs en carbone moyenne et forte, souvent de 0.1 à 0.2 %, utilisés ; pour leur résistance à chaud.
- des aciers à très basses teneurs en carbone ( $c < 0.002 \%$ ).

### 3-2-5-2 - EVOLUTIONS STRUCTURALES:

- Structure :

En principe, la structure de ces nuances est ferritique à toutes températures et en particulier à la température ambiante. Elle se présente alors sous forme de grains polygonaux équiaxes (fig. 18).

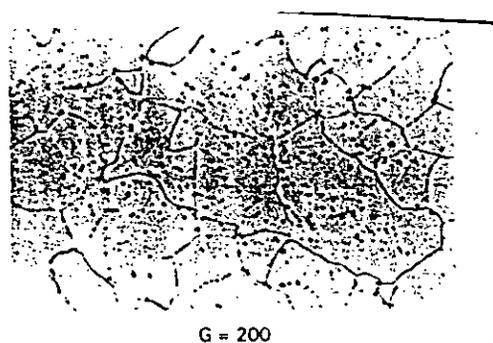


Fig. 18 - Structure d'un acier ferritique ( $C = 0,05\%$ ,  $C_r = 17\%$ ) après traitement à  $800^\circ C$  et trempe à l'eau : Grains  $\alpha$  et précipitation de carbures.

Toutefois, les nuances fer-chrome du groupe II, lorsqu'elles sont chauffées au dessus de  $950$  à  $1000^\circ C$ , subissent une transformation austénitique partielle. Après refroidissement, cela conduit à une structure mixte martensite + ferrite qui présente l'inconvénient majeur d'être dure et fragile (figure 19).

En effet, compte tenu de coefficient de partage du carbone entre les phases austénitiques et ferritiques à haute température, la martensite résultante se trouve plus riche en carbone, donc très fragile.

Des chauffages à des températures élevées supérieures à  $950 - 1000^\circ C$ , entraînent des grossissements du grains ferritique, dont l'inconvénient est de provoquer une baisse à la fois de la limite d'élasticité et de la ténacité ; cela conduit souvent à une fragilité inacceptable.

- Précipitation de carbures et de nitrures :

Des chauffages ultérieurs entre 200 et 800 °C entraînent la précipitation de la partie du carbone et de l'azote maintenus en sursaturation à la suite du traitement thermique de qualité (trempe depuis 750 à 900 °C).

La nature des carbures précipités dépend de la température à laquelle ils se forment (tableau 7).

Température °C	Formule du carbure
< 200	M <sub>2</sub> C
200 à 400	M <sub>3</sub> C
450 à 625	M <sub>7</sub> C <sub>3</sub>
> 625	M <sub>23</sub> C <sub>6</sub>

Tableau 7 : Nature des carbures précipités dans les nuances ferritiques en fonction de la température de formation.

- Phase sigma et fragilisation à 475 °C :

La phase sigma, responsable d'une grande fragilisation du métal, apparaît dans les aciers titrant plus de 20 % de chrome, après des maintiens prolongés entre 550 et 800 °C et elle peut même apparaître pour des teneurs en chrome plus basses (15 %). Seulement dans ce cas la vitesse de formation est extrêmement faible (5000 h à 570 °C pour 16 % Cr). Des additions de silicium et de molybdène augmentent la vitesse de précipitation.

Lors du traitement de qualité, la température de trempe doit être assez élevée (> 800 °C). Sous cette seule réserve, les cinétiques de précipitation sont assez lentes (pour éviter la fragilisation au refroidissement).

Le phénomène de fragilisation a été constaté lors de maintiens à des températures comprises entre 400 et 550 °C. A ce moment là tous les aciers inoxydables ferritiques subissent un durcissement secondaire dû à la formation de fins précipités. Ce phénomène est caractérisé par une forte augmentation de la résistance et de la dureté, accompagnée d'une fragilité importante d'où la dénomination de fragilisation à 475 °C.

- Taille de grains :

Dans le cas des aciers subissant une transformation austénitique, le grain ferritique peut être affiné par un traitement de type normalisation.

Dans le cas des aciers sans point de transformation, la seule possibilité d'affinage du grain consiste en une opération d'écroutissage suivi d'un traitement de recristallisation tel que le traitement de qualité.

### 3-2-5-3 - Caractéristiques mécaniques des aciers ferritiques :

Les principales propriétés mécaniques des aciers inoxydables ferritiques, selon leurs nuances, sont regroupées dans le (tableau 8).

	nuance	R Mpa	Re Mpa	A %
Groupe 1	Z 6 CA 13	421 à 617		
	C <+ 0.08 %			
	Cr = 11.5 à 13.5 Al = 0.1 à 0.3 %	421 à 617	> 225	> 20
Groupe 2	Z 8 C 17	441 à 637	> 245	> 20
Groupe 3	C + 0.12 %	> 490	> 290	> 10
	Cr = 23 à 26 %			

Tableau 8 : Caractéristiques mécaniques des aciers ferritiques

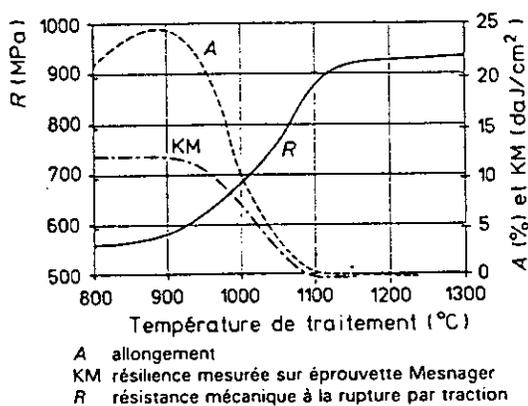


Fig. 19 - Caractéristiques mécaniques en fonction de la température de trempe d'un acier ferritique à 17% de chrome et 0,08% de carbone.

## CHAPITRE IV

### 4- RESULTATS ET DISCUSSIONS

#### 4-1 - LA FERRURE : ACIER FAIBLEMENT ALLIÉ 42CD4

Les résultats des observations micrographiques ont montré que les échantillons a, b et c présentent tous la même structure.

Afin d'apporter un élément de réponse qui consiste à l'expertise de cette ferrure, nous avons cherché à retrouver la structure de livraison par le biais du traitement thermique classique. Pour ce faire, deux chemins sont envisageables : à savoir l'obtention de la structure bainitique de livraison par un traitement isotherme dans le domaine bainitique de type inférieur ( $t = M_s + \epsilon$ ), qui peut être considéré comme premier élément de réponse ; ou bien retrouver une structure semblable du point de vue caractéristiques mécaniques, par le biais d'une trempe revenue à moyenne température allant de 250 à 500 °C.

Comme la première ne peut se réaliser dans notre étude, nous avons jugé bon d'opter pour la deuxième. Ce qui nous a amené à retrouver la structure tout en décelant une autre amélioration des propriétés en l'occurrence, la ductilité due au taux d'austénite résiduelle élevée inhérent à la stabilité thermodynamique et la grande homogénéité de cette dernière à haute température.

Les figures 20 et 21, relatives à l'état de livraison, montrent une structure bainitique fine de type inférieur.



G 500

FIGURE 20 Structure de l'acier 42CD4 à l'état de livraison.



structure bainitique  
de type inférieur

FIGURE 21 Structure de l'acier 42CD4 à l'état de livraison.

La figure 22, relative à l'état trempé, met en évidence une structure martensitique avec la présence d'une certaine plage claire qui ne peut être que de l'austénite résiduelle.

