

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

BADJI MOKHTAR ANNABA-UNIVERSITY
UNIVERSITE BADJI MOKHTAR ANNABA



FACULTE DES SCIENCES DE L'INGENIORAT
DEPARTEMENT DE GENIE MECANIQUE

MEMOIRE

PRESENTE EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME DE MASTER

INTITULE

**Etude et caractérisation mécanique de deux aciers
CC45 et le 100Cr6, Simulation numérique en traction**

DOMAINE : SCIENCES ET TECHNOLOGIE

FILIERE : GENIE MECANIQUE

SPECIALITE : MECANIQUE DES MATERIAUX

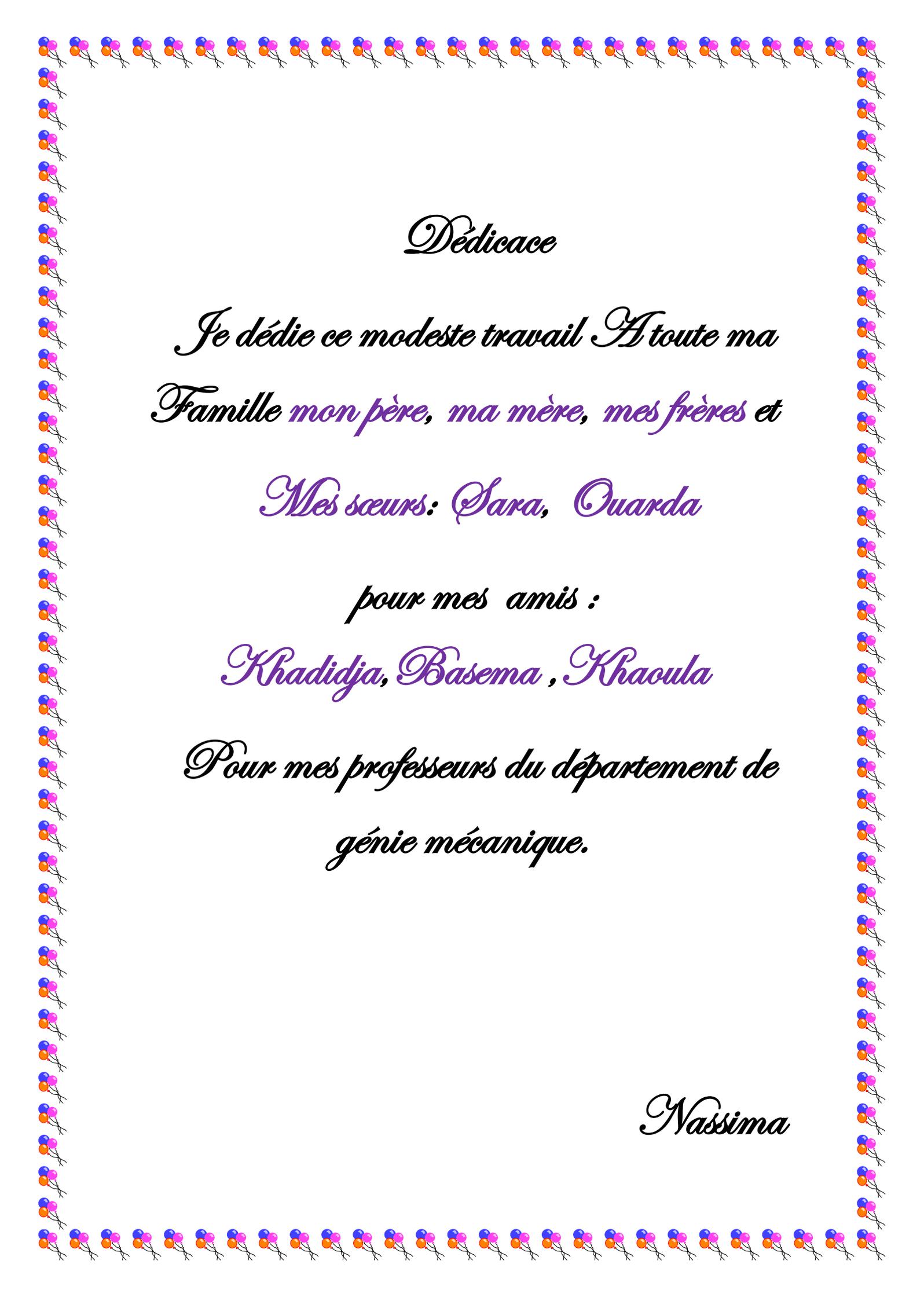
PRESENTE PAR : HASRANE NASSIMA

Directeur du mémoire : Mr. M. BENGHERSALLAH

DEVANT LE JURY

PRESIDENT :	HAMADACHE .A	MC.A
EXAMINATEURS :	MERABTINE. A	MC.B
	LAGRED .A	MC.A
	BENGHERSALLAH. M	MC.B

Année: 2013/2014



Dédicace

*Je dédie ce modeste travail A toute ma
Famille mon père, ma mère, mes frères et*

Mes sœurs: Sara, Ouarda

pour mes amis :

Khadidja, Basema , Khaoula

*Pour mes professeurs du département de
génie mécanique.*

Nassima

Remerciements

Le plus grand merci revient à Dieu pour tout . Je remercie en second mes parents.

Je remercie beaucoup mon encadreur

Mr : Benghersallah et remercie tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à

La réalisation de ce travail.

SOMMAIRE

Dédicace	
Remerciements	
Introduction générale.....	

I. Étude bibliographique

Chapitre 1

I.1.1. Définition d'un matériau.....	1
I.1.1.1. Les matériaux métalliques (métaux).....	1
I.1.1.2. Les matériaux organiques.....	2
I.1.1.3. Les céramiques.....	3
I.1.1.4. Les polymères.....	3
I.1.1.4.1. Les thermoplastiques.....	3
I.1.1.4.2. Les thermodurcissables.....	4
I.1.1.4.3. Les élastomères.....	4
I.1.1.5. Les composites	5
I.1.1.6. Les semi-conducteurs.....	6
I.1.1.7. Les biomatériaux.....	6

Chapitre 2

I.2.1- Les propriétés mécaniques	7
❖ La rigidité.....	7
❖ Elasticité.....	7
❖ Résistance maximale.....	7
❖ Limite élastique.....	7
❖ Plasticité.....	7
❖ Ductilité.....	7
❖ Fragilité.....	7
❖ Ténacité.....	7
I.2.2- Caractérisation mécanique des matériaux.....	8
I.2.2.1- Les sollicitations mécaniques.....	8

•Traction.....	8
•Compression.....	8
•Cisaillement.....	9
•Torsion.....	9
•Flexion.....	9
I.2.2.2-La notion de contrainte.....	10
I.2.2.3-Classification des essais mécaniques.....	10
I.2.2.3.1-L'essai de traction	10
.Le principe.....	10
.Diagramme du l'essai.....	10
.Le domaine élastique (I).....	11
.Le domaine plastique(II).....	11
.Zone d'endommagement(III).....	11
I.2.2.3.2-L'essai de compression	12
.Le Principe.....	12
.La machine d'essai.....	12
.L'éprouvette de l'essai.....	13
.Caractéristique obtenue.....	14
I.2.2.3.3- L'essai de résilience	14
.Définition.....	14
.Le Principe.....	14
.La machine d'essai.....	14
.L'éprouvette de l'essai.....	15
.Caractéristique obtenue.....	15
I.2.2.3.4- L'essai de fatigue	16
.Le Principe.....	16
.La machine d'essai.....	16
.L'éprouvette de l'essai.....	16
.Caractéristique obtenue.....	17
I.2.2.3.5- Les essais de dureté	17
.Le Principe.....	17

Chapitre 3

I.3 -Introduction sur les différents types d'aciers.....	19
I.3.1-Définition des aciers.....	19
I.3.2-Les différents types des aciers.....	19
I.3.2.1-Les aciers d'usage général.....	19
I.3.2.2-Les aciers à outils.....	19
I.3.2.3-Aciers de traitement thermique.....	19
I.3.2.4-Les aciers inoxydables.....	19
I.3.3-Etude des aciers CC45 et 100Cr6.....	20
I.3.3.1- Etude de l'acier CC45	20
-Définition de l'acier CC45.....	20
-Désignation de l'acier CC45 selon les normes.....	20
-Composition chimique de l'acier CC45.....	20
-Domains d'application de l'acier CC45.....	20
-Caractéristiques mécaniques de l'acier CC45.....	20
I.3.3.2-Etude de l'acier 100Cr6	21
-Définition de l'acier 100Cr6.....	21
-Désignation de l'acier 100Cr6 selon les normes.....	21
-Composition chimique de l'acier 100Cr6.....	21
-Domains d'application de l'acier 100Cr6.....	21
-Caractéristiques mécaniques de l'acier 100Cr6.....	21

Chapitre 4

I.4.1- Introduction.....	22
I.4.2-Essais de traction	22
I.4.2.1-Description générale d'une machine l'essai de traction.....	22
I.4.2.2-L'éprouvettes de l'essai de traction.....	23
I.4.2.3-Le Principe l'essai de traction.....	23
I.4.2.4-Caractéristiques nominales l'essai de traction.....	25
I.4.3- Essais de dureté	26
I.4.3.1-Généralités et définition.....	26
I.4.3.2-Machine d'essais de dureté.....	26
I.4.3.3- Principe de l'essai de pénétration.....	26
I.4.3.4 -Les essais.....	27

I.4.3.4.1-Essais Brinell (symbole HB)	27
Conditions de l'essai Brinell.....	28
Expression des résultats l'essai Brinell.....	28
I.4.3.4.2-Essais Rockwell (symbole HR)	28
Condition de l'essai Rockwell.....	29
Expression des résultats l'essai Rockwell.....	29
I.4.3.4.3-Dureté Vickers (symbole HV)	30
Condition d'essai.....	30
Expression des résultats.....	31
Table de conversion	32

Chapitre 5

I.5.1- Introduction.....	35
I.5.2- Définitions et procédés des traitements thermiques.....	35
I.5.2.1-Chauffage des pièces.....	35
I.5.2.2-Durant le chauffage.....	35
a. Durée de préchauffage.....	35
b. Durée de chauffage de pénétration ou d'égalisation.....	35
c. Durée de maintien.....	35
I.5.2.3-Refroidissement des pièces.....	36
I.5.3-Les différents types de traitement thermique.....	36
I.5.3.1- Le recuit.....	37
I.5.3.1.1- Le recuit d'homogénéisation.....	37
I.5.3.1.2-Le recuit de régénération ou normalisation.....	37
I.5.3.1.3-Le recuit de détente.....	38
I.5.3.1.5- Le recuit de recristallisation.....	38
I.5.3.2-La trempe.....	38
I.5.3.3-Le revenu.....	39

II. Partie expérimentale

II.1-Le but.....	40
II.2-Équipements utilisé.....	40

II.2.1-Duromètre.....	40
II.2.2- Le four pour le traitement thermique	40
II.2.3- Le microscope métallographique.....	41
II.2.4-Le polisseuse.....	41
II.3 -Les éprouvettes (préparation).....	42
II.3.1- Les échantillons de l'essai de dureté.....	42
II.3.2 - Eprouvette de l'essai de traction.....	43
II.3.3 - Eprouvette de l'essai de résilience	43
II.4- Réalisation des essais et analyse des résultent	44
II.4.1-Mesure de la dureté à l'état recuit	44
II.4.2-Le traitement thermique	44
a-pour l'acier 100Cr6.....	44
b-pour l'acier CC45.....	44
II.4.3-Mesure la de dureté des échantillons après le traitement	44
II.4.4-Préparations des échantillons pour une analyse microscopique.....	45
-Le polissage	45
-L'attaque chimique.....	45
-La visualisation microscopique.....	45
II.4.5- Analyse microscopique des micrographies des structures des échantillons	
-Pour l'acier 100Cr6	45
-Pour l'acier CC45	47
II.4.6- Interprétation.....	48

III. simulation numérique

III.1- Simulation en traction Simple Sous Solidworks.....	49
III.1.1- Pour Eprouvette en acier CC45 (AISI 1045).....	50
III.1.2- Pour Eprouvette en aciercc100Cr6 (AISI 52 100).....	72

Conclusion générale

Introduction générale

L'industrie mécanique représente un maillon essentiel dans l'économie d'un pays, elle représente le niveau de l'évolution de la modernité du pays.

L'industrie mondiale se base actuellement sur la haute technologie que doit maîtriser les constructeurs pour améliorer continuellement les performances des produits fabriqués, leur productivité et le coût (prix de revient).

L'Algérie étant un pays émergent, doit s'atteler à cette démarche et construire une base industrielle. Nos responsables économiques doivent mettre une stratégie à court terme pour remettre l'industrie mécanique sur la voie d'une production nationale de qualité en investissant sur la mise en place d'entreprises de fabrication mécaniques compétitives.

Le développement dans le domaine des matériaux est plus que nécessaire pour pouvoir produire des équipements stratégiques performants tels que les machines_ outils les machines agricoles les matériels roulants ...etc.
C'est dans ce contexte qu'inscrit notre formation dans le domaine de la mécanique des matériaux.

Nous allons au cours de ce travail contribuer à la détermination des paramètres d'emploi des matériaux dans la construction mécanique par l'étude et la caractérisation de deux aciers **CC45** et **100Cr6** et par une simulation numérique en traction sous solidworks.

Chapitre 1 : Aperçu sur les matériaux

I.1.1. Définition d'un matériau [1] :

On appelle **matériau** toute matière utilisée pour réaliser un objet au sens large. Ce dernier est souvent une pièce d'un sous-ensemble. C'est donc une matière de base sélectionnée en raison de propriétés particulières et mise en œuvre en vue d'un usage spécifique. La nature chimique, la forme physique (phases en présence, granulométrie et forme des particules, par exemple), l'état de surface des différentes matières premières, qui sont à la base des matériaux, leur confèrent des propriétés particulières. On distingue ainsi quatre grandes familles des matériaux :

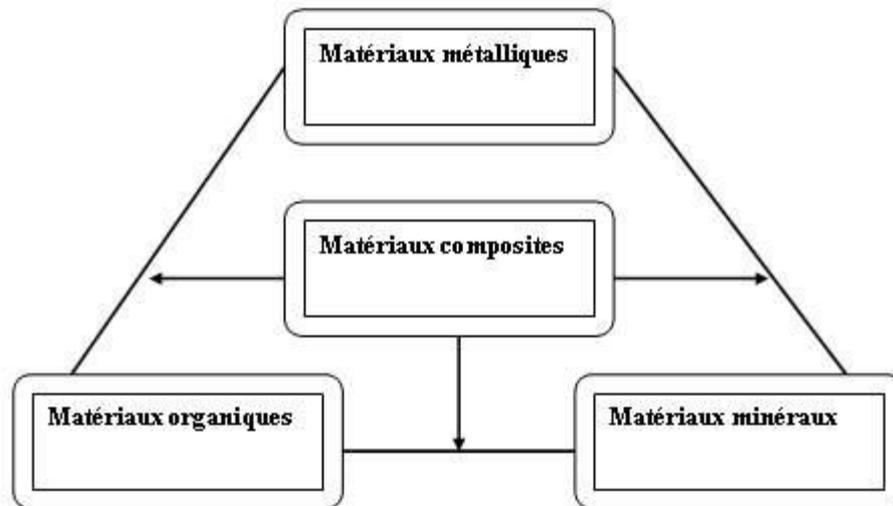


Figure 1.1 : les familles des matériaux.

Les matériaux solide sont répartis en trois grands groupes : les métaux les céramiques et les polymères. Une telle répartition repose essentiellement sur la structure atomique et la composition chimique de ces solides. La plupart des matériaux appartiennent à l'un de ces trois groupes mais il existe aussi des matériaux dire intermédiaires. En outre, il existe trois autres types de matériaux synthétiques : les composites, les semi-conducteurs et les biomatériaux. Les composite résultent de la combinaison d'au moins deux matériaux différents, alors que les semi-conducteurs sont utilisés en raison de leurs propriétés électriques inhabituelles et que les biomatériaux servent à la fabrication de prothèses et d'implants. Voici un bref aperçu de ces groupes de matériaux.

I.1.1.1. Les matériaux métalliques (métaux) :

Les matériaux métalliques résultent de l'association de divers métaux. Ils renferment un grand nombre d'électrons délocalisés, c'est-à-dire des électrons qui ne sont pas liés à un atome particulier. De nombreuses propriétés des métaux sont directement attribuables à la présence de ces électrons. Les métaux constituent d'excellents conducteurs d'électricité et de chaleur. Toutefois, ils ne transmettent pas la lumière visible. C'est pourquoi une surface métallique polie présente une apparence brillante

Ou lustrée. En outre, les métaux sont à la fois très résistants et déformables, ce qui explique leur utilisation si répandue dans la construction de structures et de charpentes.

Exemples: Les métaux ferreux (Aciers et Fontes), les métaux non ferreux purs, (Aluminium, Cuivre, Zinc, Nickel, Chrome, Molybdène,...etc.)

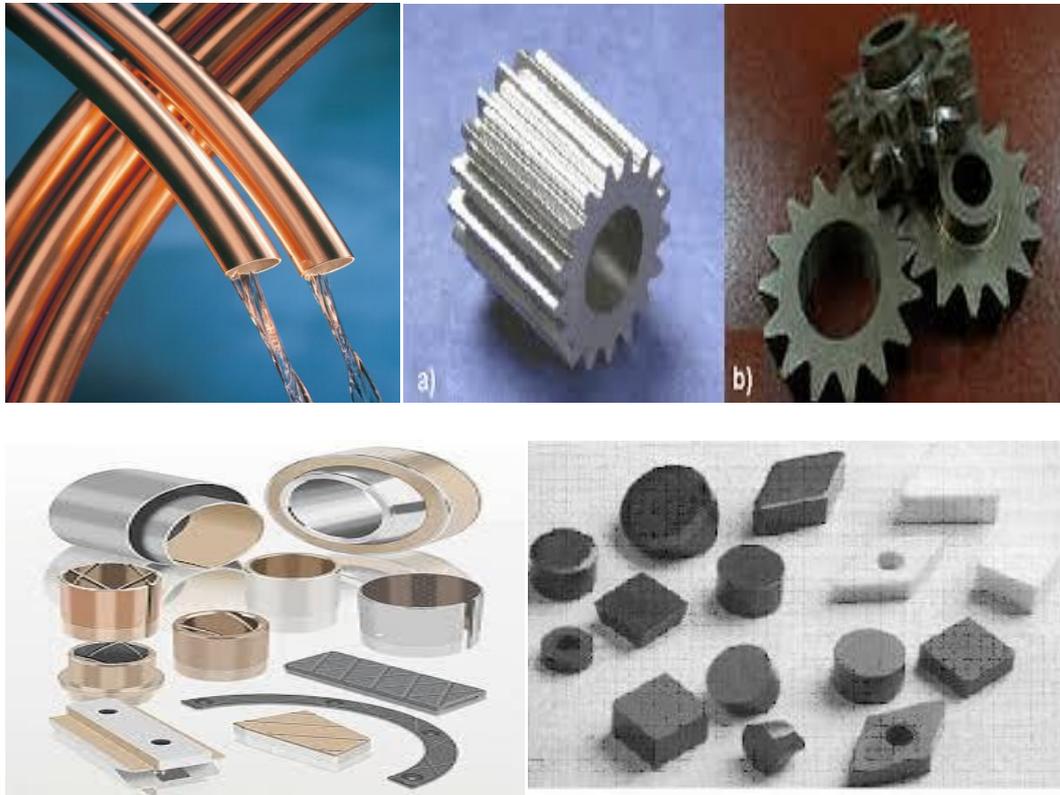


Figure 1.2 : Pièces en matériaux métalliques.

I.1.1.2. Les matériaux organiques:

Ce sont des matériaux d'origine animale, végétale ou synthétiques. (Bois, coton, laine, papier, carton, matière plastique, le caoutchouc, le cuir, etc.)



Figure 1.3 : matériaux organiques.

I.1.1.3. Les céramiques :

Les matériaux minéraux. Ce sont des roches, des céramiques ou des verres. Les céramiques traditionnelles (Céramique, porcelaine, pierre, plâtre, verre, etc.) et les céramiques techniques (Alumine, carbure de silicium, carbure de bore, zirconium) Composées d'éléments métalliques et non métalliques, les céramiques sont généralement des oxydes, des nitrures ou des carbures. Le groupe des céramiques englobe une vaste gamme de matériaux, dont les ciments, les verres et les céramiques traditionnelles faites d'argile. En général, les matériaux céramiques sont de mauvais conducteurs d'électricité et de chaleur, mais ils résistent mieux que les métaux et les polymères aux conditions extérieures rigoureuses et aux températures élevées. En ce qui concerne leurs propriétés mécaniques, les céramiques sont à la fois dures et très Fragiles.



Figure 1.4 : Pièces en matériaux céramiques.

I.1.1.4. Les polymères :

Les polymères les plus connus sont les matières plastiques et les caoutchoucs. Un grand nombre de polymères sont des composés organiques constitués de carbone, d'hydrogène et d'autres éléments non métalliques. Les matériaux polymères se caractérisent généralement par une structure moléculaire de très grande taille, une faible densité et une flexibilité exceptionnelle. On peut rencontrer la classification des matières plastiques suivante:

I.1.1.4.1. Les thermoplastiques

Polyéthylène	Basse densité	Pebd
	Haute densité	Pehd
Polypropylène		PP
Polychlorure de vinyle	Rigide	PVC
	souple	
Polystyrène		PS
polytétrafluoroéthylène		PTFE

Tableau 1.1: quelque matériau thermoplastique.

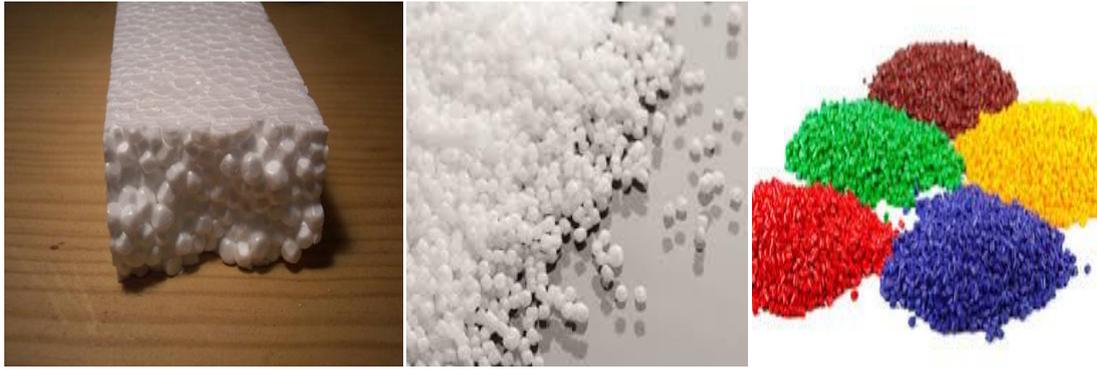


Figure 1.5 : matériaux thermoplastiques.

I.1.1.4.2. Les thermodurcissables

Phénoplastes	PF
Polyesters	UP
Polyamides	SP
Silicones	SI

Tableau 1.2 : quelque matériau thermodurcissable.



Figure 1.6 : Pièces en matériaux thermodurcissable.

I.1.1.4.3. Les élastomères

Caoutchouc naturel, Nitrile, Butyle (IIR), Chloropène... etc.



Figure 1.7: Pièces en matériaux élastomères.

I.1.1.5. Les composites :

Divers composites ont été synthétisés par combinaison de plusieurs matériaux. Le composite à fibres de verre en offre un exemple bien connu : il s'agit d'un matériau polymères auquel ont été incorporées des fibres de verre. Une fois mis au point, un composite possède les propriétés les plus utiles des matériaux qui le constituent. Ainsi, le composite à fibre de verre présente la résistance du verre et la flexibilité d'un polymère. Un grand nombre des matériaux nouvellement fabriqués sont précisément des composites.



Figure 1.8 : Emploi des matériaux composites.

I.1.1.6. Les semi-conducteurs :

Les semi-conducteurs sont des matériaux dont les propriétés électriques se situent entre celles des conducteurs et celles des isolants. En outre, ces mêmes propriétés électriques peuvent être facilement modifiées par ajout de très faibles quantités d'impuretés concentrées sur des surfaces extrêmement restreintes. L'apparition des matériaux semi-conducteurs a débouché sur la mise au point et la fabrication de circuits intégrés, qui ont complètement transformé l'industrie de l'électronique et de l'informatique (et même nos sociétés) depuis une vingtaine d'années.

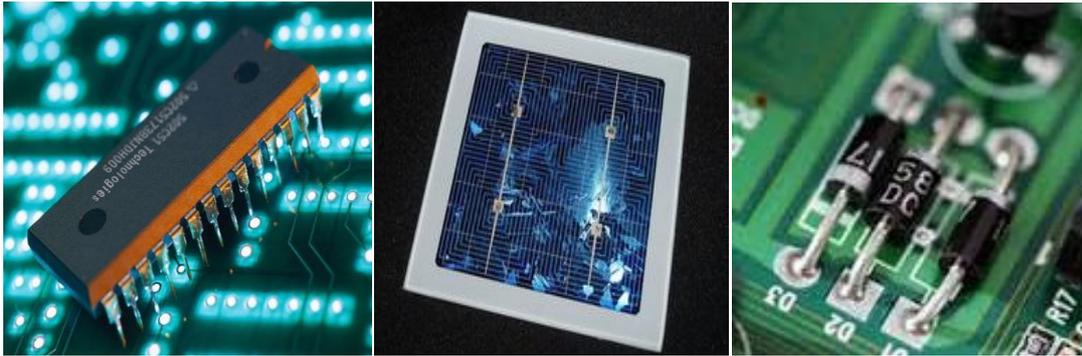


Figure 1.9 : Pièces en matériaux semi-conducteurs.

