

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE**

**MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR**

**ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE**

**UNIVERSITE ABDERRAHMANE MIRA BEJAIA**

**FACULTE DE TECHNOLOGIE**

**DEPARTEMENT DE GENIE MECANIQUE**

**MEMOIRE**

Présenté pour l'obtention du diplôme de

**MASTER**

Filière : Génie Mécanique

Spécialité : Génie des matériaux

Par :

**ZEMOURI Nasreddine**

## **Thème**

---

**Caractérisation mécanique et physico-chimique de l'acier B500 élaboré à l'AQS de Bellara**

---

Soutenu le 02/07/2023 devant le jury composé de :

Pr. KHELFAOUI Youcef	Président
Dr. AMARI. Djamel	Rapporteur
Dr. IDIR Abdelhek	Examineur

**Année Universitaire 2022-2023**

# REMERCIEMENTS

*Je remercie tout d'abord « Dieu » qui m'a donné la force et le courage nécessaires pour achever ce travail.*

*Je remercie particulièrement mon encadrant Mr AMARI Djamel d'avoir été à mes coté durant toute l'année, pour les efforts qu'il a déployés et de m'avoir Conseillé avec une très grande gentillesse.*

*Je remercie également les membres de jury Pr KHELFAOUI et Dr IDIR.A qui m'ont fait honneur en acceptant d'examiner et de juger mon travail.*

*Mes remerciements vont également à :*

- Monsieur le PDG de l'AQS de Bellara.*
- A monsieur NECHICHE professeur à l'université de Tizi Ouzou.*
- A monsieur YOUSFI Rachid le responsable de hall technologie.*
- A monsieur ATTOUB Nouredine T.S de LABO.*
  - A monsieur OUADFEL Abdellah T.S de LABO.*
- A mes chers parents, pour leurs conseils, leurs soutiens et leurs encouragements tout au long de mes études.*

# DÉDICACE

*Avec l'expression de ma reconnaissance je dédie ce modeste travail :*

- *A mon cher père, tes conseils m'ont toujours été d'une grande aide dans tout ce que j'entreprends, ce travail est en quelque sorte une manière de te dire merci pour ton soutien, ton amour et ton bienveillance.*

- *A ma chère mère, source d'amour et de tendresse, tous les mots ne sauraient exprimer ma gratitude, je te dédie ce travail comme fruit de ton dévouement et l'expression de mon profond amour.*

- *A mes frères Adel et Khalile et mes sœurs Lina et Nessrine.*

- *A mes camarades de la promotion Génie des Matériaux  
2022/2023*

Liste des figures .....	i
Liste des tableaux .....	iii
Introduction générale.....	1
Chapitre I	
I. Généralités sur les aciers.....	2
I.1 Définition.....	2
I.2 Diagramme fer-Carbon.....	2
I.2.1 Les points de transformation.....	3
I.2.2 Constituants du diagramme Fer-Carbone .....	3
I.3 La composition chimique des aciers.....	4
I.4 Classification des aciers.....	5
I.4.1 Les aciers d'usage général .....	5
I.4.2 Les aciers de traitements thermiques .....	5
I.4.3 Les aciers à outils.....	6
I.4.4 Les aciers inoxydables .....	6
I.5 Symbolisation des aciers .....	6
I.6 Caractéristiques des aciers.....	7
I.6.1 Caractéristiques physiques et mécaniques .....	7
I.6.1.1 Limite d'élasticité .....	7
I.6.1.2 La dureté .....	9
I.6.1.3 L'allongement à la rupture .....	9
I.6.1.4 L'énergie de rupture par choc ou résilience .....	10
I.6.1.5 La ténacité.....	11
I.6.2 Caractéristiques chimiques .....	12
I.7 Utilisation des aciers dans le domaine de construction .....	12
I.7.1 Sous forme de matériaux ouvrés.....	12
I.7.2 Sous forme d'outillages et de matériel de chantier.....	12
I.8 L'acier de rond à béton.....	13
I.8.1 Structure des aciers de ronds à béton .....	13
I.8.2 Propriétés des aciers d'armature .....	14
I.8.3 Les aciers d'armature de nuance B500 .....	15
I.8.3.1 Composition chimique de l'acier B500 .....	16
I.8.3.2 L'acier de rond à béton élaboré à l'AQS .....	16

## Chapitre II

### II. techniques expérimentales

II.1	Introduction .....	18
II.2	Essai de traction.....	18
II.2.1	Eprouvette de traction .....	20
II.3	Essai de dureté .....	20
II.3.1	Essai de dureté de Brinell.....	21
II.3.2	Essai de dureté Vickers .....	21
II.3.3	Essai de dureté de Rockwell.....	22
II.4	Elaboration des éprouvettes.....	23
II.4.1	Eprouvette de traction utilisée.....	23
II.4.2	Le matériau à l'état de livraison.....	24
II.4.3	Les différentes étapes d'usinage des échantillons.....	24
II.5	Réalisation de l'essai de traction .....	26
II.5.1	Déroulement de l'essai de dureté .....	26
II.6	Caractérisations microstructurales.....	27
II.6.1	Polissage.....	27
II.6.2	Attaque chimique .....	28
II.6.3	Observation optique .....	28

## Chapitre III

III.	Résultats et discussion.....	29
III.1	Introduction .....	29
III.2	Observation par microscope optique .....	29
III.3	Résultats de l'essai de dureté.....	31
III.3.1	Représentation des résultats de la mesure de dureté .....	31
III.4	Résultats de l'essai de traction.....	33
III.4.1	Détermination des propriétés mécaniques .....	34

## Liste des figures

<b>Figure 1.1</b> Diagramme d'équilibre Fer-Carbone (Fe-C) .....	2
<b>Figure I.2</b> structures cristallines de la ferrite et l'austénite.....	4
<b>Figure I.3</b> Courbe de traction .....	8
<b>Figure I.4</b> Courbe de résilience .....	11
<b>Figure I.5</b> acier d'armature .....	13
<b>Figure I.6</b> Rond à béton produit par l'AQS.....	17
<b>Figure II.1</b> : Principe de l'essai de traction.....	18
<b>Figure II.2</b> : Courbe de traction.....	19
<b>Figure II.3</b> : Dimensions de l'éprouvette de traction normalisée.....	20
<b>Figure II.4</b> : Différents types de pénétrateur (a) Pénétrateur pyramidal (b) Pénétrateur conique (c) Pénétrateur cylindrique (d) Pénétrateur sphérique.....	20
<b>Figure II.5</b> : Principe de la dureté brinell.....	21
<b>Figure II.6</b> : Principe de la dureté Vickers.....	22
<b>Figure II.7</b> : Description d'un essai de dureté Rockwell .....	22
<b>Figure II.8</b> : schéma de l'éprouvette traction à usinée .....	23
<b>Figure II.9</b> :Machine de Tour .....	24
<b>Figure II.10</b> : usinage de l'éprouvette de traction par tournage.....	25
<b>Figure II.11</b> : éprouvette de traction après tournage.....	25
<b>Figure II.12</b> : machine de traction (Zwick /Rowel Z100).....	26
<b>Figure II.13</b> : duromètre universaile.....	27
<b>Figure II.14</b> : polisseuse.....	28
<b>Figure II.15</b> : microscope optique.....	29
<b>Figure III.1</b> : image prise par microscope optique de l'échantillon B500.....	30
<b>Figure III.2</b> : image prise par microscope optique agrandi 200 fois.....	31

<b>Figure III.3</b> : image prise par microscope optique agrandi 400 fois.....	30
<b>Figure III.4</b> : Histogramme représentatif de la dureté Rockwell.....	32
<b>Figure III.5</b> : Histogramme représentatif de la dureté Vickers.....	32
<b>Figure III.6</b> : La courbe de traction contrainte – déformation .....	33
<b>Figure III.7</b> : Courbe de traction Force – allongement.....	33

## Liste des tableaux

<b>Tableau I.1</b> : Les points de transformation.....	3
<b>Tableau I.2</b> : Classification des aciers selon leur composition chimique composition chimique.....	5
<b>Tableau I.3</b> : symbolisation des aciers .....	6
<b>Tableau I.4</b> : les norme de la nuance.....	15
<b>Tableau I.5</b> : Propriétés mécanique selon la norme internationale ISO 6935-2 .....	16
<b>Tableau 1.6</b> : Composition chimique de l'acier B500.....	16
<b>Tableau II.1</b> : Dimensions de l'éprouvette usinée.....	23
<b>Tableau III.1</b> : résultats de la mesure de dureté.....	32
<b>Tableau III.2</b> : résultats obtenu par l'essai de traction .....	35



# **Introduction générale**

## **Introduction générale**

Les métaux et les alliages sont des matériaux très utilisés grâce à leurs propriétés assez variées. Les aciers, qui sont à la base des alliages de Fer et de Carbone, constituent un bon palliatif quand il s'agit de conditions de mise en œuvre nécessitant des propriétés de résistance mécanique élevée. Les propriétés mécaniques des aciers sont étroitement liées à leur microstructure, à leur composition chimique. Enfin, leurs coûts relativement faibles présentent un grand intérêt pour les industriels.

L'utilisation des aciers dans l'industrie est très diverse. On les retrouve dans la mécanique, L'aéronautiques, l'automobiles et dans les structures métalliques,...etc.

Dans le domaine du bâtiment l'acier représente le matériau de construction le plus important, il est utilisé surtout comme armature pour les structures en béton armé et cela grâce aux bons compromis entre les propriétés de ductilité et de dureté qu'il assure. Il s'agit ainsi de l'acier pour rond à béton.

Mon travail a porté sur la l'acier de rond à béton de nuance B500 élaboré au complexe sidérurgique Algerian Qatari Steel (AQS) de Bellara.

L'objectif de ce travail est de caractériser cet acier par des essais mécaniques, essai de traction et mesure de dureté, et par l'observation métallographique de sa microstructure au microscope optique. Mon mémoire est donc structuré en trois chapitres :

Le premier chapitre est consacré à une bibliographie sur les aciers en générale et les aciers d'armature de nuance B500.

Le deuxième chapitre présente l'ensemble des techniques expérimentales et préparations des échantillons

Le troisième chapitre est dédié à la discussion des différents résultats que nous avons obtenus.

Enfin, on a terminé notre travail par une conclusion générale.

# **Chapitre I**

## **Etude bibliographique**

## I. Généralités sur les aciers

### I.1 Définition

L'acier est un alliage fer-carbone dans lequel la teneur en carbone est inférieure à 2 %. Sa dureté maximale après trempe dépend de cette teneur en carbone. Les aciers sont classés en fonction de cette teneur, ce qui détermine leur niveau de dureté maximale.

Un acier à haute teneur en carbone est utilisé pour sa grande dureté, tandis qu'un acier à faible teneur en carbone est moins dur et plus malléable. En plus du fer et du carbone, l'acier contient généralement de petites quantités d'autres éléments incorporés de manière volontaire ou accidentelle lors de sa fabrication. Il est également possible d'ajouter des quantités plus importantes d'éléments d'alliage, ce qui en fait un acier allié [1].

### I.2 Diagramme fer-Carbon

Il est fort probable que l'alliage fer-carbone sous forme binaire soit considéré comme l'un des systèmes d'alliages les plus importants. Les aciers et les fontes, qui sont des matériaux structuraux essentiels dans toute société technologiquement avancée, sont principalement composés d'alliages de fer et de carbone. Cette section se concentre sur l'étude du diagramme d'équilibre de ce système et sur la formation de diverses microstructures possibles [2].

