

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique  
Université Mouloud MAMMARI de TIZI-OUZOU

ⵝⵓⵏⵉⵏⵉ ⵏ ⵉⵏⵉⵎⵉⵏⵉ ⵏ ⵉⵏⵉⵎⵉⵏⵉ

Faculté du Génie de la Construction

Département de Génie Mécanique



MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

En vue de l'obtention du Diplôme de Master professionnel en Génie Mécanique  
Option: Fabrication Mécanique et productique

THEME

Caractérisation mécanique et physico-  
chimique d'une tôle en inox pour la  
fabrication des cuisinières à l'ENIEM.

Proposé par :

**K .AIT BACHIR(ENIEM)**

Dirigé par :

**M<sup>e</sup> : T. ABERKANE**

Présenté par:

**LARBI Salim**

ANNÉE: 2012 -2013

# Remerciements

*J'adresse mes remerciements à ma promotrice M<sup>me</sup>: ABERKANE pour avoir accepté de m'encadrer, de diriger ce travail et de m'avoir assisté pour sa finalisation.*

*Mes sincères remerciements vont également aux membres de jury qui me feront l'honneur de juger mon travail.*

*Je n'oublie pas toutes les personnes qui m'ont aidé dans la réalisation de la partie expérimentale, en particulier :*

- Les responsables des laboratoires de génie mécanique et du génie civil.*
- Le personnel du Hall de technologie du département de génie mécanique.*
- Le personnel des entreprises nationales ENIEM et la SNVI.*
- Tous les enseignants de département de Génie Mécanique.*

*Sans oublier le futur doctorant monsieur ZAROKI MARZAK pour l'aide qu'il m'a donné durant cette année.*

*Que tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin trouvent ici, mes remerciements les plus vifs et mon  
Profonde reconnaissance.*

# Dédicaces

**Je dédie ce modeste travail à:**

- *Mes chers parents;*
- *Ma grande mère;*
- *Mes sœurs (Fariza, Kenza, Samira, sa fille et son mari);*
- *Mon frère Arezki;*
- *Ma femme et sa famille;*
- *Tous mes amis;*

*Tous les étudiants de Génie Mécanique.*

**Salim**

# Sommaire

Dédicaces	
Remerciements	
Sommaire	
Liste des figures	
Introduction générale.....	1

## *Chapitre I : présentation de l'ENIEM*

Situation géographique.....	3
Objet social et champ d'activité.....	3
Historique .....	3
L'Entreprise est certifiée .....	3
Organisation générale.....	4
Capital social.....	5
Chiffre d'affaires .....	5
Gamme produits.....	5
• Réfrigérateurs.....	5
• CUISINIERES .....	6
• CLIMATISEURS.....	7
• MACHINE À LAVER.....	7
• CHAUFFE EAU .....	7
Politique qualité .....	8
Engagement de la direction .....	8

## *CHAPITRE II : les aciers inoxydables*

II.1.Généralités.....	9
II.2.Classification des aciers inoxydables .....	9

II.2.1.Aciers ferritiques .....	9
II.2.2.Aciers martensitiques .....	10
II.2.3.Aciers austénitiques .....	10
II.2.4.Aciers austino- ferritiques.....	10
II.3.influence des différents éléments d’alliages sur la structure .....	11
II.3.1.Influence du chrome.....	12
II.3.2.Influence du nickel .....	13
II.3.3.Influence des autres éléments d’alliages .....	14
II.3.influence de la corrosion sur les aciers inoxydables .....	14
• La corrosion généralisée .....	15
• La corrosion par piqûre .....	15
• La corrosion caverneuse .....	15
• La corrosion sous contrainte .....	16
• La corrosion inter granulaire .....	16
II.3.2. La passivité des aciers inoxydables.....	16
Comment s’explique la résistance à la corrosion .....	16
II.4.Caractéristiques mécaniques et physico-chimique de l’acier inoxydable	
X5CrNi18-10 .....	17
II.4.1.caractéristiques mécaniques .....	17
II.4.2. composition chimique.....	18
II.5.Normalisation.....	18

*CHAPITRE III : Caractérisation la microstructurale et les essais mécaniques*

III. 1. Microstructure .....	21
III.1.1. La macrographie .....	21
III.1.2. La micrographie .....	21
III. 1.2.1. observation par microscopie .....	22

a-Observation par microscope optique .....	22
b-Microscopie électronique à balayage .....	22
III.1.3 : Importance de la métallographie .....	22
III.5. Essai de traction .....	23
III.5.1. Principe de l'essai .....	23
III.5.2. Eprouvettes .....	24
III.5.3. Courbe de traction .....	25
III.5.4. Diagramme conventionnel .....	26
III.5.5. Lecture et interprétation de la courbe de traction .....	27
III.5.6. Caractéristiques obtenues de l'essai de traction .....	28
❖ Limite apparente d'élasticité .....	28
❖ Résistance à la traction $R_m$ .....	28
❖ Limite conventionnelle d'élasticité $R_{0,2}$ .....	28
❖ Allongement à la rupture $A\%$ .....	29
❖ Coefficient de striction $Z\%$ .....	29
❖ Allongement de striction $Z_u\%$ .....	29
❖ Module d'Young $E$ .....	29
III.5.7. Diagramme rationnel.....	30
❖ Déformation rationnelle $\epsilon$ .....	31
❖ Coefficient d'écroutissage $n$ .....	32
❖ Ductilité.....	32
❖ Ténacité .....	32
III. 5.8. Conditions d'essai .....	33
III.6. Essai de dureté .....	33
III.6.1. Essai BRINELL .....	33

III.6.2. Essai Vickers .....	36
III.6.3.Essai Rockwell .....	37
III.6.3.1. Rockwell C .....	37
III.6.3.2. Rockwell B.....	37

*CHAPITRE IV. Processus de fabrication des cuisinières*

IV. Processus de fabrication des cuisinières .....	39
IV. 1- l'atelier tôlerie .....	39
IV. 2-atelier mécanique .....	41
IV. 3-atelier TRS (traitement et revêtement de surface) .....	42
IV. a) Le Chromage.....	42
IV. b) Le zingage .....	42
IV. c) L'émaillage .....	43
IV. 4-atelier de montage .....	44

*Chapitre V. : caractérisation de l'acier inoxydable X5CrNi18-10*

Introduction .....	46
V. Essai de traction .....	46
V.1. Les tôles utilisées lors des essais .....	46
V.2. Poste de découpage .....	46
V.3. Poste d'usinage.....	47
V.4. Meule à bandes abrasives .....	47
V.5. Les éprouvettes de traction selon les 3 sens de laminage .....	48
V.6. Essai de traction .....	48
➤ Forme et dimension des éprouvettes.....	49
V.6.1. Machine de traction .....	49

<b>V.7. Essais de dureté .....</b>	<b>50</b>
<b>V.7.1. Duromètre .....</b>	<b>50</b>
<b>V.8. Examen micrographique .....</b>	<b>51</b>
<b>V.8.1. Préparation des surfaces .....</b>	<b>51</b>
➤ <b>Dressage .....</b>	<b>51</b>
➤ <b>Dégrossissage .....</b>	<b>51</b>
➤ <b>Finissage .....</b>	<b>52</b>
➤ <b>Les polisseuses .....</b>	<b>52</b>
<b>V.8.2. Attaque chimique .....</b>	<b>52</b>
<b>V.9. Microscope .....</b>	<b>52</b>
<b>* Microscope optique.....</b>	<b>52</b>

*Chapitre VI : Résultats et interprétations*

<b>VI.1 Caractérisation de l'acier X5CrNi18-10.....</b>	<b>54</b>
<b>VI.1.1 Propriétés métallurgiques.....</b>	<b>54</b>
<b>VI.1.1.1 Composition chimique .....</b>	<b>54</b>
<b>VI.1.1.2 Microstructure .....</b>	<b>55</b>
<b>VI.1.2 Propriétés mécaniques .....</b>	<b>55</b>
• <b>Traction et allongement .....</b>	<b>55</b>
• <b>Dureté .....</b>	<b>59</b>

**Conclusion générale**

**Annexes**

**Bibliographie**

## Liste des figures

**Figure I. 1 :** Le siège de l'entreprise

**Figure. II. 1** Diagramme fer-carbone

**Figure II.2 :** diagramme binaire fer-chrome.

**Figure II.3 :** Diagramme Fe-Ni.

**Figure II.4 :** Influence du nickel sur la boucle  $\gamma$  du diagramme Fe-Cr.

**Figure II.5 :** La corrosion généralisée.

**Figure II.6:** La corrosion par piqûre.

**Figure II.7:** La corrosion caverneuse.

**Figure II.8:** La corrosion sous contrainte

**Figure II.9:** La corrosion inter granulaire

**Figure II.10 :** Modèle bicouche du film passif

**Figure III.1:** Traction

**Figure III.2 :** Les éprouvettes de traction

**Figure III.3:** Comportement possible du matériau.

**Figure III.4:** Courbes de traction.

**Figure III.5:** Phénomène de striction.

**Figure III.6:** diagramme des contraintes.

**Figure III.7 :** Module d'Young.

**Figure III.8 :** Courbe rationnelle de traction

**Figure III.10:** Essai Brinell.

**Figure III.11:** Essai Vickers

**Figure III.12:** Essai de dureté Rockwell HRB

**Figure IV.1 :** la paroi latérale d'une cuisinière.

**Figure IV.2 :** le couvercle d'une cuisinière.

**Figure IV.3 :** Le fond four.

**Figure IV.4 :** la grille de la table d'une cuisinière.

**Figure IV.5 :** les brûleurs four d'une cuisinière.

**Figure IV.6 :** la grille de four de table d'une cuisinière.

**Figure IV.7 :** organigramme de L'unité des cuisinières.

**Figure IV :** organigramme de L'unité des cuisinières.

**Figure V.1 :** les dimensions de la tôle utiliser.

**Figure V.2:** une découpeuse charmillé robofil.

**Figure V.3 :** fraiseuse horizontale.

**Figure V.4:** Meule à bandes abrasives.

**Figure V.5:** les éprouvettes ( $0^\circ, 45^\circ, 90^\circ$ ) suivant le sens de laminage

**Figure V.6:** le dimensionnement de l'éprouvette.

**Figure V.7 :** Machine de traction

**Figure V.8 :** échantillon pour l'essai de dureté et pour l'observation micrographique.

**Figure V.9:** Duromètre

**Figure V.10 :** Polisseuse à deux disques

**Figure V.11 :** Polisseuse à un disque

**Figure V.12 :** Microscope optique.

**Figure VI.2 :** la courbe de traction pour l'acier X5CrNi18-10 à  $0^\circ$  dans le sens de laminage.

**Figure VI.3:** la courbe de traction pour l'acier X5CrNi18-10 à  $45^\circ$  dans le sens de laminage.

**Figure VI.4:** la courbe de traction pour l'acier X5CrNi18-10 à  $90^\circ$  dans le sens de laminage

**Figure VI.5:** la courbe moyenne pour les 3 sens de laminage pour l'acier X5CrNi18-10.

## Introduction générale

Les avantages des aciers inoxydables ne sont plus à démontrer. Créés simultanément en Europe et en Amérique au début du siècle, ces matériaux ont pénétré des nombreux domaines industriels (bâtiment, industries chimiques et agro-alimentaires, transports, production d'énergie etc. ....) et s'y sont développés d'une façon souvent spectaculaire.

Leur essor, surtout à partir des années 40, résulte de la solution qu'ils apportent à différents problèmes techniques. Le fait qu'ils aient traversé sans réel dommage les diverses crises économiques, depuis 1974, est la preuve de leur succès sur le plan mondial.

Ces développements ont été possibles grâce aux avantages qu'ils offrent par rapport aux matériaux traditionnels : acier pas ou peu allié, aluminium et ses alliages, cuivre et ses alliages...etc.

Cette supériorité tient essentiellement en quatre points :

- excellente résistance à la corrosion dans un grand nombre de milieux ;
- résistance mécanique notablement plus élevée que celle des matériaux traditionnels ;
- mise en œuvre plus aisée ;
- facilité d'entretien, qui compense le surcoût des investissements initiaux.

Cependant, l'utilisation d'une nuance d'acier doit être nécessairement accompagnée d'une fiche technique dans laquelle il sera précis :

- La composition chimique de l'acier ;
- Sa structure métallographique ;
- Ses caractéristiques mécaniques (dureté, résistance mécanique ...)

En effet, l'absence de ces informations est un handicap pour le choix d'un produit répondant aux exigences requises.

C'est dans cet ordre d'idées que nous nous sommes intéressés à établir quelques informations techniques concernant la nuance X5CrNi18-10 utilisée dans la fabrication des cuisinières par l'entreprise nationale (ENIEM).

Notre étude s'articule autour de six chapitres

Chapitre I. Présentation d'ENIEM.

Chapitre II. les aciers inoxydables

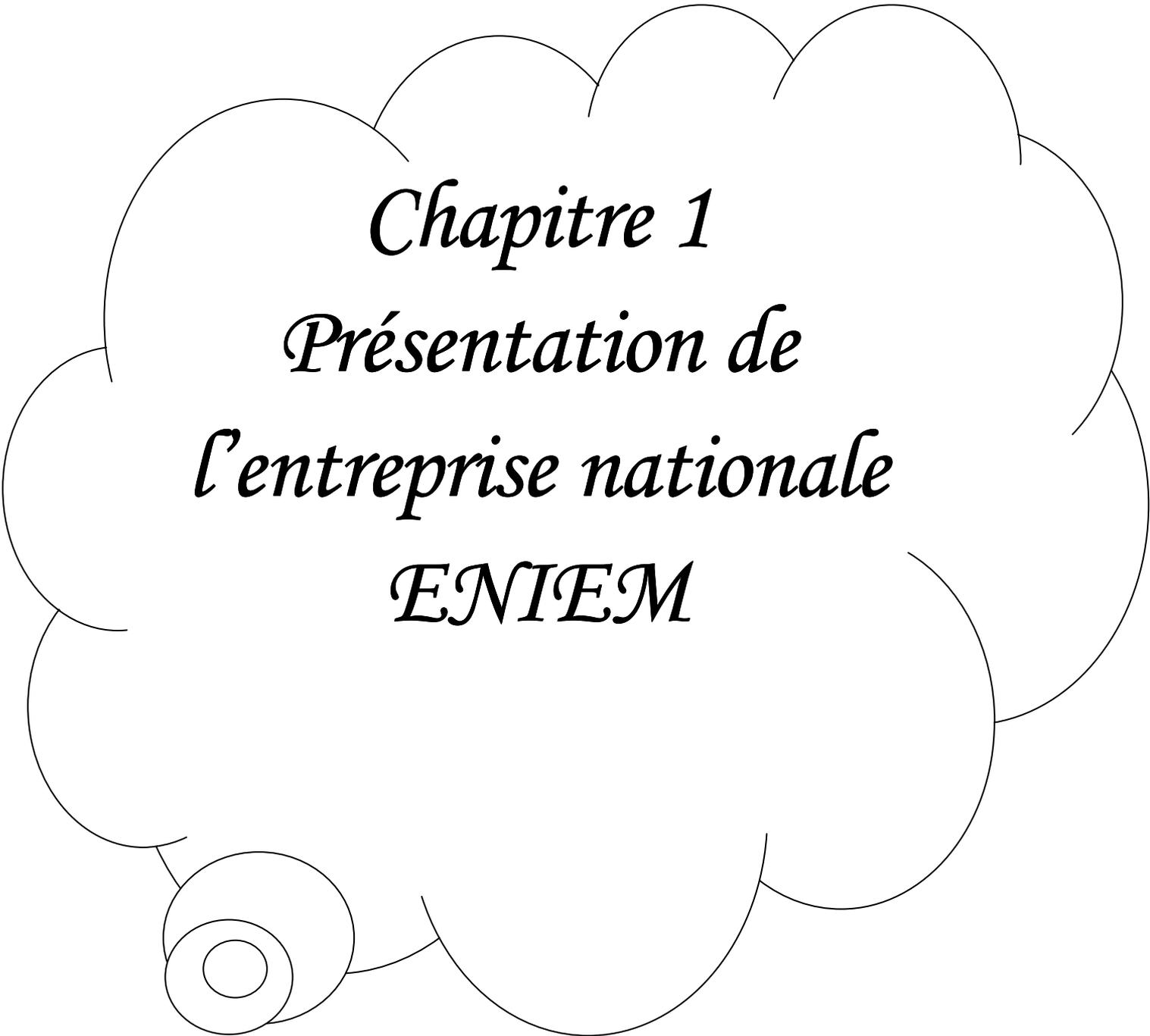
Chapitre III. Microstructures et essais mécaniques.

Chapitre IV. Processus de fabrication.

Chapitre V. caractérisation de l'acier inoxydable X5CrNi18-10

Le dernier chapitre concerne les résultats expérimentaux et discussions .

Nous terminons notre travail par une conclusion générale résumant les principaux résultats obtenus.



*Chapitre 1*  
*Présentation de*  
*l'entreprise nationale*  
*ENIEM*

### **Situation géographique**

Son siège social se situe au chef lieu de la Wilaya de Tizi-Ouzou. Les unités de production Froid, Cuisson, et Climatisation sont implantées à la zone industrielle Aissat Idir de Oued-Aissi, distante de 7 km du chef-lieu de wilaya.

La filiale sanitaire est installée à Miliana, wilaya d'Ain Defla, et la filiale lampe à Mohammadia, wilaya de Mascara.

### ***Objet social et champ d'activité***

ENIEM est leader de l'Electroménager en Algérie, elle possède des capacités de production et une expérience de plus 30 ans dans la fabrication et le développement dans les différentes branches de l'électroménager, notamment :

- Les appareils ménagers domestiques,
- Les appareils de collectivités,
- Les lampes d'éclairage,
- Les produits sanitaires.

### ***Historique :***

ENIEM est une entreprise publique de droit algérien constituée le 2 janvier 1983 mais qui existe depuis 1974 sous tutelle de l'entreprise Sonelec. Son siège social se situe à Tizi-ouzou.

### ***L'Entreprise est certifiée :***

ISO 9001/2008 QUALITÉ et ISO 14001/2004 ENVIRONNEMENT.



Figure I.1 : Le siège de l'entreprise

### Organisation générale

L'Entreprise s'est organisée par centres d'activités stratégiques qui se composent de 03 unités de production, d'une (01) unité commerciale et d'une (01) unité de prestations techniques ainsi que deux (02) filiales dont le capital est à 100% ENIEM.



Figure II.2 : organisation générale.

### Capital social

L'ENIEM a été transformée juridiquement en société par actions le 8 Octobre 1989.

Son capital social est de 10.279.800.000 DA détenu en totalité par la SGP INDELEC

**Chiffre d'affaires :**

▶	<i>2.67</i>	<i>milliards DA</i>
▶	<i>3.63</i>	<i>milliards DA</i>
▶	<i>5.07</i>	<i>milliards DA</i>
▶	<i>5.46</i>	<i>milliards DA</i>

**Effectif : ▶ 2885 travailleurs**

*Gamme produits*

- Réfrigérateurs

Réfrigérateurs et Congélateurs Domestiques :



- *Réfrigérateur 160 l 1 porte*
- *Réfrigérateur 240 l 1 porte*
- *Réfrigérateur 300D 2 portes*
- *Réfrigérateur 350S 1 porte*
- *Réfrigérateur / Congélateur 290C 2 portes*
- *Congélateur vertical 220F 1 porte*
- *Réfrigérateur 520 l ADE 2 portes*
- *Réfrigérateur 520 l SDE PB 2 portes*
- *Réfrigérateur 2 portes No-Frost FR 4506K*
- *Réfrigérateur 2 portes side by side*

Congélateurs et Conservateurs à usage commercial :



***Congélateurs Bahut Horizontaux***

- ***Congélateur Bahut CF 1686 (468l)***
- ***Congélateur Bahut CF 1301 (350l)***

- ***Conservateur portes vitrées coulissantes***
- ***Conservateur portes coulissantes vitrées CFSG 1571 (440l)***
- ***Conservateur portes coulissantes vitrées CFSG 1301 (365l)***

- ***CUISINIÈRES***

***Cuisinières tout gaz (04) feux***

- ***Cuisinière tout gaz 6120 - 6510 - 6520***
- ***Cuisinière tout gaz 6540 Inox***

***Cuisinières tout gaz (05) feux***

- ***Cuisinière tout gaz 8210***



- ***CLIMATISEURS***



- *Climatiseur "Type fenêtre" 12000 - 15000 - 18000 BTU*
- *Climatiseur "Split système" 7000 - 9000 - 12000 - 18000 - 24000 BTU*

- *MACHINE A LAVER 7Kg*



- *CHAUFFE EAU 10 l*

- *Gaz Naturel*
- *Gaz Butane*



L'ENIEM vous offre une gamme variée de produits électroménagers pour assurer un confort et un bien être chez soi :

L'importance et l'accroissement de la concurrence dans un environnement en perpétuel changement imposent à l'ENIEM d'être à l'écoute du client.