I.1.1.7. Les biomatériaux :

Les biomatériaux servent à la fabrication d'implants destinés à remplacer certains organes malades ou défectueux du corps humain. Ces matériaux ne doivent contenir de substances toxiques et doivent être biocompatibles, c'est-à-dire qu'ils ne doivent pas déclencher de réactions immunitaires de rejet. Tous les types de matériaux décrits précédemment, soit les métaux, les céramiques, les polymères, les composites et les semi-conducteurs, peuvent être employés comme biomatériaux.



Figure 1.10 : Pièces en biomatériaux.

Chapitre 2 : Caractérisation mécanique des matériaux

I.2.1-Les propriétés mécaniques :

Ce sont des propriétés relatives aux aspects de résistance aux efforts, des déformations résultantes des efforts, des contacts entre solides (chocs, glissement....)

❖ La rigidité :

C'est l'aptitude d'un matériau à se déformer de façon élastique (et donc réversible). La rigidité est définie par le module d'élasticité E . plus le matériau est rigide, plus la force qu'on peut lui appliquer est importante.

❖ Elasticité :

C'est l'aptitude d'un matériau à se déformer sous une charge (un effort) et de retourner à son état initial après décharge.

❖ Résistance maximale:

C'est la charge maximale que peut supporter un matériau. la charge peut être effort en traction ou couple en torsion.

❖ Limite élastique :

C'est la charge maximale que peut supporter un matériau pour se déformer d'une façon élastique.

❖ Plasticité :

C'est la déformation d'un matériau sous une charge sans revenir à son état initial après décharge

❖ Ductilité :

C'est l'aptitude d'un matériau à se déformer plastiquement avant rupture. Un matériau qui se déforme plus avant rupture est plus ductile qu'un matériau qui se déforme moins.

❖ Fragilité :

C'est la facilité avec la quelle on peut fracturer un matériau. Un matériau fragile se déforme plastiquement.

Remarque :

La ductilité et la fragilité sont deux notions opposées. Elles peuvent être exprimées par :

- L'allongement à la rupture $A\%$
- Le pourcentage de striction Z
- La résilience déterminée par essai Charpy.

❖ Ténacité :

C'est l'aptitude d'un matériau à absorber l'énergie lors d'une déformation plastique. C'est une combinaison entre la bonne résistance à la rupture et la bonne ductilité. Une des façons de définir la ténacité est l'aire de la surface engendrée par la courbe de traction. La ténacité peut être mesurée par l'essai de résilience « Charpy ». [2]

I.2.2-Caractérisation mécanique des matériaux :

Les caractéristiques mécaniques des matériaux sont définies à partir d'essais Mécaniques normalisés; Chacun de ces essais reprenant à son compte une ou plusieurs caractéristiques mécaniques.

Les caractéristiques d'un matériau vont permettre de le classer en différentes catégories pour pouvoir le choisir le Moment venu.

Les critères de choix sont :

- Légèreté
- Résistance / Fragilité
- Dureté superficielle
- Durée de vie / fatigue ...

I.2.2.1-Les sollicitations mécaniques :

Toute structure, donc tout matériau, est sollicitée en permanence par des actions mécaniques. Chaque sollicitation peut être décomposée par une ou plusieurs sollicitations mécaniques simples qui sont:

- Traction
- Compression
- Cisaillement
- Torsion
- Flexion

→ Sollicitations mécaniques simples (définition simplifiées) :

a-Traction: sollicitation mécanique qui consiste à « tirer » dans le sens de la pièce.
Exemple: la traction d'un câble de télésiège

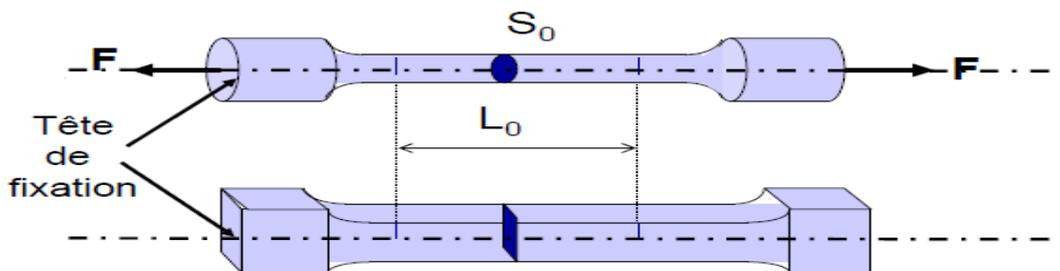


Figure 2.1: Essai de traction. [4]

b-Compression: sollicitation mécanique qui consiste à « comprimer » une pièce
Exemple: la compression subie par le pilier d'un pont, écrasement d'une canette vide.



Figure 2.2 : Essai de compression sur une éprouvette de béton. [3]

c-Cisaillement: sollicitation mécanique qui consiste à « trancher » une pièce
Exemple: des ciseaux coupant une feuille de papier, cisaillement d'une vis, le cisaillement d'une craie

d-Torsion: sollicitation mécanique qui consiste à « tordre » une pièce suivant son axe
Exemple: la torsion d'un tournevis lors de son utilisation

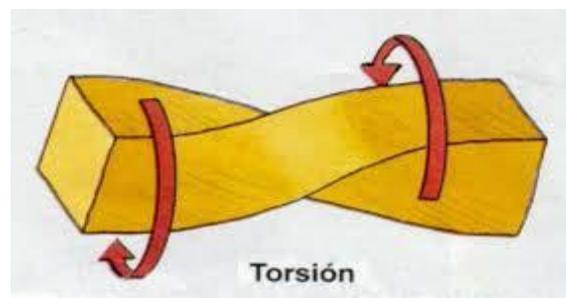


Figure 2.3 : Essai de Torsion. [3]

e-Flexion: sollicitation mécanique qui consiste à « déformer » une pièce par un effort perpendiculaire à sa fibre neutre.
Exemple: le fléchissement du tablier d'un pont.

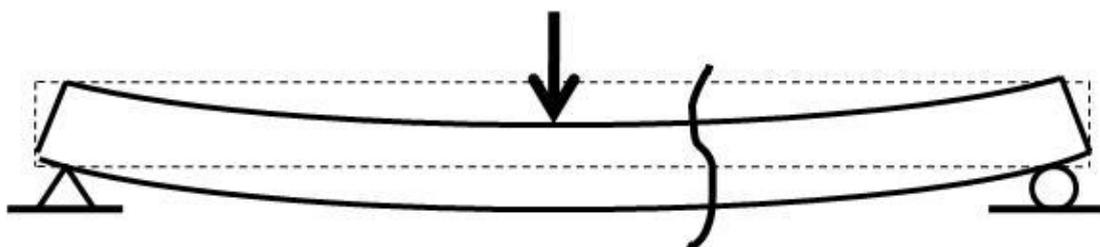


Figure 2.4 : Essai de Flexion. [3]

I.2.2.2-La notion de contrainte :

Lorsqu'on sollicite un matériau, Sa réaction est simple: il se déforme, parfois jusqu'à la casse. C'est une grandeur physique appeler la CONTRAINTE qui va agir sur le matériau. La contrainte est une grandeur physique qui dépend de la force et de la surface du matériau. Elle est exprimée en : MPa si la force est en N et la surface en mm².

$$\sigma = F / S_0 \quad [2.1]$$

I.2.2.3-Classification des essais mécaniques :

Les essais mécaniques sont classés en deux grandes familles : les essais destructifs nécessitant des éprouvettes d'essais et les essais non destructifs pouvant être directement appliqués sur la pièce à étudier. On distinguera :

Destructifs	non destructifs
l'essai de traction	l'essai de fatigue ou d'endurance
l'essai de compression	l'essai de fluage
l'essai de résilience	l'essai de dureté

Tableau 2.1 : Classification des essais mécaniques. [5]

I.2.2.3.1-L'essai de traction :

L'objectif de l'essai de traction est principalement d'identifier :

- La rigidité du matériau
- La résistance d'un matériau

.Le principe :

Il consiste à soumettre une éprouvette de forme et de dimensions déterminées à une force de Traction suivant son axe jusqu'à rupture de l'éprouvette.

.Diagramme du l'essai :

Voila la courbe que l'on obtient lors d'un essai de traction d'une éprouvette en acier.

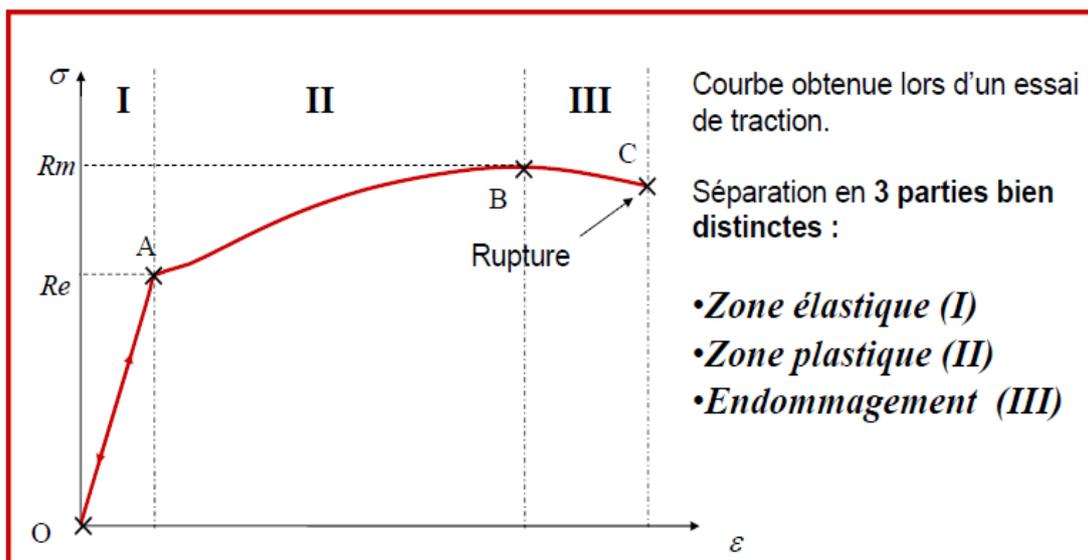


Figure 2.5 : courbe d'un essai de traction. [3]

Le domaine élastique (I) :

- Tous les matériaux disposent d'un domaine élastique.
- C'est un comportement élastique réversible: le matériau s'allonge quand on tire dessus et l'arrêt de la traction entraîne un retour élastique du matériau à son état d'origine aucune déformation définitive.
- C'est une zone dans laquelle la contrainte σ est fonction de la déformation ε : comportement linéaire de pente \mathbf{E} , module d' Young en N m^2 .

$$\sigma = E\varepsilon \quad [2.2]$$

- La fin de la zone élastique marque la fin du comportement linéaire du matériau.
- Elle a lieu pour une contrainte appelée limite élastique du Matériau et notée R_e (Mpa) : Contrainte maximale avant déformation définitive de la matière. R_e correspond au seuil d'écoulement plastique.

Si $\sigma < R_e$ alors aucune déformation définitive du matériau

$$R_e = \frac{F_e}{S_0} \quad [2.3]$$

Le domaine plastique(II) :

Dans ce secteur, il y a déformation définitive du matériau, il ne revient plus dans son état initial Plus la contrainte augmente, plus la déformation est importante. La fin de ce domaine se situe pour une Contrainte que l'on considèrera comme contrainte maximum admissible par le matériau avant sa casse. Il s'agit de la contrainte R_m : Contrainte à rupture ou résistance mécanique à rupture (en Mpa)

$$R_m = \frac{F_m}{S_0} \quad [2.4]$$

Remarque:

Un matériau qui subit une déformation plastique garde son comportement élastique. Si on relâche l'effort de traction, le retour élastique du matériau a lieu. Il n'est par contre pas complet, le matériau restera déformé définitivement. L'élasticité du matériau est donc conservée jusqu'à sa destruction.

Zone d'endommagement(III) :

Dans cette zone, le matériau commence à se détériorer Irrémédiablement (fissures). La casse peut intervenir à tout moment (et sans prévenir...) Un matériau ayant cassé reste quand même élastique. Sa longueur finale à rupture est exprimée en % de sa longueur initiale: $A\%$: allongement à rupture

$$A\% = 100 \cdot \frac{L_f - L_o}{L_o} \quad [2.5]$$

- Dernier paramètres :

Tout matériau qui va s'allonger dans un sens va forcément rétrécir dans l'autre sens. Cela est dû à la conservation de la matière. Une éprouvette qui s'allonge va donc voir son diamètre diminuer. En notant ϵ l'allongement longitudinal et ϵ_r l'allongement transversale, on peut exprimer le coefficient de Poisson:

$$\nu = \frac{(d_o - d) / d_o}{(L - L_o) / L_o} \quad [2.6]$$

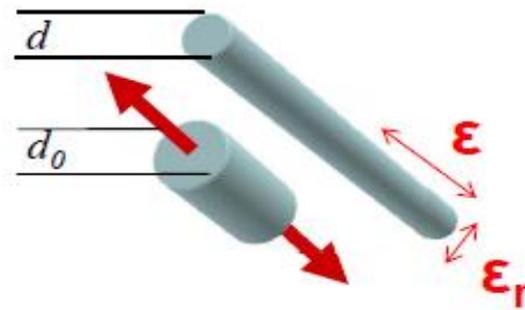


Figure 2.6 : le principe du coefficient de poisson. [3]

- Striction à la rupture:

$$Z\% = 100 \cdot \frac{S_o - S_f}{S_o} \quad [2.7]$$

I.2.2.3.2- L'essai de compression :

. Le Principe

Cet essai consiste à appliquer un effort de compression à un échantillon reposant sur une surface indéformable. Cette sollicitation provoque un écrasement de l'éprouvette. On mesure simultanément les contraintes et déformations à la cour de l'essai. Pour obtenir des résultats comparatifs en compression il est nécessaire d'employer des Éprouvettes de forme, de dimensions et de les soumettre à essais dans des conditions bien définies.

.La machine d'essai

La machine d'essai est du type à vitesse de compression constante, elle est constituée de :

- un plateau fixe
- un plateau mobile
- un mécanisme d'entraînement de mouvement uniforme en vitesse contrôlée
- un indicateur d'effort
- Indicateur de déformation

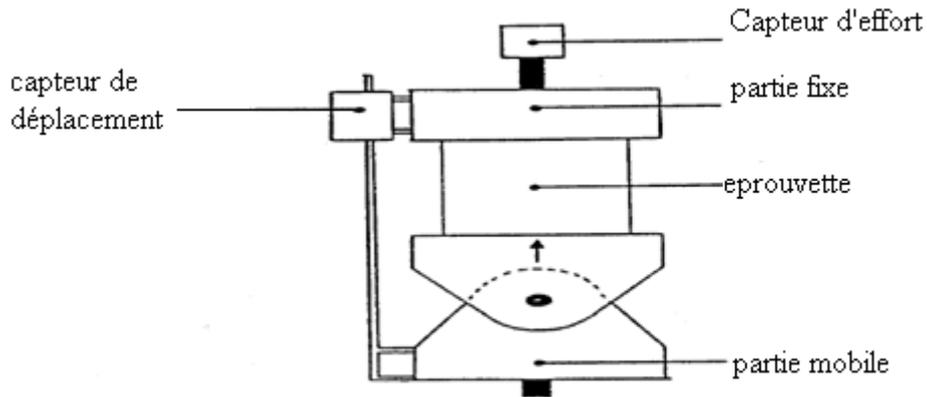


Figure 2.7 : Schéma de la machine de l'essai de compression. [6]

.L'éprouvette de l'essai :

L'éprouvette doit être constituée d'un cylindre droit, d'un prisme droit ou d'un tube droit. Les extrémités des éprouvettes doivent être Perpendiculaires à la direction de l'application de l'effort.

Exemple : Éprouvette cylindrique soumise à deux forces axiales opposées

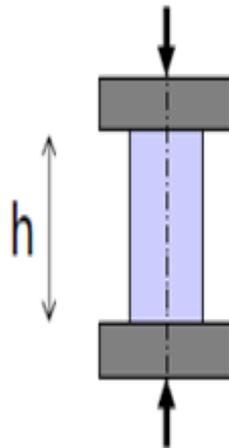


Figure 2.8 : Schéma d'éprouvette soumise à deux forces de compression. [4]

.Caractéristique obtenue :

$$\sigma = F / S_0 \quad [2.8]$$

F s'exprime en Newtons (N), la section en mm², la contrainte σ en MPa.

$$\varepsilon = \Delta L / L_0 \quad [2.9]$$

L_0 : longueur initiale, ΔL : déformation relative

I.2.2.3.3- L'essai de résilience :**.Définition :**

Les paramètres de ténacité (si l'énergie à fournir pour produire une fracture dans une éprouvette est importante, on dira que le matériau est « tenace. ») déterminés par l'essai de traction n'ont plus de sens lorsque la charge est de l'ordre de 1/100 de seconde. La résistance au choc ou résilience est caractérisée par quotient de l'énergie nécessaire pour rompre l'éprouvette en un seul coup par l'aire de la section rompue.

.Le Principe :

Il consiste à rompre, d'un seul coup de mouton pendule, une éprouvette entaillée en son milieu et reposant sur deux appuis. On mesure l'énergie absorbée par le choc et on en déduit la résilience. Elle est notée k_{cu} ou k_{cv} en (j/cm²).

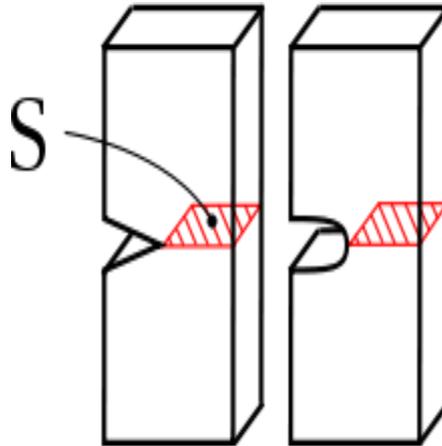


Figure 2.9:Schéma d'éprouvettes de résilience entaillée en V et en U.

.La machine d'essai :

Le pendule est constitué d'une masse m à la forme d'un disque présentant une entaille biseautée ou couteau.



Figure 2.10 : Machine de l'essai de résilience. [5]

.L'éprouvette de l'essai :

L'éprouvette est un barreau de section rectangulaire entaillé. Il était initialement entaillé en U, il est maintenant parfois entaillé en V.

On l'appelle K_{CU} si l'éprouvette est entaillée en U, et K_{CV} si elle est entaillée en V.

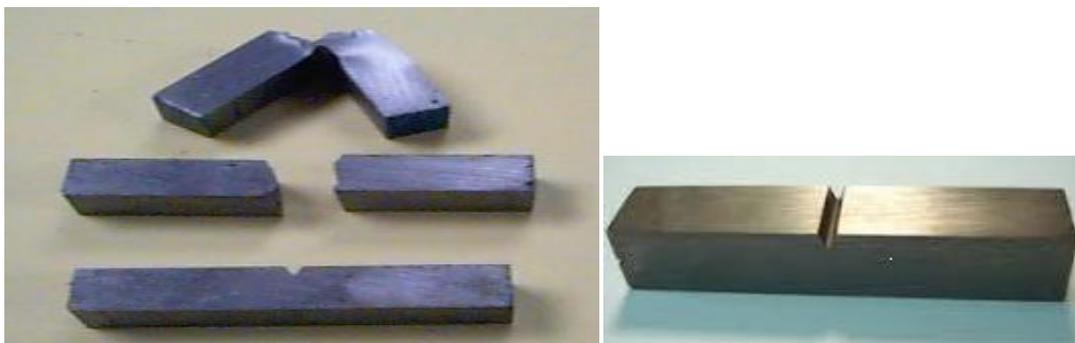


Figure 2.11 : vue 3D des éprouvettes de l'essai de résilience. [5]

.Caractéristique obtenue :

$$K = \frac{\text{Énergie observée « w »}}{\text{(S) Section à la droite de l'entaille}} \quad \text{en (j/cm}^2\text{)} \quad [2.10]$$

$$W = m g (h_0 - h_1) \quad \text{en (j)} \quad [2.11]$$

m : masse du mouton-pendule.

g : accélération de la pesanteur (environ 9.81m/s^2).

h_0 : hauteur du mouton-pendule à sa position de départ

h_1 : hauteur du mouton-pendule à sa position d'arrivée

I.2.2.3.4- L'essai de fatigue :

.Le Principe :

La fatigue est un endommagement structural, progressif et localisé qui se produit quand un matériau est sollicité cycliquement à des niveaux de contrainte inférieurs à sa contrainte à rupture.

Les essais de fatigue caractérisent la capacité d'un matériau à résister à une sollicitation cyclique. Si le nombre de cycles est petit, on parlera de fatigue oligocyclique. Il existe plusieurs modes de sollicitations possibles :

Telles que la flexion, la traction, la torsion,...

.L'éprouvette de l'essai :

Les éprouvettes peuvent être de géométries variées, en fonction de ce que l'on cherche à caractériser. Classiquement, elles peuvent être à section circulaire ou parallélépipédique, et d'épaisseur constante ou variable. Les plus générales sont les éprouvettes toroïdales, à section circulaire variable, comme celle présentée sur l'image de la figure (2.12).



Figure 2.12 : Vue 3D de l'éprouvette de l'essai de fatigue. [7]

.Résultats : Courbe de Wöhler

Les essais de fatigue permettent de déterminer le nombre de cycles à rupture pour une sollicitation donnée. Ces résultats sont présentés sous la forme d'une courbe semi-logarithmique dite de Wöhler (ou courbe SN, pour Stress et Nombre of cycles to failure, en anglais). Une courbe est présentée dans la figure (2.13). On y distingue les zones de :

_ fatigue oligocyclique :

Sous une forte contrainte, la rupture intervient après un très petit nombre de cycles et succède à une forte déformation plastique.

Zone d'endurance limitée:

La rupture est atteinte après un nombre Limité de cycles, nombre qui croît lorsque la contrainte diminue.

zone d'endurance illimitée ou de sécurité :

Sous faible contrainte, la rupture Intervient après un nombre très grand de cycles.

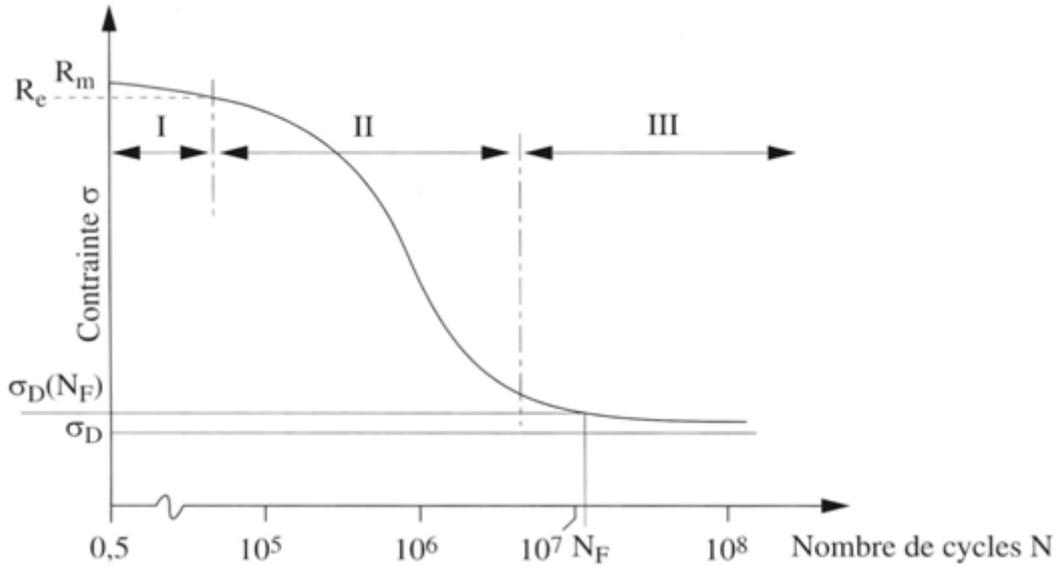


Figure 2.13 : Courbe de Wöhler. [7]

.Caractéristique obtenue :

R_m =charge de rupture.

R_e =Limite d'élasticité.

σ_D = Limite de fatigue.

$\sigma_D(N_F)$ = Limite d'endurance.

} À partir de la courbe.

I.2.2.3.5- Les essais de dureté :

La dureté d'un matériau est la résistance qu'oppose ce matériau à sa pénétration par un autre corps. La dureté H dépend de l'essai effectué. Elle est équivalente au rapport d'une charge sur une surface.

.Le Principe :

- Pénétration lente d'un corps dur (indenteur) dont la forme dépend du type de test.
- Mesure de la force sur l'indenteur et sa profondeur de pénétration.

→ indice de dureté (unité spécifique)

- ✚ Essai de dureté Brinell HB (indenteur en forme de bille).
- ✚ Essai de dureté Vickers HV (indenteur en forme de pyramide carrée).
- ✚ Essai de dureté Rockwel HRC (indenteur en forme de bille ou cône).

