

III.1.Introduction :

L'utilisation des traitements thermiques pour améliorer certaines propriétés mécaniques remontent à des temps très reculés dans l'histoire, mais ce n'est qu'au 18^{ème} siècle qu'ils ont commencé à connaître une étude scientifique fondée sur la recherche. Les métaux en general et les aciers en particulier sont rarement utilisés à leur état brut, car les propriétés mécaniques sont généralement non adéquates pour que l'acier soit utilisé dans les différents domaines tel qu'il est.

Pour cela on doit faire appel aux divers traitements thermiques afin d'améliorer certaines propriétés mécaniques. Les aciers sont apte à subir ces traitements thermiques. Selon que l'acier est allié ou non, le choix du type traitement thermique dépend de la trempabilité c'est à dire l'aptitude de former de la martensite à des vitesses de refroidissement pas très rapides.

En effet, nous on s'intéresse à l'optimisation du temps maintien de revenu après bien sur la trempe de deux types d'aciers, le premier est un acier non allié XC48 (C45 nouvelle norme), et le deuxième est un acier faiblement allié de type 42CD4 (42CrMo4 nouvelle norme).

III.2. Matériau utilisé :

Les aciers utilisés sont de deux types, le premier est un acier non allié (C45), le deuxième est un acier faiblement allié de type (42CrMo4. Leur composition chimique est donnée dessous. Les échantillons sont de forme cylindrique de 20mm de diamètre.

Tableau III.1 : composition chimique de l'acier 42CrMo4.

% C	% Si	%Mn	% P	% S	% Cr	% Ni	%Mo	% Al	% Co	% Cu
0.42	0.20	0.75	0.016	0.074	1.08	0.162	0.185	0.022	0.001	0.0215

Tableau III.2 : composition chimique de l'acier XC48.

%C	% Si	% Mn	% S	% P
0.49	0.38	0.68	0.033	0.034

D'après la composition chimiques des deux types d'acier on peut constater que la trempabilité de l'acier faiblement allié sera meilleure, car l'acier contient plus d'éléments d'alliages qui vont permettre de réaliser une trempe à de petites vitesses de refroidissement .

III.3. Dispositifs utilisés :

Les dispositifs utilisés au cours de la réalisation de ce travail sont disponibles à notre niveau, en particulier la tronçonneuse, les polisseuses, Les fours des traitements thermiques et le microscope métallographique.

III.3.1. le tronçonnage :

La matière première est obtenue sous forme de tige cylindrique de diamètre 20mm. Les échantillons sont coupés à l'aide d'un tour. Les échantillons ont les dimensions suivantes :

- ✓ 20 mm de diamètre.
- ✓ 10 mm de hauteur.



Figure (III.1) : Tour sur lequel on a fait le tronçonnage des échantillons.

III.3.2. Le polissage :

Le polissage est une opération mécanique qui permet d'obtenir une surface très lisse sans courbature ni ondulation afin de réaliser une bonne observation microscopique.

Le polissage est effectué en plusieurs étapes sur différente granulométrie de papier abrasif. Le papier utilisé est de type carbure de silicium (du plus gros au plus fin : 180, 400,

600, 800, 1000, 1200, 2000, 3000 et 5000). Le polissage est effectué sous l'écoulement d'eau distillée afin d'éviter l'échauffement des échantillons.



Figure (III.2) : La polisseuse.

III.3.3. Les fours de traitement thermique :

Pour la réalisation des traitements thermiques on a utilisé deux fours différents (au niveau des laboratoires de genie mécanique). L'un pour la réalisation des traitements de trempe et l'autre pour la réalisation du revenu.



Figure (III.3) : Four de traitement thermique (pour trempe).



Figure (III.4) : Four de traitement thermique (pour revenu).

III.3.4.Machine d'essais Micro et Macro Dureté:

L'essai de dureté a été réalisé à l'institut d'optique et de mécanique de précision de Setif. On a utilisé un duromètre de type Wolpert Wilson Tukon 2 500 Ce duromètre peut être utilisé dans le contrôle des duretés dans le cadre de développement de produits, en fabrication, en traitement thermique et permet l'analyse de nombreux types de produits. Ce système dispose de cellule de force et d'une motorisation asservie en boucle fermée pour une très grande répétabilité dans l'application des charges et une plus grande fidélité de mesure. Le Tukon 2500 dispose d'une tourelle 5 positions pour adapter l'appareil aux différents essais(1 à 2 cellules de force et de 1 à 4 objectifs). Le (ou les) pénétrateur(s) sont montés directement en sortie de cellule de force, pour une plus grande précision de mesure. L'appareil peut fonctionner avec une cellule (soit 05gramme à 1Kg, soit 300grammes à 50Kg) ou avec deux cellules (gamme de 05gr à 50Kg).



Fig(III.5)Machine d'essais Micro et Macro Dureté.