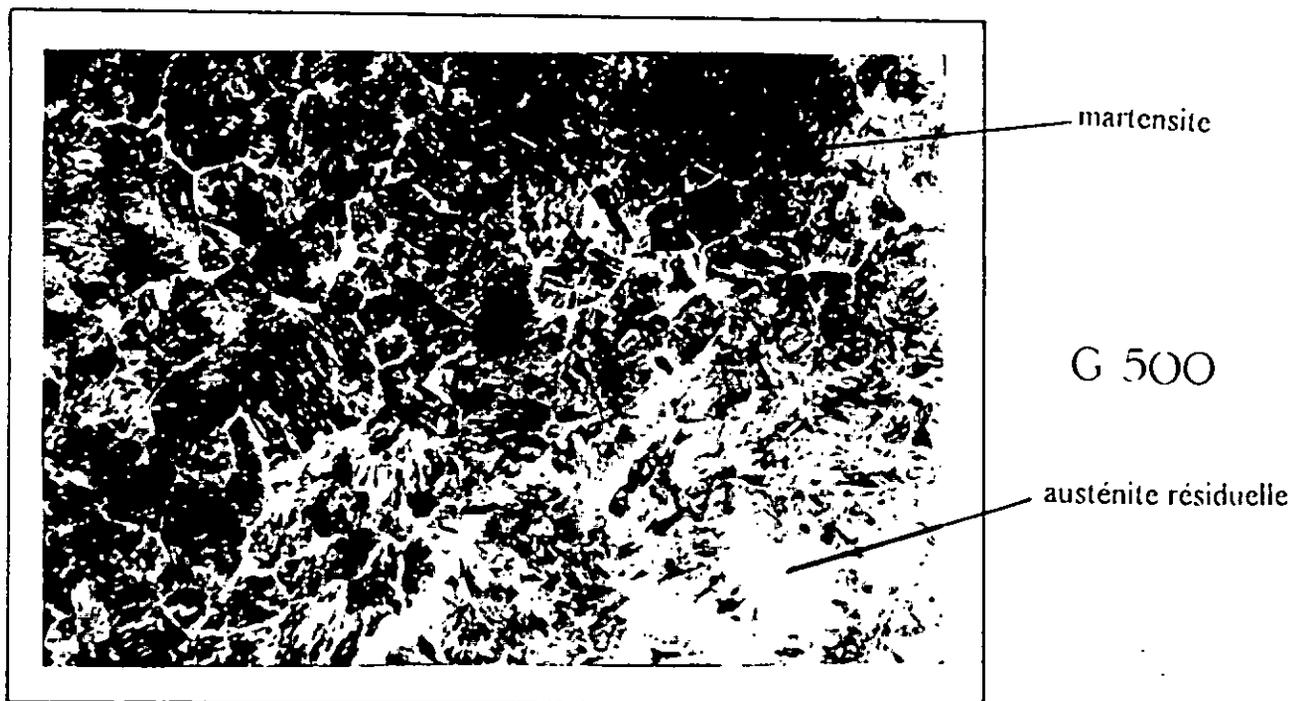


Figure 22 Structure de l'acier 42CD4 à l'état trempé.

Les figures 23 et 24, relatives à l'état recuit, mettent en évidence une structure en bande ferrito-perlitique plus homogène dans la distribution des tailles des grains avec une prédominance des zones perlitiques. Les lamelles de perlite apparaissent en sombre par contre la ferrite en claire. Cette structure en bande, est due probablement à l'anisotropie structurale provoquée par la déformation plastique à chaud lors de l'étragedesbarres.

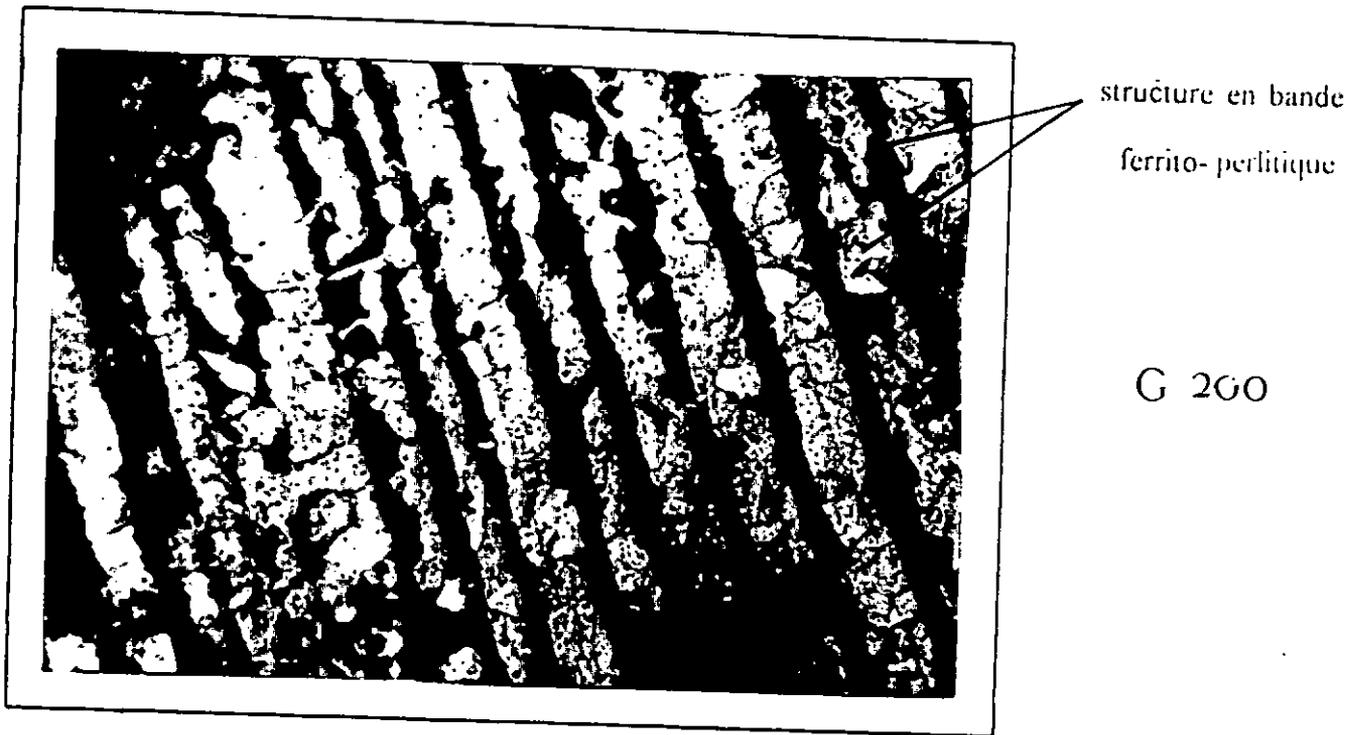


Figure 23 Structure de l'acier 42CD4 à l'état recuit.

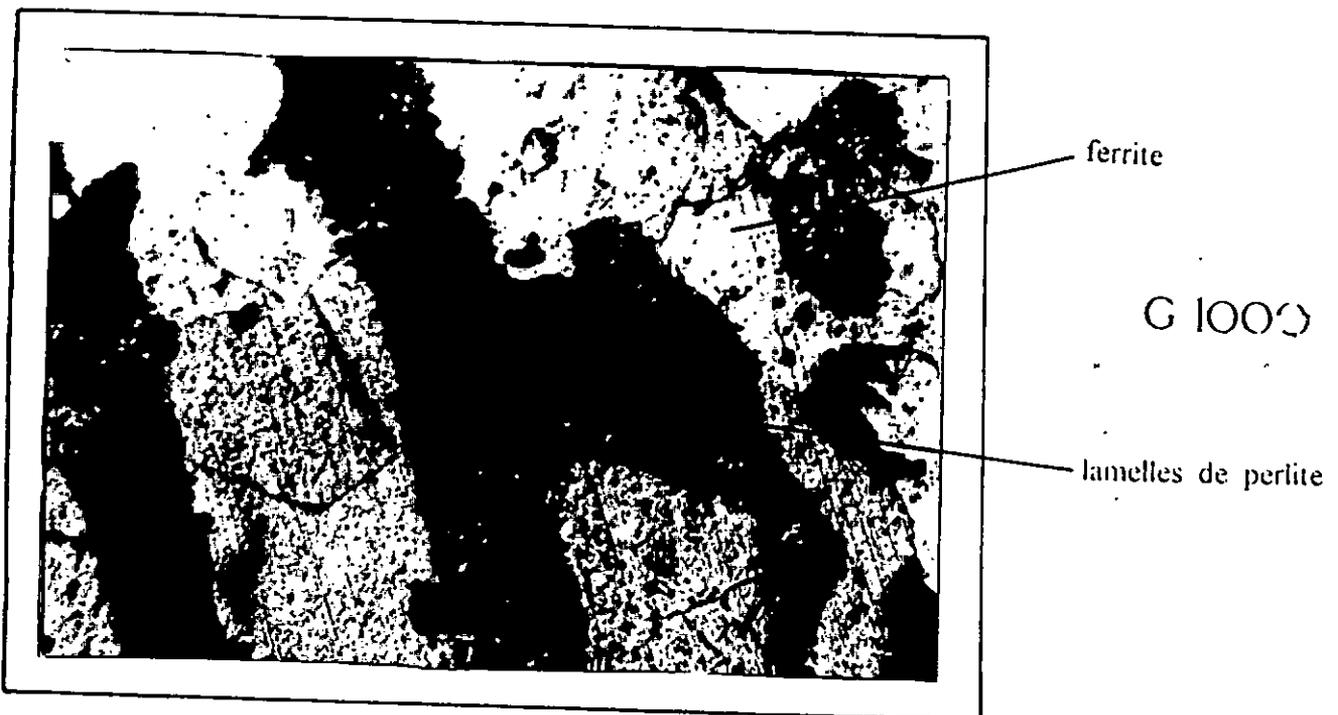


FIGURE 24 Structure de l'acier 42CD4 à l'état recuit.