.Exemple :

Matériau	Dureté HB (Brinell)
Acier standard	150 à 220 HB
Acier spéciaux	Jusqu'à 600 HB
Acier inoxydable	250 à 350 HB
Cuivre	35 HB
Aluminium	15 à 40 HB
Céramique	1500 HB
Diamant	2000 HB

Tableau 2.2 : Valeur de l'essai de dureté Brinell pour certain matériaux. [3]

Les caractérisations d'un matériau permettent d'obtenir les informations suivantes :

Exemple pour un acier :

La caractéristique	La valeur
Masse volumique	7800 Kg/m ³
Densité	7,8
Module d'Young	210 000 MPa
Module de Coulomb	80 000 MPa
Limite d'élasticité	500 MPa
Limite à rupture	700 MPa
Température de fusion	1300 °C
Dilatation thermique	12 .10 ⁻⁶ m/K
Dureté	200 HB
Limite de résistance à la fatigue	100 MPa

Tableau 2.3:caractérisation mécanique d'un acier. [3]

Chapitre 3 : Etude des aciers CC45 et 100Cr6

I.3 -Introduction sur les différents types d'aciers :

I.3.1-Définition des aciers :

L'**acier** est un alliage métallique utilisé dans les domaines de la construction métallique et de la construction mécanique. L'acier est constitué d'au moins deux éléments, le fer, très majoritaire, et le carbone, dans des proportions comprises entre 0,02 % et 2.11 % en masse. C'est essentiellement la teneur en carbone qui confère à l'alliage les propriétés du métal qu'on appelle « acier ».

I.3.2-Différents types des aciers :

I.3.2.1-Les aciers d'usage général :

Ces aciers sont définis principalement par leurs propriétés mécaniques. Leur résistance mécanique est de l'ordre de **500 MPa** pour la rupture et de **350 MPa** pour la limite élastique ; ils sont ductiles puisque leur teneur en carbone est faible (elle ne dépasse pas 0,2 %) ; l'allongement relatif avant rupture est de l'ordre de **25 %**. exemple : S355, E335

I.3.2.2-Les aciers à outils:

La teneur en carbone est en général assez élevée (de l'ordre de 0,6 à 1 %) sauf pour les outils travaillant aux chocs. Ce sont en général des aciers fortement alliés de chrome (entre 5 et 12 %) pour éviter la corrosion. Ils doivent posséder la dureté la plus élevée possible, une très bonne résistance à l'usure et une grande ténacité. Exemple: 35CrMo4, 100Cr6

I.3.2.3-Aciers de traitement thermique :

Ces aciers sont définis par leur composition chimique. Les aciers de traitement thermique sont soit des aciers au carbone (sans autre élément d'addition que les éléments d'accompagnement, Mn et Si), soit des aciers alliés contenant en proportions variables, un ou plusieurs éléments d'addition (Cr, Ni, Mo, V, ...) ; le chrome favorise le durcissement et augmente la résistance à la corrosion ; le nickel augmente la ténacité¹ à basse température ; le molybdène augmente la résistance mécanique et la dureté ainsi que la résistance au fluage, ... exemple : C 32, 20 Ni Cr 6, 35Ni Cr Mo 16

I.3.2.4-Les aciers inoxydables :

Ces aciers présentent une grande résistance à la corrosion, à l'oxydation à chaud et au fluage (déformation irréversible). Ils sont essentiellement alliés au chrome, élément qui confère la propriété d'in oxydabilité, et au nickel, élément qui confère de bonnes propriétés mécaniques. Ces aciers contiennent au moins 10,5 % de chrome et moins de 1,2 % de carbone. Exemple : X 30 Cr 13, X 8 Cr Ni 18-12. [2]

I.3.3-Etude des aciers CC45 et 100Cr6:**I.3.3.1- Etude de l'acier CC45 :****- Définition de l'acier CC45 :**

C45 est un acier fin non allié au carbone à teneur plus élevée que pour les aciers C35 et destiné pour les traitements.

-Désignation de l'acier CC45 selon les normes :

Normes	Désignation de CC45
AISI	1045
AFNOR	CC45
NF A 35-573/4	XC45

Tableau 3.1: Désignation de l'acier CC45 selon les normes.**-Composition chimique :**

C%	Si%	Mn%	P%	S%
0.42 ÷ 0.5	0.40 Max	0.50 ÷ 0.80	≤0.035	≤0.03

Tableau 3.2 : Composition chimique de l'acier CC45. [8]**-Domaines d'application :**

Utilisée en mécanique générale pour la fabrication de moules à matières plastiques, les entretoises, les plateaux de fixation et, de Plus, les carcasses pour le moulage sous pression.

-Caractéristiques mécaniques :

R _m (N/mm ²)	R _r (N/mm ²)	R _e (N/mm ²)	A%	Dureté HB
630 ÷ 760	750 ÷ 850	275 ÷ 350	14 ÷ 17	150 ÷ 220

Tableau 3.3 : Caractéristiques mécaniques de l'acier CC45. [8]

I.3.3.2-Etude de l'acier 100Cr6 :

-Définition de l'acier 100Cr6 :

Fait partie de la famille des aciers faiblement alliés qui peuvent être forgés, acier à outils, au chrome à haute teneur en carbone.

-Désignation de l'acier 100Cr6 selon les normes :

Normes	Désignation de 100Cr6
AISI	52 100
NF A 35-573/4	100C6
EN 10027	100Cr6

Tableau 3.4 : Désignation de l'acier 100Cr6 selon les normes.

-Composition chimique :

C%	Si%	Mn%	P%	S%	Cr%	Mo%
0.93 ÷1.05	0.15 ÷0.35	0.25 ÷0.45	≤0.025	≤0.03	1.35 ÷1.60	≤0.10

Tableau 3.5 : Composition chimique de l'acier 100Cr6. [9]

-Domaines d'application :

Cet acier typique utilisé dans les roulements à billes, rouleaux ou à aiguilles, cuvettes, butées, cames, galets, Très utilisé en mécanique d'outillage : goupilles, poinçons, colonnes de guidage, limes, Forêts, alésoirs

-Caractéristiques mécaniques :

Sensible aux chocs. Bonne ténacité, bonne résistance à l'usure.
Leur module d'élasticité $E=205000N/mm^2$

Re (N/mm ²)	Rm (N/mm ²)	Rr (N/mm ²)	A%	Dureté après trempe	K_v (j/cm ²)
550-850	750 ÷ 850	850 ÷1250	10÷13%	62÷63HRC	3.5

Tableau 3.6 : Caractéristiques mécaniques de l'acier 100Cr6. [9]

Chapitre 4 : Les essais mécaniques de base

I.4.1- Introduction :

Les essais mécaniques sont des expériences dont le but est de caractériser les lois de comportements des matériaux (mécanique des milieux continus). La loi de comportement établit une relation entre les contraintes et les déformations (allongement unitaire sans dimensions). Il est à noter qu'il ne faut pas confondre une déformation avec un déplacement ou une dilatation.

Cependant, la déformation d'une pièce dépend de la forme de la pièce et de la manière dont sont exercés les efforts extérieurs sur cette pièce. Il faut donc normaliser les essais. Des normes définissent donc : La forme de la pièce dont est fait le matériau ; on parle d'éprouvette normalisée ; Comment sont exercés les efforts sur l'éprouvette ; on parle d'essai normalisé.

I.4.2-Essais de traction :

L'essai de traction constitue un des essais les plus utilisés pour la caractérisation mécanique des matériaux. Il permet de déterminer de nombreuses grandeurs normalisées, comme la contrainte à rupture, la contrainte maximale, les limites d'élasticité, la résistance à la rupture, le coefficient de poisson, le coefficient de striction, etc.

I.4.2.1-Description générale d'une machine de traction :

Une machine de traction est constituée d'un bâti portant une traverse mobile. L'éprouvette de traction, vissée ou enserrée entre des mors, selon sa géométrie, est amarrée à sa partie inférieure à la base de la machine et à sa partie supérieure à la traverse mobile (dans le cas d'une machine mécanique) ou au vérin de traction (dans le cas d'une machine hydraulique). Le déplacement de la traverse vers le haut réalise la traction. Une machine de traction comporte une cellule de charge,

Qui permet de mesurer l'effort appliqué à l'éprouvette et le déplacement de l'éprouvette peut être suivi de diverses façons. Les dispositifs expérimentaux sont généralement asservis.



Figure 4.1 : machine de traction. [3]

I.4.2.2-L'éprouvettes de l'essai :

Les éprouvettes de traction adoptent deux géométries : cylindrique ou plate. La Section doit être constante sur une longueur suffisante pour obtenir un état de contrainte homogène pendant l'essai. Aux deux extrémités sont usinées des têtes d'amarrage avec des rayons de courbures suffisamment grands pour éviter des concentrations de contrainte excessives.

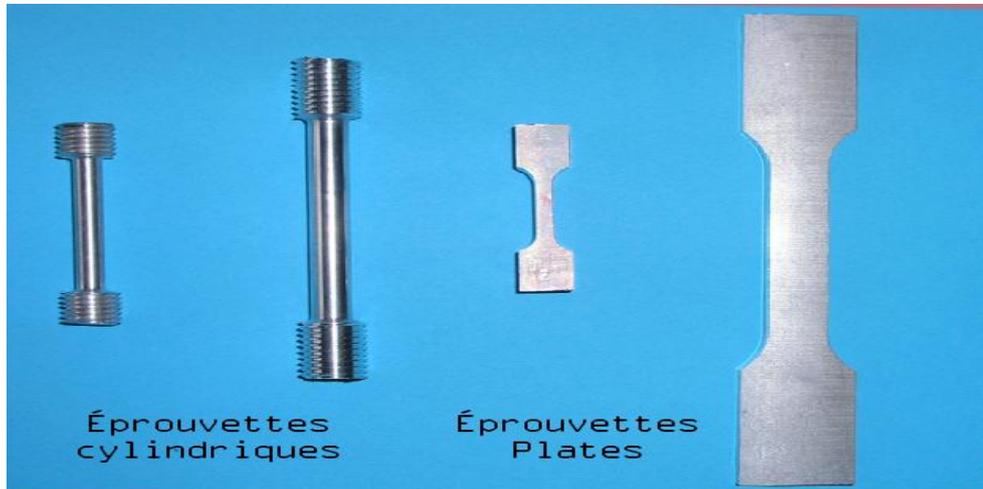


Figure 4.2 : Éprouvettes de l'essai de traction. [4]

I.4.2.3-Le Principe :

L'éprouvette est tenue en deux points (par une pince ou un crochet). Une force de traction est appliquée à vitesse constante. Ces essais permettent de tracer une courbe dite de traction à partir de laquelle les caractéristiques suivantes peuvent être déduites

- Le module d'Young notée E .
- la limite élastique souvent notée R_e , ou bien la limite d'élasticité à 0,2% $R_{e0,2}$.
- la déformation plastique.
- la résistance à la traction ou tension de rupture souvent notée R_r .

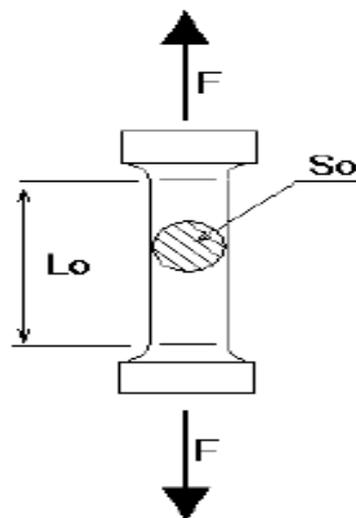


Figure 4.3 : Le Principe de l'essai de traction.

Selon le matériau, la température et vitesse de déformation, la courbe peut avoir différentes formes

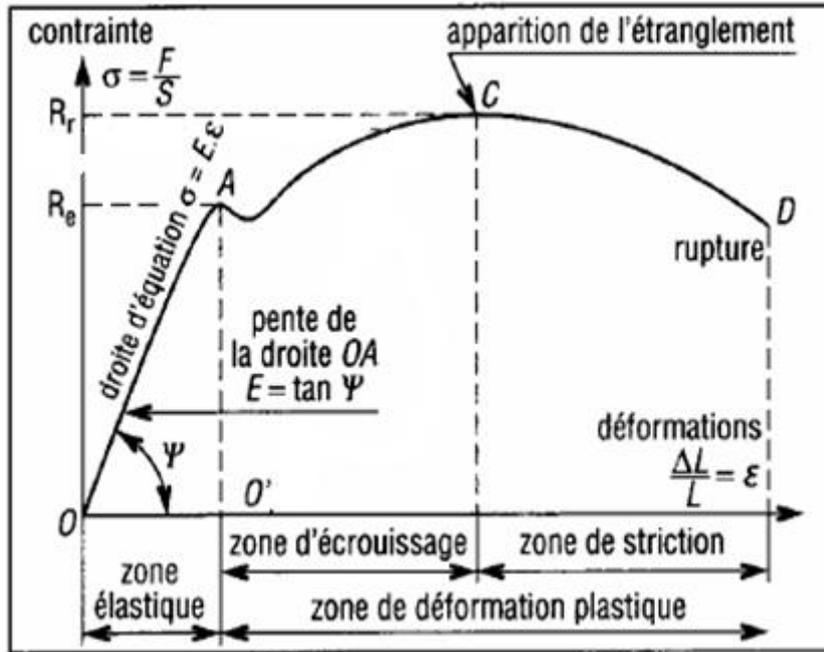


Figure 4.4 : Courbe de traction. [10]

Courbe de traction d'un matériau ductile présentant un décrochement.

R contrainte = F Force / S Surface.

R_r contrainte =maximale avant rupture.

R_e limite apparente d'élasticité.

ε allongement relatif.

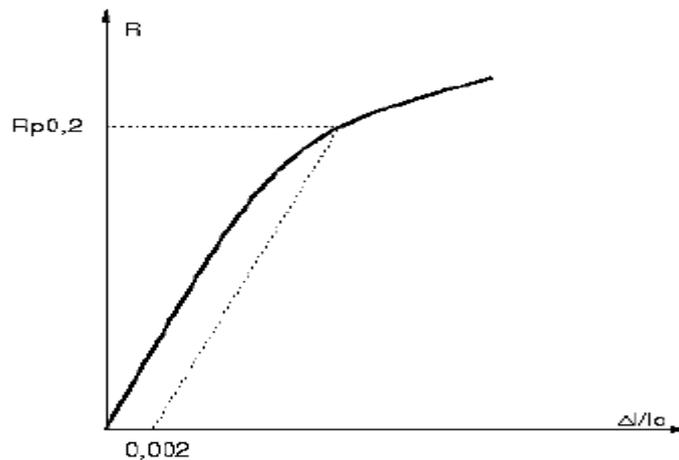


Figure 4.5: le principe de déterminer Rp0.2. [10]

Quand il n'est pas possible de déterminer la limite apparente d'élasticité on définit une limite conventionnelle Rp0.2 correspondant à un allongement relatif $\epsilon = 0.2\%$.

I.4.2.4-Caractéristiques nominales:**Limite d'élasticité :**

$$R_e = \frac{F_e}{S_0} \quad [4.1]$$

Résistance à la traction :

$$R_m = \frac{F_m}{S_0} \quad [4.2]$$

Allongement à la rupture :

$$A\% = 100 \cdot \frac{L_f - L_o}{L_o} \quad [4.3]$$

Dans cette expression, L_o et L_f sont respectivement les longueurs initiales et finales après rupture.

Striction à la rupture :

$$Z\% = 100 \cdot \frac{S_o - S_f}{S_o} \quad [4.4]$$

Dans cette expression, S_o et S_f sont respectivement les sections initiales et finales après rupture.

Module de Young : représenté par la pente de la courbe dans sa partie linéaire :

$$E = \frac{d\sigma}{d\epsilon} \quad [4.5]$$

Coefficient de Poisson :

$$\nu = \frac{(d_o - d) / d_o}{(L - L_o) / L_o} \quad [4.6]$$

Où d_o et d sont respectivement le diamètre initial et le diamètre sous charge, L_o et L la longueur initiale et la longueur sous charge.

I.4.3- Essais de dureté :**I.4.3.1-Généralités et définition :**

Les essais de dureté sont d'une grande utilité pour le métallurgiste à cause de leur simplicité et de leur caractère peu destructif. Mais il faut bien noter que la dureté n'est pas une propriété simple des matériaux métallique. La dureté caractérise la résistance à la déformation et les valeurs obtenues permettent certains classements. Cependant, le processus opératoire doit être très précis pour assurer la reproductibilité et la fidélité des résultats. C'est ce qui explique le grand nombre de normes dans ce domaine, pour les essais proprement dits, les machines d'essais et les étalons.

I.4.3.2-Machine d'essais :

Les machines d'essais de dureté universelles actuelles utilisent une technologie novatrice pour des essais de haute précision dans un large domaine d'applications, et plus particulièrement pour l'assurance qualité, les essais sur chaînes de production et essais en laboratoire.

L'utilisation simple permet une prise en main très rapide de la machine d'essais de dureté. Les déroulements d'essais-configurables individuellement, peuvent être aisément chargés ou sauvegardés. Une analyse, automatique, complètement intégrée de l'image pour une précision élevée et fiabilité de la mesure de pénétration est de plus proposée en option.



Figure 4.6: Machine de dureté (Duromètre). [5]

I.4.3.3- Principe de l'essai de pénétration :

Il consiste à enfoncer un pénétrateur dans le métal à essayer. La charge est constante et on mesure la dimension de l'empreinte est d'autant plus grand que le métal est moins dur. La dureté H s'exprime par la force sur la surface de l'empreinte la formule [4.7].

On aurait donc tendance à exprimer H en méga pascals, mais pour insister sur le caractère conventionnel de l'essai de dureté, les chiffres de dureté sont sans dimension. Les essais les plus classiques sont les essais Brinell Vickers et Rockwell.

$$H = \frac{F}{S} \quad [4.7]$$

I.4.3.4-Les essais :

I.4.3.4.1-Essais Brinell (symbole HB) :

Il consiste à imprimer dans la pièce à essayer une bille en acier ou en carbure de tungstène de diamètre D sous une charge F, et à mesurer le diamètre d de l’empreinte laissée sur la surface après enlèvement de la charge. La dureté Brinell HB est un nombre proportionnel au rapport F/S, ou S est la surface en millimètres carrés de l’empreinte.

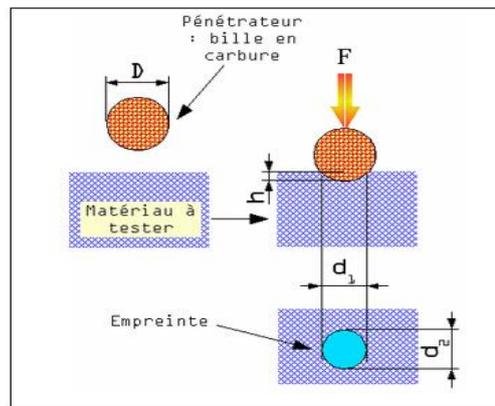


Figure 4.7: principe de l’essai de dureté brinell.

• **Symboles et désignations :**

F : charge d’essai en Newtons.

D : diamètre de la bille en millimètres.

d : diamètre de l’empreinte en millimètres.

$$d = \frac{d_1 + d_2}{2} \quad [4.8]$$

h : profondeur de l’empreinte en millimètres

$$h = \left[\frac{D + \sqrt{D^2 - d^2}}{2} \right] \quad [4.9]$$

HBS : bille en acier ; HBW= bille en carbure :

$$\text{HBS ou HBW} = \frac{0,102 \times 2F}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})} \quad [4.10]$$

Ou $F = K \times 9,81 \times D^2$ soit $K = \frac{0,102 \times 2F}{D^2} \quad [4.11]$

• **Conditions de l’essai :**

-L’essai est normalement conduit à température ambiante.

- La charge est appliquée progressivement sans chocs ni vibrations, et maintenue à sa valeur finale pendant 10 à 15 secondes.
 - On prépare la surface pour éviter toute altération.
- La pièce doit reposer sur un support rigide.

• Expression des résultats :

Le symbole HBS ou HBW est précédé de la valeur de dureté et complété par un indice précisant les conditions d'essai dans l'ordre suivant, diamètre de la bille en millimètres, durée d'application de la charge en secondes, si elle diffère du temps spécifié (10 à 15 s).

Exemple :

350 HBS 5/750 =dureté Brinell de 350 mesurée avec une bille d'acier de 5mm sous une charge de 7,355 KN appliquée durant 10 à 15 secondes.

600 HBW 1/30/20 = dureté brinell de 600 mesurée avec une bille de carbure de 1 mm sous une charge d'essai de 294,2 N appliquée durant 20 secondes.

I.4.3.4.2-Essais Rockwell (symbole HR) :

Il consiste à imprimer, en deux temps, dans la couche superficielle de la pièce à essayer, un pénétrateur de type normalisé (cône ou bille) et à mesurer l'accroissement rémanente h de la profondeur de pénétration.

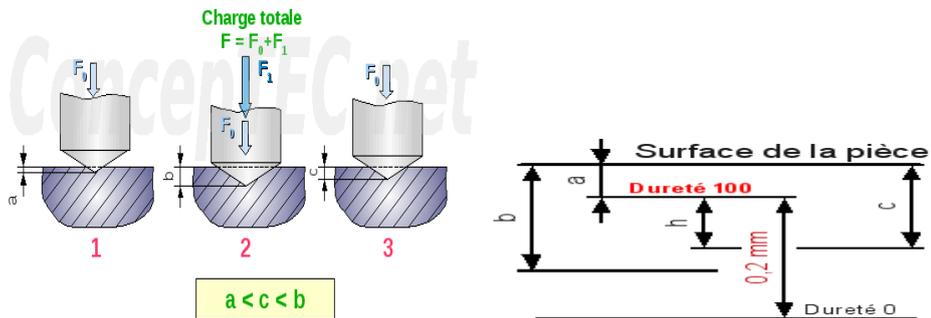


Figure 4.8: Principe de l'essai Rockwell avec cône.

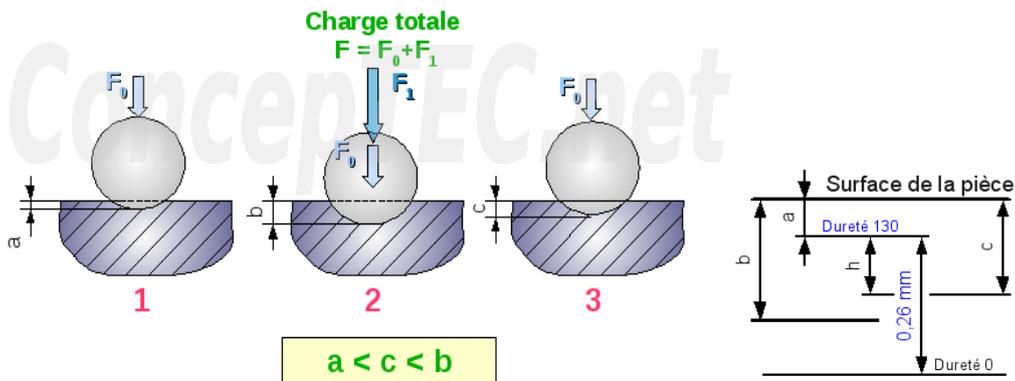


Figure 4.9: Principe de l'essai Rockwell avec bille. [2]

• **Exécution de l'essai :**

- Le pénétrateur étant perpendiculaire à la surface à essayer, il est soumis sans choc à une charge initiale de pénétration F_0 . Cette charge entraîne une pénétration « a » du pénétrateur, qui sert d'origine de mesure de la dureté.
- On applique au pénétrateur, progressivement et sans choc (en 2 à 8 secondes), une surcharge F_1 qui entraîne un accroissement de pénétration « b » du pénétrateur.
- On enlève la surcharge F_1 pour revenir à la charge initiale F_0 . La pénétration du pénétrateur est alors égale à « c ».
- On mesure alors l'accroissement rémanent de la profondeur de pénétration h , c'est-à-dire la différence entre la pénétration « c » sous charge F_0 à la fin de l'essai et la pénétration « a » sous charge F_0 au début de l'essai. A partir de la valeur h est déduit le nombre appelé « dureté Rockwell », selon la formule ;

$$\text{Dureté Rockwell} = N - \frac{h}{s} \quad [4.12]$$

Avec N est valeur correspondant à l'échelle de dureté.

$S=0.002$ pour les mesure des pièces volumiques et 0.001 pour les mesures surfaciques.

Une unité de dureté Rockwell correspondant à une pénétration de 0.002mm .

HRA HRC HRD	Dureté Rockwell= $100 - h/0,002$
HRB HRE HRF HRG HRH HRK	Dureté Rockwell= $130 - h/0,002$
HRN HRT	Dureté Rockwell= $100 - h/0,001$

Tableau 4.1: calcul de la dureté Rockwell.

• **Condition d'essai :**

- L'essai est effectué à température ambiante.
- Les charges doivent être appliquées sans chocs.
- On prépare la surface pour éviter toute altération.
- La pièce doit repose sur un support rigide.
- Aucune marque ne doit apparaître au dos de la pièce.

• **Expression des résultats :**

La dureté Rockwell pour l'échelle A, B, C, D, E, F, G, H, et K est désignée par le symbole HR précédé par la valeur de dureté et complété par une lettre indiquant l'échelle.

Exemple : 59 HRC=dureté Rockwell de 59, mesurée sur l'échelle C.

La dureté superficielle Rockwell pour les échelles N et T est désignée par le symbole HR précédé par la valeur de dureté et complété par un nombre (représentant la charge totale) et une lettre indiquant l'échelle.

Exemple : 70 HR 30 N = dureté superficielle de 70, mesurée sur l'échelle 30 N avec une charge de 294.2N.

I.4.3.4.3-Dureté Vickers (symbole HV) :

Il consiste à imprimer dans la pièce à essayer un pénétrateur en forme de pyramide droite en diamant à base carrée dont l'angle au sommet est de 136°. Sous une charge F, et mesurer la diagonale « d » de L'empreinte laissée sur la surface après enlèvement de la charge.

