

1/95

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE DEPARTEMENT METALLURGIE

******PROJET FIN D'ETUDE******

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
BIBLIOTHEQUE — المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

SUJET:

**OPTIMISATION DES PARAMETRES D'UN
TRAITEMENT THERMIQUE DES ACIERS UTILISES
DANS LA FABRICATION DES TUBES ETIRES**

PROPOSE PAR:

ANABIB P.T.S/ TES

DIRIGE PAR:

Mme:BOUALI

ETUDIE PAR

Mr:BOUDEROUA MOHAMED

promotion juin 95

E.N.P. 10 AVENUE HACEN BADI EL HARRACH ALGER

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE DEPARTEMENT METALLURGIE

******PROJET FIN D'ETUDE******

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
BIBLIOTHEQUE — المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

SUJET:

**OPTIMISATION DES PARAMETRES D'UN
TRAITEMENT THERMIQUE DES ACIERS UTILISES
DANS LA FABRICATION DES TUBES ETIRES**

PROPOSE PAR :

ANABIB P.T.S/ TES

DIRIGE PAR.

Mme:BOUALI

ETUDIE PAR

Mr:BOUDEROUA MOHAMED

promotion juin 95

E.N.P. 10 AVENUE HACEN BADI EL HARRACH ALGER

Dédicaces

*Je dedie ce mémoire
A mes très chers parents
A mon frère et sa femme
A mes soeurs
A les petites (Yousra et Amel)
A mes amis
et à tout ceux que j'aime*

****Bouderoua Mohamed***

REMERCIEMENT

Je tiens à remercier madame BOUALI pour sa collaboration précieuse à la réalisation de ce modeste travail.

Je remercie également Mr M.BOUTCHBEK et MR DIZAIDI pour leur excellent accueil qui m'a été réservé, pour les moyens mis à ma disposition, et pour l'aide qu'ils m'ont apporté durant la réalisation de ce projet.

-Tous mes remerciements également à Mr LARIBI et Mr KASSER professeurs du département métallurgie pour leurs conseils sans oublier les professeurs du département qui ont contribué à ma formation.

Je remercie également Mr ZOUYED chef de service de laboratoire de S.N.V.I.UFR

Je n'oublie pas à remercier :

Mr:K .TOUFOUTL, Mr M.TEMZOUR, A.BENKADDOUR pour leurs aides en informatique

-----0-0-----0-0-----

SOMMAIRE



INTRODUCTION.....	1
--------------------------	----------

PARTIE THEORIQUE

Chapitre I : Déformation plastique à froid des métaux.....	2
1-1. Introduction.....	2
1-2. Mécanisme de déformation plastique.....	2
1-3. Influence des différents paramètres.....	5
1-3-1. Influence de la température.....	5
1-3-2. Influence de la vitesse de déformation.....	5
1-3-3. Influence de la taille des grains.....	5
1-3-4. Influence des éléments d'alliages.....	7
1-4. Influence de l'érouissage sur la structure et les propriétés physiques et mécaniques.....	7
1-4-1. Evolution de la structure.....	7
1-4-2. Modification des propriétés physiques.....	8
1-4-3. Modification des propriétés mécaniques.....	8
Chapitre II : Recuit des aciers.....	11
2-1. Définition.....	11
2-2. Différents types de recuit.....	11
2-2-1. Recuit de d'homogénéisation.....	11
2-2-2. Recuit de régénération.....	12
2-2-3. Recuit complet.....	12
2-2-4. Recuit de normalisation.....	12
2-2-5. Recuit de sphéroïdisation ou de globulisation.....	13
2-2-6. Recuit de restauration et de recristallisation.....	13

Chapitre III : Restauration et recristallisation	14
3-1. Introduction	14
3-2. Restauration	14
3-3. Recristallisation primaire.....	15
3-4. Croissance des grains.....	17
3-5. Evolution de la structure au cours du recuit.....	17
3-6. Evolution de la résistivité électrique au cours du recuit.....	18
3-7. Evolution des propriétés mécaniques.....	18
Chapitre IV : Procédé de mise en forme des tubes	20
5-1. Fabrication des tubes ébauches.....	20
5-2. Traitement thermique.....	20
5-3. Traitement de surface.....	21
5-4. Etirage à froid des tubes d'acier.....	21
5-4-1. Force d'étirage.....	22
5-4-2. Filière d'étirage.....	22
5-4-3. Mandrin.....	24

PARTIE EXPERIMENTALE

Chapitre V : Techniques expérimentales	27
5-1. Matériau utilisé.....	27
5-1-1. Définition du four.....	28
5-1-2. Traitement thermique effectué.....	28
5-1-3. Etape de l'étirage.....	31
5-2. Première partie.....	32
5-2-1. Essais mécaniques.....	33
5-2-2. Etude métallographique.....	33

5-3. Deuxième partie.....	34
5-3-1. Prélèvement des échantillons.....	34
5-3-2. Traitement thermique.....	34
5-3-3. Essais mécaniques.....	35
5-3-4. Etude métallographique.....	35
Chapitre VI : Résultats et interprétations.....	36
6-1. Résultats de la première partie.....	36
6-6-1. Essais mécaniques.....	36
6-6-2. Observation métallographique.....	38
6-2. Résultat de la deuxième partie.....	41
6-2-1. Essais mécaniques.....	41
6-2-2. Observation métallographique.....	46
6-3. Interprétations.....	53
6-3-1. Première partie.....	53
6-3-2. Deuxième partie.....	53
6-4. Optimisation des paramètres.....	58
CONCLUSION.....	62
BIBLIOGRAPHIE.....	63

LISTE DES ABREVIATIONS UTILISEES

- A: l'allongement
D: taille moyenne des grains en mm
d: diamètre du tube en mm
e: l'épaisseur du tube en mm
F: la charge
HRB: dureté rockwell
q: poids linéaire kg/m
 R_e : limite élastique DN/mm²
 R_m : résistance à la rupture DN/mm²
S: surface annulaire en mm²
T: température en °C
t: temps min
 ϵ : déformation réel
 σ_c : contrainte conventionnelle
 σ_r : contrainte rationnelle

INTRODUCTION

L'étirage des tubes est classé parmi les procédés de déformation à froid. Ce procédé comme tant d'autres procédés de déformation à froid, nécessite une bonne aptitude à la déformation.

Pour cela, on admet un traitement de recuit en vue d'obtenir une structure plus adoucie s'avère indispensable pour avoir une bonne aptitude à la mise en forme. Il est nécessaire du point de vue économique d'optimiser les paramètres (températures, temps) de ce traitement.

L'objet de notre étude est d'optimiser les paramètres de recuit avant l'étirage.

Dans le présent travail nous avons examiné l'évolution des propriétés mécaniques et structurales lors du recuit avec des températures et temps de maintien différents et ce pour des deux nuances d'acier non alliés, utilisés à la fabrication des tubes étirés.

PARTIE THEORIQUE

CHAPITRE: I

*déformation plastique à froid
des métaux*

CHAPITRE I

DEFORMATION PLASTIQUE A FROID DES METAUX

1-1 Introduction :

Lorsqu'un métal est soumis à des efforts supérieurs à sa limite élastique, celui-ci subira une déformation plastique permanente, cette déformation conduit généralement à des changements de propriétés physiques et mécaniques.

1-2 Mécanisme de déformation plastique :

La déformation plastique à froid est ^{dûe} essentiellement au mouvement des dislocation par glissement.

La déformation par glissement consiste en un cisaillement d'un fragment du cristal sur l'autre partie suivant un plan cristallographique, ce plan étant déterminé par la ligne L et le vecteur de *Burgers* b de la dislocation.

Le tableau suivant résume les différents systèmes de glissement pour chaque structure cristalline.

Structure cristalline	Direction	Plan de glissement
C.F.C	$\langle 110 \rangle$	(111)
C.C	$\langle 111 \rangle$	(110), (112), (123)
H.C	$\langle 1120 \rangle$	(0001), $(10\bar{1}1)$, $(10\bar{1}0)$, (101)

Tableau 1 : Les systèmes de glissement des différentes structures cristallines [1].

Considérons un monocristal soumis à une traction uniaxiale fig. (1-1), la cission selon une direction de glissement dans un plan de glissement est telle que [9] :

$$\tau = \frac{F \cos x}{S_o / \cos \lambda} = \frac{F}{S_o} \cos x \cos \lambda \quad (2-1)$$

où :

X_o : angle entre plan de glissement et l'axe de l'éprouvette

λ_o : angle entre F et la direction de glissement

S_o : section normale de l'éprouvette

$\sin x_o \cos \lambda_o$: facteur de Schmidt.

Le glissement se produit lorsque : $\sigma = \sigma_e$

ce qui donne

$$\tau = \sigma_e \cos x \cdot \cos \lambda = \tau_e \quad (2-2)$$

La valeur τ_e appelé cisaillement critique.

Il existe un autre mode de déformation plastique c'est le maclage, qui consiste à un changement d'orientation d'une partie du cristal par rapport à l'autre dans le plan de maclage, ce mode de déformation est largement remarqué dans les métaux où le système de glissement est très limité tel que le système cristallin H.C.

Il faut noter que lors de la déformation plastique, les métaux durcissent par écrouissage. Les dislocation générées par la déformation plastique deviennent de plus en plus

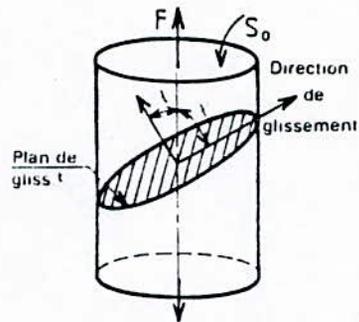


Fig (1.1) - Définition des angles du facteur de Schmid [9].

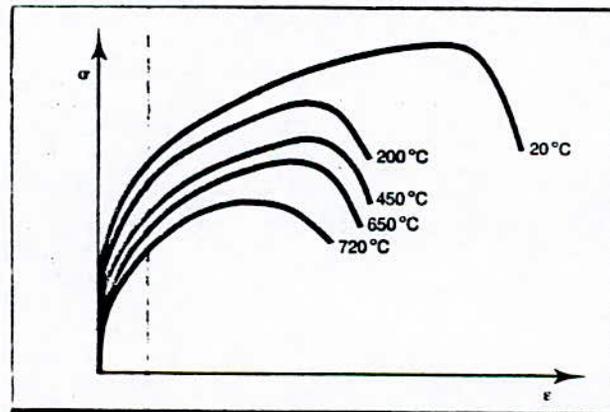


Fig (1.2)- Evolution de la courbe contrainte-déformation en fonction de la température d'un acier inoxydable [10].

nombreuses, et plus rapprochées en bloquant leur mouvements mutuels et donc provoquant le durcissement.

1-3 Influence des différents paramètres :

1-3-1 Influence de la température de déformation :

Une augmentation de la température favorise l'aptitude au glissement du métal . ce qui entraîne une diminution de la limite élastique et de la dureté ainsi qu'une diminution de l'allongement à la rupture.

La figure (1-2) montre l'influence de la température sur le comportement en traction d'un acier inoxydable.

1-3-2 Influence de la vitesse de déformation :

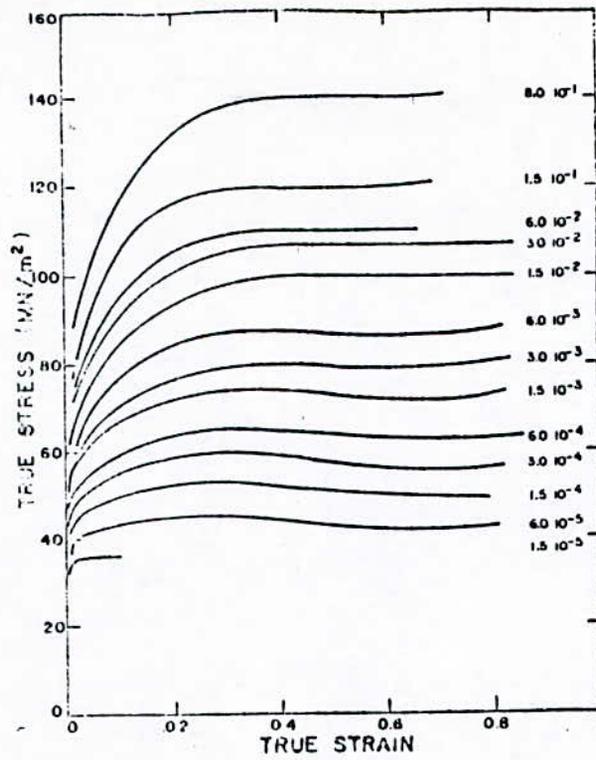
La vitesse de déformation joue le rôle inverse de celui de la température de déformation, car une augmentation de vitesse a généralement pour effet de réduire les possibilités de glissement dévié des dislocations et donc sur l'écrouissage.

Cet effet n'a pas une grande importance à basse température, la figure (1- 3) montre l'influence de la vitesse de déformation sur le comportement en traction du fer Armco.

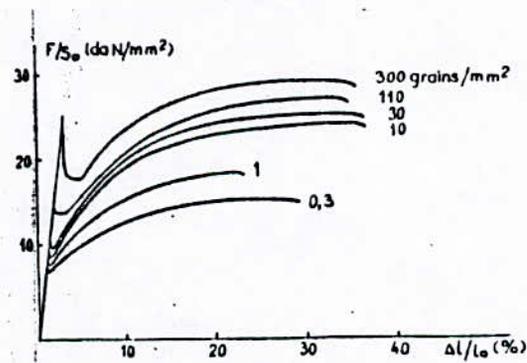
1-3-3 Influence de la taille des grains:

La taille des grains agit également sur le comportement plastique des métaux, en effet, la limite élastique est d'autant plus élevée que la taille des grains est plus petite, cette dépendance est exprimée par la relation de **Hall et Patch** [1].

$$\sigma_{el} = \sigma_o + K_y D^{-1/2} \quad (2-3)$$



Fig(1.3)- Evolution de la courbe contrainte-déformation du fer Armco pour différentes vitesses de déformation [4].



Fig(1.4)- Courbe de traction à l'ambiante du fer à 0.2% de carbone en fonction du diamètre moyen du grains [4].

où :

σ_0, K_y : sont des constantes

D : le diamètre moyen des grains.

La figure (1-4) montre l'influence de la taille des grains sur le comportement en traction du fer à 0,2 % de carbone.

1-3-4 Influence des éléments d'alliages :

Les éléments d'alliages et les impuretés jouent un rôle important dans l'aptitude à la déformation plastique des métaux. La façon dont ces éléments sont répartis (solution solide, zone de GP, précipités) a une grande influence sur la limite élastique et sur la consolidation.

1-4 Influence de l'écroutissage sur la structure et les propriétés physiques et mécaniques :

1-4-1 Evolution de la structure :

Pendant la déformation plastique, chaque grains du métal subi un glissement de plusieurs tranches parallèles.

Pour les métaux de faible énergie de défaut, la densité de dislocations augmente constamment avec la déformation. Par contre pour d'autres métaux de forte énergie de défaut, il se produit par un début de restauration dynamique un équilibre partiel entre le nombre de dislocations créés à chaque instant, et le nombre de dislocations qui s'annihilent.

A cet équilibre correspond la formation d'une structure cellulaire, les écheveaux de dislocations se dressent de façon à former des parois de dislocations.

La structure cellulaire obtenue après un écrouissage dépend beaucoup du métal, elle est d'autant plus parfaite que le métal présente une forte énergie de défaut.

La figure (1-5) représente la modification de la structure au cours de déformation à froid.