Aussi, dans le souci d'accroître la satisfaction de ses clients, l'Entreprise base sa politique qualité sur l'amélioration continue de ses processus, produits et services tout en préservant l'environnement par la mise en place d'un système de management environnemental ISO 14001.

*Politique qualité :*

La politique qualité de l'ENIEM se manifeste par la ferme volonté de la Direction Générale à :

- Accroître la satisfaction des clients.
- Développer les compétences et la communication.
- Veiller à la réduction des coûts de non qualité par la maîtrise des processus.
- Amélioration continue de l'efficacité du système de Management qualité.

*Engagement de la direction :*

*La Direction Générale de l'ENIEM s'engage à :*

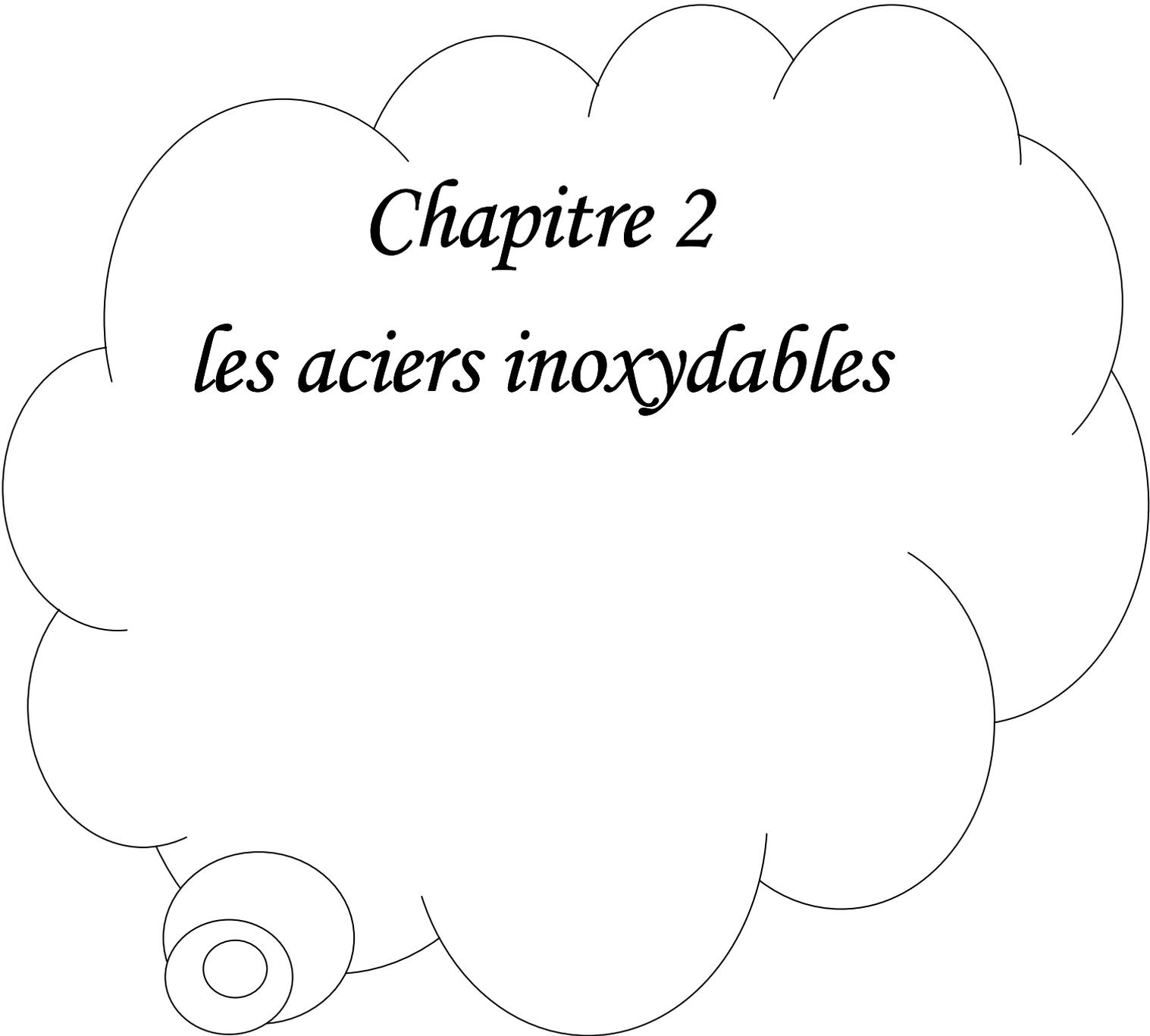
- Fournir les ressources nécessaires à l'atteinte de ses objectifs.
- Se conformer aux exigences légales et réglementaires.
- Appliquer et respecter les procédures du système de management de la qualité.

**OBJECTIFS**

*Par exemple :*

Les objectives qualités pour l'année 2008 sont :

- Mettre en place un système de management environnemental selon la norme ISO 14001
- Développer la formation et la communication.
- Développer les produits.
- Réduire les coûts de non qualité
- Augmenter la production
- Améliorer le chiffre d'affaires.



# *Chapitre 2*

## *les aciers inoxydables*

## II.1.Généralités

Les aciers inoxydables sont fabriqués à partir d'un alliage de fer qui contient un minimum de 10,5% de chrome. Leur qualité inoxydable est obtenue par l'intermédiaire de la formation d'un film invisible et adhérent d'oxyde riche en chrome. L'alliage 304 est un acier inoxydable austénitique d'usage général avec une structure cubique à faces centrées. Il est essentiellement non magnétique sous condition de recuit et ne peut être durci que par un travail à froid.

## II.2.Classification des aciers inoxydables

On classe les aciers inoxydable en 4 classes sont :

**II.2.1.Aciers ferritiques :** Les aciers inoxydables ferritiques sont caractérisés par le fait que leur réseau cristallin est ferritique, c'est-à-dire qu'ils ne subissent pas de transformation  $\alpha \longleftrightarrow \gamma$ . Le principal élément d'alliage est le chrome dont la teneur varie entre 11% et 30% massique.

Aux faibles pourcentages de chrome, ces aciers présentent une bonne résistance à la corrosion pour un coût de fabrication faible, ce qui les rend intéressants comme matériaux de structure dans le transport. Ils sont aussi utilisés pour la fabrication de pots d'échappements pour automobiles, ainsi que de cuves d'appareils électroménagers. Autour de 16 à 17% de chrome, leur usage est limité par des problèmes de soudabilité. Les alliages à haute teneur en chrome (18-29%) sont répandus pour des applications où le matériau requiert une très bonne résistance à l'oxydation. A des teneurs supérieures à 30%, une phase de structure quadratique complexe (30 atomes par maille), nommée sigma ( $\sigma$ ).

Les propriétés mécaniques de ces aciers sont moyennes avec une limite d'élasticité  $R_{p0,2}$  de l'ordre de 300 MPa, et une résistance à la rupture par traction assez faible ( $R_m > 500$ MPa). Pour améliorer la résistance mécanique, l'addition de nickel dans l'alliage est privilégiée à l'addition de carbone quand les précipités de carbone sont à éviter. Le nickel, de structure CFC, favorise la formation d'une solution solide austénitique CFC ( $\square$ ) aux dépens de la structure CC. Le nickel est dit élément  $\square$ -gène. Ainsi, les alliages base nickel et les aciers austénitiques ont été développés.

### **II.2.2.Aciers martensitiques :**

Les structures entièrement martensitiques sont obtenus par trempe ; les atomes de carbone n'ont pas le temps de diffuser et restent piégés dans la nouvelle structure CC déformée. La martensite confère à ces nuances une limite d'élasticité, une résistance à la rupture et une dureté très élevées. Comme pour tous les aciers non ou faiblement alliés, le carbone joue un rôle essentiel. Pour les aciers inoxydables, la teneur maximale en carbone est de 1,2 %. La teneur en chrome est comprise entre 11,5 et

18 %, ils peuvent contenir jusqu'à 6 % de nickel et jusqu'à 1,5 % de molybdène.

Ces aciers sont toujours utilisés à l'état trempé et revenu. Ils présentent de très bonnes caractéristiques mécaniques avec une limite d'élasticité  $R_{p0,2}$  qui dépasse 1000 MPa et une résistance à la rupture  $R_m$  supérieure à 1200 MPa à température ambiante, mais leur allongement à rupture dépasse rarement 10%. Ces aciers sont principalement utilisés pour la fabrication des couteaux et d'instruments chirurgicaux.

### **II.2.3.Aciers austénitiques :**

Les aciers inoxydables austénitiques du type Fe-Cr-Ni représentent 80% du marché mondial des aciers inoxydables. Ceci est dû au fait que leur structure cristallographique de type CFC leur confère une ductilité et une ténacité exceptionnelles dans un très large domaine de températures. A température ambiante, ces aciers présentent un bon compromis entre résistance mécanique et allongement. La limite d'élasticité est comprise entre 350 et 400 MPa, la résistance à la rupture dépasse 800 MPa et l'allongement à rupture (A%) peut atteindre 50%.

Ces excellentes propriétés font que ces aciers sont utilisés dans divers domaines, à titre d'exemple : pour les équipements de restauration collective, les hôpitaux, l'industrie alimentaire, l'industrie laitière, les ustensiles ménagers, les éviers. Ils sont entre autres utilisés dans les équipements pour les industries chimiques et papetières.

### **II.2.4.Aciers austénito- ferritiques :**

Des alliages avec la composition en (Cr, Ni, Mo et Si) sont équilibrés pour obtenir par un traitement thermique un structure mixte constituée de ferrite (50 à 70%) et d'austénite (30 à 50%).cette état confère à ces aciers d'excellentes performances comme la ductilité. La ténacité et la résistance à la corrosion. [1]

### II.3.influence des différents éléments d’alliages sur la structure :

Lorsque on chauffe le fer pur dont la structure à température ambiante est cubique centrée (fer  $\alpha$  ou ferrite), il subit une transformation allotropique à 910°C.

T >910°C la structure devient cubique à face centrée (fer  $\gamma$ ).cette structure persiste jusqu’à la température de 1400°C environ, a la quelle une nouvelle transformation allotropique aura lieu. Le fer  $\gamma$  a une structure cubique a face centrée, puis retrouve la structure cubique centrée. Cette variété allotropique qui existe au dessus de 1410°C est appelée fer  $\delta$ , voir le diagramme d’équilibre fer-C de la **figure II.1** L’ajout des éléments d’addition a l’acier tel que le chrome ou chrome-nickel, influe sur les différents domaines des phases. Les différents paliers et les courbes de solubilités sont selon les éléments ajoutés soit (alpha gène, gamma gène, ou carburigène)

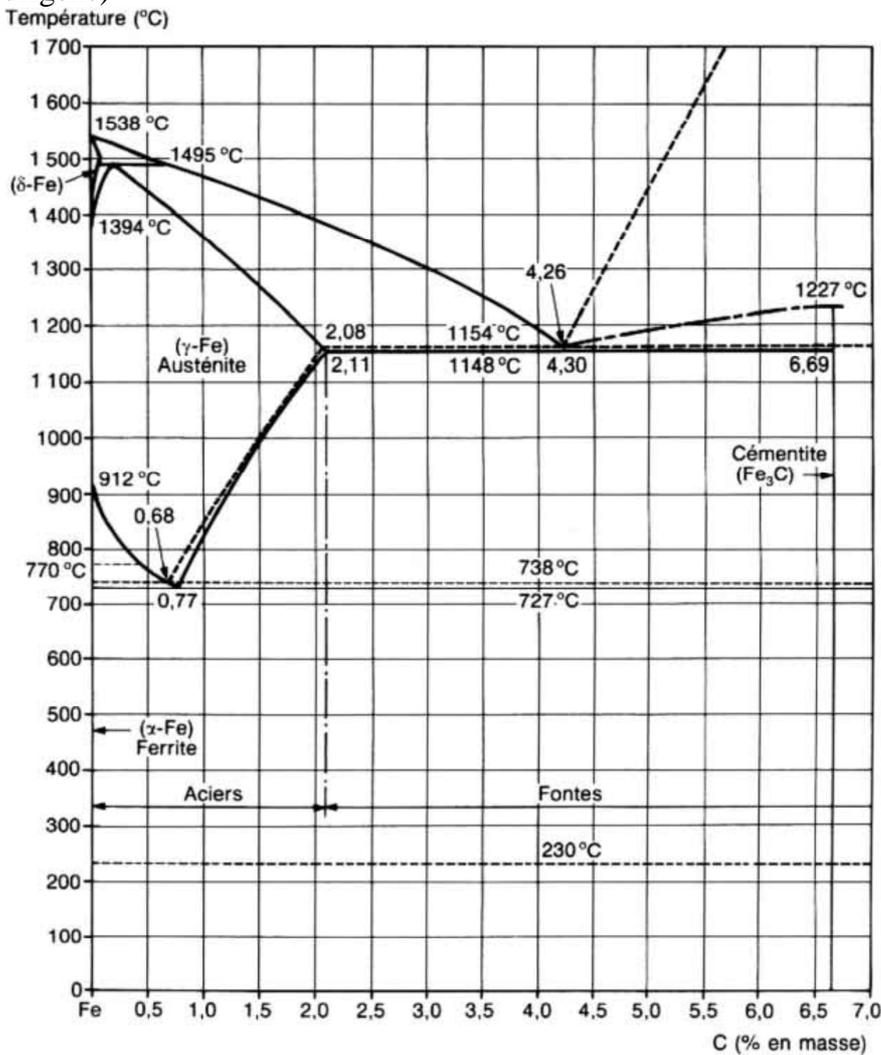


Figure. II. 1 Diagramme fer-carbone

### II.3.1. Influence de chrome

Sur l'axe des ordonnées du diagramme Fe-Cr (figure II.2), on retrouve, bien entendu, les températures de transformation du fer :

- 910 °C pour la transformation Fe  $\alpha \rightarrow$  Fe  $\gamma$ ,
- 1 390 °C pour la transformation Fe  $\gamma \rightarrow$  Fe  $\delta$ .

On notera que le domaine d'existence de l'austénite, ou boucle  $\gamma$  est d'autant plus faible que la teneur en chrome est élevée. Par conséquent, le chrome favorise l'existence du fer  $\alpha$  cubique centré ; il est dit *alpagène*. Cela est dû à un phénomène classique d'isomorphisme, le chrome ayant une structure cubique centrée comme le fer  $\alpha$ .

En l'absence de carbone, au-delà de 11 % Cr environ, la phase  $\gamma$  disparaît complètement.

Par contre, si l'on ajoute du carbone, cette boucle  $\gamma$  augmente.

L'azote joue d'ailleurs le même rôle. Les éléments carbonés et azote favorisent donc la phase austénitique ; ce sont des éléments *gamma gènes*. On notera donc que selon les teneurs respectives en chrome et en carbone, on peut ou non passer à l'intérieur de la boucle  $\gamma$ .

Dans la partie basse du diagramme fer-chrome, entre 600 et 880 °C, apparaît une nouvelle phase appelée *phase  $\sigma$*  de composition comprise entre 45 et 50 % de chrome. Ce composé de structure quadratique complexe est extrêmement fragile.

En dessous de 520 °C se produit une démixtion, c'est-à-dire une décomposition de la phase  $\alpha$  cubique centrée en deux phases  $\alpha$  et  $\alpha'$  de même structure, cubique centrée, mais de teneurs

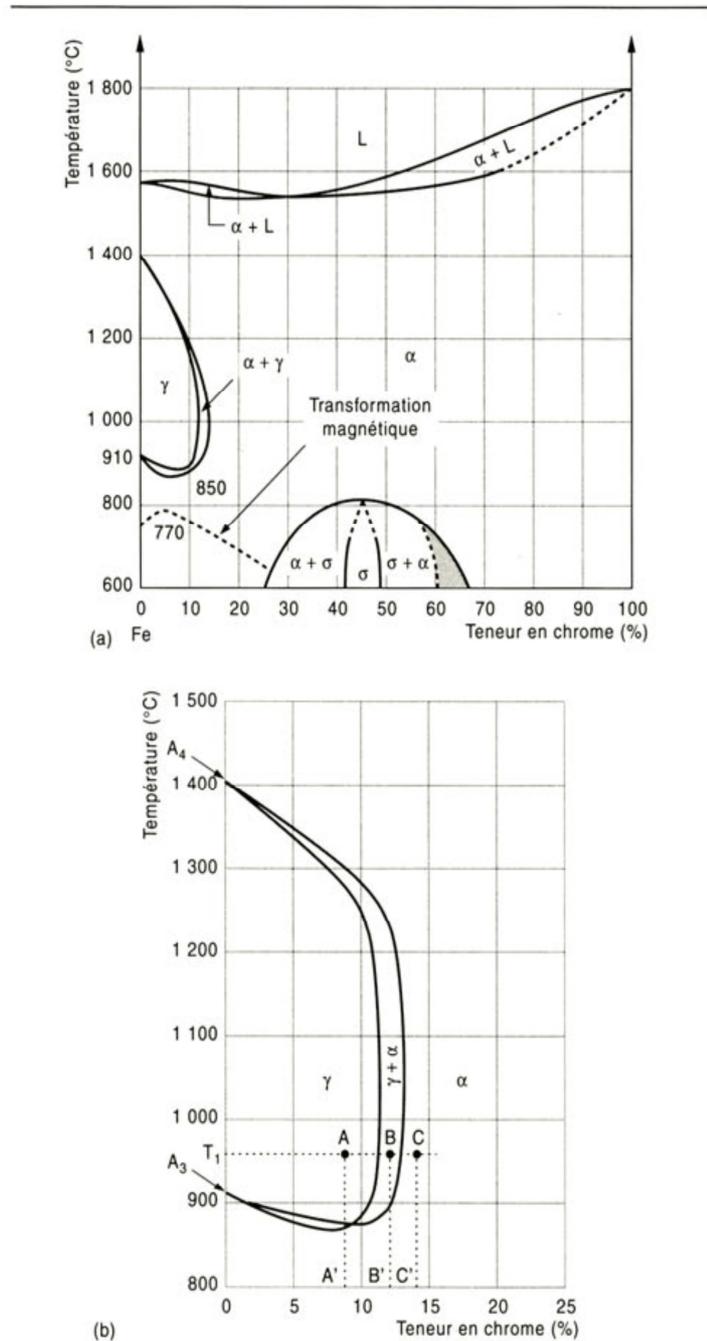


Figure II.2 : diagramme binaire fer-chrome.

en chrome très différentes. Dans le domaine de composition qui nous intéresse, c'est-à-dire à moins de 25 % Cr, cette réaction se produit par apparition de précipités fins de phase  $\alpha'$  dans la solution solide  $\alpha$ . Cela produit naturellement un effet de durcissement structural qui, s'il est très poussé, entraîne une fragilisation importante.