On peut exprimer la Dureté Vickers :

$$Hv = 1,854 F / d^2 \quad [4.13]$$

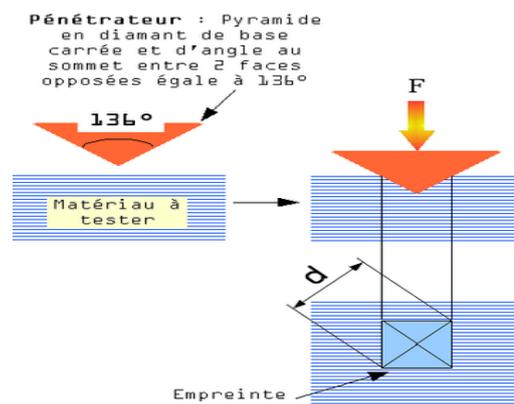


Figure 4.10: principe de l'essai Vickers.

- **Condition d'essai :**

- l'essai est normalement effectué à température constante
- La charge est appliquée progressivement sans chocs, ni vibrations et maintenue à sa valeur finale pendant 10 à 15 secondes
- On prépare la surface pour éviter toute altération
- L'épaisseur de la pièce est $\geq 1,5 d$ La charge d'essai sera $49 N \leq F \leq 981 N$;
Pour les aciers (la charge normale étant $F = 294N$).
 $43 N \leq F \leq 180N$; pour Al, Cu et ses alliages.
- La pièce doit reposer sur un support rigide
Pour des essais successifs on choisira b et $a \geq 2.5d$ (pour les aciers)
 $a \geq 3d$ et $b \geq 6d$ (pour Al, Cu et alliages).

• **Expression des résultats :**

Le symbole HV est précédé par la valeur de dureté et complété par:

Un nombre représentant la charge d'essai (égale à la charge en N multipliée par facteur de proportionnalité 0.102)

La durée d'application de la charge, lorsqu'elle diffère du temps spécifié (10 à 15 s)
 640HV 30 = dureté Vickers de 640 déterminée sous une charge de 294.2 N appliquée pendant 10 à 15 s ;

640 HV30/20 = dureté Vickers de 640 déterminée sous une charge de 490.3 N appliquée pendant 20 s.

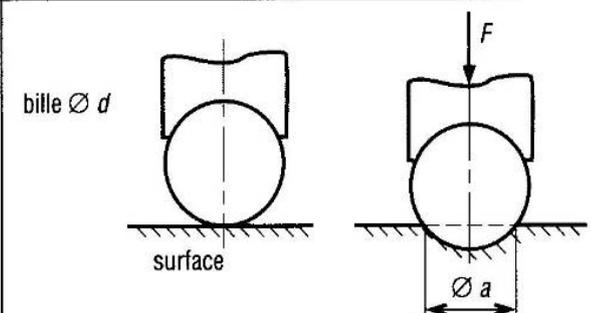
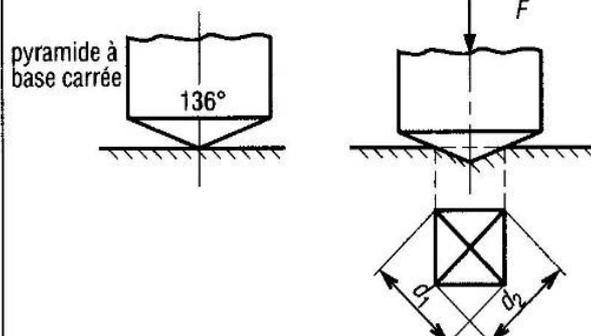
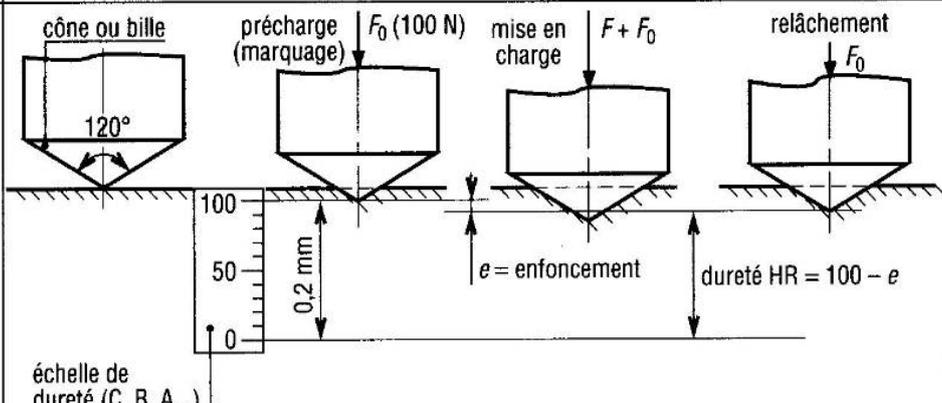
Principaux essais de dureté		
essai	symbole	principe et conduite de l'essai
Brinell	HB	 <p>bille $\varnothing d$</p> <p>surface</p> <p>$\varnothing a$</p> <p>F</p> $HB = \frac{0,102 \times 2F}{S}$ avec $S = \frac{\pi d}{2} (d - \sqrt{d^2 - a^2})$ <p>(F en N, a et d en mm)</p>
Vickers	HV	 <p>pyramide à base carrée</p> <p>136°</p> <p>F</p> <p>d_1</p> <p>d_2</p> $HV = 0,189 \frac{F}{d^2}$ avec $d = \frac{d_1 + d_2}{2}$ <p>(F en N, d_1 et d_2 en mm)</p>
Rockwell	HR	 <p>cône ou bille</p> <p>120°</p> <p>précharge (marquage) F_0 (100 N)</p> <p>0,2 mm</p> <p>mise en charge $F + F_0$</p> <p>$e =$ enfoncement</p> <p>relâchement F_0</p> <p>dureté HR = 100 - e</p> <p>échelle de dureté (C, B, A...)</p> <p>$\left\{ \begin{array}{l} HR_C \\ HR_B \\ \dots \end{array} \right.$</p>

Figure 4.11 : résumé des principaux essais de dureté. [10]

Table de conversion

(Dureté et résistance mécanique)

HV = dureté Vickers HB= dureté Brinell

N/mm² = Résistance à la traction (Rm)

HRC et HRB = Dureté Rockwell

HV	HB	N/mm ²	HRB	HRC		Hv	Hb	N/mm ²	HRB	HRC
90	90	310				280	280	900	104.5	28
100	100	350	57			290	290	930	105.5	29.5
110	110	390	63			300	300	970	106.5	31
120	120	420	68			310	310	1000		32
130	130	450	73			320	320	1040		33
140	140	480	77			330	330	1070		34
150	150	510	81			340	339	1100		35
160	160	540	84			350	349	1130		36
170	170	570	87			360	358	1170		37
180	180	600	90			370	367	1200		38
190	190	630	92			380	376	1240		39
200	200	660	94	14		390	385	1270		40
210	210	690	95.5	16		400	394	1290		41
220	220	730	97	18		410	403	1330		4.8
230	230	760	98.5	20		420	412	1360		42.6
240	240	780	100	22		430	421	1400		43.4
250	250	810	102	23.5		440	429	1430		44.2
260	260	840	103.5	26.5		450	438	1460		45
270	270	870	104.5	28		459	446	1490		45.7
						460		1500		46.1
						470		1540		46.9

						480		1570		47.7
						490		1610		48.4
						500		1650		49.1
						510		1680		49.8
						520		1720		50.5
						530		1760		51.1
						540		1790		51.7
						550		1830		52.3
						560		1870		53.0
						570		1910		53.6
						580		1940		54.1
						590		1980		54.7
						600		2020		55.2
						610		2060		55.7
						620		2100		56.3
						630		2140		56.8
						640		2180		57.3
						650		2220		57.8
						660				58.3
						670				58.8
						680				59.2
						690				59.7
						700				60.1
						720				61.0
						740				61.8
						760				62.5
						780				63.3
						800				64.0
						820				64.7
						840				65.3

						860				65.9
						880				66.4
						900				67.0
						920				67.5
						940				68.0

Tableau 4. 2: Table de conversion. [11]

Chapitre 5 : Les traitements thermiques

I.5.1- Introduction :

Les traitements thermiques sont constitués par un certain nombre d'opérations combinées de Chauffage et de refroidissement et destinée à modifier la Microstructure d'un métal pour lui donner de nouvelles caractéristiques. Ayant pour but :

a. D'améliorer les caractéristiques des matériaux :

- Augmentation de la résistance à rupture et de la limite élastique R_r , R_e ,
- Augmentation de la dureté, permettant à des pièces de mieux résister à l'usure ou aux chocs.

b. De régénérer un métal qui présente un grain grossier (affiner les grains, Homogénéiser la structure) cas des matériaux ayant subi le forgeage Appliqués surtout.

c. De supprimer les tensions internes (écrouissage) des matériaux avant subits une Déformation plastique à froid (emboutissage ...) En dehors du recuit de recristallisation qui permet de supprimer l'écrouissage.

Les Traitements thermiques ne s'appliquent pas aux métaux purs, mais seulement à quelques alliages pour lesquels on recherche principalement une augmentation de la limite élastique et une diminution de la fragilité. Les traitements thermiques sont aux aciers XC et aciers alliés, alliages non ferreux. En général les traitements thermiques ne changent pas la composition chimique de l'alliage.

I.5.2- Définitions et procédés des traitements thermiques :

Effectuer un traitement thermique sur une pièce, c'est faire subir à celle-ci une variation de la température en fonction du temps. Le procédé de traitement thermique se compose de (fig. 1).

I.5.2.1- Chauffage des pièces :

La première étape de chaque traitement thermique est le chauffage de la pièce à la Température exigée.

I.5.2.2- Durant le chauffage : on distingue trois étapes :

a. Durée de préchauffage :

C'est le temps de début de chauffage jusqu'à ce que la Température nominale soit atteinte à la surface de la pièce.

b. Durée de chauffage de pénétration ou d'égalisation :

C'est le temps nécessaire pour atteindre la température nominale à la surface et au cœur de la pièce.

c. Durée de maintien :

C'est le temps nécessaire pour maintenir la pièce à une Température, et à partir de la température atteinte dans le cœur. Les Facteurs principaux, qui influent sur le chauffage de la pièce sont le diamètre (épaisseur), conductibilité, température du four, etc. En général le régime de chauffage pour les aciers est déterminé selon le diamètre

I.5.2.3-Refroidissement des pièces :

Le point important pour la détermination du régime de refroidissement de la pièce est celui de l'état de structure souhaitée à obtenir. Bien sûr, on cherche toujours à refroidir rapidement pour avoir une productivité élevée, mais on doit prendre en considération les dangers de fissuration et d'étirage Des pièces. La vitesse de refroidissement nécessaire à L'obtention d'un état de structure. Le refroidissement s'effectue dans des bacs utilisant l'eau ou l'huile. [12]

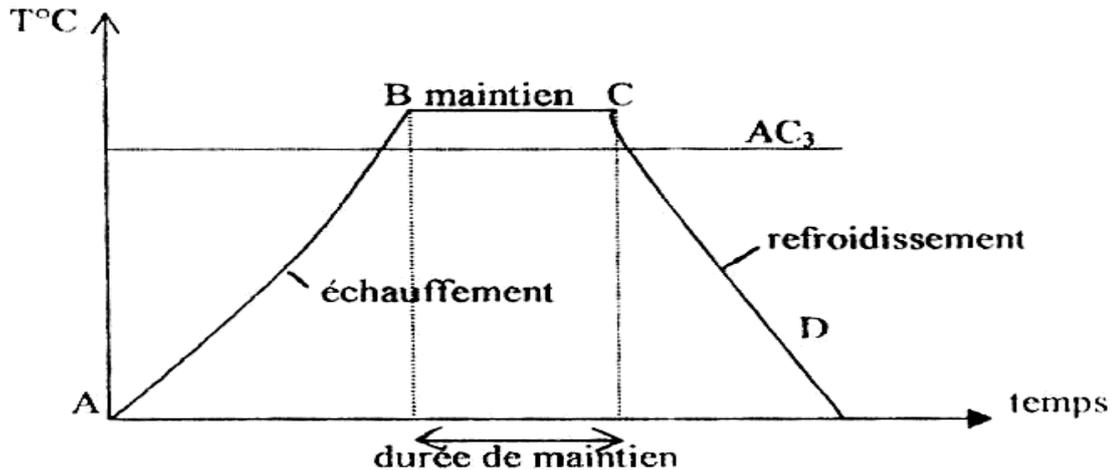


Figure 5.1 : Les procédés des traitements thermiques. [12]

- AB : L'échauffement à des températures supérieures aux températures de transformation (par exemple : AC3).
- BC : Maintient à une température définie.
- CD : Refroidissement avec une vitesse donnée :
 - lente (dans le four, à l'air).
 - Assez rapide (dans l'huile).
 - Très rapide (dans l'eau).

I.5.3-Les différents types de traitement thermique :

Les modes principaux de traitement thermique qui modifient de diverses manières la Structure et les propriétés d'un alliage par des opérations de chauffage jusqu'à une certaine Température, de maintien à cette température, et suivies d'un refroidissement à une vitesse Plus où moins accélérée sont :

- Le recuit.
- La trempe.
- Le revenu.

Les principaux facteurs qui permettent de distinguer entre les différents modes de Traitements thermiques sont la température de maintien et la vitesse de refroidissement.

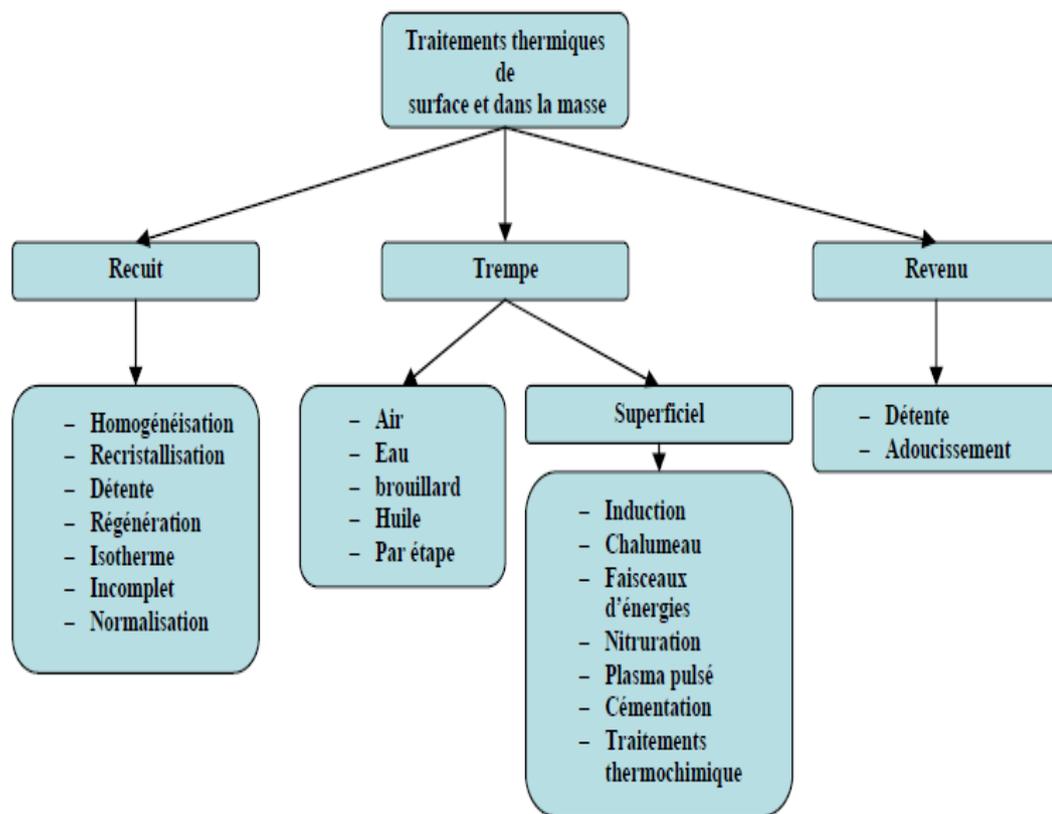


Figure 5.2 : Les différents types de traitement thermique. [13]

I.5.3.1- Le recuit :

I.5.3.1.1- Le recuit d'homogénéisation :

S'applique aux aciers bruts de coulée pour lesquels le Refroidissement a entraîné l'hétérogénéité de composition chimique (ségrégation) de L'austénite. Il s'obtient en maintenant l'acier dans le Domaine austénitique à une température aussi élevée que possible afin d'accélérer la diffusion du carbone et celle des autres éléments d'alliage.

I.5.3.1.2- Le recuit de régénération ou normalisation :

Sert à affiner le grain (le rendre plus petit) pour les pièces qui ont subi un grossissement de grain parce qu'ils étaient exposés à une température élevée lors d'une opération de forgeage, moulage ou soudage. Le traitement s'effectue, pour une durée de quelques minutes, entre 50 à 100°C au-dessus de la limite inférieure du domaine Austénitique. Le refroidissement (normalement à l'air) ne doit pas être trop lent Pour éviter un grossissement de grain de la ferrite.

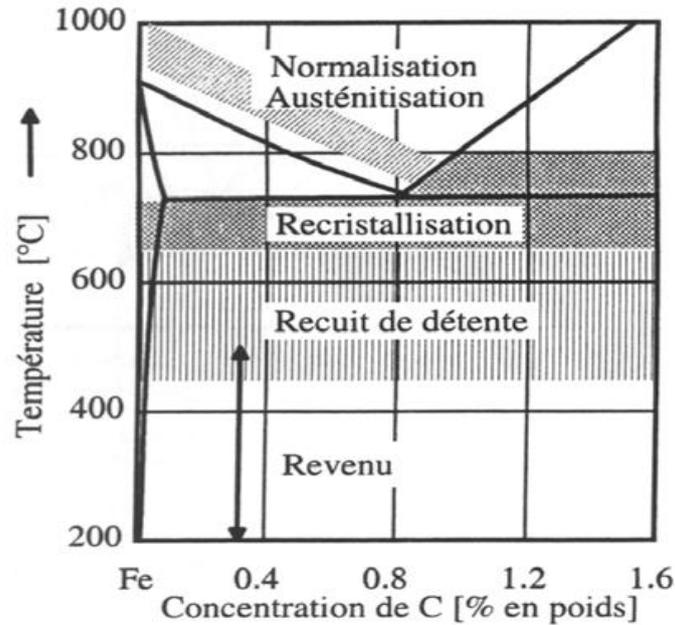


Figure 5.3 : Domaines des températures, pour les différents traitements Thermiques Des aciers au carbone. [14]

I.5.3.1.4- Le recuit de détente :

Remet l'alliage en équilibre mécanique en diminuant les contraintes résiduelles (contraintes internes) résultant d'un travail à froid ou d'une opération de Soudage. La température de ce traitement consiste à chauffer une pièce assez long temps pour que toutes ces parties soit portées à une même température prédéfinie, puis à la laisser refroidir dans l'aire à température ambiante.

I.5.3.1.5- Le recuit de recristallisation:

Sert à diminuer la fragilité d'un métal écroui et de lui redonner sa capacité de déformation. Pour un acier ordinaire, ce traitement s'effectue au-dessus de 600°C. Ceci est évident puisque les domaines de température des différents traitements se recouvrent Partiellement. (Fig5.3)

I.5.3.2-La trempe :

La trempe consiste en un refroidissement rapide d'un acier austénites et a pour but de donner à l'acier la plus grande dureté possible par formation de la martensite ou de la perlite fine. La température d'austénitisation, aussi appelée "température de trempe", A cette température l'acier est maintenu jusqu'à l'achèvement du chauffage complet c'est à dire jusqu'à la transformation des phases, ensuite l'acier subit un refroidissement rapide.

Le but du refroidissement rapide et d'obtenir une structure martensitique Donc la trempe permet de donner un maximum de dureté à l'acier HV = 700 à 800 Kp/mm² ou HRC = 60 à 65, ce qui donne une structure convenable, pour le traitement de revenu.

La trempe n'est pas un traitement thermique définitif, le plus souvent elle est suivie d'un revenu destiné à diminuer la fragilité et les contraintes internes afin de donner à l'acier les propriétés mécaniques appropriées

I.5.3.3-Le revenu :

Le revenu est un traitement thermique pratique, généralement après trempe, et qui a pour but de corriger les défauts causés par la trempe d'un acier (contraintes Internes et fragilités). Le chauffage de l'acier trempé est effectué à une température inférieure à AC_1 , suivi d'un maintien à cette température et au refroidissement jusqu'à la température ambiante (fig5.4).

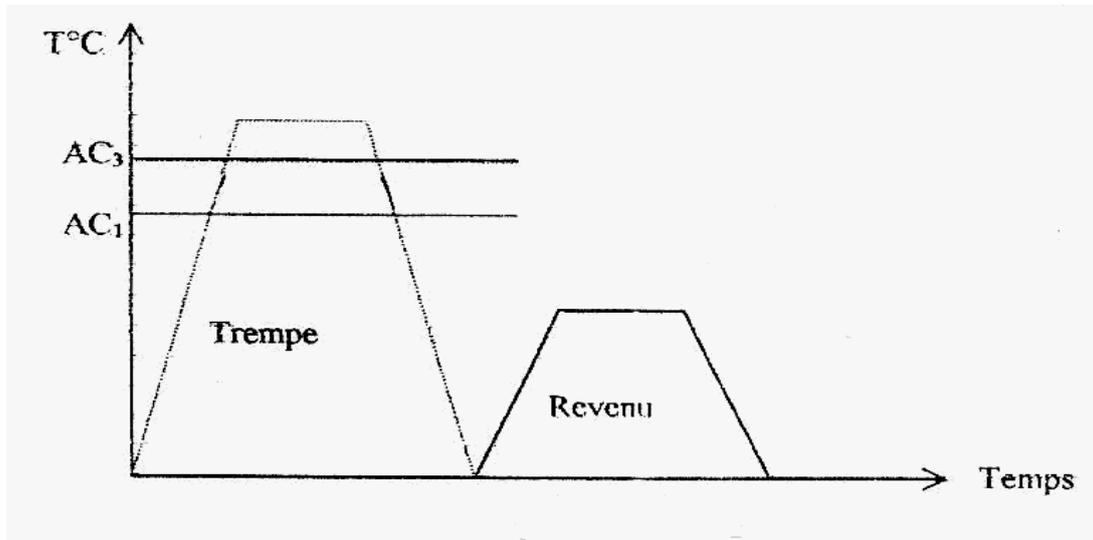


Figure 5.4: Domaine de température de la trempe et revenue. [14]

Le revenu est destiné à provoquer un retour plus ou moins marqué vers l'état stable à froid, donc d'obtenir les propriétés mécaniques requises, c'est à dire la martensite se transforme en de nouveaux constituants. Donc le revenu permet de supprimer les contraintes internes provoquées par la trempe, de diminuer la fragilité des pièces trempées tout en conservant une dureté suffisante. La vitesse de refroidissement après revenu, a une influence faible sur l'état des contraintes résiduelles. Néanmoins plus le refroidissement est lent, plus les contraintes résiduelles sont faibles. Pour éviter un gauchissement après revenu, surtout pour les pièces de formes complexes, il faut refroidir lentement.

II. Partie expérimentale :

II.1-Le but:

Le but de notre travail consiste à définir les Caractéristiques mécaniques de deux aciers (CC45 et le 100Cr6) et savoir l'influence du traitement thermique (Trempe, revenu) sur la dureté et la structure de ces aciers et complété par une simulation numérique en traction sous SolidWorks

II.2-Équipements utilisé:

II.2.1-Duromètre :

On a utilisé un duromètre indentec de modèle 8187.5 LKV ZWick/Roell

Ses caractéristiques sont :

-Vickers : 3,5 et 100 kgf

-Brinell: with 1mm diamètre ball indenter 5 et 10 kgf

-Rockwell : 10, 60,100kgf.

Figure II.1 : Duromètre indentec (modèle8187.5 LKV).

II.2.2- Le four pour le traitement thermique :

On a appliqué une trempe et revenu dans un four de modèle Barnstead/Thermolyne Benchtop Muffle Furnaces, Type 48000, Thermo Scientific (figure II.2.2) .C'est un four à moufle compacts de table de fonctions avancées de contrôle électronique. L'isolant en céramique offre efficacité énergétique maximale. La température maximale est de 1200°C. Avec affichage numérique.



Figure II.2: Four Furnaces48000.

II.2.3- Microscope métallographique:



Figure II.3: Microscope métallographique.

II.2.4-polisseuse:

On a fait un polissage à l'aide d'une polisseuse de modèle Struers planopol_v, et papiers abrasifs. ces papiers sont montés sur des tourets de polissage la vitesse est de 300÷400tr/min équipés d'un système d'arrosage à l'eau dont courante, pour éviter l'échauffement des échantillons.



Figure II.4: Polisseuse Struers planopol_v

II.3 -Les éprouvettes (préparation):

II.3.1- éprouvette de l'essai de dureté:

Nous avons préparé 02 échantillons d'acier 100Cr6 et 02 échantillons d'acier CC45 qui ont les mêmes caractéristiques géométriques pour chaque type de ces 02 aciers. (Ces échantillons pour l'essai de dureté sont testés après recuit, Trempe, revenu.)



Figure II.5 : échantillons d'acier CC45.



Figure II.6 : échantillons d'acier 100Cr6.

