

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET  
POPULAIRE**  
**Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche  
Scientifique**  
**Université Mouloud MAMMARI de Tizi-Ouzou**  
**Faculté de Génie de la Construction**  
**Département de Génie Mécanique**



**En vue de l'obtention du diplôme**

**De Master Professionnel**

**Option : Fabrication Mécanique et Productique**

**Thème**

**Conception et réalisation d'une cellule  
chauffante adaptée pour la machine de  
traction**

*Proposé par :*

**M<sup>r</sup> : NECHICHE**

*Réalisé par :*

**M<sup>r</sup> . CHERIFI MD AREZKI**

**M<sup>r</sup> . MISSOUM MOULOUD**

**Promotion :  
2014/2015**

# REMERCIEMENTS

*C'est à Dieu, que nous adressons toute notre gratitude en premier lieu.*

*Nos remerciements, les plus vifs, et nos respects s'adressent à notre promoteur Monsieur NECHICHE, pour avoir accepté de nous encadrer.*

*Nous tenons à remercier vivement toutes les personnes qui nous ont aidés à réaliser ce travail.*

*Nos remerciements vont aussi à tous les enseignants de Génie mécanique qui ont contribué à notre formation.*

*Aussi, nous tenons à exprimer notre reconnaissance à tous nos amis et collègues pour tout leur soutien.*

*A toutes et à tous, merci.*

# Dédicaces

**Ce travail est dédié à nos chers  
parents**

**A nos frères, et surtout à nos  
sœurs KATIA et NAWEL**

**A nos familles, nos amis et  
camarades**

## Sommaire

Liste des figures .....	I
Liste des tableaux .....	II
Introduction générale.....	1

### Chapitre I : Généralités sur le comportement mécanique des matériaux

I. Caractéristique et choix des matériaux pour la conception mécanique .....	3
II. Généralités sur le comportement mécanique des matériaux.....	3
III. Comportement mécanique des matériaux à différentes température .....	4
IV. Techniques de caractérisation mécanique des matériaux.....	5
V. Quelques types d'essais mécaniques .....	6
V.1. Essai de dureté.....	6
V.2. Essai de flexion .....	6
V.3. Essai de cisaillement .....	6
V.4. Essai de compression .....	6
V.5. Essai de traction.....	7
a) Historique .....	7
b) Courbe de traction .....	8
c) Description d'une machine de traction.....	11
d) Définition de l'éprouvette.....	12
e) Types d'éprouvettes.....	13

## Chapitre II : Généralités sur la conception et la réalisation d'un système mécanique

I.1. Définition de la conception d'un produit	15
a) Phase d'intelligence .....	16
b) Phase de conception .....	216
c) La phase de choix .....	16
I.2. Etape d'élaboration d'un produit .....	16
a) Etape de conception .....	16
b) Etape de production .....	17
c) Etape du marché .....	17
I.3. Méthodes de conception et réalisation d'un système .....	17
a) La méthode simple .....	18
b) Le cycle en V .....	18
c) La méthode d'amélioration .....	19
II. Analyse fonctionnelle .....	20
II.1. Concept de base pour la réussite de l'analyse fonctionnelle .....	21
II.2. Condition d'existence d'un produit .....	22
III. Cahier des charges fonctionnel .....	24
III.1. Définition .....	24
III.2. Elément constitutifs d'un CdCF .....	24
IV. Elaboration du CdCF .....	25



## **Chapitre IV : Mise en fonctionnement de la cellule chauffante**

I. Matériaux utilisés pour l'essai de traction .....	44
I.1. Essai de traction à froid.....	44
I.2. Essai de traction à chaud.....	45
<b>Conclusion générale .....</b>	<b>49</b>
<b>Dessins de conception.....</b>	<b>III</b>
<b>Bibliographie.</b>	

## LISTE DES FIGURES

<b>Figure</b>	<b>Titre</b>	<b>Pages</b>
Fig.1	Dessin de Gallilé illustrant les essais de traction en flexion	7
Fig.2	Courbe de traction	8
Fig.3	Module de Young	10
Fig.4	Machine de traction	12
Fig.5	Eprouvette de traction	12
Fig.6	Eprouvette plate et cylindrique	13
Fig.7	Etape d'élaboration d'un produit	17
Fig.8	La méthode simple en conception mécanique	18
Fig.9	La méthode en conception de cycle en V	18
Fig.10	La méthode de conception par amélioration	19
Fig.11	Démarche de l'analyse fonctionnelle	20
Fig.12	Diagramme des activités associé au diagramme de donnés	21
Fig.13	Environnement du produit	22
Fig.14	Liens entre le produit et l'environnement	23
Fig.15	Avancement de l'élaboration de cahier des charges	25
Fig.16	Machine de traction	29
Fig.17	Les mors de fixation	30
Fig.18	Pièce fixe du four	32
Fig.19	Pièce mobile du four	32
Fig.20	Vue en perspective de la tige glissière	33
Fig.21	Coque de la partie mobile	33
Fig.22	Coque de la partie fixe	33
Fig.23	Plaque du bas du support de fixation	34
Fig.24	Plaque sur lesquelles seront fixées les deux parties du four	34

Fig.25	Laine d'alumine	35
Fig.26	Brique réfractaire	36
Fig.27	Assemblage de la partie fixe du four	36
Fig.28	Assemblage des tiges-glissière sur la partie fixe du four	37
Fig.29	Assemblage de la partie mobile du four	37
Fig.30	Mise en place des éléments isolants et chauffants	38
Fig.31	Assemblage de la partie mobile avec la partie fixe	38
Fig.32	Montage des éléments en T sur les plaques servant du support de fixation de la cellule chauffante	38
Fig.33	Assemblage des deux parties du support de fixation	39
Fig.34	Assemblage de la cellule chauffante	39
Fig.35	Schéma de connexion des différents composants du système de régulation	42
Fig.36	Cellule monté sur le support de fixation	42
Fig.37	Teste de traction à froid	44
Fig.38	Teste de traction à température	45
Fig.39	Courbe de traction à froid	46
Fig.40	Courbe de traction à chaud	46
Fig.41	Superposition des deux courbes	47

## Liste des tableaux

<b>Tableau</b>	<b>Titre</b>	<b>Pages</b>
Tableau 1	Quelques valeurs usuelles du module de Young	11
Tableau 2	Matériau choisis pour les différentes pièces	40
Tableau 3	Machine et outils utilisés pour l'usinage des différentes pièces	40

# *Introduction générale*

## Introduction générale

La résistance mécanique à température élevée est le critère principal à prendre en compte lors du choix d'un matériau pour des applications à haute température. Ceci d'autant plus que le comportement mécanique de larges gammes de matériaux se trouve très affecté par le paramètre température qui modifie considérablement les équilibres de certaines phases, notamment à l'échelle microstructurale. Ainsi, pour les pièces de moteurs à combustion interne, des turboréacteurs et autres dispositifs fonctionnant à températures élevées, leur dimensionnement se fait en considérant les caractéristiques mécaniques des matériaux d'usage et ce dans les domaines de températures de fonctionnement. De ce fait, les techniques de caractérisation mécanique des matériaux doivent être adaptées aux essais à chaud.

Parmi les essais mécaniques les plus utilisés pour la détermination des caractéristiques mécaniques du matériau, l'essai de traction permet d'accéder à la rigidité du matériau, qui se traduit par le module d'élasticité, la résistance à la rupture, la déformation, l'allongement relatif et la limite élastique. L'usage de certains matériaux pour lesquels les températures de changements de phases ou d'état physique sont relativement basses nécessite, par conséquent, la caractérisation à des températures variables et ce à même de prédire au mieux leur comportement aux températures voulues tout en développant leurs lois de comportement.

C'est dans cette optique que s'inscrit notre projet de fin d'études dont le thème consiste en la conception et la réalisation d'une cellule chauffante adaptée à la machine de traction du laboratoire de Génie mécanique.

Nous nous sommes donc proposé de concevoir et de réaliser une cellule chauffante régulée adaptée pour la machine de traction pour laquelle aucune modification ne sera apportée. Une fois cette cellule chauffante réalisée et sa régulation assurée, deux essais de traction, l'un à température ambiante et l'autre à haute température, seront réalisés pour un matériau dont le choix est dicté par ses propriétés (notamment sa température de fusion) et sa disponibilité. Ce qui nous permettra, outre la mise en application de certaines de nos connaissances en Conception mécanique, de comprendre l'influence de la température sur le comportement mécanique de ce matériau.

Pour exposer l'essentiel de cette étude, nous structurons notre mémoire comme suit :

Une première partie, essentiellement bibliographique, comportant deux chapitres :

Le premier chapitre regroupe des généralités sur le comportement mécanique d'un matériau à différentes températures (basse, ambiante, élevée), sur les techniques de caractérisation du comportement des matériaux, sur l'essai de traction et l'outil utilisé, la machine de traction.

Le deuxième chapitre porte sur la conception et réalisation d'un système mécanique ; notamment sur l'élaboration du cahier des charges et l'analyse fonctionnelle.

Une deuxième partie qui regroupe nos propres résultats ; elle-même divisée en deux chapitre :

Le troisième chapitre présente la conception de notre cellule chauffante ; chapitre dans lequel nous exposons le cahier des charges, la proposition retenue pour la conception, la description de la cellule montée et régulée et de son fonctionnement.

Le quatrième et dernier chapitre dans lequel nous rapportons les résultats de la mise en fonctionnement du dispositif conçu ainsi que les résultats et l'interprétation d'essais de traction réalisés pour l'Alpax à la température ambiante et à 300 °C.

Nous terminons ce mémoire par une conclusion générale et des perspectives.

*Généralités sur le comportement  
mécanique des matériaux*

# Chapitre I

## Généralités sur le comportement mécanique des matériaux

### 1- Caractéristique et choix des matériaux pour la conception mécanique

Le bureau d'études (BE) est confronté aux problèmes du choix des matériaux dans le respect des contraintes imposées par le cahier de charges. Les caractéristiques dépendent de la nature du matériau (métal, polymère, céramique, composite, ...), de sa composition, de sa microstructure, elle-même liée aux conditions d'élaboration et aux traitements effectués lors de la mise en œuvre des pièces. [1]

### 2- Généralités sur le comportement mécanique des matériaux

Le comportement mécanique d'un matériau constitue une réponse à une sollicitation mécanique (contrainte mécanique) appliquée selon un mode bien déterminé. Cette réponse peut être une déformation, qui peut être réversible ou non, une rupture ou cassure (essai à caractère destructif), etc. Le type et le mode de déformation engendrée dépend de l'intensité des contraintes et de ses distributions dans l'espace.

Le comportement mécanique d'un matériau métallique est fonction des forces extérieures appliquées et traduit les évolutions de la cohésion de son édifice cristallin, c'est-à-dire de son comportement à l'échelle microstructural. Pour ce genre de matériaux, les forces qui assurent cette cohésion traduisent la nature des liaisons chimiques entre atomes (liaisons métalliques, ioniques, covalentes, etc) ainsi que la géométrie, à l'échelle du cristal, de l'édifice cristallin (type de maille cristalline, taille des cristallites et grains, défauts cristallins, etc.).

Les propriétés mécaniques d'un matériau sont déterminées au moyen d'essais normalisés. Les mesures sont donc effectuées sur des éprouvettes normalisées prélevées dans le matériau à tester. Ces propriétés mécaniques dépendent des conditions d'utilisation ; le paramètre le plus influent étant la température vu que toute variation influe sur l'état d'équilibre thermodynamique des phases (à l'échelle microstructurale) et engendre donc un changement dans le comportement mécanique du matériau. Par ailleurs, comme les propriétés mécaniques, les propriétés physiques (thermiques,

électroniques, magnétiques), chimiques (de réactivité et de dégradation) de la quasi-totalité des matériaux dépendent de leur composition chimique, de leur structure cristalline, des interactions au niveau atomique et sont fortement influencées par la variation de la température.

### 3- Comportement mécanique des matériaux à différentes températures

Comme nous venons de le citer plus haut, divers facteurs influencent les propriétés mécaniques des matériaux ; les deux plus importants sont la température et la microstructure. Le concept de haute ou de basse température qui joue un rôle important en science des matériaux est un concept lié aux points de fusion et à la vitesse de réorganisation des atomes induite par l'agitation thermique.

Aux basses températures, il existe deux grands types de déformation : la déformation élastique et la déformation plastique.

La déformation élastique caractérise le comportement des matériaux dans les conditions normales d'utilisation. Par contre, durant la mise en forme, la limite élastique est toujours dépassée, la capacité de déformation plastique, appelée ductilité, joue un rôle important dans le formage des matériaux.

Les propriétés en traction à température ambiante de la plupart des matériaux de structure sont peu dépendante du temps. A haute température, d'autres mécanismes de déformation, non observés aux basses températures, peuvent être mis en jeu. En effet, de nouveaux systèmes de glissement sont éventuellement activés, les modes de déplacement et de multiplication des dislocations modifiés, les processus contrôlés par la diffusion sont accélérés. Aussi, à température élevée, les vibrations des atomes se font avec une amplitude plus grande dans le sens de la répulsion que dans le sens de l'attraction. C'est ce que l'on appelle la dilatation thermique, comme on peut aussi déterminer le comportement thermo-élastique, la résistance à la chaleur et la température de recristallisation des matériaux.

Ces modifications ont un effet significatif sur les propriétés mécaniques du matériau et il faut également prendre en compte les modifications microstructurales provoquées par l'exposition prolongée à haute température. Les mécanismes de recristallisation peuvent provoquer un grossissement de la taille de grain.

Le comportement d'un matériau à haute température est particulièrement important dans la fabrication de moteurs, de centrales électriques et usines chimiques.

Dans des structures sollicitées à hautes températures ou pour lesquelles ce paramètre (température) varie fortement au cours du fonctionnement, il est important de connaître le comportement thermique du matériau utilisé. En effet, la maîtrise de ce type de comportement pour un matériau permet de fiabiliser la conception et surtout une optimisation des structures lors de leur utilisation par la prédiction de leur comportement.

Des essais mécaniques aux températures de fonctionnement sont donc nécessaires pour déterminer les caractéristiques des matériaux à utiliser et aboutir ainsi aux informations sur les performances possibles dans telles conditions qui constituent les données indispensables pour la conception.

#### 4- Techniques de caractérisation mécanique des matériaux

Les essais mécaniques sont l'étape indispensable pour accéder aux grandeurs caractéristiques des matériaux telles que le module d'Young, la limite d'élasticité, la ténacité ou la résistance à la fatigue.

Les techniques expérimentales les plus utilisées sont les essais uni axiaux (quasi-statique et dynamique), les essais multiaxiaux, la mesure d'indentation, les essais de fatigue, etc.

Une loi de comportement est un modèle mathématique permettant de prédire le comportement du matériau dans les conditions d'utilisation (mode d'application et intensité des contraintes mécaniques, température, vitesse et fréquence d'application des contraintes, etc). La détermination des lois de comportement des matériaux sur une plage importante de paramètres implique l'utilisation de techniques expérimentales de caractérisation variées et complémentaires, chacune avec des précautions propres à elle. Les résultats sont d'exploitation plus ou moins aisée. On distingue les essais quasi-statiques et les essais dynamiques : les premiers permettent par leur caractère uniaxial une exploitation relativement directe des résultats alors que les seconds qui impliquent des vitesses de déformation élevées, imposent une modélisation qui prend en compte la propagation des ondes élastiques dans le matériau.

## II- Quelques types d'essais mécaniques :

### II.1-Essai de dureté :

La résistance d'un matériau se mesure par sa résistance à la pénétration par un autre matériau plus dur. Elle permet d'avoir accès aux propriétés du matériau en ce qui concerne le marquage par empreintes, rayures, sa résistance à l'usure et à l'érosion. Elle peut être évaluée en mesurant la taille d'une empreinte laissée en surface par un poinçon agissant sous l'action d'une force connue (essais Brinell, Vickers et Rockwell) mais par une hauteur rebondissant d'un objet très dur sur la surface à tester (essai Shore pour élastomère et plastique).

### II.2-Essai de flexion :

L'essai de flexion permet de mesurer la résistance à la rupture d'un matériau. Une barrette du matériau à tester est placée sur deux appuis et l'on applique au centre de la barrette une force croissante jusqu'à rupture. [2]

### II.3-Essai de cisaillement :

Ce type d'essai mécanique implique toutes les sollicitations soient tangentiels à la surface d'application et quelle soient parfaitement égales en tous points de cette surface. Cet essai est très difficile à réaliser sans qu'ils apparaissent des forces parasites qui faussent les résultats.