En résumé, ces deux réactions ont pour effet de fortement fragiliser ces alliages à des températures inférieures à 800-850 °C. Toutefois, leurs cinétiques sont relativement lentes ; ces transformations ne se produisent pas, en pratique, pour les vitesses de refroidissement habituelles (seules doivent être surveillées les très grosses pièces refroidies très lentement à cœur). Par contre, lors de fonctionnements ou de maintiens de plus longue durée (plusieurs dizaines d'heures), il faut s'attendre à un effet fragilisant très important. [2]

### II.3.2. Influence de nickel :

À l'inverse du précédent, le diagramme fer-nickel (figure II.3) montre que le domaine d'existence de la phase  $\gamma$  augmente avec la teneur en nickel. Le nickel est donc un nouvel élément gammagène. Étant cubique à faces centrées, il favorise la phase austénitique pour des raisons d'isomorphisme.

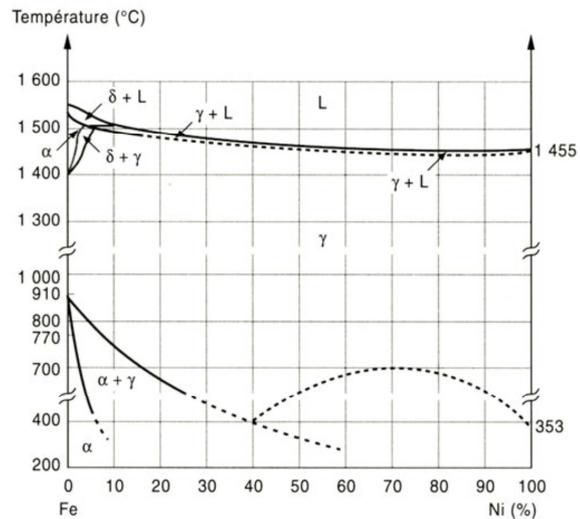


Figure II.3 : Diagramme Fe-Ni.

Par conséquent, au même titre que le carbone ou l'azote, l'addition de nickel conduit à augmenter la boucle des alliages fer-chrome (figure II.4).

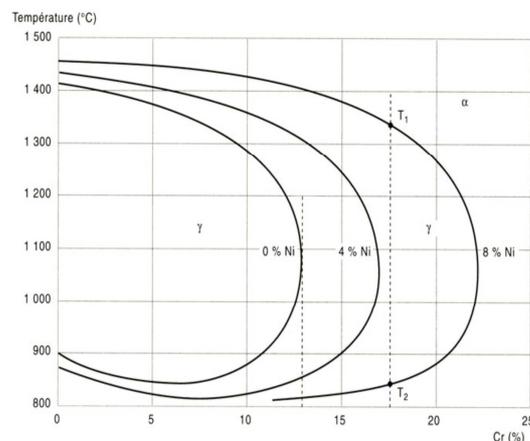


Figure II.4 : Influence du nickel sur la boucle  $\gamma$  du diagramme Fe-Cr.

### II.3.3.Influence d'autres éléments d'alliages :

D'autres éléments sont ajoutés aux aciers inoxydables pour modifier leurs propriétés et élargir leur domaine d'applications. Parmi ces éléments, on citera :

**.silicium** : augmente la résistance à la corrosion dans les milieux nitriques très oxydants et les milieux sulfuriques concentrés et chauds.

**.molybdène** : améliore la résistance à la corrosion en milieu réducteur et dans les solutions contenant des chlorures.

**.manganèse** : facilite le travail à chaud ; le forgeage, le laminage et stabilise l'austénite.

**.azote** : permet d'améliorer les caractéristiques mécaniques.

**.cuivre** : contribue à améliorer la résistance dans les milieux sulfuriques.

**.titane et niobium** : permettent d'éviter la sensibilité à la corrosion inter granulaire.

Enfin, des additions de soufre, de phosphore ou de sélénium facilitent l'usinage.

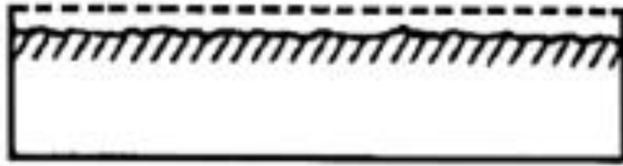
L'addition de ces éléments peut influencer fortement sur la structure en favorisant l'apparition de ferrite ou de l'austénite. [2]

### II.3.influence de la corrosion sur les aciers inoxydables :

Presque tous les métaux et alliages en service se dégradent sous l'effet de la corrosion. La corrosion est le résultat de l'attaque par le milieu agressif extérieur (liquide ou gazeux) sur un métal ou un alliage. Elle se traduit généralement par l'altération de la surface du métal. Parmi les agents les plus courants de la corrosion on trouve l'air, l'eau de mer, les acides, les composantes organiques. [1]

Selon les conditions de travail du métal ou alliage, on peut rencontrer plusieurs types de corrosion, dont on distinguera :

- **La corrosion généralisée** se produit lorsque la couche passive est totalement détruite et lorsque l'état passif stable ne peut être maintenu. Ce type de corrosion dépend de la nature de la solution et peut être évité par un choix approprié de nuance.



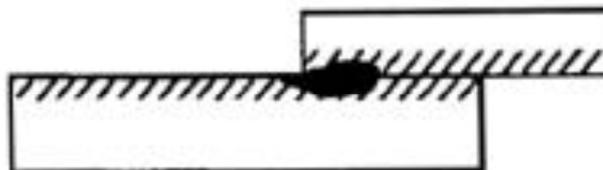
**Figure II.5 :** La corrosion généralisée.

- **La corrosion par piqûre** survient lors du passage dans la zone de trans-passivité dans un milieu chloruré. Elle peut être évitée en choisissant des nuances contenant du molybdène



**Figure II.6:** La corrosion par piqûre.

- **La corrosion caverneuse** se forme dans un espace confiné créé lors de la conception de l'appareil en milieu chloruré. Elle peut s'éviter en veillant à bannir les espaces confinés lors de la conception.



**Figure II.7:** La corrosion caverneuse.

- **La corrosion sous contrainte** se produit en milieu chloruré et lorsque le matériel est soumis à un effort permanent. Elle peut être évitée par un choix de nuance adapté.



**Figure II.8:** La corrosion sous contrainte

- **La corrosion inter granulaire** se propage aux joints de grains dans des zones sensibilisées à chaud (en particulier lors du soudage). Si le métal est sensibilisé, elle peut alors être évitée en choisissant une nuance stabilisée ou à bas carbone.



**Figure II.9:** La corrosion inter granulaire

### **II.3.2. La passivité des aciers inoxydables:**

L'inoxydabilité tient à la présence naturelle sur la surface de l'inox d'une couche de protection (la « couche passive »), qui fait partie intégrante du matériau, et lui confère la passivité. Elle se reconstitue spontanément après un endommagement accidentel (rayure, perçage, usinage...)

#### **Comment s'explique la résistance à la corrosion :**

Les inox présentent la particularité, lorsqu'ils sont au contact d'un oxydant (air, eau..) de se recouvrir d'une très fine couche (de l'ordre du nanomètre, soit  $10^{-9}$  m), composée d'oxydes complexes, appelée « film passif» ou « couche passive », qui protège le métal du milieu environnant. Etant donné sa composition (oxydes), elle ne peut se former que lorsque le pouvoir oxydant de la solution est suffisant.

Cette couche passive est stable, mais dans certaines conditions seulement. Il est également à noter que la composition de la nuance exerce une influence sur la stabilité : pour que la couche passive se forme, il est nécessaire que l'alliage contienne au moins 10,5% de chrome. En outre, les éléments d'alliages ont pour effet, selon leur teneur et dans certaines conditions, de la renforcer. Quand un choc (ou éraflure, etc.) a lieu dans un milieu particulièrement agressif, l'inox perd localement sa passivité, et dans ce cas, devient susceptible de se

corroder. [3]

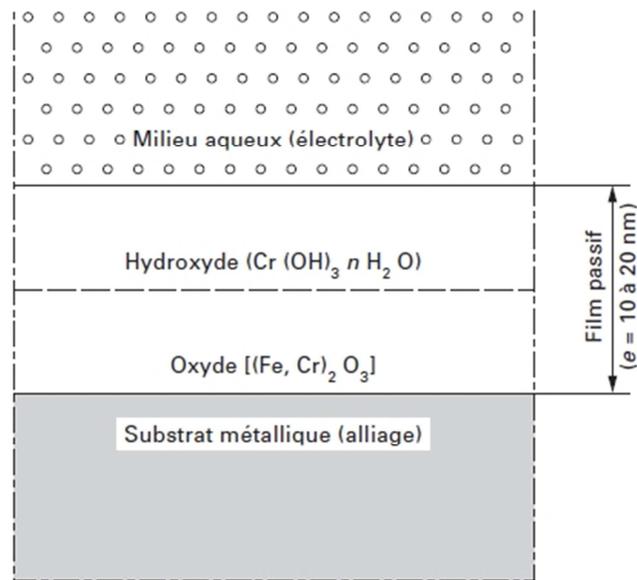


Figure II.10 : Modèle bicouche du film passif

#### II.4.Caractéristiques mécaniques et physico-chimique de l'acier X5CrNi18-10 :

##### II.4.1.caractéristiques mécaniques :

Le tableau N°1 ci après regroupe les propriétés mécaniques de l'acier X5CrNi18-10, selon la norme DIN 1.4301.

Propriétés mécaniques							
Etat	Limite élastique $R_{p0.2}$ [MPa]				Résistance de rupture $R_m$ [MPa]	Allongement de rupture $A_5$ [%]	Dureté Vickers [HV]
	20°C	100°C	200°C	300°C			
Recuit	200	157	127	110	500-700	45	160 - 200
Ecroui max.	965				1275	4	390

Tableau N°1 : caractéristiques mécaniques.

#### II.4.2. composition chimique:

Le tableau N°2 ci après regroupe les propriétés mécaniques de l'acier X5CrNi18-10, selon la norme DIN 1.4301.

Composition chimique selon DIN [%]								
C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Autres
<0.07	<1.00	<2.00	<0.045	<0.015*	17.0-19.5	-	8.0-10.5	N<0.11

**Tableau N°2 :** composition chimique.

#### II.5.Normalisation :

Jusqu'alors, on disposait de systèmes nationaux différents pour normaliser les aciers inoxydables. En Europe, les travaux de l'European *Committee of Iron. and Steel Organization* ont conduit à l'établissement d'une seule normalisation commune prenant effet à compter du 5 novembre 1995. Ces conclusions communes sont rassemblées dans les trois normes suivantes :

- NF EN 10088-1 : Aciers inoxydables. Partie 1 : Liste des aciers inoxydables.
- NF EN 10088-2 : Aciers inoxydables. Partie 2 : Conditions techniques de livraison des tôles et bandes pour usage général.
- NF EN 10088-3 : Aciers inoxydables. Partie 3 : Conditions techniques de livraison des demi-produits, barres, fils machine et profils pour usage général.

Les différentes nuances d'aciers inoxydables sont désignées selon leur composition d'après la règle évoquée précédemment. À chaque nuance est également attribuée une désignation numérique précisée dans la norme NF EN 10027-2. Par exemple, la nuance X5CrNi18-10 (Z7CN1809) correspond à la numérotation 1.4301.

Toutes les nuances d'aciers inoxydables d'usage général et les fourchettes de leurs compositions chimiques sont précisées dans la norme NF EN 10088-1. Elles sont classées suivant leurs structures métallographiques, comme expliqué précédemment

:

- aciers ferritiques : 21 nuances,
- aciers martensitiques : 24 nuances,

- aciers austénitiques : 50 nuances,
- aciers austéno-ferritiques : 9 nuances,
- aciers à hautes caractéristiques (durcissement structural) : 5 nuances. Cela correspond donc à un total de 109 nuances normalisées.

Les normes NF EN 10088-2 et NF EN 10088-3 définissent les caractéristiques mécaniques et les conditions de livraison des produits. Les dimensions nominales (épaisseur, longueur, largeur) et le poids définissent les formats de livraison. Les conditions de traitement thermique et d'état de surface sont définies par un système alphanumérique (par exemple : 2R = laminé à froid, recuit blanc ; 2H = laminé à froid, écroui, etc.).

Des conditions spéciales peuvent être précisées par des lettres (C = écrouissage, QT = trempe et revenu, P = durcissement par précipitation) suivies d'un chiffre indiquant la résistance à la traction en MPa, par exemple : QT900 (trempe et revenu 900 MPa), P1150 (durcissement par précipitation 1 150 MPa), etc. Les différences de niveau des propriétés mécaniques, c'est-à-dire  $R_{p0,2}$  et  $R_m$  pour les différents produits ont été standardisées.

L'annexe A de la norme NF EN 10088-1 précise les principales propriétés physiques des nuances normalisées (module d'élasticité, coefficient de dilatation, masse spécifique, capacité thermique, conductivité thermique, résistivité électrique, etc.) D'autres normes européennes précisent les nuances d'aciers inoxydables utilisables pour les domaines d'utilisation et le type de produit.

Utilisation générale :

- NF EN 10.250-4 : Pièces forgées d'usage général.
- NF EN 10.283 : Aciers inoxydables moulés.

Appareils à pression :

- NF EN 10.028-7 : Produits plats pour appareils à pression.
- NF EN 10.272 : Produits longs pour appareils à pression.
- NF EN 10.222-5 : Produits forgés pour appareils à pression.
- NF EN 10.216-5 : Tubes sans soudures pour appareils à pression.
- NF EN 10.217-7 : Tubes soudés pour appareils à pression.

Haute température :

- NF EN 10.095 : Aciers et bases Ni réfractaires.
- EN 10.302 : Aciers et bases Ni et Co pour fluage.
- EN 10.269 : Aciers pour boulonneries à chaud.

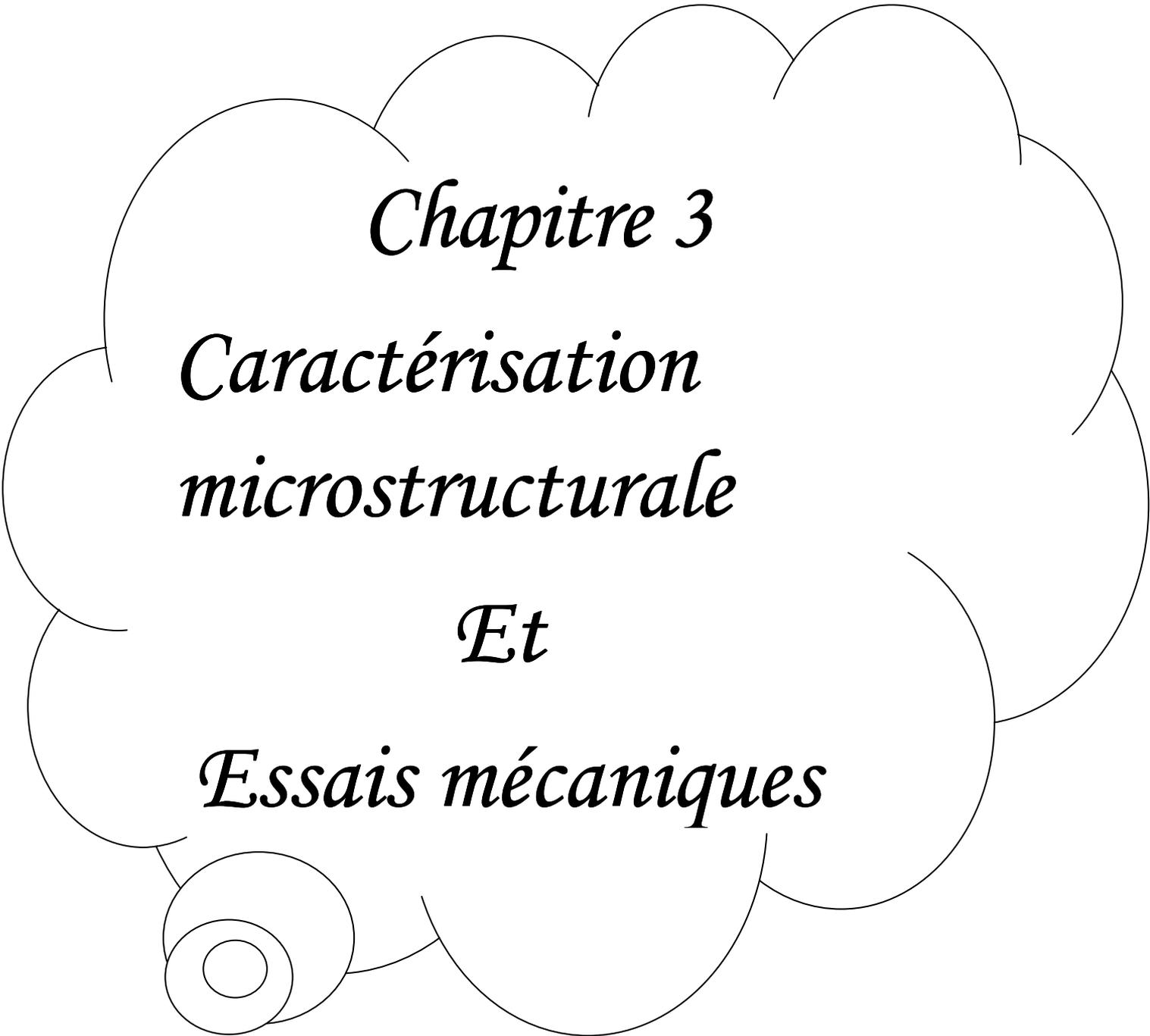
Divers :

- NF EN 10.270-3 : Fil inox pour ressorts.

- NF EN 10.263-5 : Barre et fil inox pour extrusion à froid.
- NF EN 10.312 : Tubes inox pour transport d'eau.
- NF EN ISO 683-17 : Aciers pour roulements.

On notera que certaines normes françaises n'ont pas encore fait l'objet de normalisation européenne. Elles restent donc d'usage dans cette période intermédiaire. Ce sont par exemple:

- NF A 36711 : Inox pour produits alimentaires.
- NF A 35583 : Fil inox pour soudage.
- NF A 35595 : Inox pour coutellerie.
- NF A 49148, 207, 214, 249 : normes pour divers types de tubes en aciers inoxydables.
- NF E 25033 : Boulonneries en inoxydables.
- NF F 80109 : Inox d'usage général pour matériel roulant ferroviaire. [2]



*Chapitre 3*  
*Caractérisation*  
*microstructurale*  
*Et*  
*Essais mécaniques*

### **III. 1. Microstructure :**

La microstructure décrit l'ensemble des grains ou des particules microscopiques qui caractérisent la structure d'un grand nombre de matériaux.

On peut caractériser la microstructure des matériaux à différentes échelles selon ce que l'on cherche à observer. Pour chaque échelle il faut faire appel à un outil de taille appropriée, de l'échelle macroscopique à l'observation de la microstructure et à la détermination de l'arrangement des atomes. Ces analyses mettent successivement en jeu le microscope optique (observation du mm au  $\mu\text{m}$ ), le microscope électronique (observation 100 au nm) et la diffraction des rayons X dont la longueur d'onde est de l'ordre du dixième de nm, on étudie les structures cristallines [4].

#### **III.1.1. La macrographie :**

La macrographie consiste en un examen d'ensemble d'une structure métallique ou d'alliage qui s'effectue à l'œil nu, ou avec de faible grossissement (inférieur à 100). Cet examen peut aussi s'effectuer sur des sections prélevées sur des ébauches (lingots, pièces de forge... ) que sur des produits finis. Il permet de déterminer l'allure de la constitution cristalline de grandes surfaces qui doivent être soigneusement polies d'un papier émeri fin en évitant tout écrouissage au cours de travail. Puis cette surface est soumise à une attaque par des réactifs appropriés. Ce réactif agit par une dissolution à vitesse inégale de la surface métallique et crée ainsi des différences de niveau permettant l'observation. La macrographie met en évidence :

- la grosseur et la forme des grains : de petits grains traduisent en général un refroidissement rapide alors que les gros grains supposent un refroidissement lent.