I-4-2 Modification des propriétés physiques :

Toutes les propriétés sensibles à la perfection cristalline sont modifiées au cours de l'écrouissage.

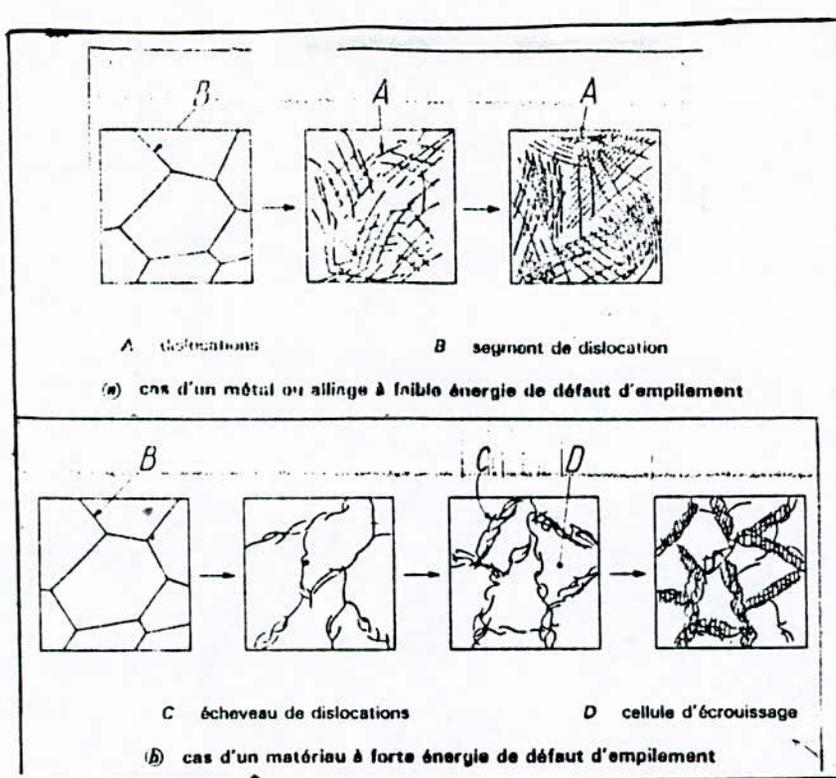
La densité diminue au cours de l'écrouissage, mais cette diminution est irrégulière car la présence de la porosité peut perturber les résultats.

L'écrouissage augmente la résistivité électrique, cette augmentation est due à la présence des défauts ponctuels (interstitiels, lacunes).

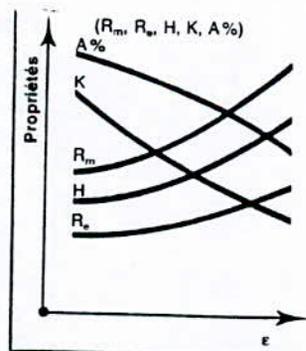
1-4-3 Modification des propriétés mécaniques :

L'écrouissage à froid entraîne une augmentation de la résistance du métal à la déformation (limite élastique, résistance à la rupture, dureté, résistance au fluage), ainsi qu'une diminution de l'allongement à la rupture.

La figure (1-6) montre l'évolution des propriétés mécaniques en fonction de l'écrouissage.



Fig(1.5)- Modification structurales subis au cours de la déformation à froid [5].



Fig(1.6)- Evolution des propriétés mécanique en fonction de taux d'érouissage [10].

Il faut noter que l'érouissage peut influencer sur le phénomène de la corrosion, soit par l'intermédiaire de contraintes internes (corrosion sous tension) soit par la présence d'une précipitation formée dans la structure déformée.

CHAPITRE:II
recuit des aciers

CHAPITRE II

RECUIT DES ACIERS

2-1 Définition :

Le recuit est un traitement thermique qui a pour but le retour à un équilibre physico-chimique et structurale.

Le traitement thermique comporte :

- Un chauffage jusqu'à une température de recuit;
- Un maintien isotherme à cette température;
- Un refroidissement à l'air calme ou au four.

2-2 Différents types de recuit :

2-2-1 Recuit d'homogénéisation :

Les aciers bruts de coulée ou les aciers moulés possèdent généralement une hétérogénéité chimique, cette hétérogénéité est néfaste pour les transformations ultérieures (laminage à chaud).

Il est nécessaire d'éliminer ou de réduire cette hétérogénéité, pour cela on fait appel à un recuit d'homogénéisation. Il consiste à maintenir le métal dans le domaine austénitique.

La température d'homogénéisation est en général comprise entre 1000 et 1200°C pour assurer la diffusion [9].

2-2-2 Recuit de régénération :

Les aciers moulés, les aciers forgés à haute température, les zones voisines des joints soudés, ou les pièces ayant subi un traitement d'homogénéisation, possèdent généralement des structures surchauffées avec de gros grains.

On affine les grains par un chauffage, légèrement au dessus de A_{c3} ; on obtient ainsi une austénité avec de petits grains qui, par refroidissement, conduit à une structure ferritique fine.

2-2-3 Recuit complet :

Il s'applique à des aciers ayant subis des traitement thermiques et mécaniques variés. Pour améliorer leur aptitude à l'usinage ou à la déformation à froid.

Il consiste à un maintien à une température au dessus de $A_{c3}(A_{c3}+50^{\circ})$ avec un maintien pas très long, suivi d'un refroidissement relativement lent à l'air ou au four.

2-2-4 Recuit de normalisation :

Ce traitement permet à la fois d'affiner les grains d'un acier et d'homogénéiser sa structure.

Il consiste essentiellement à une austénisation à une température au dessus de $A_{c3}(A_{c3} + 50^{\circ}C)$ suivi d'un refroidissement à l'air, et donc il ne peut être applicable si un effet de trempe peut se manifester (acier autotrepant).

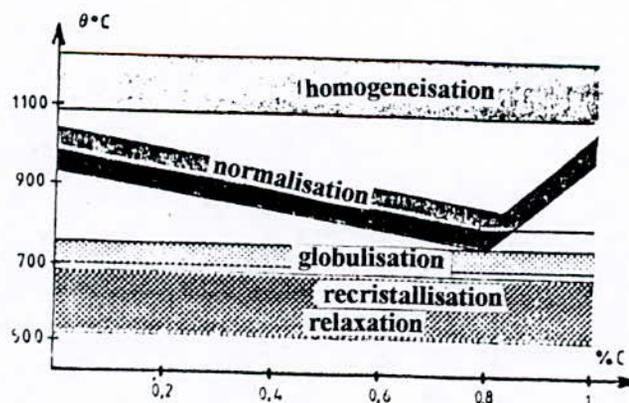
2-2-5 Recuit de sphéroïdisation ou de globulisation :

En vue d'améliorer l'aptitude à la mise en forme à froid, on procède à un recuit de globulisation ou de sphéroïdisation. Ce recuit consiste à un chauffage juste au dessus de A_{c1} , suivi d'un maintien prolongé. Ce maintien peut être suivi d'une série de refroidissement et de chauffages dans un intervalle de température qui ne dépasse pas $A_{c3} \pm 50^\circ\text{C}$, le refroidissement devra être lent de façon à obtenir une coalescence poussée de la cémentite.

2-2-6 Recuit de restauration et de recristallisation :

Ce traitement est utilisé pour améliorer les propriétés mécaniques obtenues après l'écroutissage. Deux phénomènes peuvent se manifester au cours du traitement, ce sont les phénomènes de restauration et de recristallisation qui font l'objet du chapitre suivant.

La figure (2-1) représente les différentes zones usuelles des principaux types de traitement de recuit pour les aciers.



FIG(2.1) -Zones usuelles des principaux types de traitement[9]

CHAPITRE: III

restauration et recristalisation

CHAPITRE III

RESTAURATION ET RECRISTALLISATION

3-1 Introduction :

Lorsqu'un matériau métallique subit une déformation plastique (à froid ou à chaud) une partie du travail de déformation est dissipée sous forme d'énergie, le métal ainsi obtenu est dit écroui, sa structure est thermodynamiquement instable (énergie maximale). Si ce métal est chauffé à une température suffisamment élevée, il tend à retourner à sa structure stable (énergie minimale).

Cette énergie d'activation emmagasinée dans le métal est la force motrice provoquant la recristallisation.

Le retour vers un état stable se fait par trois étapes :

- 1- Restauration;
- 2- Recristallisation primaire;
- 3- Croissance des grains (recristallisation secondaire).

3-2 Restauration :

La restauration est un processus d'adoucissement, qui se produit sans création de nouveaux grains, mais seulement avec réduction du nombre de défauts atomiques, autrement dit c'est un réarrangement des atomes dans une configuration de moindre énergie. Ceci est effectué à une température inférieure à celle de la recristallisation sans modification visible au microscope optique.

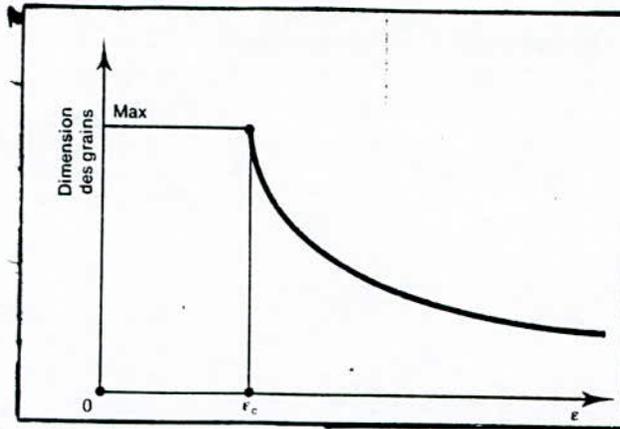
Au cours de la restauration les dislocations de signes opposées s'annihilent, tandis que les dislocations de mêmes signes se réarrangent de manière à former une nouvelle configuration plus stable. Ce réarrangement s'effectue en parois normales à leur vecteur de *Burgers* (dislocation coin). Le cristal sera formé par de petits blocs légèrement désorientés, les uns par rapports aux autres, ce processus porte le nom de polygonisation.

3-3 Recristallisation primaire :

Ce phénomène est caractérisé par la germination de nouveaux cristaux réparties d'une manière homogène, dont l'orientation cristalline est très différentes de celle des grains déformés. Les nouveaux grains ainsi formés se développent jusqu'à ce qu'ils envahissent la structure écrouie, à ce moment la recristallisation (*primaire*) est terminée et le métal a retrouvé pratiquement ses propriétés mécaniques qu'il avait avant l'écrouissage.

La recristallisation est gouvernée par certaines lois[1]:

1. La recristallisation ne peut se produire qu'après une certaine déformation minimale, dite écrouissage critique figure(3-1)
2. La température de recristallisation est d'autant plus basse que le temps de recuit est plus long.
3. La température de recristallisation est d'autant plus élevée que la déformation est faible.
- 4 Plus la dimension des grains initiaux est grande, plus la déformation requise pour produire la recristallisation est élevée.
5. La taille des grains après recristallisation décroît lorsque le taux de déformation augmente figure (3-2).
6. Plus la pureté du métal est élevée, plus la température de recristallisation est basse.



FIG(3.1) -Ecroissage critique ,diametre des grains en fonction du taux de déofmation [10]

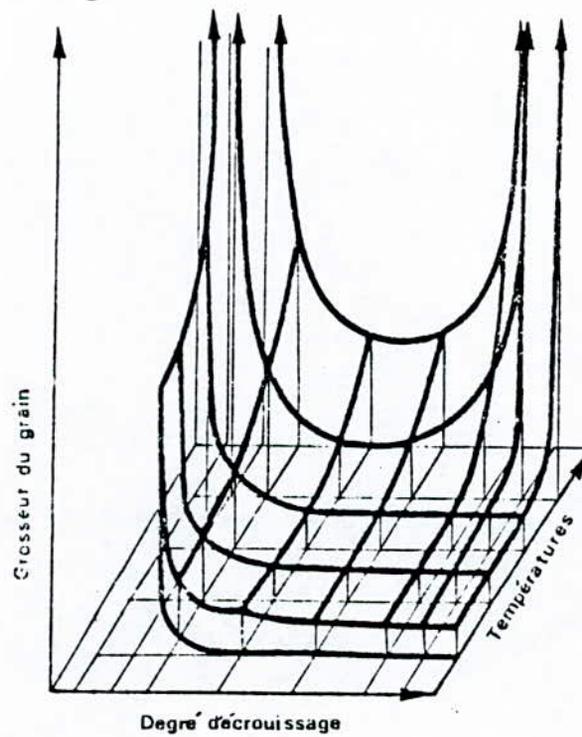


Fig (3.2) Diagramme donnant r_e grain en fonction du degré d'ecroissage et de la température de recuit [4].

3-4- Croissance des grains (Recristallisation secondaire):

Lorsque la recristallisation primaire est terminée, la force motrice de la recristallisation n'existe plus, cependant, le métal n'existe plus dans son état d'équilibre, car il contient encore par rapport au monocristal un excès d'énergie (sous forme de joints de grains). La force motrice est alors l'énergie intégrale des joints.

Un certain mouvement de joint provoque le grossissement du grain, ce mouvement est accompagné d'une diminution de la surface totale du joint et donc d'une réduction de l'énergie de surface.

Evolution de la taille moyenne des grains en fonction du temps de recuit peut s'exprimer par la formule[7]:

$$D = D_0 + K_a t^n \quad (4-1)$$

avec:

K_a : constante déterminée expérimentalement.

n : constante comprise entre 0.3 et 0.5.

D_0 : diamètre initial du grain

t : temps de recuit

3-5 Evolution de la structure au cours d'un recuit:

Au cours d'un recuit d'une structure écrouie les grains déformés (allongés dans le cas d'étirage par exemple) sont remplacés progressivement par des nouveaux grains.

La restauration entraîne une réduction du nombre de défauts atomiques (interstitiels et lacunes), et une diminution de la densité de dislocations introduites par l'écrouissage.

3-6- Evolution de la résistivité électrique au cours du recuit:

Le recuit de restauration conduit généralement à une diminution de la résistivité électrique, cependant le retour à la valeur initiale ne se produit qu'après un recuit de recristallisation.

3-7- Evolution des propriétés mécaniques au cours du recuit:

L'évolution des propriétés mécaniques ne se produit qu'à des températures relativement élevées. On distingue deux types de métaux:

-Les métaux à forte énergie de défauts dont le réarrangement des dislocations est facile, une restauration notable des propriétés mécaniques avant la recristallisation est observée.

-Les métaux à faibles ou moyenne énergie de défauts, le réarrangement de dislocations est difficile, les propriétés mécaniques n'évoluent qu'au cours de la recristallisation.