### II.4-Essai de compression :

L'essai de compression consiste à soumettre une éprouvette de forme cylindrique, placée entre les plateaux d'une presse, à deux forces axiales opposées.

Dans la suite de ce chapitre, nous allons présenter un type d'essai mécanique qu'est très répandue.

## II.5-Essai de traction :

### a) Historique

Les premières analyses mathématiques de la résistance à la rupture des matériaux solides sont attribuées à Galilée (1564-1642) dans son ouvrage « Discorsi e Dimostrazioni matematiche », publié en 1639.

La figure 1 montre un dessin de Galilée par lequel il illustre deux essais mécaniques ; l'essai de traction et l'essai de flexion. Outre le principe de l'essai qui consiste en le mode d'application de la force, Galilée avait en l'esprit la nécessité de normaliser les éprouvettes puisqu'il les représente en forme de barre cylindrique pleine pour l'essai de traction et de poutre parallélépipédique pour l'essai de flexion.



**Figure 1** : Dessin de Galilée illustrant les essais de traction et de flexion

Au cours du temps, l'essai de traction (comme l'essai de flexion) a été normalisé pour provoquer une traction purement uniaxiale sur des éprouvettes de formes et dimensions normalisées. Il constitue une méthode très courante de caractérisation de la résistance mécanique d'un matériau à température ambiante. Il peut être mené également à haute température, par exemple en équipant une machine d'essai d'un four électrique.

Cet essai consiste le plus souvent à soumettre une éprouvette à un allongement  $\Delta l$  par déplacement relatif de ses extrémités et à mesurer la force  $F$  nécessaire à cet allongement.

Il donne aussi des indications sur des grandeurs caractéristiques du matériau : rigidité, la résistance à la traction, l'allongement relatif et la limite élastique. Une représentation schématique du résultat de l'essai de traction pour un matériau métallique est donnée sur la figure 2.

## b) Courbe de traction

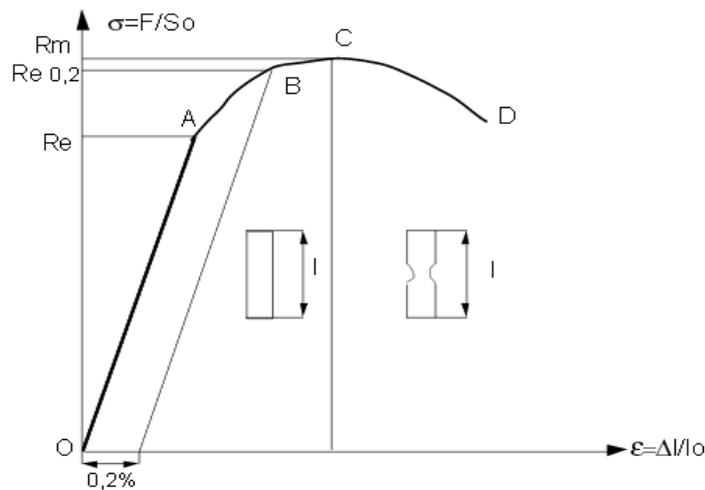


Figure 2 : courbe de traction

La courbe de traction présente trois parties :

- La droite OA correspond à la déformation plastique réversible.
- La courbe AC est le domaine de déformation plastique homogène : si on supprime la force de traction, il y a un retour élastique suivant une parallèle à OA et il reste une déformation permanente.
- Pour CD la force nécessaire pour déformer le matériau diminue alors que l'allongement continue d'augmenter : cette instabilité est appelée instabilité plastique, la striction apparaît.
- En D il y a rupture de l'éprouvette. [3]

Définition des paramètres  $R_e$ ,  $R_m$ ,  $R_{0,2}$ ,

- $R_e$  ( en MPa) est la limite de proportionnalité ou Limite élastique qui correspond à la fin de la première étape. Elle est donnée par la relation :

$$R_e = F_e / S$$

Tous les matériaux possèdent une limite d'élasticité, qui correspond à un chargement critique à partir duquel le comportement du matériau n'est plus réversible. Il peut y avoir rupture brutale (cas du verre), ou rupture progressive (cas du béton), mais dans la plupart des cas il y a plastification du matériau. Ceci signifie que sa forme est changée de façon irréversible, contrairement au domaine d'élasticité où le solide reprend sa forme initiale lorsque l'on relâche les efforts.

- $R_m$  (MPa) est la résistance limite à la traction. Elle correspond à la contrainte à laquelle s'amorce la rupture du matériau. Elle est exprimée par la relation :

$$R_m = F_r / S$$

- Re est atteint quand on observe la première chute de l'effort lors de l'essai. En l'absence de ce phénomène, quand OA n'est pas rectiligne, on doit utiliser la limite conventionnelle d'élasticité  $R_{e0.2}$  qui correspond à un allongement plastique de 0.2% (voir la fig2)

- Allongement (A%) : c'est le rapport de changement de longueur après rupture de la partie travaillante  $L_0$ , exprimé en %

$$A\% = 100(L - L_0) / L_0, \quad \epsilon = \Delta L / L_0$$

$\epsilon$  : allongement relatif

L : longueur ultime entre repère après rupture

$L_0$  : longueur initiale

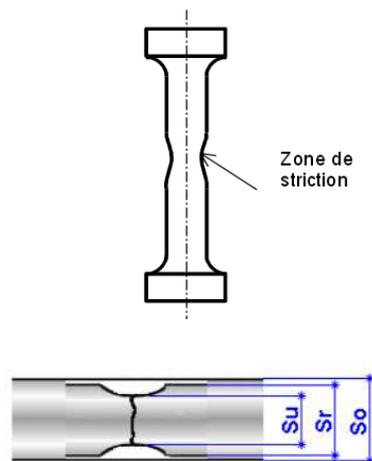
- $\sigma = F / S_0$

$\sigma$  : contrainte normale en MPa

F : effort normale en N

$S_0$  : air de la section droite en  $\text{mm}^2$

- La striction (Z%) : est la réduction de section maximale d'éprouvette rompue, c'est-à-dire dans la section de rupture.



$S_0$  : Dimension éprouvette initiale

$S_r$  : Dimension après rupture

$S_u$  : Dimension de la striction après rupture

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

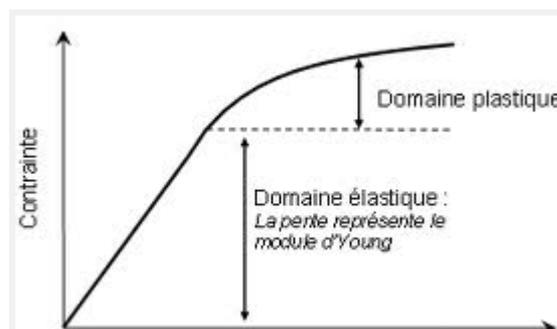
Avec  $S_0$  : section initiale

$S_u$  : section après rupture

- Module de Young : lorsqu'on trace la courbe de  $\sigma$  en fonction de  $\epsilon$  dans la zone élastique, la pente de la courbe est donnée par  $\tan \theta$

Un matériau dont le module de Young est très élevé est dit rigide, et pour ça, la connaissance du Module de Young et son évolution en fonction de la température, sont nécessaires pour la sélection du matériau le plus adapté. Mais il présente une décroissance monotone lorsque la température est élevée.

Tous les matériaux possèdent une limite d'élasticité, qui correspond à un changement critique à partir duquel le comportement du matériau n'est plus réversible. Il peut y avoir rupture brutale (cas de verre), rupture progressive (cas du béton), mais dans la plupart des cas il y a plastification du matériau. Ceci signifie que sa forme est changée de façon irréversible, contrairement au domaine d'élasticité où le solide reprend sa forme initiale lorsque l'on relâche les efforts.



**Figure 3** : Module de Young

Dans la première portion de la courbe, il y a proportionnalité entre charge unitaire et déformation au moins en première approximation : c'est la loi de HOOKE.

La caractéristique d'élasticité est la pente de cette droite qu'est le Module d'élasticité  $E$  (coefficient d'élasticité longitudinal), le tableau 1 ci-dessous présente quelques valeurs de  $E$ .

Il exprime le rapport entre la charge unitaire appliquée et la déformation longitudinale de l'éprouvette.

$$E = \sigma / \epsilon \quad , \quad E = F.L/S$$

- Le coefficient de poisson  $\nu$  :

Le coefficient de poisson exprime le rapport entre la déformation longitudinale de l'éprouvette et la déformation transversale.

- Le module d'élasticité transversal ou de cisaillement  $G$  :

Le module de cisaillement  $G$  exprime le rapport entre le couple et la déformation par cisaillement.

$$G = E / 2(1 + \nu)$$

Tungstène	420 000 MPa
Acier	200 000 à 220 000 MPa
Acier inox	198 000 MPa
Fontes graphite sphéroïdale	160 000 à 190 000 MPa
Cuivre	126 000 MPa
Fonte graphite lamellaire	120 000 MPa
Laiton	105 000 MPa
Alliage d'aluminium	70 000 à 75 000 MPa
Plomb	17 000 MPa

Tableau 1 : quelques valeurs usuelles de  $E$

### c) Description d'une machine de traction

Une machine de traction est constituée d'un bâti portant des traverses mobiles aux bouts desquelles des mors sont fixés. L'éprouvette de traction est serrée 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 sur les traverses vers le haut réalise la traction.

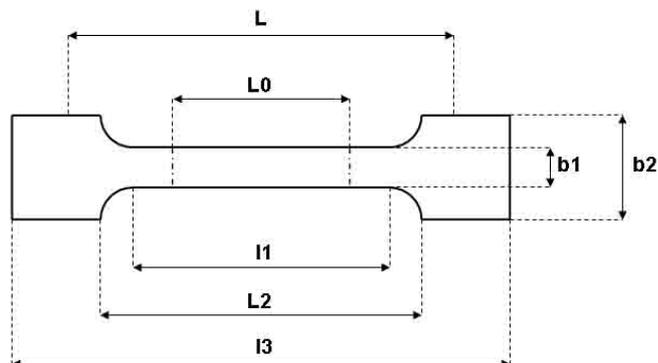
Une machine de traction comporte une cellule de charge, qui permet de mesurer l'effort appliqué à l'éprouvette, et le déplacement de l'éprouvette peut être suivi de diverses façons.



**Figure 4 :** Machine de traction

#### d) Définition de l'éprouvette

En physique des matériaux, une éprouvette est une pièce de fabrication et de dimension normalisées, destinée à être soumise à un essai thermomécanique, conçu pour connaître le comportement d'un matériau quand il est soumis à une contrainte telle que la traction, le cisaillement, ....



**Figure 5 :** Dimensions d'une éprouvette de traction

$L_0$  : longueur de référence

$L$  : écartement entre outillage

$l_1$  : longueur de la partie calibrée étroite

$l_2$  : écartement entre les parties parallèles large

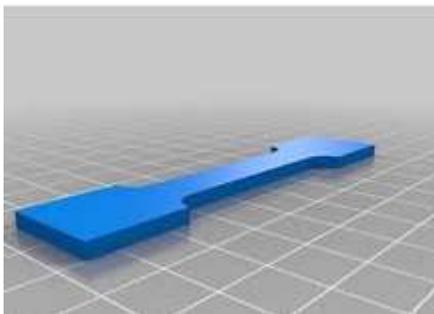
$l_3$  : longueur totale

$b_1$  : largeur dans la zone de référence

$b_2$  : largeur dans la zone d'épaulement

### e) Types d'éprouvettes

Il existe plusieurs types d'éprouvettes : l'éprouvette plate et l'éprouvette cylindrique. La figure 6 montre des vues en perspective des deux éprouvettes.



Eprouvette plate



Eprouvette cylindrique

**Figure 6** : vues en perspective des deux principales éprouvettes utilisées pour l'essai de traction

*Généralités sur la conception et la  
réalisation d'un système mécanique*

## Chapitre II

# Généralités sur la conception et la réalisation d'un système mécanique

C'est aux temps les plus reculés de la préhistoire que remonte la conception des premiers produits, qu'il soient dédiés à l'industrie ou à la transformation ou au confort, etc. le produit était déjà l'un des enjeux primordiaux pour l'homme dès cette époque, et depuis les produits restent toujours les principaux témoins des évolutions techniques et sociales de toute civilisation, sert il est donc nécessaire d'essayer de savoir et de comprendre pourquoi et comment sont conçus et consommés, ou encore gardés les produits qui nous entourent.

Pour cela il faudra alors retrouver, étudier et analyser les éléments qui structurent la conception qu'ils s'agissent de la nature du produit des moyens de le produire l'urgence du besoin à satisfaire, des fonctions à assurer, des contraintes économiques et sociales à surmonter, des idées dominantes la façon de les utiliser, on sachant que ces éléments varient selon le l'époque le lieu et le produit a réalise [4].

Dans le domaine industriel en particulier, pour concevoir un système on s'intéresse que partiellement à l'ensemble des besoins du client, aussi la rentabilité que peut apporter le système présenté comme un produit pour l'entreprise (par exemple : une voiture, une bicyclette), on sachant que ce dernier existe de par le fait qu'il est un outil d'échange commercial. [5]

### I.1- Définition de la conception d'un produit

La définition la plus admise de la conception est la suivante : « étude fonctionnelle du produit ou système à concevoir et de ses relations avec les utilisateurs dans son environnement d'usage ».

En d'autres termes concevoir consiste à réaliser quelque chose de nouveau pour satisfaire les besoins du demandeur ou de l'utilisateur selon des critères de coûts, de qualité et de délai. [5]

La conception d'un produit est constituée de trois phases essentielles

### a) Phase d'intelligence

C'est l'identification et la compréhension du problème à résoudre c'est-à-dire le « **quoi** », aussi il faut être très analytique, éviter les erreurs et la confusion entre les choix de conception, par exemple, (un nombre important de pièces va impliquer de nombreux usinages et un assemblage complexe), être capable de reconnaître les différences entre le modèle réel et celui envisager ou imaginer. [6]

### b) Phase de conception

C'est la phase la plus importante, ici le concepteur doit inventer et modéliser, et développer des idées, puis les analyser proposer des solutions, ou encore trouver les « **comment** » et les résoudre, il faut aussi être très proche du modèle réel afin de satisfaire d'avantage le client.

### c) La phase de choix

C'est la prise de décision c'est-à-dire sélectionner une action parmi celles qui sont envisageables de plus que ce choix doit être semblable aux objectifs qui ont été définis, ces derniers sont techniques pour l'objet à concevoir et stratégique pour le système qui a en charge la conception. A noter que lors de la décision il faut prendre en compte quelques éléments :

- identification de la décision, quand la prendre ou ne pas la prendre
- le moment de la prise de décision (conserver une certaine liberté au projet.)
- les implications de la décision (garder des marges pour la suite du projet)
- le processus de décision, le suivi et les moyens à mettre en œuvre...

## I.2- Etapes d'élaboration du produit

La conception est une étape importante car c'est elle qui donne naissance au produit, de façon à ce qu'il puisse devenir une réalité physique. On distingue trois étapes essentielles (figure 1). [6]

### a) Etape de conception

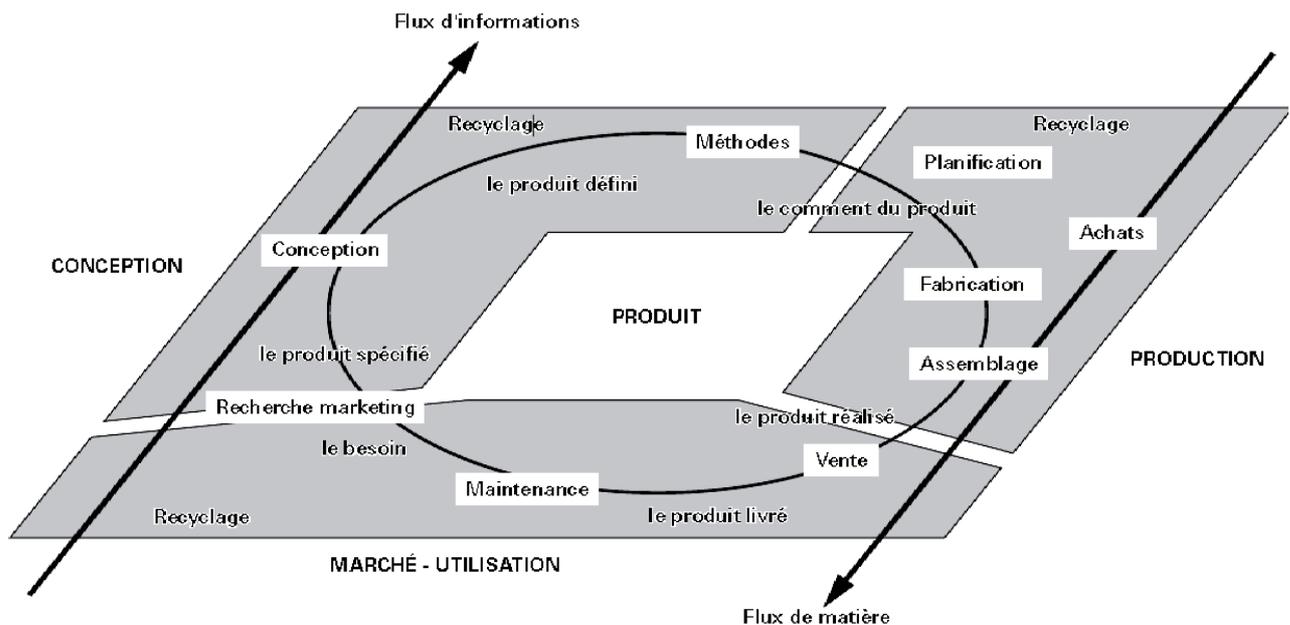
Elle correspond à un ensemble d'informations qui permettent de décrire le produit demandé et d'exprimer les besoins du client à l'aide d'un cahier des charges, afin de définir ce système ou ce produit et son procédé d'élaboration.