- les traitements mécaniques en observant la déformation des grains (déformation à froid, la différence de taille de grain (déformation à chaud)

- La répartition d'inclusion ou de cavités.

#### **III.1.2. La micrographie :**

La micrographie a pour but principal la mise en évidence de la structure de l'échantillon et des inclusions métalliques, des microfissures et aussi de l'organisation de diverses phases présentes (leur taille, leur forme, leur distribution) donc sa microstructure. L'obtention de la

surface d'examen nécessite une suite d'opération allant du prélèvement effectué sur le produit [2].

### **III.1.2.1. observation microscopie :**

La micrographie a pour but principal la mise en évidence de la structure de l'échantillon et des inclusions métalliques, des microfissures et aussi de l'organisation de diverses phases présentes (leur taille, leur formes et leur distribution).

L'obtention de la surface d'examen nécessite une suite d'opération allant du prélèvement effectué sur le produit à l'attaque micrographique.

#### **a- Observation par microscope optique :**

Du fait de son pouvoir de résolution insuffisant, il n'est utilisé en pratique que pour la détermination de la structure et la texture granulaire des matériaux étudiés

**b-Microscopie électronique à balayage** : est utilisé afin d'observer plus finement l'état de surface des matériaux et rendre compte des précipités grossiers présents dans les divers matériaux. Le principe de l'imagerie MEB consiste à composer une image de surface à partir des électrons secondaires éjectés du matériau sous l'effet du faisceau primaire. L'énergie de ces électrons dépend directement de l'énergie des électrons primaires et du numéro atomique de l'élément qui interagit avec le faisceau primaire [4].

### **III.1.3 : Importance de la métallographie :**

L'étude métallographique est un moyen de contrôle essentiel de la structure micrographique des matériaux métalliques.

Toute étude de matériaux métalliques passe presque toujours par l'étude des constituants micrographiques. Ce sont eux qui donnent aux métaux leurs différentes caractéristiques mécaniques. Toutes les étapes de la vie d'un matériau sont concernées : Mise au point, utilisation, détérioration par corrosion .....

Grâce à de nombreux microscopes optiques et caméras vidéo, il est possible de visualiser tous types de surfaces avec un grossissement pouvant aller jusqu'à 1000 fois. De ces nombreuses observations, et grâce à une bonne connaissance de la physique des solides et des diagrammes

de phases des matériaux, une analyse précise peut être menée, et de nombreux paramètres tels que la vitesse de refroidissement ; la grosseur des grains ; l'homogénéité; la présence d'impuretés; ...peuvent être visualisés, et on peut très rapidement avancer dans la compréhension des diagrammes d'équilibre.

## **ESSAIS MECANIQUES**

### **III.4. Introduction :**

Le chercheur ne peut calculer une pièce ni déterminer les charges admissibles sans connaître les caractéristiques mécaniques du matériau, il doit savoir à partir de quelle charge la pièce commence à se déformer de façon irréversible, entraînent ainsi une modification de sa géométrie, et à partir de quelle charge il y a risque de rupture.

Les essais mécaniques ont pour but de déterminer un certain nombre de caractéristiques des métaux et alliages : aptitude à la déformation par traction ou compression, résistance à la pénétration ... etc.

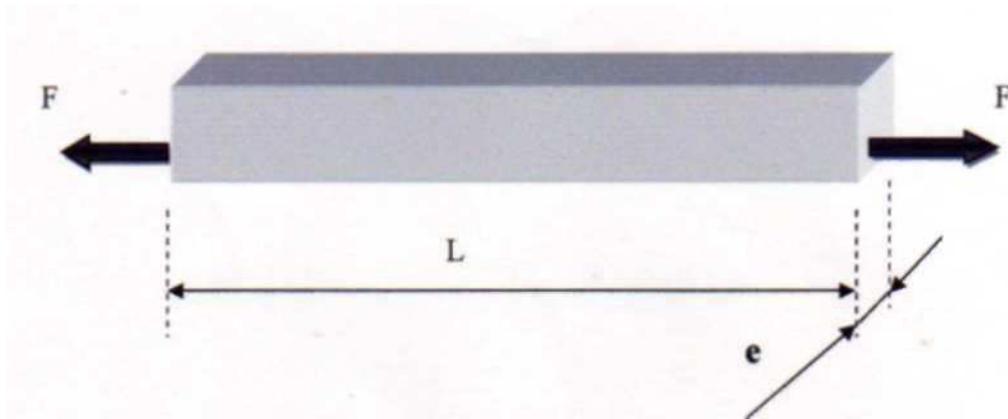
Les résultats obtenus dans ces différents essais qui mettent en œuvre des techniques particulières sont en relation directe avec la structure du métal et permettent de prévoir son comportement dans les conditions réelles de l'utilisation. [5]

### **III.5. Essai de traction :**

#### **III.5.1. Principe de l'essai :**

L'essai de traction est l'un des essais mécaniques les plus fréquents. Il sert, comme nous le verrons, à déterminer avec certitude plusieurs propriétés mécaniques des matériaux.

On déforme graduellement une éprouvette, habituellement jusqu'à la rupture, en appliquant le long de son axe une force qui croît graduellement. La figure III.1 représente une éprouvette d'essai de traction (normalement la section transversale est circulaire mais on utilise aussi des éprouvettes à section transversale rectangulaire).



**Figure III.1: Traction**

Pendant l'essai on relève un diagramme ou sont enregistrés les allongements en fonction des charges.

Ensuite on peut calculer plusieurs caractéristiques mécaniques

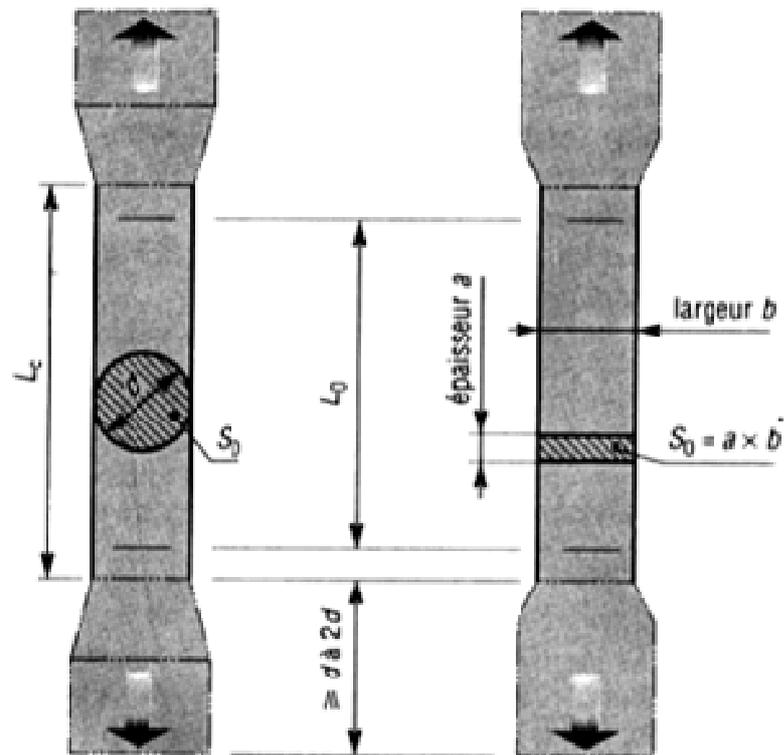
- \* La limite élastique ;
- \* La limite à la rupture ;
- \* Le module de Young ;
- \* Le coefficient de poisson ;
- \* La contrainte maximale de traction ;

### **III.5.2. Eprouvettes :**

Les éprouvettes comportent généralement deux têtes d'amarrage et une partie calibrée soigneusement polie de section constante qui comportent deux repères distants d'une longueur  $L_0$ .

La partie calibrée est raccordée aux extrémités par des congés de rayon  $R$ , et les têtes d'amarrage sont adaptées aux mâchoires de la machine de traction.

La section droite de l'éprouvette peut être circulaire, carrée, rectangulaire ou hexagonale. La figure III.2 représente le schéma de l'éprouvette de traction.



**Figure III.2** : Les éprouvettes de traction

Où

- **a** : Epaisseur de l'éprouvette plate
- **b** : Largeur de l'éprouvette plate
- **S<sub>0</sub>** : Section initiale de l'éprouvette
- **L<sub>c</sub>** : Longueur de la partie calibrée
- **L<sub>t</sub>** : Longueur totale de l'éprouvette
- **L<sub>0</sub>** : Longueur initiale entre repères : il s'agit de la longueur utilisée pour l'étude de l'allongement.

Les dimensions des éprouvettes sont fixées par des normes en fonction du type d'alliage (acier, fonte, aluminium ets...), de la forme (rond, plate, fil..) et des dimensions des sections.

### III.5.3. Courbe de traction :

La figure III.3 représente trois comportements possibles des matériaux : fragile(a), ductile(b) et élastique non linéaire(c). Mais en réalité la courbe de traction (Diagramme conventionnel) présente généralement un autre aspect (figure III.4).

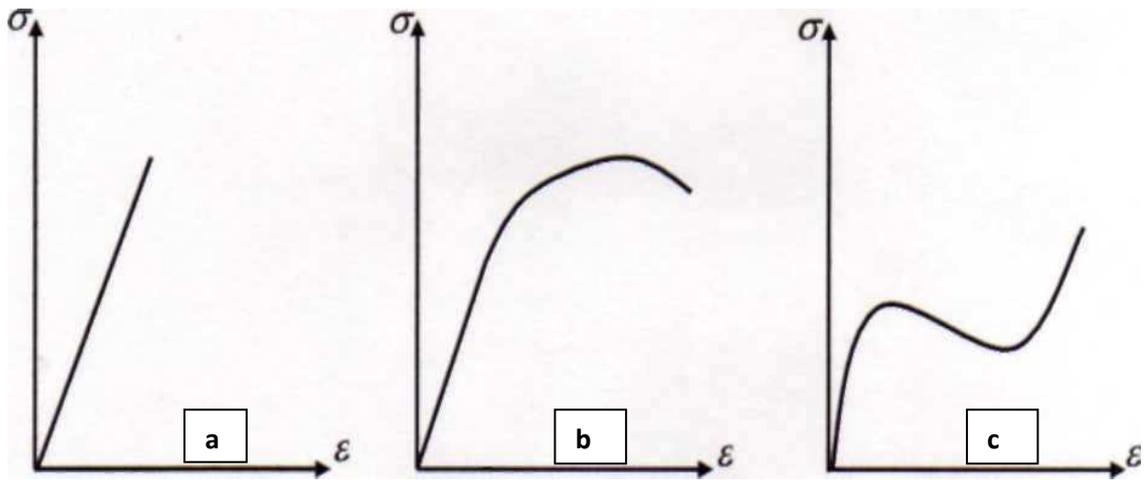


Figure III.3: Comportement possible du matériau.

#### III.5.4. Diagramme conventionnel:

Le Diagramme conventionnel représente l'évolution de la charge unitaire R en fonction de l'allongement relatif de l'éprouvette.

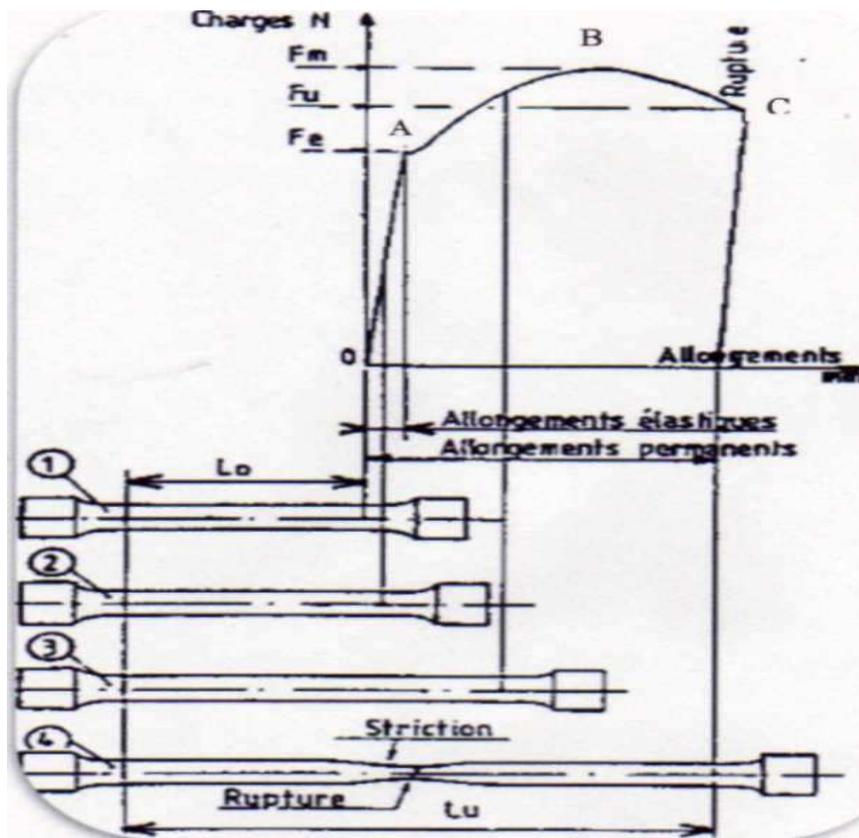


Figure III.4: Courbes de traction.

### III.5.5. Lecture et interprétation de la courbe de traction :

L'éprouvette (1) est mise en place, la charge est appliquée progressivement. Trois domaines sont mis en évidence par le diagramme.

❖ **Domaine OA :**

Domaine élastique ou la déformation est réversible une fois la charge supprimée. Le point **A** correspond à la limite  $R_e$ . Dans le domaine **OA** la charge est proportionnelle à l'allongement. La loi de variation de la charge en fonction de l'allongement  $\epsilon$  est connue sous le nom de la **loi de HOOKE**

❖ **Domaine AB :**

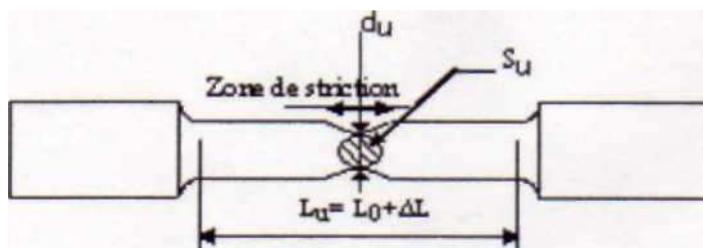
Domaine de déformation permanente ou déformation plastique, le matériau subit une déformation homogène dite plastique qui est permanente après suspension de la charge.

Avec **B** : point de charge maximale  $R_m$  appelée charge de rupture ou début de striction.

❖ **Domaine BC :**

Domaine de striction ou la section de l'éprouvette subit une réduction jusqu'à la rupture au point **C**. La variation de cette réduction du diamètre tout au long de l'essai, nettement visible est appelé Coefficient de Striction. [7]

**C** : point de rupture de l'éprouvette. (**Figure III.5**)



$L_u$  : Longueur finale

$\Delta L$  : Allongement à la rupture.

$S_u$  : Section finale (mm),

$d_u$  : Diamètre après striction (mm).

**Figure III.5:** Phénomène de striction.

### III.5.6. Caractéristiques obtenues de l'essai de traction :

#### ❖ Limite apparente d'élasticité :

$R_e = \frac{F_e}{S_0}$ , où  $F_e$  est la charge apparente d'élasticité exprimée en N et  $S_0$  la section

Initiale en  $\text{mm}^2$ . La limite élastique  $R_e$  exprimée en (MPa) correspond au seuil d'écoulement plastique car elle représente aussi le début de la déformation plastique.

#### ❖ Résistance à la traction $R_m$ :

Est la résistance limite à la traction exprimée en (MPa), cette valeur est utilisée pour estimer la limite d'endurance à la fatigue.

Elle est le rapport de l'effort maximal de traction  $F_m$  à la section initial  $S_0$  de l'éprouvette.

$$R_M = \frac{F_m}{S_0}$$

#### ❖ Limite conventionnelle d'élasticité $R_{e0,2}$ :

Est atteinte quand on observe la première chute de l'effort lors de l'essai. En l'absence de ce phénomène, quand OA n'est pas rectiligne, on doit utiliser la limite conventionnelle d'élasticité.

$R_{0,2}$  correspond à l'intersection de la courbe de traction et la parallèle OA menée de l'axe des abscisses correspondant à un allongement plastique de 0,2 % (Voir figure III.6.)

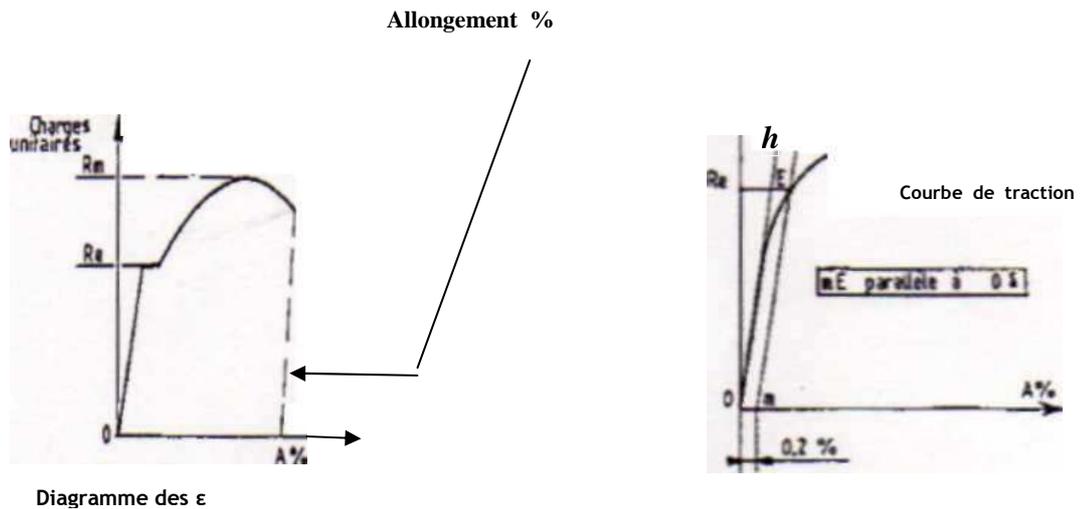


Figure III.6: diagramme des contraintes.

❖ **Allongement à la rupture A%** : est le rapport

$$A\% = [(L_u - L_0) / L_0] \cdot 100$$

Ou :

$L_u$  est la longueur de l'éprouvette reconstituée après rupture.

❖ **Coefficient de striction Z%** :

$$Z\% = [(S_0 - S_u) / S_0] \cdot 100$$

❖ **Allongement de striction  $Z_u\%$**  :

$$Z_u\% = [(S_0 - S_u) / S_u] \cdot 100$$

❖ **Module d'Young E** :

Est la pente de la partie linéaire **OA** (figure III.7) représente le module d'Young **E** ou module l'élasticité, exprimée en (MPa ou GPa).

On appelle loi de HOOK la relation :

$$\sigma_{\text{élastique}} = E \cdot \varepsilon_{\text{élastique}}$$

Avec  $\sigma$  : Est la contrainte

E: Est le module de Young

$\varepsilon$  : Est la déformation

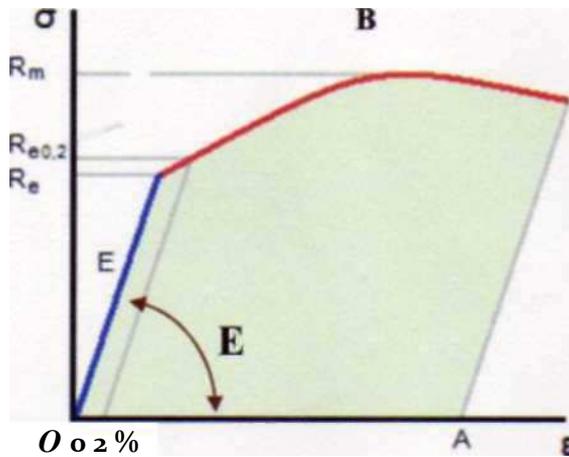


Figure III.7 : Module d'Young.