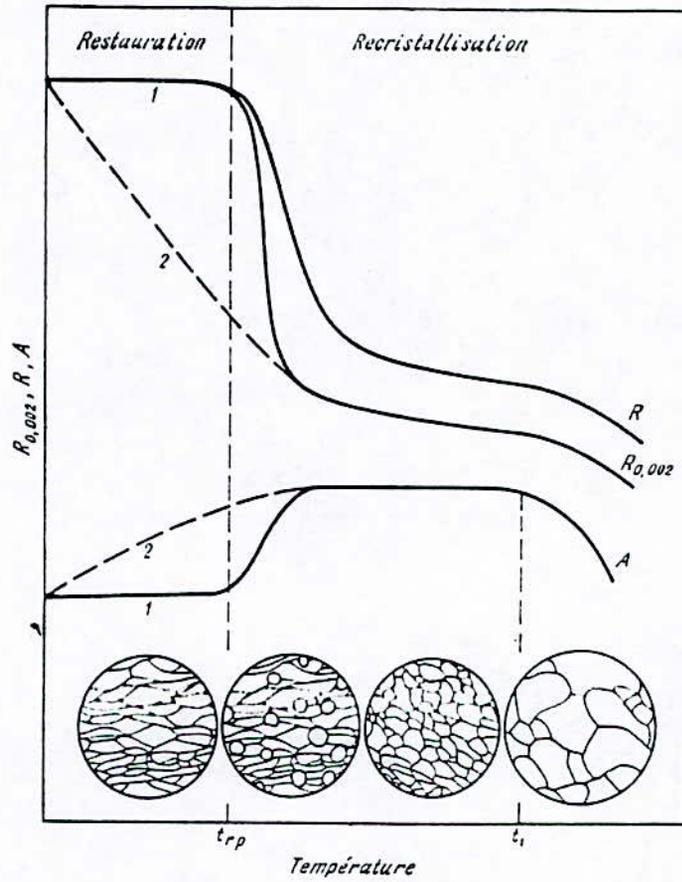


Fig (3.3) Influence du chauffage sur les propriétés mécanique et la structure par déformation [12].

CHAPITRE:IV

procédé de mise en forme des tubes

CHAPITRE IV

PROCEDE DE MISE EN FORME DES TUBES

4-1 Fabrication de tubes ébauches :

Le tube ébauche est fabriqué à partir d'un feuillard défini par une largeur et une épaisseur. La bobine fille est déroulée sur un dérouleur soudé en bout-à-bout avec la bobine précédente et emmagasinée dans un accumulateur spiral afin de permettre la marche continue de la ligne à tube. Ensuite le feuillard passe par un ensemble de galets formeurs par passes successives pour donner la forme du tube par rapprochement des deux lèvres.

Les deux lèvres ainsi rapprochées sont soudées par fusion sans métal d'apport. Le cordon de soudure est raclé extérieurement et intérieurement à l'aide d'outils racleurs.

Le tube ainsi formé va passer par des galets calibreurs afin de lui donner ses dimensions finales, ensuite une tronçonneuse automatique va couper le tube à la longueur préprogrammé.

4-2 Traitement thermique :

Le traitement thermique est appliqué en vue d'éliminer ou de réduire les effets d'érouissage, et de mettre le métal dans un bon état pour la déformation à froid.

Le traitement de recuit s'effectue dans un four à tunnel dans lequel les tubes sont introduits avec une vitesse bien déterminée. Cette vitesse dépend de plusieurs paramètres :

- De la production (de 2000 kg/h quel que soit le type de tube.

- Du diamètre de tube et de son épaisseur
- Du nombre de tubes par nappe
- Du coefficient de remplissage.

Le recuit blanc se fait dans une atmosphère réductrice qui donne une protection contre l'oxydation des tubes et éventuellement une réduction des oxydes formés.

Le refroidissement se fait également en atmosphère protectrice.

4-3 Traitement des surfaces :

Le traitement des surfaces est appliqué pour éliminer les oxydes et les graisses qui peuvent gêner l'opération d'étirage.

Ce traitement comporte :

- Un décapage à l'acide sulfurique avec inhibiteur à 70°C
- Rinçage à l'eau tiède 45°C à l'eau froide
- Phosphatation avec Zinc 80°C ÷ 85°C.
- Rinçage neutralisant 70°C
- Lubrification 85 - 90°C

4-4 Etirage à froid des tubes d'acier :

L'étirage des tubes est un procédé de formage à froid qui permet la réduction de la section, de l'épaisseur et du diamètre, et ceci par traction et allongement à travers une filière et un mandrin.

La figure (4-1) présente le principe et le procédé technologique de l'étirage.

Sur l'extrémité du tube on réalise une soie afin de permettre son introduction dans la filière, pour pouvoir le prendre par les mors du serrage, le diamètre du tube après étirage correspondant à celui de la soie.

4-4-1 Force d'étirage :

L'opération de l'étirage nécessite un effort supérieur à la limite élastique d'acier à étirer, sans dépasser la charge à la rupture. La force de l'étirage est exprimée par la relation [13] :

$$F = R_m/4 \left[(q_0/q) \lambda \right] \text{ (tonne)} \quad (4-1)$$

avec

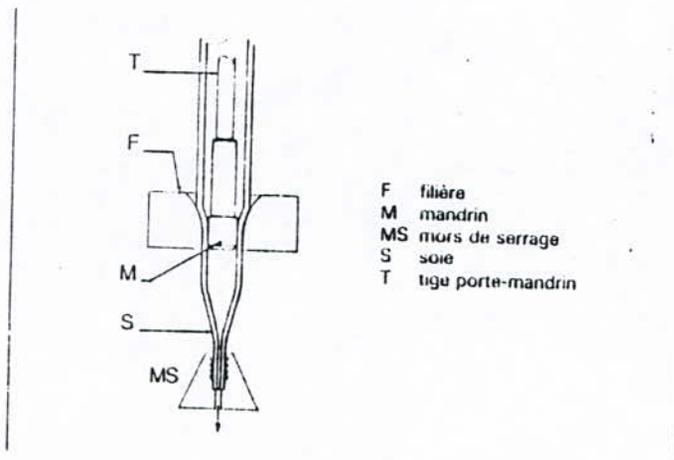
$$\lambda = q_0/q$$

λ : l'allongement

Le banc d'étirage offre la possibilité d'étirer n tubes à la fois sans que $n.F \geq 25 \text{ tonnes}$ (25 tonnes : capacité du banc) pour $F > 25t$ il faut augmenter le nombre de passe [13].

4-4-2 Filière d'étirage :

L'étirage se fait à travers une filière en acier à très haute résistance à l'usure, elle permet de calibrer le diamètre extérieur de tube et donne une bonne qualité de la surface.



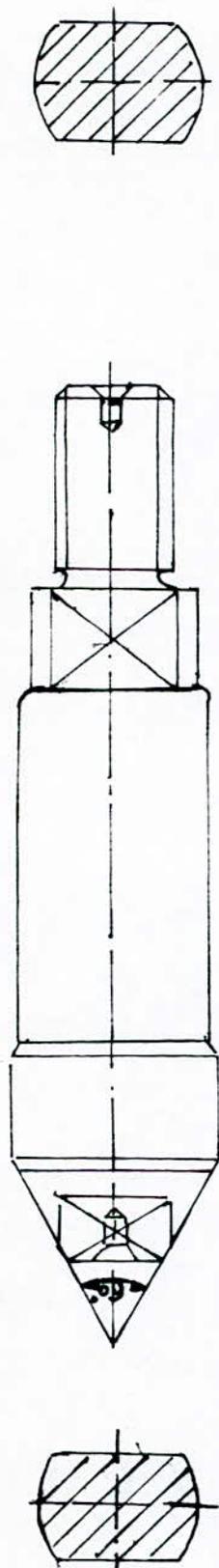
FIG(4.1) -Principe et procédé technologique de l'étirage[8]

4-4-3 Mandrin :

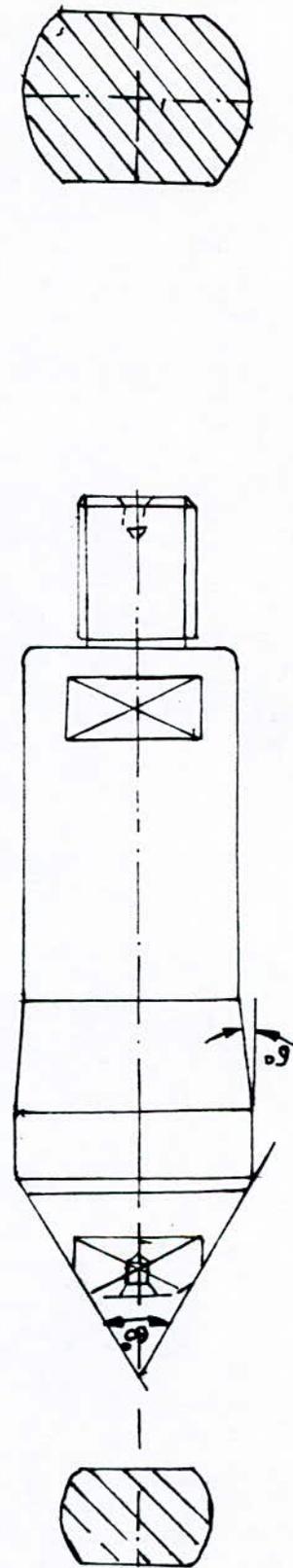
Le mandrin est fabriqué par un acier à très haute résistance à l'usure, il permet de calibrer le diamètre intérieur de tube. Il existe plusieurs types de mandrins parmi lesquels on distingue :

- 1- Mandrin cylindrique fig 4-2
- 2- Mandrin bionique.

MANDRIN CYLINDRIQUE



MANDRIN BICONIQUE



FIG(4.2) -mandrin cylindrique et biconique[13]

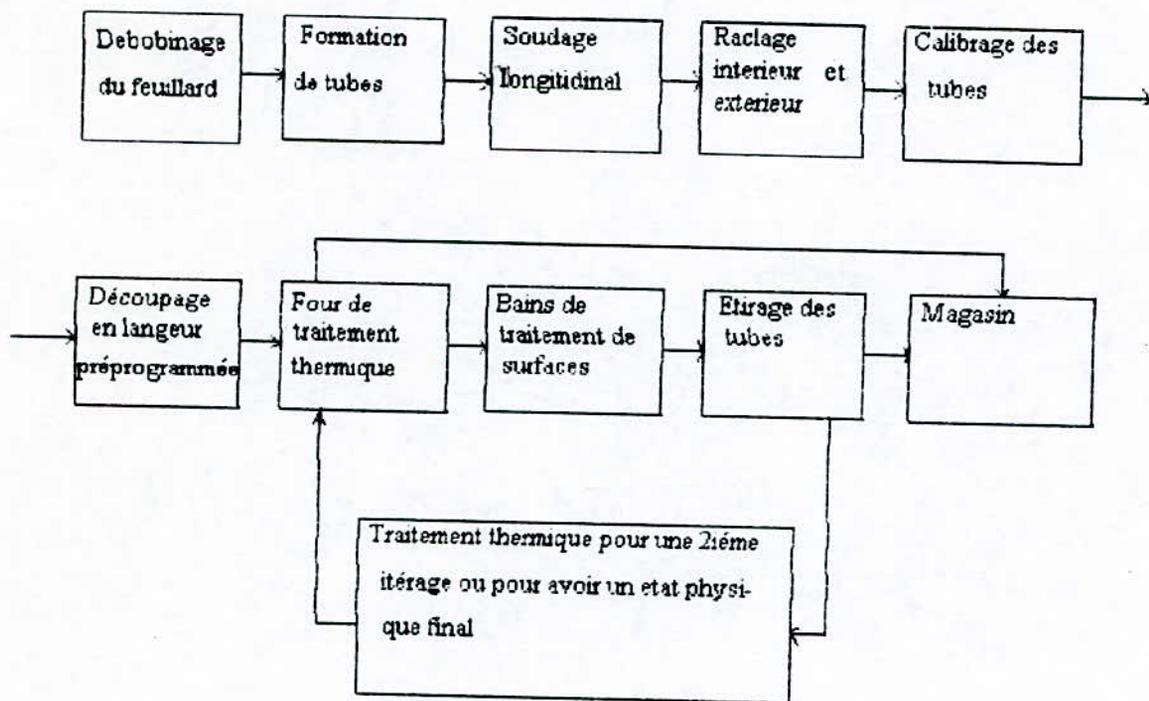


Figure 4.3. Schéma générale de la fabrication des tubes.

**PARTIE
EXPERIMENTALE**

CHAPITRE: V

techniques expérimentales

CHAPITRE V

TECHNIQUES EXPERIMENTALES

5.1 MATERIAU UTILISE :

Notre étude a porté sur deux types de nuances d'aciers au carbone non alliés se sont A 37.2 et A34.2. Les deux aciers sont utilisés pour la fabrication des tubes étirés à l'entreprise nationale de fabrication des tubes minces de Reghaïa.

La composition chimique de ces deux aciers selon la norme NF A35 - 501 est montré dans le tableau n°2.

nuances	C% max		P% max		S%max		N ₂ % max	
	coulée	produit	coulée	produit	coulée	produit	coulée	produit
A 37.2	0,17	0,21	0,045	0,055	0,045	0,055	0,008	0,009
A 34.2	0,16	0,20	0,045	0,055	0,045	0,055	0,008	0,009

Tableau n°2 La composition chimique selon la norme NF- A35 - 501

Une analyse chimique a été faite sur ces aciers à SNVI unité de fonderie a donnée les résultats suivants. Tableau n°3

nuances	C	S	P	Si	Cr	Al	Cu	Mn	Fe
A 37.2	0,12	0,021	0,036	0,036	0,071	0,035	0,022	0,53	99,12
A 34.2	0,10	0,024	0,030	0,032	0,070	0,029	0,020	0,67	98,99

Tableau n°3 : Composition chimique des deux aciers.

Cette analyse a été effectuée à l'aide d'un spectromètre sauf la teneur en carbone qui a été déterminée par la méthode "Conductométrique".

Ces analyses montrent que les deux aciers ont pratiquement la même composition chimique et sont aussi pauvres en éléments d'alliages.

La nuance A37.2 est utilisée pour la fabrication de tubes ébauches 76,1 x 4 mm, c'est à dire 76,1 mm de diamètre et 4 mm d'épaisseur. La seconde nuance A34.2 est utilisée pour la fabrication des tubes ébauches (45 x 2 mm).

Ces deux aciers vont subir un traitement thermique de normalisation sous atmosphère contrôlée (recuit blanc)

5.1.1 Définition du four

Le four utilisé pour ce traitement est de type à rouleaux avec zones de refroidissement à caissons étanches. Le refroidissement se fait par circulation d'eau. Ce four se compose d'une carcasse métallique très robuste exécutée en toles soudées. L'ensemble du chauffage est divisé dans la longueur en 3 zones indépendantes, dont les dimensions sont indiquées dans la figure (5.1)

Un ensemble d'accessoires est relié à ce four en vue d'appliquer l'atmosphère contrôlée. Ces accessoires sont indiqués dans la figure (5.2).

Il faut noter que l'atmosphère exo-riche contient les gaz suivants :

CO, H₂, CO₂, N₂

5.1.2 Traitement thermique effectué

Le traitement thermique consiste à faire passer les tubes à travers le four cité précédemment, dont les températures des trois zones sont successivement 760, 860, 920 °C .