## b) Etape de production

Elle correspond à un ensemble d'activités de planification de la production, et approvisionnement en matière première, aussi de fabrication de contrôle et d'assemblage, autrement dit c'est l'étape de la réalisation qui consiste à transformer un flux de matières premières achetées en un produit fini prêt à être mis sur le marché.

## c) Etape de marché

C'est l'étape où on peut juger et évaluer la valeur des produits c'est aussi où le produit est utilisé pour satisfaire les besoins du client, que ce soit un nouveau produit ou une amélioration d'un produit existant.



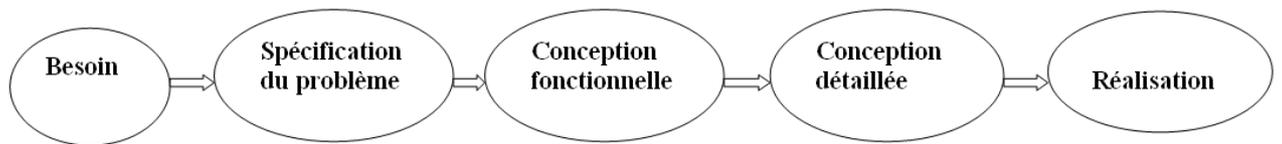
**Figure 7** : Etapes d'élaboration d'un produit

## I.3- Méthodes de conception et réalisation d'un système

On présente les différentes méthodes de conception qui montrent un chemin vers une vision de plus méthodique et logique pour la conception du produit ou du système. On va parler ici des méthodes basées sur l'objet.

### a) La méthode simple

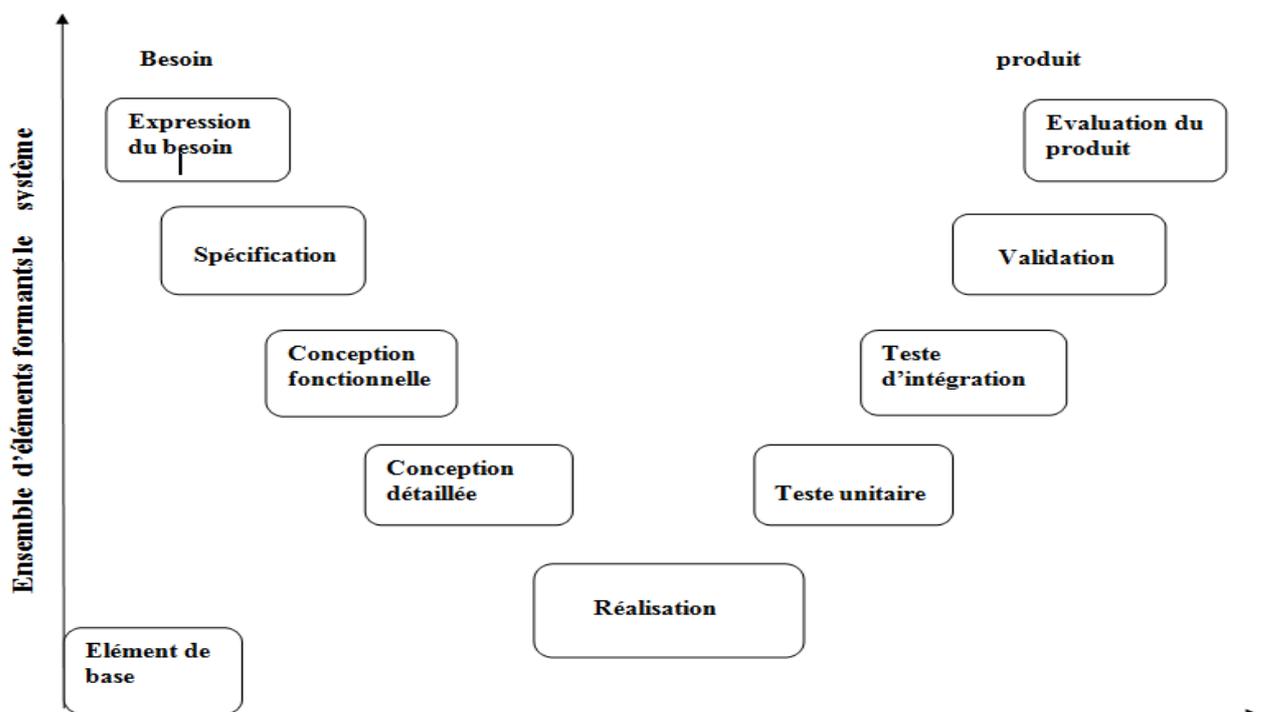
Les différentes étapes sont réalisées les unes après les autres une fois validée cette méthode ne permet pas de faire aucune modification et toutes les phases sont indépendantes, la figure suivante représente ses différentes étapes [5].



**Figure 8 :** La méthode simple en conception mécanique

### b) Le cycle en V

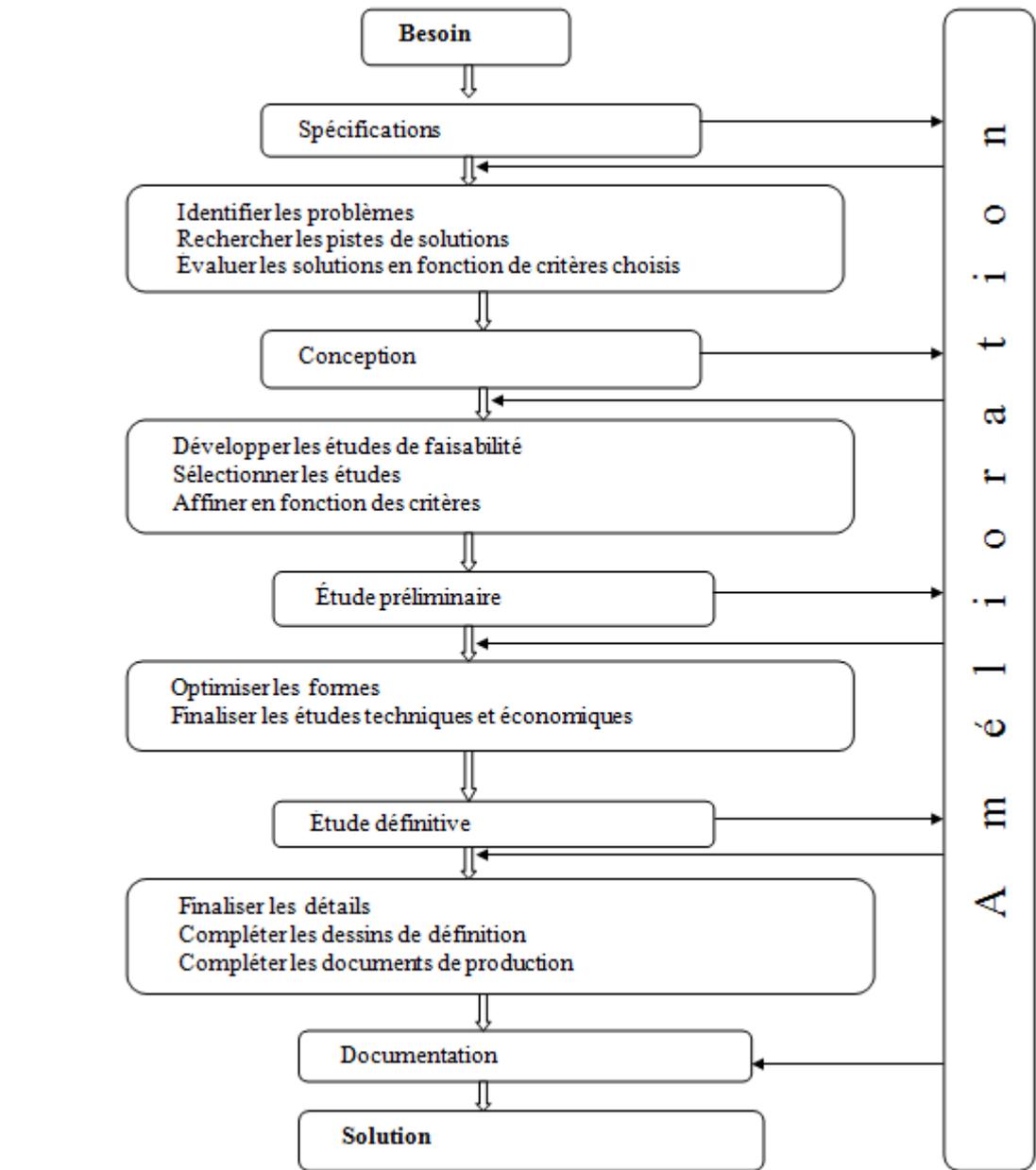
Dans cette méthode la première des étapes du cycle sont systématiquement validées avant de passer à l'étape suivante, sachant que l'étape précédente peut être remise en cause et être modifiée plus le système est défini dans ces moindres détails plus la validation et l'évaluation progressent afin que le produit soit finalisé. [5]



**Figure 9 :** La méthode de conception de cycle en V

### c) La méthode d'amélioration

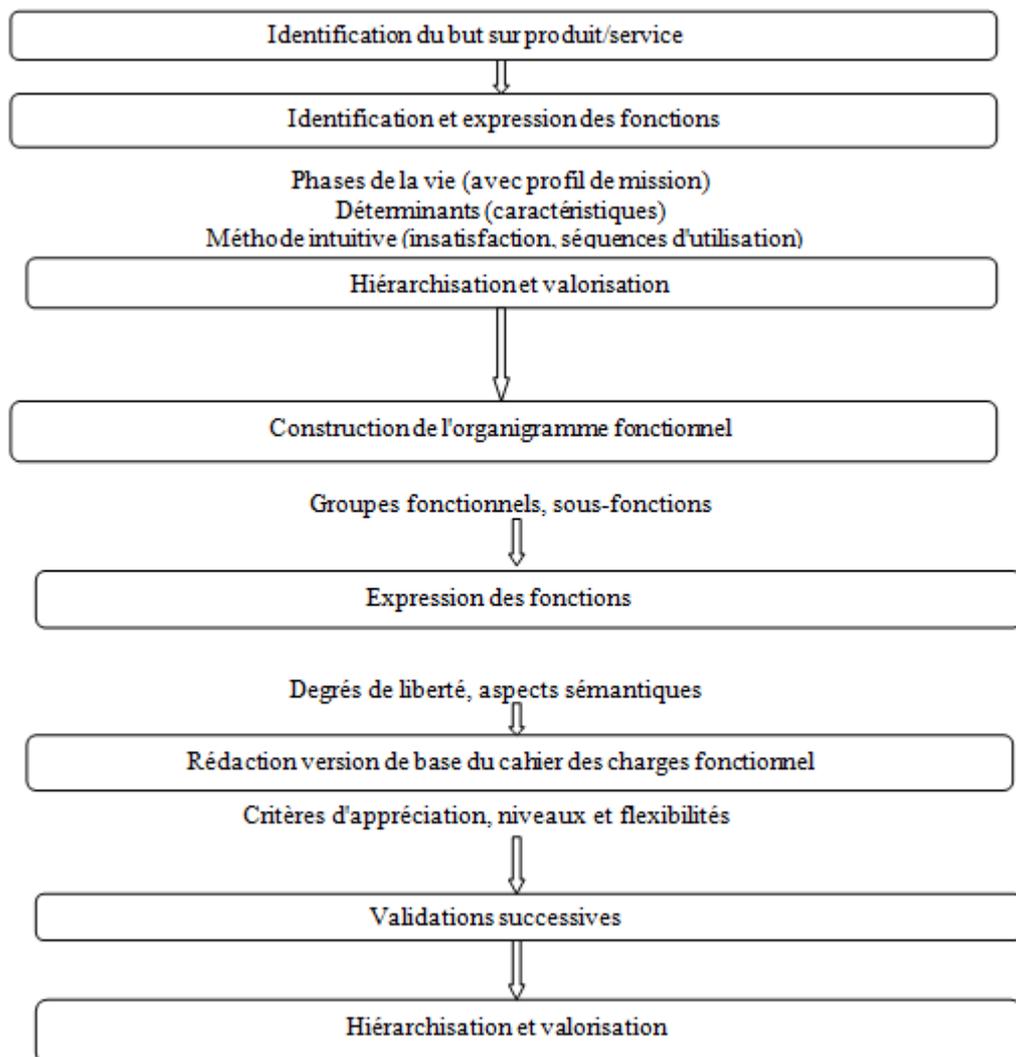
Dans cette méthode on peut remettre en cause une ou plusieurs étapes elle permet d'affiner la description du produit elle a été utilisée dans la conception d'un système de copilotage d'une voiture [5].



**Figure 10** : La méthode de conception par amélioration

## II- L'analyse fonctionnelle :

Elle fait aussi partie des méthodes de conception et de réalisation d'un système. C'est un outil de définition qui permet de décrire les besoins du client sous forme de fonctions de services, ces fonctions permettent au concepteur de lier les solutions aux objectifs, on considérant que les « quoi » représentent les objectifs de la conception ou besoins du client et les « comment » représente les solutions de la conception qui définissent le produit. Sert l'objectif est aussi de définir un produit à l'aide d'un inventaire et d'une expression des besoins en terme de résultats selon une démarche facilitant l'acquisition de données sur le concept final comme représenté sur la figure 11 [6].



**Figure 11 :** Démarche de l'analyse fonctionnelle

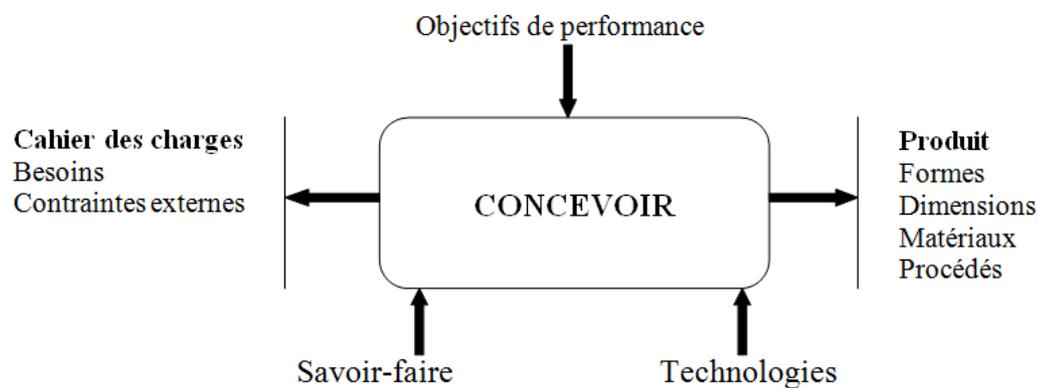
On distingue deux méthodes d'analyse fonctionnelle

### **La méthode QFD** (*Quality Function Deployment*)

Cette méthode est appliquée principalement pour la re-conception d'un produit lorsque on dispose d'un produit de référence, elle permet de faire un lien entre les « quoi » et les « comment » cela facilite l'évaluation de la satisfaction apportée par les solutions retenues aux fonctions à remplir.