III.4. Traitements thermiques :

Après les différentes étapes de préparation des échantillons, on procède à la réalisation des traitements de trempe et de revenu sur les différents échantillons.

Les échantillons sont chauffés aux températures fixe de trempe : 840°C pendant 30 minutes. Après le maintien de ces échantillons pendant 30min on les trempe dans l'huile ($T=20^{\circ}\text{C}$).

Un échantillon est gardé comme témoin afin de mesurer sa dureté directement après la trempe. Les échantillons trempés dans l'huile subissent des traitements de revenu aux basses températures.

III.5. Essais de durestés :

Après trempe et revenu les échantillons subissent un léger polissage afin d'éliminer la crasse qui se forme dans le four. Une fois polis, les échantillons sont soumis à l'essai de dureté Vickers en choisissant une charge d'indentation donnée.

Après l'indentation on mesure les longueurs des deux diagonales. Le calcul de la dureté est déterminé par la formule suivante :

$$HV = 0.189F/D^2. \quad \text{Où :}$$

F : charge appliquée en N.

D : la diagonale de l'empreinte en millimètres.

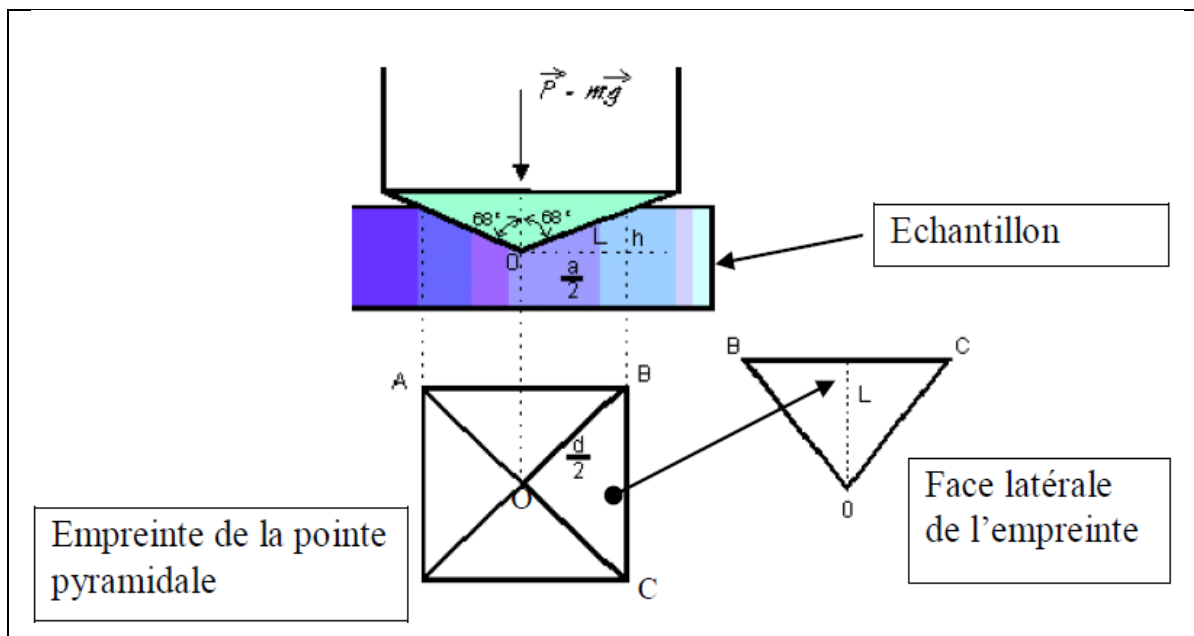


Figure (III.6) : Principe de l'essai de dureté Vickers.

III.6. Le polissage :

Le polissage final est effectué en utilisant la pâte diamantée répartie sur un feutre fin imbibé d'éthanol. Après chaque polissage les échantillons sont nettoyés à l'éthanol ou à l'eau distillée.

III.7. Attaque chimique :

Les examens métallographiques nécessitent au préalable une attaque chimique appropriée pour révéler les joints de grains. La bonne préparation des échantillons permet une bonne observation microscopique. La structure obtenue est formée d'une ou de plusieurs phases selon la composition chimique de l'acier.

Le réactif chimique utilisé dans notre cas (acier faiblement allié et non allié) est la Nital 4% (4 cm³ de HNO₃ et 95 cm³ de alcool ethylique). La durée de l'attaque chimique de l'échantillon est comprise entre 20 et 30 secondes. Cette opération doit être suivie d'un rinçage à l'eau distillée.

III.8. Observation microscopique :

Afin de révéler les différentes phases qui existent avant et après les différentes opérations de traitements thermiques les différents échantillons doivent subir un bon polissage sur des polisseuses conçues pour ça. Une fois le polissage terminé, on doit attaquer chimiquement des échantillons polis dans le but de révéler la microstructure en procédant à l'observation microscopique.