### III.5.7. Diagramme rationnel : [4]

Le diagramme rationnel donne la courbe de traction représentée dans les coordonnées Contrainte vraie  $\sigma$  en fonction de la déformation rationnelle  $\varepsilon$ .

#### ❖ Contrainte vraie :

La section de l'éprouvette varie au cours de l'essai de traction c'est pourquoi il est plus rationnel de considérer la contrainte comme le rapport de la charge  $F$  à la section instantanée  $S$ . On obtient alors la contrainte vraie qui est :

$$\sigma = \frac{F}{S}$$

En admettant que le volume de la partie calibrée de l'éprouvette reste constant au cours de l'essai, On peut écrire :

$$S_0 L_0 = SL = S (L_0 + \Delta L)$$

D'où

$$s = \frac{S_0}{1 + \frac{\Delta L}{L_0}} = \frac{S_0}{1 + e}$$

On déduit donc :

$$\sigma = \frac{F}{S} = \frac{F}{S_0} (1 + e) = R (1 + e)$$

❖ **Déformation**

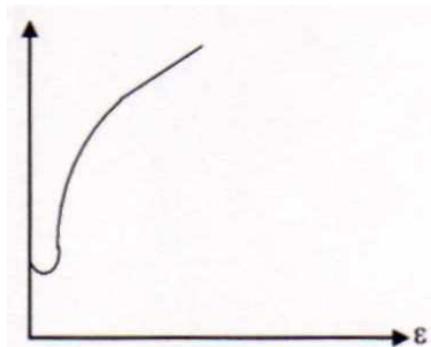
rationnelle  $\varepsilon$  [4] :

Pour calculer la vraie déformation on considère l'allongement infiniment petit  $dL$ , la vraie déformation sera égale à la somme des rapports  $\frac{dL}{L}$  pour une modification de la longueur de  $L_0$  à  $L$ . On écrit :

$$\varepsilon = \int_{L_0}^L \frac{dL}{L} = \ln \frac{L}{L_0} = \ln \left( \frac{L_0 + \Delta L}{L_0} \right) = \ln(1 + e)$$

La différence entre  $e$  et  $\varepsilon$  devient importante au de la de 20 % c'est pourquoi la courbe rationnelle n'est pas très différente de la courbe conventionnelle dans le domaine élastique mais présente une nette différence dans le domaine plastique.

La figure IV .8montre l'allure de la courbe rationnelle.



**Figure III.8 :** Courbe rationnelle de traction

❖ **Coefficient d'écroutissement n:** [4]

La courbe rationnelle peut être mise sous forme analytique dont l'équation la plus utilisée est :

$$\sigma = K \epsilon^n$$

Avec : **K**: constante

**n**: coefficient d'écroissage.

Le coefficient n représente la pente de la courbe considérée dans la coordonnée logarithmique ( $\ln \sigma = f(\ln \epsilon)$ ).

#### ❖ Ductilité:

La ductilité du matériau est appréciée à partir de la valeur du coefficient de striction Z :

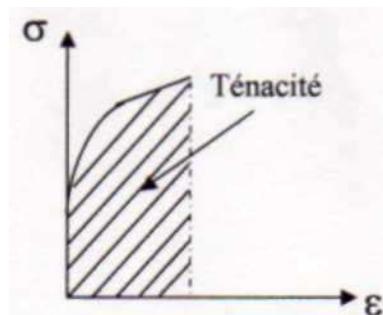
- Z est grand ( $Z > 0.5$ ), le matériau est ductile
- Z est faible ( $Z < 0.5$ ), le matériau est semi fragile
- Pour le matériau fragile la rupture a lieu dans le domaine élastique (absence de striction).

#### ❖ Ténacité : [7]

Elle se définit comme le travail absorbé par unité de volume pour provoquer la rupture du matériau.

$$\frac{dW}{dV} = \int^{\epsilon_r} \sigma \cdot d\epsilon$$

La ténacité représente donc la surface sous tendue par la courbe rationnelle comme le montre la figure suivante:



**Figure III.9:** Air sous -tendue par la courbe rationnelle (ténacité).

### III.5.8. Conditions d'essai :

Les caractéristiques mécaniques dépendent de la température du matériau et de la vitesse de déformation.

La norme prévoit des vitesses classiques en fonction du type de matériau. Par exemple :

- Aciers :  $\dot{\epsilon} \leq 0,15 L_0$  (mm.mn<sup>-1</sup>)
- Aluminium :  $\dot{\epsilon} < 0,009 L_0$  (mm.mrf<sup>-1</sup>)
- Cuivre :  $\dot{\epsilon} < 0,006 L_0$  (mm.mn<sup>-1</sup>)

L'essai de traction est généralement réalisé à la température ambiante avec une faible vitesse de déformation.

Le paramètre température est considéré dans le cas l'échantillon est chauffé et tire en même temps.

### III.6. Essai de dureté : [5]

Les essais dits de dureté mesurent la pression moyenne de contact des matériaux, lors de l'enfoncement d'un indenteur (conique, pyramidal ou sphérique) sur une surface plane. La dureté est évaluée après retrait de l'indenteur, à partir de la mesure des dimensions de l'empreinte laissée par l'indenteur, ou pendant l'essai à partir de la courbe d'indentation qui lie la profondeur d'indentation à la charge appliquée.

L'intérêt principal de cet essai est qu'on peut le réaliser sur des échantillons de dimensions très réduites, sans préparation particulière, excepté un polissage de surface, ceci permet de tester la réussite d'un traitement de surface qui porte sur quelques centaines de micromètres de profondeur.

#### III.6.1. Essai BRINELL : [5]

Le pénétrateur est une bille en acier trempé (dureté HB) ou en carbure de tungstène (dureté HB) de diamètre **D** (mm).l'empreinte est une calotte sphérique moyen **d** (en mm ; moyenne de deux diamètre orthogonaux mesures a l'aide d'un appareil optique approprié).

La charge d'essai  $F(N)$  est choisie dans une gamme normalisée adaptée à  $D$  et au matériau testé la dureté est donnée par le rapport de la charge (en Kg force a l'origine) a la surface de l'empreinte, exprimée sans dimension :

$$\text{HBS ou HBW} = 0,102.2F / \pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})$$

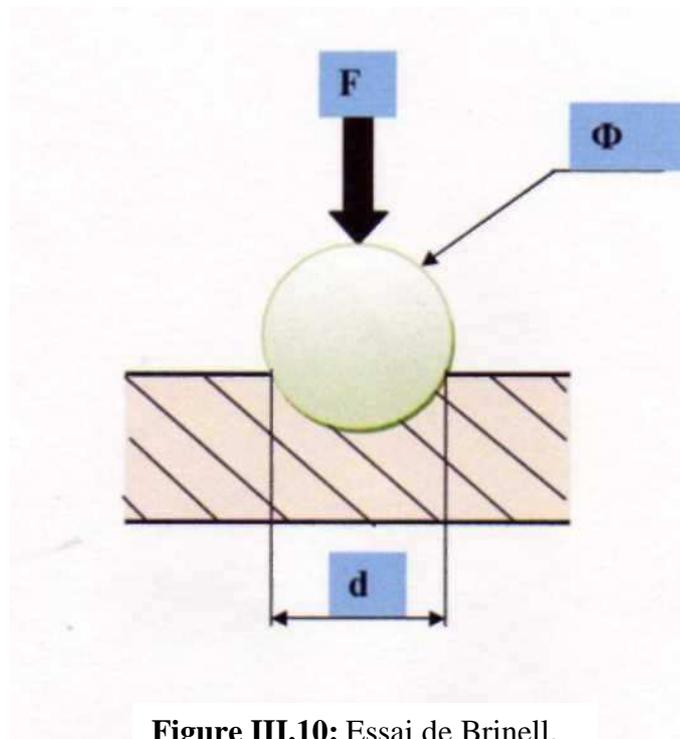
Avec :

$F$  : Charge d'essai en (N).

$D$ : Diamètre de la bille en (mm).

$d$ : Diamètre de l'empreinte en (mm).

Avec :  $d = (d_1 + d_2)/2$



**Figure III.10:** Essai de Brinell.

Pour éviter la déformation et la détérioration de la bille, l'usage de l'essai brinell est limite aux matériaux tels que  $\text{HBS} < 350$  ou  $\text{HBW} < 650$ .

Les diamètres de la bille est acier la bille sont :  $D = 10-5-2.5-1$  en mm et les charges  $P$  Valent  $30D^2$  pour les aciers. La bille est en acier dur, trempé, et ne doit pas être déformée par

l'essai .

Le diamètre D de l'empreinte est mesuré au 1 /100 de mm près (en général au microscope).

### III.6.2. Essai de Vickers : [5]

Le pénétrateur est une pyramide en diamant, à base carré et d'angle au sommet entre face oppose égal à 136°. L'empreinte est une pyramide en creux de diagonale moyenne D(en mm, moyenne de deux diagonales du carré de base, mesurées à l'aide d'un appareil optique approprié). La charge d'essai F(N) est choisie dans une gamme normalisée. La dureté est donnée par le rapport de la charge (en Kg force à l'origine) à la surface latéral de l'empreinte pyramidale, exprime sans dimension :

$$HV = 0.12 \times [(2F \sin^{136^\circ}/2) / d^2] = 1.854 \times (F/d^2)$$

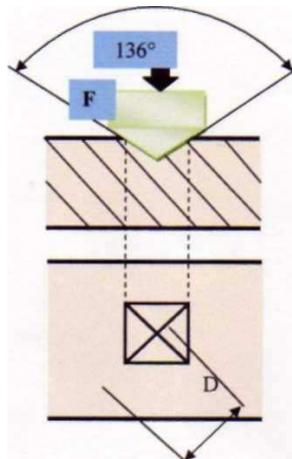


Figure III.11: Essai de Vickers

Les duretés brinell et Vickers donnent des résultats du même ordre, variant de quelque unité pour des matériaux très mous (plomb, matières plastique...). Jusqu'à quelques milliers pour les matériaux très durs (Céramique, carbures métalliques).

### III.6.3. Essai de Rockwell :

Mesure de la dureté d'un métal selon l'enfoncement d'une bille d'acier, appelé dureté Rockwell B (HRB) ou d'un cône de diamant de  $120^\circ$ , dureté Rockwell C (HRC).

L'essai consiste à appliquer une pré charge de 10 Kg (100N) sur le pénétrateur qui s'enfonce d'une profondeur  $e_0$

On applique une force supplémentaire  $F$ , pendant 3 à 8 s, le cône s'enfonce d'une profondeur  $e_1$ . On supprime la force  $F$ , le cône reste enfoncé d'une profondeur  $e_2$ . La profondeur rémanente ( $e_2 - e_0$ ) permet le calcul de la dureté selon la formule :

Les indices Rockwell peuvent se lire directement sur un cadran gradué.

#### III.6.3.1. Rockwell C :

Dans ce type d'essai le pénétrateur est un cône de diamant d'angle au sommet  $120^\circ$  et d'extrémité sphérique ( $\varnothing 0,2$  mm).

L'accroissement ( $r$ ) se mesure en unités égales à 0,002. La charge utilisée est 150Kg (1400 N) dont 10Kg de charge initiale.

$$\text{HRC} = 100 - r \quad (r \text{ est mesurée en unités égales à } (1.002 \text{ mm}))$$

**Exemple :** si  $e=0,12$ mm,

$$r = 0,12 / 0,002 = 60 \text{ alors } \text{HRC} = 100 - 60 = 40.$$

#### III.6.3.2. Rockwell B:

Le pénétrateur est une bille d'acier de diamètre 1,59mm. L'accroissement se mesure en unités égales à 0,002mm. Cet essai est utilisé pour les aciers doux, non trempé et les métaux et alliages non ferreux.

La charge  $F$  utilisée est de 100 kg (900 N).



*Chapitre 4*  
*Processus*  
*De Fabrication des*  
*cuisinières*

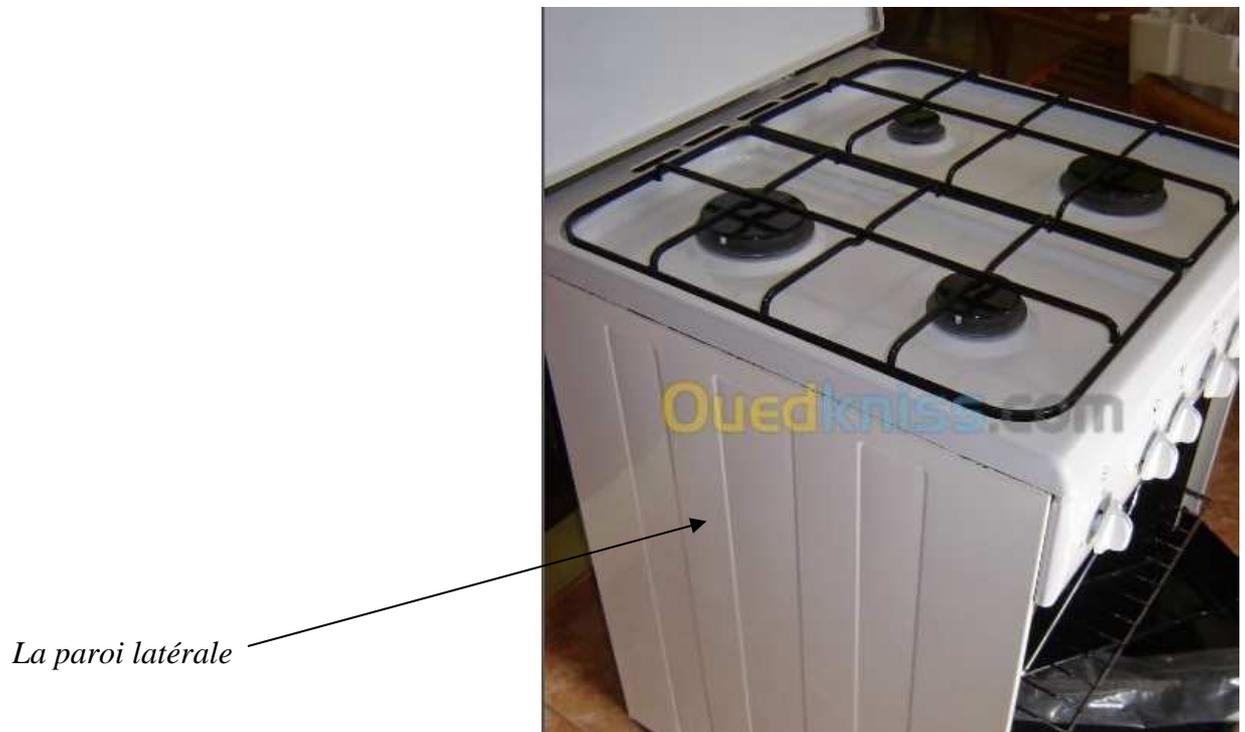
L'unité des cuisinières est composée de 4 grands ateliers, dans chaque atelier on fabrique des différentes pièces qui vont suivre un processus bien défini et comme suivant :

**1- Atelier tôlerie:**

la matière est sous forme des tôles avec des dimensions différentes.

Les éléments qu'on fabrique dans cet atelier sont :

Parois latérales, Fond de carcasse, Les couvercles.



**Figure IV.1 :** la paroi latérale d'une cuisinière.

Le couvercle



**Figure IV.2 :** le couvercle d'une cuisinière.

Le fond four



**Figure IV.3 :** Le fond four.

## .2-Atelier mécanique :

la matière est sous forme des pièces mécaniques, qui vont être assemblées pour former une pièce fonctionnelle.

Les éléments qu'on fabrique dans cet atelier sont :

Les grilles de table, La table d'alimentation, Les brûleurs de four.



La grille de table

**Figure IV.4 :** la grille de la table d'une cuisinière.



Les brûleurs de la table

**Figure IV.5 :** les brûleurs four d'une cuisinière.

La grille de four



**Figure IV.6 :** la grille de four de d'une cuisinière.

### **3-Atelier TRS (traitement et revêtement de surface) :**

Le traitement de surface est une opération mécanique, chimique, électrochimique ou physique qui a pour conséquence de modifier l'aspect ou la fonction de la surface des matériaux afin de l'adapter à des conditions d'utilisation données.

les traitement qu'ils font dans cette atelier sont les suivants :

Le chrome, le zinc, le maillage en blanc ou le maillage en noir.

**a) Le Chromage:** Le chromage décoratif a pour but de protéger la surface et de donner aux pièces l'aspect brillant.

Le chromage est un procédé de revêtement par électrolyse permettant de déposer du chrome métallique sur les surfaces à traiter pour leur conférer les propriétés de ce métal. Le chromage décoratif s'effectue sur des surfaces généralement revêtues au préalable d'une couche de nickel (ou éventuellement de couches de cuivre et de nickel) et a pour but essentiel de donner au revêtement les caractéristiques de brillance du chrome.

La qualité du chromage est directement liée à la préparation des surfaces. En effet, pour éviter l'écaillage, la couche de chrome doit rester très mince. De ce fait, tous les défauts géométriques (rayures, piqûres...) présents sur les pièces avant chromage, subsisteront après le

chromage, pour cette raison, l'opération de polissage est déterminante pour une bonne qualité finale.

**b) Le zingage** est un terme général désignant tout traitement de surface entraînant la formation d'un revêtement métallique de zinc. L'objectif est d'empêcher la dégradation du métal recouvert par corrosion. Le zingage électrolytique est appliqué pour résister d'abord à la corrosion avant toute considération esthétique ou fonctionnelle. Le langage courant utilise une terminologie spéciale suivant le procédé de zingage :

- zingage électrolytique : déposition électrolytique de zinc. Les produits ainsi revêtus sont appelés produits électro zingués ;
- shérardisation : nom donné à un procédé thermo-chimique de diffusion superficielle de zinc dans l'acier ;
- galvanisation à chaud : recouvrement par immersion dans un bain de zinc fondu. Les produits ainsi revêtus sont appelés produits galvanisés ;
- zingage par projection à chaud : recouvrement par projection de zinc fondu au pistolet. Les produits ainsi revêtus sont appelés métallisés au zinc.

**c) L'émaillage** : est un revêtement coloré obtenu par la fusion d'une poudre de verre sur un substrat tel que la céramique, le verre et de nombreux métaux.

La composition de la poudre est choisie en fonction de la teinte désirée et du type de substrat qui définit la température de cuisson (généralement supérieure à 500°C). La poudre fond et s'étale sur le support pour former après refroidissement une couche lisse, dure et très résistante aux assauts du temps.

L'émaillage est une très vieille technique déjà connue du temps des égyptiens. Les applications sur métaux (cuivre notamment) remontent aux anciens grecs.

Aujourd'hui, l'acier émaillé est un matériau produit industriellement à grande échelle. Ses caractéristiques résultent de la combinaison favorable des propriétés des deux matériaux qui le constituent, l'acier et l'émail. L'acier apporte sa résistance mécanique et ses qualités de mise en forme, alors que l'émail apporte l'inaltérabilité et donne tout son éclat à la surface de la pièce.