### **La méthode SADT** (*Structured Analysis and Design Technique*)

C'est une représentation structurée d'un système formé d'un ensemble d'activités et de données d'où celles d'entrée et de sortie, ces activités représentent une transformation de la connaissance du produit, les données d'entrée représentent l'expression des besoins du client sous forme d'un cahier de charges et les données de sortie qui caractérisent le produit par la connaissance de ses formes ses dimensions, des matériaux employés et le procédé de son élaboration, la figure suivante représente le diagramme des activités associé au diagramme de données.[5]



**Figure 12** : Diagramme des activités associé au diagramme de données

## II.1- Concepts de base pour la réussite de l'analyse fonctionnelle

### **L'état d'esprit**

- . Admettre la nécessité de réfléchir plus pour mieux agir.
- . S'adapter au changement quotidien
- . Bien assimiler le problème posé
- . Être constamment à l'écoute de client
- . Être créatif

### Le travail en groupe

- . Travailler en groupe constitué de compétence complémentaires ouvrant dans le cadre de l'élaboration du produit (produit, marketing, commercial ...)
- . Utiliser une méthode de travail et un langage communs

### La logique de réflexion

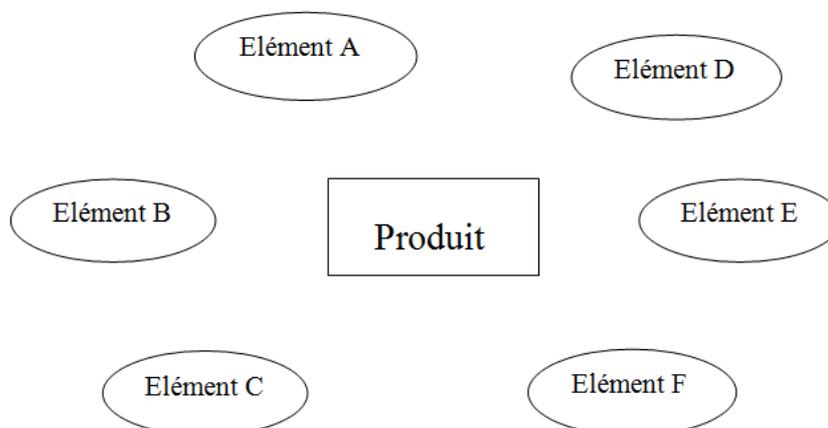
- . Maintenir la relation entre les besoins et les solutions possibles
- . Utiliser la puissance intellectuelle.
- . Raisonner par rapport à l'environnement prison

## II.2- Conditions d'existence d'un produit

Un produit de quelque nature qu'il soit : matériel, logiciel, organisation, service doit être utile, faire partie d'un milieu composé de différents éléments interactifs. Ces différents éléments constituent l'environnement du produit. [7]

### Environnement du produit

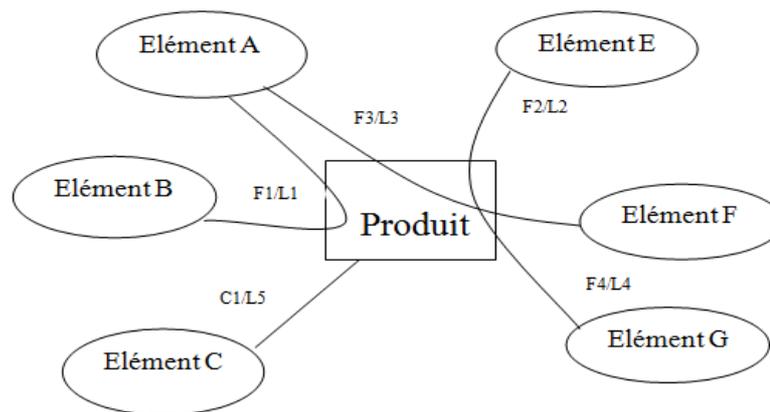
Les interactions entre le produit et les éléments sont les liens qui assurent l'équilibre entre produit et environnement ces éléments sont définis par l'utilisation de ce produit « à quoi sert-il ? ». Aussi sa finalité « quel est son but » et son incidence « sur quoi agit-il ? ». Les liens sont les relations réunissant les différents éléments entre eux au travers du produit. Cet environnement est schématisé sur la figure 11 ci-dessous.



**Figure 13 :** Environnement du produit

### Construction des fonctionnalités (fonctions/contraintes)

Les liens peuvent être déduits par réflexion ou en évidence l'action du produit sur un élément et le service rendu par cette action à l'un des autres éléments constituant l'environnement, si lien il y a, il donnera lieu à une ou plusieurs fonctionnalités. Il convient chacun de ces liens de manière à préciser l'action qu'exerce le produit sur l'élément pour rendre le service de l'autre élément dépendant du lien cette expression sera la fonction à remplir par le produit et la contrainte doit être imaginée et exprimée comme action directe sur le produit( figure 10 )



**Figure 14** : Liens entre le produit et l'environnement

(L1, L2, L3, L4, L5) environnement (A, B, C, D, E, F)  
Fonctions que le produit doit satisfaire (F1, F2, F3, F4, C1)  
L5 a donné naissance à une contrainte C1

### Avantages de l'analyse fonctionnelle

- elle peut être utilisée à tous les niveaux de la vie d'un produit
- favorise l'innovation
- favorise le travail en groupe et la communication
- réalisation du cahier des charges de n'importe quel produit
- définition des fonctions d'un service dans une entreprise

### Inconvénients

- L'analyse fonctionnelle est une démarche, une méthode et, qui ne peut pas remplacer la compétence et le bon sens de ses utilisateurs

### III- Cahier des charges fonctionnel

#### III- 1 Définition

Le cahier des charges fonctionnel ou CdCF (NF X 50-151) qui a pour but de définir un besoin et d'indiquer un ensemble de fonctions de services qu'un produit doit assurer. Pour chaque une d'elles sont définis les critères d'appréciation et leur niveau, et ces critères étant assorti d'une flexibilité, en restant aussi fonctionnel que possible et laisser un maximum de liberté technique pour le concepteur-réalisateur. Les contraintes sont indiquées soit dans la présentation générale du CdCF, soit dans l'expression fonctionnelle du besoin, il faut savoir aussi que la qualité de cet ordonnancement réduit le temps de création et augmente la pertinence de la solution [8].

#### **Qui rédige le cahier des charges ?**

Le demandeur peut être une entreprise qui s'adresse au marché fournisseurs pour une consultation ca peut aussi se passer dans une seule entreprise, le demandeur étant le service marketing pour un produit qui sera vendu, et le concepteur-réalisateur étant le bureau d'études.

#### **Le critère d'appréciation**

- Le critère d'appréciation d'une fonction est le caractère retenu pour apprécier la manière dont une fonction est remplie ou une contrainte respectée
- Le niveau d'un critère d'appréciation est la grandeur repérée dans l'échelle adoptée pour un critère d'appréciation d'une fonction. Cette grandeur peut être celle recherchée en tant qu'objectif ou celle atteinte pour une solution proposée
- La flexibilité du niveau d'un critère d'appréciation est l'ensemble des indications exprimées par le demandeur sur les possibilités de moduler le niveau recherché pour un critère d'appréciation [3].

#### III-2 Éléments constitutifs d'un CdCF

##### **Présentation générale du besoin**

Cette partie en générale a pour objectif de bien faire comprendre au concepteur-réalisateur la nature exacte du besoin. On y présentera le produit et son marché, le contexte du projet, les objectifs et l'énoncé du besoin et l'environnement du produit recherché ou demandé.

##### **Expression fonctionnelle du besoin**

C'est la partie essentielle du CdCF. On indique les fonctions de service demandées avec les éléments qui les caractérisent contraintes, aussi les critères d'appréciation ainsi que leurs niveaux et flexibilité, la représentation du produit doit se faire d'une manière à rechercher un regroupement logique des fonctions.

### Appel a variantes

Le concepteur- réalisateur ayant compris le besoin du client il peut donc faire des propositions pertinentes pour compléter, amender l'expression fonctionnelle qui lui a été remise, il est le mieux placé pour faire des propositions à la fois innovantes et réalistes.

### Cadre de repense

Pour faciliter la comparaison d'offres différentes reçues à la suite d'une consultation à l'aide d'un CdCF, le respect d'un cadre de réponse est très souhaitable. Il faut indiquer celui-ci dans le CdCF, il se référera à l'expression fonctionnelle donnée.

## IV- Elaboration du CdCF

Le CdCF part des fonctionnalités et des contraintes amenées par l'analyse fonctionnelle. Le CdCF permet de tendre vers une solution au fur et à mesure qu'on le rédige l'avancement de l'élaboration, du haut en bas du tableau, facilite l'approche vers la solution en donnant :

- des axes d'orientation (critères)
- une plage de valeurs montrant la flexibilité (niveau)

Cela permet l'appel à variantes de solutions le support ci-dessous montre de façon interactive les différentes parties prenantes.

Type de fonction
Pondération
Libellé de la fonction
Critère
Niveau
Responsable
Observations

**Figure 15 :** Avancement de l'élaboration de cahier des charges, de haut en bas du tableau

*Conception d'une cellule chauffante  
adaptée sur une machine de traction*

## Chapitre III

# Conception d'une cellule chauffante adaptée pour la machine de traction

### I- Objectif

Etant donné que le comportement mécanique d'un matériau dépend fortement des conditions de son utilisation, dont la plus influente est le paramètre température, nous nous proposons de concevoir et de réaliser une cellule chauffante adaptée pour la machine de traction du laboratoire Résistance des matériaux de notre département. Cette cellule doit permettre le chauffage de l'éprouvette à une température donnée, avec la meilleure précision possible, être facilement démontable, légère et ne nécessitant pas la modification de la machine du laboratoire. Cette cellule sera composée d'un four, de son support et du système de régulation électronique.

### II- Présentation générale de la cellule chauffante et cahier des charges fonctionnel

La cellule chauffante à concevoir servira pour la réalisation d'essais de traction à chaud en utilisant la machine de traction du laboratoire, fabriquée et commercialisée par Ibertest ®. De ce fait, il est nécessaire de prendre en considération pour l'étude de conception des caractéristiques propres la machine de traction. Il s'est avéré, dès le début de l'étude, que la faisabilité d'essais de traction à chaud pour une large gamme de température est une tâche ardue compte tenu de l'espace de travail très réduit de la machine –ce qui ne permet pas d'installer un four pouvant fournir des énergies très élevées à même d'atteindre de très hautes températures. En outre il s'est avéré difficile de parvenir à chauffer la partie utile de l'éprouvette du matériau à tester de dimensions normalisées sans communiquer trop de chaleur aux mors de la machine.

En dépit de ces deux contraintes majeures, nous nous sommes fixés pour objectif de concevoir une cellule chauffante pouvant permettre le chauffage de l'éprouvette, du moins sa partie utile, à une température donnée et de la maintenir à cette température pendant un temps suffisant pour l'homogénéisation du champ thermique et de réaliser l'essai de traction. Il est question de mettre en

œuvre un système adaptable sur la machine de traction, facile à monter et à démonter, à ouvrir et à fermer avant et après chaque essai et à système de régulation de la température facile à manipuler.

## I- Environnement du produit et cahier des charges fonctionnel

Le produit doit :

- Avoir les dimensions idéales pour une exploitation optimale de l'espace existant entre les deux mors de la machine
- Avoir une bonne isolation thermique et une bonne fermeture pour éviter les déperditions de chaleur
- Présenter une bonne stabilité et bon maintien pour minimiser les vibrations et éviter que le dispositif ne perde son équilibre mécanique et n'endommage la machine de traction ou son propre four
- Faire chauffer que la partie utile de l'éprouvette tout en homogénéisant le champ de température
- Avoir une partie mobile et une partie fixe, le déplacement de la partie mobile servant essentiellement à la mise en place des éprouvettes
- Etre conçu avec des matériaux qui résistent à la chaleur
- Assurer une bonne régulation de la température en minimisant l'écart entre la température de consigne et la température réelle du four
- Etre alimenté par l'énergie électrique du réseau 220V-50Hz, que ce soit pour le régulateur électrique, le capteur de température et la source d'énergie pour les éléments chauffants

### II-1- Description de la machine de traction du laboratoire

La machine de traction sur laquelle nous devons adapter notre cellule chauffante est composée deux blocs reliés par deux grosses tiges verticales servant de guides et d'éléments-appuis pour les parties mobiles de sorte que les efforts de traction soient parfaitement coaxiaux et perpendiculaires au sol. Les deux blocs sont à leur tour constitués d'éléments de fixation des éprouvettes (mors), de système de déplacement vertical à pompage hydraulique, système entièrement instrumenté de sorte à pouvoir imposer la vitesse de déplacement des mors et enregistrer, à chaque instant, l'effort nécessaire pour assurer ce déplacement relatif des mors. La figure 16 montre une photographie de la machine de traction.



**Figure 16** : Machine de traction



**Figure 17** : Les mors de fixation

Les spécifications nécessaires à recueillir sur la machine de traction sont :

- Les dimensions de la surface supérieure de la pièce sur laquelle sont fixés les mors de la partie inférieure ; surface sur laquelle sera posé l'ensemble de la cellule chauffante.
- La hauteur minimale de l'espace entre les deux mors, supérieur et inférieur, lorsqu'ils sont dans les positions adéquates pour un test sur éprouvette normalisée de faible hauteur (normes adoptées : AFNOR et ASTM).

### Solutions proposées

Après avoir proposé et discuté plusieurs solutions, dont les suivantes :

- Un four en forme de deux demi cubes disposés V, à ouverture latérale à l'aide d'une paumelle,
  - Un four en forme de deux demi cubes dont l'un glisse sur des tiges fixées à l'autre,
- et vu de nombreuses contraintes, dont celle relative à la disposition de la cellule sur la machine de traction qui ne doit pas subir de modifications, nous avons adopté la seconde solution. Ceci vu que cette solution offre la possibilité de déposer le four sur la pièce supportant le mors bas de la machine de traction. En effet, la première solution ne laisse pour possibilité de fixation sur la machine que l'exploitation des deux grosses tiges servant d'axes en utilisant deux quarts de cercles

en acier à fixer solidairement sur une grosse tige en acier, elle-même servant de support pour la cellule chauffante. Ce qui, outre les risques de détérioration par suite de serrages répétés sur la surface des tiges (qui doivent garder leur bon état de surface), peut s'avérer gênant pour certaines expériences nécessitant un important libre parcours des pièces sur les tiges. Aussi, la difficulté de mise en œuvre (montage, réglage et serrage du dispositif sur la machine) plaide en défaveur de cette solution.

Ainsi, nous avons opté pour un four composé de deux parties de forme parallélépipédique, dont l'une couissant sur quatre tiges solidaires à la première partie. Les deux parties du four étant à usiner, chacune au milieu de sa face de contact avec l'autre partie, de manière à former lors de l'assemblage (en position four fermé) un passage de forme cylindrique pour l'éprouvette à chauffer.

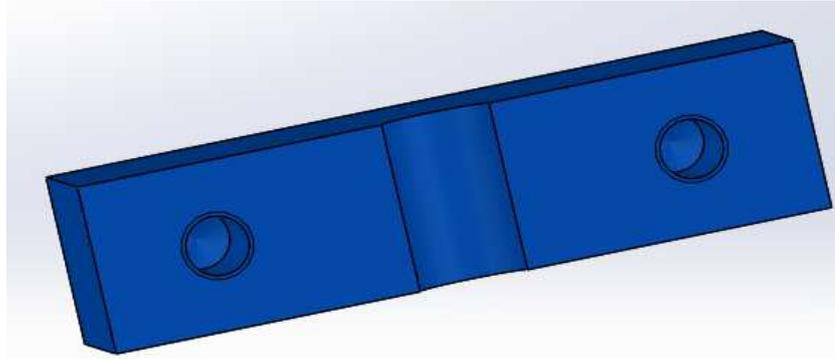
## II-1 Architecture du four

Les pièces maitresses du four sont les deux parties parallélépipédiques. Elles doivent permettre l'usinage de trous pour que la deuxième partie puisse coulisser sur les tiges solidaires à la première partie tout en prévoyant un volume suffisant dans lequel sera inséré le matériau d'isolation thermique et support de l'élément chauffant. Une partie du four est donc à former de deux pièces pleines, l'une basse et l'autre haute, à assembler grâce à des plaques en acier.