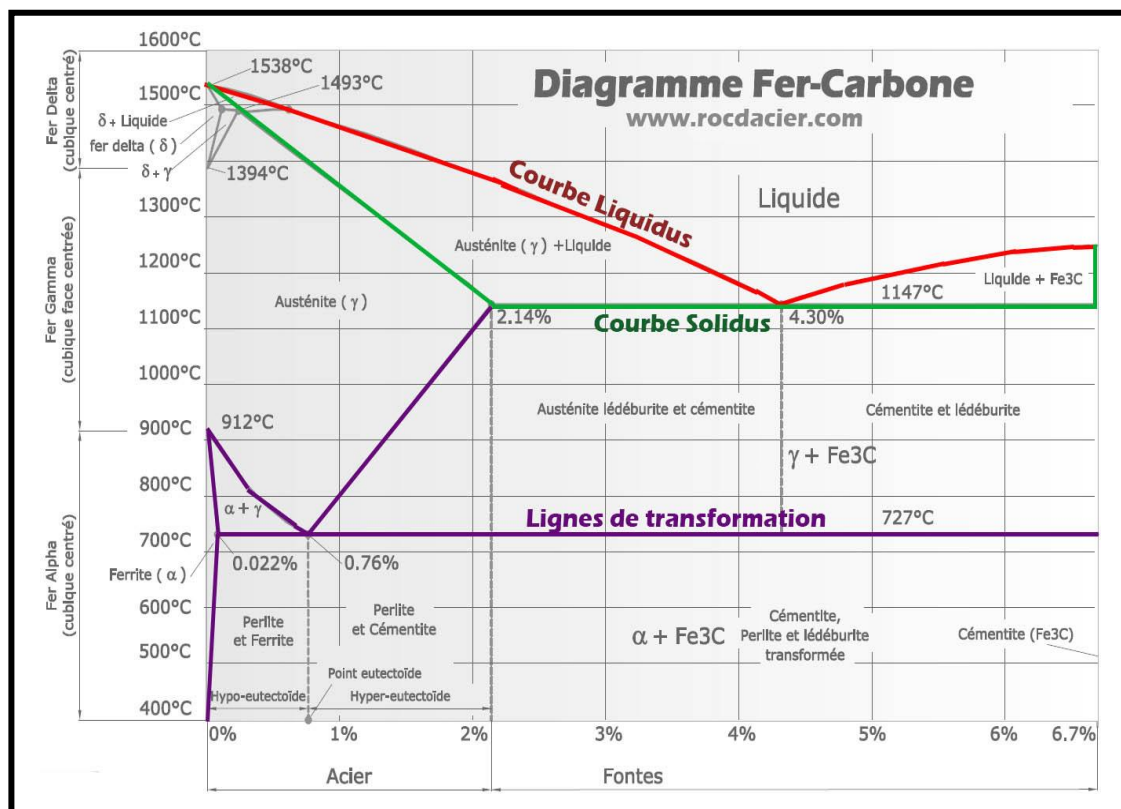


Figure 1.1 : Diagramme d'équilibre Fer-Carbonate (Fe-C).

## I.2.1 Les points de transformation

Le diagramme d'équilibre Fer-Carbone comprend différents points et lignes de transformation qui sont caractéristiques. Le tableau ci-dessous présente certains de ces points spécifiques du diagramme d'équilibre Fer-Carbone [3].

**Tableau.1.1:** Les points de transformation [8].

Point	T°C	% Carbone	Caractéristiques
A	1539	0	T de fusion de fer pur.
C	1147	4,3	Point de transformation eutectique $L \rightarrow \gamma + \text{cémentite}$
D	1500	6,67	T de fusion de la cémentite.
E	1147	2,14	Teneur limite de solubilité du C dans l'austénite.
G	910	0	Transformation polymorphe.
H	1499	0,10	Teneur limite de solubilité de C dans la ferrite.
N	1392	0	Transformation polymorphe $\alpha \leftrightarrow \gamma$ .
P	727	0,02	Teneur limite de solubilité du C dans l'austénite
S	727	0,8	Point de transformation

## I.2.2 Constituants du diagramme Fer-Carbone

Le diagramme Fer-Carbone révèle la présence des constituants suivants :

### ■ La ferrite

La ferrite est une solution solide de carbone dans le fer  $\alpha$ , qui se cristallise dans une structure cubique centrée (CC).

### ■ La perlite

Formée d'agrégats intimes de ferrite et de cémentite d'où la composition est 87,6 % de ferrite et de 12,4 % de cémentite.

### ■ L'austénite

L'austénite est une phase solide où le carbone est dissous dans le fer  $\gamma$ , formant une solution solide. Elle se cristallise dans une structure cubique à faces centrées (CFC).

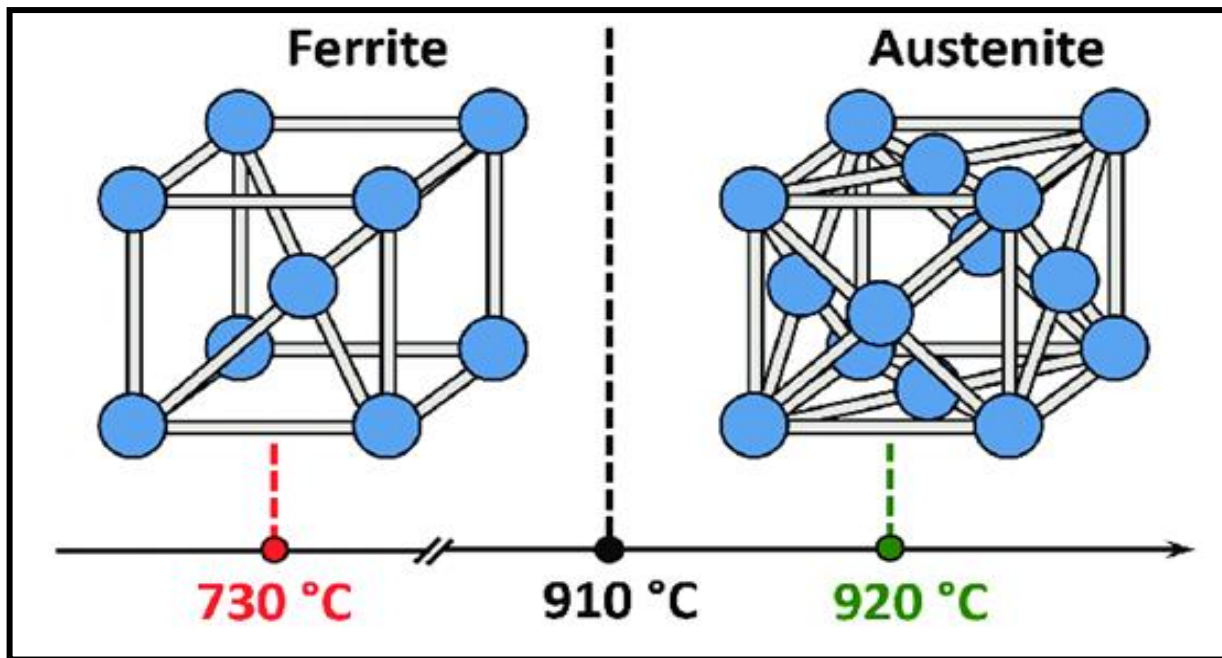


Figure I.2 : Structures cristallines de la ferrite et de l'austénite.

### ■ La lédéburite

Lorsque la teneur en carbone des alliages dépasse 2,06 %, le refroidissement donne naissance à un eutectique, un mélange de cémentite et d'austénite avec une teneur en carbone de 4,3 %. Cela forme ce qu'on appelle la lédéburite.

### ■ La cémentite

La cémentite est un composé chimique qui possède une grande dureté.

### ■ Le graphite (carbone pur)

Le graphite est la forme stable de la phase contenant une forte concentration de carbone. Il remplace la cémentite dans le diagramme Fer-Carbone et se cristallise dans un système hexagonal [4].

## I.3 La composition chimique des aciers

Les alliages de fer et de carbone sont désignés sous le nom d'aciers non alliés ou d'aciers au carbone. Les aciers alliés sont des alliages de fer contenant divers éléments, généralement métalliques, en plus du carbone.

**Tableau 1.2 :** Classification des aciers selon leur composition chimique.

Qualités	C (%)	Mn (%)	P (%)	Si (%)	S (%)
Extra-doux	0.15	0.4	0.04	0.03	0.02
Doux	0.25	0.4	0.04	0.03	0.02
Mi- doux	0.35	0.4	0.06	0.15	0.03
Mi-dur	0.45	0.5	0.06	0.20	0.03
Dur	0.55	0.6	0.06	0.25	0.03
Extra-dur	0.65	0.7	0.06	0.30	0.03

## I.4 Classification des aciers

### I.4.1 Les aciers d'usage général

Environ 85 % de la production d'acier est constituée d'aciers au carbone d'usage général, qui sont utilisés tels quels sans traitement supplémentaire. Ces aciers sont fabriqués en quantités massives et sont relativement abordables. En plus du carbone, ils contiennent des éléments d'addition tels que le manganèse, le silicium, ainsi que des impuretés telles que le soufre et le phosphore. La présence de ces éléments et impuretés est due à leur méthode de fabrication[5].

### I.4.2 Les aciers de traitements thermiques

Les aciers soumis à des traitements thermiques, qu'ils soient alliés ou non alliés, sont caractérisés par leur composition chimique. Cette composition détermine les traitements pouvant être appliqués à ces aciers en fonction des propriétés recherchées.

- **Aciers non alliés :** Ces aciers se situent entre les aciers d'usage général de type A et les aciers fins de type XC. Ils peuvent subir un traitement thermique, mais les caractéristiques mécaniques obtenues peuvent varier considérablement d'un lot à l'autre, voire au sein d'un même lot.
- **Aciers alliés :** Les aciers alliés se divisent en deux catégories principales :

- Aciers faiblement alliés : Il s'agit d'aciers dans lesquels aucun élément d'addition n'atteint une teneur de 5 %. Ces aciers contiennent des éléments d'addition en quantités relativement faibles.
- Aciers fortement alliés : Ces aciers se caractérisent par la présence d'au moins un élément d'addition atteignant une teneur égale ou supérieure à 5 % [5].

### I.4.3 Les aciers à outils

Ces aciers sont spécialement utilisés dans la fabrication d'outils mécaniques tels que les mèches, les outils de coupe, les cisailles, les marteaux, les burins, et bien d'autres. Les caractéristiques requises pour les aciers à outils sont similaires à celles des aciers alliés, mais elles nécessitent l'amélioration de plusieurs propriétés spécifiques, telles que la dureté, la trempabilité, la résistance à la chaleur, la ténacité, la résistance mécanique et la résistance aux chocs thermiques.[5]

### I.4.4 Les aciers inoxydables

Les aciers inoxydables regroupent différentes familles d'alliages à base de fer, caractérisés principalement par leur résistance à la corrosion généralisée. Cependant, bien qu'ils soient qualifiés d'"inoxydables", ces aciers ne sont pas complètement exempts de risque de corrosion dans toutes les situations. Le chrome joue un rôle essentiel, car à des concentrations supérieures à environ 12 %, il confère à l'acier sa résistance à la corrosion en favorisant la formation d'une couche protectrice passive à sa surface en présence d'un milieu oxydant.[5]

### I.5 Symbolisation des aciers

En fonction du type d'acier utilisé, on utilise des symboles différents pour la désignation [14].

**Tableau 1.3 : Symbolisation des aciers.**

Symbole	Acier
B	Acier à béton
C	Acier non allié avec Mn < 1%
E	Acier de construction mécanique
H	Acier à haute résistance laminé à froid pour emboutissage à froid
HT	Acier à haute résistance laminé à froid pour emboutissage à froid
L	Acier pour tube de conduite
P	Acier pour appareils de pression
R	Acier pour ou sous forme de rails
S	Acier de construction



## I.6 Caractéristiques des aciers

### I.6.1 Caractéristiques physiques et mécaniques

La dilatation est une caractéristique physique forte et importante pour le constructeur métallique. Le coefficient de dilatation linéaire de l'acier est  $12 \times 10^{-6}/K$  [6].

Les métaux possèdent différentes propriétés qui déterminent leur réaction face à diverses influences externes dans différentes conditions d'utilisation. En général, ces propriétés peuvent être regroupées en plusieurs catégories du point de vue pratique [7].

- Les caractéristiques de résistance mécanique avec la limite d'élasticité, la résistance à la traction et la dureté ;
- Les caractéristiques de ductilité avec l'allongement à la rupture l'allongement sous, charge maximale ou allongement réparti et la striction ;
- Une caractéristique particulière, l'énergie de rupture en flexion par choc ou résilience
- La ténacité ;
- La résistance à la fatigue ;
- La tenue mécanique à chaud.