La figure 25, relative à l'état de revenu à 280°C, met en évidence une structure proche de celle de l'état trempé.

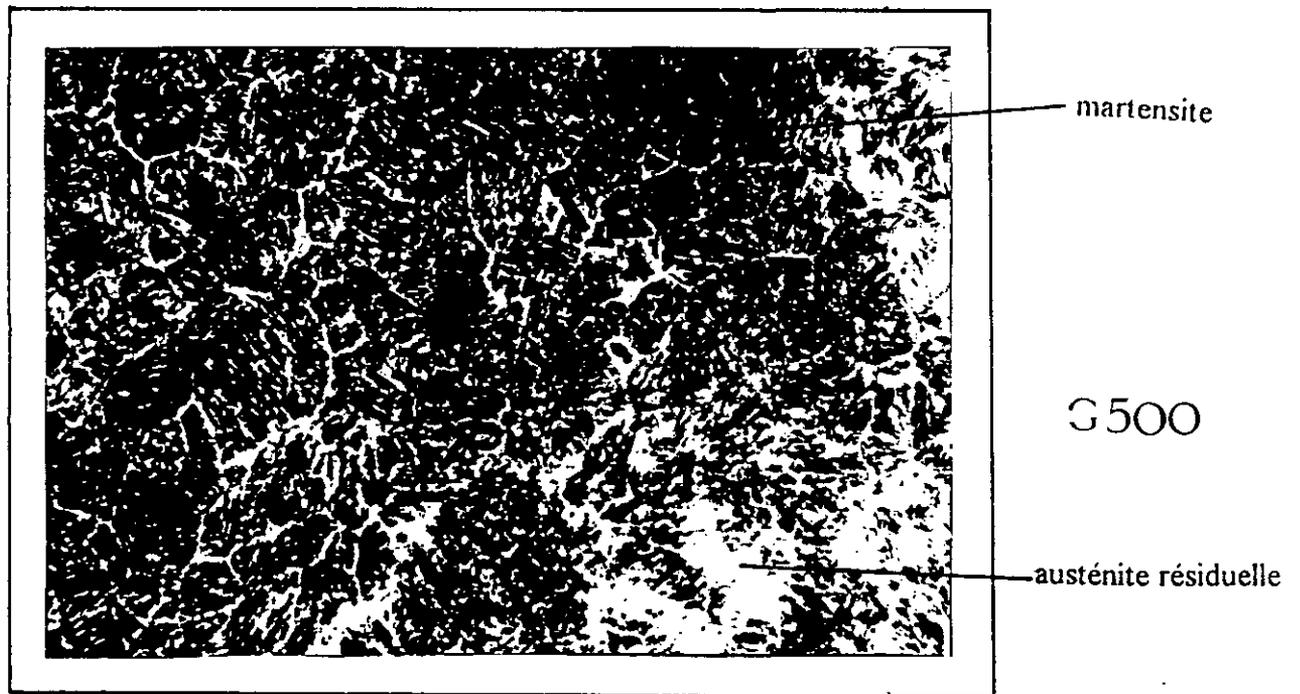


FIGURE 25 Structure de l'acier 42CD4 à l'état trempé + revenu à 280°C.

La figure 26, relative à l'état de revenu à 480 °C, met en évidence une structure très proche de celle de livraison.

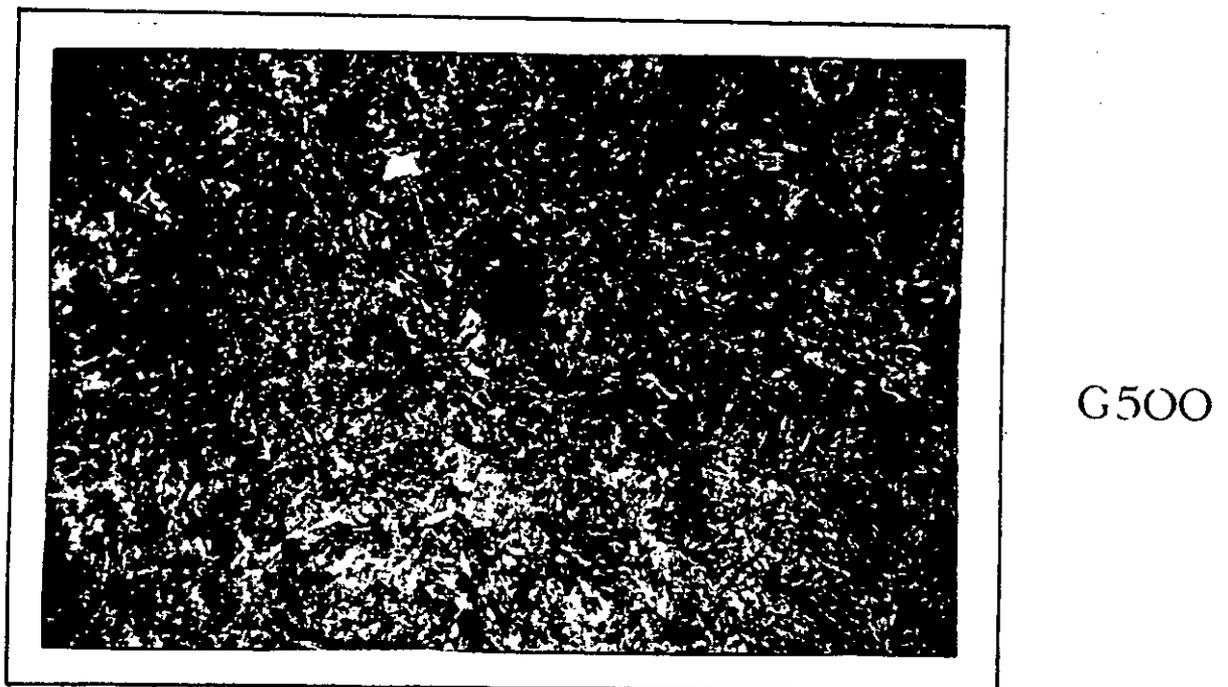


FIGURE 26 Structure de l'acier 42CD4 à l'état trempé + revenu à 480°C.

Ceci peut s'expliquer par les constatations suivantes :

- Comme le taux d'austénite résiduelle formé pendant la trempe est élevé, sa décomposition au cours du revenu qui suit en agrégat ferrite -carbure sera lente. En parallèle aux alentours de cette température, on assiste à un durcissement secondaire dû aux éléments d'addition Cr et Mo. Dans ces conditions, l'affinité pour le carbone de ces derniers devient plus importante que celle de la cémentite, ainsi formée avant la température 480 °C. Ce qui induit une dureté assez importante ainsi qu'une bonne ductilité.