II.3.2 - Eprouvette de l'essai de traction :

-Eprouvettes pour l'essai de traction en modèle 3D (CC45 et 100Cr6)

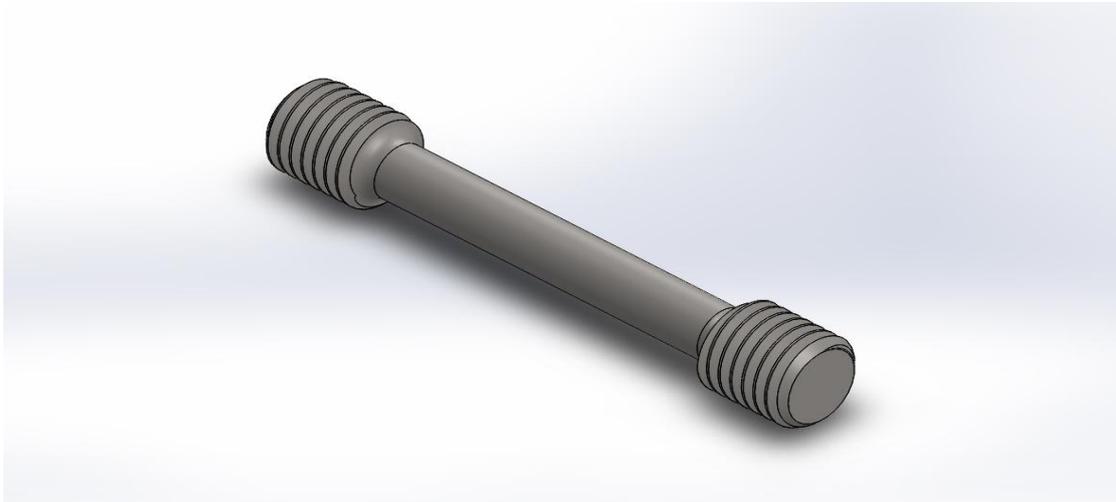


Figure II.7: Vue 3D de l'éprouvette de traction en 100Cr6.

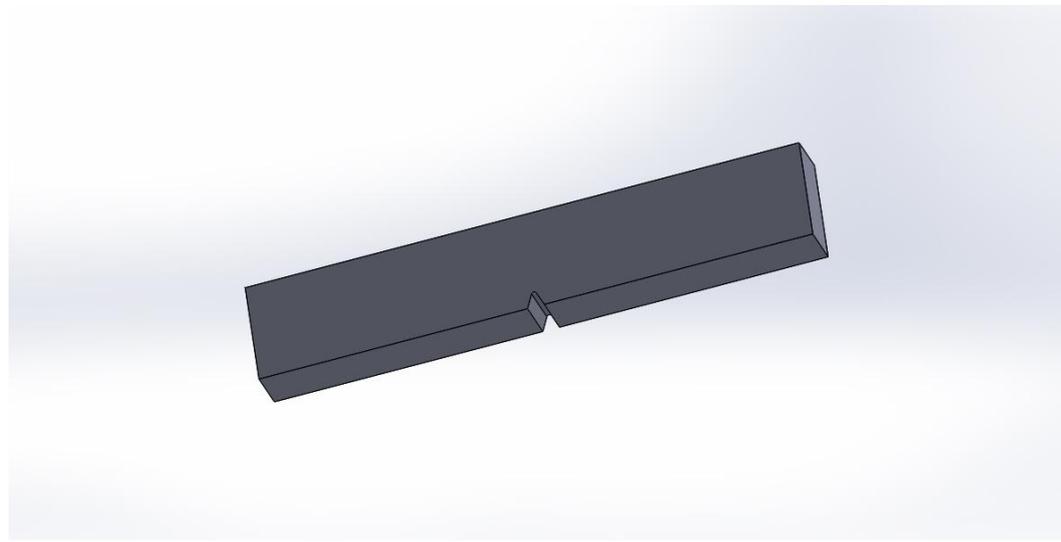
II.3.3 - Eprouvette de l'essai de résilience :

Figure II. 8 : Vue 3D de l'éprouvette de résilience.

II.4- Réalisation des essais et analyse des résultats :

Nous avons 04 étapes dans cette expérience :

II.4.1-Mesure de la dureté à l'état recuit :

Nous avons mesuré la dureté des échantillons à l'état recuit à l'aide d'un appareil de mesure de la dureté on a obtenu les résultats suivants :

N°	Nuance de l'acier	Etat	Moyenne Dureté en Hv	Moyenne HRC	Rm(Mpa)
1	100Cr6	Recuit	361.7	36.5	1160
2	CC45	Recuit	172.2	/	550

Tableau II.1: mesure la dureté à l'état recuit des échantillons.

II.4.2-Le traitement thermique :**a-pour l'acier 100Cr6 :**

On a fait le traitement thermique (trempe) à échantillon de 100Cr6 tel qu'on met l'échantillon dans le four à une température de 790°C pour une durée de maintien de 5÷7 min, suivi par un refroidissement à l'huile.

Et on a fait le revenu au même échantillon après trempe à température de 630°C

b-pour l'acier CC45 :

On a fait le traitement thermique (trempe) à échantillon de CC45 tel qu'on met l'échantillon dans le four à une température de 850°C pour une durée de maintien de 5÷7 min, suivi par un refroidissement à l'eau.

II.4.3-Mesure la de dureté des échantillons après le traitement :

On a mesuré la dureté des échantillons et on obtient les résultats suivants :

N°	Nuance de l'acier	Etat	Moyenne Dureté en Hv	Moyenne HRC	Rm(Mpa)
1	100Cr6	trempe	700	60.1	>2220
2	100Cr6	Trempe +revenue	396.7	40.3	1260÷1290
3	CC45	trempe	423.3	42.5	1260÷1290

Tableau II.2: mesure la dureté à l'état trempe et revenu des échantillons.

II.4.4-Préparations des échantillons pour une analyse microscopique :

- **Le polissage** : on cherche généralement à observer des détails de l'ordre du micromètre, il faut donc polir pour que les rayures soient plus petites, on utilise successivement pour cela des papiers abrasifs de plus en plus fins, entre deux papiers, il faut bien nettoyer l'échantillon et croiser la direction de polissage : on polit toujours dans le même sens, et on croise les sens d'un papier à l'autre, ce qui permet de faire ressortir les rayures résiduelles de l'étape précédente.
- **L'attaque chimique** : on générale, on effectue une attaque pour révéler la structure, notamment les joints de grain, on utilise fréquemment des acides fortes ou des procédés électrochimiques dans des conditions telles que la réaction est plus rapide ou plus forte au jointe de grain.
- **La visualisation microscopique** : on a fait l'observation microscopique à l'aide d'un microscope métallographique et on trouve les résultats suivantes :

II.4.5- Analyse microscopique des micrographies des structures des échantillons :

➤ pour l'acier 100Cr6 :

-**Etat recuit** : La structure est composée de deux constituants structuraux de **perlite** (noire) +**cémentite** (blanche) se précipitent au niveau de joints de grains.

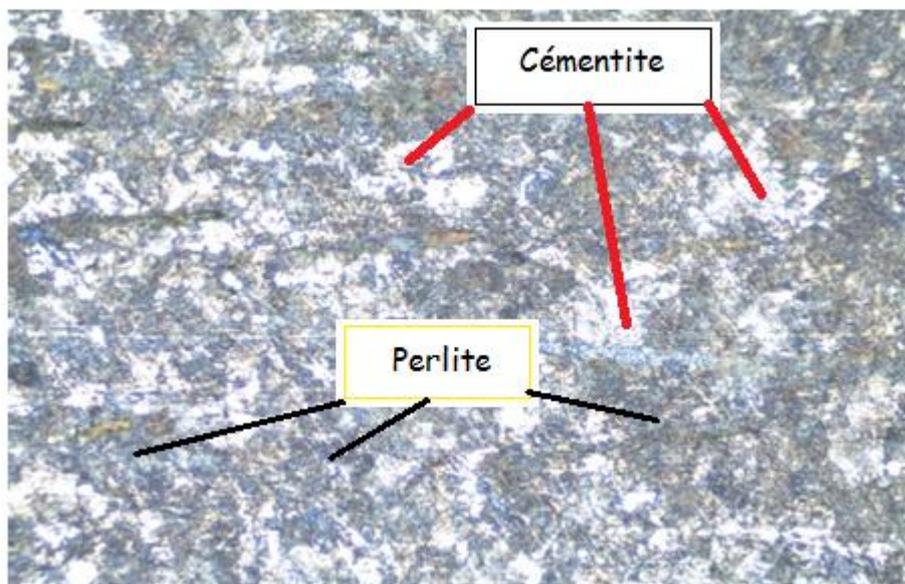


Figure II.9 : 100Cr6 recuit X50.

-Etat trempé : La structure est **martensitique** (aiguilles de martensitique +cémentite FeC₃).

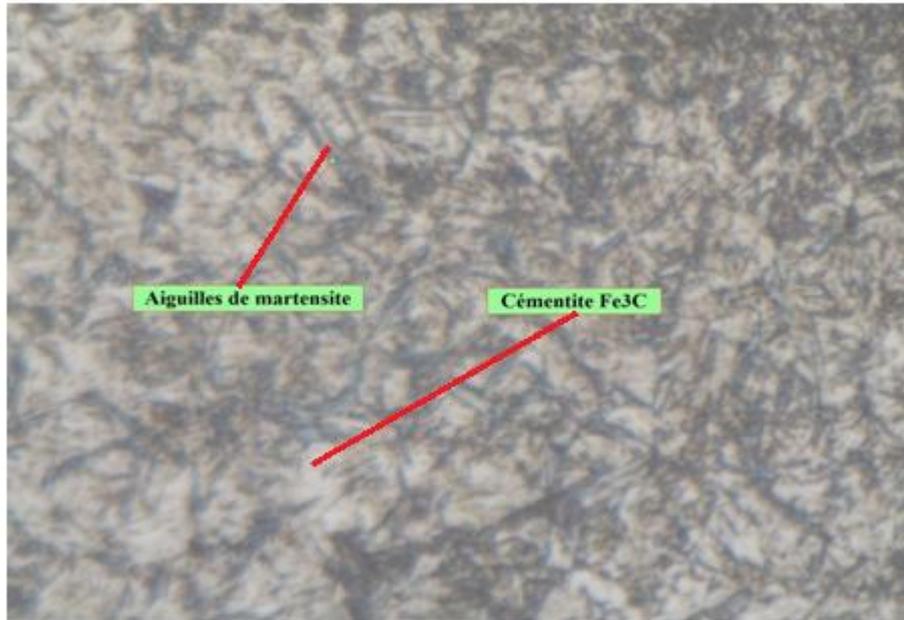


Figure II.10 : 100Cr6 trempé X1000

-Etat revenu : La structure composée d'austénite + cémentite (blanche).

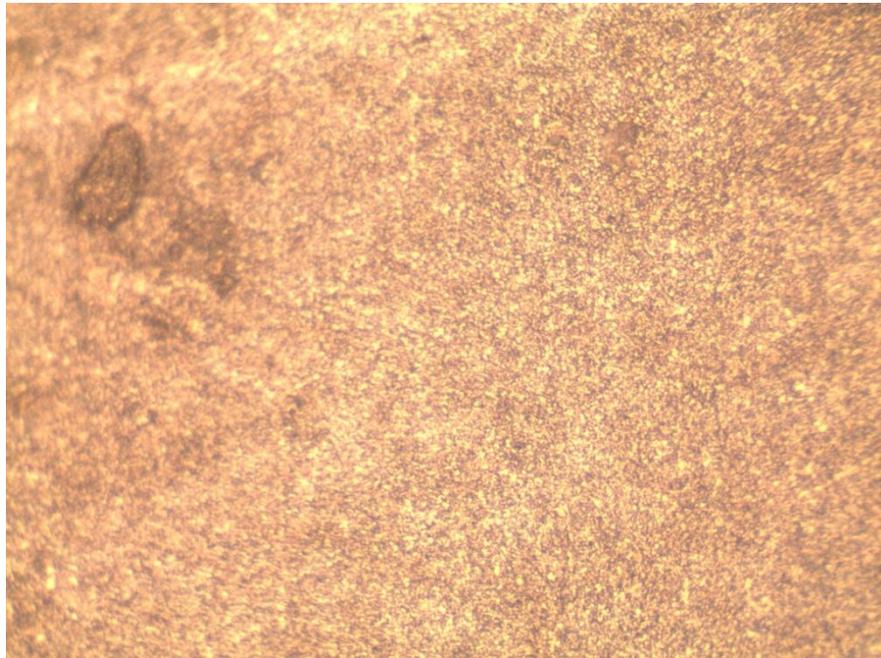


Figure II.11 : 100Cr6 revenu à 630°C réduction de la grosseur des grains (Austénite+ Cémentite)

➤ pour l'acier CC45 :

-**Etat recuit** : La structure est composée de deux constituants structuraux de **perlite** (noire) + **Ferrite** (blanche) se précipitent au niveau de joints de grains.

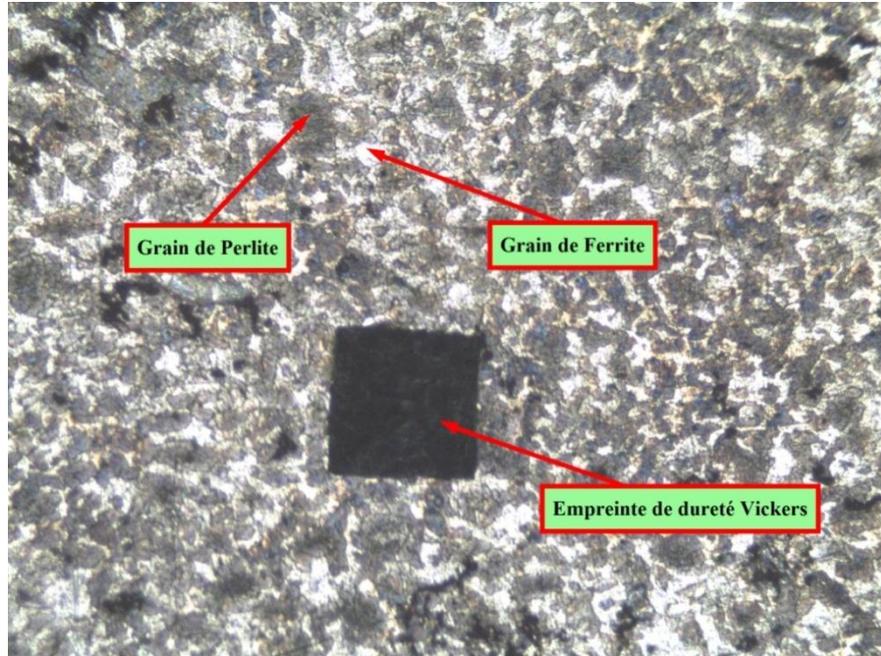


Figure II.12 : CC45 recuit X100.

-**Etat trempé** : La structure composée de deux constituants structuraux d'**Austénite** (noire au niveau de joints de grains) + **Ferrite** (blanche).

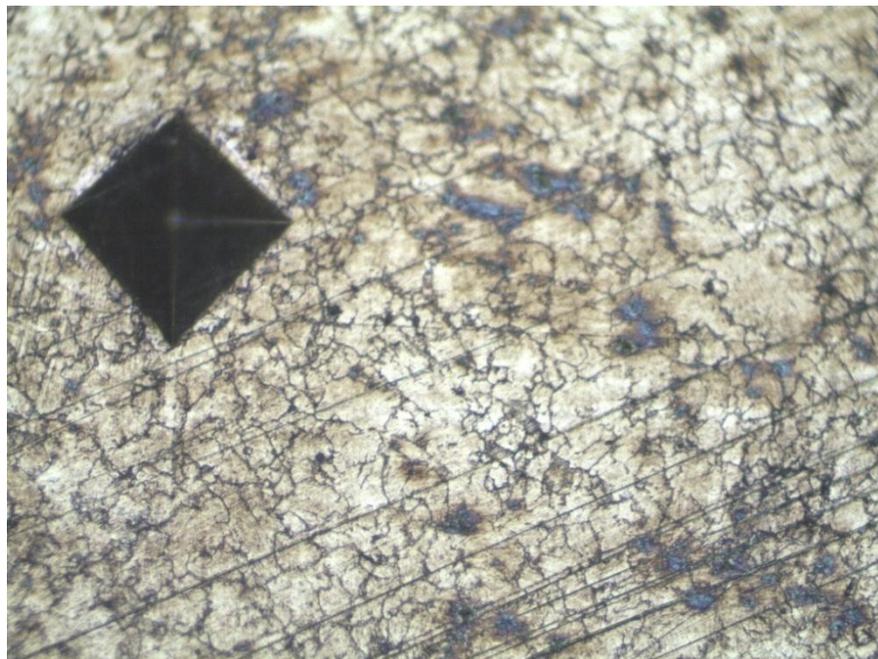


Figure II.13 : CC45 trempé X200.

Interprétation des résultats des traitements thermiques

La trempe réalisée sur les échantillons en Acier CC45 et l'Acier 100Cr6 nous a donné une augmentation de la dureté pour les deux matériaux. Nous avons relevé une dureté selon Rockwell de 42.5 HRC pour l'acier CC45 et une dureté de 60.1 HRC pour le 100Cr6. Les tableaux II.1 et II.2 montrent bien les résultats obtenus.

Cela peut être aussi expliqué par le changement des structures des aciers traités, les figures II.9, II.10, II.11, II.12, II.13 montrent les structures de ces aciers à l'état recuit, trempe et revenu.

Pour l'acier CC45 l'état recuit : la structure se compose de perlite + Ferrite. L'état trempé : la structure se compose de l'Austénite + Ferrite. On remarque que la perlite se transforme en austénite. L'austénite est plus dure que la perlite. C'est pour cela que la dureté du matériau augmente.

Pour l'acier 100Cr6 l'état recuit : la structure se compose de perlite + cémentite. L'état trempé : la structure se compose de la martensite : le refroidissement rapide influe sur les atomes de carbone (pas de temps de ce diffuser d'où une structure martensitique (très dur).[14]

II.1- Simulation en traction Simple Sous Solidworks :**III.1.1- Pour Eprouvette en acier CC45 (AISI 1045) :**

$$\sigma_e = 350 \text{ Mpa (Selon la norme)}$$

$$\sigma_m = 650 \text{ Mpa (Selon la norme)}$$

$$A\% = 17 \%$$

- 1) Calcul de la charge à la limite élastique :

$$F_e = \sigma_e \times \pi d^2 / 4 = 350 \times [3.14 (6)^2 / 4] = 350 \times 28.26$$

$$F_e = 9891 \text{ N}$$

- 2) Calcul de la charge maximale avant rupture (avant striction) :

$$F_m = \sigma_m \times \pi d^2 / 4 = 18369 \text{ N}$$

II.1.2- Pour Eprouvette en acier cc100Cr6 (AISI 52 100) :

$$\sigma_e = 700 \text{ Mpa (Selon la norme)}$$

$$\sigma_m = 800 \text{ Mpa (Selon la norme)}$$

$$A\% = 12 \%$$

$$K_v = 3.5 \text{ J/cm}^2$$

- 1) Calcul de la charge à la limite élastique :

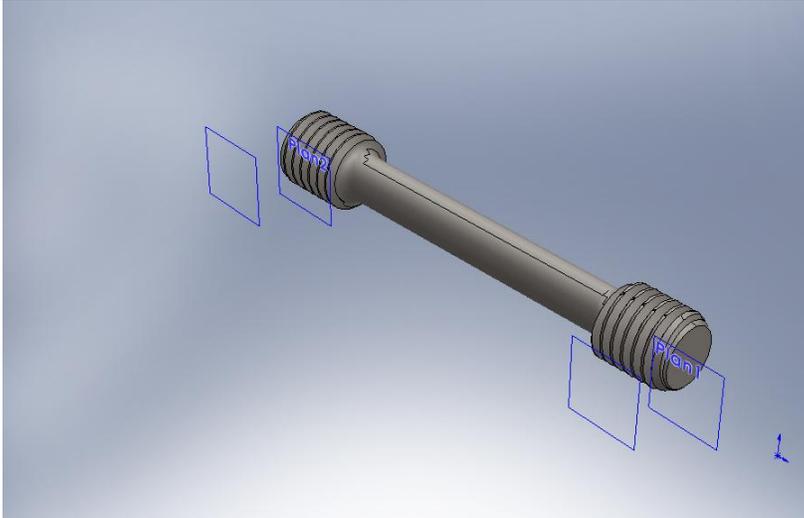
$$F_e = \sigma_e \times \pi d^2 / 4 = 700 \times [3.14 (6)^2 / 4] = 700 \times 28.26$$

$$F_e = 19782 \text{ N}$$

- 2) Calcul de la charge maximale avant rupture (avant striction) :

$$F_m = \sigma_m \times \pi d^2 / 4 = 22608 \text{ N}$$

SIMULATION EN TRACTION SIMPLE DES EPROUVETTES



Simulation de Eprouvette CC45

Date: dimanche 8 juin 2014

Concepteur: HASRANE NASSIMA

Nom de l'étude: Etude 1

Type d'analyse: Analyse statique

Force de traction $F=100\text{kgf}$

Table of Contents

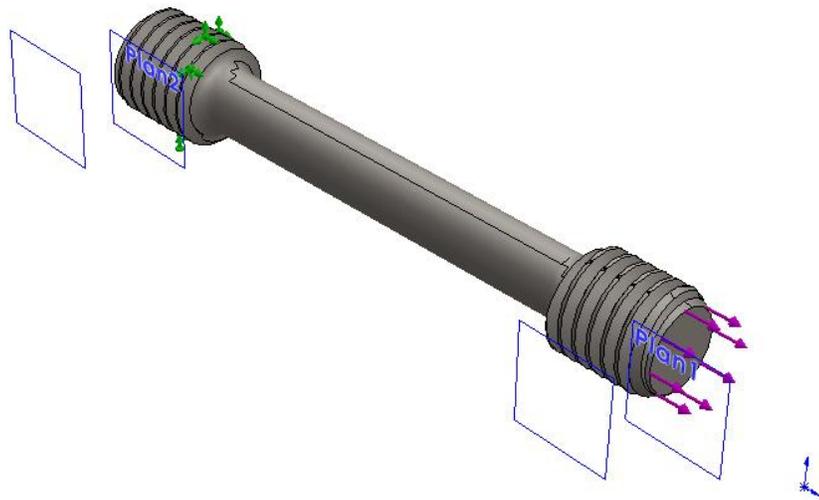
Description.....	50
Hypothèses.....	51
Informations sur le modèle	51
Propriétés de l'étude.....	52
Unités	52
Propriétés du matériau	53
Actions extérieures.....	54
Définitions des connecteurs	Erreur ! Signet non d
Informations sur le contact	Erreur ! Signet non de
Informations sur le maillage	55
Détails des capteurs	Erreur ! Signet non défini.
Forces résultantes	56
Poutres	Erreur ! Signet non défini.
Résultats de l'étude	57
Conclusion	Erreur ! Signet non défini.