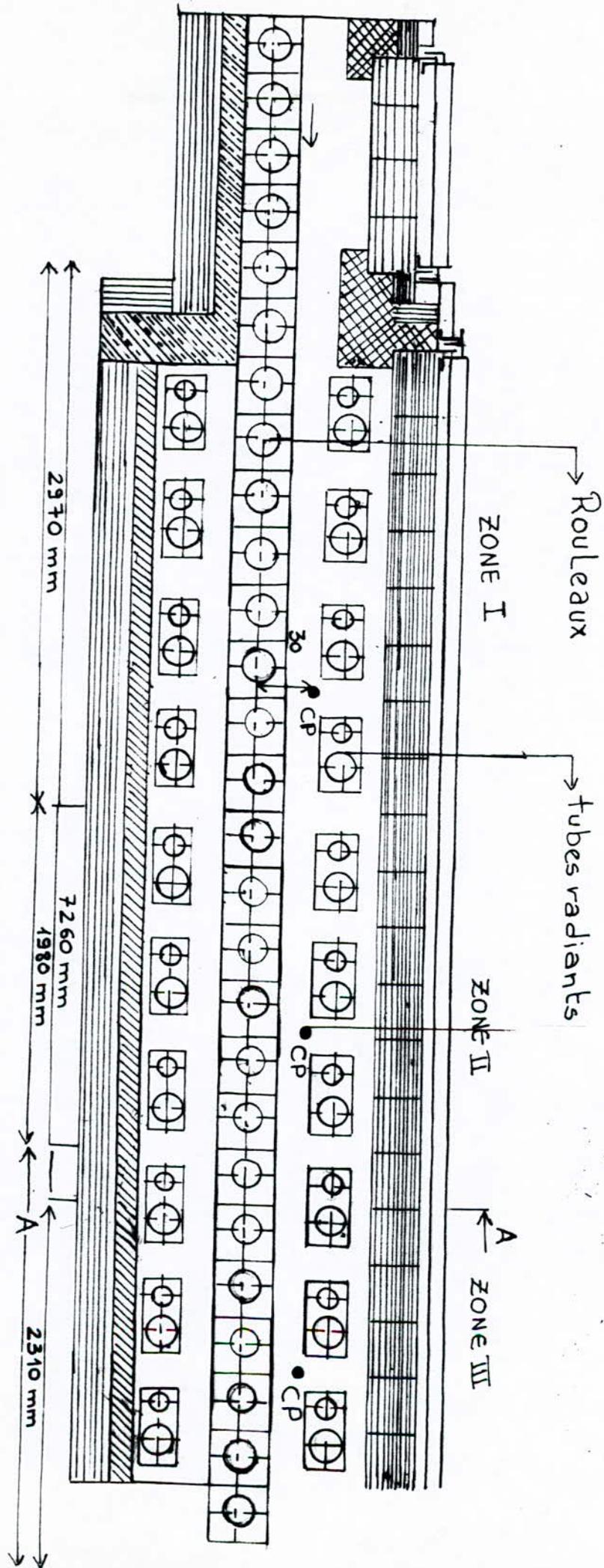
La vitesse de déplacement des tubes 76,1 x 4mm est constante et égale à 20,0 m/h [13].

Par un simple calcul on peut déterminer le temps de maintien global ainsi que celui de chaque zone.

- Temps de maintien global : 22 minutes
- Temps de maintien dans la zone 1 : 9 minutes
- Temps de maintien dans la zone 2 : 6 minutes
- Temps de maintien dans la zone 3 : 7 minutes

La vitesse de déplacement des tubes 45 x 2mm est fixée à 32,5 m/h [13] ce qui donne :

- Temps de maintien global : 13,5 minutes
- Temps de maintien dans la zone 1 : 5,5 minutes



Fig(5.4) VUE INTERIEUR DU FOUR

- Temps de maintien dans la zone 2 : 3,5 minutes

- Temps de maintien dans la zone 3 : 4,5 minutes

5.1.3 Etape de l'étirage

Les tubes 76,1 x 4 mm ainsi traités subiront un seul étirage, les tubes étirés ont pour diamètre 69,7 et 3,65 mm d'épaisseur (69,5 x 3,65)

$$\begin{aligned} \text{donc } \Delta d &= 76,1 - 69,7 \\ \Delta e &= 4 - 3,65 = 0,35 \text{ mm} \end{aligned}$$

la section initiale $S_0 = \pi e (d - e)$
 $= 3,14 \times 4 (76,1 - 4) = 905,5 \text{ mm}^2$

la section finale $S_1 = 3,14 \times 3,65 (69,7 - 3,65) = 756,9 \text{ mm}^2$
ce qui donne une réduction

$$\frac{S_0 - S_1}{S_0} \times 100 = \frac{905,5 - 756,9}{905,5} \times 100 = 16,4 \%$$

Après l'étirage, les tubes vont subir un traitement thermique (recuit blanc) afin d'obtenir les propriétés désirées.

De l'autre côté les tubes 45 x 2 subiront deux étirages successifs (sans traitement thermique).

Après le premier étirage, on obtient les tubes (38 x 1,5)
donc :

$$\begin{aligned} \Delta d_1 &= 45 - 38 = 7 \text{ mm} \\ \Delta e_1 &= 2 - 1,5 = 0,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

Les sections :

$$\begin{aligned} S_0 &= \pi e_0 (d_0 - e_0) \\ S_0 &= \pi e_0 (d_0 - e_0) = 3,14 \times 2 (45 - 2) = 270 \text{ mm}^2 \\ S_1 &= \pi e_1 (d_1 - e_1) = 3,14 \times 1,5 (38 - 1,5) = 172 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

ce qui donne une réduction :

$$\frac{S_0 - S_1}{S_0} \times 100 = \frac{270 - 172}{270} \times 100 = 36,3 \%$$

Après le deuxième étirage, on obtient les tubes (32 x 1,2)

donc :

$$\begin{aligned}\Delta d_2 &= 38 - 32 = 6 \text{ mm}^2 \\ \Delta e_2 &= 1,5 - 1,2 = 0,3 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

La section finale :

$$\begin{aligned}S_2 &= \pi e_2(d_2 - e_2) \\ S_2 &= 3,14 \times 1,2 (32 - 1,2) = 116 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

La réduction de la section :

$$\frac{S_1 - S_2}{S_0} \times 100 = \frac{172 - 116}{172} \times 100 = 32,5 \%$$

et donc la réduction totale de section :

$$\frac{S_1 - S_2}{S_0} \times 100 = \frac{270 - 116}{270} \times 100 = 57 \%$$

Notre étude expérimentale se divise en deux parties :

5.2 Première partie

La première partie est consacrée pour l'étude des propriétés mécaniques et métallographiques des échantillons prélevés au niveau de chaque étape de fabrication, c'est à dire au niveau du feuillard, du tube ébauche, du tube après recuit et du tube étiré :

Remarque :

Vu le manque de la matière, on n' a pas pu prélever des échantillons au niveau de chaque étape de fabrication pour la nuance A 34.2.

5.2.1 Essais Mécaniques :

a - Essais de dureté

La dureté est la résistance mécanique qu'un corps oppose à la pénétration par un autre corps plus dur.

Le type d'essai de dureté que l'on a utilisé est le Rockwell HRB, la charge appliquée lors de l'essai est de 100 kg_f

En vue d'obtenir des valeurs précises, nous avons pris la moyenne de quatre essais pour chaque échantillon.

b - Essai de Traction

L'essai de traction a été effectué sur des éprouvettes prélevées du feuillard. Les dimensions de l' éprouvette sont indiquées sur la figure (5.3)

5.2.2 Etude métallographique

L'observation métallographique nécessite une préparation de surface des échantillons à examiner, cette préparation comprend :

a - un enrobage

L'enrobage a été fait à chaud

b - Polissage :

Le polissage a été fait avec du papier abrasif;

- Polissage grossier avec du papier : 120,320,600

- Polissage fin avec du papier : 1000, 1200

-

Finition sur un feutre, en utilisant la pâte diamantée.

Ce polissage permet de rendre la surface plane, brillante et ne présente aucune rayure susceptible de gêner l'observation métallographique.

c - Attaque chimique

Après polissage, les échantillons sont attaqués à froid par le nital.

L'examen métallographique a été fait avec un microscopique de type Zeiss.

5.3 Deuxième partie :

La deuxième partie de notre travail sera consacrée à l'étude de l'influence des paramètres (température, temps) du traitement thermique sur l'aptitude à la déformation des aciers, et d'optimiser ces deux paramètres.

5.3.1 Prélèvement des échantillons

Les échantillons sont prélevés du tube ébauche. Les éprouvettes de traction sont réalisées à partir du feuillard. Elles ont les mêmes dimensions que précédemment.

5.3.2 Traitement thermique

Pour mieux connaître l'évolution des propriétés mécaniques et structurales au cours du traitement thermique, on a réalisé un ensemble de couples, chaque couple contient un échantillon et une éprouvette, et chaque couple va subir un recuit à une température et temps donnés.

a - Températures de recuit

Les températures de recuit sont choisies de manière à ne pas dépasser la température maximale utilisée au niveau d'ANABIB qui est 920 °C, tout en gardant le domaine d'austénisation.

En tenant compte du fait que les deux aciers contiennent peu de carbone et sont pauvres en éléments d'alliage, les températures sont choisies à partir du diagramme d'équilibre Fe - C métastable, elles sont :

- 860 °C : température de début de transformation austénitique
- 880, 900°C : température du domaine d'austénisation
- 920 : température utilisée à ANABIB pour confirmer les résultats

- b Les temps de maintien :

Les temps de maintien sont 5,10,15, et 20minutes et ceci pour chaque température. Ces temps peuvent ensuite se transformer en vitesses pour traitement avec le four industriel.

Pour la température 920°C, on a gardé le temps de maintien utilisé au niveau d'ANABIB, et qui est :

- 7 minutes pour l'acier A 37.2
- 5 minutes pour l'acier A 34.2

Le four utilisé pour le traitement est du type Carbulite Furnaces, le refroidissement se fait à l'air.

5.3.3 Essais mécaniques

a - Essai de dureté :

L'essai de dureté a été fait sur les échantillons et les éprouvettes en même temps.

b - Essai de traction :

Les éprouvettes traitées subissent l'essai de traction avec une machine de traction de type (SINTCO).

5.3.4 Etude métallographique

Les échantillons traités subissent les mêmes opérations concernant la préparation de l'étude métallographique citées en première partie.

CHAPITRE: VI
resultat et interprétation

CHAPITRE VI

RESULTATS ET INTERPRETATION

6-1 Résultat de la première partie :

6-1-1 Essais mécaniques :

Les résultats des essais de dureté sont regroupés dans le tableau ci-dessous :

Acier	Feuillard	Tube ébauche	tube recuit	tube étiré
A37,2	73,6	79,1	65	89
A34,2	--	75,7	--	--

Tableau n°4 : Résultats des essais de dureté en HRB .

Une augmentation de la dureté est remarquée entre le feuillard et le tube ébauche, ceci est due essentiellement à l'écrouissage que le tube ébauche a subi lors de sa formation.

Le tube recuit possède une dureté inférieure car tout les défauts et les structures altérées sont éliminés pendant le recuit.

L'étirage a provoqué un durcissement important du tube, ceci est confirmé par le résultat.

La courbe conventionnelle représentée dans la figure (6-1) est le résultat de l'essai de traction sur l'éprouvette avant recuit, sur cette courbe on détermine la limite élastique, la charge à la rupture et l'allongement à la rupture, le tableau n°5 résume ces valeurs.

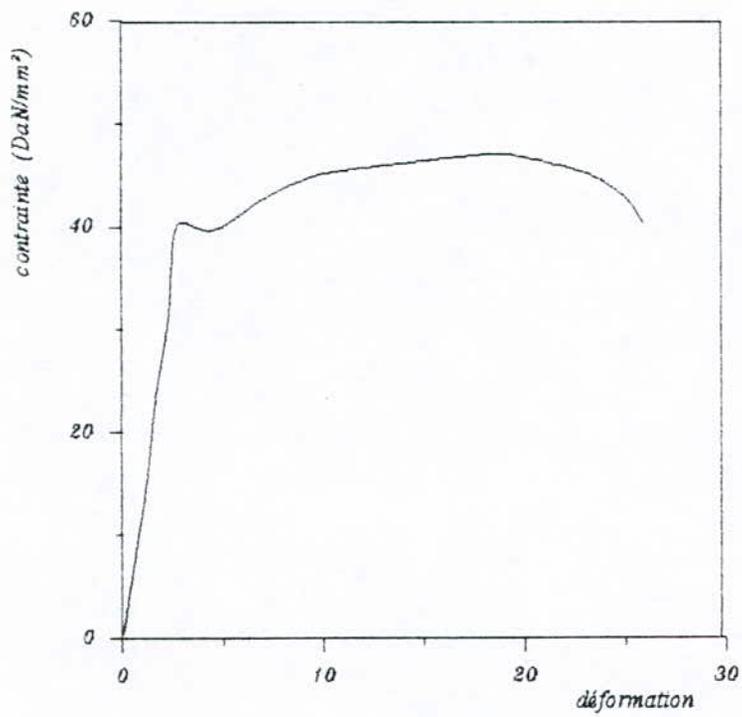


Figure 6.1 Courbe conventionnelle de traction de l'acier A37.2 avant recuit

	Re DN/mm ²	RmDN/mm ²	A%
A37,2	40,39	47,06	25%

Tableau n°5 : Résultat de l'essai de traction

6-1-2 Observation métallographique :

Les structures des différents échantillons sont représentées dans les figures (6.2) (6.3) (6.4) (6.5) (6.6).

La structure du feuillard est complètement ferritique avec des grains fins fig (6.2), et la perlite est dispersée dans les joints de grains. Cette structure ne présente aucune différence avec celle de tube ébauche, ce qui explique que le tube ébauche n'a pas subi une grande déformations lors de sa formation.

La structure du tube recuit est complètement homogène, la taille des grains est importante.

La structure de l'acier étiré est altérée et caractérisée par l'allongement des grains dans le sens de l'étirage.

Nous avons mesuré la taille moyenne des grains en utilisant la formule suivante :

$$D = \frac{40 \times 1000}{N \cdot G} \quad (6.1)$$

Avec N : nombre de grains compté en 4 cm

G : le grossissement utilisé.

On considère que les grains sont homogènes et possèdent la forme sphérique.

**Fig (6.2) structure de feuillard
de l'acier A37.2 (x200)**



**Fig (6.3) structure de tube
ébauche de l'acier A37.2
(x200)**



**Fig (6.4) structure de tube
recuit à 920°C pendant 6mn de l'acier
A 37.2 (x200)**



**Fig (6.5) structure de tube
étiré de l'acier A 73.2
(x100)**



Fig (6.6) Structure de tube
ébauche de l'acier A34.2
(x200)



Fig (6.7) structure de l'acier
A37.2 recuit à 920°C et t= 7mn
(x200)

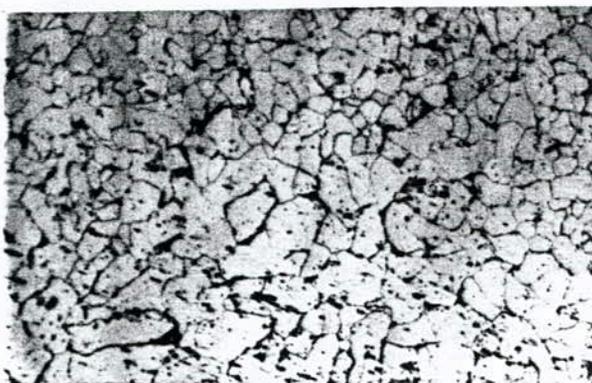


Fig (6.8) structure de l'acier
A34.2 recuit à 920°C et t= 5mn
(x200)



Nous avons pris la moyenne de cinq mesures afin d'obtenir une valeur précise et nous avons obtenu comme résultats.