#### I.6.1.1 Limite d'élasticité

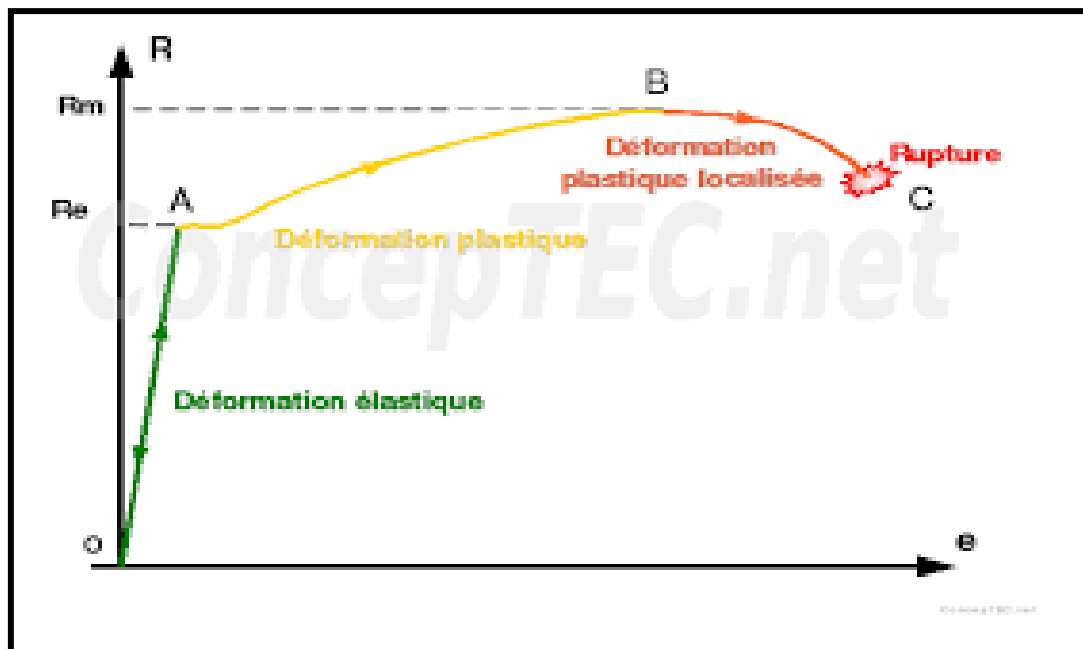
La limite d'élasticité correspond au point au-delà duquel un métal subit une déformation irréversible et perd sa géométrie initiale. Cela signifie que la pièce ne conserve plus ses dimensions d'origine. La limite d'élasticité est mesurée lors de l'essai de traction, qui est le test mécanique de base. Sa méthode est définie par la norme NF EN 10002. Pendant cet essai, une éprouvette de forme spécifique est soumise à une force de traction croissante, et les variations de la force appliquée et de la déformation de l'éprouvette sont enregistrées. Le résultat obtenu est représenté par une courbe de traction, qui montre l'évolution de la charge unitaire (force de traction/section initiale de l'éprouvette) en fonction de l'allongement relatif (allongement/longueur initiale de la base de mesure exprimé en pourcentage). L'allongement est mesuré sur la partie calibrée de l'éprouvette, et la base de mesure  $l_0$  varie en fonction de la section de cette partie calibrée  $S_0$ , selon une relation donnée.

$$l_0 = 5,65\sqrt{S_0} \dots \dots \dots (I.1)$$

La courbe de traction, figure I.3 ci-dessous, présente plusieurs zones distinctes.

- Une partie linéaire AB avec une forte pente, où le métal subit des déformations réversibles.
- Une partie courbe BCD, qui représente la zone où le métal subit des déformations irréversibles. Cette zone peut être subdivisée en deux parties :
  - La partie ascendante BC, où l'effort unitaire augmente avec l'allongement. Si l'on s'arrête au point M, le métal continuera à fonctionner de manière réversible le long de la droite MN.
  - La partie descendante CD, où l'éprouvette subit une déformation très localisée qui réduit sa section jusqu'à sa rupture.

Les déformations observées dans la partie AB de la courbe, figure I.3 sont réversibles, ce qui signifie qu'elles peuvent être récupérées. On les appelle des déformations élastiques, et le point B qui marque la limite de cette zone est appelé la limite d'élasticité. Cependant, on constate que sur la courbe, la déformation plastique commence avec une instabilité qui se manifeste par un crochet. Conventionnellement, on détermine alors la limite supérieure d'écoulement  $R_{eH}$ , qui correspond à la charge unitaire où l'on observe une diminution de la force de traction [7].



**Figure I.3 :** Courbe de traction.

La résistance à la traction  $R_m$  est la charge maximale supportée par le métal lorsqu'il est soumis à une force de traction. Au-delà de cette valeur de charge unitaire, le métal présente une instabilité qui conduit à la rupture, généralement accompagnée de la formation d'une striction. La valeur de la résistance à la traction est déterminée lors de l'essai de traction et correspond au point B de la courbe (figure I.3). Il convient de noter que la résistance à la rupture est une grandeur conventionnelle, car elle fait référence à la section initiale de l'éprouvette. Cependant, elle représente une limite à ne pas dépasser pour éviter tout risque de défaillance. Au-delà du point C, figure 1.3, l'éprouvette se fracture. La rupture peut alors se produire de manière ductile ou fragile [7].

### **I.6.1.2 La dureté**

La dureté est une mesure complexe de la résistance à la déformation d'un matériau, fournissant des repères utiles. Elle permet de réaliser des classements, de vérifier la conformité aux exigences spécifiques et, en se basant sur l'expérience du praticien, d'estimer les propriétés mécaniques du matériau. Les essais de dureté sont des essais mécaniques largement utilisés, car ils sont rapides, relativement simples, peu coûteux, localisés et pratiquement non destructifs. Ils sont réalisés selon différentes méthodes, la plus courante étant d'enfoncer un pénétrateur de forme définie dans le matériau soumis à l'essai, évaluant ainsi sa résistance à l'indentation sous une charge donnée. Le paramètre pris en compte pour le calcul de la dureté est la taille de l'empreinte laissée par le pénétrateur à la surface du matériau. Selon la méthode d'essai, on mesure soit la surface de l'empreinte en mesurant le diamètre ou la diagonale de l'empreinte (pour les essais de dureté Brinell et Vickers), soit la profondeur de l'empreinte. Les essais Rockwell fonctionnent en mesurant l'accroissement de la profondeur de pénétration du pénétrateur résultant de l'application de deux charges différentes. La plupart des machines de mesure de dureté permettent une lecture directe de la dureté. Des correspondances ont été établies entre les mesures de dureté et les caractéristiques de résistance, principalement la résistance à la traction  $R_m$ . Ces correspondances dépendent de la nature du matériau de base. Pour les aciers non austénitiques, elles sont définies par le document AFNOR NF A 03-173[7].

### **I.6.1.3 L'allongement à la rupture**

L'allongement à la rupture  $A$  est une mesure de la ductilité qui est évaluée lors de l'essai de traction. Il est déterminé après l'essai en alignant au mieux les deux moitiés de l'éprouvette et

en mesurant la distance entre les repères définissant la base de mesure. L'allongement à la rupture se compose de deux parties :

$$A(\%) = 100 \times \frac{L-L_0}{L_0} \dots\dots\dots(I.2)$$

- L'allongement réparti, qui se développe pendant la période BC de l'essai et concerne toute la longueur calibrée de l'éprouvette.
- L'allongement de striction, qui se produit pendant la période CD et ne concerne que la zone où se forme la striction. Cet allongement dépend de la géométrie de l'éprouvette[7] .

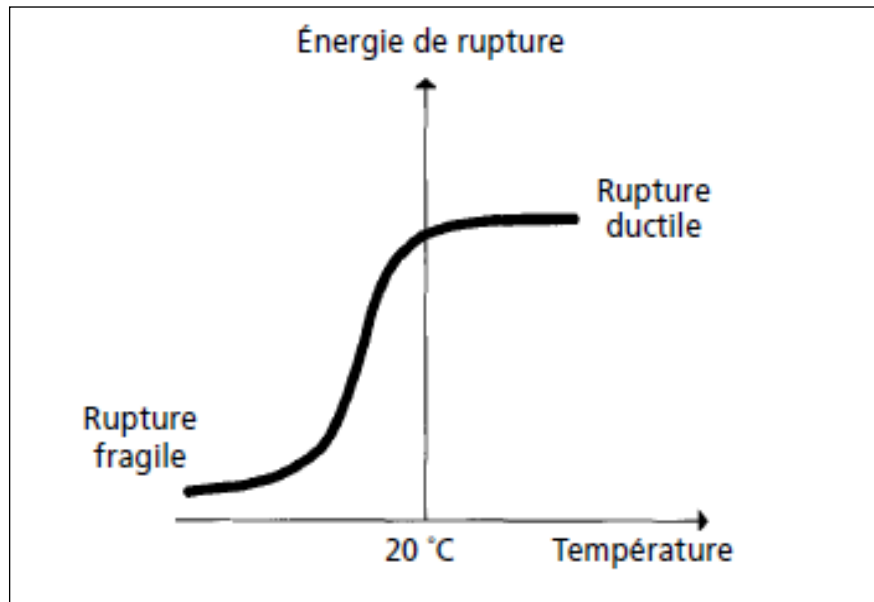
#### **I.6.1.4 L'énergie de rupture par choc ou résilience**

La résilience est une caractéristique qui permet d'évaluer la résistance d'un métal à une rupture brutale dans des conditions spécifiques. L'essai consiste à appliquer un choc unique sur une éprouvette entaillée placée sur deux supports et soumise à une flexion. L'énergie absorbée lors de la rupture est mesurée. La norme NF EN 10045-1 définit la méthode de cet essai. L'éprouvette utilisée internationalement est l'éprouvette Charpy V avec une entaille en V de rayon 0,25 mm. L'énergie de rupture mesurée, symbolisée par KV, est exprimée en joules.

L'essai de résilience est généralement réalisé à la température ambiante (20 °C) ou à des températures spécifiées par les normes des produits. L'essai à des températures inférieures à 20 °C permet de mettre en évidence la rupture fragile d'un métal à structure cubique centrée. En dessous de la température de transition de la ductilité, la résistance à la traction augmente moins rapidement que la limite d'élasticité, et les ruptures se produisent sans déformation plastique préalable, avec un faciès de rupture à facettes.

Les variations de l'énergie de rupture mesurée à différentes températures permettent d'évaluer la résistance à la rupture fragile du métal. Une courbe de transition est tracée, représentant les variations de cette énergie en fonction de la température d'essai. Une donnée importante tirée de cette courbe est la "température de transition", qui correspond à la température à laquelle l'énergie de rupture atteint un niveau spécifique souvent 28 J pour les aciers de construction, appelée TK28 ou T28J.

Il convient de noter que les températures de transition doivent être interprétées avec précaution, car leur relation avec les températures minimales de service des constructions est complexe et dépend de nombreux paramètres. Les essais de résilience permettent de tester la résistance à la rupture brutale d'un métal dans des conditions très spécifiques, et les résultats obtenus sont utilisés comme des repères étalonnés par l'expérience. Ainsi, un essai de résilience isolé n'a de sens que dans le contexte d'une connaissance approfondie du métal [7].



**Figure I.4 :** Courbe de résilience.

### I.6.1.5 La ténacité

Lors du calcul de structures en utilisant des métaux ayant une résistance élevée mais une ductilité relativement limitée, il est essentiel de prendre en compte le danger potentiel de la présence d'une fissure. En effet, la défaillance éventuelle de ces matériaux passe généralement par une phase d'endommagement qui crée des micro-défauts tels que des microcavités ou des microfissures, suivie d'une phase de propagation au cours de laquelle la fissure se développe et peut conduire à la rupture. L'existence préalable d'une fissure réduit le processus de rupture à la seule phase de propagation, accélérant ainsi la défaillance.

Étant donné qu'il est pratiquement impossible de garantir l'absence totale de défauts dans une structure (qu'il s'agisse d'inclusions dans un alliage industriel ou de fissures dans un assemblage soudé), il est essentiel de prendre en compte ces défauts pour estimer la taille critique au-delà de laquelle ils seront responsables de la rupture et en deçà de laquelle la

rupture serait évitée, compte tenu des contraintes de service considérées. Pour cela, la sollicitation subie par le métal est caractérisée en se plaçant dans la situation la plus défavorable, où les deux faces de la fissure préexistante s'écartent l'une de l'autre (déplacement perpendiculaire au plan de la fissure). On parle alors de déformation plane et de rupture de mode 1. Le paramètre significatif dans cette analyse est le "facteur d'intensité de contrainte"  $K_I$  [7].

## **I.6.2 Caractéristiques chimiques**

Les métaux sont susceptibles de réagir chimiquement une fois en contact avec d'autres éléments. Lorsqu'il y a altération, on parle de corrosion. La teneur des éléments qui le composent est donnée par les normes ou par les catalogues des producteurs. La réactivité des aciers avec leur environnement est importante. La corrosion atmosphérique dépend de l'humidité relative et de la pollution de l'air. Elle engendre une dégradation du matériau en termes d'épaisseur, de poids et par conséquent de performances [6].

## **I.7 Utilisation des aciers dans le domaine de construction**

Malgré l'émergence du béton, du fer, et de la fonte, les aciers demeurent des matériaux modernes les plus utilisés dans la construction. Voici quelques exemples de ces matériaux [8].