La composition chimique de l'émail doit être optimisée en fonction du support et de la couleur désirée. Dans le cas de l'acier, le matériau de base est un verre à bas point de fusion

composé de silice ( $\text{SiO}_2$ ) et autres oxydes de bore, de sodium, de potassium. Le verre est tout d'abord fondu pour rendre le mélange bien homogène, avant d'être solidifié et concassé. Suivant les applications, on ajoute de nombreux autres composés comme les oxydes de nickel, cobalt, titane, cuivre, calcium

#### **4-Atelier montage :**

Dans cet atelier, on va faire le montage de tout les composants qui nous avons fabriqué dans les ateliers précédents avec des éléments achetés comme les poussoirs d'alimentation. Dans cet atelier on aura notre produit fini.

Le processus de fabrication des cuisinières est résumé dans l'organigramme ci-après.

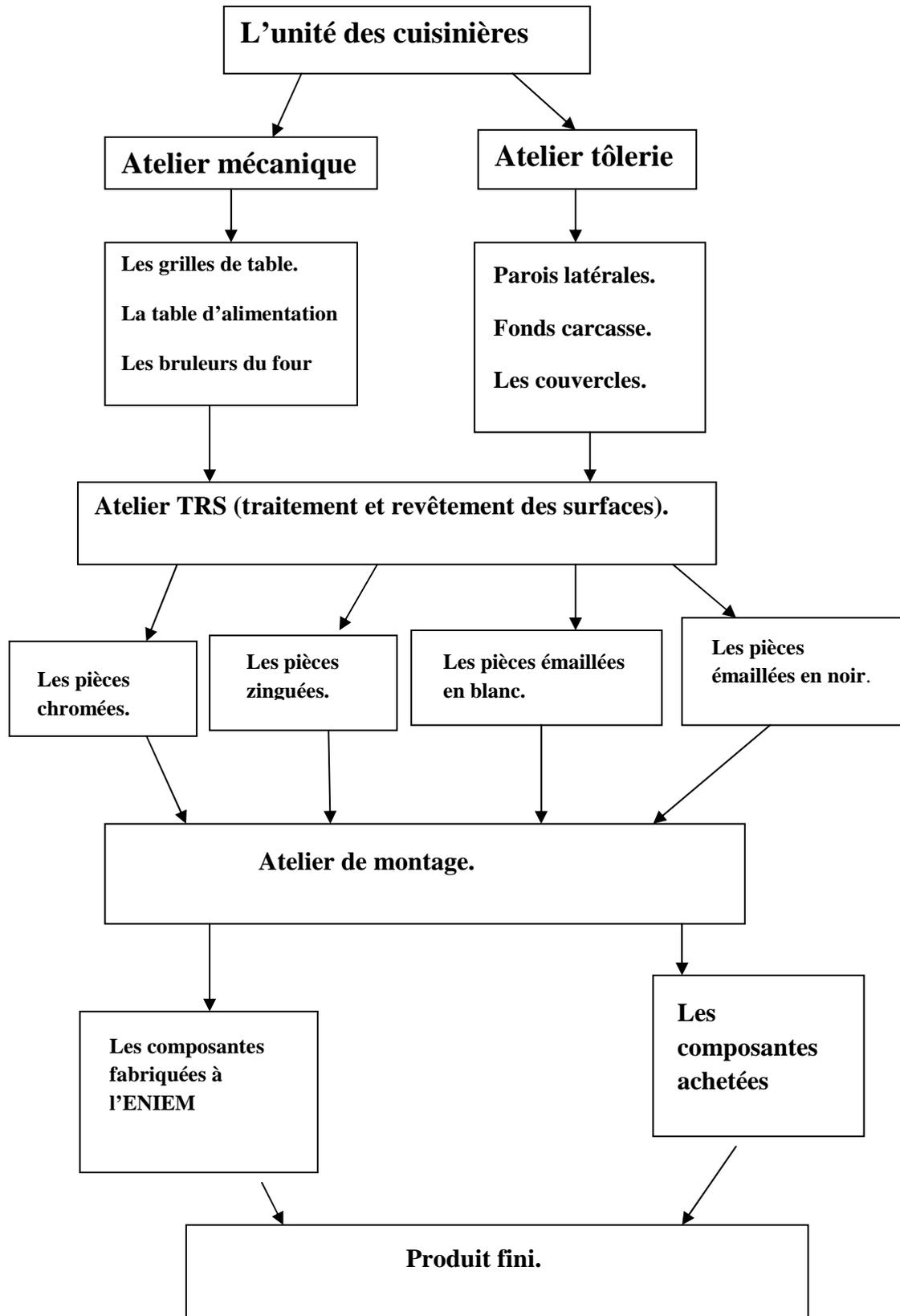
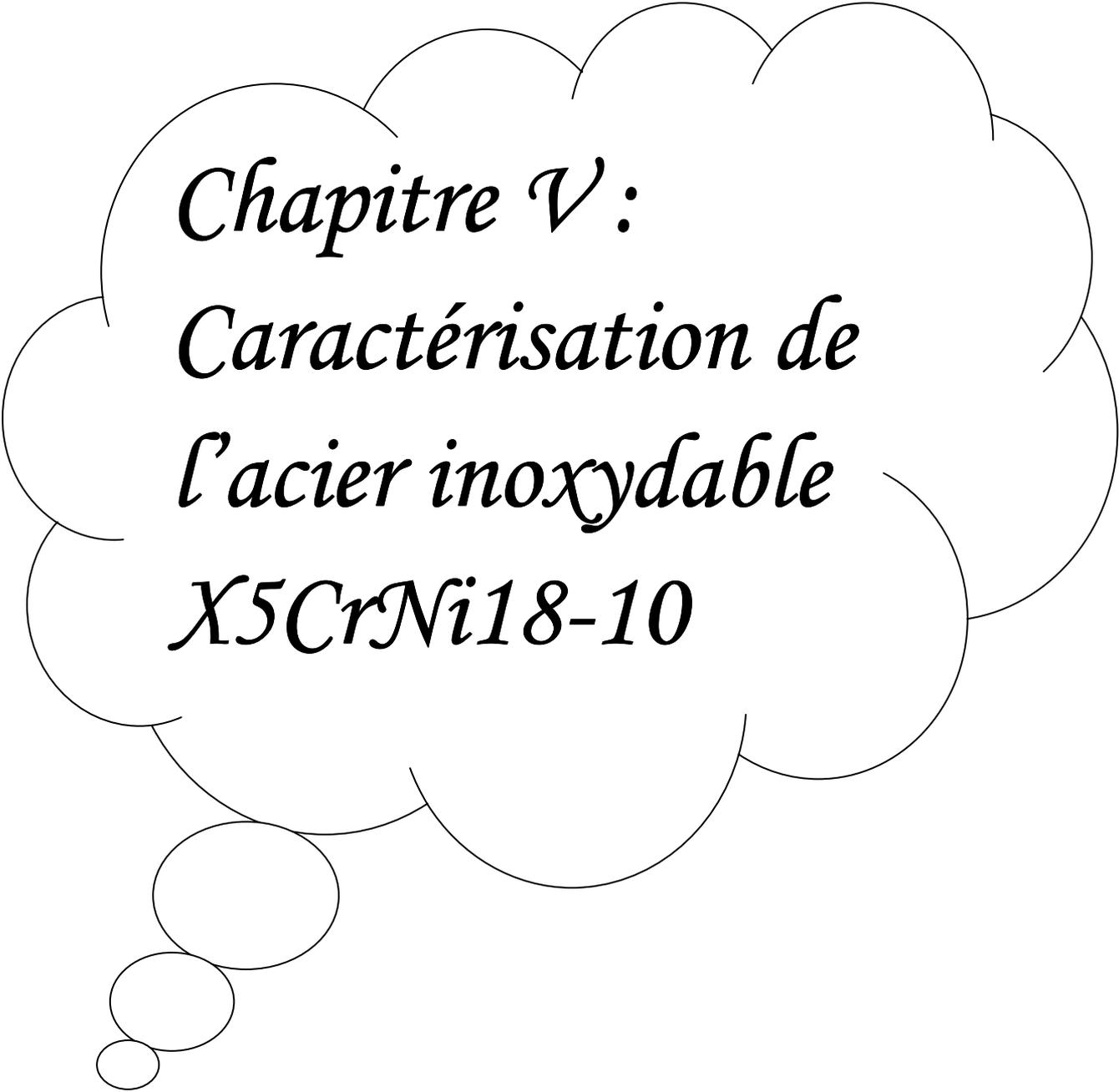


Figure IV.7 : organigramme de L'unité des cuisinières.



*Chapitre V :*  
*Caractérisation de*  
*l'acier inoxydable*  
*X5CrNi18-10*

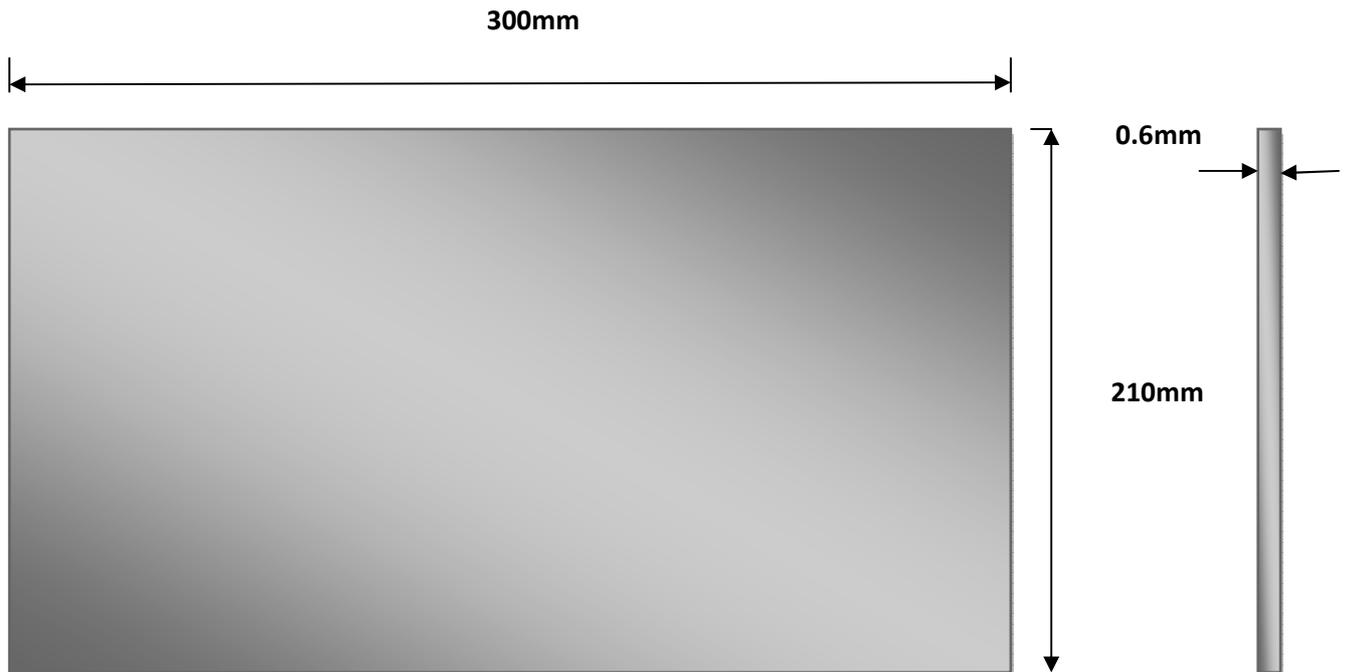
**Introduction :**

Ce chapitre est consacré à la caractérisation de l'acier inoxydable X5CrNi18-10.

**V. Essai de traction :**

**V.1. Les tôles utilisées pour des essais :**

sont des tôles minces dont les dimensions sont données dans la figure V.1



**Figure V.1 :** les dimensions de la tôle utiliser.

**V.2. Poste de découpage :**



**Figure V.2:** une découpeuse charmille robofil .

**V.3. Poste d'usinage :**



**Figure V.3 :** fraiseuse horizontale.

**V.4. Meule à bandes abrasives :** Utilisée pour enlever les bavures



**Figure V.4:** Meule à bandes abrasives.

### V.5. Les éprouvettes de traction selon les 3 sens de laminage de Norme ISO 6892-1 :

Nous avons découpé des éprouvettes de traction selon 03 directions qui sont: selon le sens du laminage ( $0^\circ$ ), à  $45^\circ$  et à  $90^\circ$ .

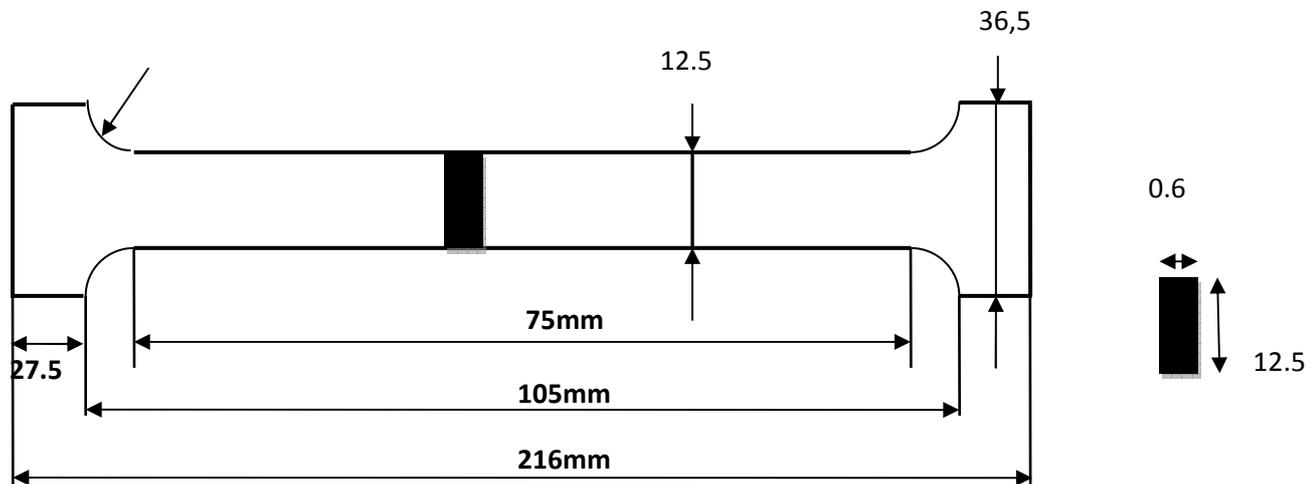


**Figure V.5:** les éprouvettes ( $0^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $90^\circ$ ) suivant le sens de laminage.

### V.6. Essai de traction

Les éprouvettes sont solidement maintenues par leurs têtes à l'aide des deux mâchoires (mors) de la machine de traction, dont l'une est fixe, l'autre libre en translation. Ces mâchoires en s'écartant l'une de l'autre, exercent une force de traction suivant l'axe géométrique de l'éprouvette. Des appareils, adaptés à la mâchoire, permettent de mesurer à chaque instant l'effort de traction ou la charge et la déformation correspondante.

➤ **Forme et dimension des éprouvettes de Norme ISO 6892-1**



**Figure V.6:** le dimensionnement de l'éprouvette.

**V.6.1. Machine de traction :** la machine de traction utilisée est de type IBERTEST alimentée sous une tension de 220V, ayant une charge maximale de 400 KN dotée d'un micro-ordinateur qui a pour utilité de suivre l'évolution des essais et de les sauvegarder pour ne pas perdre les résultats des essais effectués.

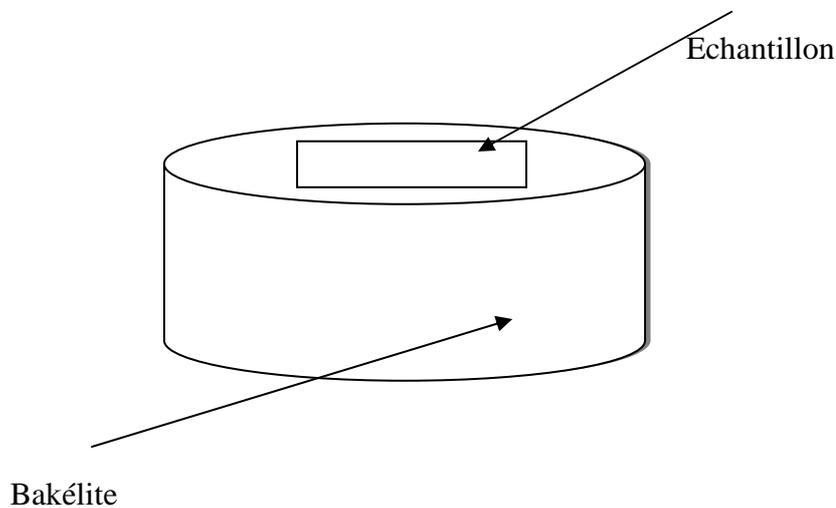


**Figure V.7 :** Machine de traction

### V.7. Essais de dureté :

Dans ce travail, on a utilisé l'essai Vickers avec un pénétrateur de forme pyramidale à base carrée d'angle au sommet de  $136^\circ$  avec une charge de 150Kgf. Après quelques secondes on mesure le diamètre de l'empreinte grâce à une règle, puis on lit la valeur de la dureté correspondante au diamètre.

La forme des échantillons utilisés lors des essais est présentée par la figure V.8



**Figure V.8 :** échantillon pour l'essai de dureté et pour l'observation micrographique.

**V.7.1. Duromètre :** C'est un duromètre de type WOPERT DIA TESTOR RC, constitué de deux parties, la première est la partie d'essai ; elle nous permet d'effectuer les trois types d'essai ; Rockwell, Vickers, et brinell. Il est muni d'un sélectionneur de charge et d'un plateau où table sur laquelle les éprouvettes sont posées. Quand à la deuxième partie elle nous permet de mesurer l'empreinte des billes ou des pyramides à un grossissement de 70 fois sur l'écran de verre dépoli. Se duromètre est alimenté sous une tension de 220V et d'une fréquence de 50 Hz.



Figure V.9: Duromètre

## V.8. Examen micrographique :

### V.8.1. Préparation des surfaces :

Les échantillons sont découpés des éprouvettes de traction, à la scie mécanique. Ces échantillons sont polis mécaniquement afin de rendre les deux faces de l'échantillon planes et brillantes de façon à ce qu'elles ne présentent aucune rayure susceptible de gêner l'examen ultérieur. Le polissage comporte trois phases.

#### ➤ Dressage :

Le dressage a pour but de créer une surface plane d'examen. Elle est réalisée sur papier EMERI de granulométries P120, P240, et P400, sur une polisseuse avec un arrosage abondant pour éviter tout risque d'échauffement.

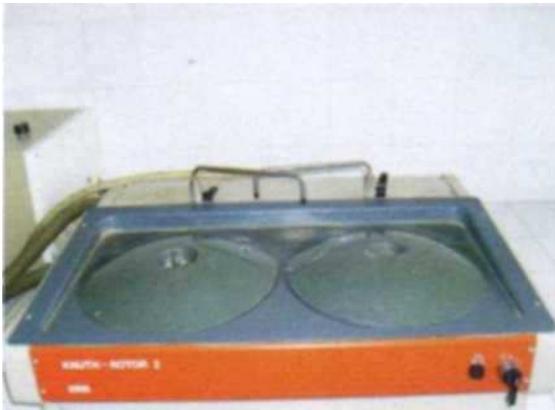
#### ➤ Dégrossissage :

Cette phase, qui est la plus délicate, permet d'arriver à une surface lisse ne contenant que des très fines rayures invisibles à l'œil nu qui disparaîtront dans la dernière phase. Les granulométries des papiers utilisés sont P600, P800, P1200, P2000, P3000 et P4000.

➤ **Finition:**

Son objectif est d'obtenir une surface comparable à celle d'un miroir permettant ainsi de réfléchir la lumière. Les échantillons sont frottés sur des disques de feutre ou de drap imbibé d'une suspension d'abrasifs qui est le plus souvent de l'alumine.

- **Les polisseuses :** il s'agit de deux polisseuses, une à deux disques de type : (STRUERS) alimenté sous une tension de 220V et d'une puissance de 150W munie d'un dispositif d'arrosage et l'autre à un seul disque de même type alimentée sous la tension mais de puissance de 432W.