Echantillon feuillard A37,2; 7,5 μm

Echantillon tube ébauche #37,2; 8,33 μm

Echantillon tube recuit : 14,9 μm

Echantillon tube ébauche #34,2 8,33 μm

6-2 Résultat de la deuxième partie :

6-2-1 Essais mécaniques :

Les résultats de l'essai de dureté et l'essai de tractions sont représentés sur les tableaux n°6 et n°7 :

Température de recuit °C	temps de maintien min	Dureté HRB		Re DN/mm ²	Rm DN/mm ²	A%
		Mesures sur échantillon	mesure sur éprouvette			
860	5	69	68	33,70	43,12	36
	10	66,7	66,7	34,92	45,12	32
	15	66	66	32,86	43,93	34
	20	65	65	32,86	42,7	34
880	5	67,5	69,1	36,61	43,93	35
	10	66,85	68,8	36,61	43,93	34
	15	66,05	67,3	36,40	43,06	30
	20	66,6	65,5	36,50	42,5	35
900	5	68,5	69,3	34,92	44,62	30
	10	67,4	67,3	36,76	42,5	34
	15	66,0	65,9	34,64	43,12	36
	20	64,65	61	35,90	42,81	32
920	7	63,00	63,5	34,5	43,12	36

Tableau n°6 : Les valeurs de la dureté, la limite élastique, la charge à la rupture et l'allongement à la rupture pour acier A37.2.

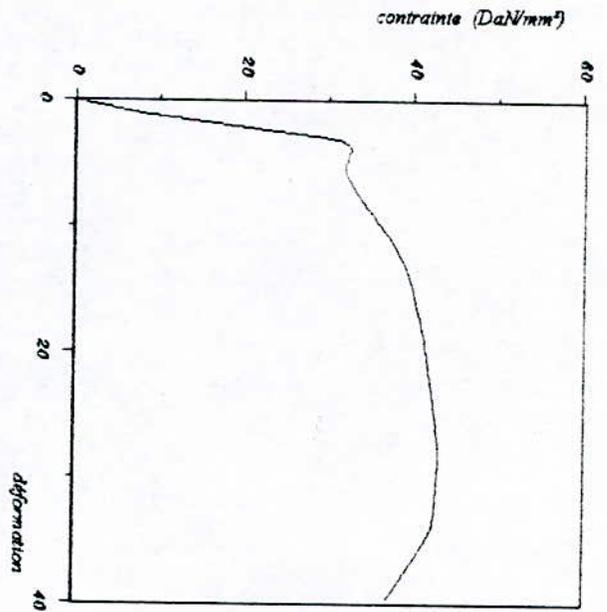


Figure 6.39 : Courbe conventionnelle de traction de l'acier A37.2 après recuit à $T=860^{\circ}\text{C}$ et $t=5$ min

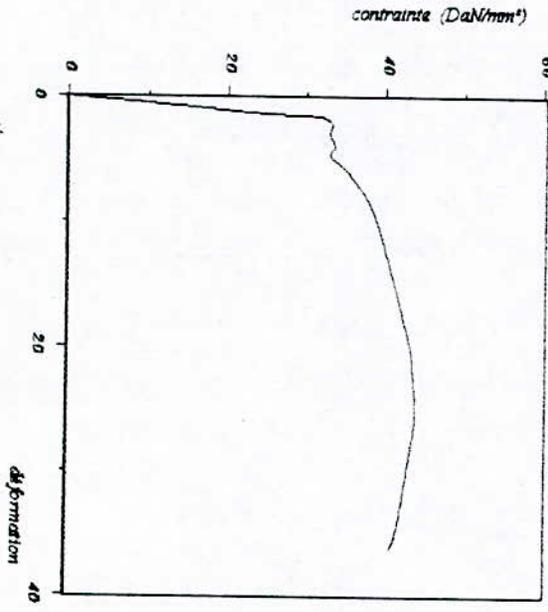


Figure 6.38 : Courbe conventionnelle de traction de l'acier A37.2 après recuit à $T=860^{\circ}\text{C}$ et $t=15$ min

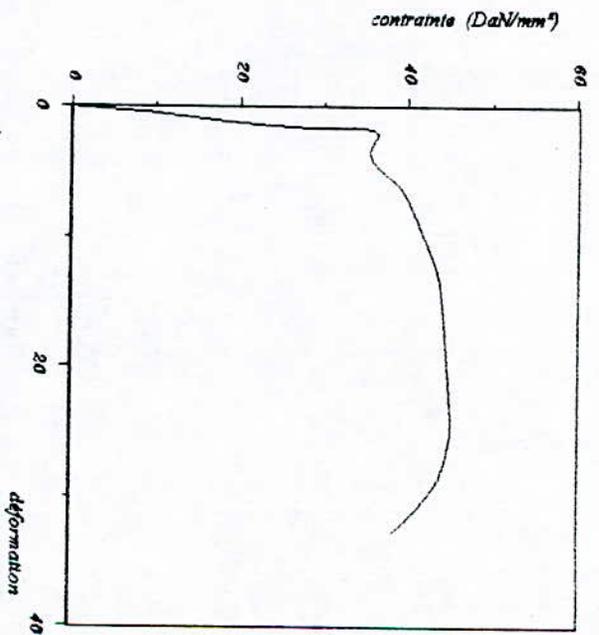


Figure 6.40 : Courbe conventionnelle de traction de l'acier A37.2 après recuit à $T=860^{\circ}\text{C}$ et $t=10$ min

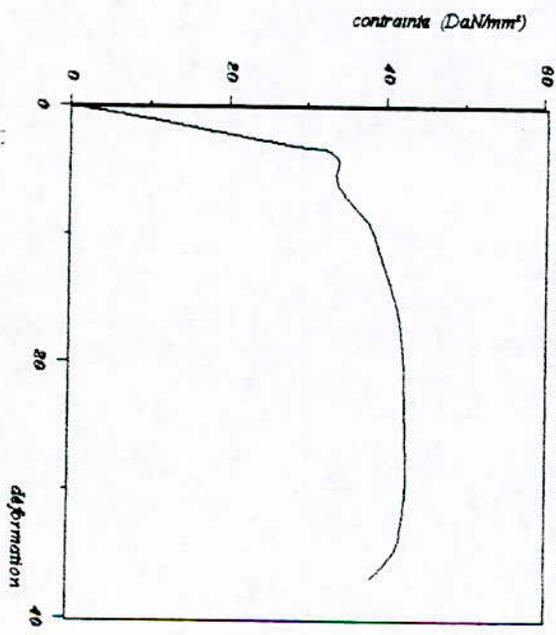


Figure 6.42 : Courbe conventionnelle de traction de l'acier A37.2 après recuit à $T=860^{\circ}\text{C}$ et $t=20$ min

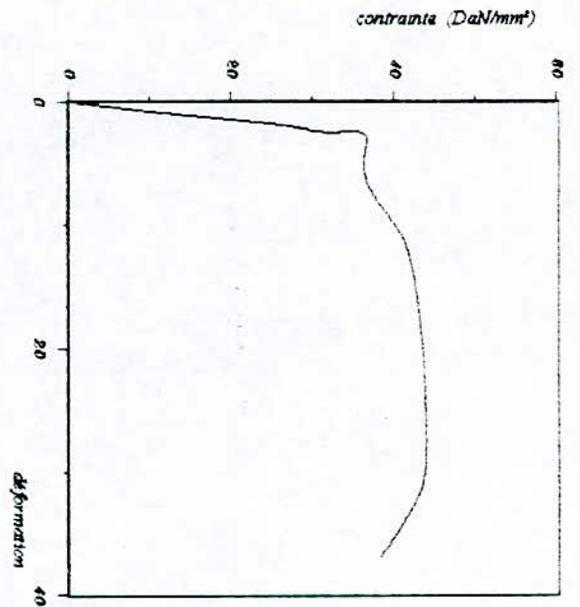


Figure 6.13 : Courbe conventionnelle de traction de l'acier A37.2 après recuit à $T=880^{\circ}\text{C}$ et $t=5$ min

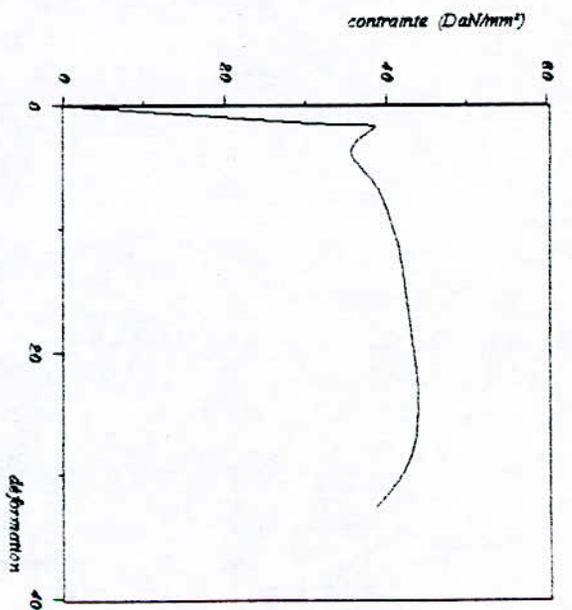


Figure 6.14 : Courbe conventionnelle de traction de l'acier A après recuit à $T=880^{\circ}\text{C}$ et $t=10$ min

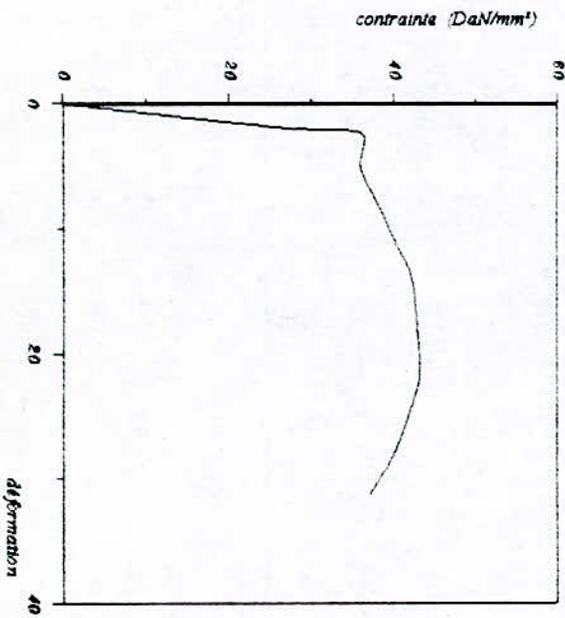


Figure 6.15 : Courbe conventionnelle de traction de l'acier A37.2 après recuit à $T=880^{\circ}\text{C}$ et $t=13$ min

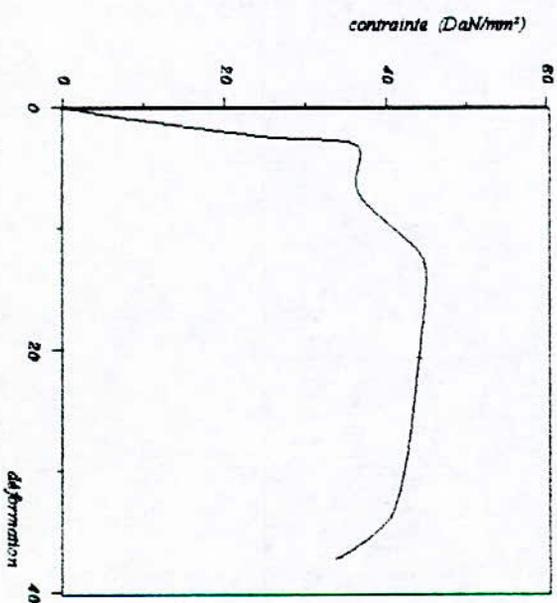


Figure 6.16 : Courbe conventionnelle de traction de l'acier A après recuit à $T=880^{\circ}\text{C}$ et $t=20$ min

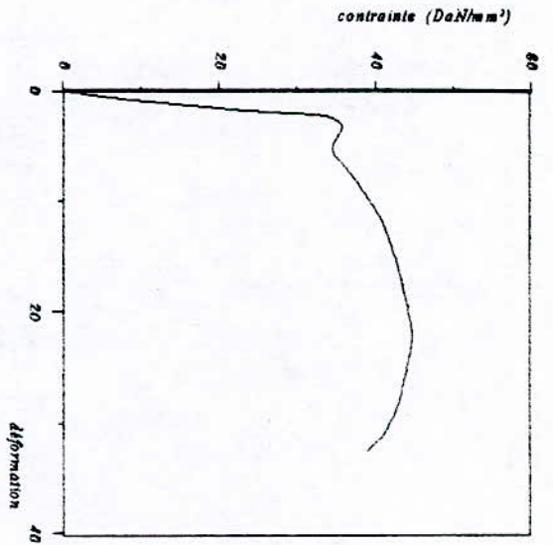


Figure 6.17 : Courbe conventionnelle de traction de l'acier A57.2 après recuit à $T=700^{\circ}\text{C}$ et $l=5\text{ mm}$

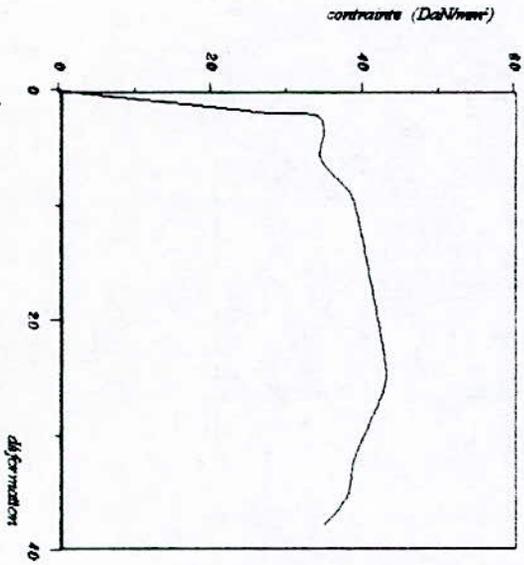


Figure 6.18 : Courbe conventionnelle de traction de l'acier A57.2 après recuit à $T=900^{\circ}\text{C}$ et $l=1.5\text{ mm}$

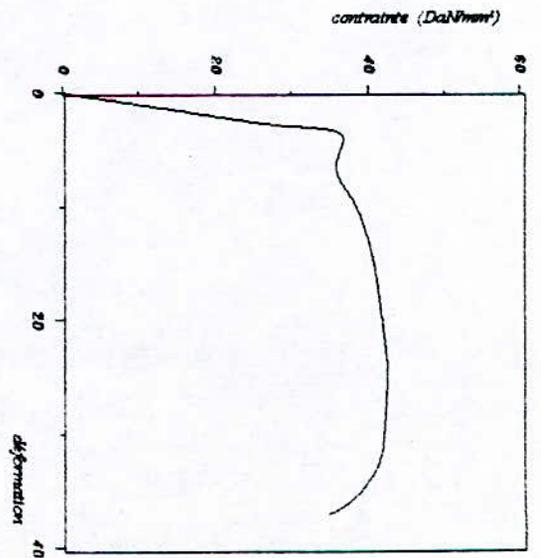


Figure 6.19 : Courbe conventionnelle de traction de l'acier A57.2 après recuit à $T=900^{\circ}\text{C}$ et $l=10\text{ mm}$

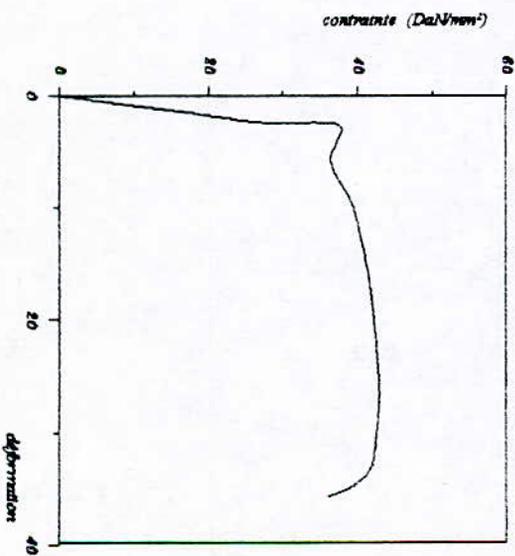


Figure 6.20 : Courbe conventionnelle de traction de l'acier A57.2 après recuit à $T=800^{\circ}\text{C}$ et $l=20\text{ mm}$

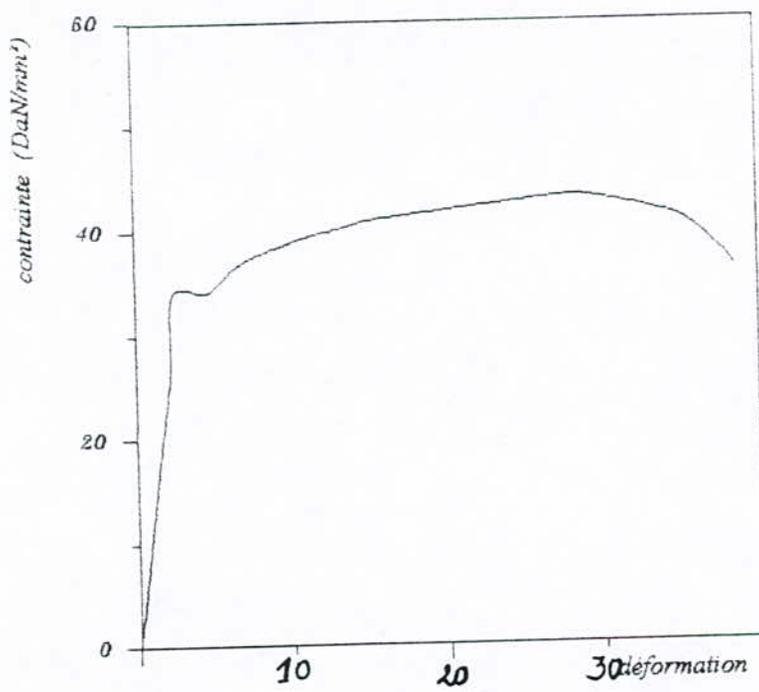


Figure 6.21 Courbe conventionnelle de traction de l'acier A37.2 après recuit à $T=990^{\circ}\text{C}$ et $t=0,1\text{ mn}$

Température °C	860				880				900				920
	5	10	15	20	5	10	15	20	5	10	15	20	4
Dureté HRB	59	57,8	57	56	58	57	54	53	59	56	53	49	51

Tableau 7 : Valeurs de la dureté pour l'acier A34.2.