Les valeurs de dureté obtenues pour tous les états thermiques de la ferrure sont regroupées dans le tableau 9. D'après ce dernier, les valeurs de dureté obtenues à l'état de livraison ainsi qu'à l'état de revenu à 480 °C sont très proches. Cela confirme ces constatations

Etat thermique de la ferrure	livraison	recuit	trempe	revenu à 280°C	revenu à 480 °C
dureté HRC	53	21	57	55	52

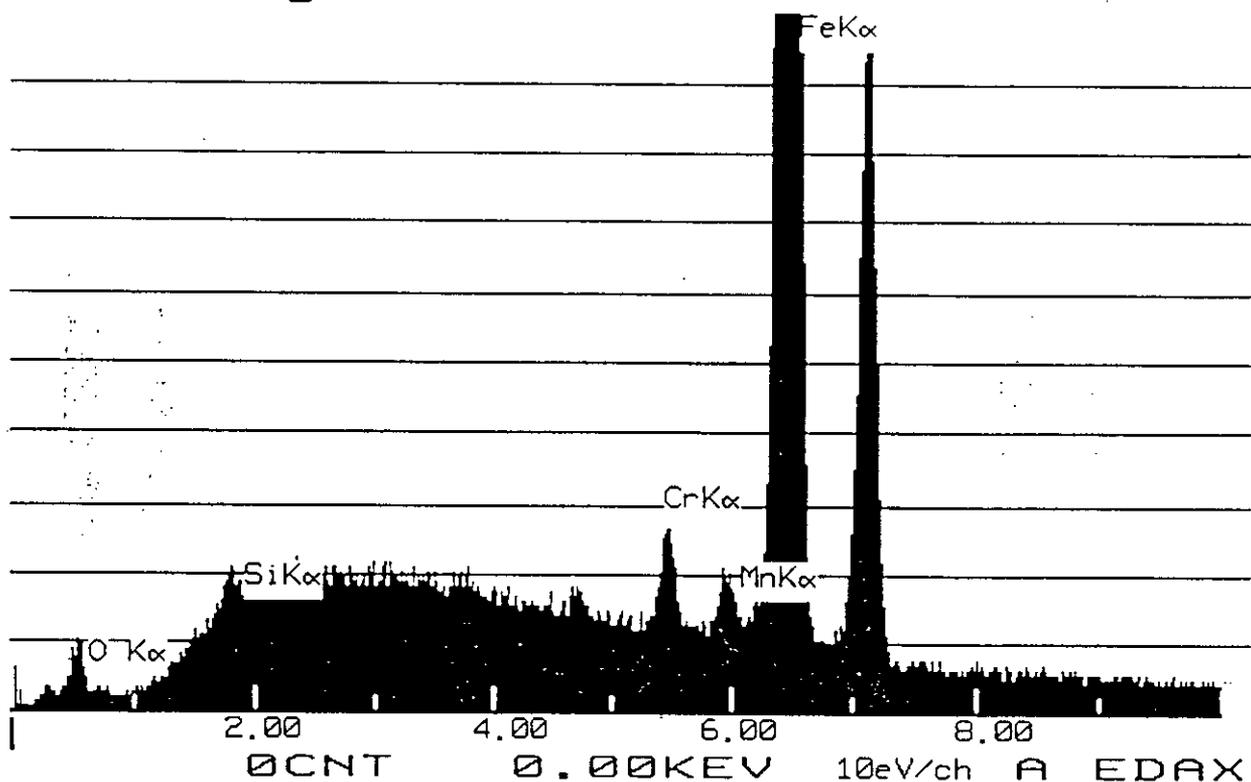
*Tableau 9 : Résultat des essais de dureté de la ferrure .*

## 4-1-1 Analyse par microscope électronique à balayage

La microstructure est examinée plus profondément au microscope électronique à balayage équipé du système microanalyseur à dispersion d'énergie par rayons X (EDAX). Ce système permet d'observer la morphologie des échantillons, de caractériser les différents éléments existants. L'analyse EDAX confirme la composition obtenue par l'analyse spectrochimique (fig 27).

Suite aux inclusions observées, nous avons jugé bon d'identifier ces dernières par le biais de l'EDAX. Le profil obtenu au niveau de ces inclusions (fig 28) révèle l'existence de l'oxygène (O K $\alpha$ ) témoignent de la présence certaine d'une oxydation. Retenons donc que les inclusions sont des oxydes.

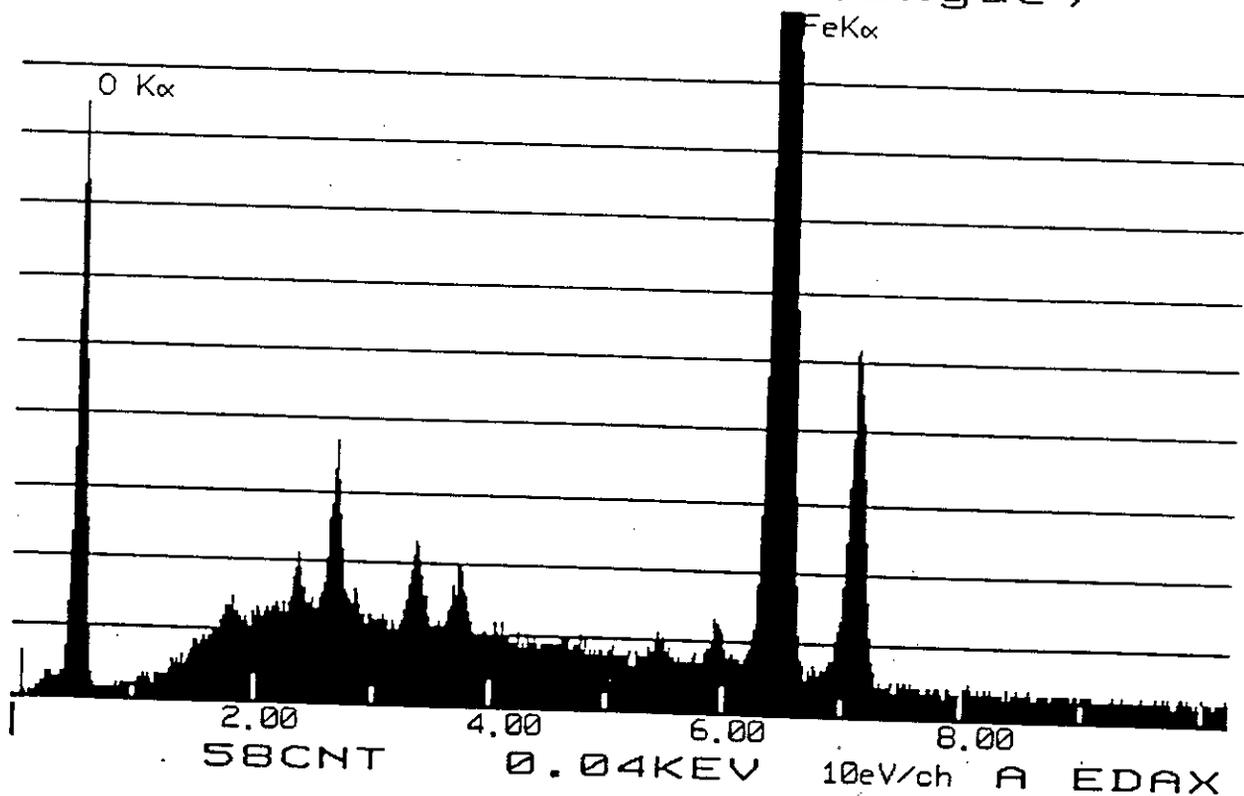
```
21-JUN-95 09:29:34 EDAX READY
RATE= 4758CPS      TIME= 119LSEC
FS= 2341CNT       PRST=4000LSEC
A =ana.glo.mat
```



INTE-%-ZAF:	ELEM	CPS	WT %
LABEL = ana.glo.mat	SI K	6.6808	0.27
21-JUN-95 09:33:34	CR K	34.5456	1.09
119.147 LIVE SECONDS	MN K	17.8267	0.87
KV= 20.0 TILT= 0. TKOFF=37	FE K	1826.0331	97.77
ZAF CORRECTION			-----
	TOTAL		100.00

Fig 27 : Analyse de la matrice par EDAX

21-JUN-95 09:18:38 EDAX READY  
 RATE= 3172CPS TIME= 128LSEC  
 FS= 2867CNT PRST=4000LSEC  
 A =ana.pon.point noir(oxyde)



INTE-% :  
 LABEL = ana.pon.point noir(oxyde)  
 21-JUN-95 09:23:20  
 128.263 LIVE SECONDS

ELEM	CPS	AT %
O K	136.704	99.812
FE K	1038.440	0.188
TOTAL		100.000

USED PEIF: EDAX

figure 28 : Analyse des précipités par EDAX.

#### 4.2. La vis : acier inoxydable ferritique Z15C18

Les résultats des observations micrographiques ont montré aussi que les échantillons d,e et f présentent eux aussi la même structure.

La structure relativement grossière obtenue à l'état de livraison (fig.29), met en évidence une structure martensitique sous forme d'aiguilles avec la présence d'une certaine phase claire, qui ne peut être que la ferrite sous transformation, après un refroidissement à partir d'un domaine biphasé ( $\alpha+\delta$ ). La présence de cette structure grossière dégrade énormément les caractéristiques de résistance, en l'occurrence la dureté.