**Figure V.10 :** Polisseuse à deux disques



**Figure V.11 :** Polisseuse à un disque

**V.8.2. Attaque chimique :**

Pour faire apparaître les joints de grains, on utilise une solution d'attaque au chlorure de nital

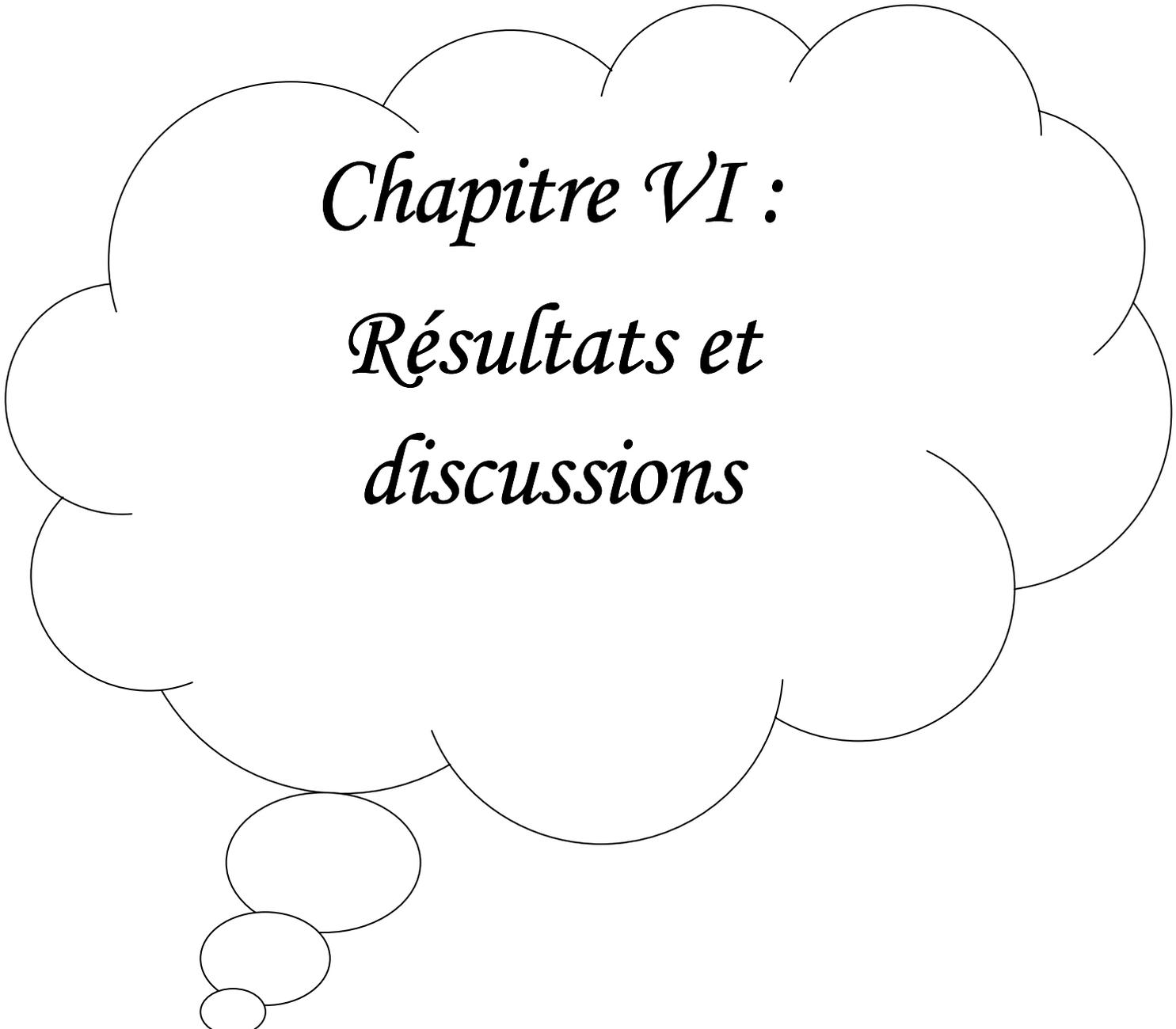
**V.9. Microscope :** Pour procéder à l'observation des différentes structures de surfaces, des alliages étudiés après leurs polissages et attaque chimique, on a utilisé deux types de microscopes dont les caractéristiques :

**\* Microscope optique :**

C'est un microscope universel de type ZEISS alimenté sous une tension de 220V, avec une fréquence de 50HZ et une puissance de 100W, muni d'un appareil photo automatique, ayant un pouvoir de résolution allant de 40 à 1000 fois.



Figure V.12 : Microscope optique



*Chapitre VI :*  
*Résultats et*  
*discussions*

Dans cette partie, nous allons comparer les résultats de caractérisation obtenus avec les fiches techniques fournies par le fournisseur et l'entreprise ENIEM.

## VI.1 Caractérisation de l'acier X5CrNi18-10:

### VI.1.1 Propriétés métallurgiques

#### VI.1.1.1 Composition chimique

1) La composition chimique l'acier X5CrNi18-10 d'après le cahier de charge de l'ENIEM :

Désignation de l'acier		masse en %							
Symb	Numéri	C <sub>Max</sub>	Si <sub>Max</sub>	Mn <sub>Max</sub>	P <sub>Max</sub>	S	N <sub>Max</sub>	Cr	Ni
X5CrNi18-10	1.4301	≤ 0.06	≤ 0.8	≤ 2	0.045	≤ 0.03	≤ 0.11	17 à 19	9 à 11.5

Tableau VI 1 : la composition chimique d'après le cahier de charge de l'ENIEM.

3) La composition chimique l'acier X5CrNi18-10 d'après le cahier de charge de fournisseur :

Composition chimique selon DIN [%]								
C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Autres
<0.07	<1.00	<2.00	<0.045	<0.015*	17.0-19.5	-	8.0-10.5	N<0.11

Tableau VI .2 : la composition chimique d'après la fiche technique fournisseur.

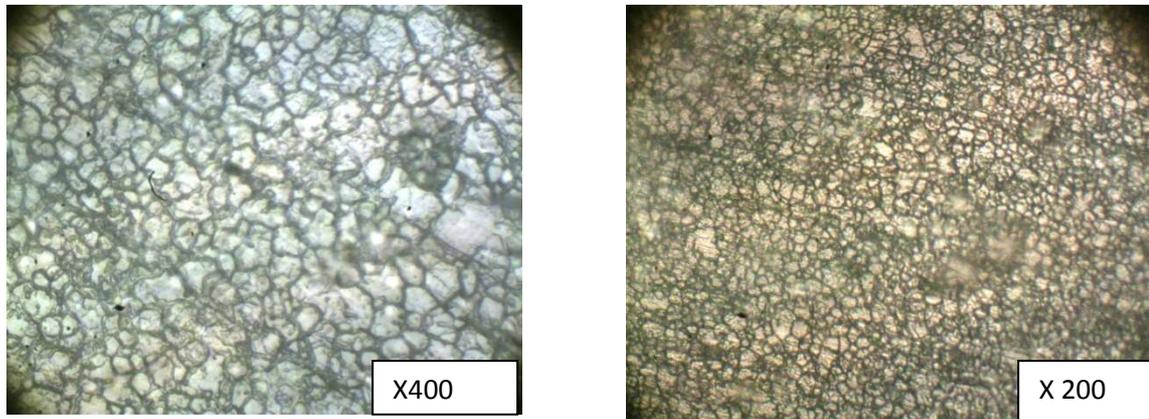
3) Le résultat de la composition chimique de l'acier X5CrNi18-10 est donné dans le tableau suivant :

Les Éléments	C	Cr	Ni	Si	Mn	P	S	N
Composition chimiques	0.0501	17.70	8.20	0.315	1.43	<0.01	<0.001	0.052

Tableau VI.3: la composition chimique de l'acier (X5CrNi18-10)

Si on compare les résultats obtenus avec les résultats de cahier de charge ENIEM et la fiche technique du fournisseur, on remarque que les résultats obtenus sont dans l'intervalle.

### VI.1.1.2 Microstructure :



**Figure VI.1 :** La Microstructure de l'acier X5CrNi18-10.

D'après la littérature un acier qui contient un pourcentage de chrome allons de 16,5 jusqu'à 28%, le nickel entre 3,5 et 32%, le carbone entre 0,015 et 0,15%, est un acier austénitique avec un réseau cubique à face centré

### VI.1.2 Propriétés mécaniques :

- **Traction et allongement :**

1) **les caractéristiques mécaniques d'après le cahier de charge de l'ENIEM** sont données par le tableau suivant :

<b>Nuances</b>	<b><math>R_e</math> N/mm<sup>2</sup></b>	<b><math>R_m</math> N/mm<sup>2</sup></b>	<b>A % min</b>
X5CrNi18-10	195	500-700	45

**Tableau VI.4 :** les caractéristiques mécaniques d'après le cahier de charge.

2) les caractéristiques mécaniques d'après la fiche technique fournisseur : sont données par le tableau suivant :

Propriétés mécaniques							
Etat	Limite élastique Rp <sub>0.2</sub> [MPa]				Résistance de rupture Rm [MPa]	Allongement de rupture A <sub>5</sub> [%]	Dureté Vickers [HV]
	20°C	100°C	200°C	300°C			
Recuit	200	157	127	110	500-700	45	160 - 200
Ecroui max.	965				1275	4	390

Tableau VI 5: Les caractéristiques mécaniques d'après la fiche technique fournisseur .

1) les caractéristiques mécaniques obtenues lors des essais: sont données par le tableau suivant :

Caractéristiques	Fm (N)	R <sub>p0.2</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	S <sub>0</sub> (mm <sup>2</sup> )	Rm (N/mm <sup>2</sup> )	A%	L <sub>0</sub>	Lu (mm)	e (mm)	l <sub>0</sub> (mm)	E (Gpa)
0 degré	4822.5	368	7.5	643	46	75	110	0.6	12.5	214
45 degré	4762.5	362	7.5	635	44	75	108	0.6	12.5	208
90 degré	4860	371	7.5	648	48	75	111	0.6	12.5	212

Tableau VI 6 : les caractéristiques mécaniques obtenues lors des essais.

D'après la comparaison des résultats obtenus avec la fiche technique fournisseur et cahier de charge ENIEM on remarque qu'ils sont dans l'intervalle.

2)1.la courbe de traction à 0° sens de laminage :

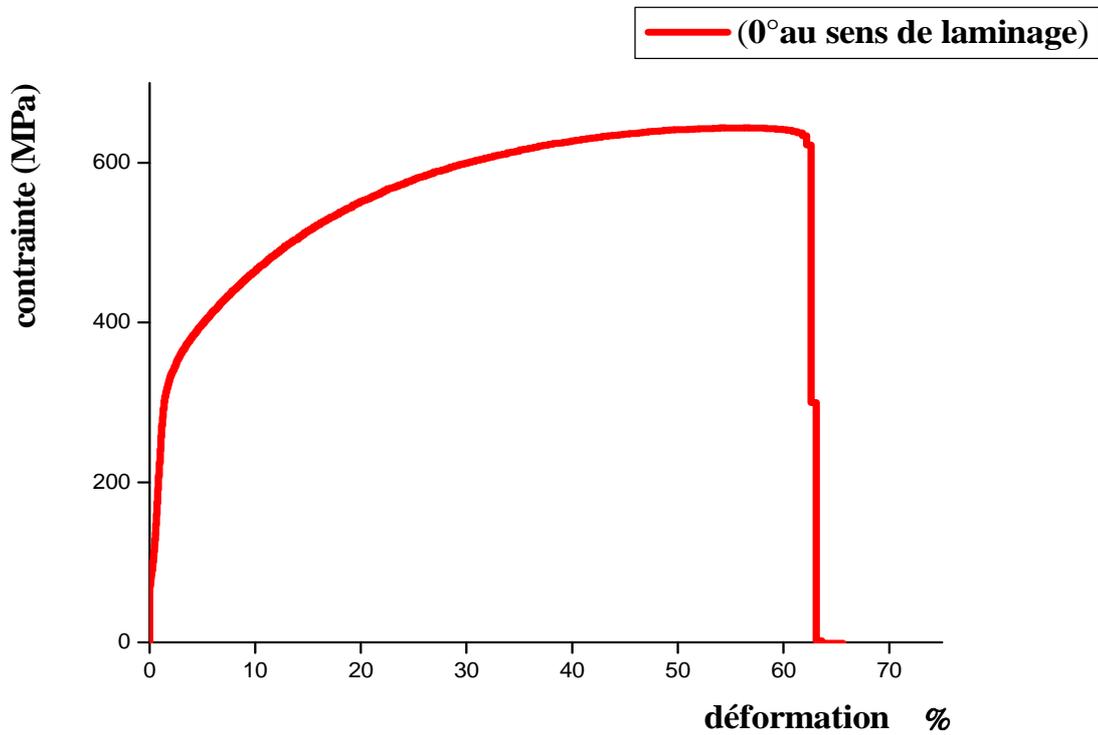


Figure VI.2 : la courbe de traction pour l'acier X5CrNi18-10 à 0° dans le sens de laminage.

2)2.la courbe de traction à 45° sens de laminage :

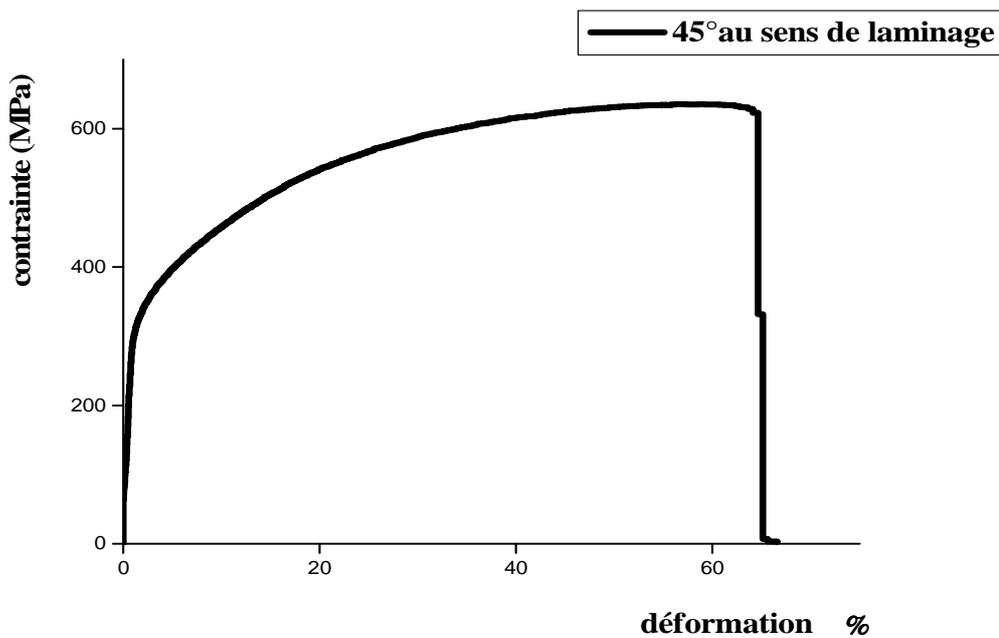


Figure VI.3: la courbe de traction pour l'acier X5CrNi18-10 à 45° dans le sens de laminage.

2)3.la courbe de traction à 90° sens de laminage :

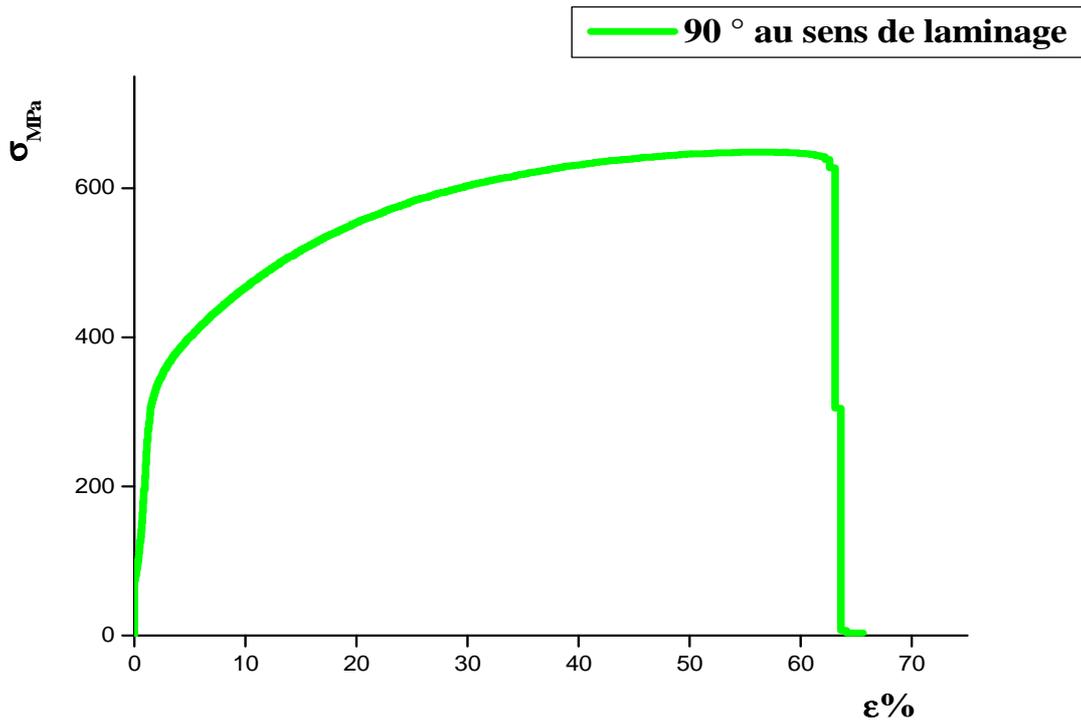


Figure VI.4: la courbe de traction pour l'acier X5CrNi18-10 à 90° dans le sens de laminage.

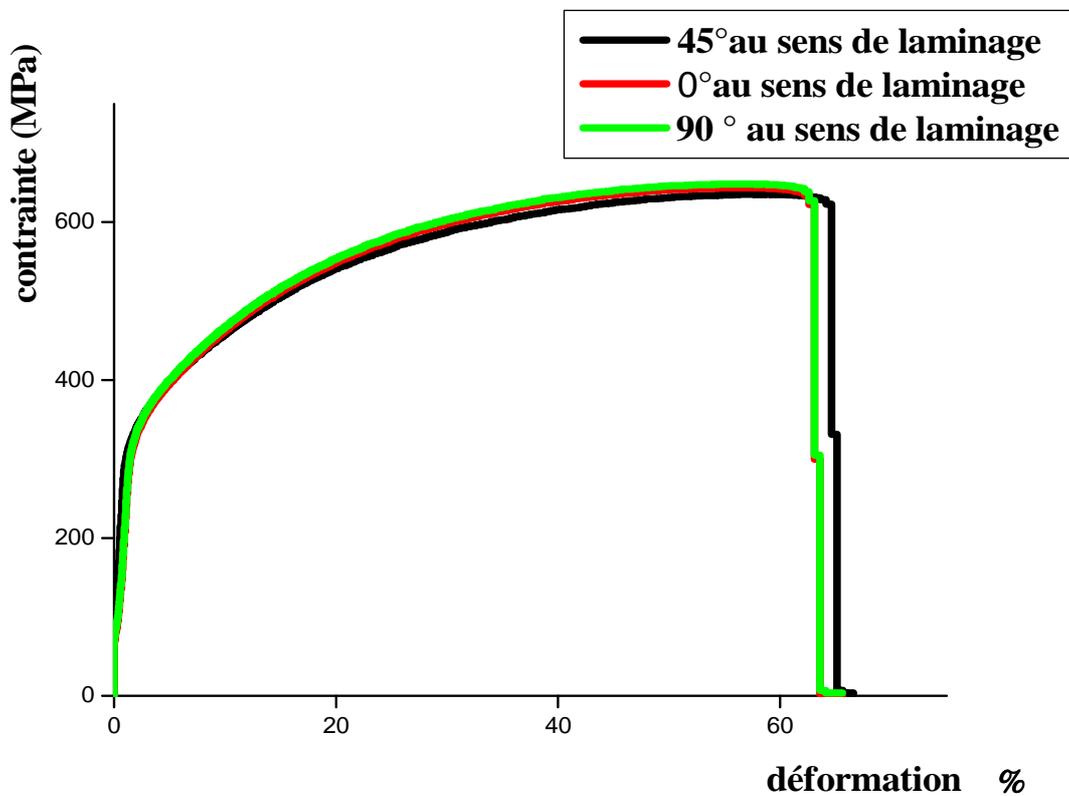


Figure VI.5: la courbe moyenne pour les 3 sens de laminage pour l'acier X5CrNi18-10.