6-2-2 Observation métallographique :

Les différentes structures observées, sont données par les figures (6-22) à (6-44)
Quant aux valeurs moyennes de la taille des grains les résultats sont :

Température °C	860				880				900				920	
	5	10	15	20	10	15	20	15	5	10	15	20	7	4,5
A372	8	11,5	12,30	14,4	9,5	12	13,5	14,8	11	13	15	21,6	17,5	/
A342	10	11	13,5	16	10	13	15	16,5	12,5	15	18,7	18	/	16

Tableau N° 8 : la taille moyenne des différents échantillons en fonction de la Température de recuit et
et du temps de maintien (La taille est donnée en μm)

Fig (6.22) structure de l'acier
A37.2 recuit à 860°C et t= 5mn
(x200)

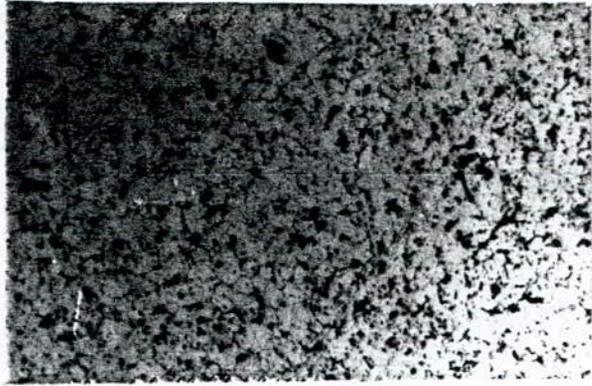


Fig (6.23) structure de l'acier
A37.2 recuit à 860°C et t= 10mn
(x200)

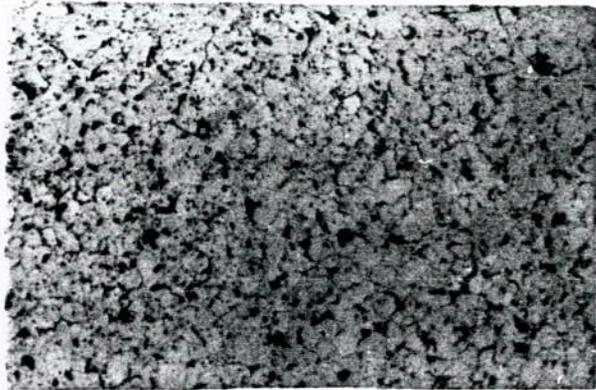


Fig (6.24) structure de l'acier
A 37.2 recuit à 860°C et t=15mn
(x200)



Fig (6.25) structure de l'acier
A 73.2 recuit à 860°C et t= 20mn
(x200)

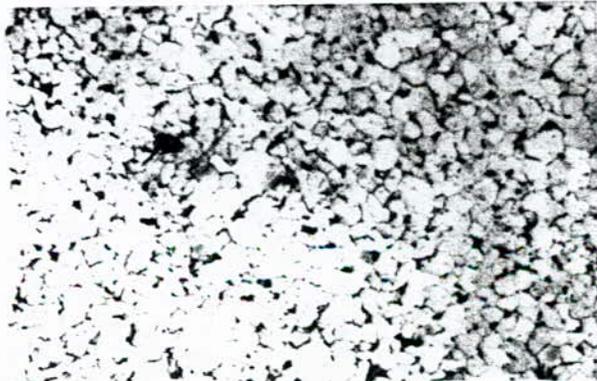


Fig (6.26) structure de l'acier
A37.2 recuit à 880°C et t= 5mn
(x200)

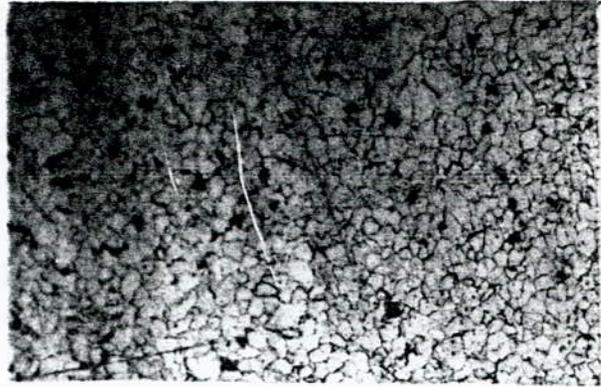


Fig (6.27) structure de l'acier
A37.2 recuit à 880°C et t= 10mn
(x200)



Fig (6.28) structure de l'acier
A 37.2 recuit à 880°C et t= 15mn
(x200)



Fig (6.29) structure de l'acier
A 37.2 recuit à 880°C et t= 20mn
(x200)

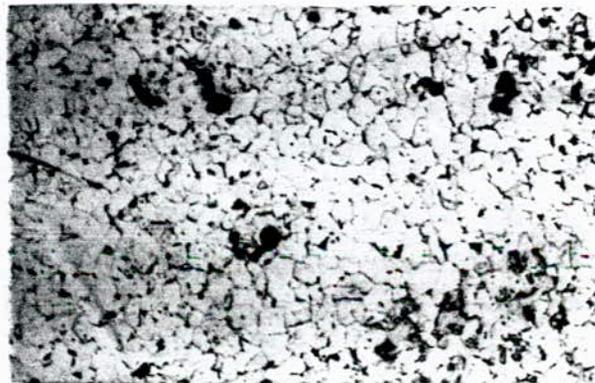


Fig (6.30) structure de l'acier
A37.2 recuit à 900°C et t= 5mn
(x200)

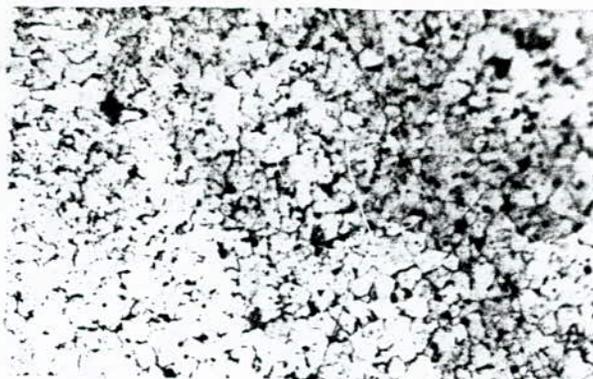


Fig (6.31) structure de l'acier
A37.2 recuit à 900°C et t= 10mn
(x200)

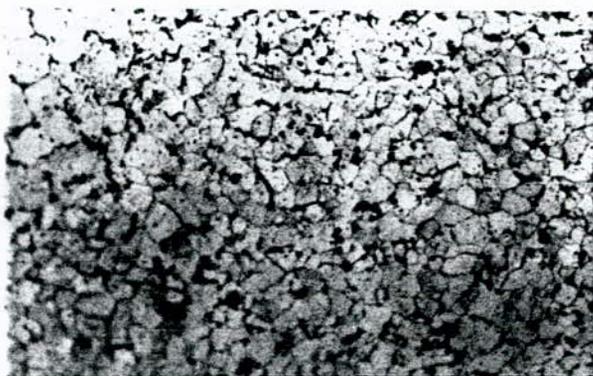


Fig (6.32) structure de l'acier
A 37.2 recuit à 900°C et t=15mn
(x200)



Fig (6.33) structure de l'acier
A 37.2 recuit à 900°C et t= 20mn
(x200)

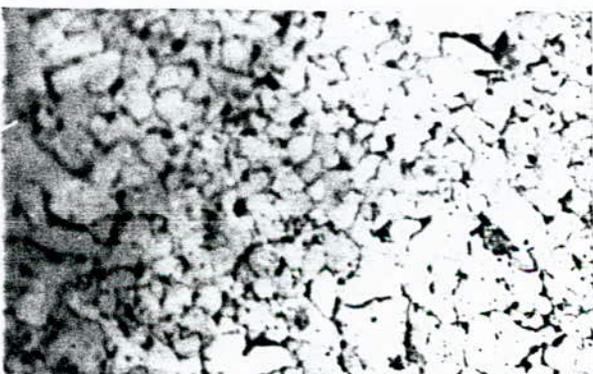


Fig (6.34) structure de l'acier
A34.2 recuit à 860°C et t= 5mn
(x200)



Fig (6.35) structure de l'acier
A 34.2 recuit à 860°C et t= 10mn
(x200)



Fig (6.36) structure de l'acier
A 34.2 recuit à 860°C et t= 15mn
(x200)

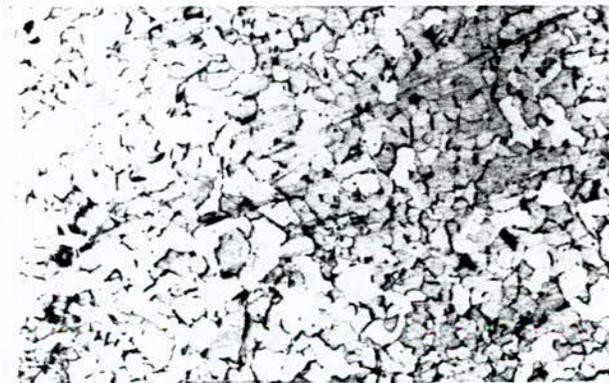


Fig (6.37) structure de l'acier
A 34.2 recuit à 900°C et t= 20mn
(x500)

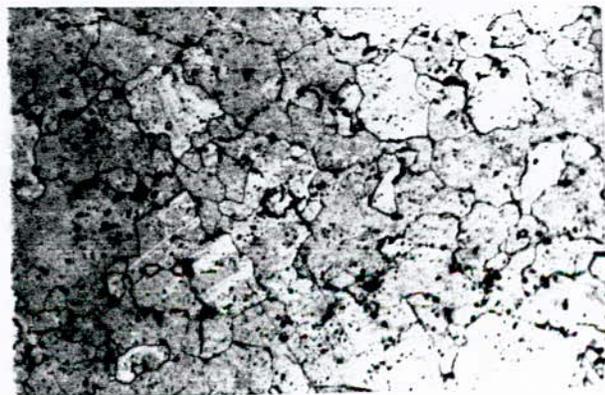


Fig (6.38) structure de l'acier
recuit à 880°C et t= 5mn
(x200)



Fig (6.39) structure de l'acier A34.2
recuit à 880°C et t= 10mn
(x200)



Fig (6.40) structure de l'acier A 34.2
recuit à 880°C et t=15mn
(x200)

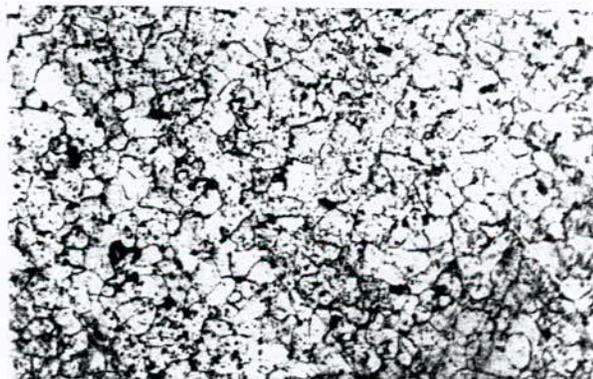


Fig (6.41) structure de l'acier A 34.2
recuit à 880°C et t= 20mn
(x200)

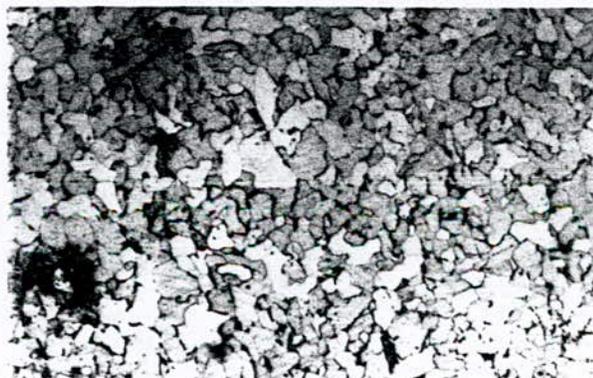


Fig (6.42) structure de l'acier A34.2
recuit à 900°C et t= 5mn
(x200)

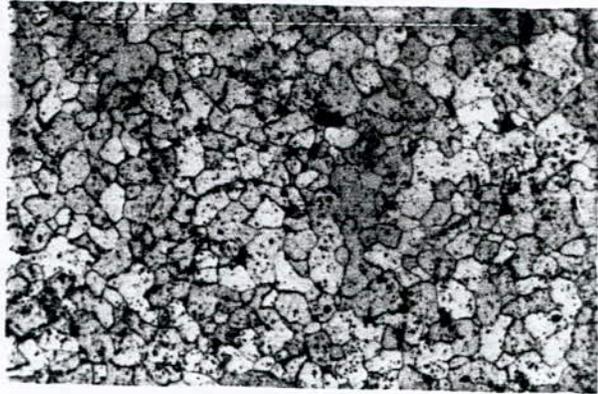


Fig (6.43) structure de l'acier A34.2
recuit à 900°C et t= 10mn
(x200)