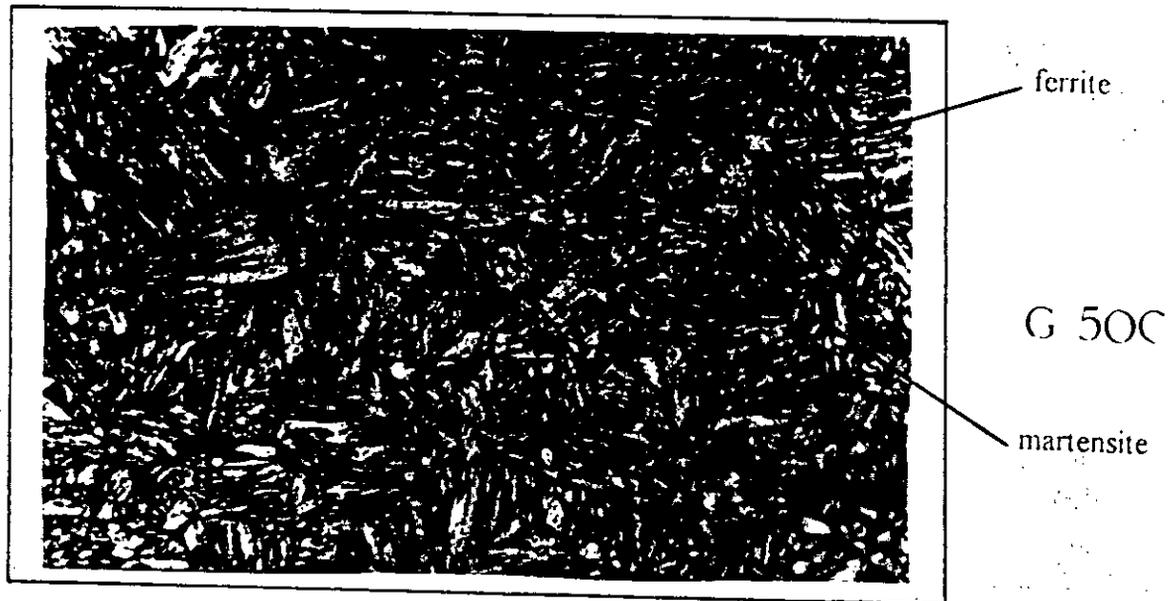


Figure 29 : LA VIS à l'état de livraison.

Cette même structure a été confirmée par l'expérience (fig.30 et 31), en effectuant un chauffage à 1000°C, à partir d'une structure normalisée, pendant 30 minutes suivie d'une trempe à l'air. La structure est identique mais avec des aiguilles de martensite plus fines. Cela est dû probablement au temps de maintien insuffisant pour entraîner le grossissement du grain ferritique.

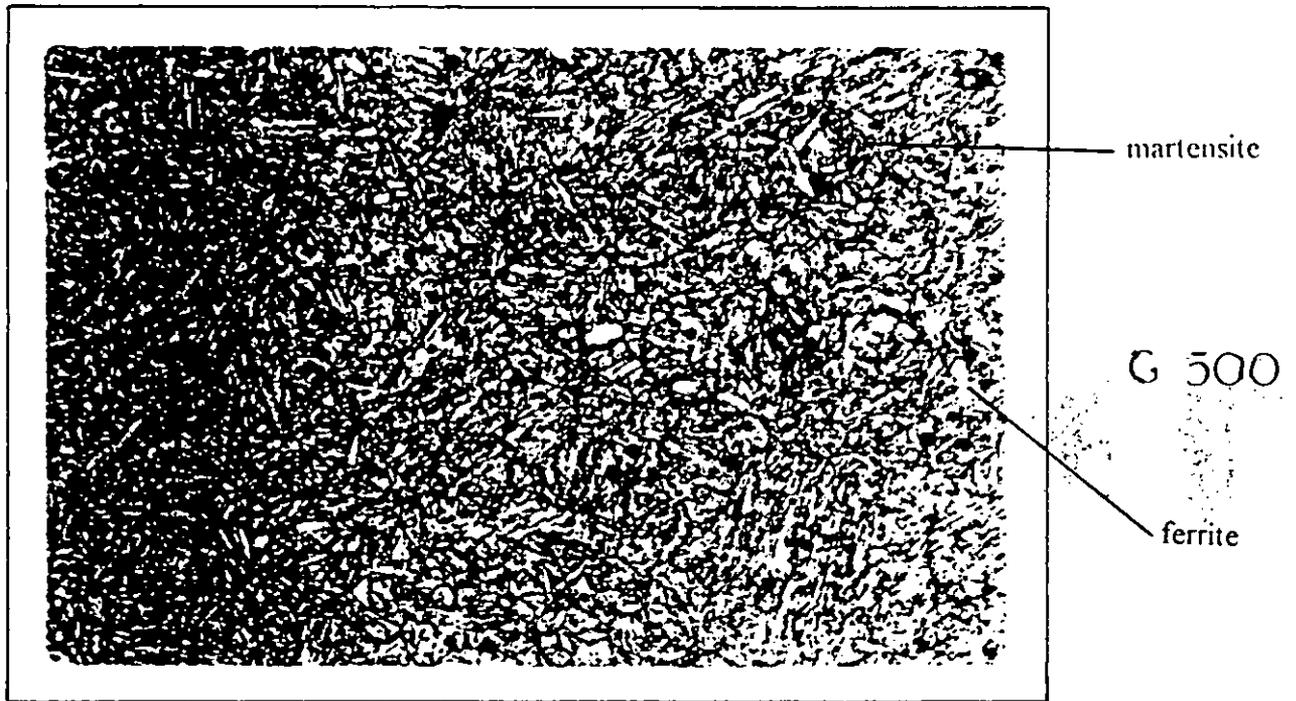


FIGURE 30: Structure de l'acier Z15C18 à l'état trempé.

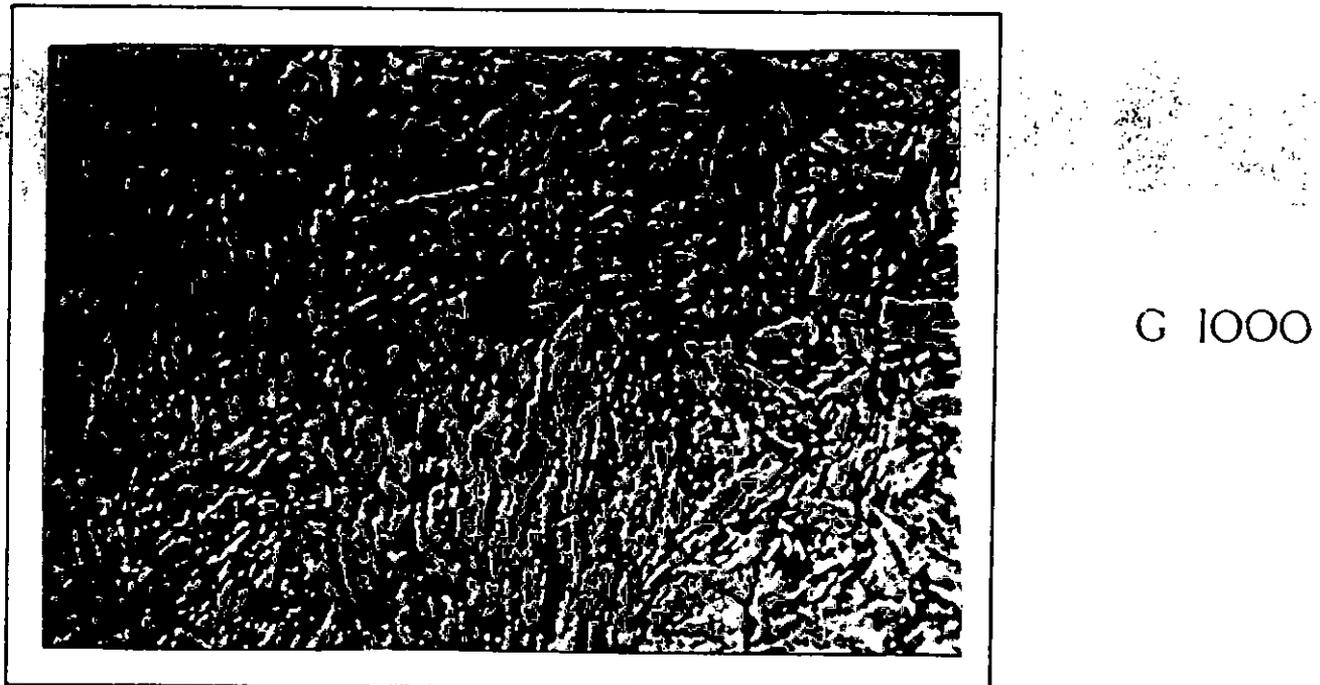


FIGURE 31: Structure de l'acier Z15C18 à l'état trempé.