Après la superposition des courbes de traction, on remarque qu'elles se superposent, donc la tôle est isotrope.

- **Dureté :**

**La dureté Vickers d'après la fiche technique fournisseur** est donnée comme suivant :

<b>Dureté Vickers [HV]</b>
<b>160 - 200</b>

Les résultats obtenus lors de l'essai de dureté Vickers sont donnés par le tableau suivant :

	d <sub>1</sub>	d <sub>2</sub>	d	Hv
Empreinte 01	0.82	0.84	0.83	161.5
Empreinte 02	0.82	0.837	0.828	162.09
Empreinte 03	0.83	0.82	0.825	163.4

**Tableau VI 7:** la dureté HV de l'acier X5CrNi18-10.

La dureté moyenne des trois empreintes est :

$$Hv_{\text{moyenne}} = \frac{Hv_1 + Hv_2 + Hv_3}{3} = \frac{161.5 + 162.09 + 163.4}{3} = 162.33$$

Si on compare les résultats de la dureté avec celle de fournisseur on remarque que notre dureté est dans l'intervalle.

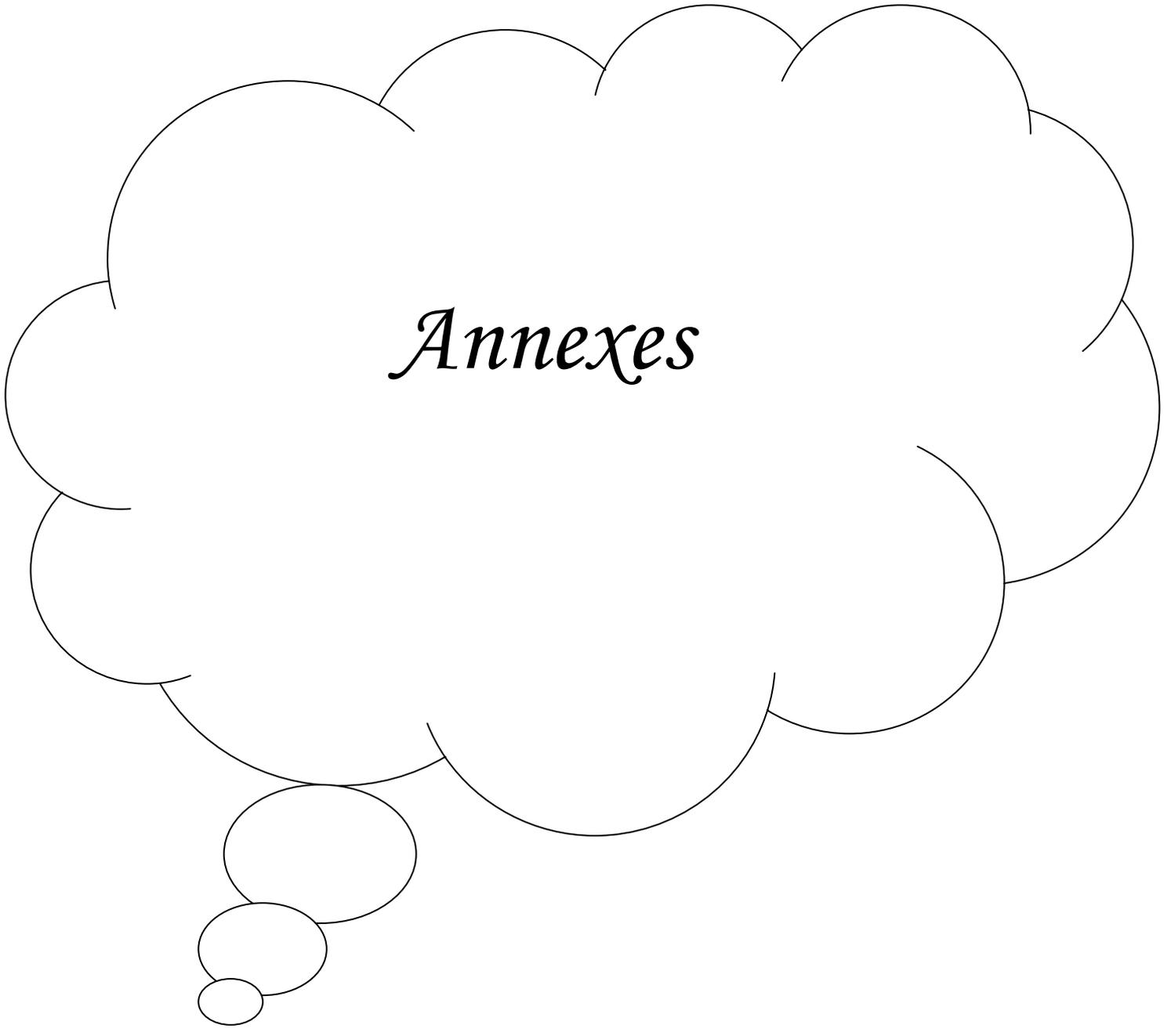
## Conclusion Générale

L'objectif de notre étude est l'établissement de quelques informations techniques concernant la nuance X5CrNi18-10 utilisée dans la fabrication des cuisinières par l'entreprise nationale (ENIEM). Ce matériau est un acier inoxydable.

Les résultats obtenus sont comparés aux caractéristiques données par le fournisseur et la fiche technique existant au niveau de l'entreprise ENIEM.

Au terme de notre étude, nous sommes arrivés aux conclusions suivantes :

- La composition chimique trouvée est identique à celle donnée par le fournisseur et l'entreprise ENIEM
- La microstructure est de type austénitique
- Les principales caractéristiques mécaniques obtenues par l'essai de traction sont les mêmes
- La tôle est isotrope
- La dureté Vickers de notre tôle reste dans l'intervalle de dureté donné par le fournisseur.

A decorative thought bubble with a scalloped border, containing the word "Annexes" in a cursive font. Three smaller circles of decreasing size trail off from the bottom left of the main bubble.

*Annexes*



DE / SDTQL  
S<sup>ce</sup> : Etudes  
Cuisson

# FICHE TECHNIQUE

Document N°: 14

Etabli par : M. CHALAL  
Fonction: Chargé d'études  
visa:

Vérifié par : S.DOUDJEDID  
Fonction : Chef de service  
Visa:

Approuvé par : A. BAKIR  
Fonction : Sous directeur  
Visa :

Pièce/composant : .....   
Matière : .....   
Ensemble : .....   
Produit fini : .....

## Désignation:

Acier Inoxydable à Usage Général

NF EN 10088-1

Code : Cf Tableau

## I. Dimensions nominales selon la norme NF EN 10088-1:

N°	Code	Epaisseur (mm)	Largeur (mm)
01	130 096	0.6	600
02	130 097	0.6	770
03	130 098	0.6	950

## II. Caractéristiques :

### II.1 composition chimique:

N°	CODE	Désignation de l'acier		masse en %							
		Symb	Numéri	C <sub>Max</sub>	Si <sub>Max</sub>	Mn <sub>Max</sub>	P <sub>Max</sub>	S	N <sub>Max</sub>	Cr	Ni
01	130 096	X5CrNi18-10	1.4301	≤ 0.06	≤ 0.8	≤ 2	0.045	≤ 0.03	≤ 0.11	17 à 19	9 à 11.5
02	130 097										
03	130 098										

### II.2 Caractéristiques Mécaniques :

Nuances	R <sub>e</sub> N/mm <sup>2</sup>	R <sub>m</sub> N/mm <sup>2</sup>	A % min
X5CrNi18-10	195	500-700	45

## III. Aspect de surface:

- ❖ La qualité de surface est : 2B/Mate
- ❖ La tôle en INOX doit être protégée par un Film vinylique (PS/PVC) sur une surface

#### **IV. Domaine d'application :**

<b>N°</b>	<b>Code bobine</b>	<b>Code pièces</b>	<b>Désignation</b>	<b>Dim Flanc</b>
<b>01</b>	130 096	230 253	Table de travail INOX (P)	0,6 x 600 x 640
<b>02</b>	130 097	230 251	Paroi latérale INOX (P)	0,6 x 770 x 600
<b>03</b>	130 098	230 256	Bandeau bombé INOX	0,6 x 185 x 664
		230 258	Porte sous four INOX	0,6 x 185 x 600

- ❖ G grand modèle cuisinière
- ❖ P petit modèle cuisinière

#### **V. Livraison:**

##### **V.2 Mode de livraison:**

La tôle devra être livrée en bobine:

- ❖ Poids de la bobine mère (01, 02,03) : < 10T
- ❖ Diamètre intérieur (01, 02,03) : 490 à 510 mm
- ❖ Diamètre extérieur (01, 02,03) <1400 mm

#### **VI. Conditions d'emballage :**

Châssis en bois, papier imperméable protégé par deux flasques pour éviter d'abîmer les flans de la bobine. L'emballage doit protéger la qualité du produit qui ne doit en aucun cas se détériorer lors du transport, la manutention et le stockage pour une période de 06 mois et une température qui varie de -05°C à +55°C.

En outre chaque bobine devra porter le numéro de coulée et le poids.

Le fournisseur est tenu de joindre les documents de contrôle des matériaux dans lesquels on pourra lire la composition chimique sur échantillon de coulée, les caractéristiques mécaniques et le numéro de coulée.

##### **NB : Pour l'homologation des échantillons :**

<b>N°</b>	<b>Code bobine</b>	<b>Code bobineau</b>	<b>Désignation</b>	<b>Dimensions</b>
flan	130 096	130096	Table de travail INOX 230 253	0.6x600x640

DATES	28/03/10	31/03/11	11/03/12								FOLIO
INDICES	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	2/2

fiche technique fournisseur

AISI 304 DIN 1.4301 -X 5 CrNi 18 10 AFNOR Z 6 CN 18 09

Particularités

Acier inoxydable austénitique avec une résistance à la corrosion moyenne.

La tolérance large en carbone présente un certain risque de formation de carbures de chrome aux joints de grains lors des traitements thermiques, diminuant ainsi la résistance à la corrosion intergranulaire. Pour des applications présentant ce risque, on lui préférera la nuance 304 L dans laquelle le taux de carbone est limité.

En raison de son usinabilité limitée, on utilisera de préférence des aciers optimisés (PX, PM, 316 LS) lorsque des usinages complexes sont nécessaires.

Dans des milieux chlorés ou l'eau saline, il est préférable d'utiliser une nuance au molybdène (type 316L).

Pour des pièces en contact prolongé avec la peau, il est préférable d'utiliser un acier inoxydable type 316L.

Usinable -

Trempable non

Polissable -

Magnétisable non

Durcissable non

Soudable par

MIG,TIG,WIG oui

Arc oui

Résistance oui

Autogène -

Laser oui

Composition chimique selon DIN [%]

C Si Mn P S Cr Mo Ni Autres

< 0.07 < 1.00 < 2.00 < 0.045 < 0.015\* 17.0-19.5 -8.0 -10.5 N < 0.11

\*Pour les barres, le fil machine, les profils et les demi-produits concernés, la teneur maxi en soufre est de 0.03%

Propriétés physiques

Densité

r [kg.m<sup>-3</sup>]

Résistivité électrique

r [ $\mu\text{W}\cdot\text{m}$ ]

Chaleur spécifique

Cp [J.kg<sup>-1</sup>.K<sup>-1</sup>]

Conductivité thermique

$\lambda$  [W.m<sup>-1</sup>.K<sup>-1</sup>]

7'900 0.73 500 15

Coefficient de dilatation

a [10<sup>-6</sup>.°C<sup>-1</sup>] entre 20°C et

Module élastique

E [GPa]

100 °C 200 °C 300 °C 400 °C 500 °C 600 °C 700 °C 200 à 20°C

16.0 17 17 18 18 18.5 18.5

Propriétés mécaniques

Etat

Limite élastique

Rp0.2 [MPa]

Résistance

de rupture

Rm [MPa]

Allongement

de rupture

A5 [%]

Dureté

Vickers

[HV] 20°C 100°C 200°C 300°C

Recuit 200 157 127 110 500-700 45 160 -200

Ecroui max. 965 1275 4 390

Traitements thermiques

Type Température

[°C]

Temps

[minutes]

## fiche technique fournisseur

Atmosphère Refroidissement

Recuit 1020 -1080 15 -60 H2 + N2 ou NH3 craqué Trempe (eau, huile)

Traitements chimiques

Type Milieu Commentaires

Décapage 6 -25 % HNO3 + 0.5 -8 % HF A l'état recuit uniquement et à chaud

Passivation 20 -50% HNO3 A chaud

Mise en oeuvre

Cet acier se forme facilement à froid (pliage, étampage, emboutissage).

Cependant son taux d'érouissage très important nécessite des équipements adaptés. L'érouissage a pour conséquence de rendre cet acier légèrement magnétisable.

Lorsque cet acier est maintenu à des températures entre 500°C et 900°C, il y a précipitation de carbures de chrome aux joints de grains, ce qui

diminue de manière catastrophique la résistance à la corrosion intergranulaire.

Un recuit consécutif est nécessaire pour dissoudre ces carbures, avec un refroidissement suffisamment rapide pour éviter une nouvelle précipitation. Une trempe est recommandée quelle que soit la

dimension des pièces. Cet acier

est relativement difficile à usiner et on lui préférera des nuances optimisées (PX, PM, 316 LS) si des usinages conséquents sont prévus.

Soudage et brasage

Cet acier est aisément soudable par tous les procédés, exception faite du chalumeau oxy-acétylénique. Il est nécessaire d'effectuer un recuit après soudage suivi d'une trempe, pour prévenir les risques de corrosion intergranulaire.

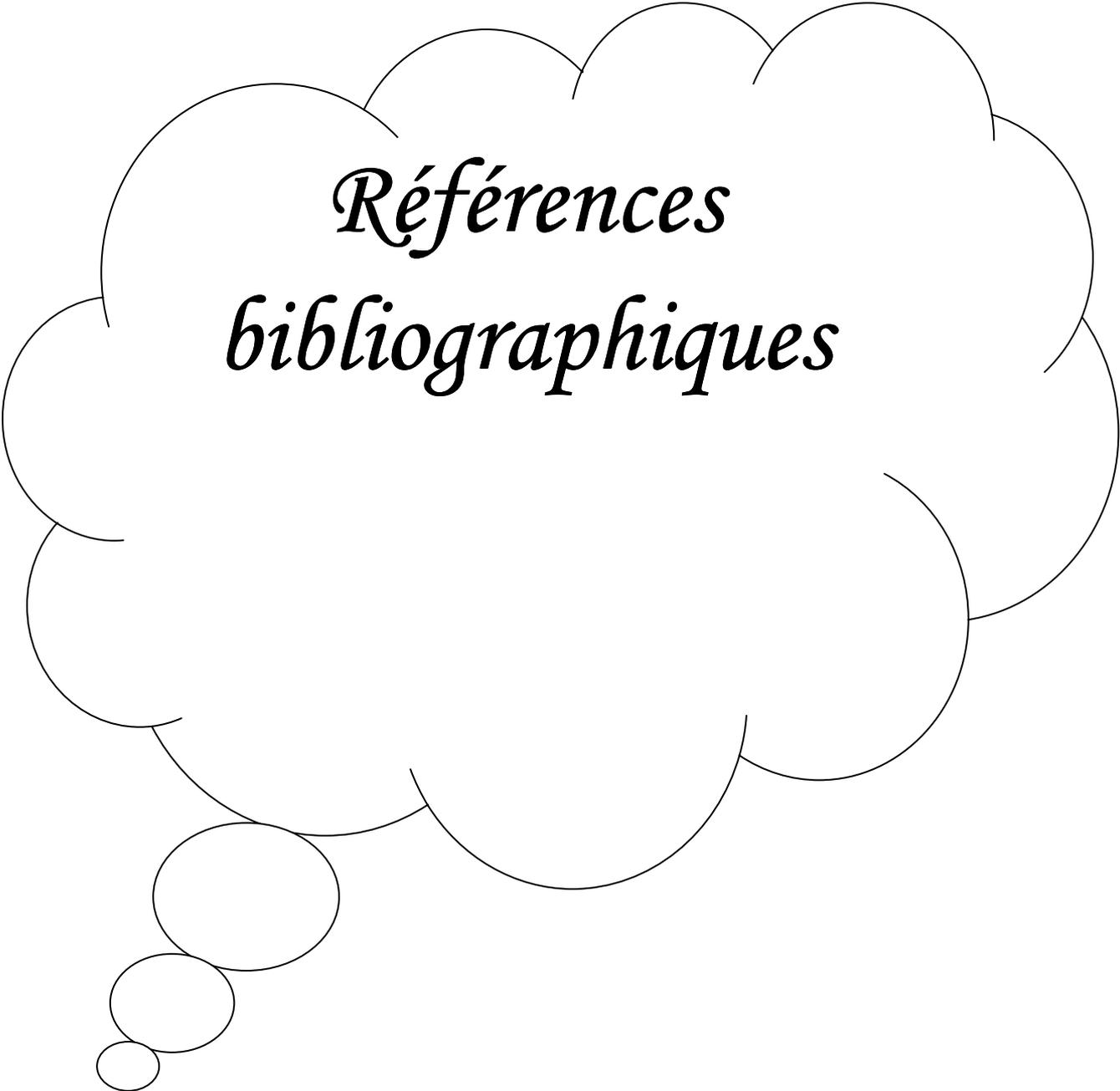
Il est préférable d'utiliser la nuance 304 L pour la construction soudée car elle ne présente pas de risques de corrosion intergranulaire.

Formes de livraison

Plaques, bandes, rubans, fils, profilés, tubes, dimensions et tolérances sur demande.

Les indications sont fondées sur l'état actuel de nos connaissances. Cette fiche technique est sans engagement et ne constitue pas un document contractuel

♀



*Références  
bibliographiques*

[1] : Pierre-Jean CUNAT. Acier inoxydables : propriétés, résistance à la corrosion.

Technique de l'ingénieur.

[2] : Michel Colombié matériaux métalliques, 2<sup>ème</sup> édition Dunod, Paris, 2001, 2008

[3] : Institut de développement de l'inox. [contact@idinox.com](mailto:contact@idinox.com)

[4] : Jean BARRALIS et Gérard MEADER :

Pièces – métallurgie, structure; propriété, normalisation,

AFNOR NATHAN paris 2001.

[5]: Jean p MERCIER, Gerard ZAMBELI, Wilfried KURZ:

Introduction à la science des matériaux

3<sup>ème</sup> édition : presse polytechniques et universitaires ROMANDES 1999

[6] : C. CHAUSSIN , G.HYLLY

Métallurgie : alliages métalliques tome 1.

8<sup>ème</sup> édition, DUNOD ? paris

[7] : g.FANCY et POMPIDOU

Précis de fonderie : méthodologie, production et normalisation ;

AFNOR 2<sup>ème</sup> édition 1992.