### II-1-2 Conception et utilités des pièces

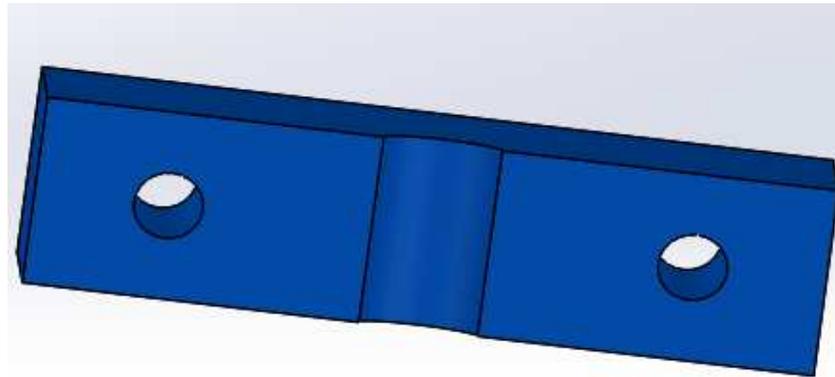
#### a- Les pièces haute et basse des deux parties du four

Ce sont deux plaques rectangulaires similaires en acier ordinaire (XC 48) d'une épaisseur de 20 mm, épaisseur suffisante pour y usiner des trous servant au passage des tiges-glissières servant pour le guidage de la deuxième partie du four. Ces pièces, en nombre de 4, sont classées en deux paires : chacune comporte une 1<sup>ère</sup> pièce avec des tiges fixes et une 2<sup>ème</sup> pièce avec trous pour le passage (ajustement avec glissement) des tiges. La figure 18 montre une vue en perspective de la pièce disposant de taraudage pour la fixation des tiges. Au milieu de la pièce et perpendiculairement aux axes de tiges, c'est-à-dire parallèlement à l'axe de traction de l'éprouvette, une rainure en forme de demi cylindre, de diamètre 7 mm traverse les quatre pièces prévues et servent de passage pour l'éprouvette de traction qui, elle présente un diamètre de 5 mm.



**Figure 18 :** Pièces fixes du four (l'une en haut et l'autre en bas).

Deux plaques rectangulaires similaires à celles de la partie fixe (figure 14), de mêmes dimensions, sont prévues pour constituer la partie mobile du four sauf que leurs trous sont débouchant pour permettre le passage des tiges et guider la partie mobile. Elles possèdent aussi la rainure en forme de demi-cylindre afin que lors de la fermeture du four, les deux parties vont former le trou passage de l'éprouvette. La figure 19 montre une vue en perspective de ces deux pièces. Les dessins de définition des différentes pièces sont reproduits en annexes.



**Figure 19 :** Pièces mobiles du four (l'une en haut et l'autre en bas).

#### **b- Les glissières**

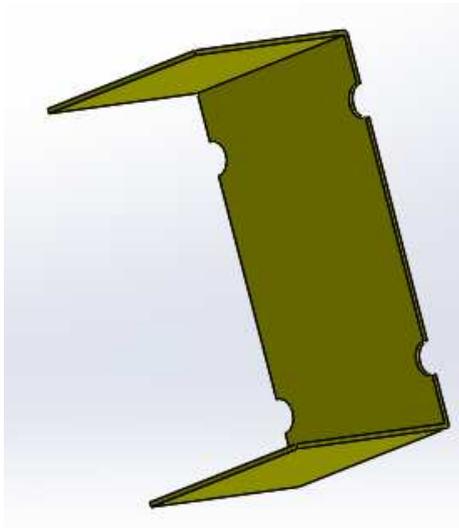
Ce sont deux tiges cylindriques pleines, de diamètre 8 mm, d'une longueur 130 mm avec, au bout, un filetage sur 25 mm de longueur (figure 18). Ce dernier étant prévu pour servir à l'assemblage solidaire de ces tiges sur la partie fixe qui elle dispose de trous taraudés à cet effet. Ce qui permettra l'ouverture et la fermeture du four grâce à un mouvement de translation d'une partie du four par rapport à l'autre.



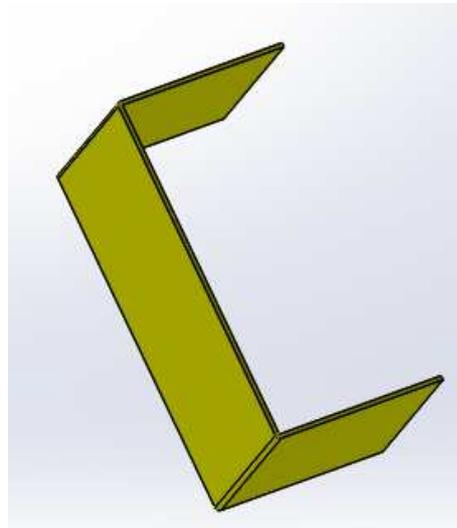
**Figure 20 :** Vue en perspective de la tige-glissière

### c- La coque

Elle est en deux parties usinées à partir d'un acier ordinaire, sous forme de tôle de 2 mm d'épaisseur (figures 19 et 20). Ces deux parties sont : l'une pour la partie fixe du four et l'autre pour la partie mobile. Pour un assemblage permettant un meilleur équilibre mécanique des parties du four, une continuité des trous prévus sur les pièces de la figure 17 est prévue sur la surface de la coque. Cette dernière ayant pour rôle d'assembler les deux pièces haute et basse des parties fixe et mobile du four, elle est soudée à ces deux pièces, préalablement maintenues dans les positions adéquates. Le montage de ces pièces permet d'obtenir la carcasse métallique du four dont une partie est représentée sur la figure 27.



**Figure 20 :** Coque de la partie mobile

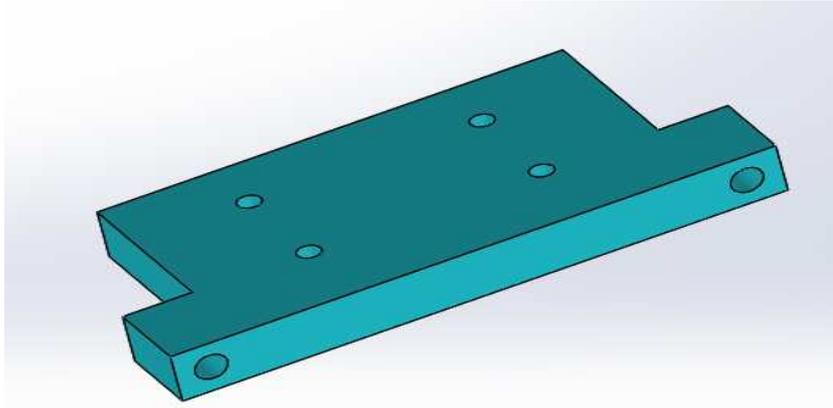


**Figure 22 :** coque de la partie fixe

### d- Les plaques du support de fixation

Le support de fixation de la cellule chauffante est composé de deux pièces similaires à relier au moyen d'une tige filetée. Elles sont fabriquées en alliage d'aluminium vu qu'elles n'ont pas à supporter d'efforts mécaniques hormis la masse de la cellule chauffante. Elles sont traversées de

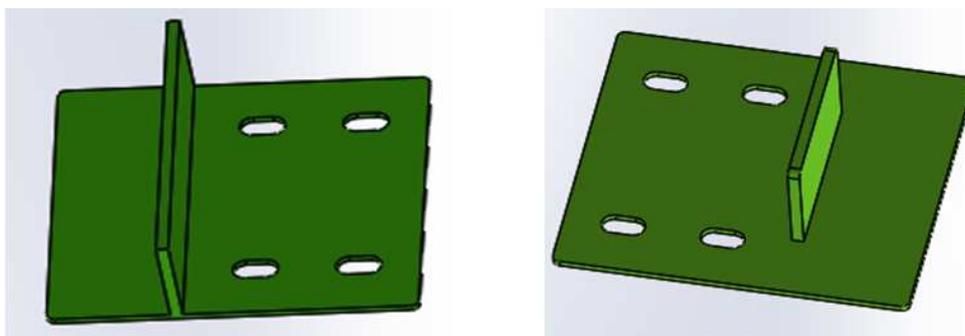
deux trous débouchant dans le plan horizontal et parallèlement à l'axe reliant les deux grosses tiges de la machine de traction. Ces trous permettront le passage des tiges de serrage pour la fixation des deux pièces supportant les parties du four. Ces dernières étant solidaires à des plaques (voir paragraphe suivant) vissées aux deux plaques du support grâce à quatre vis montées verticalement de manière à maintenir les parties du four en position parfaitement horizontale (trous des 4 vis sont parallèles à l'axe de traction).



**Figure 23** : Plaque du bas du support de fixation

#### e- Les plaques de haut du support

Ce sont deux plaques en acier ordinaire sur lesquelles repose le four. Ces plaques ont quatre trous lumières pour le passage des vis de fixation sur le bas du support et un fer plat en guise de butée perpendiculaire à la plaque pour le serrage des parties du four. Les plaque-butées ont des hauteurs réduites de sorte qu'elle ne gênent pas le mouvement des tiges glissières.



**Figure 24** : Plaques sur lesquelles seront fixées les deux parties du four

#### f- Les tiges filetées

Elles sont en acier ordinaire à utiliser pour relier les deux plaques du support de fixation (de la figure 19) contre la pièce au bas de laquelle les mors de traction fixent l'éprouvette.

### I-I-3- Système d'isolation thermique

Pour limiter au mieux les déperditions de chaleur hors du chauffage de la cellule, nous avons opté pour une double couche de matériaux à bonne isolation thermique : la laine d'alumine ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) et une brique réfractaire.

#### a- Alumine

L'alumine  $\text{Al}_2\text{O}_3$  est un oxyde existant à l'état naturel dans la bauxite. De faible densité ( $3,95 \text{ g/cm}^3$ ) et ayant un haut point de fusion ( $2072 \text{ }^\circ\text{C}$ ) et une très faible conductivité thermique, c'est-à-dire qu'elle oppose une forte résistance au flux thermique qui la traverse. Elle est utilisée pour l'isolation thermique des fours. Sous sa forme de laine, elle est parfaitement adaptée pour cet usage étant donné qu'il est possible au fabricant de la mettre facilement en forme en remplissant tous les espaces vides dans le four afin d'assurer une meilleure isolation thermique et par conséquent une meilleure stabilité du système chauffant et permettre une économie d'énergie.

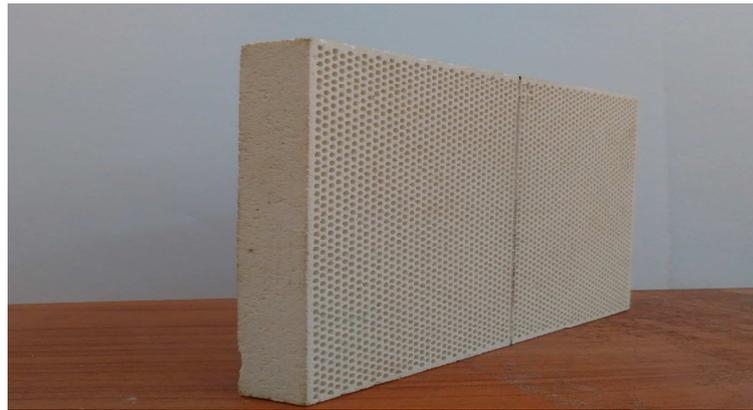


**Figure 25** : Laine d'alumine

#### b- Brique réfractaire

Les briques réfractaires constituent une large gamme de matériaux ayant une faible conductivité thermique. Comme l'alumine, elles sont utilisées pour l'isolation thermique des fours et servent aussi pour la fixation des éléments chauffants. Le principal critère de choix des briques réfractaire pour les fours est en rapport avec les vitesses limites de chauffe et de refroidissement qui, en cas de dépassements des valeurs limites, provoquent des chocs thermiques qui se traduisent par des fissures. Dans une brique réfractaire en cours de fonctionnement, ces fissures engendrent d'importantes déperditions thermiques étant donné que les flux thermiques sont concentrés au niveau des zones fissurées. Pour notre cellule chauffante, nous avons choisi d'utiliser une brique

réfractaire suffisamment résistante aux chocs thermiques puisqu'elle est conçue pour supporter une élévation de la température de 10 à 400 °C en moins de deux minutes (températures mesurées au moyen d'un pyromètre infrarouge après test sur un chauffage équipé de cette brique). Cette brique offre aussi l'avantage de sa disponibilité de la facilité de son usinage, même manuellement grâce à de simples limes. La figure 25 montre la brique à partir de laquelle nous avons usiné les deux parties servant également pour la fixation de la résistance chauffante.



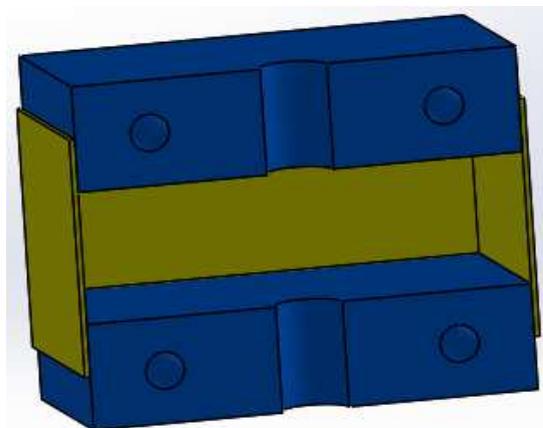
**Figure 27** : Brique réfractaire

#### I-I-4- Assemblage des pièces

##### **Assemblage du four**

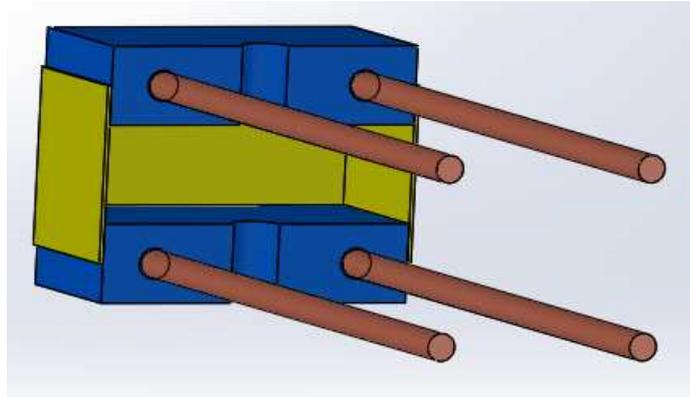
L'assemblage s'est fait de la manière suivante :

Les deux plaques du haut et du bas de la partie fixe du four sont soudées sur la coque en forme de U. La figure 27 montre les pièces assemblées par soudage.



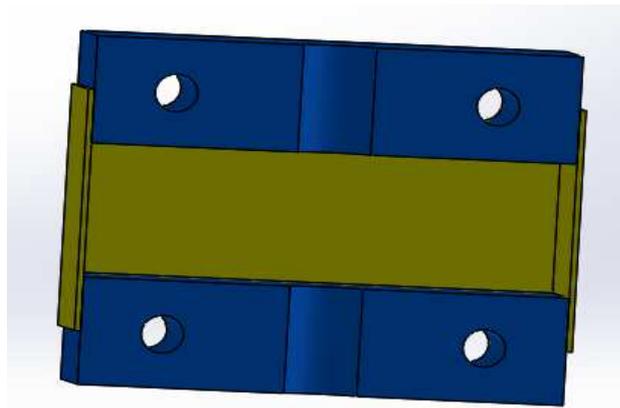
**Figure 28** : assemblage de la partie fixe du four

Les quatre tiges servant pour le guidage de la partie mobile sont vissées sur les plaques du haut et du bas de la partie fixe du four comme le montre la figure 29.



**Figure 29** : Assemblage des tiges-glissières sur la partie fixe du four

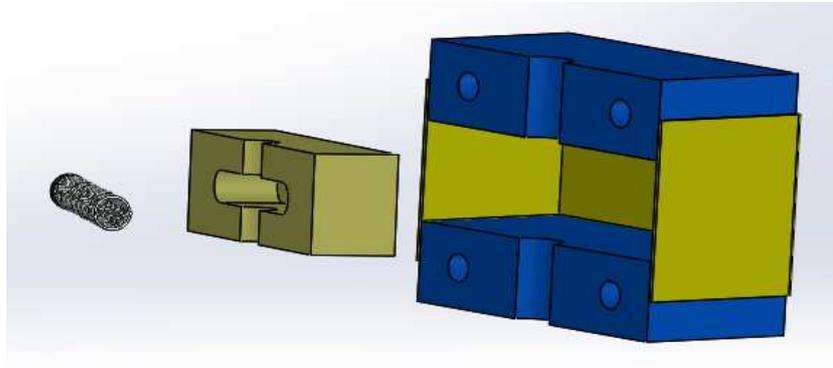
Ensuite, les deux plaques haute et basse de la partie mobile du four sont assemblées par soudage dans des positions permettant le bon glissement de la partie mobile du four sur les tiges (figure 30).