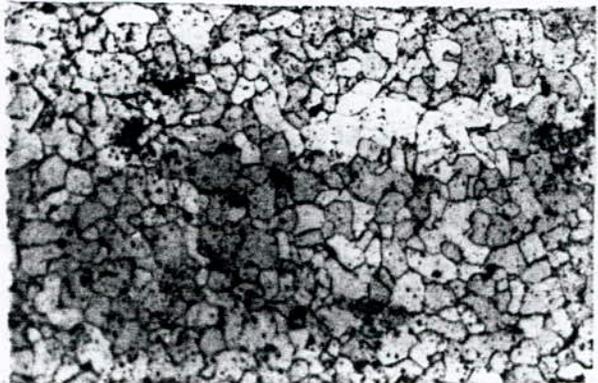


Fig (6.44) structure de l'acier A 34.2
recuit à 860°C et t= 15mn
(x200)

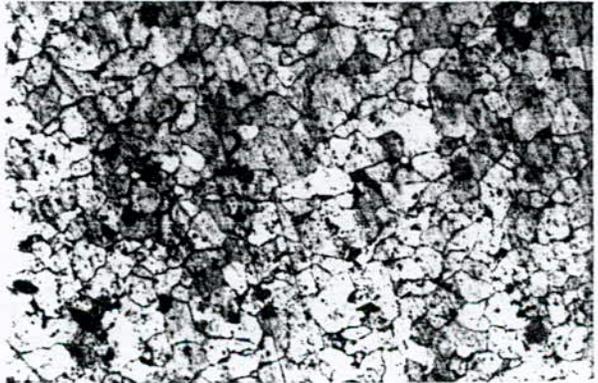
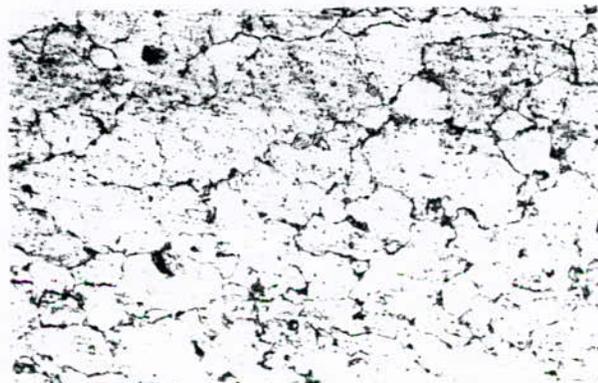


Fig (6.45) structure de l'acier
A 34.2 et t= 20mn
(x500)



6.3 Interprétation

6.3.1 Première Partie

La courbe conventionnelle de traction de l'éprouvette avant recuit (fig.6.1) présente une limite élastique et une charge à la rupture relativement élevées, avec un domaine plastique réduit, ce qui explique que notre métal est relativement dur à l'état brut, d'où la nécessité de procéder à un traitement de recuit afin d'effectuer l'opération de l'étirage.

Le recuit de normalisation qui a été fait au niveau d'Anabib a pour but d'homogénéiser la structure, d'éliminer les effets d'écroutissage et d'obtenir un état d'équilibre structural. Cette homogénéisation se traduit par un adoucissement qui correspond à une faible dureté (tableau n°4). La structure obtenue par ce recuit est complètement ferritique, avec une taille moyenne des grains relativement importante et encore plus élevée que celle du tube ébauché.

La déformation par étirage entraîne une augmentation de la dureté (tableau n°4). La structure du tube étiré fig.(6.5) est caractérisée par un allongement des grains parallèlement à la direction de la contrainte (sens de l'étirage), cet allongement est dû au glissement des dislocations. Dans notre cas (fer α , structure c.c) le glissement se fait dans les plans cristallographiques les plus denses (110), (112), (123) selon la direction (111).

La contrainte appliquée engendre une augmentation de la densité des dislocations, et par suite des interactions de ces dernières entre elles, ce qui provoque le durcissement de l'acier.

6.3.2 Deuxième partie

A - Evolution des propriétés mécaniques au cours du recuit :

Les courbes conventionnelles de l'essai de traction montrent l'effet du recuit sur le comportement de l'acier en traction. Ces courbes ont pratiquement la même allure et sont généralement caractérisés par une limite élastique et une charge à la rupture basses, avec un large domaine plastique.

Ces courbes présentent un palier (crochet de traction), ce phénomène est généralement observé dans le cas des aciers doux (ferritique) et s'explique par

le fait que les atomes de carbone qui occupent les positions interstitielles épinglent les dislocations, ce qui nécessite une forte contrainte pour débloquent ces dernières une fois les dislocations libérées de ce nuage d'atomes de carbone, elle continuent à se déplacer avec une contrainte plus petite, d'où le crochet de traction observé.

1)- Influence du temps de recuit

Si on fixe la température et on fait varier le temps de maintien on constate une augmentation de l'allongement à la rupture, une diminution de la dureté, de la limite élastique et de la charge à la rupture. Mais cette diminution n'est pas vraiment importante, cela peut s'expliquer par la différence entre les temps considérés alors qu'elle est remarquable entre, par exemple 5 et 15 mn, et de même entre 10 et 20 mn.

On trouve parfois des anomalies, par exemple ces dernières sont dues essentiellement aux conditions d'exécution de l'essai (essai de traction). Il faut signaler que :

- La vitesse de déformation n'a pas été fixée ce qui provoque un durcissement ou un adoucissement du métal pendant sa déformation.
- La fixation verticale des éprouvettes entre les mors de fixation de la machine est difficile.

2) Influence de la température de recuit

Normalement on doit avoir la même allure que celle de l'influence du temps, mais les conditions d'exécution des essais restent toujours la cause de ces anomalies.

Il faut noter que l'élévation de la température provoque le grossissement des grains et par conséquent une diminution de la limite élastique ; la charge à la rupture et la dureté ainsi qu'une augmentation de l'allongement à la rupture.

B - Evolution de la structure au cours du recuit

Pour la température de 860 °C une durée de 5 minutes n'est pas suffisante pour la transformation. La structure montrée dans la figure (6.22) est semblable à celle de tube ébauche fig. (6.3).

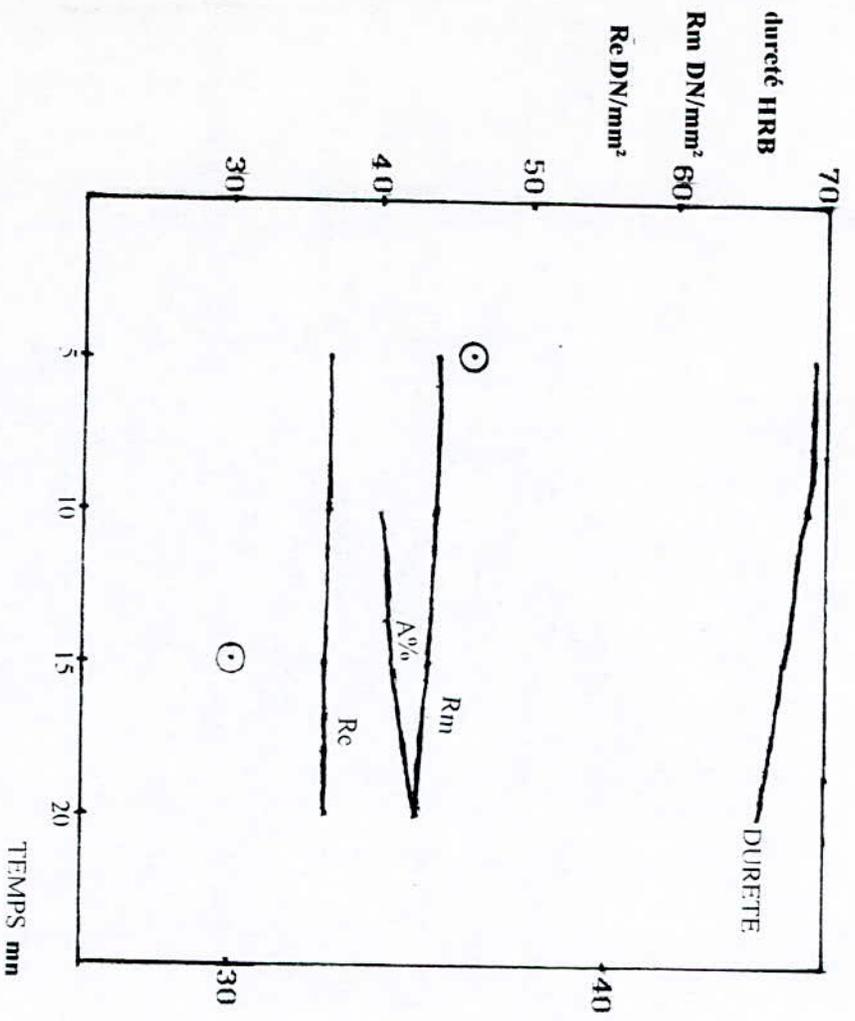


Fig (6.47) Evolution des Propriétés Mécaniques En fonction du temps pour la température 880°C°

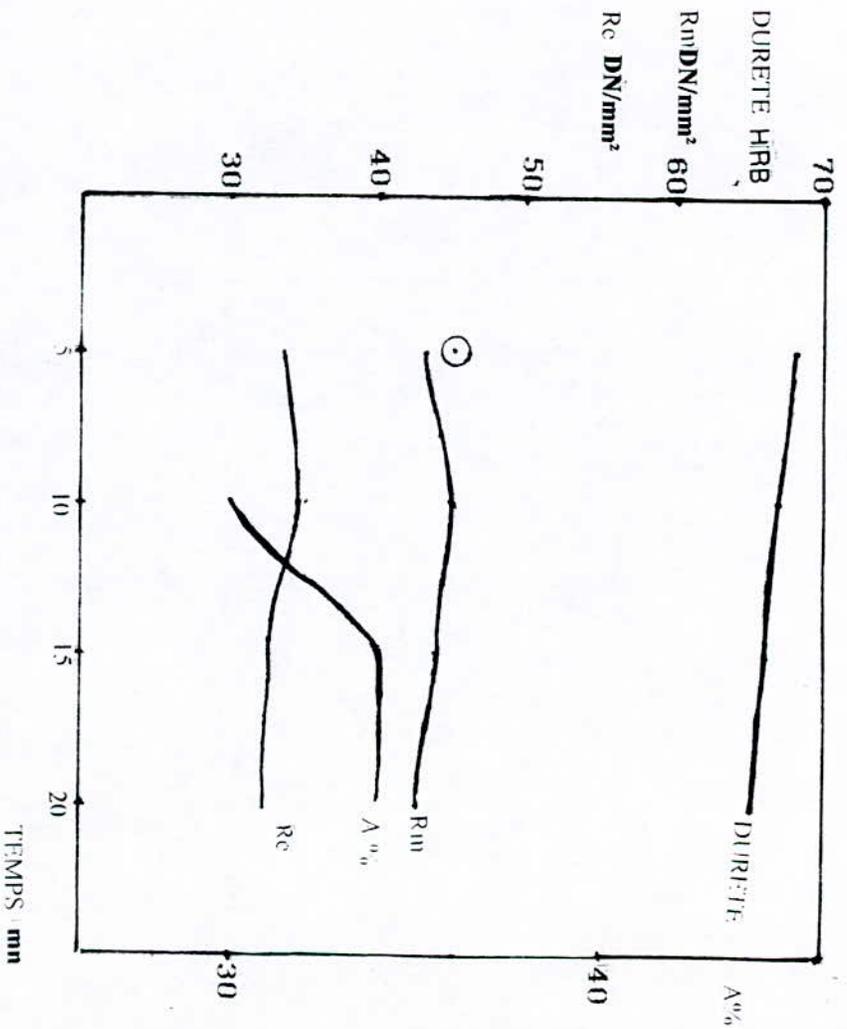


Fig (6.46) Evolution Des Propriétés Mécaniques En Fonction du Temps Pour La Température 860 C°

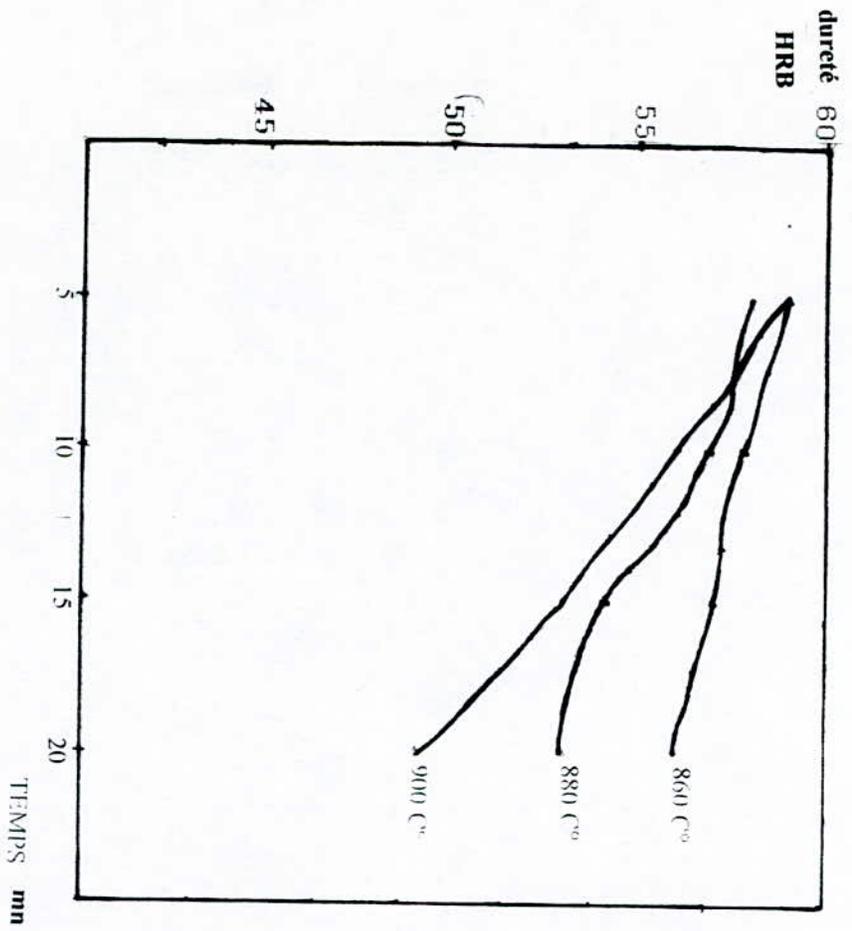


Fig (6.47) Evolution de la dureté en fonction du temps de l'Acier A34.2

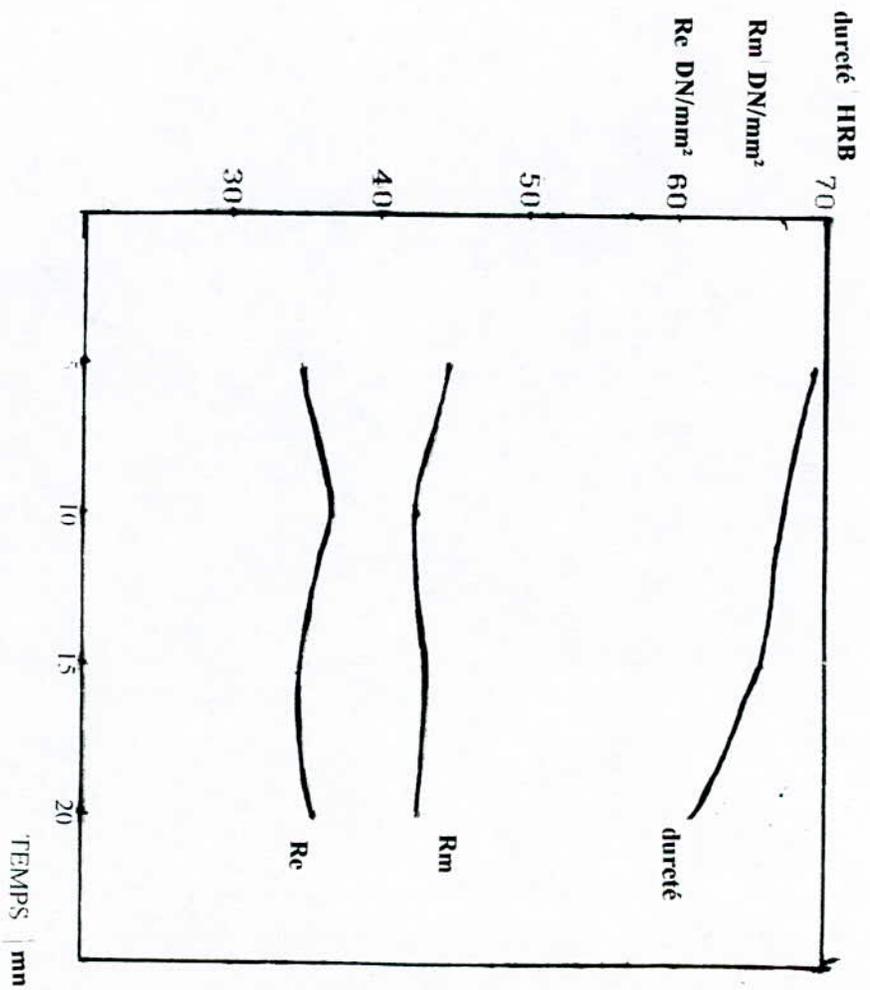


Fig (6.48) Evolution des propriétés Mécaniques En fonction du temps pour la température 900°C