### **I.7.1 Sous forme de matériaux ouvrés**

- ❖ Ossatures métalliques enrobées de béton, telles que des poutrelles diverses ;
- ❖ Barres d'acier utilisées pour armer le béton ;
- ❖ Menuiseries métalliques, telles que des persiennes ;
- ❖ Tuyaux et plaques en fonte, ainsi que des tuyaux d'acier utilisés pour les canalisations.
- ❖ Éléments de serrurerie et de fer forgé ;
- ❖ Ferrures diverses, clous, feuillards, et autres accessoires similaires.

### **I.7.2 Sous forme d'outillages et de matériel de chantier**

- ❖ Petit outillage fabriqué en acier dur ;
- ❖ Équipements tels que pelles, pioches, brouettes, étais, coffrages, échafaudages, tubulaires et échelles ;
- ❖ Gros matériel comme les grues, les bétonnières, les compresseurs, les pompes, les palplanches et les engins de terrassement.

## I.8 L'acier de rond à béton

Les aciers utilisés dans la construction sont un type spécifique d'acier ayant une composition chimique précise en termes de teneur en éléments chimiques. Ils sont utilisés en combinaison avec du béton pour améliorer sa résistance à la traction, ce qui donne naissance à ce qu'on appelle le béton armé.



Figure I.5 : Acier d'armature.

### I.8.1 Structure des aciers de ronds à béton

Selon leur composition chimique, en particulier leur teneur en carbone, ainsi que les conditions de chauffage et de refroidissement, les aciers utilisés dans la construction présentent deux structures métallographiques distinctes lorsqu'ils sont mis en œuvre [9].

#### ■ Structure ferrito-perlitique

La grande majorité des aciers utilisés couramment dans la construction sont livrés et utilisés sous forme ferrito-perlitique. Ils sont composés de grains de ferrite adjacents à des pseudo-grains de perlite. La perlite est un agrégat constitué de particules de ferrite et de particules de carbure de fer  $Fe_3C$  [10].

Cette structure est obtenue grâce à un refroidissement relativement lent et une faible teneur en carbone. La structure ferrito-perlitique confère à l'acier de bonnes propriétés de ductilité, mais ses caractéristiques de dureté sont plutôt médiocres.

En résumé, les aciers utilisés dans la construction sont spécialement conçus pour améliorer la résistance à la traction du béton. Ils présentent une structure ferrito-perlitique qui leur confère des propriétés de ductilité, tandis que leur dureté est modérée.

### ■ Structure perlito-ferritique

À la différence de la structure précédente, la structure perlito-ferritique contient une quantité plus importante de perlite que de ferrite. Elle se forme en raison d'une teneur relativement élevée en carbone et d'une vitesse de refroidissement plus rapide. Les aciers avec une structure perlito-ferritique offrent un bon compromis entre la ductilité et la dureté.

## I.8.2 Propriétés des aciers d'armature

Les aciers utilisés dans le domaine de la construction doivent présenter certaines caractéristiques spécifiques, notamment :

### ✓ Propriétés physiques

La dilatation linéique est une caractéristique physique essentielle pour les constructeurs métalliques. Elle reflète l'augmentation des dimensions de l'acier et peut être exprimée par rapport à une température spécifique (valeur réelle) ou entre deux températures (valeur moyenne). L'acier est également un bon conducteur thermique, ce qui est important à prendre en compte dans les échanges de chaleur entre l'extérieur et l'intérieur des structures [11].

### ✓ Propriétés chimiques

Les propriétés chimiques des aciers d'armature sont influencées par les éléments ajoutés au mélange de base. Par exemple, l'ajout de cuivre confère à l'acier une certaine résistance à l'oxydation, le chrome augmente sa résistance, le nickel permet d'obtenir des aciers durs et inoxydables. De même, l'utilisation de tungstène, de molybdène, de vanadium et d'autres éléments peut permettre d'obtenir des aciers de qualité supérieure adaptés aux besoins de diverses industries [11].

### ✓ Propriétés mécaniques

Différentes propriétés mécaniques sont importantes dans le domaine des matériaux, telles que :

- La flexion.
- La résistance à la traction.
- La dureté.



- La limite d'élasticité ;
- L'allongement à la rupture ;
- Le module d'élasticité de d'Young ;
- La résilience.

### I.8.3 Les aciers d'armature de nuance B500

Les caractéristiques mécaniques des aciers pour béton armé dépendent de la nuance de l'acier. Les valeurs sont spécifiées dans les normes françaises ou européennes. Trois nuances principales en France [12].

- B500A :  $R_e \geq 500$  MPa et  $A \geq 2,5$  %
- B500B :  $R_e \geq 500$  MPa et  $A \geq 5$  %
- B500C :  $R_e \geq 500$  MPa et  $A \geq 7.5$  %

Avec  $R_e$  la limite d'élasticité de l'acier et A la déformation relative maximale admissible d'un acier avant rupture [12].

Les nuances les plus utilisées sont les B500A et B500B. La nuance B500B, compte tenu de son allongement important à la rupture doit être utilisée pour les constructions en zone sismique [12].

**Tableau I .4 :** Les norme de la nuance B500[13] .

Norme	Nuance	Re(Mpa)	A (%)
<b>Russe</b> ГОСТ Р 52544- (2006)	B500C	500	/
<b>Française</b> NF A35-016-1 NF A35-016-2 (2007)	B500A	500	2,5
	B500B		5
<b>Britanniques</b> BS 4449 :(2005)	B500A	500	2,5
	B500B		5
	B500C		7,5
<b>Européennes</b> ENV 10080 :(1995 3)	B500A	500	2
	<b>B500B</b>		<b>5</b>

**Tableau 1.5 :** Propriétés mécanique selon la norme internationale ISO 6935-2 .

Classe de ductilité	Nuance d'acier	Re (Mpa)	R <sub>M</sub> (Mpa)	Ductilité R <sub>M</sub> /R <sub>E</sub>	Allongement max (%)	Allongement min(%)
B	B500BWR	500	550	1,1	15	5

Le premier « B » signifie acier pour béton armé. Les trois chiffres suivants représentent la caractéristique spécifiée de la valeur de la limite d'élasticité. La lettre « W » signifie que l'acier est soudable. La lettre « R » signifie une barre nervurée.

### I.8.3.1 Composition chimique de l'acier B500

La composition chimique précise de l'acier B500 peut varier en fonction des normes et des spécifications locales. Cependant, voici une composition chimique typique pour l'acier B500 conforme à la norme européenne EN 10080 :

**Tableau 1.6 :** Composition chimique de l'acier B500.

Elements	Carbone (C)	Manganèse (Mn)	Silicium (Si)	Soufre (S)	Phosphore (P)	Chrome (Cr)
Teneur %	0,24%	1,40%	0,55%	0,05%	0,05%	0,30%

### I.8.3.2 L'acier de rond à béton élaboré à l'AQS

Le produit rond à béton soudable de nuance RB500 élaboré au niveau de l'AQS est conforme aux normes, NA8643(2015) et ISO 6935-2. Une gamme large de diamètres : 8, 10, 12, 14, 16, 20, 25, 32, 40 mm et de longueur de 12m est fabriqué à l'AQS. Un marquage spécifique (AQS) est gravé sur les barres (figure I.6) [14] .



**Figure I.6** Rond à béton produit par l'AQS.

## **Chapitre II**

### **Matériaux utilisés et techniques expérimentales**

## II. techniques expérimentales

### II.1 Introduction

Dans ce chapitre nous allons présenter les différentes techniques expérimentales tels que l'essai de traction, la mesure de dureté et l'observation par microscope optique afin de caractériser l'acier B500.

### II.2 Essai de traction

L'essai de traction est le test mécanique le plus couramment utilisé. Il implique de soumettre une éprouvette du matériau à étudier à deux forces opposées de traction, de même valeur absolue, le long de l'axe de symétrie ou de rotation de l'éprouvette. On mesure instantanément l'allongement  $\Delta l$  correspondant à cette traction. Afin de pouvoir interpréter les résultats en fonction du matériau étudié plutôt que de la géométrie de l'éprouvette, il est nécessaire de modifier les courbes brutes de traction. Pour ce faire, on rapporte la charge  $F$  à la section initiale  $S_0$  de l'éprouvette afin d'obtenir la contrainte nominale  $\sigma$  :

$$\sigma = \frac{F}{S_0} \dots\dots\dots \text{(II. 3)}$$

Et on rapporte l'allongement  $\Delta l$  à la longueur initiale entre repères  $l_0$ , pour obtenir la déformation nominale  $\varepsilon$ .

$$\varepsilon = \frac{L-L_0}{L_0} \dots\dots\dots \text{(II.4)}$$

L'essai est le plus souvent normalisé. La forme de l'éprouvette est soit cylindrique, soit prismatique [6][7].

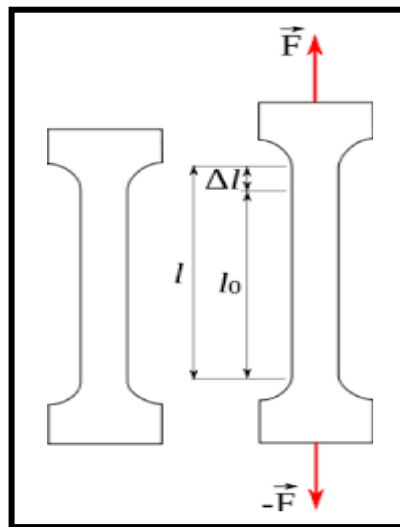


Figure II.1 : Principe de l'essai de traction.

- **Module d'élasticité « E »** ou le module de Young donnée par la pente de la partie élastique de courbe contrainte-déformation.
- **La limite d'élasticité « Re »** qui donne la valeur de la contrainte nominale à partir de laquelle le matériau commence à se déformer plastiquement. Comme le déformation plastique apparaît souvent progressivement, la limite d'élasticité est difficile à déterminer avec précision on adopte généralement une limite d'élasticité conventionnel  $Re_{0,2}$  qui la contrainte nominale correspondant à une déformation permanent de 0,2%.
- **La résistance à mécanique « Rm »** qui est définie par la contrainte maximale supporter par l'éprouvette.
- **L'allongement après rupture « A »** qui correspond à la déformation plastique nominale à la rupture de l'éprouvette de traction [6][7].

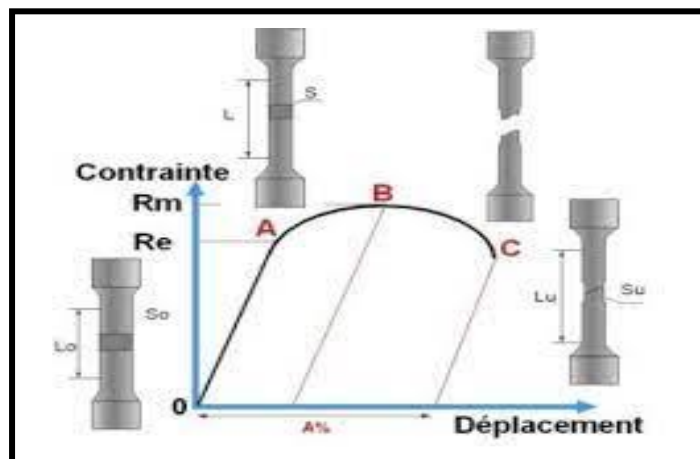
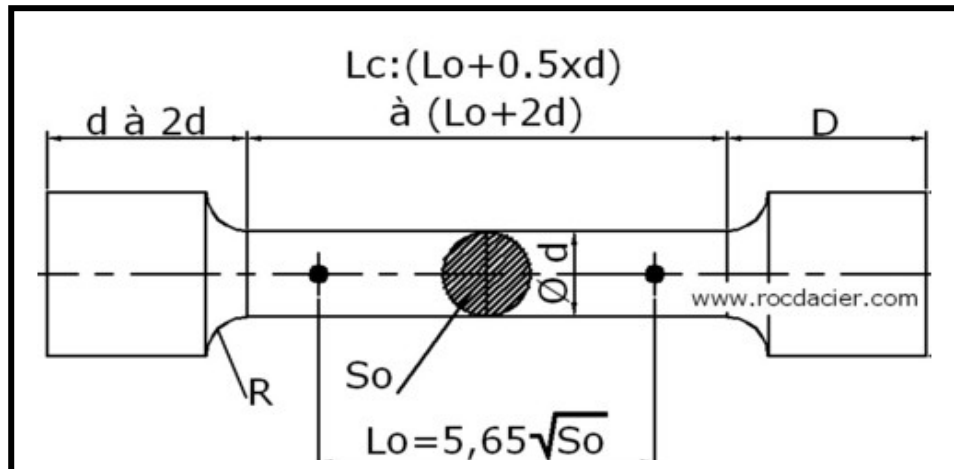


Figure II.2 : Courbe de traction.