Description

Simulation en traction simple
Etude dans le domaine élastique du matériau
limite élastique selon la norme

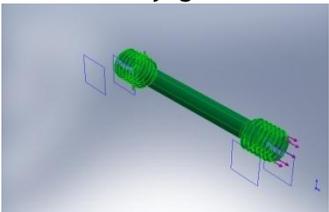
Hypothèses

Informations sur le modèle



Nom du modèle: Eprovette CC45
Configuration actuelle: Défaut

Corps volumiques

Nom du document et référence	Traité comme	Propriétés volumétriques	Chemin/Date de modification du document
Enlèvement de matière- Balayage9 	Corps volumique	Masse:0.0200301 kg Volume:2.55161e-006 m³ Masse volumique:7850 kg/m³ Poids:0.196295 N	C:\SolidWorks Data (3)\CopiedParts\Eprovette CC45.SLDPRT Jun 08 11:13:48 2014

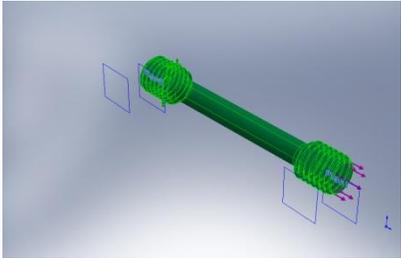
Propriétés de l'étude

Nom d'étude	Etude 1
Type d'analyse	Analyse statique
Type de maillage	Maillage volumique
Effets thermiques:	Activé(e)
Option thermique	Inclure des chargements thermiques
Température de déformation nulle	20°C
Inclure la pression du fluide calculée par SolidWorks Flow Simulation	Désactivé(e)
Type de solveur	FFEPlus
Stress Stiffening:	Désactivé(e)
Faible raideur:	Désactivé(e)
Relaxation inertielle:	Désactivé(e)
Options de contact solidaire incompatible	Automatique
Grand déplacement	Désactivé(e)
Vérifier les forces externes	Activé(e)

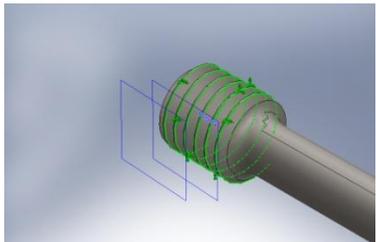
Unités

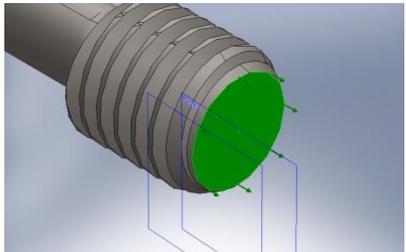
Système d'unités:	SI (MKS)
Longueur/Déplacement	mm
Température	°C
Vitesse angulaire	Rad/sec
Pression/Contrainte	N/m ²

Propriétés du matériau

Référence du modèle	Propriétés	Composants
	<p>Nom: AISI 1045 Acier étiré à froid</p> <p>Type de modèle: Linéaire élastique isotropique</p> <p>Critère de ruine par défaut: Contrainte de von Mises max.</p> <p>Limite d'élasticité: 5.3e+008 N/m²</p> <p>Limite de traction: 6.25e+008 N/m²</p> <p>Module d'élasticité: 2.05e+011 N/m²</p> <p>Coefficient de Poisson: 0.29</p> <p>Masse volumique: 7850 kg/m³</p> <p>Module de cisaillement: 8e+010 N/m²</p> <p>Coefficient de dilatation thermique: 1.15e-005 /Kelvin</p>	<p>Corps volumique 1(Enlèvement de matière-Balayage9)(Epreuve CC45)</p>
Données de la courbe:N/A		

Actions extérieures

Nom du déplacement imposé	Image du déplacement imposé	Détails du déplacement imposé		
Fixe-1		Entités: 1 arête(s) Type: Géométrie fixe		
Forces résultantes				
Composants	X	Y	Z	Résultante
Force de réaction(N)	-9875.18	5.66528	-2.00075	9875.18
Moment de réaction(N·m)	0	0	0	0

Nom du chargement	Image du chargement	Détails du chargement
Force-1		Entités: 1 face(s) Type: Force normale Valeur: -9891 N

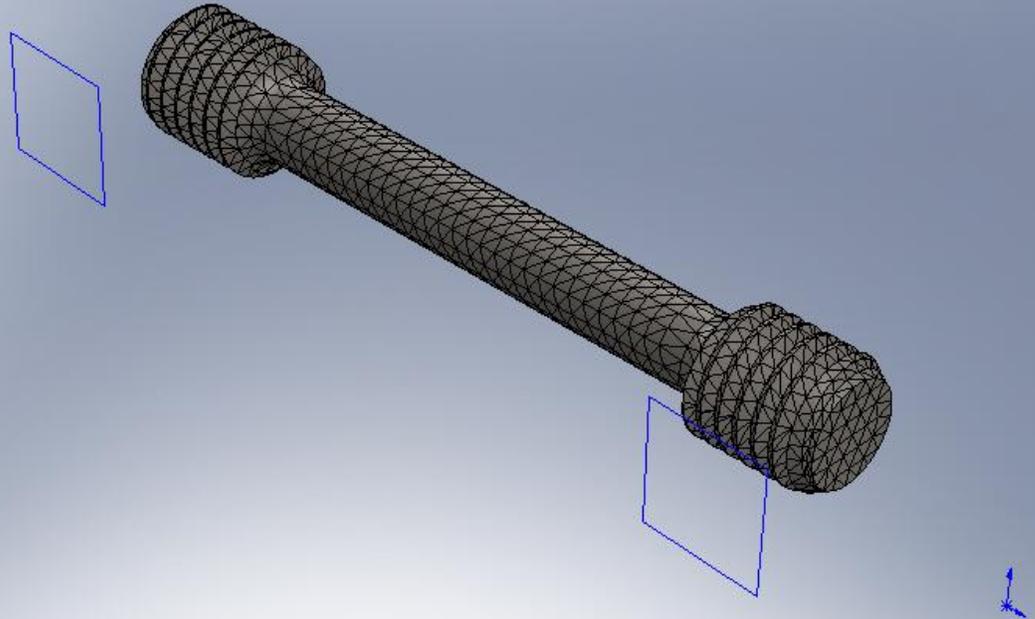
Informations sur le maillage

Type de maillage	Maillage volumique
Mailleur utilisé:	Maillage standard
Transition automatique:	Désactivé(e)
Boucles automatiques de maillage:	Désactivé(e)
Points de Jacobien	4 Points
Taille d'élément	1.36704 mm
Tolérance	0.0683522 mm
Qualité de maillage	Haute

Informations sur le maillage - Détails

Nombre total de noeuds	16206
Nombre total d'éléments	9705
Aspect ratio maximum	21.529
% d'éléments ayant un aspect ratio < 3	86.8
% d'éléments ayant un aspect ratio > 10	0.495
% d'éléments distordus (Jacobian)	0
Durée de création du maillage (hh:mm:ss):	00:00:04
Nom de l'ordinateur:	ISRA2013

Nom du modèle: Eprouvette CC45
 Nom de l'étude: Etude 3
 Type de maillage: Maillage volumique



Version Education. Pour l'enseignement uniquement

Forces résultantes

Forces de réaction

Ensemble de sélections	Unités	Somme X	Somme Y	Somme Z	Résultante
Modèle entier	N	-9875.18	5.66528	-2.00075	9875.18

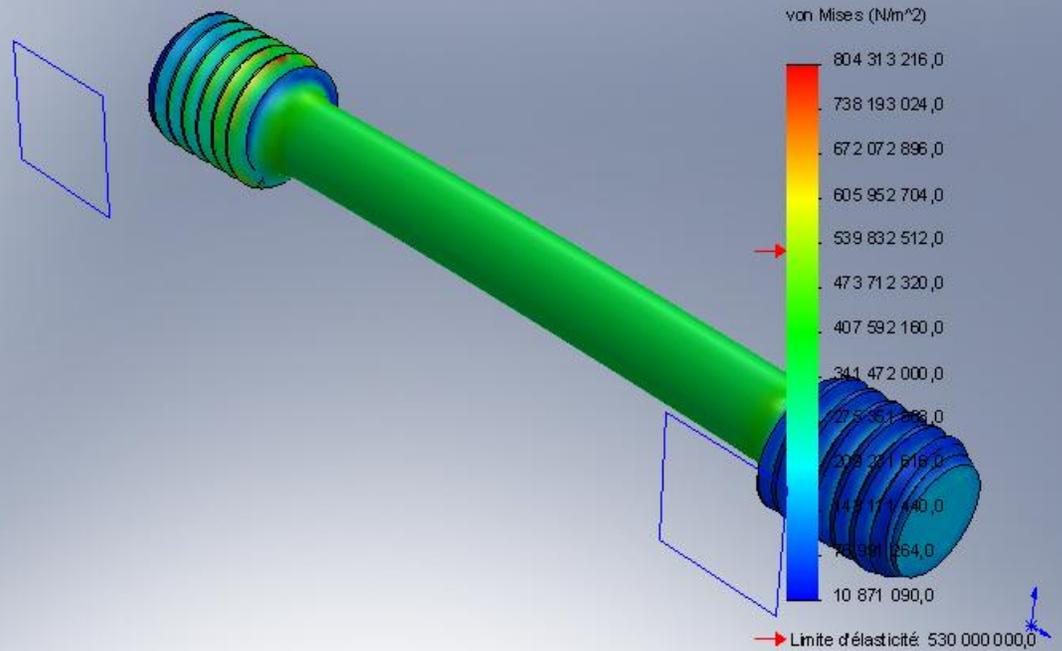
Moments de réaction

Ensemble de sélections	Unités	Somme X	Somme Y	Somme Z	Résultante
Modèle entier	N·m	0	0	0	0

Résultats de l'étude

Nom	Type	Min	Max
Contraintes1	VON: contrainte de von Mises	1.08711e+007 N/m ² Noeud: 13977	8.04313e+008 N/m ² Noeud: 10515

Nom du modèle: Epreuve CC45
 Nom de l'étude: Etude 3
 Type de tracé: Analyse statique contrainte nodale Contraintes1
 Echelle de déformation: 71.0941

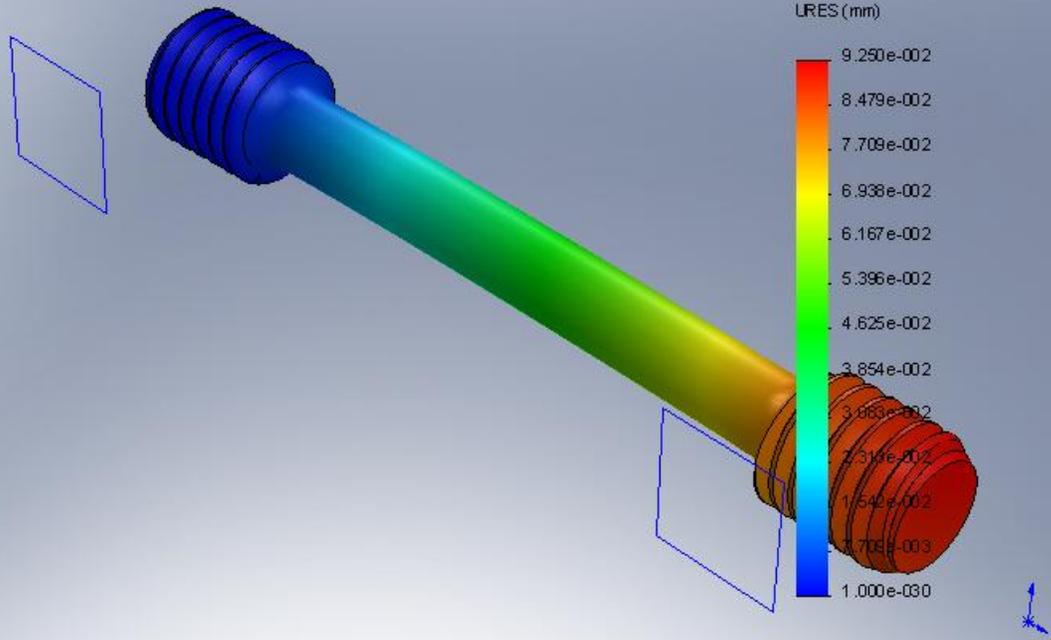


Version Education. Pour l'enseignement uniquement

Epreuve CC45-Etude 1-Contraintes-Contraintes1

Nom	Type	Min	Max
Déplacements1	URES: Déplacement résultant	0 mm Noeud: 307	0.0925021 mm Noeud: 10047

Nom du modèle: Epreuve CC45
 Nom de l'étude: Etude 3
 Type de tracé: Déplacement statique Déplacements1
 Echelle de déformation: 71.0941

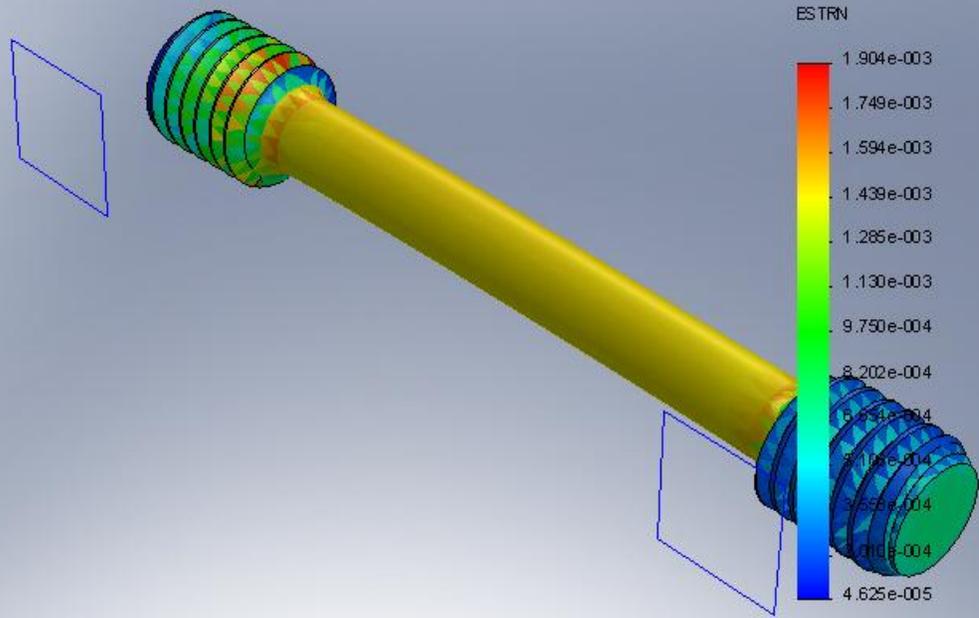


Version Education. Pour l'enseignement uniquement

Epreuve CC45-Etude 1-Déplacements-Déplacements1

Nom	Type	Min	Max
Déformations1	ESTRN: Déformation équivalente	4.6253e-005 Elément: 4174	0.00190378 Elément: 4503

Nom du modèle: Epreuve CC45
 Nom de l'étude: Etude 3
 Type de tracé: Déformation statique Déformations1
 Echelle de déformation: 71.0941



Version Education. Pour l'enseignement uniquement

Epreuve CC45-Etude 1-Déformations-Déformations1

Nom	Type
Déplacements1{1}	Modèle déformé

Nom du modèle: Epreuve CC45
 Nom de l'étude: Etude 3
 Type de tracé: Modèle déformé Déplacements1{1}
 Echelle de déformation: 71.0941



Version Education. Pour l'enseignement uniquement

Epreuve CC45-Etude 1-Déplacements-Déplacements1{1}

Epreuve CC45
 Force de traction
 F=10000N
 Coefficient de
 sécurité CS

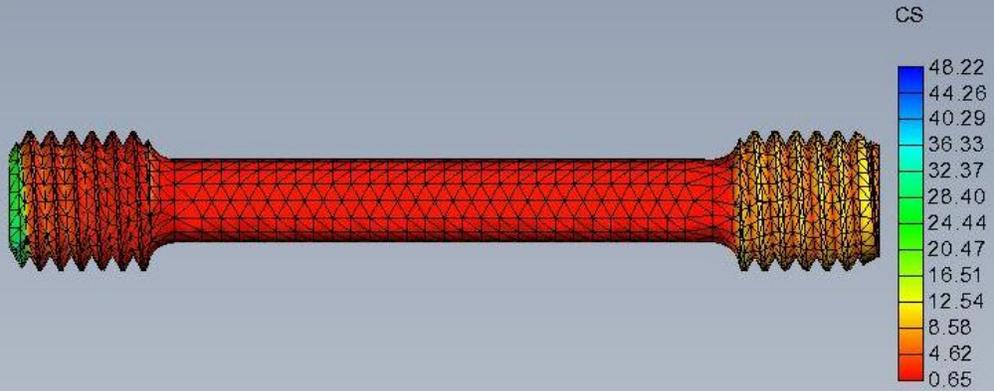
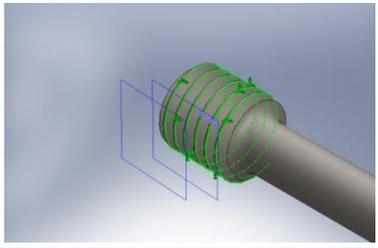
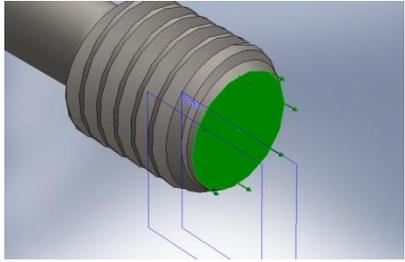


Tableau récapitulatif de la simulation

EPROUVETTE	CC45	
FORCE DE TRACTION	10000 N	
Re	530MPa	
Rm	10.8 MPa	804 MPa
Déplacement	0 mm	0.092 mm
Déformation	0.0000462 mm	0.00190 mm
Coefficient de sécurité	0.65	48.22

Simulation en traction de l'éprouvette CC45 force de traction maximale

Actions extérieures Nom du déplacement imposé	Image du déplacement imposé	Détails du déplacement imposé		
Fixe-1		Entités:	1 arête(s)	
		Type:	Géométrie fixe	
Forces résultantes				
Composants	X	Y	Z	Résultante
Force de réaction(N)	-18339.6	10.5213	-3.71571	18339.6
Moment de réaction(N·m)	0	0	0	0

Nom du chargement	Image du chargement	Détails du chargement	
Force-1		Entités:	1 face(s)
		Type:	Force normale
		Valeur:	-18369 N

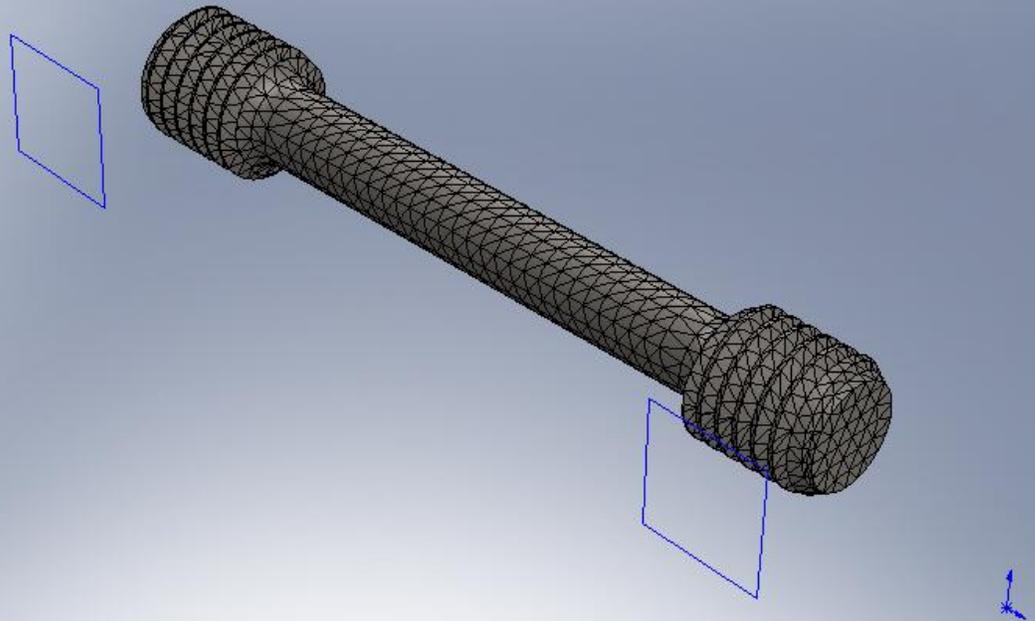
Informations sur le maillage

Type de maillage	Maillage volumique
Mailleur utilisé:	Maillage standard
Transition automatique:	Désactivé(e)
Boucles automatiques de maillage:	Désactivé(e)
Points de Jacobien	4 Points
Taille d'élément	1.36704 mm
Tolérance	0.0683522 mm
Qualité de maillage	Haute

Informations sur le maillage - Détails

Nombre total de noeuds	16206
Nombre total d'éléments	9705
Aspect ratio maximum	21.529
% d'éléments ayant un aspect ratio < 3	86.8
% d'éléments ayant un aspect ratio > 10	0.495
% d'éléments distordus (Jacobien)	0
Durée de création du maillage (hh;mm;ss):	00:00:04
Nom de l'ordinateur:	ISRA2013

Nom du modèle: Eprouvette CC45
 Nom de l'étude: Etude 4
 Type de maillage: Maillage volumique



Version Education. Pour l'enseignement uniquement

Forces résultantes

Forces de réaction

Ensemble de sélections	Unités	Somme X	Somme Y	Somme Z	Résultante
Modèle entier	N	-18339.6	10.5213	-3.71571	18339.6

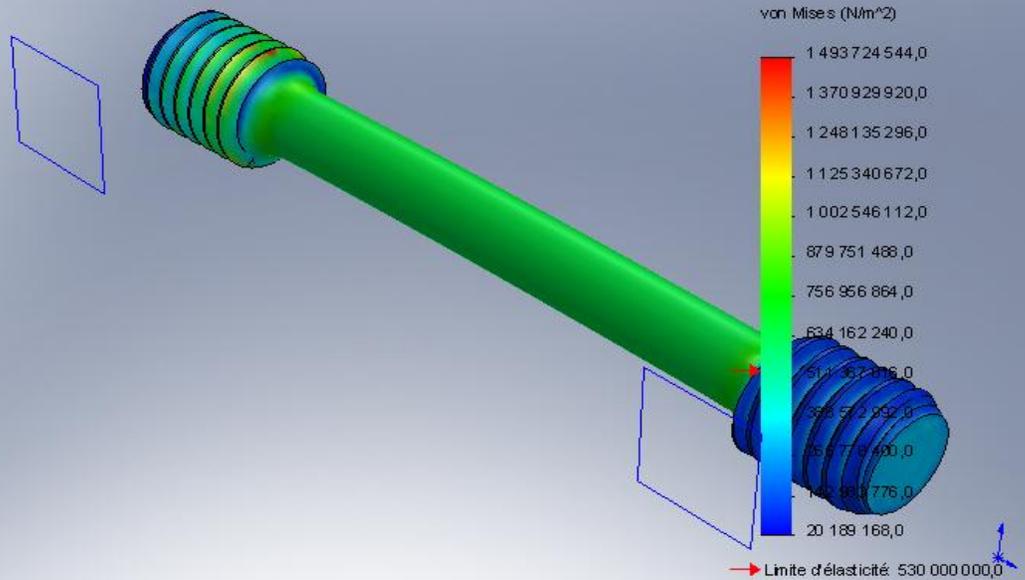
Moments de réaction

Ensemble de sélections	Unités	Somme X	Somme Y	Somme Z	Résultante
Modèle entier	N·m	0	0	0	0

Résultats de l'étude

Nom	Type	Min	Max
Contraintes1	VON: contrainte de von Mises	2.01892e+007 N/m ² Noeud: 13977	1.49372e+009 N/m ² Noeud: 10515

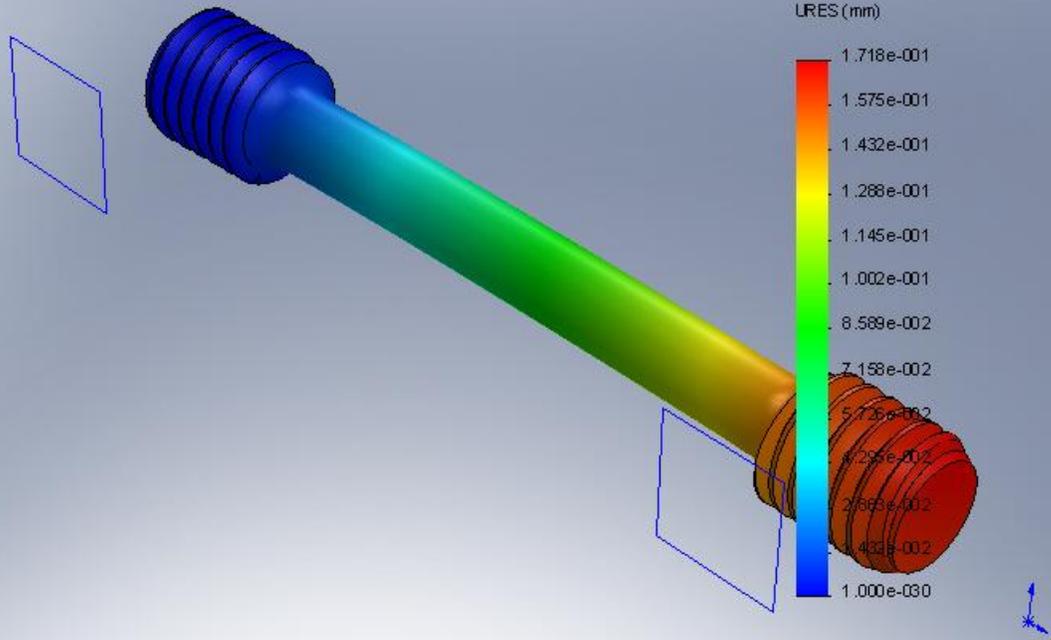
Nom du modèle: Eprouvette CC45
 Nom de l'étude: Etude 4
 Type de tracé: Analyse statique contrainte nodale Contraintes1
 Echelle de déformation: 38.2815



Version Education. Pour l'enseignement uniquement
 Eprouvette CC45-Etude 2-Contraintes-Contraintes1

Nom	Type	Min	Max
Déplacements1	URES: Déplacement résultant	0 mm Noeud: 307	0.17179 mm Noeud: 10047

Nom du modèle: Eprouvette CC45
 Nom de l'étude: Etude 4
 Type de tracé: Déplacement statique Déplacements1
 Echelle de déformation: 38.2815

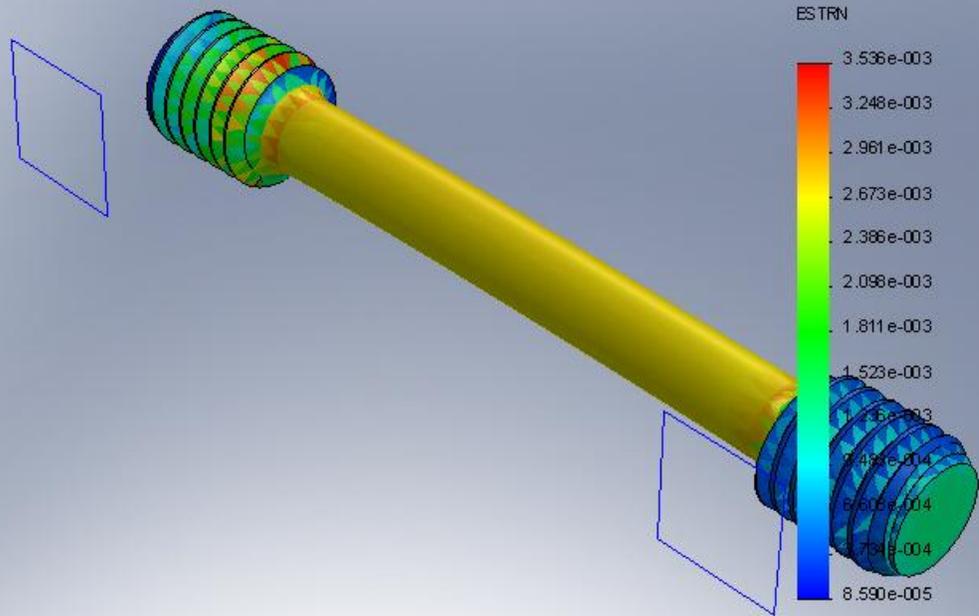


Version Education. Pour l'enseignement uniquement

Eprouvette CC45-Etude 2-Déplacements-Déplacements1

Nom	Type	Min	Max
Déformations1	ESTRN: Déformation équivalente	8.58985e-005 Elément: 4174	0.0035356 Elément: 4503

Nom du modèle: Epreuve CC45
 Nom de l'étude: Etude 4
 Type de tracé: Déformation statique Déformations1
 Echelle de déformation: 38.2815



Version Education. Pour l'enseignement uniquement

Epreuve CC45-Etude 2-Déformations-Déformations1

Nom	Type
Déplacements1{1}	Modèle déformé

Nom du modèle: Epreuve CC45
 Nom de l'étude: Etude 4
 Type de tracé: Modèle déformé Déplacements1{1}
 Echelle de déformation: 38.2815