La structure obtenue à l'état recuit (fig.32) met en évidence une structure complètement ferritique sous forme de grains polygonaux équiaxes avec précipitation des carbures dans les joints de grains ainsi que dans la matrice ferritique.

Notons que les carbures précipités aux joints de grains ferritiques sont plus grossiers que ceux de la matrice ferritique, chose due aux conditions plus favorables de germinations et décroissance aux joints de grains.

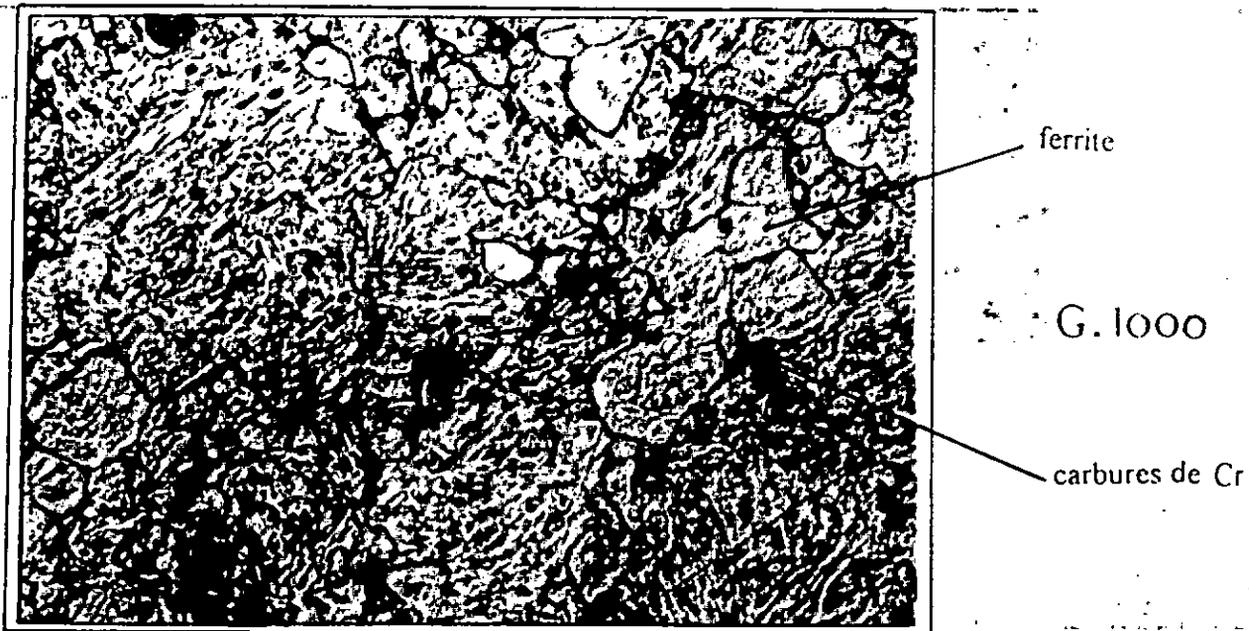


figure 32: Structure de l'acier Z15C18 à l'état recuit.

Les essais de dureté confirment d'une part aussi l'interprétation de l'observation ; par suite complète l'explication de la faible dureté de la martensite ainsi formée par le fait, très logique, que le taux de carbone occupé préférentiellement dans les sites de la maille quadratique de la martensite est faible. Chose due probablement au faible pourcentage d'austénite formée au cours du chauffage. Donc après la trempe, on aura de la ferrite non transformée, de la martensite non sursturée en carbone et bien sûr de l'austénite résiduelle. Les essais de dureté sont regroupés dans le tableau 10, ci dessous.

Etat thermique de la vis Z15C18	livraison	trempe	recuit
Dureté HRC	27	30	36

*Tableau 10 : Essais de dureté de la vis Z15C18*

A l'état recuit, la dureté de l'acier inoxydable est supérieure à celle de l'état trempé. Cela ne peut s'expliquer que par : d'une part la grosseur du grain de l'état trempé, dû au chauffage de trempe à haute température ; ce qui a comme inconvénient de diminuer la dureté ; d'autre part la grande précipitation de carbures aux joints des grains et même dans la matrice ferritique.

Pour le traitement de surface, la SNVI nous a confirmé l'existence d'un revêtement de type Zn-Al, sur une épaisseur de l'ordre de 30 Micro-m (ZAMAK), pour une bonne résistance à la corrosion qui pourrait être effectuée soit par immersion ou par projection thermique.

# CHAPITRE V

*5. Gamme de fabrication de la pièce*

## 5. Gamme de fabrication de la pièce

### 5.1. La ferrure : 42CD4

Cette ferrure travaille dans les conditions de contraintes de traction-compression (vibrations) et vu sa structure en bande obtenue par recuit au laboratoire, nous pouvons conclure qu'elle a été fabriquée par forgeage. Vu que l'état de livraison de cette ferrure est une structure bainitique.

Les étapes suivies pour arriver à cette structure finale sont présentées dans la figure 33.

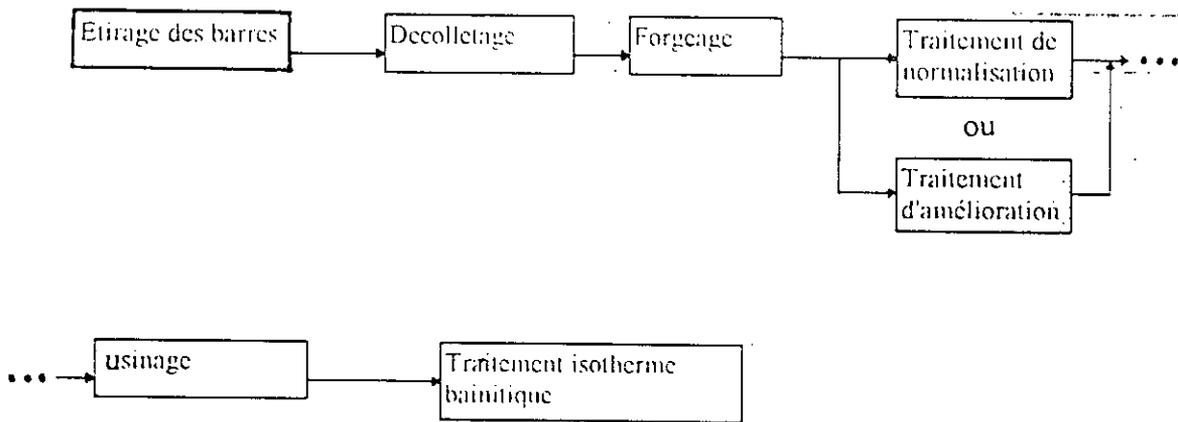


Fig.33 Gamme de fabrication de la ferrure

Les cycles thermiques des traitements de normalisation et d'amélioration, ainsi que du traitement bainitique sont représentés respectivement aux figures 34, 35 et 36.