**Figure 30** : Assemblage de la partie mobile du four

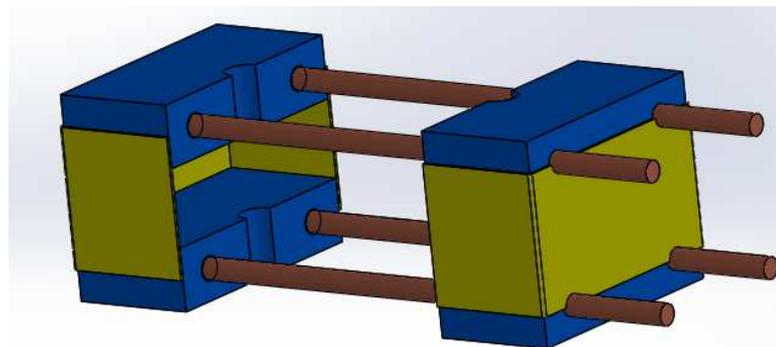
A l'intérieur des deux parties de la carcasse, nous allons mettre une couche de laine d'alumine bien tassée puis la brique réfractaire préalablement usinée de sorte à ce qu'elle épouse parfaitement le logement qui lui est laissé et qu'elle dispose de la rainure, en forme de demi-tube circulaire, pouvant recueillir la résistance chauffante. La figure 29 montre l'ordre de disposition des éléments à assembler pour constituer les deux parties du four : il s'agit de la carcasse, brique réfractaire et résistance chauffante. Des trous très fins, non montrés sur cette figure, sont percés sur la face arrière de la carcasse. Ils servent pour le passage du thermocouple et des fils d'alimentation électrique de la résistance chauffante. Les conduits de passage des fils traversent aussi la laine d'alumine et la brique réfractaire. Ainsi, la résistance est fixée, grâce à cette disposition, dans le creux qui est aménagé dans la brique réfractaire. Un thermocouple K, disposé dans une fine tige en Alumine

dense frittée, est fixé de manière à ce qu'il détecte la température au voisinage de la surface de l'éprouvette.



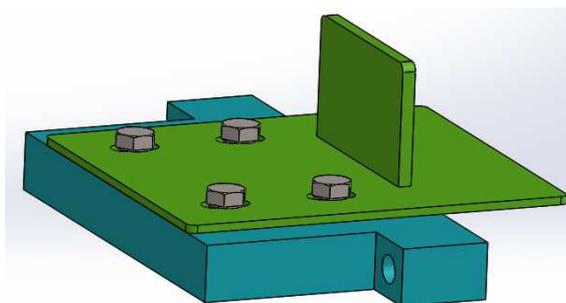
**Figure 31 :** Mise en place des éléments isolant et chauffant

Les deux parties du four sont ensuite à assembler par guidage de la partie mobile dans les tiges de la partie fixe comme le montre la figure 32.



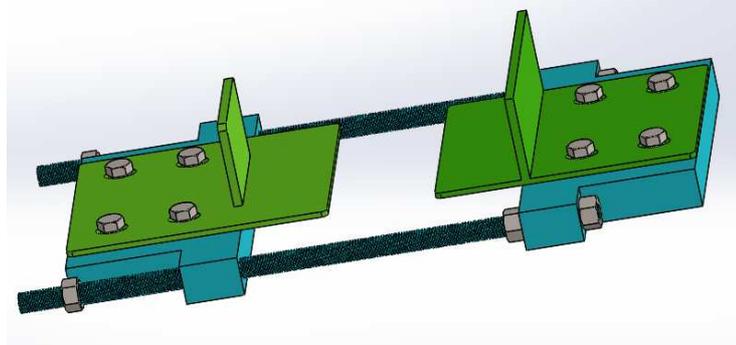
**Figure 32 :** assemblage de la partie mobile avec la partie fixe

Le support de fixation de la cellule chauffante est ensuite monté en vissant les éléments en T (de la figure 24) sur les plaques du support (figure 23). La figure 33 montre ce montage.



**Figure 33 :** Montage des éléments en T sur les plaques servant de support de fixation de la cellule.

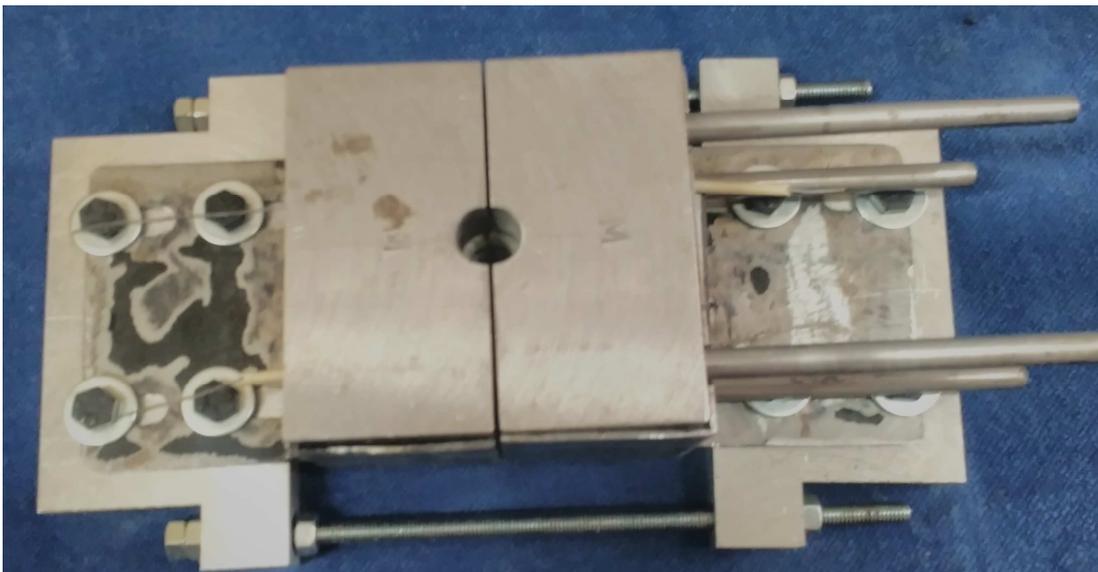
Les deux assemblages sont à leur tour montés de sorte que le second qui aura à supporter la partie mobile puisse coulisser sur une tige filetée comme le montre la figure 34.



**Figure 34** : Assemblage des deux parties du support de fixation

Enfin, les deux parties de la cellule chauffante sont fixées sur le dispositif de fixation et connectées au système d'alimentation électrique et de régulation.

La figure 35 montre une photographie de la cellule chauffante ainsi réalisée.



**Figure 35** : Assemblage de la cellule chauffante

### III- Matériaux et outils à utiliser pour la fabrication des pièces constitutives de la cellule chauffante

Les matériaux à utiliser pour la fabrication des différentes pièces sont mentionnés dans le tableau 1 ci-dessous. Pour leur usinage, nous nous sommes servis des machines répertoriées dans le tableau 2.

**Tableau 2 : Matériaux choisis pour les différentes pièces**

Matériau	Observation	Emploi
Acier ordinaire XC48	Acier mi-dur	Pièces fixes et mobiles servant à constituer la carcasse du four (figures 14 et 15)
Z200C12 (acier allié)	Acier dur, résiste à l'oxydation	Tige-glissière de guidage
C35 (XC38) Acier non allié	Acier mi-dur	Vis H
Alpax	Alliage d'aluminium, faible masse volumique	Partie inférieure du dispositif de fixation
Brique réfractaire	Conductivité thermique très faible	Brique pour l'isolation thermique et fixation de la résistance chauffante
Alumine	Conductivité thermique très faible	Elément pour l'isolation thermique
Tiges filetées	Acier ordinaire	Guidage du dispositif de fixation
Ecrous	Acier ordinaire	Serrage du dispositif de fixation

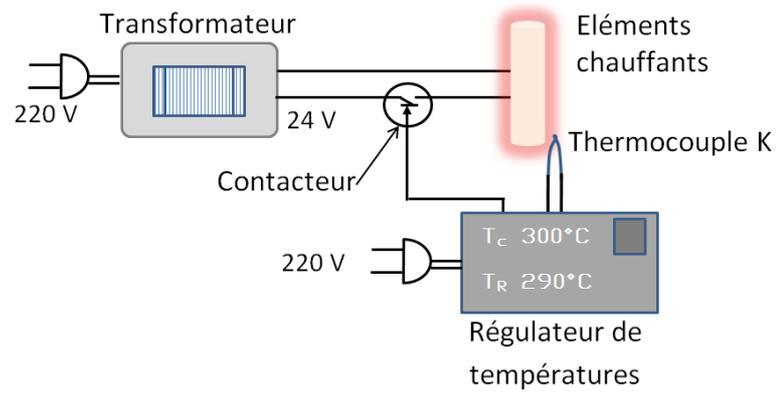
**Tableau 3 : Machines et outils utilisés pour l'usinage des différentes pièces**

Machines	Surfaces	Outils
Scie mécanique	Découpage des pièces brutes	Scie
Fraiseuse	Surfacer le haut et le bas du four et le bas de dispositif de fixation	Fraise a deux tailles de diamètre 80
	Perçage des trous débouchants des deux plaques de la partie mobile du four	Foret de diamètre 7
	Perçage bornes des deux plaques de la partie fixe du four	Foret de diamètre 7
	Réalisation des lumières de la partie supérieure du dispositif	Foret de diamètre 7

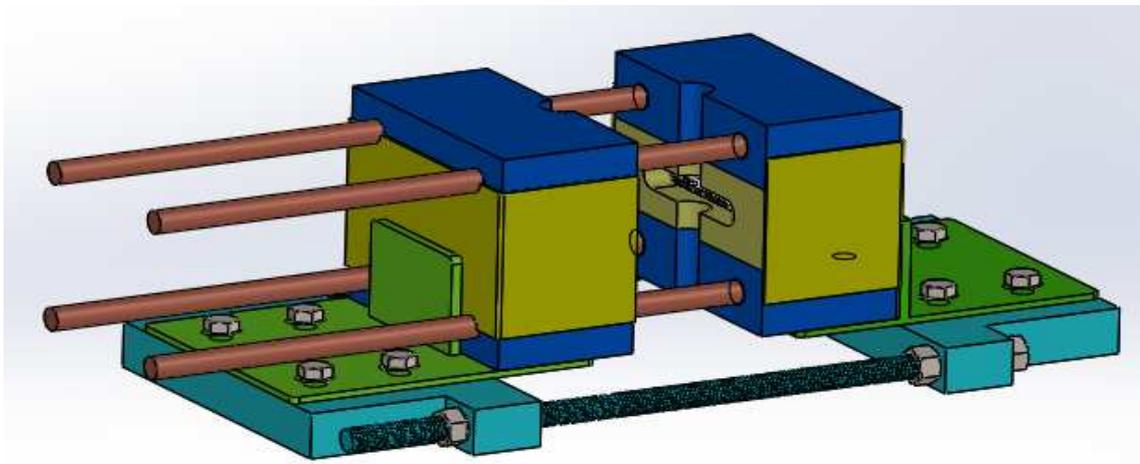
	de fixation	
	Perçage du bas du dispositif de fixation	Foret de diamètre 5
Tour	Réalisation des glissières	Foret de diamètre 5
	Réalisation des éprouvettes	Outil à charioter droit Outil accoudé à 45°
	Taraudage des trous des deux sur les plaques de la partie fixe du four	Taraud M6
Perceuse	Taraudage de pièces inférieures du dispositif de fixation	Taraud M6
	Réalisation de trou de passage de l'éprouvette	Foret de diamètre 12

#### IV- Système d'alimentation électrique et de régulation

Le système d'alimentation électrique est l'ensemble régulé de composants électriques qui servent à alimenter les éléments chauffants du four en énergie électrique. La figure 32 montre un schéma de montage du système de régulation électrique. Vu la taille des résistances chauffantes, les essais préliminaires pour les chauffer nous ont permis de constater qu'un transformateur abaisseur 220V-24V remplit bien cette tâche. L'alimentation des résistances est contrôlée au moyen d'un régulateur de températures auquel le thermocouple de type K, disposé à l'intérieur de l'enceinte chauffante, est connecté. Ce thermocouple émet un signal électrique sous forme d'une différence de potentiel proportionnelle (DDP) à la température dans l'enceinte du four. Le régulateur convertit la valeur de la DDP et l'affiche en valeur de température. Il compare la valeur affichée à la valeur de la température de consigne qu'on lui aura préalablement injectée. Lorsque la température réelle (du four) est inférieure à celle de la consigne, le régulateur envoie un signal permettant au contacteur, qui fait office d'interrupteur, de fermer le circuit électrique qui alimente les résistances. Ces dernières se trouvent donc alimentées et chauffent le four. Lorsque la température réelle dépasse la consigne, le régulateur envoie au contacteur le signal d'ouverture du circuit et coupe donc le courant aux résistances qui cessent de chauffer le dispositif. La température chute alors par effet de déperditions dues aux inévitables transferts de chaleur vers l'extérieur de la cellule chauffante. Notons que le régulateur permet de lire la température instantanée dans le four. Pour avoir une meilleure idée de la différence de température entre la valeur indiquée par le régulateur et celle régnant à la surface de l'éprouvette, un deuxième thermocouple, relié à un multimètre calibré, est disposé tout près de la surface de l'éprouvette. Cette mesure est prise pour les essais préliminaires et de calibrage notamment.



**Figure 36 :** Schéma de connexion des différents composants du système de régulation.



**Figure 37 :** la cellule monter sur le support de fixation

*Mise en fonctionnement de la cellule  
chauffante*

## Chapitre IV

### Mise en fonctionnement de la cellule chauffante

#### I. Matériau utilisé pour l'essai de traction

Pour mettre en évidence l'usage pour lequel la cellule chauffante est destinée, nous nous sommes proposés de réaliser des essais de traction à deux températures : la température ambiante 25°C et à 300°C. Cette a été choisie vu que l'alliage utilisé est l'Alpax, un alliage d'aluminium de fonderie, de formule chimique AlSi12 et ayant une température de fusion de l'ordre de 577°C. Ainsi, à partir de ce matériau, nous avons usiné des éprouvettes de traction normalisées.

##### I.1.Essai de traction à froid

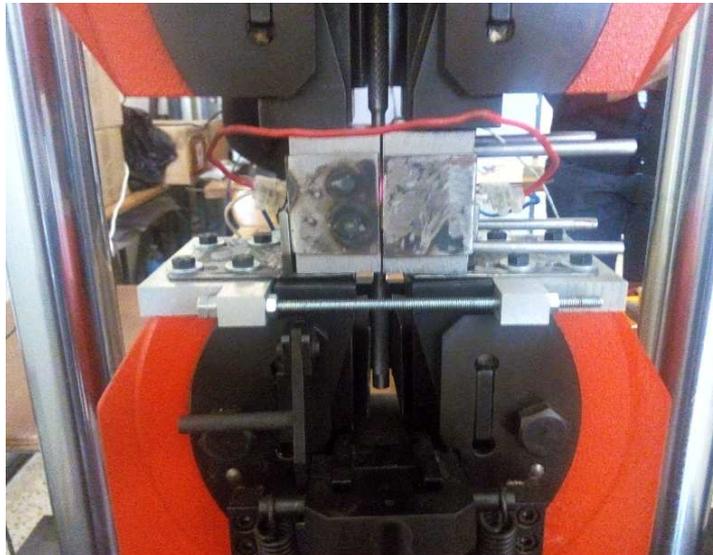
L'éprouvette est d'abord mise en place comme indiqué dans la procédure d'essai de traction (en la positionnant verticalement et en la fixant entre les mors de la machine). Ensuite, il est question de régler les paramètres de l'essai en injectant les valeurs désirées dans le logiciel de commande de la machine. Procéder ensuite à l'essai et attendre jusqu'à ce que l'éprouvette se casse pour arrêter la machine. Enregistrer les résultats sous format de fichier numérique (Figure 38).