## II.2.1 Eprouvette de traction

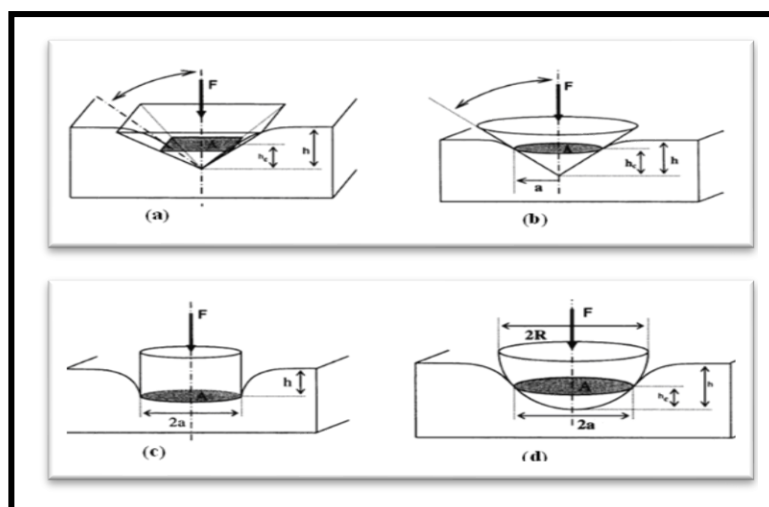
Les éprouvettes de traction sont normalisées selon la norme (ISO 6892-1).



**Figure II.3 :** Dimensions de l'éprouvette de traction normalisée.

## II.3 Essai de dureté

La dureté est une propriété physique dont la mesure correspond à la résistance à la déformation ou pénétration locale d'un matériau. Le test de dureté consiste à appliquer une force sur un indenteur qui pénètre le matériau et maintenir l'indenteur pour une durée normalisée avant l'enlèvement et à mesurer l'empreinte déformée à la surface du matériau. La dureté généralement s'exprime par le rapport de la force à l'aire résiduelle (sauf l'essai de dureté Rockwell). Il existe une grande variété d'essais habituels de dureté principalement selon la forme du pénétrateur et la nature de la mesure de l'empreinte (surface ou profondeur). (La Figure II.4) présente les géométries de pénétrateurs [8].



**Figure II.4:** Différents types de pénétrateur (a) Pénétrateur pyramidal (b) Pénétrateur conique (c) Pénétrateur cylindrique (d) Pénétrateur sphérique.

### II.3.1 Essai de dureté de Brinell

L'essai de dureté Brinell utilise un indenteur sphérique en acier trempé ou en carbure de tungstène. Le diamètre de l'empreinte circulaire laissée dans le matériau est mesuré après suppression de la charge. La dureté Brinell (notée  $HB$ ) est donnée par la relation suivante [8] :

$$HB = \frac{2F}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})} \dots\dots\dots (II.5)$$

Avec  $F$  (kgf) la charge de l'essai

$D$  (mm) le diamètre de l'indenteur

$d$  (mm) le diamètre de l'empreinte

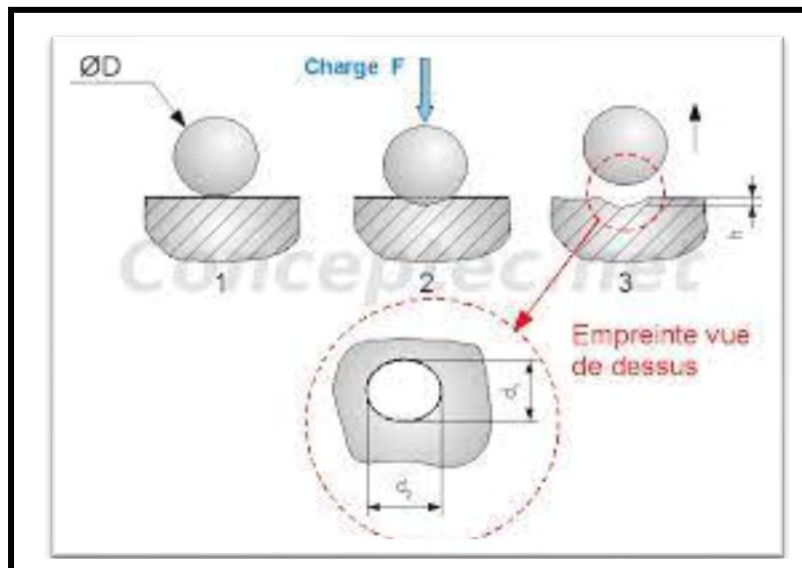


Figure II.5 : Principe de la dureté brinell.

### II.3.2 Essai de dureté Vickers

L'essai de dureté Vickers utilise un indenteur en diamant est une pyramide à base carrée dont l'angle au sommet entre deux faces opposées est de  $136^\circ$ . Car la taille de l'empreinte carrée laissée par l'indenteur est généralement très petite, ses diagonales sont mesurées par microscopie optique pour calculer la dureté de l'échantillon. La dureté Vickers ( $H_V$ ) est calculée avec la relation suivante [8].



$$Hv = \frac{2F \sin\left(\frac{136^\circ}{2}\right)}{d^2} = \frac{1,854F}{d^2} \dots\dots\dots (II.6)$$

Avec d (mm) la moyenne des deux diagonales de l’empreinte carrée

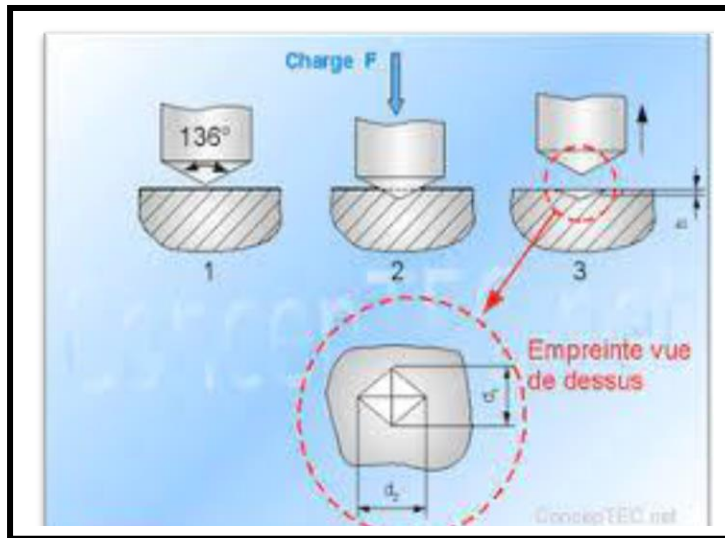


Figure II.6 : Principe de la dureté Vickers

**II.3.3 Essai de dureté de Rockwell**

Il y a deux types de pénétrateurs pour réaliser l’essai de dureté Rockwell. Le premier est un cône en diamant de section circulaire, d’angle au sommet 120°, à pointe arrondie sphérique (rayon de 0,2 mm). Le second est une bille en acier trempé, de diamètre 1,587 mm ou 3,175 mm [8].

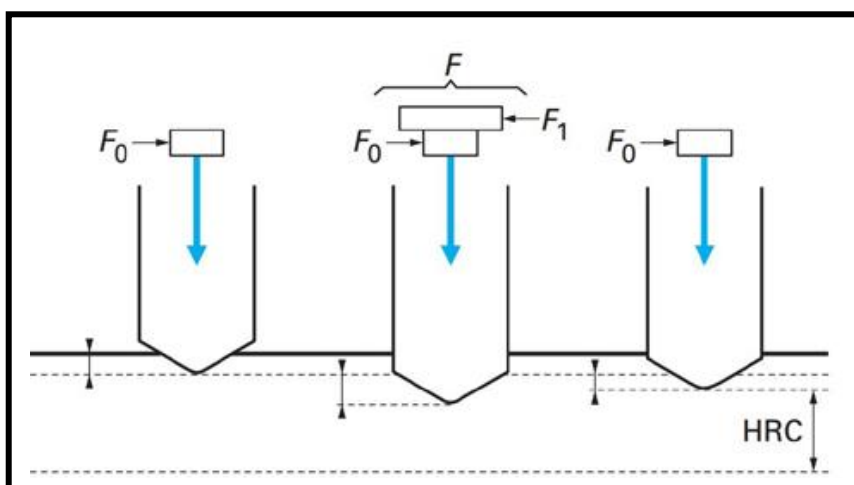


Figure II.7 : Description d’un essai de dureté Rockwell.

Comme le montre la (Figure II.7), cet essai consiste à appliquer une précharge permettant d'obtenir une profondeur initiale. Ensuite une surcharge est imposée puis après 3-8 secondes on supprime la charge supplémentaire mais maintien la charge initiale avant de mesurer l'enfoncement rémanente  $r$  en millimètre qui sera utilisée pour le calcul de la dureté Rockwell [8].

$$\text{HRB} = 130 - r \dots \dots \dots (7)$$

$$\text{HRC} = 100 - r \dots \dots \dots (8)$$

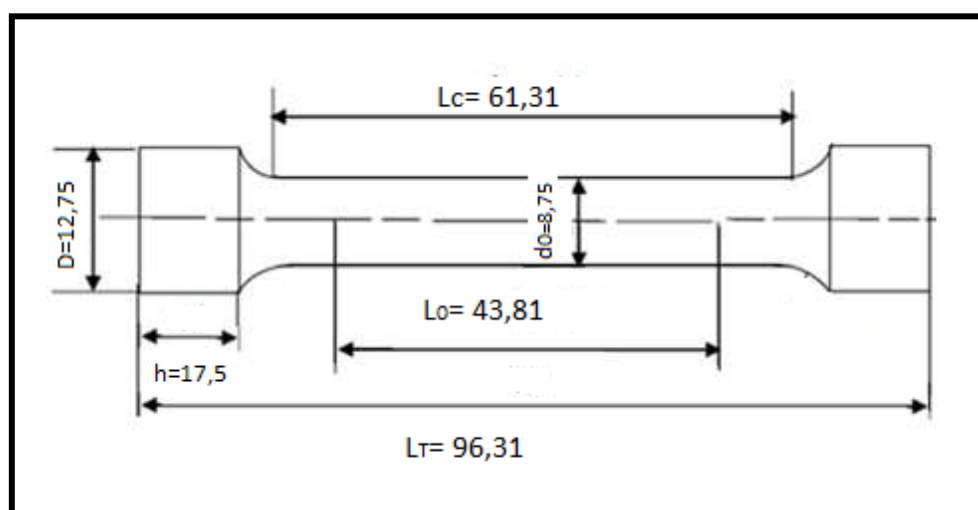
## II.4 Elaboration des éprouvettes

### II.4.1 Eprouvette de traction utilisée

Préparation une éprouvette cylindrique normalisée selon la norme (ISO 6892-1) pour l'essai de traction de dimensions suivante :

**Tableau II.1** : Dimensions de l'éprouvette utilisé.

Dimension	$L_0$	$L_c$	$L_T$	$h$	$d_0$	$D$
Mm	43,81	61,31	96,31	17,5	8,75	12,75



**Figure II.8** : Schéma de l'éprouvette traction à usinée.

### II.4.2 Le matériau à l'état de livraison

Le matériau utilisé c'est une barre d'acier de rond de béton de diamètre  $d=20\text{mm}$ , élaboré par l'AQS.

### II.4.3 Les différentes étapes d'usinage des échantillons

Le découpage à été réalisé à l'aide d'une tronçonneuse. Par la suit on a obtenu des brutes de longueurs  $L= 100\text{ mm}$ , et de diamètre  $d=20\text{ mm}$ .

Afin d'obtenir une éprouvette de traction cylindrique, et de dimensions normalisées, on a opté pour l'opération de tournage au niveau de l'atelier du Hall de technologie, à l'aide d'une machine de tour.



**Figure II.9 :** Machine de Tour.

La pièce a usiné est serrée dans le mandrin sur le même axe avec l'outil. L'outil qui est serré sur la table, qui se déplace suivant les axes X et Z.