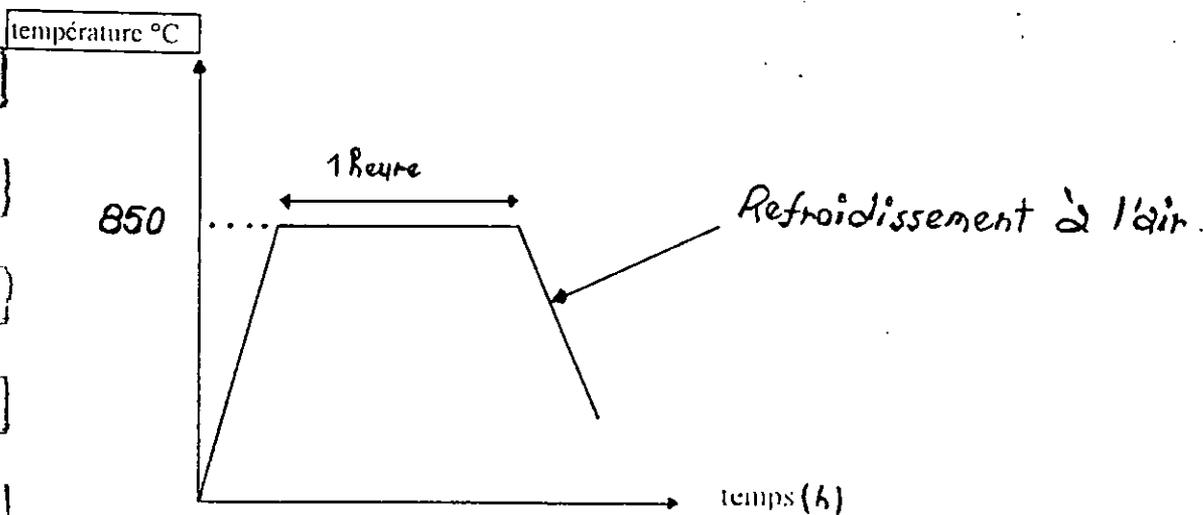


Fig. 34. : Traitement de normalisation.

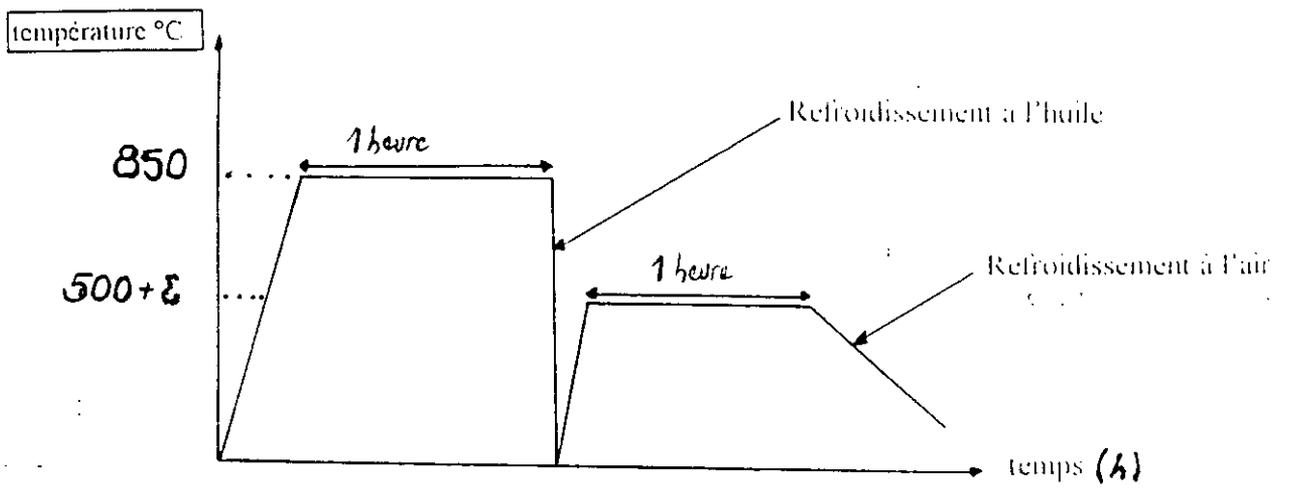


Fig-35: Traitement d'amélioration.

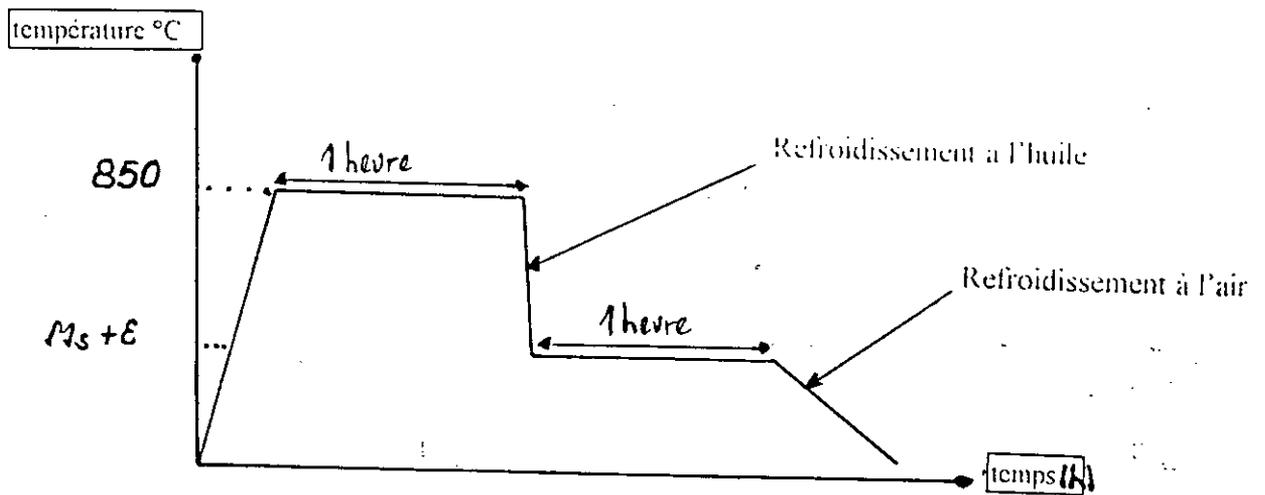


Fig. 36 : traitement isotherme bainitique de type inférieure

## 5.2. Les vis de fixation : Z15C18

Les étapes suivies pour arriver à la structure finale sont présentées au schéma de la figure 37.

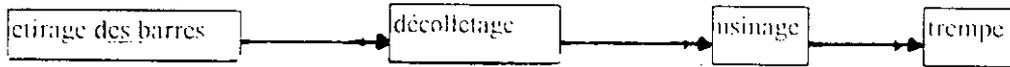


Figure 37 : Gamme de fabrication des vis de fixation

le cycle thermique utilisé pour le traitement thermique est représenté par la figure 38

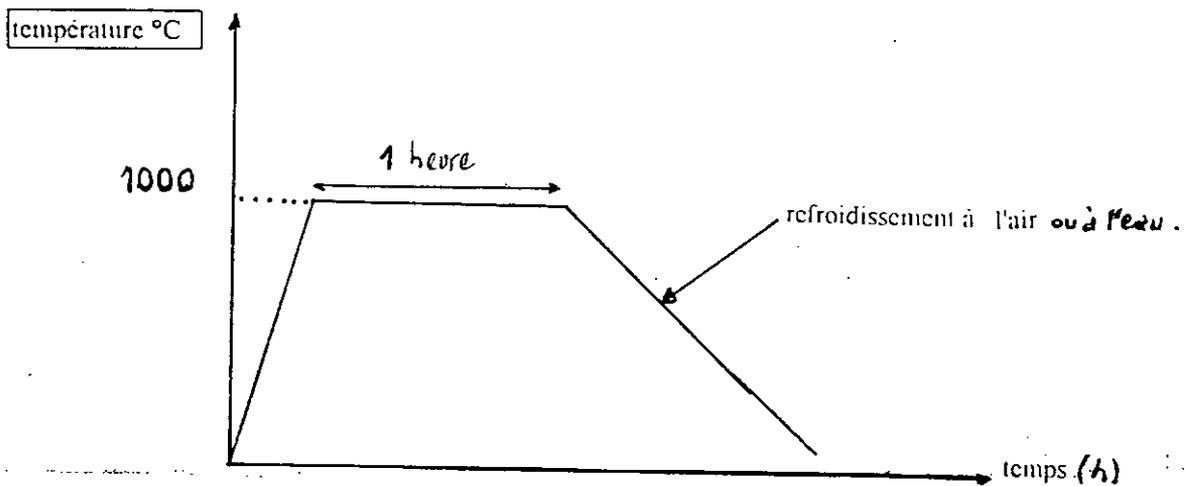


Fig. 38 : Cycle thermique de la vis de fixation (Z15C18).

# CONCLUSION

## CONCLUSION -

Cette étude d'expertise nous a permis d'effectuer des investigations pour élaborer des gammes de fabrication les plus objectives possibles. Avec le peu de moyen existants et la recherche bibliographique, on a réussi à définir et à retrouver les structures de livraison de la ferrure ainsi que les boulons de fixation...