L'examen microscopique des échantillons se fait à l'aide de la réflexion de la lumière. Cette méthode n'est réalisable que sur des surfaces extra-polies « miroir ». L'observation de la microstructure des matériaux testés a été effectuée sur un microscope métallographique figure (III.7) qui permet d'utiliser des grossissements allant de 50 à 1000 fois. Le zoom est utile pour les grossissements intermédiaires. Le microscope métallographique au niveau du laboratoire de mécanique (Université de M'SILA).



Figure (III.7) : Le microscope métallographique.

III.9. Résultats et interpretation:

III.9.1. Essai de dureté :

la charge appliqué **F=100 N**.

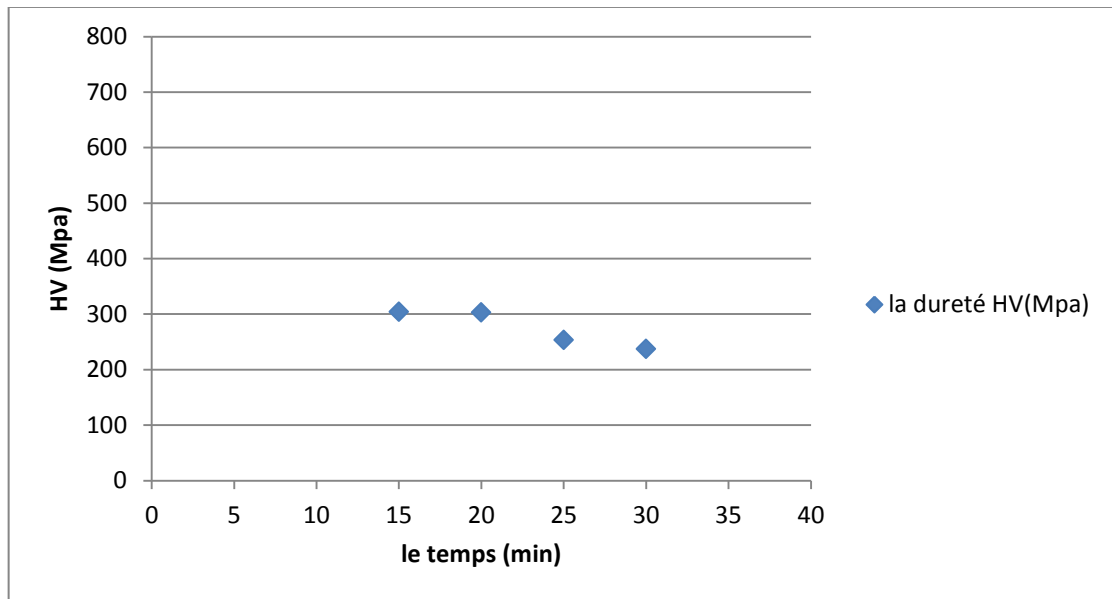
Dans le mémoire d'ingénieur intitulé relation entre microstructure et propriétés mécanique d'un deux type d'acier (faiblement allié 42CrMo4 et non allié C45), il a été constaté que la variation de charge sur la dureté de l'acier n'a pas beaucoup d'influence. Pour cette raison on a choisi une charge moyenne de 100N pour exécuter les essais de dureté Vickers

Les échantillons ont été chauffés aux températures fixes à : 840 °C. Le temps de maintien est fixé pour 30min. Le refroidissement se fait dans l'huile. Le choix des températures est fonction de la teneur en carbone de l'acier. Nos aciers contiennent

des teneurs différentes en carbone le premier (C45) contient à peu près 0.49% C , le deuxième (42CrMo4) contient 0.42%C. Théoriquement, la température de trempe est fixée à $T = A_{C3} + (30 \text{ à } 40)^\circ\text{C}$. Cette température varie de 800°C jusqu'à 840°C. Pour comprendre l'effet du temps de maintien sur le changement de phases aux différentes températures de revenu on a choisi deux températures de revenu après trempe à partir de 840°C dans l'huile. Les températures choisies sont fixées à 300°C et 450°C.

Tableau (III.3) : Présente les duretés mesurées à différents temps de revenu de acier XC48 à 450°C