**Figure 38** : teste de traction à froid

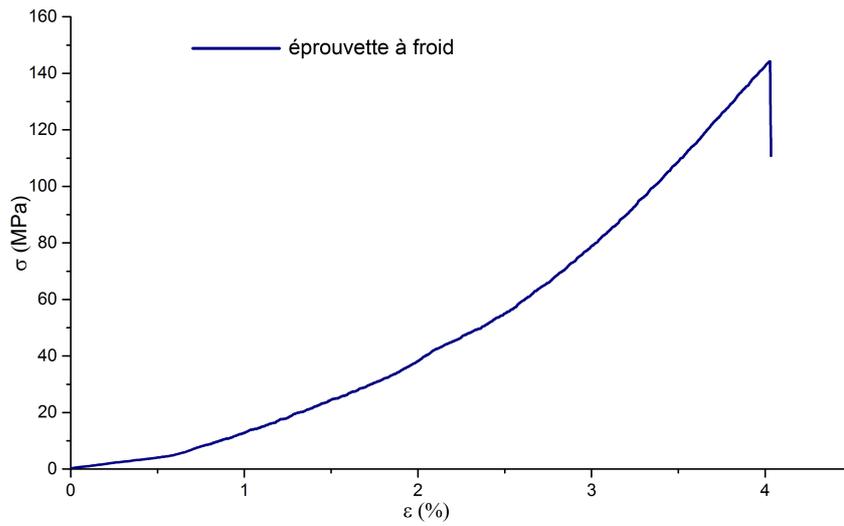
### I.1. Essai de traction à température

Après avoir positionné le dispositif de fixation sur la partie à laquelle les mors inférieurs sont fixés, on procède à la mise en place de la cellule chauffante sur le dispositif de fixation. ensuite fixé l'éprouvette entre les deux mors de la machine, sachant que l'enceinte est ouverte, on introduit deux thermocouple l'un est placé près de la partie utile de l'éprouvette et l'autre à l'intérieur de la chambre du four, puis serré le dispositif de fixation sur mors le mors inférieur de la machine, provoque la fermeture de la cellule chauffante. On consigne une température de 300°C a l'intérieure du four sur le régulateur. Enfin mettre le four sous tension.

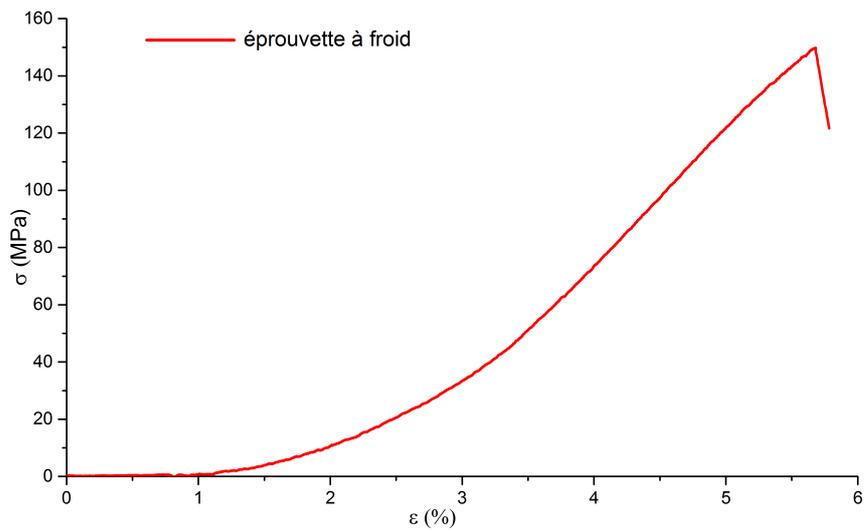


**Figure 39** : traction à température

Les résultats des deux essais ont été enregistrés sur la machine en fichier numérique (Excel), qui sont représenté ci-dessous sont représenté ci-dessous

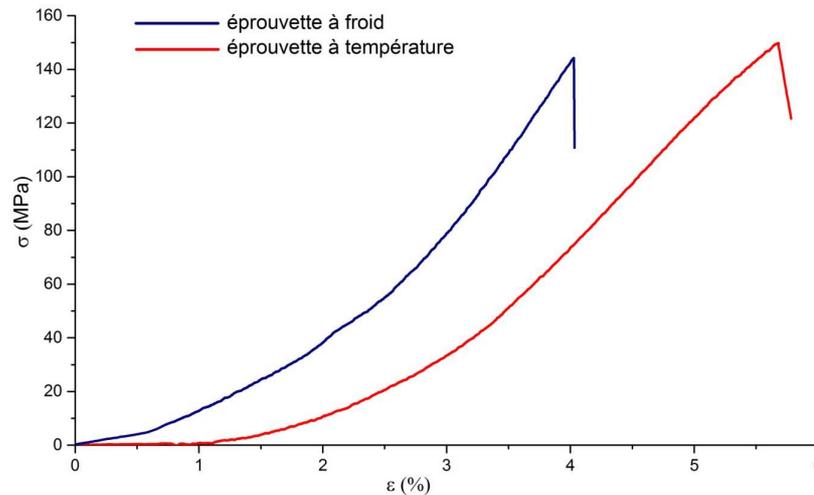


**Figure 40** : courbe de traction à froid



**Figure 41** : courbe de traction à température

La superposition des deux courbes est représentée sur la figure 42 ci-dessous.



**Figure 42** : superposition des deux courbes

Interprétation des deux courbes :

D'après les deux courbes de traction (à froid et à chaud), on remarque que le facteur température joue un rôle très important sur le comportement mécanique du matériau. En effet, à haute température, la courbe de traction à chaud montre que la rigidité diminue de 59 à 45 GPa au fur à mesure que la température augmente, l'apport d'énergie sous forme calorifique fait augmenter les distances interatomiques, et l'éloignement des atomes (relâche l'intensité des liaisons interatomiques), ce qui signifie que la rigidité du matériau diminue lorsque la température augmente. De plus la déformation maximale a augmenté et cela est dû à la mobilité des dislocations interatomiques, ce qui signifie que la déformation maximale a augmenté.

## *Conclusion générale*

## Conclusion générale

L'objectif assigné au présent travail consiste en la conception et la réalisation d'une cellule chauffante adaptée pour la machine de traction du département de Génie mécanique. Pour mener à bien l'étude de ce projet, nous avons opté pour une réalisation de notre projet de fin d'étude au hall de technologie a été pour nous d'une importance capitale, tant sur le plan pratique que théorique, cela nous a permis d'élargir nos connaissances dans le domaine de l'usinage (tournage, fraisage, perçage,...).

Ainsi, à travers de notre projet de fin d'étude nous avons pu constater la difficulté de mettre en œuvre les acquis théoriques en milieu industriel.

De plus, nous tenons à noter que cette étude nous a permis de nous familiariser avec un logiciel très utilisé dans l'industrie, qu'est Solid Works pour la conception assistée par ordinateur.

Dans le cadre de ce projet de fin d'études, nous nous sommes proposé de concevoir et de réaliser une cellule chauffante adaptée sur une machine de traction du département de Génie mécanique. Après avoir réalisé les dessins de définition des différentes pièces de la cellule chauffante en utilisant le logiciel Solid Works, nous les avons assemblées dans le logiciel en considérons les différents types de contraintes (géométriques, d'assemblage et de matière), puis à partir des dessins de définition, nous avons pu réaliser chacune des pièces de la cellule chauffante aux dimensions voulues.

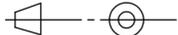
Ensuite, nous nous sommes proposés de réguler la cellule chauffante à l'aide d'un système composé d'un régulateur qui contrôle la température en prenant compte de celle consignée, on sachant que la température est affichée sur le régulateur à l'aide d'un thermocouple placé à l'intérieur de la cellule chauffante, et la température réelle est affichée à l'aide d'un thermocouple placé dans la partie utile de l'éprouvette.

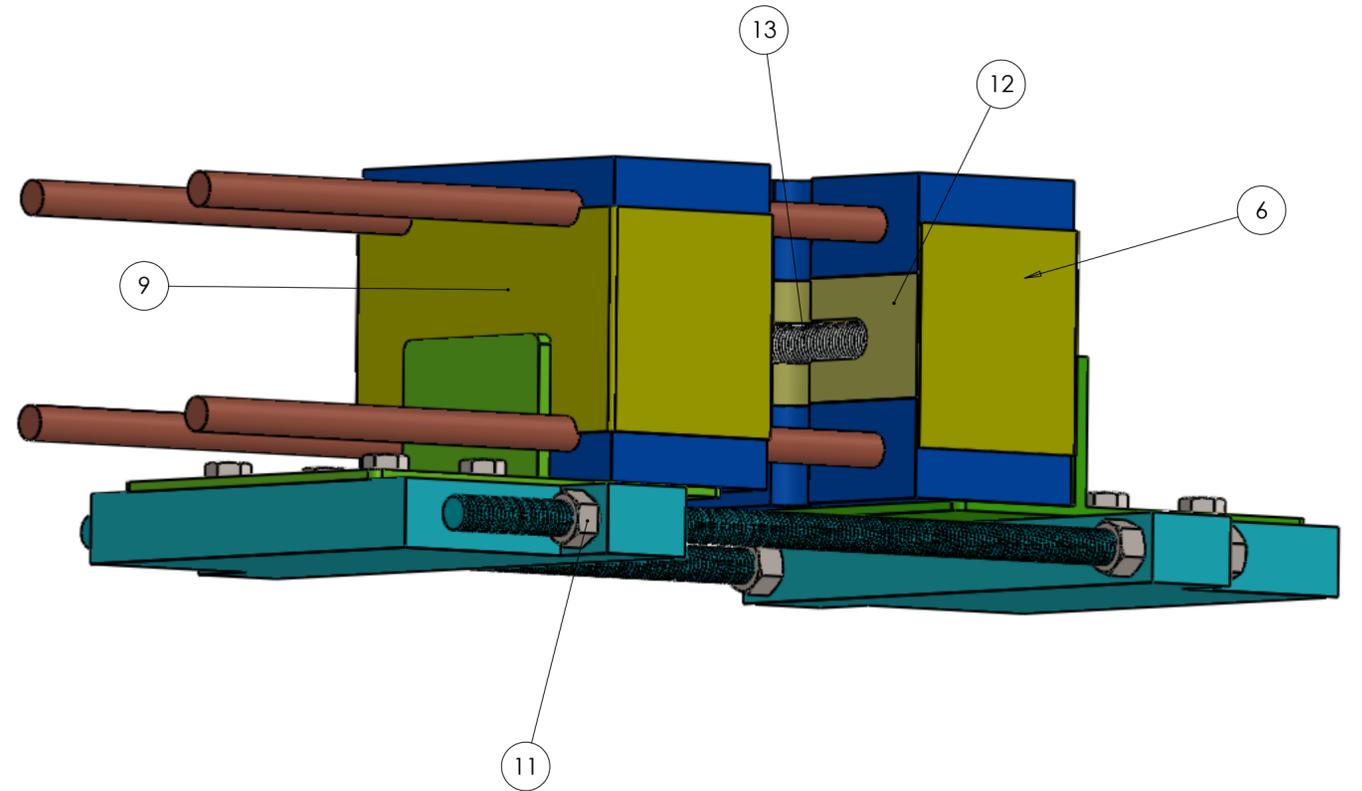
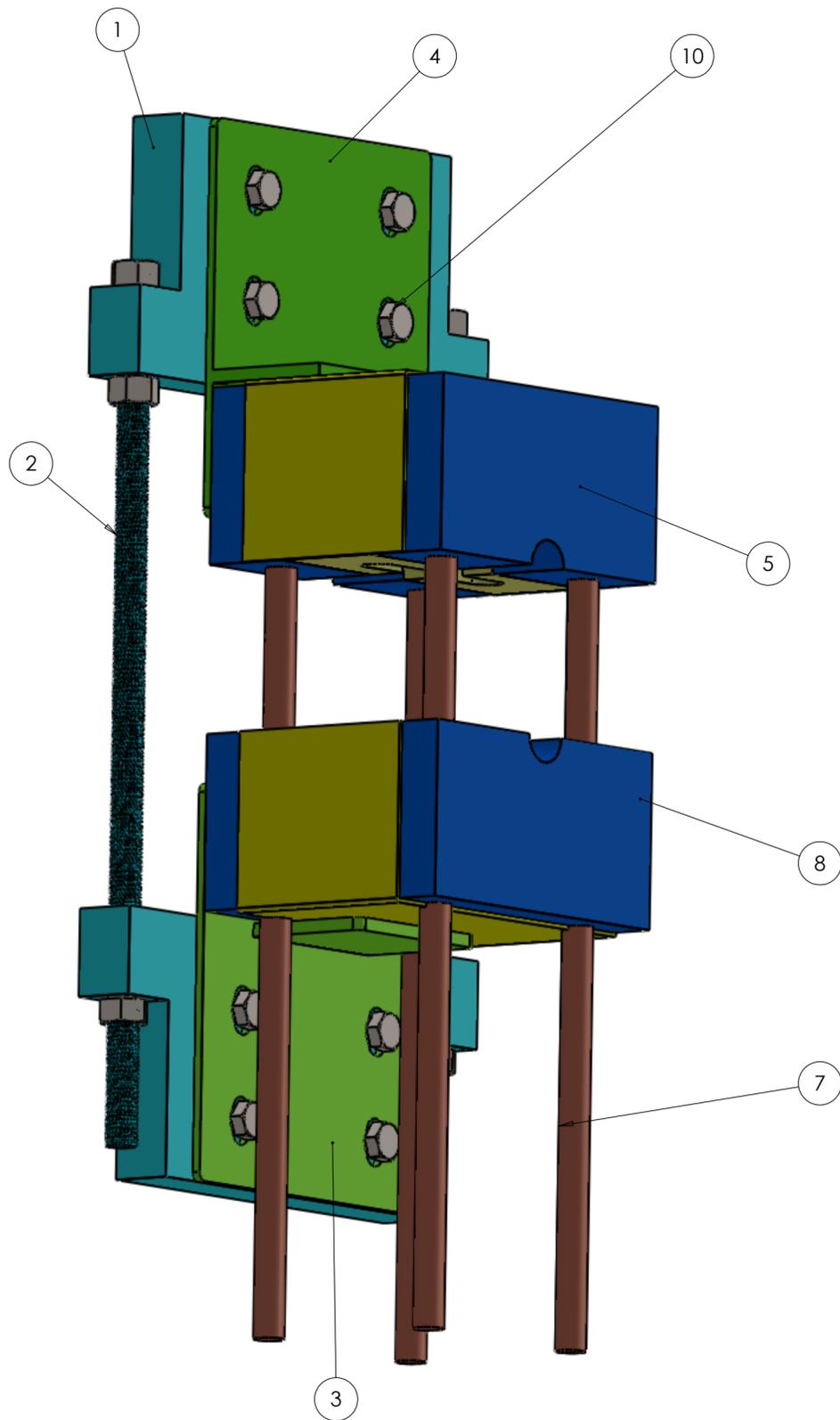
## *Références bibliographiques*

## Références bibliographiques

- [1] : Caractéristiques et choix des matériaux (IN2P3)
- [2] : J. Lemaitre et J.L.Chaboche, Mécanique des matériaux solides. 2<sup>ème</sup> édition, ScienceSup. Dunod.
- [3] : J. Michel Baes, Max Bourcart, Christian Lagoutte, Techniques de l'Ingénieur, 2004.
- [4] : Piere Henri Dejean, Introduction a la conception d'un produit. Revue Techniques de l'Ingénieur, 2007
- [5] : Stéphane GRES, Approche à la conception d'un système complexe. Revue Techniques de l'Ingénieur, 2002
- [6] : Philippe Gérard, Analyse des décisions en conception, Revue Techniques de l'Ingénieur, 2001.
- [7] : Jean-Pierre ZIN, Cahier de charges fonctionnel, Revue Techniques de l'Ingénieur, 1997.
- [8] : Claude Jouine, Analyse de la valeur, Revue Techniques de l'Ingénieur, 1993.