Après un traitement d'équilibre (recuit) d'un échantillon de la ferrure, la structure observée au microscope optique est une structure en bande, très déconseillée avant le forgeage.

Cette structure ne devrait pas apparaître si un recuit d'homogénéisation adéquat a été effectué après l'étirage et avant le forgeage, et si la déformation lors de l'étirage s'est effectuée dans le domaine monophasé.

Ainsi, cette structure en bande est à éviter et même ne peut être utilisée pour une pièce d'aéronautique qui travaille en même temps à la fatigue thermique et mécanique.

Cependant, la structure de livraison étant de type de bainite inférieure conseillée aux conditions de vibration (traction - compression).

Il aurait été souhaitable de ne pas avoir cette structure en bande et d'avoir comme structure finale de bainite inférieure.

Pour les vis de fixation, la structure grossière obtenue à l'état de livraison présente une dureté, plus faible, que celles de l'état de recuit.

Mais nous ne pouvons juger le bon choix du traitement thermique que si l'on connaît les autres caractéristiques mécaniques, tout en restant dans des conditions d'utilisation résultant d'un bon compromis technico-économique.

Notre étude s'est arrêtée à ce niveau. Il est souhaitable pour approfondir cette expertise de :

- déterminer ces caractéristiques mécaniques
- caractériser les structures par des moyens plus adéquats ( diffraction X,....).

## BIBLIOGRAPHIE

- 1- **André Constant , Guy Henry**  
« Les principes de base du traitement thermique des aciers »  
Tome :1 Edition PUY Paris 1990.
- 2- **N. Bouaouadja**  
« Matériaux métalliques »  
Tome : 1 Edition OPU 1992
- 3- **E.C.Bain , H.W..Paxton**  
« Des éléments d'additions dans l'acier »  
2<sup>ème</sup> édition Dunod- Paris 1968.
- 4- **J.Baralis , G.Maeder**  
« Précis de métallurgie »  
5<sup>ème</sup> édition Afnor 1990.
- 5- **C.Chaussin , G. Hilly**  
« Alliage métallique »  
Tome :1.2<sup>ème</sup> édition Dunod 1976.
- 6- **André Roos**  
« Précis de métallographie appliquée »  
Dunod - Bordas. Paris 1963.
- 7- **M.Kissoum**  
« Caractérisation des aciers inoxydables ferritiques et  
austénitiques utilisés en coutellerie »  
P.F.E 1991.
- 8- Technique de l'ingénieur: M 320,M 76.2
- 9- **E.Salhi**  
« Etude de certains aspects métallurgiques des aciers  
XC35,ZCN26-7 et Z5CND19-4-3 soumis à des écrouissages  
performants à froid »  
Magister en physique des matériaux 1985.

## Annexe

### Analyse chimique: [7]

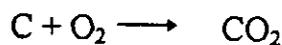
L'analyse chimique a été faite au laboratoire de contrôle de l'entreprise C.V.I. de Rouiba. Les méthodes utilisées dépendent des éléments à analyser:

- Analyse conductométrique pour C,S
- Analyse gravimétrie pour le Si
- Analyse volumétrique pour P, Cr, Mo
- Analyse spectrophotométrique pour Mn.

#### 1- Analyse conductométrique:

##### *Principe:*

Par calcination de la matière au four au environ 1300 °C, et oxydation ultérieure par l'oxydation le carbone et le soufre existants dans le four se transforment en dioxydes



Ces gaz passent par des cellules de mesure conductométriques qui contiennent des solutions de NaOH et H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> / H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> respectivement, cela implique les réactions suivantes



Les concentrations de  $H_2SO_4$  et  $NaOH$  varient donc à l'intérieur des cellules, d'où il se produit une variation de la conductivité par changement de la concentration ionique, la variation conductimétrique est transformée en % de C et S par le bain de circuits électronique de l'appareil, et est affichée.

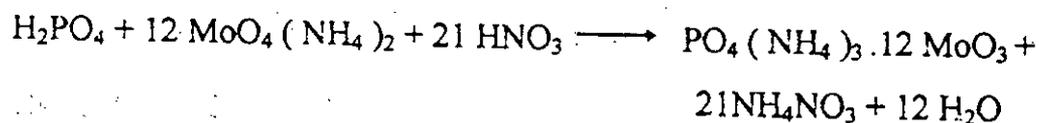
## 2- Analyse volumétrique:

a)- Dosage de phosphore:

### *Principe*

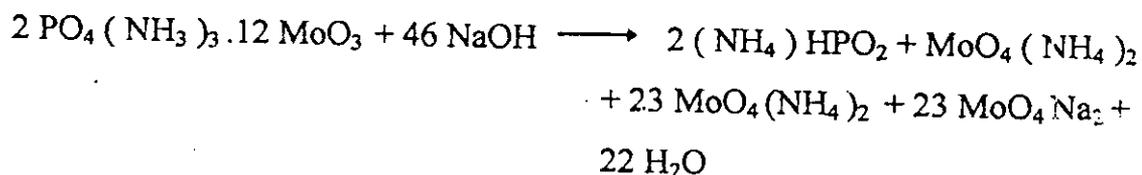
- Le mélange Nitro-Chloro-perchlorique fait passer le phosphore à l'état d'acide phosphorique

- Le réactif molybdénique tartrique précipite l'acide phosphorique sous forme de phosphomolybdane d'ammonium



- On opère à une température voisine de l'ébullition sous la formation d'acide tetremolybdique.

Le phosphomolybdate est formé et déposé alcalométriquement par  $NaOH$  en titrinal



b)- Dosage de chrome:

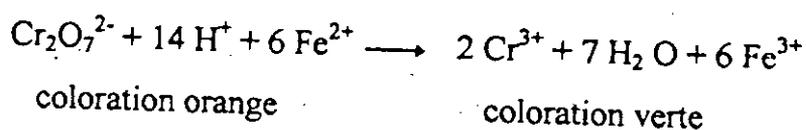
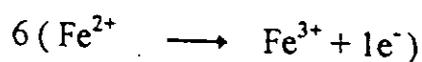
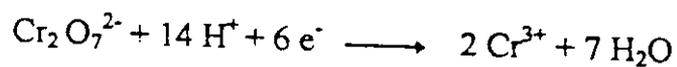
*Principe:*

Transformation redox des substances impliquées avec changement de coloration, ce qui permet de détecter les points d'équivalence.

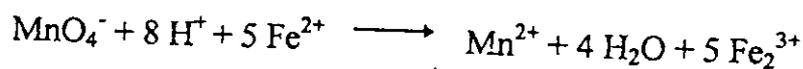
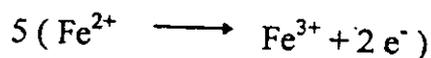
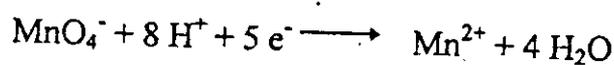
1- Oxydation de  $\text{Cr}^{3+}$  en  $\text{Cr}^{6+}$  avec l'acide perchlorique à chaud



2- Réduction du  $\text{Cr}^{6+}$  à l'aide d'un excès des solutions titrés de  $\text{Fe}^{2+}$



3- Titrage en retours et évolution de l'excès avec le  $\text{MnO}_4^-$



La première goutte d'excès de permanganate colore la dissolution en violet.

### 3- Analyse gravimétrique:

Dosage de Si:

*Principe:*

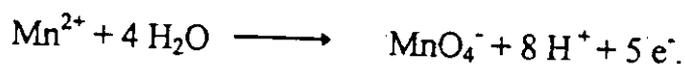
- Attaque par HCl, libérant le Si, et oxydation par  $\text{NH}_3$  et  $\text{HClO}_4$
- Insolubilisation du  $\text{SiO}_2$  en milieu perchlorique.
- Filtration, calcination et pesée de résidu brute.
- Volatilisation du  $\text{SiO}_2$  par HF en présence de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  calcination et pesée.
- Calcul par différence du % en Si: gravimétrie indirecte.

### 4- Analyse spectrophotométrique:

Dosage de manganèse:

*Principe:*

- Mise en solution perchlorique ( le chrome est oxydé et ne gêne pas ultérieurement )
- Oxydation de Manganèse à l'état permanganite



- Détermination spectrophotométrique.