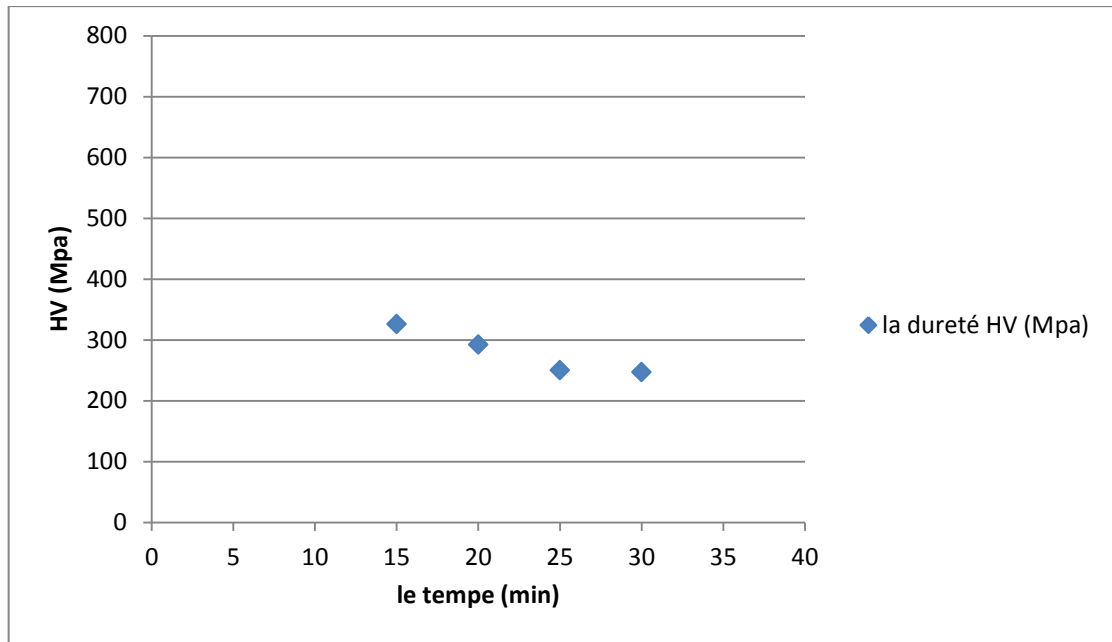
Le tempe de revenu (min)	La dureté HV (MPa)
15	303
20	304
25	253
30	237



Fig(III.8) : la dureté Hv en fonction du temps de maintien à la température de revenu 450°

Tableau (III.4) : Présente les duretés mesurées à différentes temps de revenu de l'acier XC48 à 300°C .

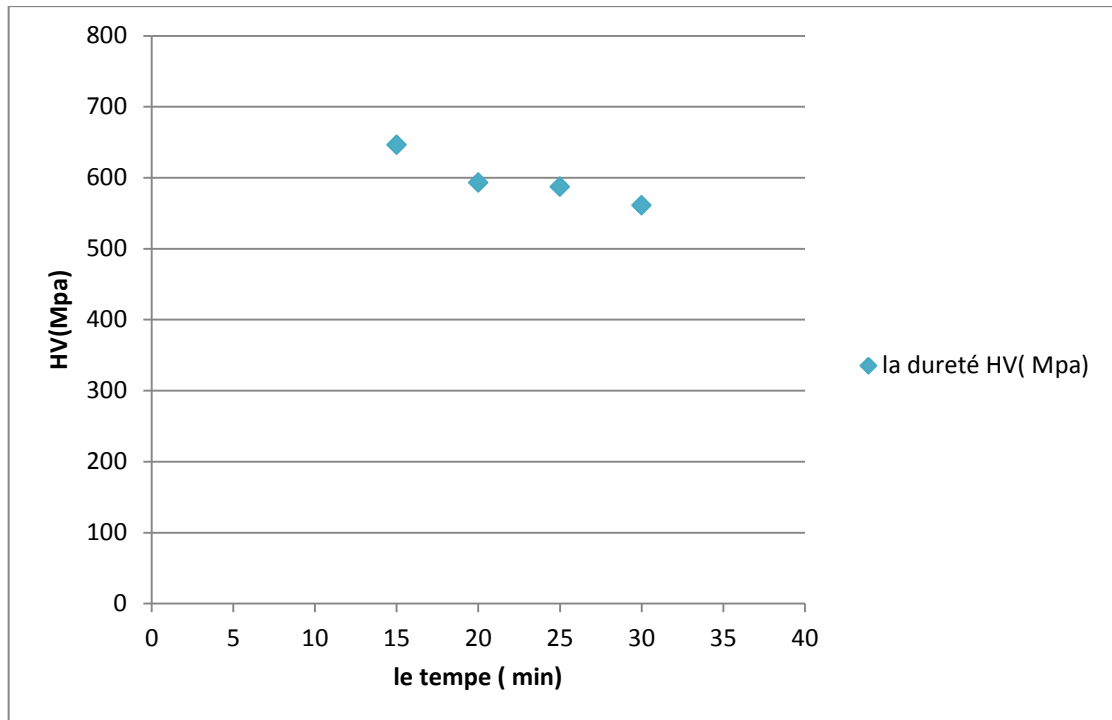
Le tempe de revenu (min)	La dureté HV (MPa)
15	326
20	292
25	250
30	247



Fig(III.9).la dureté Hv en fonction du temps de maintien à la température de revenu 300°C

Tableau (III.5) : Présente les duretés mesurées à différents temps de revenu de acier 42CrMo4 a(450°C) de revenu .