Version Education. Pour l'enseignement uniquement

Epreuve CC45-Etude 2-Déplacements-Déplacements1{1}

Epreuve CC45
 Force de traction
 $F=18369$ N
 Coefficient de sécurité CS

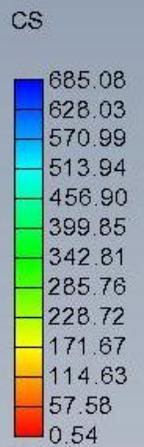
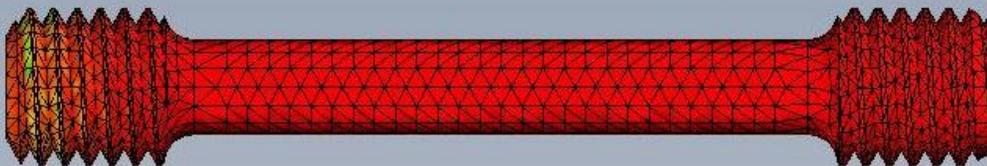
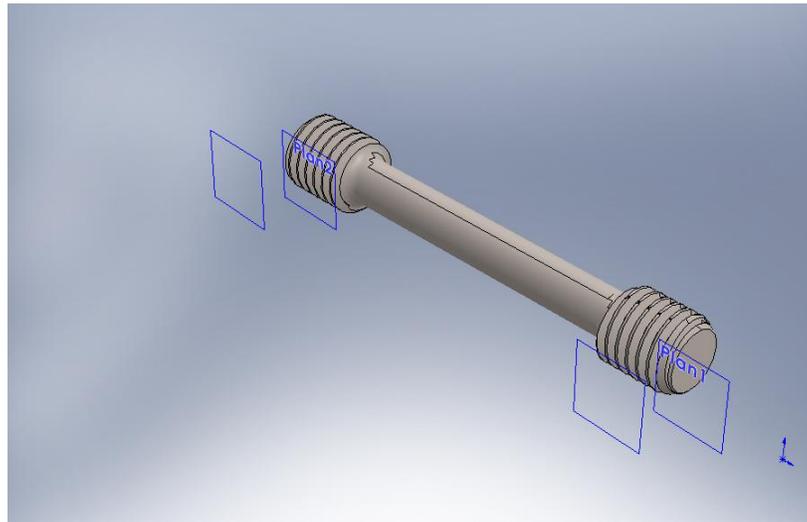


Tableau récapitulatif de la simulation

EPROUVETTE	CC45	
FORCE DE TRACTION	18369N	
Re	530MPa	
Rm	20.19MPa	1493Mpa
Déplacement	0 mm	0.17179 mm
Déformation	0.000085mm	0.0035mm
Coefficient de sécurité	0.54	685



Description

Eprouvette en Acier Allié 100Cr6 (AISI 52100)
 Etude de traction simple dans le domaine élastique

Simulation de Eprouvette 100Cr6 1

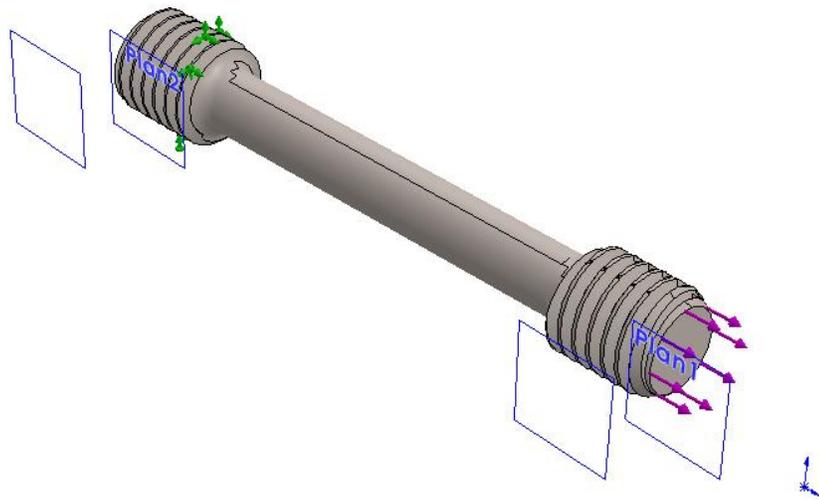
Date: dimanche 8 juin 2014
Concepteur: HASRANE NASSIMA
Nom de l'étude: Etude 1
Type d'analyse: Analyse statique

Table of Contents

Description.....	70
Hypothèses.....	71
Informations sur le modèle	71
Propriétés de l'étude.....	72
Unités.....	72
Propriétés du matériau	73
Actions extérieures.....	74
Définitions des connecteurs	Erreur ! Signet non d
Informations sur le contact	Erreur ! Signet non de
Informations sur le maillage	75
Détails des capteurs	Erreur ! Signet non défini.
Forces résultantes	76
Poutres	Erreur ! Signet non défini.
Résultats de l'étude	77
Conclusion	Erreur ! Signet non défini.

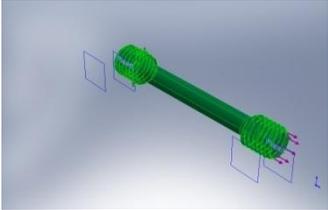
Hypothèses

Informations sur le modèle



Nom du modèle: eprouvette 100Cr6 1

Corps volumiques

Nom du document et référence	Traité comme	Propriétés volumétriques	Chemin/Date de modification du document
Enlèvement de matière- Balayage9 	Corps volumique	Masse:0.0196474 kg Volume:2.55161e-006 m³ Masse volumique:7700 kg/m³ Poids:0.192544 N	C:\SolidWorks Data (3)\CopiedParts\eprouvette 100Cr6 1.SLDPRT Jun 05 12:49:30 2014

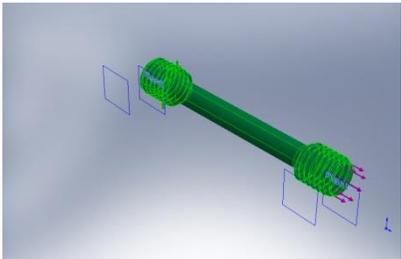
Propriétés de l'étude

Nom d'étude	Etude 1
Type d'analyse	Analyse statique
Type de maillage	Maillage volumique
Effets thermiques:	Activé(e)
Option thermique	Inclure des chargements thermiques
Température de déformation nulle	20° C
Inclure la pression du fluide calculée par SolidWorks Flow Simulation	Désactivé(e)
Type de solveur	FFEPlus
Stress Stiffening:	Désactivé(e)
Faible raideur:	Désactivé(e)
Relaxation inertielle:	Désactivé(e)
Options de contact solidaire incompatible	Automatique
Grand déplacement	Désactivé(e)
Vérifier les forces externes	Activé(e)
Friction	Désactivé(e)
Méthode adaptative:	Désactivé(e)
Dossier de résultats	Document SolidWorks (C:\SolidWorks Data (3)\CopiedParts)

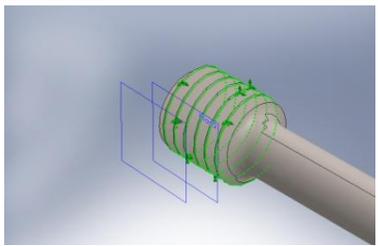
Unités

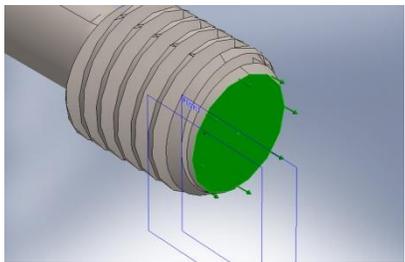
Système d'unités:	SI (MKS)
Longueur/Déplacement	mm
Température	°C
Vitesse angulaire	Rad/sec
Pression/Contrainte	N/m ²

Propriétés du matériau

Référence du modèle	Propriétés	Composants
	<p>Nom: Acier allié</p> <p>Type de modèle: Linéaire élastique isotropique</p> <p>Critère de ruine par défaut: Contrainte de von Mises max.</p> <p>Limite d'élasticité: 6.20422e+008 N/m²</p> <p>Limite de traction: 7.23826e+008 N/m²</p> <p>Module d'élasticité: 2.1e+011 N/m²</p> <p>Coefficient de Poisson: 0.28</p> <p>Masse volumique: 7700 kg/m³</p> <p>Module de cisaillement: 7.9e+010 N/m²</p> <p>Coefficient de dilatation thermique: 1.3e-005 /Kelvin</p>	<p>Corps volumique 1(Enlèvement de matière-Balayage9)(eprouvette 100Cr6 1)</p>
Données de la courbe:N/A		

Actions extérieures

Nom du déplacement imposé	Image du déplacement imposé	Détails du déplacement imposé		
Fixe-1		Entités: 1 arête(s) Type: Géométrie fixe		
Forces résultantes				
Composants	X	Y	Z	Résultante
Force de réaction(N)	-19751.3	10.853	-3.99474	19751.3
Moment de réaction(N·m)	0	0	0	0

Nom du chargement	Image du chargement	Détails du chargement
Force-1		Entités: 1 face(s) Type: Force normale Valeur: -19782 N

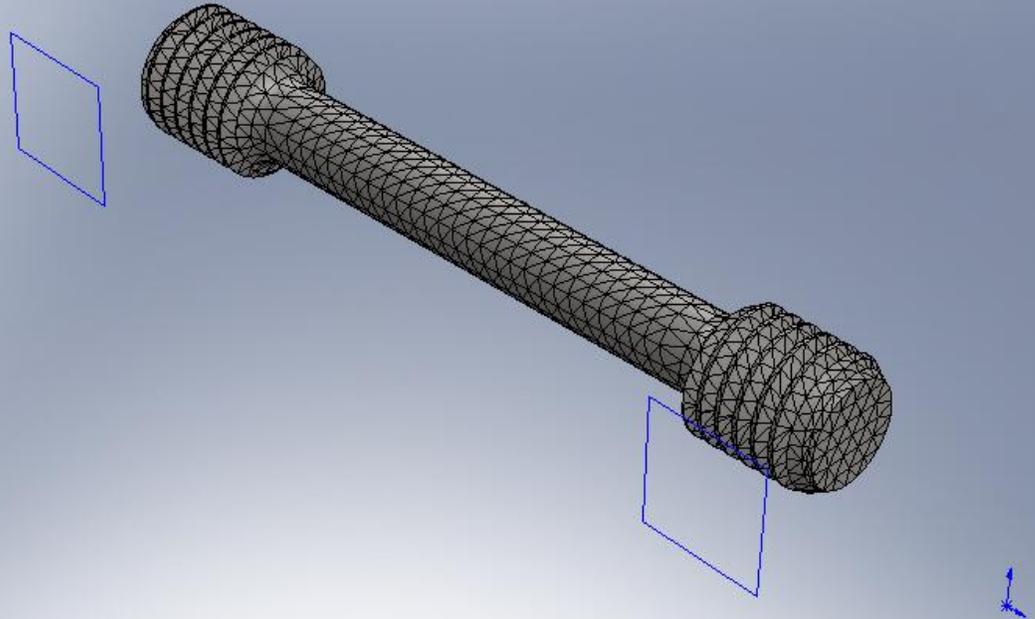
Informations sur le maillage

Type de maillage	Maillage volumique
Mailleur utilisé:	Maillage standard
Transition automatique:	Désactivé(e)
Boucles automatiques de maillage:	Désactivé(e)
Points de Jacobien	4 Points
Taille d'élément	1.36704 mm
Tolérance	0.0683522 mm
Qualité de maillage	Haute

Informations sur le maillage - Détails

Nombre total de noeuds	16206
Nombre total d'éléments	9705
Aspect ratio maximum	21.529
% d'éléments ayant un aspect ratio < 3	86.8
% d'éléments ayant un aspect ratio > 10	0.495
% d'éléments distordus (Jacobian)	0
Durée de création du maillage (hh;mm;ss):	00:00:04
Nom de l'ordinateur:	ISRA2013

Nom du modèle: eprouvette 100Cr6 1
 Nom de l'étude: Etude 3
 Type de maillage: Maillage volumique



Version Education. Pour l'enseignement uniquement

Forces résultantes

Forces de réaction

Ensemble de sélections	Unités	Somme X	Somme Y	Somme Z	Résultante
Modèle entier	N	-19751.3	10.853	-3.99474	19751.3

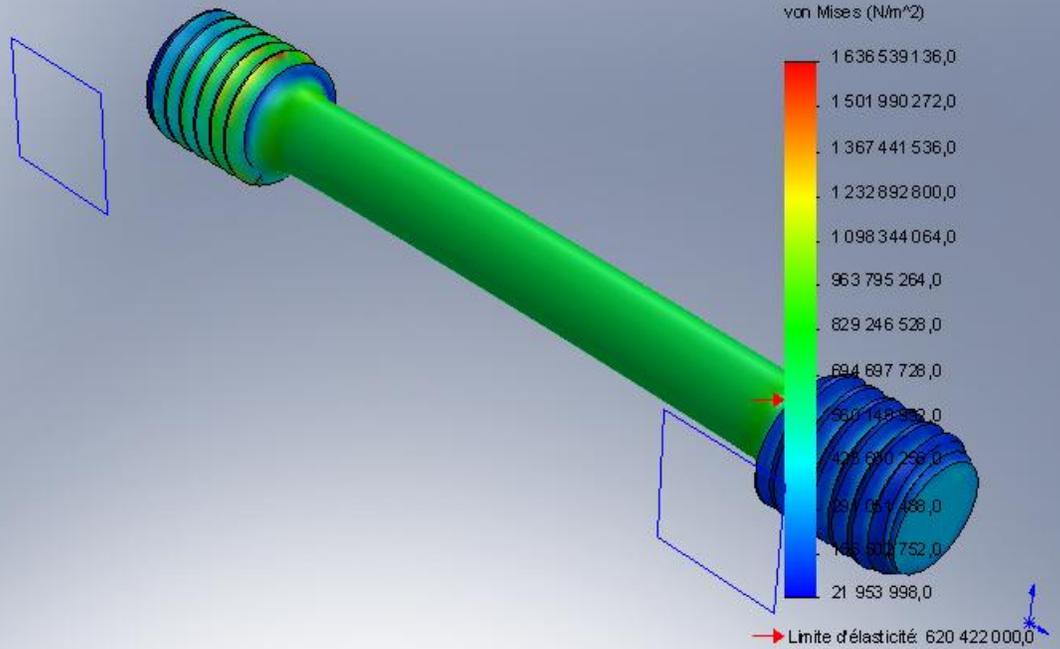
Moments de réaction

Ensemble de sélections	Unités	Somme X	Somme Y	Somme Z	Résultante
Modèle entier	N·m	0	0	0	0

Résultats de l'étude

Nom	Type	Min	Max
Contraintes1	VON: contrainte de von Mises	2.1954e+007 N/m ² Noeud: 13977	1.63654e+009 N/m ² Noeud: 10515

Nom du modèle: eprouvette 100Cr6 1
 Nom de l'étude: Etude 3
 Type de tracé: Analyse statique contrainte nodale Contraintes1
 Echelle de déformation: 36.3917

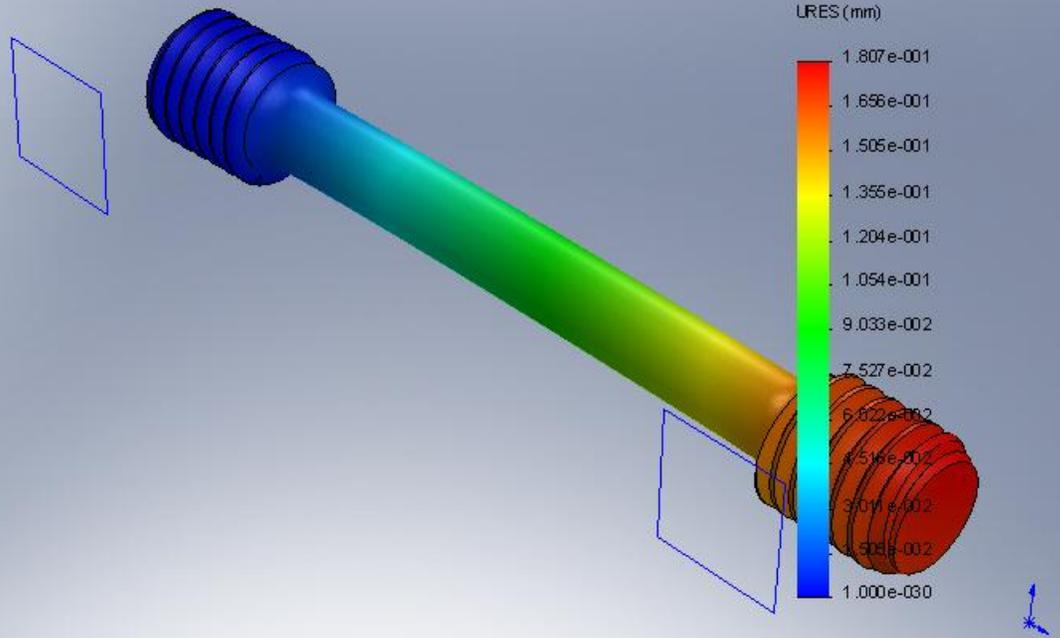


Version Education. Pour l'enseignement uniquement

eprouvette 100Cr6 1-Etude 1-Contraintes-Contraintes1

Nom	Type	Min	Max
Déplacements1	URES: Déplacement résultant	0 mm Noeud: 307	0.180657 mm Noeud: 10047

Nom du modèle: eprouvette 100Cr6 1
 Nom de l'étude: Etude 3
 Type de tracé: Déplacement statique Déplacements1
 Echelle de déformation: 36.3917

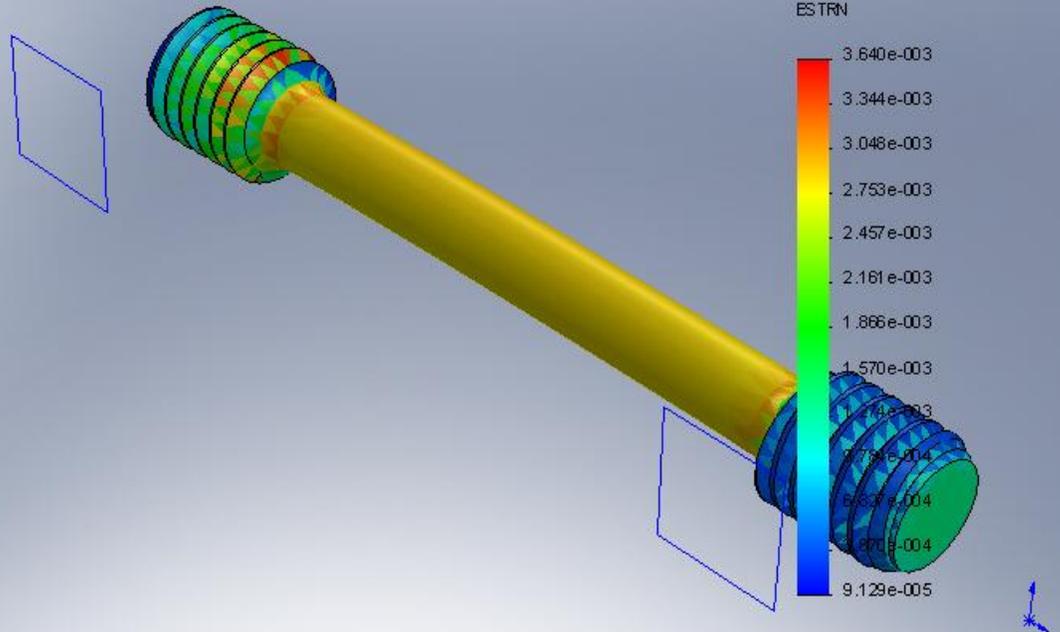


Version Education. Pour l'enseignement uniquement

eprouvette 100Cr6 1-Etude 1-Déplacements-Déplacements1

Nom	Type	Min	Max
Déformations1	ESTRN: Déformation équivalente	9.1285e-005 Elément: 4174	0.00363974 Elément: 4503

Nom du modèle: eprouvette 100Cr6 1
 Nom de l'étude: Etude 3
 Type de tracé: Déformation statique Déformations1
 Echelle de déformation: 36.3917

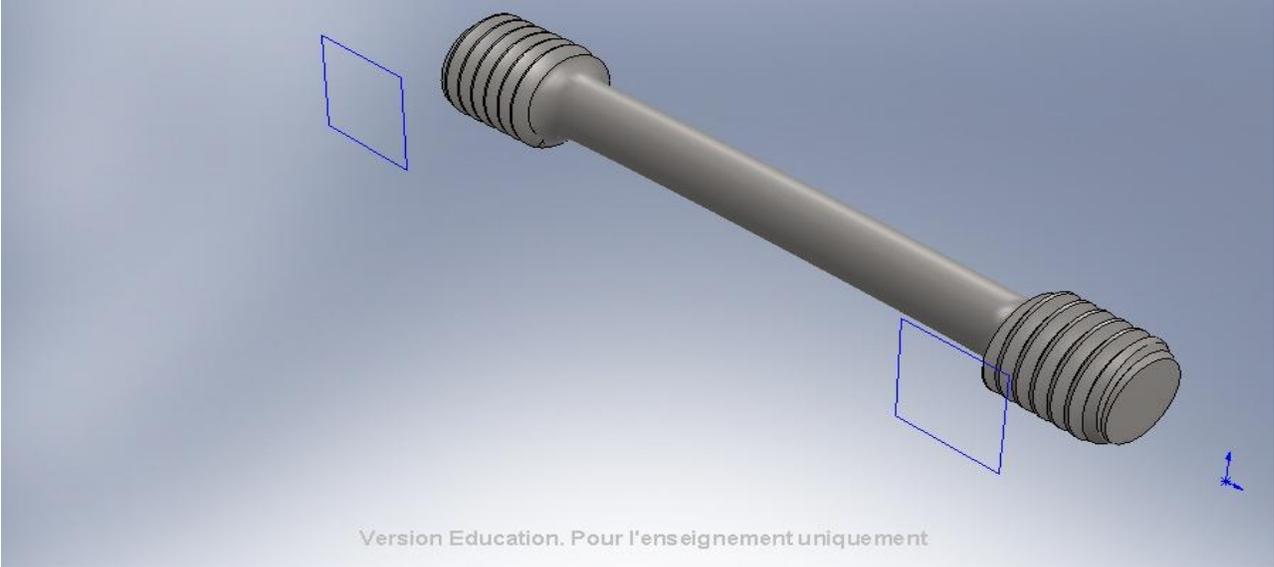


Version Education. Pour l'enseignement uniquement

eprouvette 100Cr6 1-Etude 1-Déformations-Déformations1

Nom	Type
Déplacements1{1}	Modèle déformé

Nom du modèle: eprouvette 100Cr6 1
 Nom de l'étude: Etude 3
 Type de tracé: Modèle déformé Déplacements1{1}
 Echelle de déformation: 36.3917



Version Education. Pour l'enseignement uniquement

eprouvette 100Cr6 1-Etude 1-Déplacements-Déplacements1{1}

Eprouvette 100Cr6
 Force de traction
 $F=19751\text{ N}$
 Coefficient de
 sécurité CS

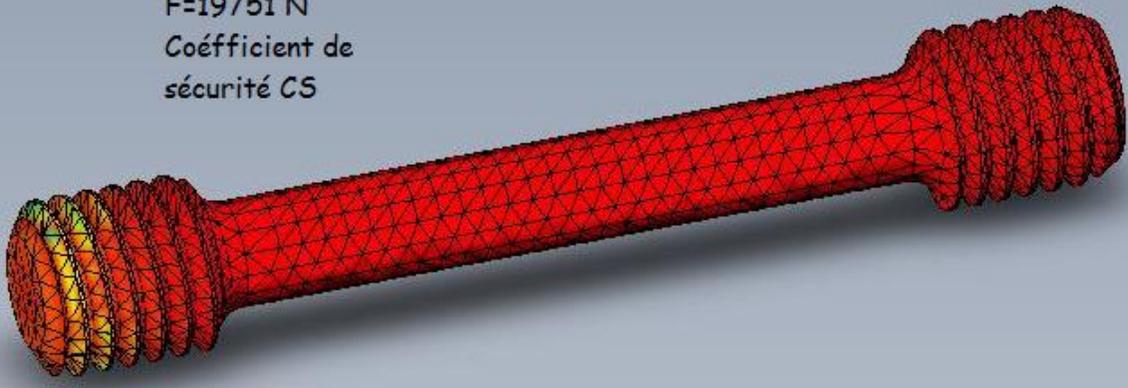


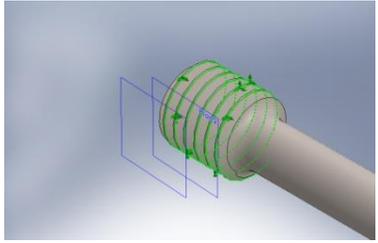
Tableau récapitulatif de la simulation

EPROUVETTE	100Cr6	
FORCE DE TRACTION	19752N	
Re	620MPa	
Rm	22 MPa	1636Mpa
Déplacement	0 mm	0.180657 mm
Déformation	0.000091mm	0.0036mm
Coefficient de sécurité	0.67	711

Eprouvette 100Cr6 1

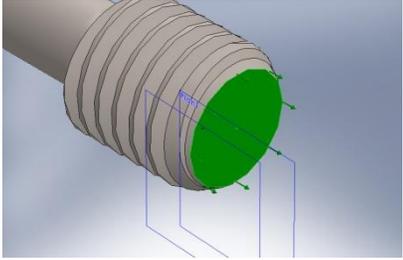
Force F= 22574 N

Actions extérieures

Nom du déplacement imposé	Image du déplacement imposé	Détails du déplacement imposé
Fixe-1		Entités: 1 arête(s) Type: Géométrie fixe