**Figure II.10** : Usinage de l'éprouvette de traction par tournage.

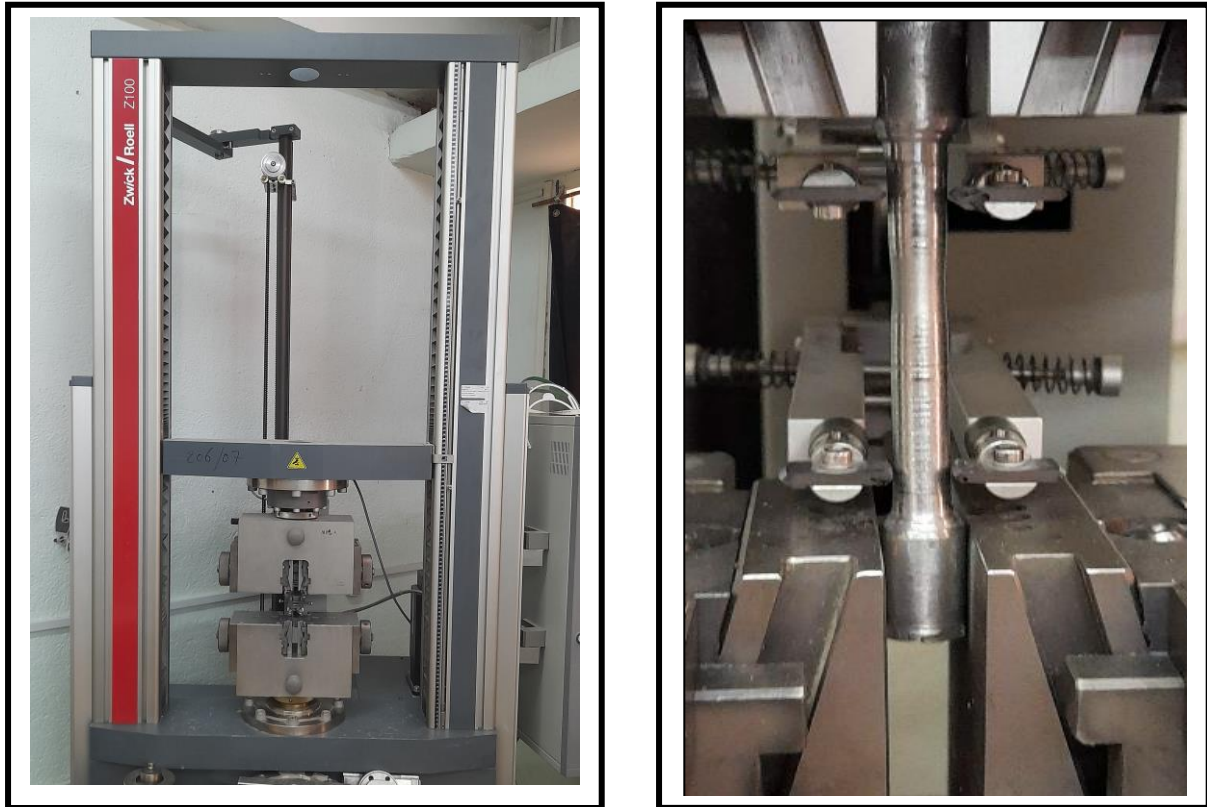
A la fin, on a obtenu des éprouvettes de traction normalisée, figure ci-dessous.



**Figure II.11** : Eprouvette de traction après tournage.

## II.5 Réalisation de l'essai de traction

L'essai a été réalisé à l'aide d'une machine de traction (Figure II.12) au niveau du laboratoire de mécanique de précision à l'université de Sétif suivant ces étapes :



**Figure II.12 :** Machine de traction (Zwick /Rowel Z100).

- Fixation de l'éprouvette sur les deux mors de la machine de traction .
- Saisir les paramètres identifiants l'essai relatifs au fonctionnement de la machine, Matière,...etc.
- L'interface visionne l'allure de la courbe au fur et à mesure que le mors mobile de la machine se déplace avec une vitesse de traction jusqu'à la rupture de l'éprouvette.
- Enregistrement des Courbes : Allongements / forces et contraintes /déformations.

### II.5.1 Déroulement de l'essai de dureté

La mesure de la dureté de l'acier, a été réalisé sur deux différentes échelles : HRC et HV à l'aide d'un duromètre universel au niveau de laboratoire des propriétés mécaniques du complexe AQS, (Figure II.13) .

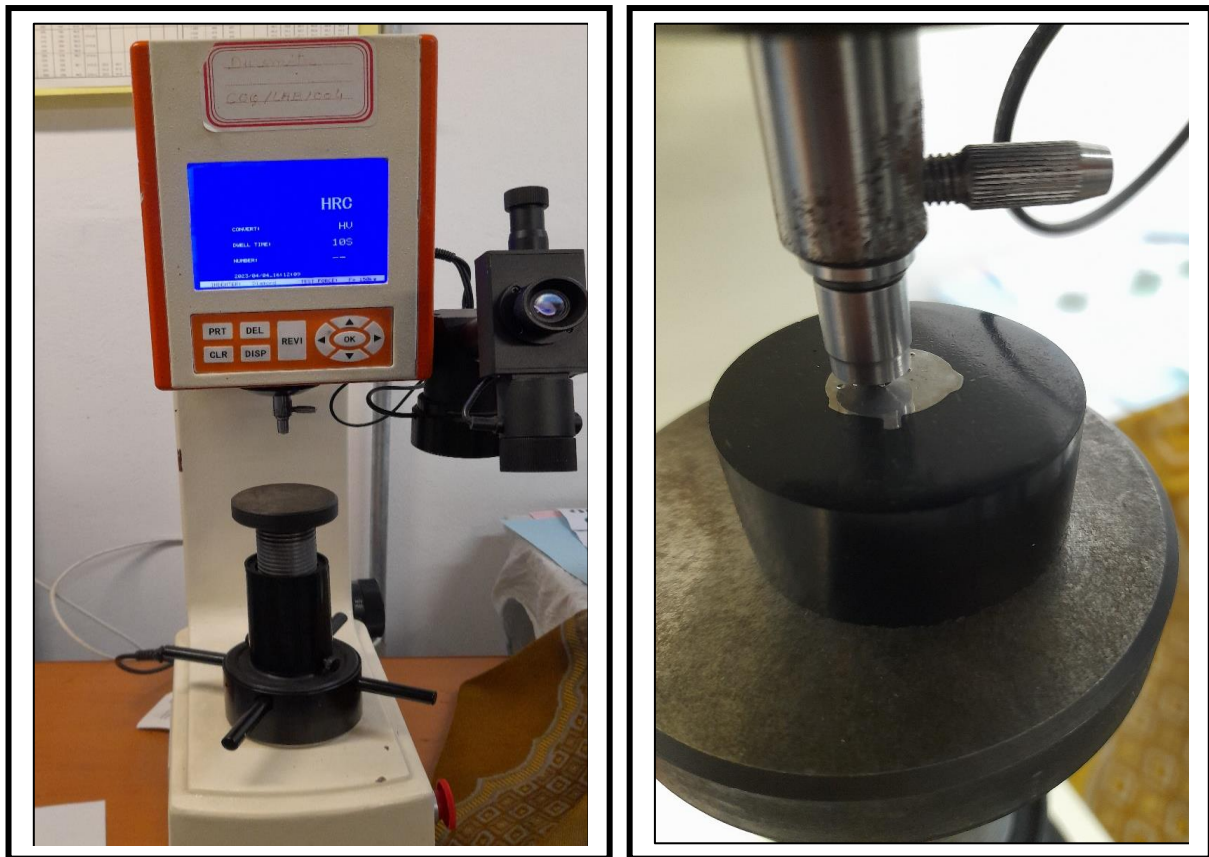


Figure II.13 Duromètre universelle d'AQS utilisé.

L'essai consiste à enfoncer dans la couche superficielle de l'éprouvette un pénétrateur de type normalisé (figure II.13), qui peut être un cône ou une bille. La dureté est donnée par la profondeur  $d$  de l'empreinte.

## II.6 Caractérisations microstructurales

L'examen métallographique a pour but de mettre en évidence les différentes phases microstructurales des échantillons lors de l'observation au microscope optique.

### II.6.1 Polissage

L'observation microscopique nécessite un polissage fin de la surface à observer, afin d'obtenir une bonne image représentative de sa structure. Il se fait par frottement de l'échantillon sur des papiers abrasifs de plus en plus fine (180 à 2000) à l'aide d'une polisseuse au niveau du Hall de technologie. Le polissage se fait habituellement sous eau pour éliminer tout risque d'échauffement de l'échantillon.



**Figure II.14** : Polisseuse utilisée.

### II.6.2 Attaque chimique

Pour observer la microstructure des phases de l'acier B500, il est nécessaire d'utiliser une méthode d'attaque chimique qui révèle les différentes phases séparées par des joints de grains. Un réactif couramment utilisé à cet effet est le Nital, qui est composé de 5% d'acide nitrique  $\text{HNO}_3$  et de 95% d'éthanol (alcool éthylique  $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ ). On maintient la surface de l'échantillon en contact avec le réactif jusqu'à l'apparition d'une couleur plus sombre.

### II.6.3 Observation optique

L'observation optique des échantillons étudiés (après le polissage et l'attaque chimique) a été réalisée au niveau de laboratoire de mécanique à l'université de Tizi Ouzou, à l'aide d'un microscope optique équipé d'un système de prise de photos, relié à un ordinateur, qui permet l'observation des microstructures avec un grossissement de 100 à 400 (figure II.15).



**Figure II.15** : Microscope optique utilisé.

## **Chapitre III**

### **Résultats et Discussion**



### III. Résultats et discussion

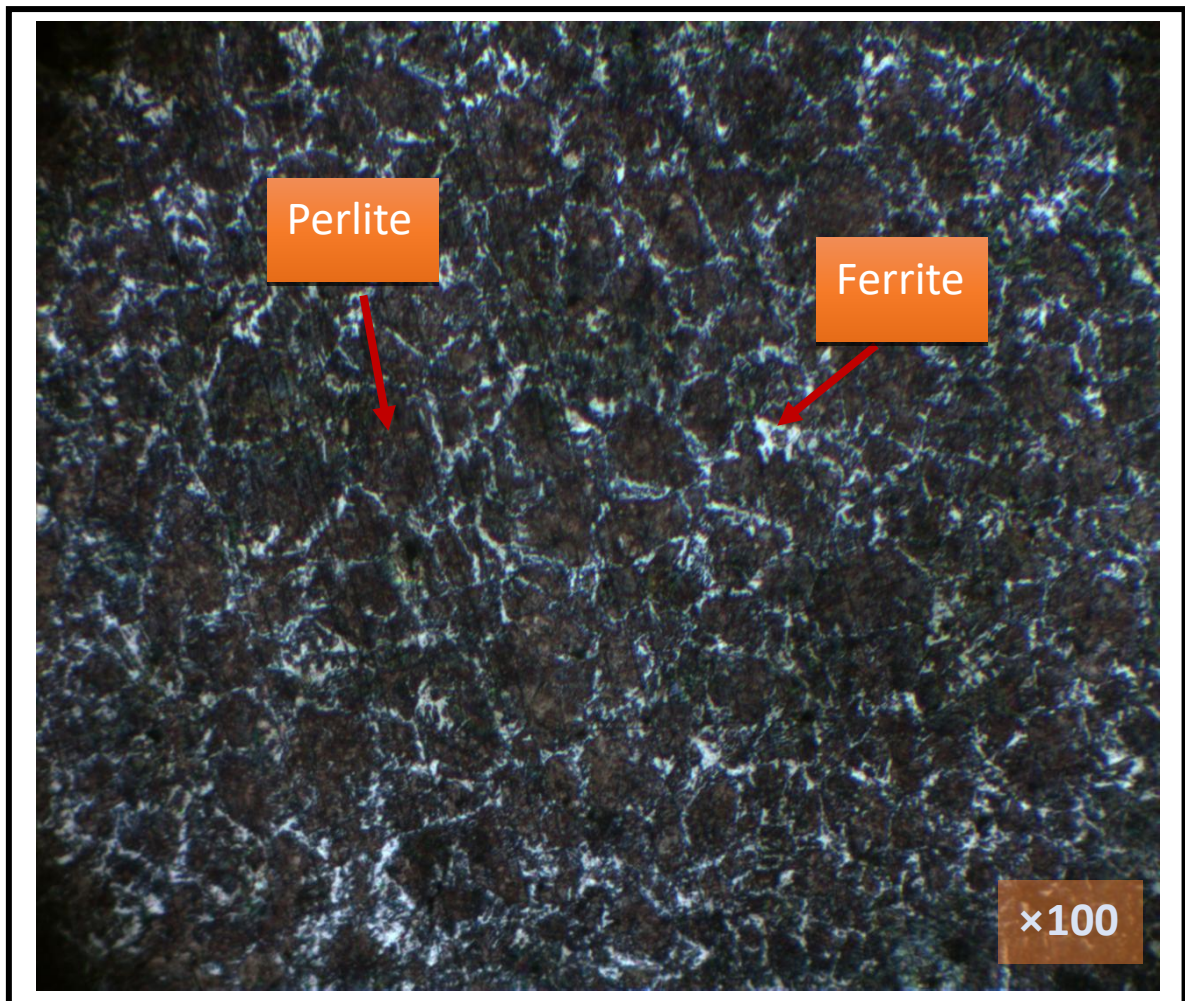
#### III.1 Introduction

Ce chapitre est consacré à la présentation des résultats expérimentaux des différents types d'essais effectués pour la caractérisation du comportement mécanique et microstructurale de l'acier B500.