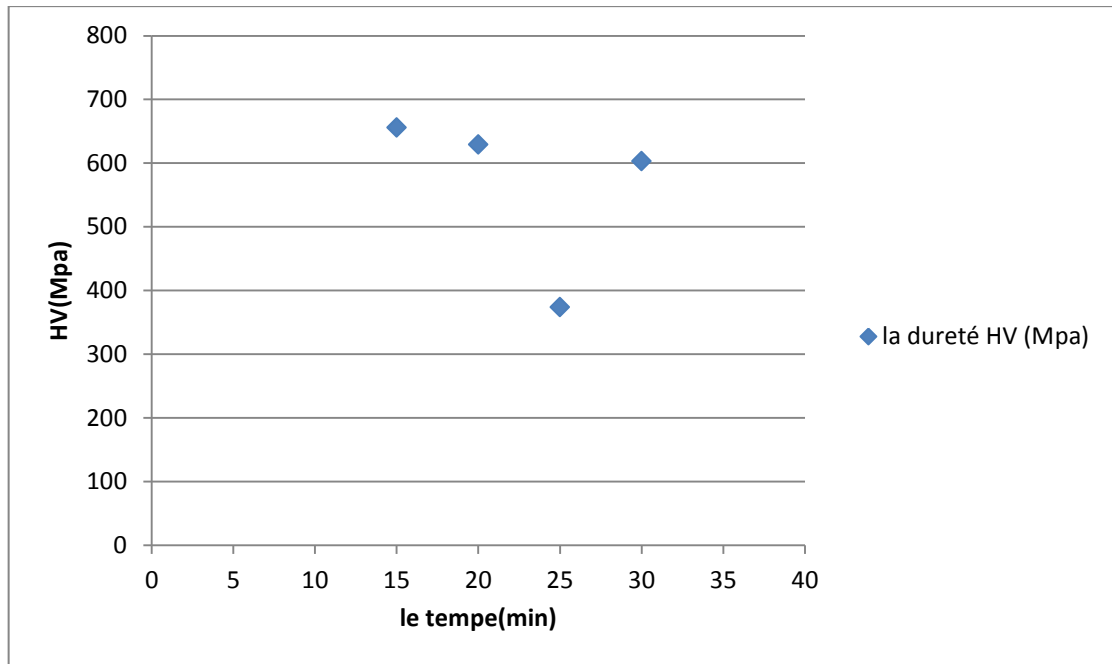
Le temps de revenu (min)	La dureté HV (MPa)
15	646
20	593
25	587
30	561



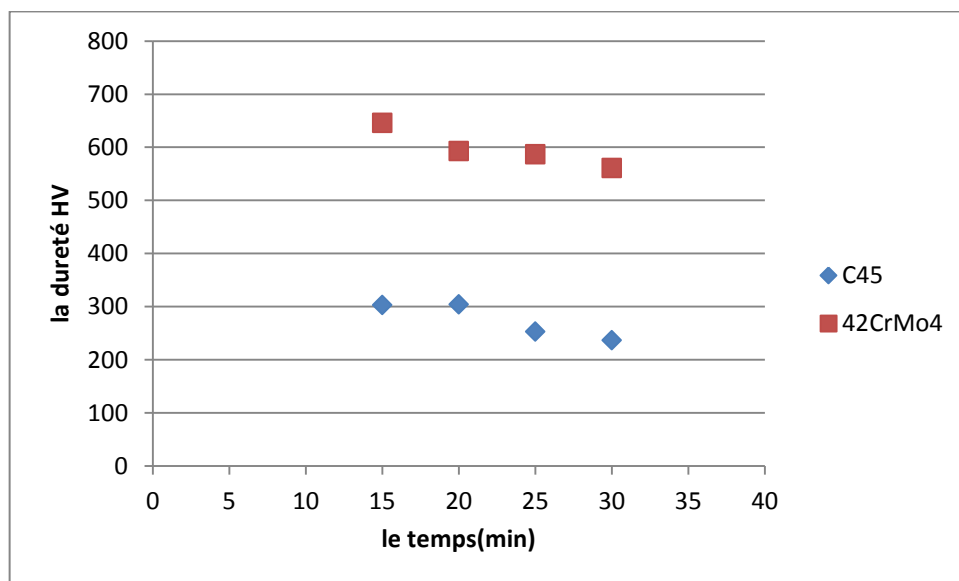
Fig(III.10).la dureté Hv en fonction du temps de maintien à la température de revenu 450°C

Tableau (III.6) : Présente les duretés mesurées à différents temps de revenu de acier 42CrMo4 a(300°C) de revenu .