Forces résultantes

Composants	X	Y	Z	Résultante
Force de réaction(N)	-22573	12.4035	-4.56549	22573
Moment de réaction(N·m)	0	0	0	0

Nom du chargement	Image du chargement	Détails du chargement
Force-1		Entités: 1 face(s) Type: Force normale Valeur: -22608 N

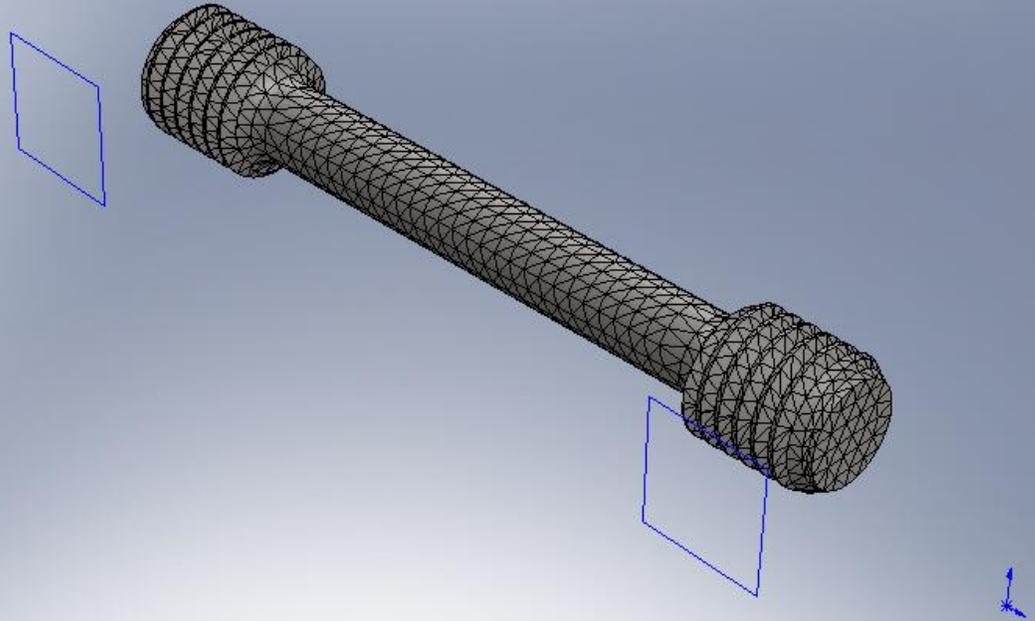
Informations sur le maillage

Type de maillage	Maillage volumique
Mailleur utilisé:	Maillage standard
Transition automatique:	Désactivé(e)
Boucles automatiques de maillage:	Désactivé(e)
Points de Jacobien	4 Points
Taille d'élément	1.36704 mm
Tolérance	0.0683522 mm
Qualité de maillage	Haute

Informations sur le maillage - Détails

Nombre total de noeuds	16206
Nombre total d'éléments	9705
Aspect ratio maximum	21.529
% d'éléments ayant un aspect ratio < 3	86.8
% d'éléments ayant un aspect ratio > 10	0.495
% d'éléments distordus (Jacobian)	0
Durée de création du maillage (hh:mm:ss):	00:00:05
Nom de l'ordinateur:	ISRA2013

Nom du modèle: eprouvette 100Cr6 1
 Nom de l'étude: Etude 4
 Type de maillage: Maillage volumique



Version Education. Pour l'enseignement uniquement

Forces résultantes

Forces de réaction

Ensemble de sélections	Unités	Somme X	Somme Y	Somme Z	Résultante
Modèle entier	N	-22573	12.4035	-4.56549	22573

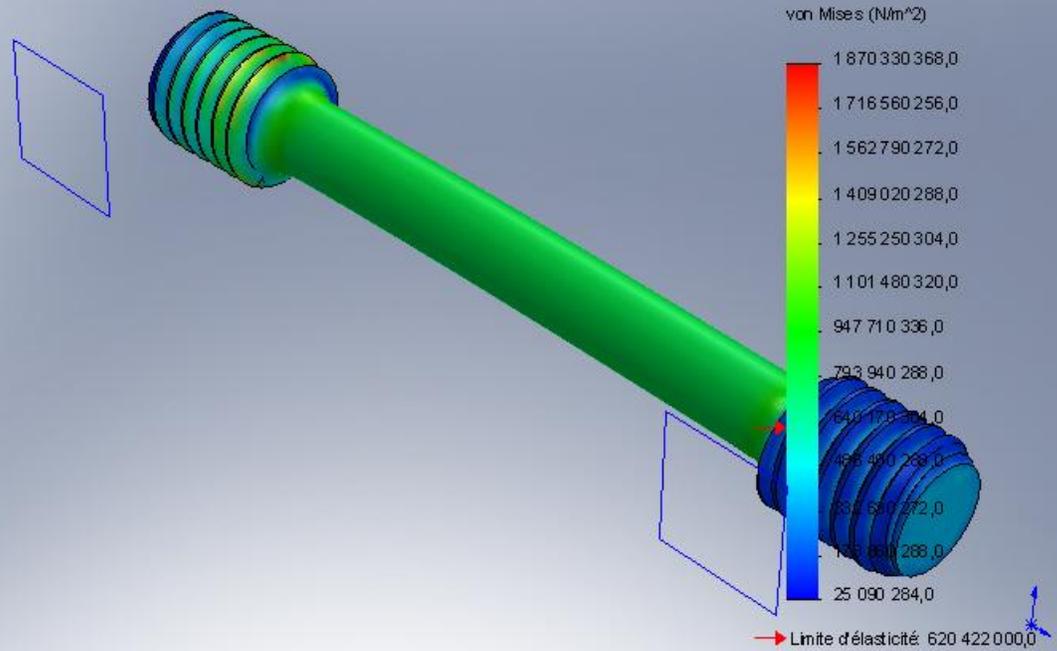
Moments de réaction

Ensemble de sélections	Unités	Somme X	Somme Y	Somme Z	Résultante
Modèle entier	N·m	0	0	0	0

Résultats de l'étude

Nom	Type	Min	Max
Contraintes1	VON: contrainte de von Mises	2.50903e+007 N/m ² Noeud: 13977	1.87033e+009 N/m ² Noeud: 10515

Nom du modèle: eprouvette 100Cr6 1
 Nom de l'étude: Etude 4
 Type de tracé: Analyse statique contrainte nodale Contraintes1
 Echelle de déformation: 31.8427

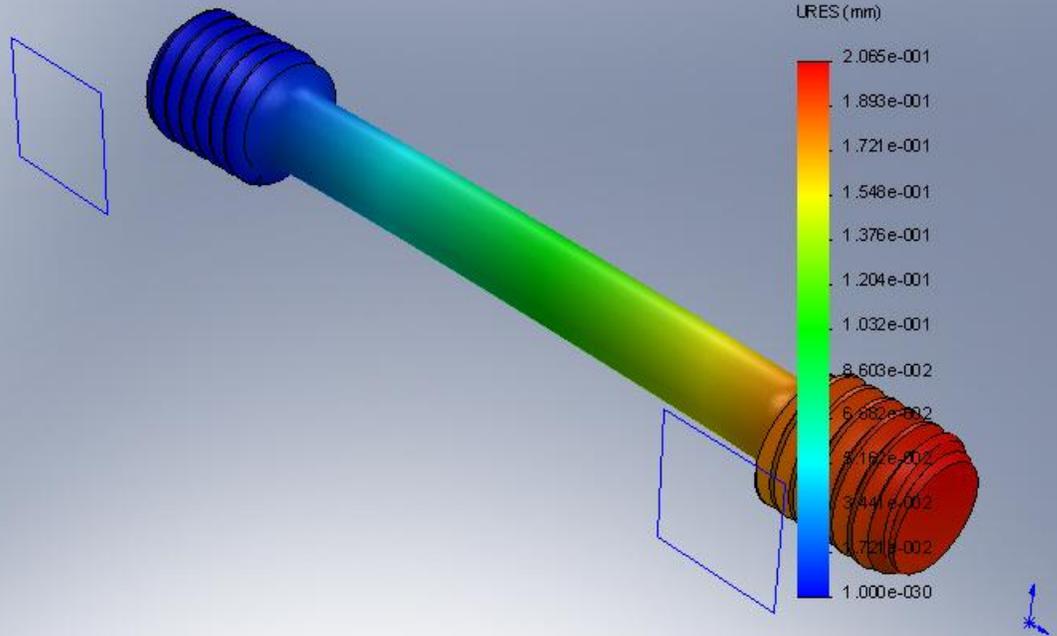


Version Education. Pour l'enseignement uniquement

eprouvette 100Cr6 1-Etude 4-Contraintes-Contraintes1

Nom	Type	Min	Max
Déplacements1	URES: Déplacement résultant	0 mm Noeud: 307	0.206465 mm Noeud: 10047

Nom du modèle: eprouvette 100Cr6 1
 Nom de l'étude: Etude 4
 Type de tracé: Déplacement statique Déplacements1
 Echelle de déformation: 31.8427

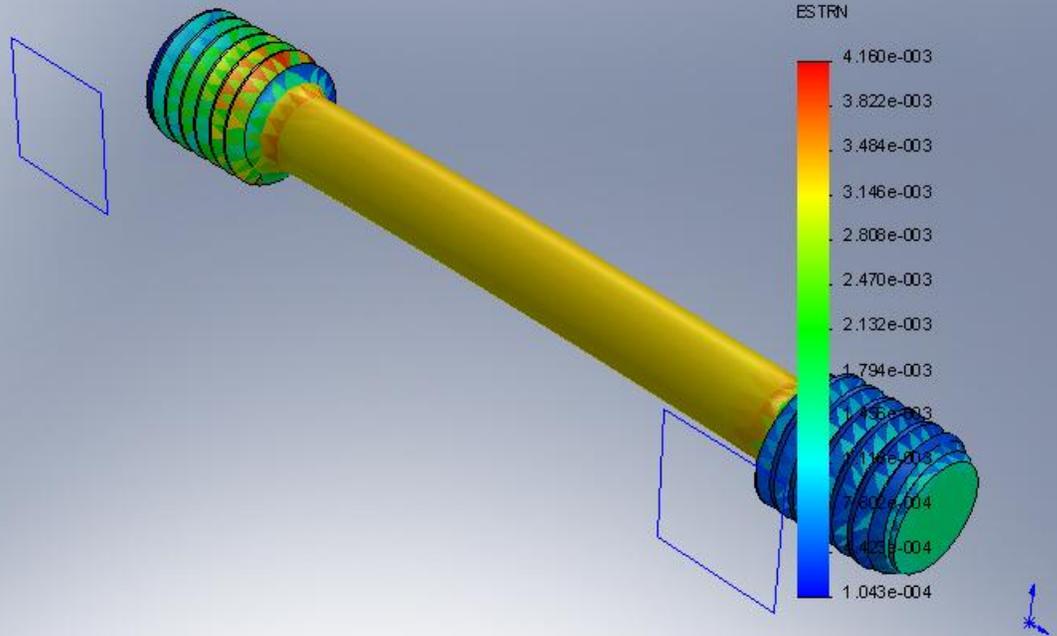


Version Education. Pour l'enseignement uniquement

eprouvette 100Cr6 1-Etude 4-Déplacements-Déplacements1

Nom	Type	Min	Max
Déformations1	ESTRN: Déformation équivalente	0.000104326 Elément: 4174	0.00415971 Elément: 4503

Nom du modèle: eprouvette 100Cr6 1
 Nom de l'étude: Etude 4
 Type de tracé: Déformation statique Déformations1
 Echelle de déformation: 31.8427

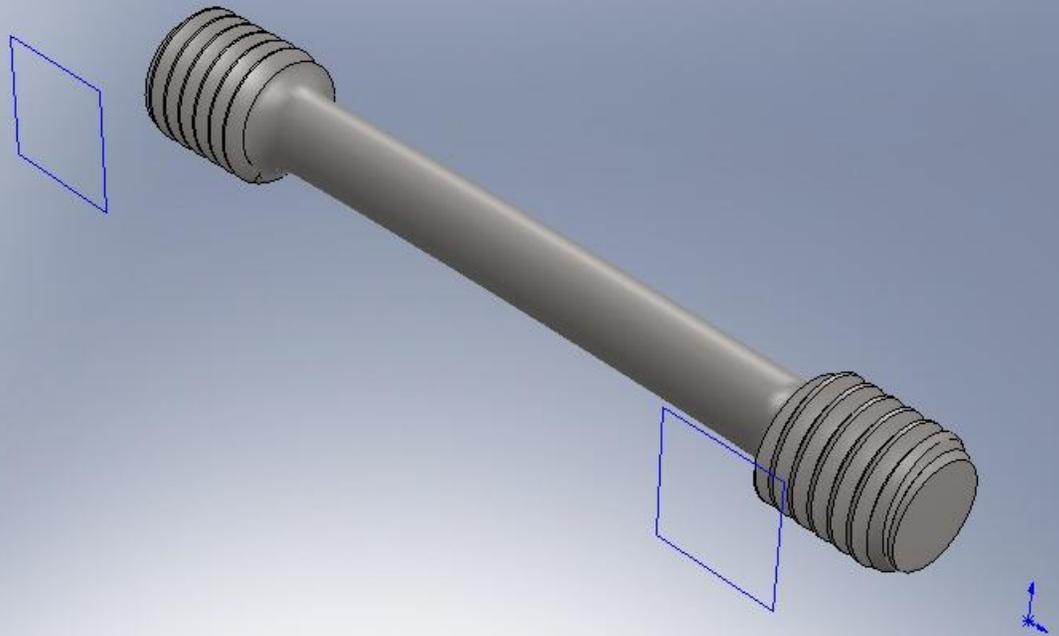


Version Education. Pour l'enseignement uniquement

eprouvette 100Cr6 1-Etude 4-Déformations-Déformations1

Nom	Type
Déplacements1{1}	Modèle déformé

Nom du modèle: eprouvette 100Cr6 1
 Nom de l'étude: Etude 4
 Type de tracé: Modèle déformé Déplacements1{1}
 Echelle de déformation: 31.8427



Version Education. Pour l'enseignement uniquement

eprouvette 100Cr6 1-Etude 4-Déplacements-Déplacements1{1}

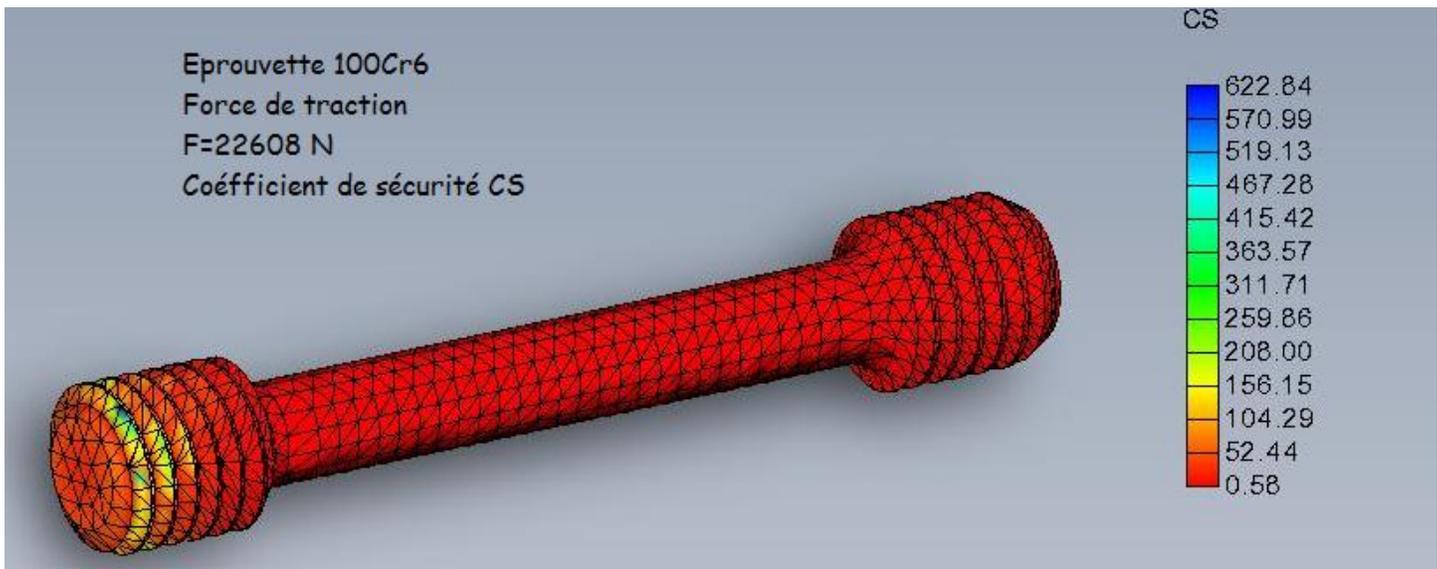


Tableau récapitulatif de la simulation

EPROUVETTE	100Cr6	
FORCE DE TRACTION	22608N	
Re	620MPa	
Rm	25 MPa	1870 Mpa
Déplacement	0 mm	0.206465 mm
Déformation	0.000104 mm	0.00416 mm
Coefficient de sécurité	0.58	622

Conclusion

La simulation numérique par le logiciel solid works permet d'étudier le comportement du matériau sous diverses sollicitations mécaniques. Elle permet de donner une appréciation très rapide sur le choix des dimension des piece constituent le mécanisme.

L'étude du comportement en traction que nous avons realize par le logiciel permet de réduire considérablement le nombre d'essais de traction que l'on doit réaliser sur les éprouvettes pour avoir des valeurs fiables necessaries pour le dimensionnement des pieces.

Conclusion générale

A l'issue de cette étude expérimentale que nous avons réalisée sur deux aciers très employés en construction mécanique, nous pouvons affirmer que la caractérisation mécanique d'un matériau nécessite l'emploi de moyens matériels adéquats.

Malheureusement la disponibilité de ces moyens nous a fait défaut et nous a obligé de nous orienter vers la simulation numérique pour étudier certains comportements du matériau.

L'étude expérimentale que nous avons menée est basée sur le traitement thermique des aciers étudiés, la mesure de la dureté et l'étude de la microstructure.

L'objectif est donc de pouvoir déterminer les valeurs des contraintes des aciers avant et après traitements thermiques (Recuit, trempe, revenu) . Nous avons aussi pu montrer que la contrainte R_m des deux aciers a augmenté. L'acier 100Cr6 trempé à l'huile a atteint une dureté de 60HRC avec une structure martensitique plus dure mais plus fragile ($K_{V_{acier\ recuit}} > K_{V_{acier\ trempé}}$). Nous avons aussi montré que le revenu à haute température (630°C) diminue la dureté et améliore la résilience de l'acier.

Notre étude est aussi basée sur la simulation numérique en traction simple (Quasi-statique) sur des éprouvettes de traction normalisées et modélisées par le logiciel Solidworks.

Cette étude nous a permis de déterminer la valeur de la contrainte à la limite élastique R_e , la contrainte maximale R_m , les différents déplacements, et les déformations.

Nous avons souhaité que notre étude soit enrichie par des essais pratiques en traction et de résilience pour comparer les résultats obtenus avec la simulation numérique.

LISTE DES FIGURES

I. Étude bibliographique

Chapitre 1

Figure 1.1 : les familles des matériaux.

Figure 1.2 : Pièces en matériaux métalliques..

Figure 1.3 : matériaux organiques.

Figure 1.4 : Pièces en matériaux céramiques.

Figure 1.5 : matériaux thermoplastiques.

Figure 1.6 : Pièces en matériaux thermodurcissable.

Figure 1.7 : Pièces en matériaux élastomères.

Figure 1.8 : Emploi des matériaux composites.

Figure 1.9 : Pièces en matériaux semi-conducteurs.

Figure 1.10 : Pièces en biomatériaux.

Chapitre 2

Figure 2.1: Essai de traction.

Figure 2.2 : Essai de compression sur une éprouvette de béton

Figure 2.3 : Essai de Torsion.

Figure 2.4 : Essai de Flexion.

Figure 2.5 : courbe d'un essai de traction.

Figure 2.6 : le principe du coefficient de poisson.

Figure 2.7 : Schéma de la machine de l'essai de compression.

Figure 2.8 : Schéma d'éprouvette soumise à deux forces de compression.

Figure 2.9 : Schéma d'éprouvettes de résilience entaillée en V et en U.

Figure 2.10 : Machine de l'essai de résilience.

Figure 2.11 : vue 3D des éprouvettes de l'essai de résilience.

Figure 2.12 : Vue 3D de l'éprouvette de l'essai de fatigue.

Figure 2.13 : Courbe de Wöhler.

Chapitre 4

Figure 4.1 : machine de traction.

Figure 4.2 : Eprouvettes de l'essai de traction.

Figure 4.3 : Le Principe de l'essai de traction.

Figure 4.4 : Courbe de traction.

Figure 4.5 : le principe de déterminer $R_{p0.2}$.

Figure 4.6 : Machine de dureté (Duromètre).

Figure 4.7 : principe de l'essai de dureté brinell.

Figure 4.8 : Principe de l'essai Rockwell avec cône.

Figure 4.9 : Principe de l'essai Rockwell avec bille.

Figure 4.10 : principe de l'essai Vickers.

Figure 4.11 : résumé des principaux essais de dureté.

Chapitre 5

Figure 5.1 : Les procédés des traitements thermiques.

Figure 5.2 : Les différents types de traitement thermique.

Figure 5.3 : Domaines des températures, pour les différents traitements

Thermiques Des aciers au carbone.

Figure 5.4: Domaine de température de la trempe et revenue.

II. Partie expérimentale

Figure II.1 : Duromètre indentec (modèle 8187.5 LKV).

Figure II.2: Four Furnaces 48000.

Figure II.3: Microscope métallographique.

Figure II.4: Polisseuse Struers planopol_v

Figure II.5 : échantillons d'acier CC45.

Figure II.6 : échantillons d'acier 100Cr6.

Figure II.7: Vue 3D de l'éprouvette de traction en 100Cr6.

Figure II.8 : Vue 3D de l'éprouvette de résilience.

Figure II.9 : 100Cr6 recuit X50.

Figure II.10 : 100Cr6 trempé X1000

Figure II.11 : 100Cr6 revenu à 630°C réduction de la grosseur des grains (Austénite+ Cémentite)

Figure II.12 : CC45 recuit X100.

Figure II.13 : CC45 trempé X200.

LISTE DES TABLEAUX

CHAPITRE 1

Tableau 1.1: quelques matériaux thermoplastiques.

Tableau 1.2 : quelques matériaux thermodurcissables.

CHAPITRE 2

Tableau 2.1 : Classification des essais mécaniques.

Tableau 2.2 : Valeur de l'essai de dureté Brinell pour certain matériaux.

Tableau 2.3: caractérisation mécanique d'un acier.

CHAPITRE 3

Tableau 3.1: Désignation de l'acier CC45 selon les normes.

Tableau 3.2 : Composition chimique de l'acier CC45.

Tableau 3.3 : Caractéristiques mécaniques de l'acier CC45.

Tableau 3.4 : Désignation de l'acier 100Cr6 selon les normes.

Tableau 3.5 : Composition chimique de l'acier 100Cr6.

Tableau 3.6 : Caractéristiques mécaniques de l'acier 100Cr6.

CHAPITRE 4

Tableau 4.1: calcul de la dureté Rockwell.

Tableau 4. 2: Table de conversion.

Notation

Nous donnons ci-dessous les principales notations utilisées dans ce mémoire.

Grandeur	Désignation	Unité
σ	Contrainte.	MPa
F	Force.	N
S_0	Surface.	mm ²
E	Module de Young.	MPa
ε	Déformation.	mm
Re	Limite élastique.	MPa
Rm	Résistance maximale.	MPa
A%	Allongement à la rupture.	%
ν	Coefficient de poisson.	/
Z%	Striction à la rupture.	%
Rp0,2	Limite élastique à 0,2%.	MPa
KCU	Résilience pour l'éprouvette à entaille en U.	J.cm ²
KCV	Résilience pour l'éprouvette à entaille en V.	J.cm ²
W	Énergie observée.	J
σ_D	Limite de fatigue.	MPa
$\sigma_D(NF)$	Limite d'endurance.	MPa
HB	Dureté Brinell.	
HR	Dureté Rockwell.	
Hv	Dureté Vickers.	

REFERENCE BIBLIOGRAPHIE

- [1] WILLIAM D .CALLISTER, Jr 1940 Science et génie des matériaux.
- [2] Cours propriétés des matériaux. M. Benghersallah. 2012/2013
- [3] NGUIBERT-Cap1-caractérisation d'un matériau 2012 PPT Adobe Acrobat Document.
- [4] SANDRINE BEAUQUIS. Cours de propriétés mécaniques des matériaux Introduction aux propriétés mécaniques des matériaux Adobe Acrobat Document.
- [5] BERNARD DUFOUR : Caractéristiques-matériaux Adobe Acrobat document.
- [6] Cours – essai de compression .doc Adobe Acrobat document.
- [7] Caractérisation Adobe Acrobat document.
- [8] JfK-DIMOC45-f.doc Adobe Acrobat document.
- [9] LUC BOCHYSKI-100C6.doc Adobe Acrobat document.
- [10] BAEHREL essai mécanique Adobe Acrobat document.
- [11] Conversion duretés Adobe Acrobat document.
- [12] ADMINISTRATEUR –JUST .DOC Adobe Acrobat document.
- [13] TRANSVALOR PARTIE-8-traitement –thermique Adobe Acrobat document.
- [14] FREDERIC Dio logent-F Traitement thermique.doc Adobe Acrobat document.
- [15] SOLIDWORKS 2013 Version éducation.