Pour cela nous avons effectué une analyse microstructurale et des essais de dureté et de traction.

#### III.2 Observation par microscope optique

Après le procédé de polissage et l'attaque chimique des échantillons au NITAL (95% d'éthanol et 5% d'acide nitrique  $\text{HNO}_3$ ), des prises de photos de microstructure ont été réalisées à l'aide d'un microscope optique relié à un ordinateur.



**Figure III.1** Image prise par microscope optique de l'échantillon B500,  $\times 100$ .

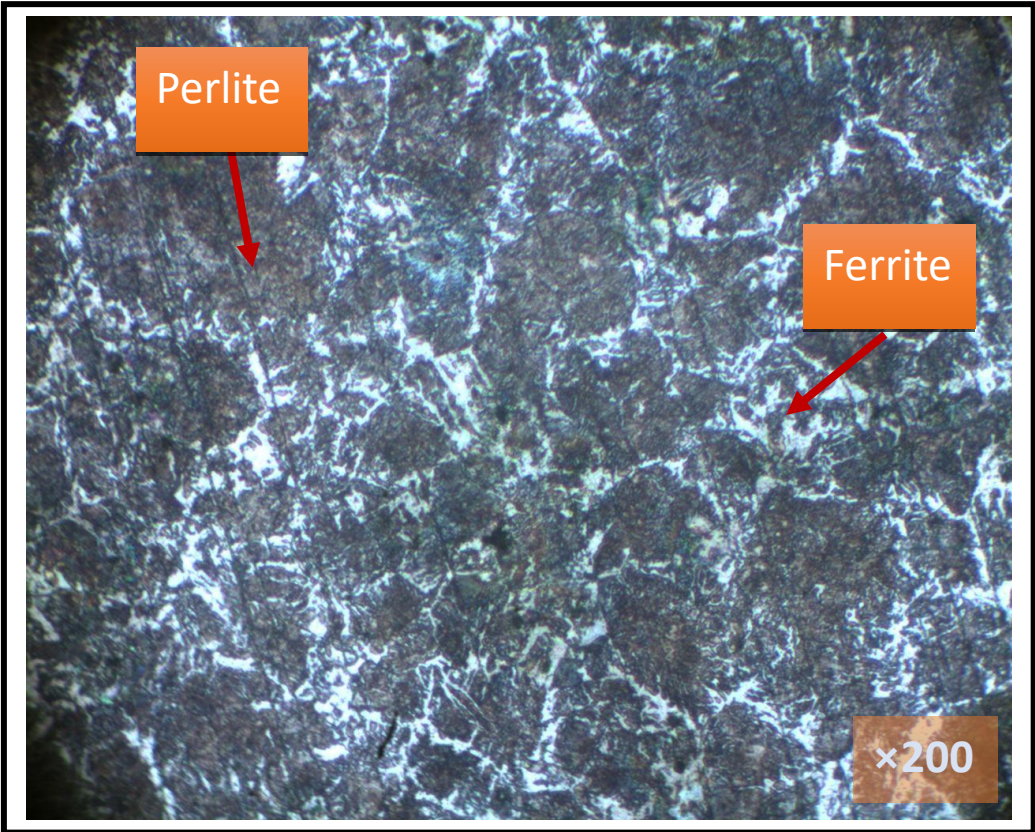


Figure III.2 image prise par microscope optique  $\times 200$  fois.

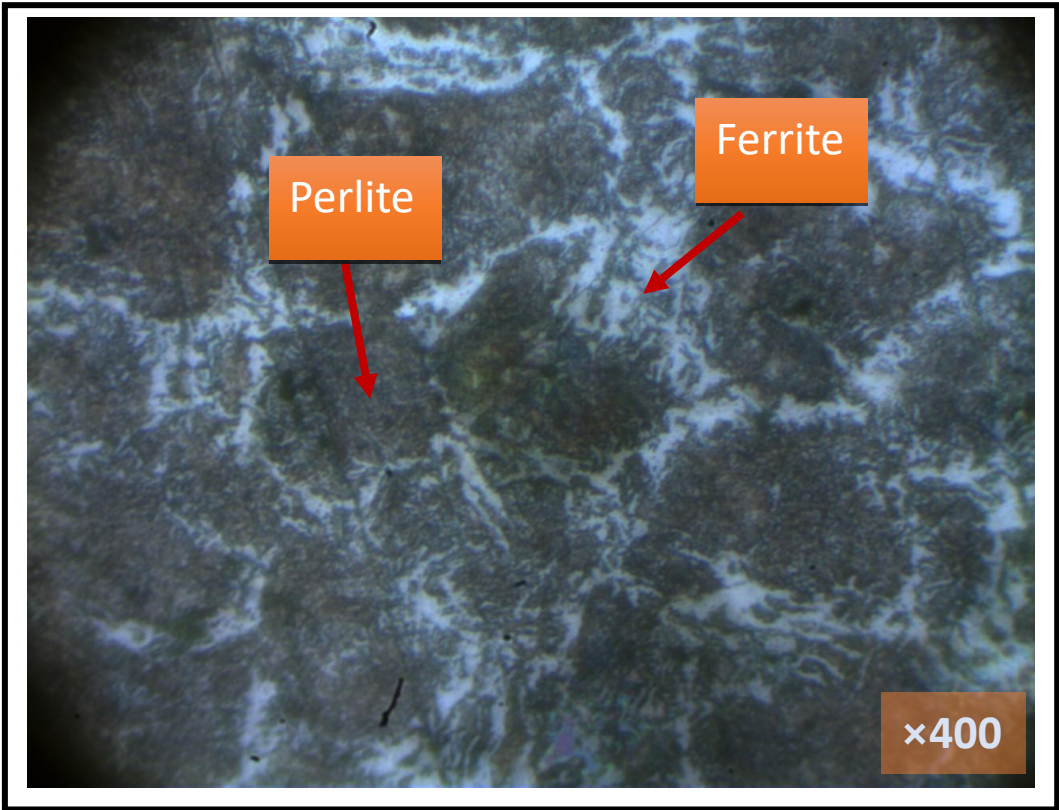


Figure III.3 image prise par microscope optique  $\times 400$  fois.

D'après les images de la microscopie optique, on observe que la structure métallographique est constituée principalement de la perlite (parties sombres) et de la ferrite en claire qui contourne cette perlite, répartie d'une manière homogène.

La perlite est la phase la prédominant. Il s'agit dans ce cas d'un acier de structure dite « ferrito-perlitique ». Cette structure confère à l'acier de bonnes propriétés de ductilité, de dureté et de flexion.

### III.3 Résultats de l'essai de dureté

Les résultats de l'essai de dureté obtenus sont donnés par deux échelles HRC et HV comme le montre le tableau.

**Tableau III.1** : Résultats de la mesure de dureté.

Point	Dureté Rockwell HRC	Dureté Vickers HV
1	41,9	411
2	42,4	416
3	41,4	406
Moyenne	41,9	411

#### Représentation des résultats de la mesure de dureté

Les résultats de la mesure de dureté sur l'échelle HRC et HV sont représenté sous forme d'histogramme.

Nous remarquons que la dureté mesurée varie entre 41 à 42 HRC et de 406 à 416 pour la dureté HV. Ces valeurs sont très adéquates avec les recommandations de la norme ISO 6935-2 concernant les aciers B500 utilisés comme des aciers d'armature.