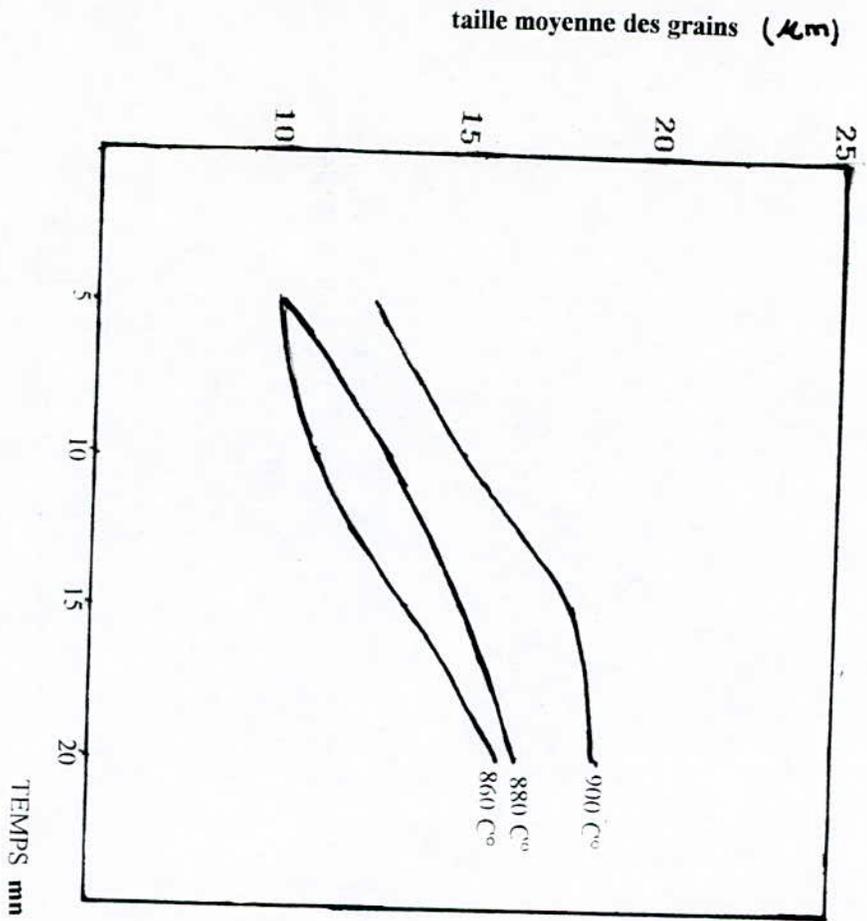


Fig (6.5) Evolution de la Taille Moyenne des Grains en Fonction de Temps pour l'Acier A342

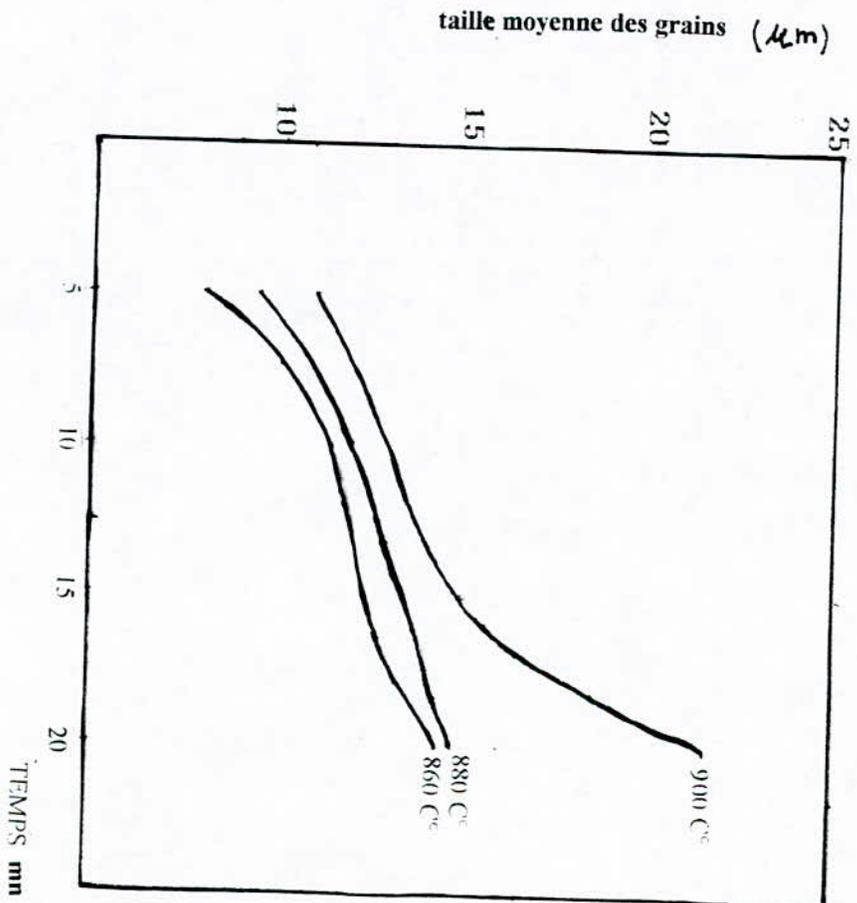


Fig (6.5) Evolution de la Taille Moyenne des Grains en Fonction de Temps pour l'Acier A37.2

Et pour des temps élevés 10, 15 , 20 minutes , un grossissement des grains notable est observé .

Pour les températures de 880 °C et 900° C un changement de structure est remarqué dès le début (5mn) Les figures (6.22) à (6.33) et (6.38), (6.45) montrent qu'au fur et à mesure que le temps de maintien augmente aussi, la taille des grains augmente . Cette augmentation devient importante pour le recuit à 900°C avec un temps de maintien de 20 minutes.

6.4 Optimisation des parametres

Le problème posé par Anabib est de savoir s'il est nécessaire d'effectuer un traitement thermique avant l'étirage. Dans le cas affirmatif, quels sont les paramètres optimums (température, temps) de ce traitement.

D'après les résultats obtenus en comparant les valeurs des propriétés mécaniques avant et après recuit, on constate qu'il y a une grande différence, d'où la nécessité d'effectuer un traitement thermique avant l'étirage, afin d'améliorer l'aptitude à la déformation à froid des deux aciers.

Le traitement thermique convenable qui permet d'effectuer la déformation à froid est celui que nous avons cité au chapitre II, concernant le recuit de globurisation. Mais comme les conditions technologiques et industrielles ne nous permettent pas d'effectuer ce type de traitement, nous avons opté pour un traitement de recuit qui donne un meilleur allongement avec une résistance à la rupture qui ne soit pas très faible pour éviter la rupture du métal. En respectant les facteurs technologiques et économiques, on propose un traitement de recuit avec l'un des paramètres suivants.

1 - On garde les mêmes températures pour ~~cha~~que zone : (760°C 860°C,920°C) et on augmente la vitesse de déplacement des tubes à :

a- 22 m/h pour l'acier A 37.2 ce qui donne :

- temps de maintien global : 19,89 minutes
- temps de maintien dans la zone 1 : 8,10 minutes
- temps de maintien dans la zone 2 : 5,45 minutes
- temps de maintien dans la zone 3 : 6,34 minutes

b- 35 m/h pour l'acier A34.2

- temps de maintien global : 12,4 minutes

- temps de maintien dans la zone 1 : 5 minutes
- temps de maintien dans la zone 2 : 3,4 minutes
- temps de maintien dans la zone 1 : 3,9 minutes

2- On garde les mêmes vitesses mais on fixe la température des trois zones successivement 760°C, 860°C, 900°C, et ce pour les deux aciers.

Il reste à savoir à partir de quel taux de déformation il est nécessaire d'effectuer un traitement thermique pour pouvoir étirer le tube ultérieurement.

Ce taux de déformation correspond à la charge à la rupture. Pour cela on a déterminé à partir de la courbe rationnelle de traction. Elle correspond à la valeur de la courbe rationnelle obtenue sur éprouvette, ayant subi un traitement de recuit à 900°C pendant 10 minutes.

Rappelons que la courbe rationnelle est calculée à partir de la courbe conventionnelle par les formules suivantes :

$$\sigma_r = \sigma_e(1+A) \qquad \epsilon = \lambda v (1+A)$$

La déformation réelle pour un recuit à 900°C pendant 10 minutes est de :

$$\epsilon = 0,24$$

On considère que le volume du tube reste constant, alors :

$$S_0 l_0 = S l \quad \text{où } l \text{ est la longueur du tube}$$

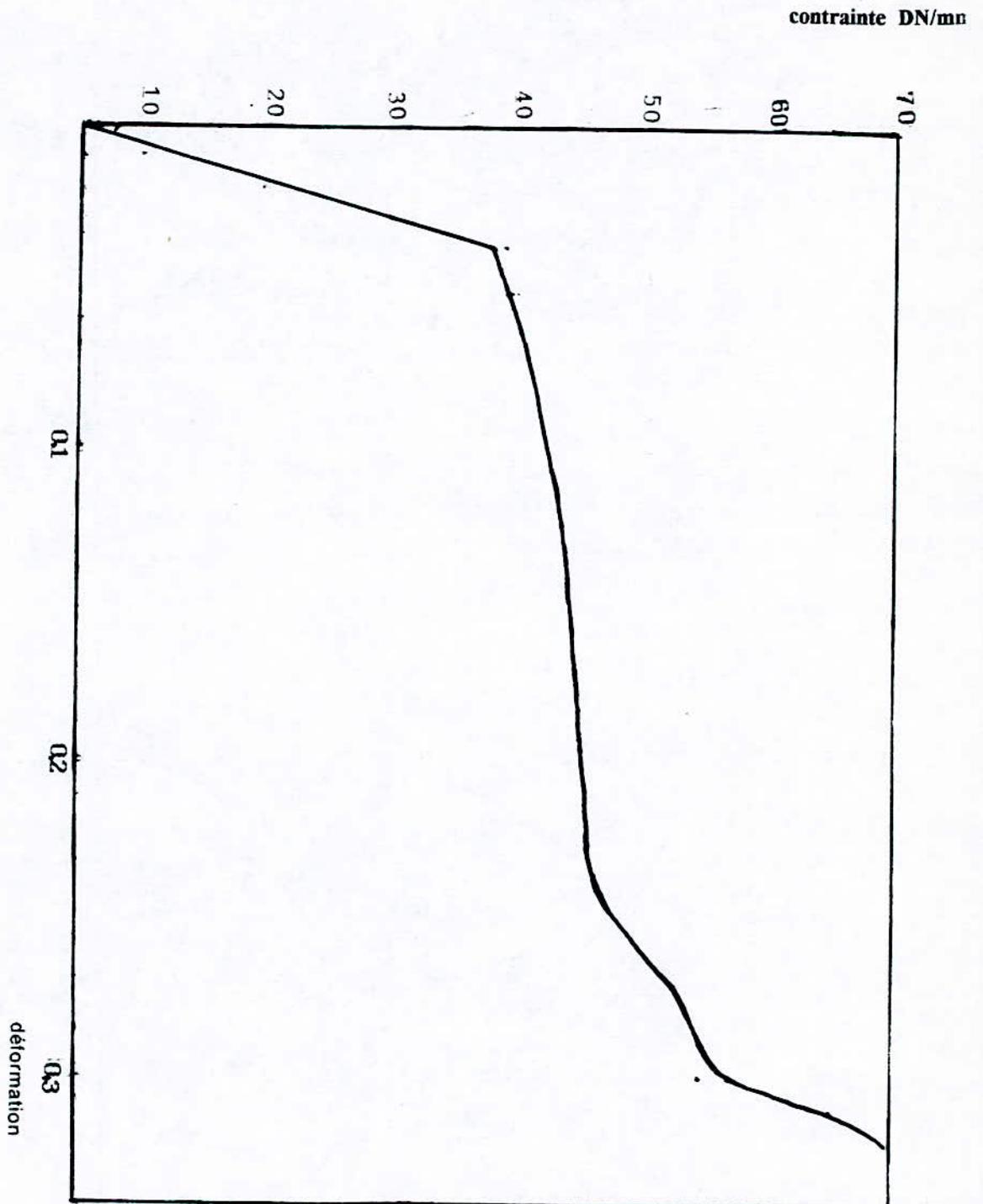
$$\frac{S_0}{S} = \frac{l}{l_0} \quad \Rightarrow \quad \epsilon = \ln \frac{S_0}{S} = \ln \frac{l}{l_0} = 0,24$$

et donc :

$$\frac{S_0}{S} = \frac{l_0}{l} = 1,28$$

donc $S_0 = 1,28 \times S$

$S_0 = 905,5$ on a alors $905,5 / 1,28 = 707,42 \text{ mm}^2$



Fig(6.52) Courbe Rationnelle de Traction de l'Acier
A37.2 Recuit à 900°C et A = 10mm

ce qui donne une réduction de section de :

$$905,5 - 707,42 / 905,5 \times 100 = 21,87 \%$$

au delà de cette réduction, la rupture du métal devient inévitable.

Cette réduction est appliquée seulement pour l'acier A34.2, pour l'acier A34.2, il est nécessaire d'effectuer l'essai de traction pour la détermination du taux de déformation.

Un traitement de recristallisation suffisant dans le cas où il est nécessaire d'effectuer un traitement thermique afin d'effectuer un étirage ultérieur. La température de ce traitement est de l'ordre de 650°C.

CONCLUSION

Cette étude a montré que l'étirage des tubes nécessite un traitement thermique en vue d'éliminer tous les effets d'écrouissage et d'améliorer l'aptitude à la déformation à froid des deux nuances d'acier.

Les paramètres du traitement de recuit ont été déterminés à partir de l'étude de l'évolution des propriétés mécaniques et structurales au cours du recuit tout en respectant les facteurs technologiques et économiques.

Dans cette étude on a essayé de garder les mêmes conditions de fonctionnement à l'échelle industrielle car elle sera plus complète si on a effectué le traitement thermique au four industriel et on examine en même temps l'opération de l'étirage.