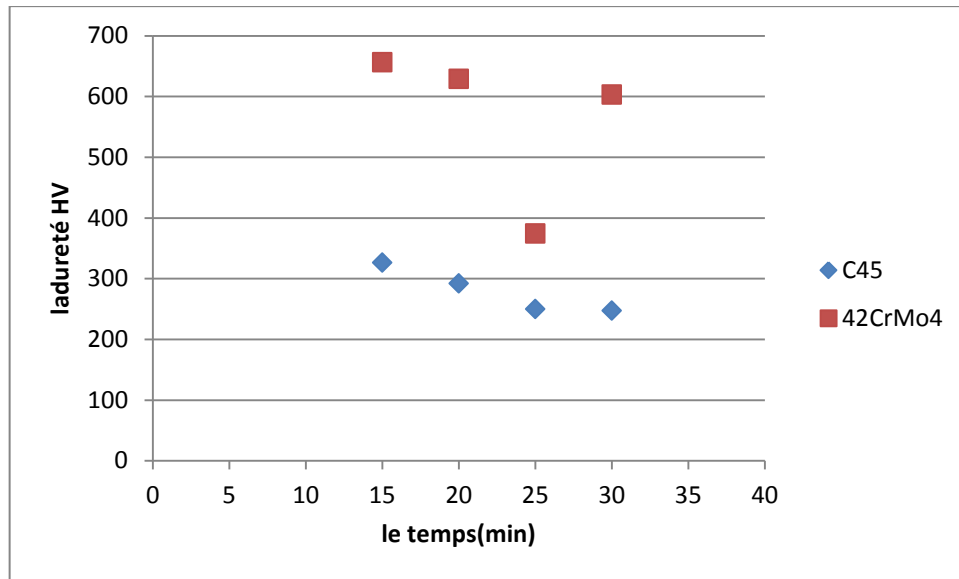
Le tempe de revenu (min)	La dureté HV (MPa)
15	656
20	629
25	374
30	603



Fig(III.11).la dureté Hv en fonction du temps de maintien à la température de revenu 300°C



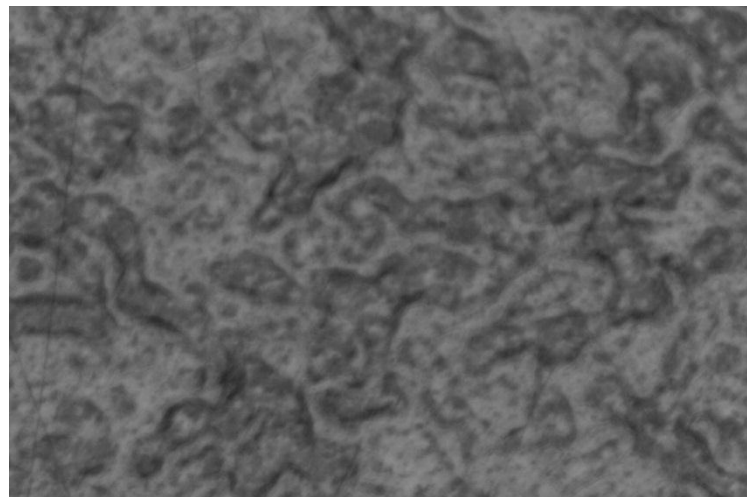
Fig(III.12) la dureté Hv en fonction du temps de maintien à la température de revenu 450°C
(C45et42CrMo4)



Fig(III.13) la dureté Hv en fonction du temps de maintien à la température de revenu 300°C

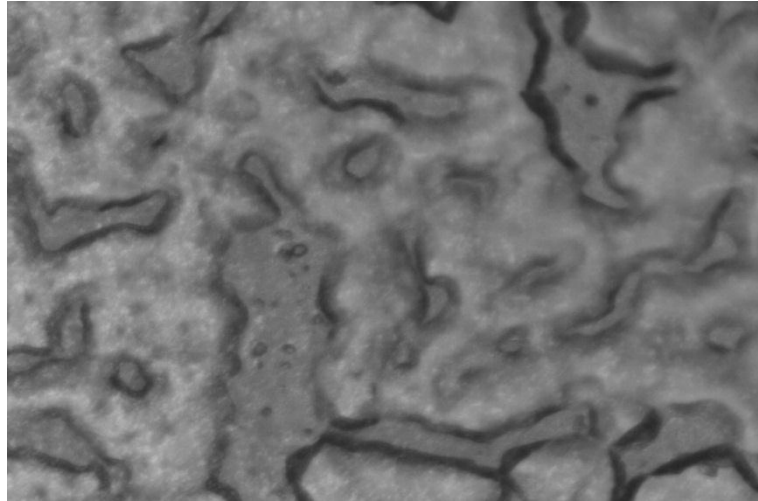
(C45 et 42CrMo4)

III.9.2. Microstructure structure d'échantillon:



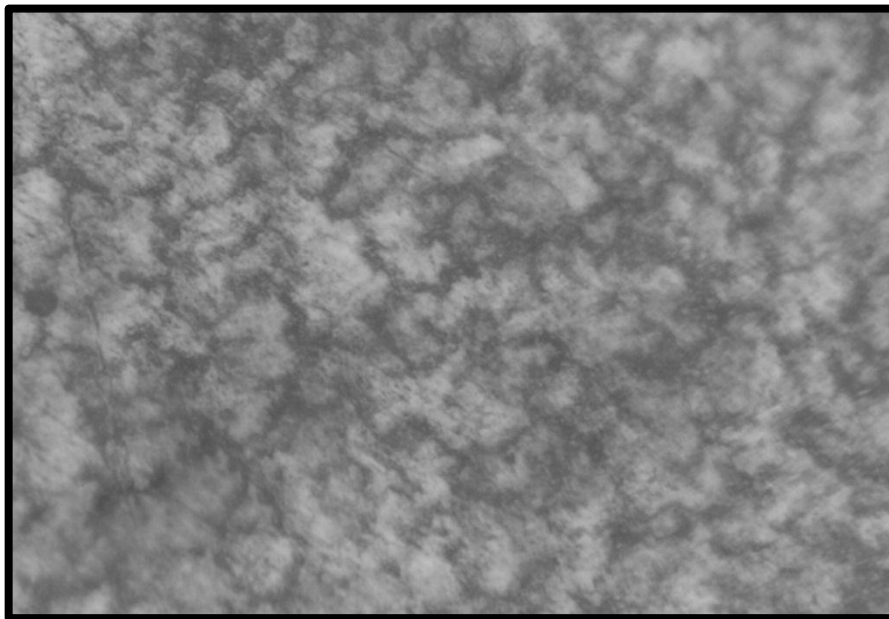
Grossissement 200.

Figure (III.14) : Microstructure d'échantillon revenue (42CrMo4) T=300°C-après 15(min).



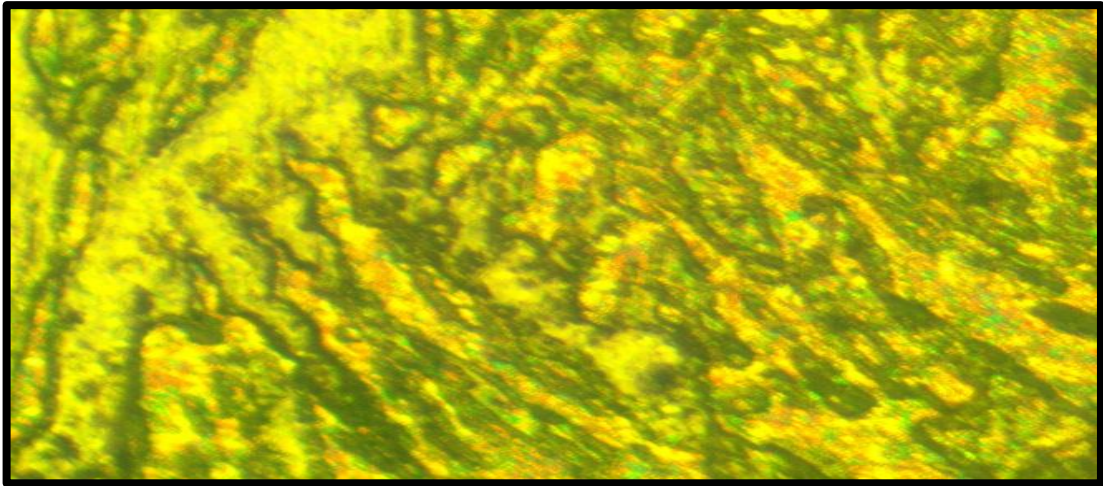
Grossissement 200.

Figure (III.15) : Microstructure d'échantillon revenue (XC48) $T=300^{\circ}\text{C}$ -après 15(min).



Grossissement 200.

Figure (III.16) : Microstructure d'échantillon revenue (XC48) $T=450^{\circ}\text{C}$ -après 15(min).



Grossissement 200.

Figure (III.17) : Microstructure d'échantillon revenu (42CrMo4) $T=450^{\circ}\text{C}$ -après 15(min).

III.11: Résultats et discussions

L'acier ordinaire est un alliage fer carbone dont le carbone constitue l'élément de base. Il contient des éléments d'alliages qui ne sont pas ajoutés volontairement. Pour le cas des aciers alliés, ils contiennent au moins un troisième élément métallique en proportion suffisante pour permettre une modification sensible de l'ensemble des propriétés mécaniques.

Presque tous les aciers subissent des traitements thermiques. Les traitements thermiques ordinaires ont pour objectif d'influer sur la structure et sur la morphologie des phases constituantes. Il est à noter aussi la relation entre le changement de phases durant les différents traitements thermiques et les propriétés mécaniques. Changer la structure implique directement le changement des propriétés.

Dans ce travail nous nous intéressons à étudier l'effet du temps de maintien de revenu après trempe de deux types d'aciers, l'un non allié de type XC48 (C45), le deuxième est un acier faiblement allié de type 42CrMo4.