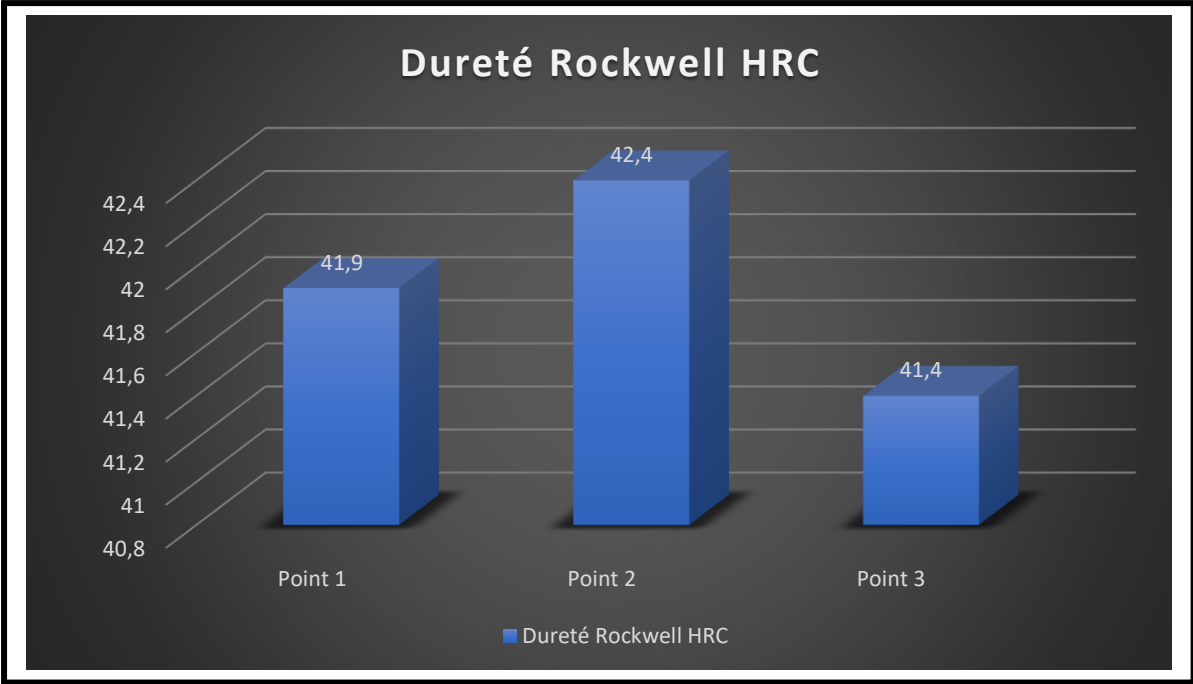


Figure III.4 Histogramme représentatif de la dureté Rockwell

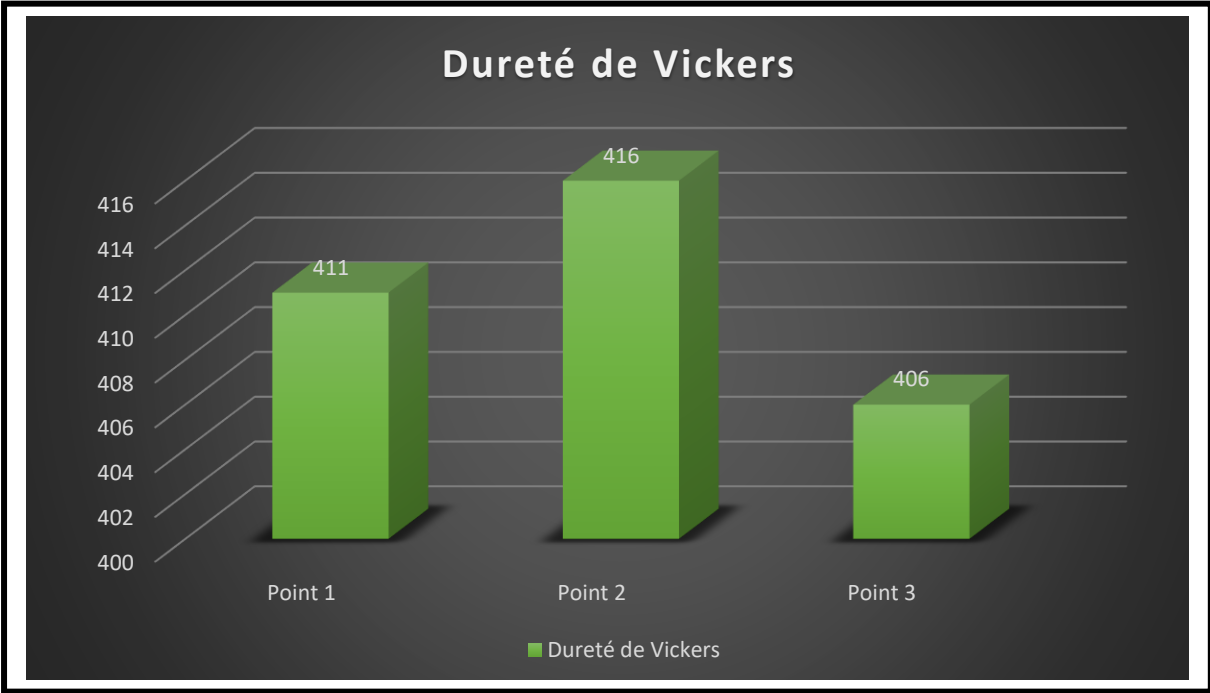
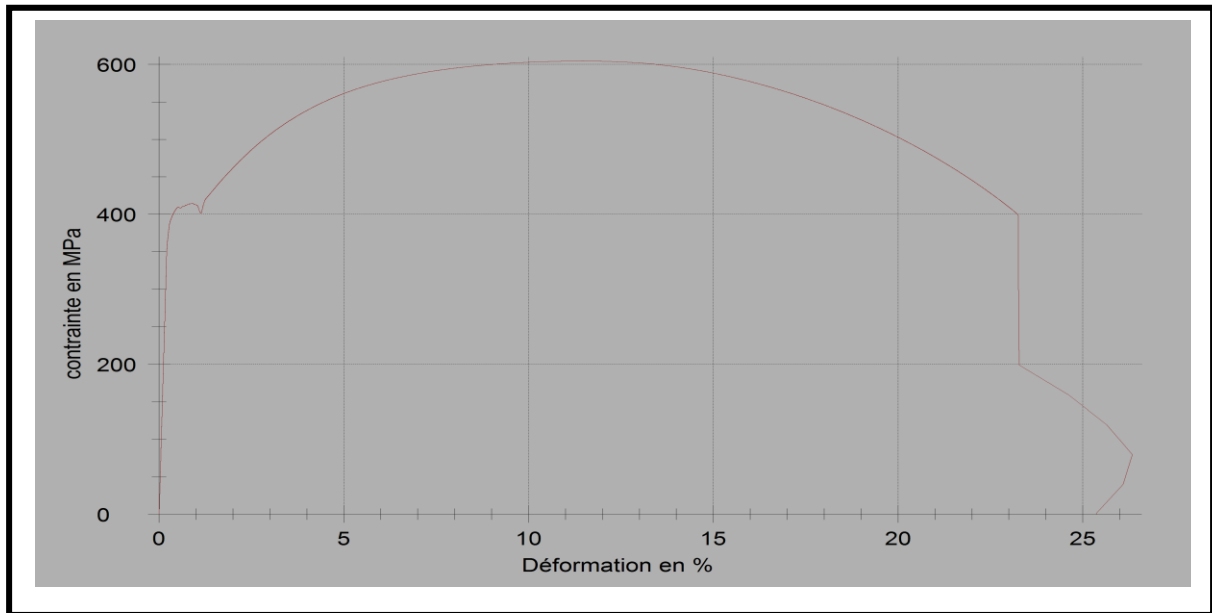


Figure III.5 Histogramme représentatif de la dureté Vickers

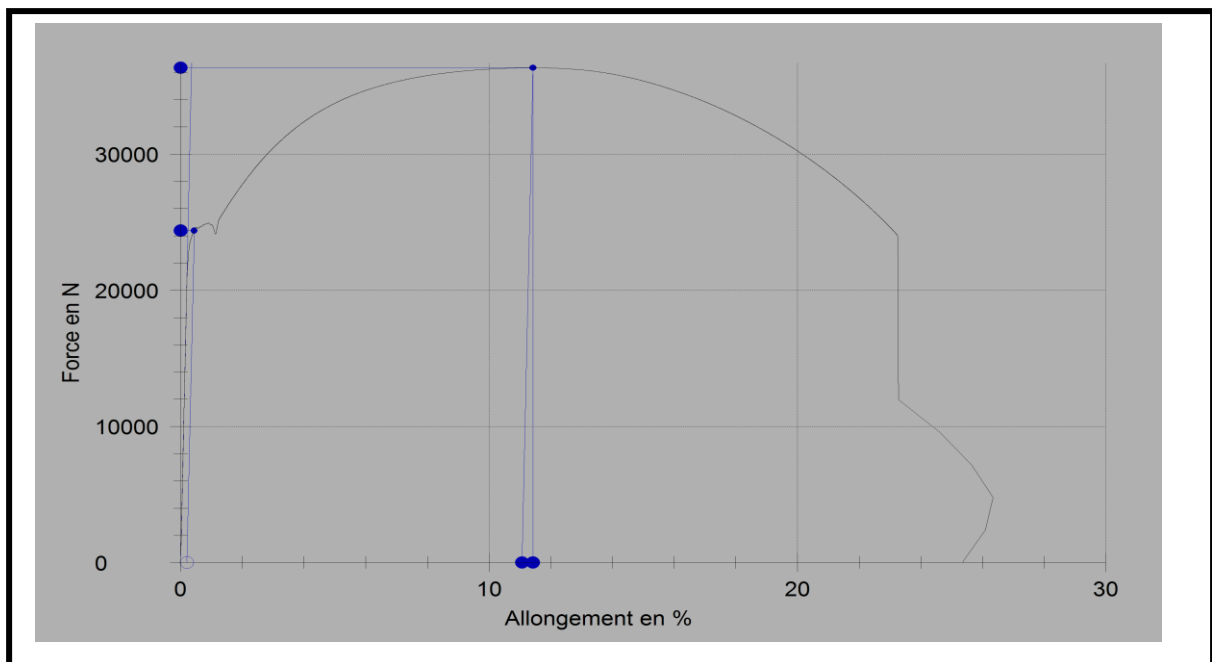
### III.4 Résultats de d'essai de traction

Après avoir réalisé l'essai à l'aide d'une machine de traction relié à un ordinateur on a obtenu les résultats suivants :

- Courbe contrainte-déformation, figure III.6 ;
- Courbe force-allongement, figure III.7 ;
- Un tableau rassemblant les résultats obtenus.



**Figure III.6 :** La courbe de traction contrainte – déformation.



**Figure III.7 :** Courbe de traction Force – allongement.

**Tableau III.1** : Résultats obtenus par l'essai de traction.

$E_{mod}$	F pour allongement plastique à 0,2%	$F_{max}$	dL(plast.) pour $F_{max}$	dL pour $F_{max}$	Allongement nominal pour $F_{max}$	W jusqu'à $F_{max}$
GPa	N	N	%	mm	%	Nmm
172	24400	36300	11,1	4,6	20,7	147979,26

### III.4.1 Détermination des propriétés mécanique

Après avoir obtenu ces résultats, nous calculer la limite élastique conventionnelle à 0,2% de déformation et la résistance maximale à la traction  $R_m$ .

$$R_{e0,2} = \frac{F}{S_0} = \frac{24400}{60,13} = 405,78 \text{ Mpa}$$

$$R_m = \frac{F_{max}}{S_0} = \frac{36300}{60,13} = 603,69 \text{ Mpa}$$

D'après ces résultats, nous remarquons que la limite élastique  $R_{e0,2\%}$  est de 405,78 MPa, inférieure à celle préconise par la norme ISO 6935-2 qui est de 500 MPa.

Par contre, la résistance mécanique que nous calculée est de 603,69 MPa, légèrement élevée par rapport à la norme ISO 6935-2.

Un autre paramètre très important que la norme exige pour ce type d'acier à savoir le calcul du rapport  $\frac{R_m}{R_{e0,2\%}}$ . Ce rapport nous renseigne sur la bonne ductilité de cet acier, et doit être > ou égal à 1,1.

Dans notre travail ce rapport est de 1,48, ce qui signifie que cet acier est très bon pour une utilisation comme acier d'armature ou de rond à béton.

## **Conclusion générale**

## **Conclusion générale**

Ce travail a porté sur l'étude des caractéristiques mécanique et physico-chimique de l'acier rond de béton B500 élaboré par l'AQS de Bellara.

Pour cela, plusieurs dispositifs et techniques expérimentales ont été mises en œuvre, pour étudier les caractéristiques mécaniques, tels que les essais de traction et la dureté, et aussi l'étude métallographique à l'aide d'un microscope optique.

Les résultats obtenus sont :

- Les résultats de l'observation par microscope optique nous révèlent une structure « ferrito-perlitique ».
- Les résultats de la mesure de dureté sur les deux échelles HV et HRC nous a donnée, la moyenne de 41,9 HRC et 411 HV.
- Les résultats de l'essai de traction nous a permet de calculer :
  - ✓ La limite d'élastique conventionnelle  $R_{e0,2}$ , qui est de 405,78 Mpa.
  - ✓ La résistance maximale à la traction  $R_m$ , qui est de 603,69 Mpa.
  - ✓ Le rapport de ductilité  $R_m / R_{e0,2}$  qui est de 1,48.

Les principaux résultats de ce travail montrent que l'acier de rond à béton B500 élaboré à l'AQS de Bellara, possède de bonnes caractéristiques de résistance et de ductilité pour la fonction à la quelle est destiné comme un acier d'armature.



## Référence bibliographique

- [1] G. Beranger, G. Sanz." livre de l'acier ", Ed. SOLIAC, 1996.
- [2] Métallographie et traitements thermiques des métaux, I. Lakhtine, édition Mir Moscou,1978
- [3]-S.BENSAADA, science des matériaux, caractéristiques et structures des métaux et alliages, deuxième édition, office des publication universitaire.[s.d],[s.l].
- [4] J.P. Bailon, JU-M-Dorlot, Des Matériaux, presses internationales polytechniques, 2007.
- [5] Cours matériaux et propriétés mécaniques par M. Benghersallah. Ouvrage édition El Djazair Mars 2015.
- [6] <https://fr.scribd.com/document/243951940/Acier-annexes1-pdf>.
- [7] MAROUF Hanifa : Caractérisation structurale et mécanique de joint soudé de la liaison bimétallique acier ordinaire e36/acier anti usure NAXTRA 70 utilisé par ENMTP de Bejaia dans l'assemblage de la pelle chargeuse et godet d'excavation, thèse. Université de Tizi Ouzou. Année 2012.
- [8]-O. EMIL. Technologie de matériaux de construction. Tome II, 1978.
- [9]- N. Boubaa, A. Guerdouh. Etude de la corrosion des aciers d'armatures, Mémoire d'ingénieur d'état, Université de Jijel, 2007.
- [10]- M.COLOMBIÉ. Matériaux métalliques-2ème édition. Hachette, 2008.
- [11] BELHIMER Insaf . Mémoire de Master « Caractérisation microstructurale, mécanique et électrochimique de l'acier rond à béton du complexe sidérurgique Algerian-Qatari Steel (AQS) d'El Milia » .
- [12] <https://www.infociments.fr/betons/armatures>.
- [13] Résistance des matériaux par G. Gonnet université de Bourgogne 2003.
- [14] Essais de rupture, dans Matériaux métalliques, Techniques de l'ingénieur, Paris 1996, cahier: M 126 .
- [15] Thèse de doctorat « Développement de la caractérisation du comportement local à haute température des alliages métalliques par micro indentation » Université de Technologie de Compiègne.

## Résumé

Dans ce mémoire de master, nous avons étudié les caractéristiques mécaniques et physico-chimiques d'un acier de rond à béton B500 élaboré à l'AQS de Bellara.

Des éprouvettes ont été réalisés afin d'effectuer des essais de traction et de dureté et l'étude microstructurale. Les résultats obtenus ont montré que cet acier montre une ductilité et une dureté très importante.

**Mots clés :** Traction, Dureté, microstructure.

## Abstract

In this master's memoir, we studied the mechanical and physico-chemical characteristics of a B500 concrete reinforcing bar steel produced at the AQS in Bellara.

Test specimens were made in order to perform tensile and hardness tests and the microstructural study. The results obtained showed that this steel shows a very high ductility and hardness.

**Keywords:** Traction, Hardness, microstructure.

## المخلص

في أطروحة الماستر هذه ، درسنا الخصائص الميكانيكية والفيزيائية الكيميائية لقضيب التسليح الخرساني B500 المنتج في AQS في بيلارا.

تم عمل عينات اختبار من أجل إجراء اختبارات الشد والصلابة ودراسة البنية المجهرية. أظهرت النتائج التي تم الحصول عليها أن هذا الفولاذ يظهر ليونة وصلابة عالية جدا. الكلمات المفتاحية: الجر ، الصلابة ، البنية المجهرية.