Théoriquement, tous les aciers peuvent subir des traitements de trempe. La vitesse de refroidissement dépend en premier lieu de la trempabilité des aciers. En effet, la trempe des aciers non alliés est suivie d'un revenu qui est effectué en trois stades. Cela dépend des exigences demandées. En résumé, le premier stade est compris entre 100 et 150°C qui a pour objectif de diminuer la fragilité de la martensite en diminuant l'effet des contraintes résiduelles sans changer la structure martensitique. Le deuxième stade qui est compris entre 150 et 300°C conduit au début de la transformation de la martensite en ferrite et cémentite. Par contre le troisième stade compris entre 300 et 450°C permet une transformation presque complète de la martensite en ferrite et en cémentite très fine. Au delà de 450°C les plaquettes de cémentite grossissent progressivement. Si on prend le cas des aciers alliés, la transformation est analogue aux basses températures, mais au delà de 450°C la cémentite Fe_3C se dissout, le carbone libéré se combine aux éléments alliés comme dans notre cas (le

chrome), pour former des carbures plus stable et plus durs. On dit que l'acier a subi un durcissement structural.

Cependant, après la procédure expérimentale qui consiste à étudier l'effet du temps maintien de revenu sur la résistance à la dureté Vickers de deux types d'aciers. Le choix de l'acier entre le cadre d'une étude qui a été faite et réalisée en deux étapes. La première étude consistait à étudier l'influence du milieu de refroidissement sur la transformation de phases, la deuxième étude consistait à optimiser la température de trempe d'un acier faiblement allié de type 42CrMo4. Sur la base de ces deux études, on a essayé d'optimiser le temps de maintien de revenu. Le choix de la température de revenu a été fait sur le fait que la transformation de la martensite est toujours en cours, car à $T=300^{\circ}\text{C}$ et 450°C la transformation de la structure est toujours en évolution.

Sur la base de tout cela, on va discuter les résultats obtenus après les différentes étapes expérimentales. On essaye de faire une comparaison entre les résultats obtenus après revenu à 300°C et 450°C pour l'acier C45. Il est bien clair pour les deux cas que la dureté Hv diminue légèrement chaque fois qu'on diminue le temps de maintien. Les valeurs des duretés sont presque semblables pour les deux températures de revenu. Cela peut être expliqué par le fait que la structure martensitique est en cours de transformation et que les nouvelles phases formées c'est-à-dire la ferrite et la cémentite sont en cours de stabilisation voir micrographes figures(III.13et III.14). La légère diminution de dureté après avoir varier le temps est dû essentiellement à la coalescence de la cémentite. D'après les deux courbes des figures (III.8) et (III.9) il est à noter la diminution de la dureté Vickers lorsque le temps de maintien atteint 25 min puis elle devient constante au delà de cette période. On suppose que ce temps est suffisant pour permettre un adoucissement de l'acier C48. Dans la pratique on utilise un temps de maintien équivalent à 30 min. D'après les résultats obtenus on peut affirmer que 25 min sont suffisantes pour permettre d'obtenir une structure douce, et par la un acier doux qui peut être utilisé en construction mécanique.

En ce qui concerne l'acier faiblement allié 42CrMo4, on peut apporter les faits suivants : les courbes présentent la même allure pour les deux cas, c'est à dire plus le temps de maintien à la température de revenu augmente et plus la dureté Vickers diminue. La diminution est aussi légère comparée au cas de l'acier non allié. On sait que les éléments carburigènes tels que le chrome par exemple favorisent la formation de carbures plus stables et plus durs comparés à la cémentite (Fe_3C). Cela est bien remarqué dans les figures (III.15)et (III.13)L'acier 42CrMo4 contient à peu près 1% de chrome. Cette quantité est suffisante pour former des carbures de chrome qui ont un effet positif sur l'amélioration de la dureté Vickers. Les micrographes de cet acier confirment la présence de ces carbures (fig :III.13) de couleur très sombres répartis en surface. En effet, la figure(III.11) montre l'effet du temps de maintien de revenu sur la dureté Vickers de l'acier 42CrMo4 à la température 300°C . La dureté est maximale après un maintien de 15 min puis elle subit une légère diminution lorsque le temps de maintien croît. On peut remarquer qu'au delà de 20 min la dureté reste presque constante malgré une petite diminution pendant 30 min. Cette légère chute n'a pas beaucoup d'influence sur la stabilité de la dureté et par conséquent on peut dire que 25 minutes est largement suffisante pour obtenir les propriétés optimales de dureté. La même remarque peut être

donnée dans le cas de l'acier revenu à 450°C, sauf cette fois ci on note la chute brutale de la dureté (374 Hv) après 25 min de maintien. On peut expliquer cette diminution brusque à la présence peut être à cet endroit d'une phase ductile comme la ferrite ou bien du à une anomalie dans le four de traitement. Malgré ça, on peut dire que le meilleur temps maintien est compris entre 20 et 30 min.