# *Annexes*

36	1	Echelle de mesure		
			Z200	
34	1	Couteau	Z200	
	2	Tige 33	XC48	
	2		XC48	
31	2	Ressort		
	2	Bras	XC48	
29	2	Manivelle	XC48	
	2	Cyrclipse pour arbre		
27	2	Roulement à billes		
26	1	Tige	A60	
	2	Croché	A60	
24	2	Vis CHC		
23	4	Vis CHC		
22	1	Courroie		
21	1	Moteur électrique pas à pas		
20	1	POULIE		
19	2	Roue dentée		
18	2	Roulement à bille		
17	4	Cyrclipse		
16	4	Roulement à bille		
15	1	Porte éprouvette	A60	
14	1	Porte éprouvette	A60	
13	1	Four	Acier	
12	1	Four	Acier	
11	2	Arbre	XC48	
10	1	Levier de libération de sécurité	XC48	
9	1	Tige 9	XC48	
8	1	Tige 8	XC48	
7	1	Pendule attaquant	Acier	
6	1		Z200	
5	1		42CD4	
4	1		XC48	
3	2		42CD4	
2	2		XC48	
1	1		Acier	
Rep	Nbr	Designation	Matière	Observation
Echelles: 1:5		<b>Conception d'un pendule charpy chauffant instrumenté</b>		Réaliser par Mr AIT BELKACEM Md.Arezki
				Projet de fin d'etude
A2		Université de Mouloud MAMMERI T-O		30/05/2015



13	8	résistance	tengstin	
12	6	Brique réfractère		
11	6	Ecrou M6	Acier	
10	8	vis M5	Acier	
9	1	Coque de la partie mobile	Acier	
8	2	Haut de la partie mobile	XC48	
7	4	Glissieres	Z200 C12	
6	1	coque de la partie fixe	Acier	
5	2	plaque de la parte fixe	XC48	
4	1	Haut du support de fixation	Acier	
3	1	Haut du support de fixation	Acier	
2	2	Tiges filetées	Acier	
1	2	Bas du support de fixation	aluminium	
Rep	Nbr	Designation	Matière	Observation

Echelles:  
1:1

Ecrou M6

A3

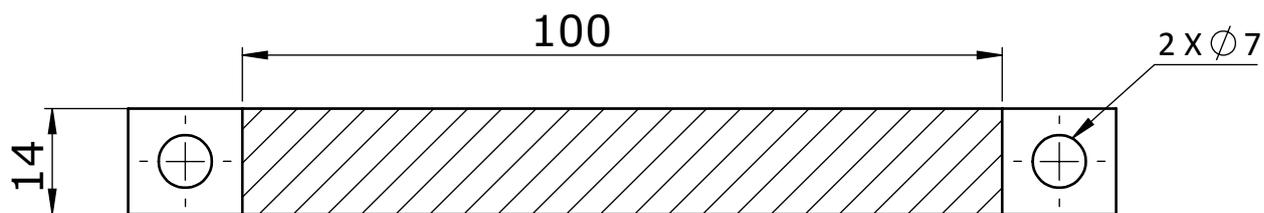
**CONCEPTION ET REALISATION  
D'UNE CELLULE CHAUFFANTE  
ADAPTEE POUR LA MACHINE DE  
TRACTION**

Université de Mouloud MAMMERI T-O

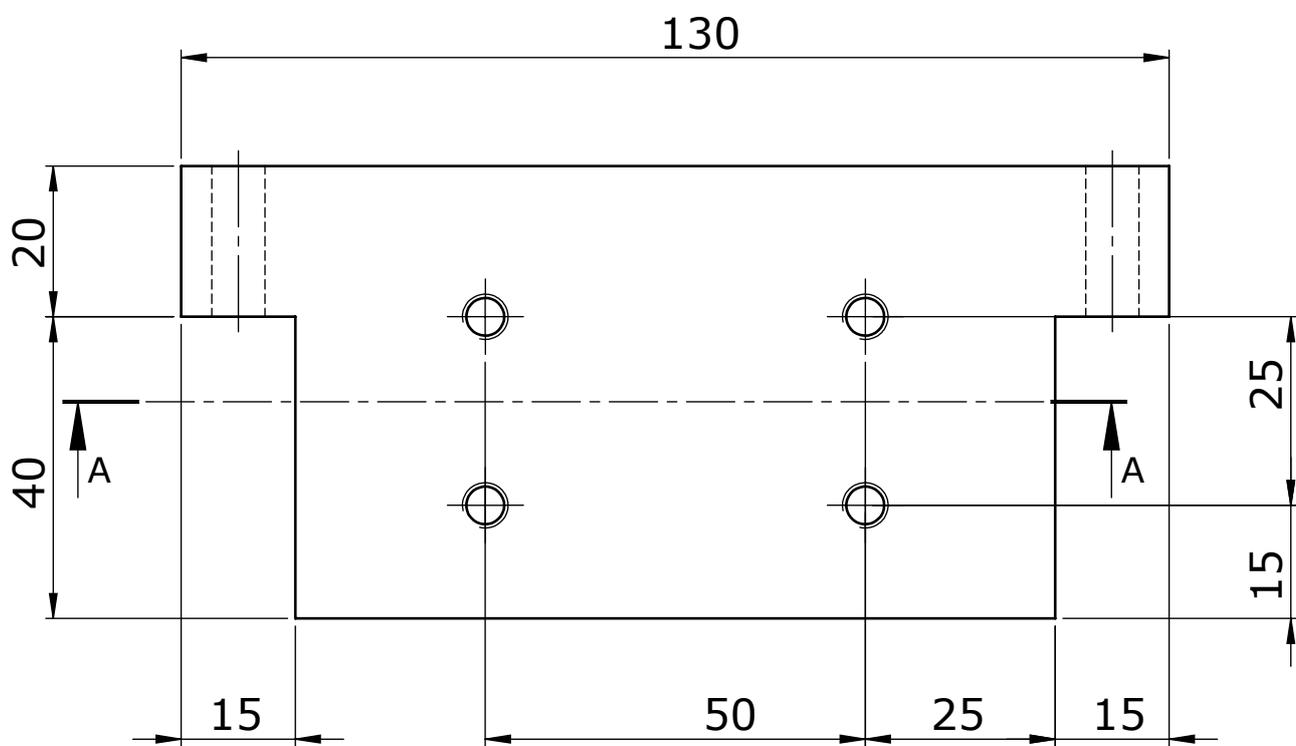
Réaliser par Mr  
MISSOUM Mouloud  
CHERIFI Mohand Arezki

Projet de fin d'étude

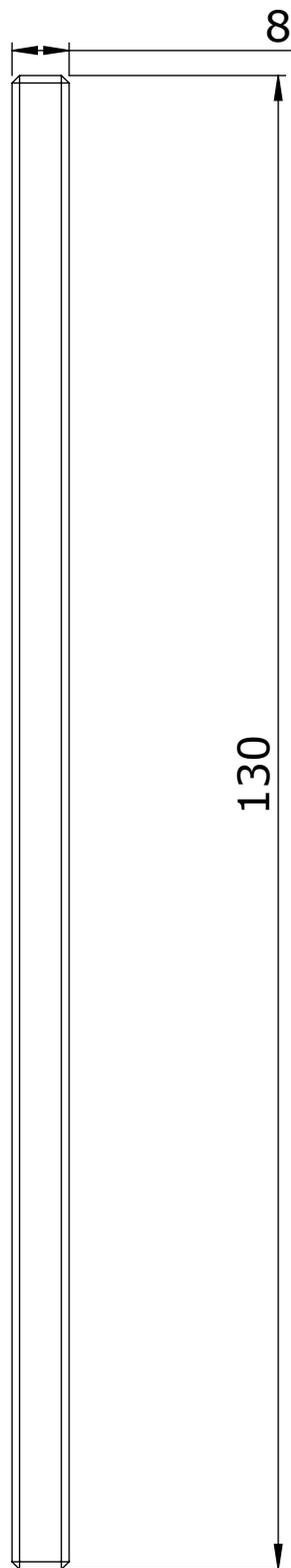
30/05/2015



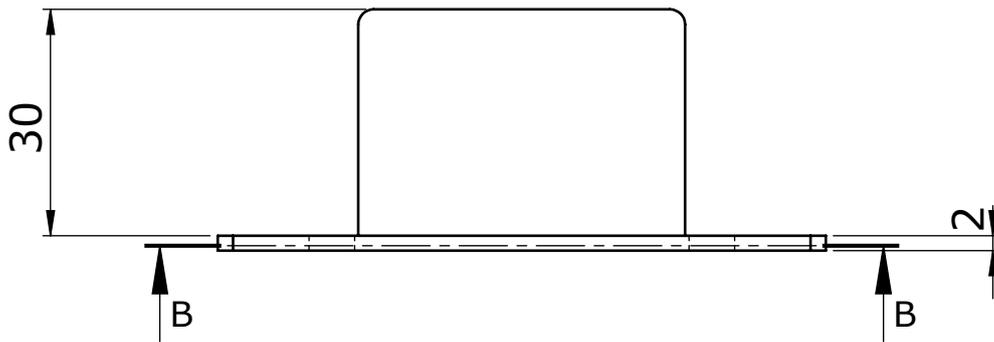
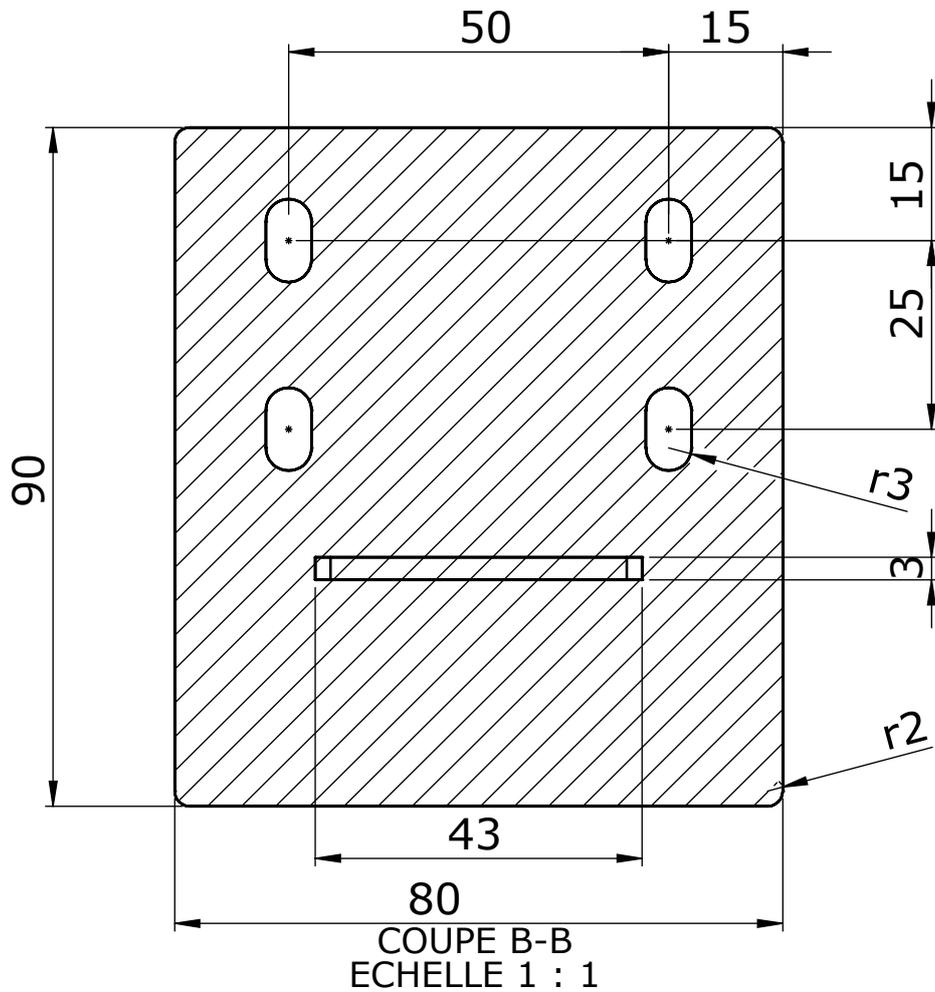
COUPE A-A  
ECHELLE 1 : 1



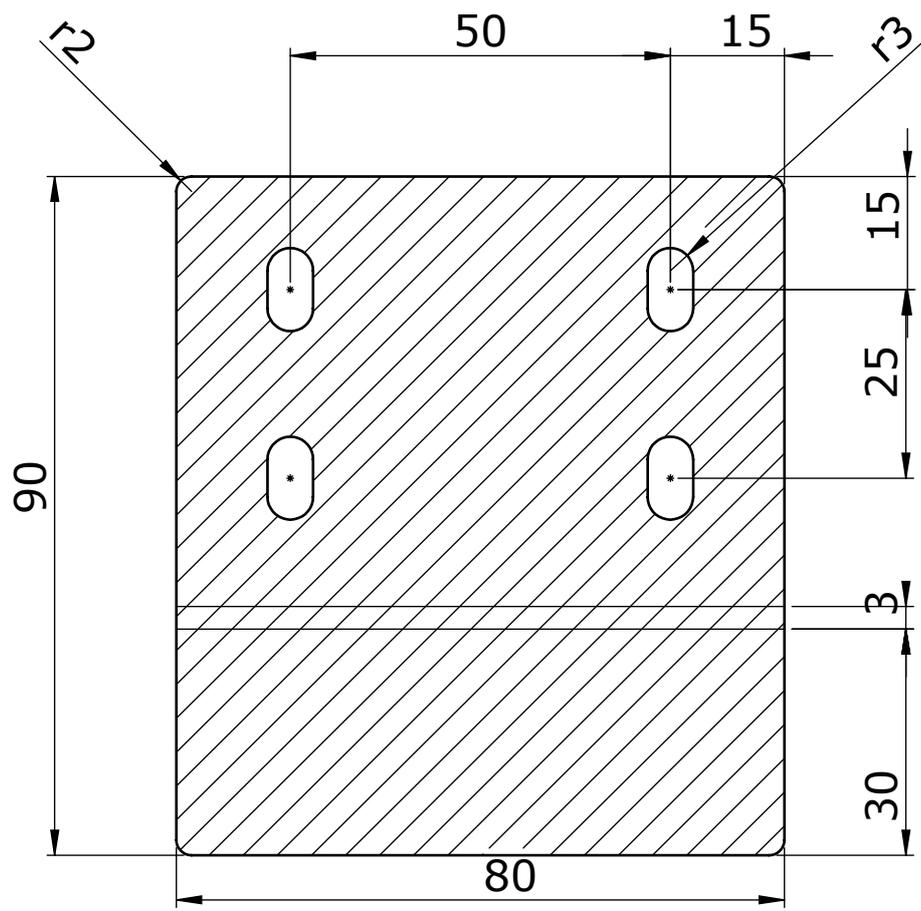
1	2	Bas de support de fixation	AlSi12	
Rep	Nbr	Désignation	Matière	Observation
Echelle: 1:1		<b>CONCEPTION ET REALISATION D'UNE CELLULE CHAUFFANTE ADAPTTABLE SUR UNE MACHINE DE TRACTION</b>	Réalisé par CHERIFI Md Arezki MISSOUM Mouloud	
			Projet de fin d'etude	
A4		Université Mouloud MAMMERI Tizi Ouzou	30/05/2015	



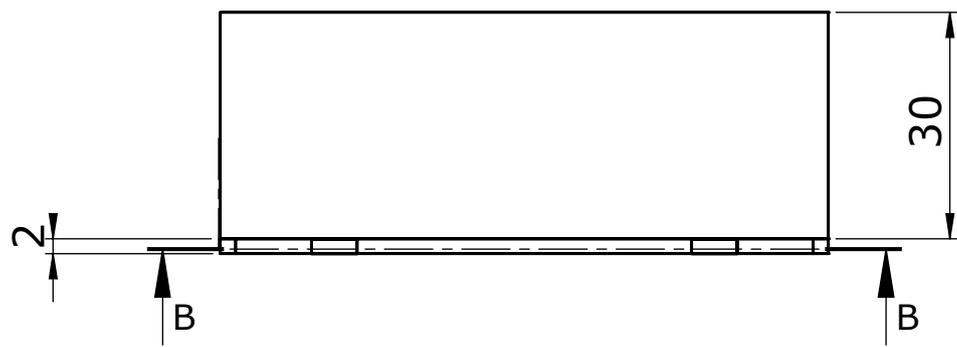
2	2	Tige Fileté	Acier Ordinaire	
Rep	Nbr	Désignation	Matière	Observation
Echelle: 1:1		<b>CONCEPTION ET REALISATION D'UNE CELLULE CHAUFFANTE ADAPTTABLE SUR UNE MACHINE DE TRACTION</b>	Réalisé par CHERIFI Md Arezki MISSOUM Mouloud	
			Projet de fin d'etude	
A4		Université Mouloud MAMMERRI Tizi Ouzou	30/05/2015	



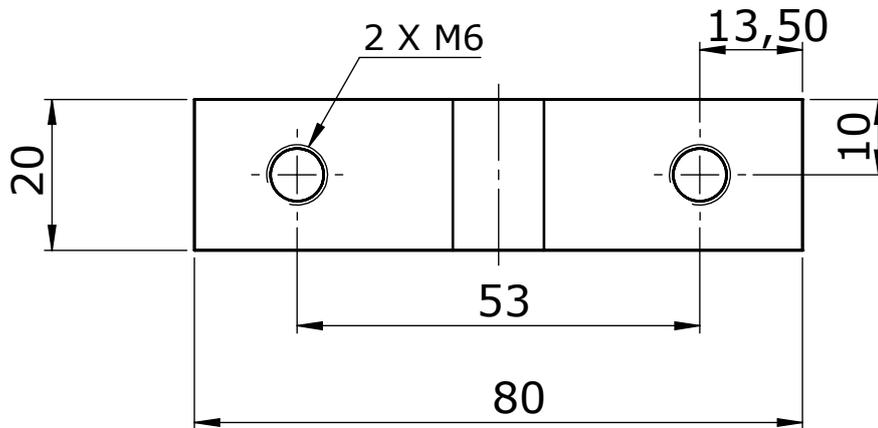
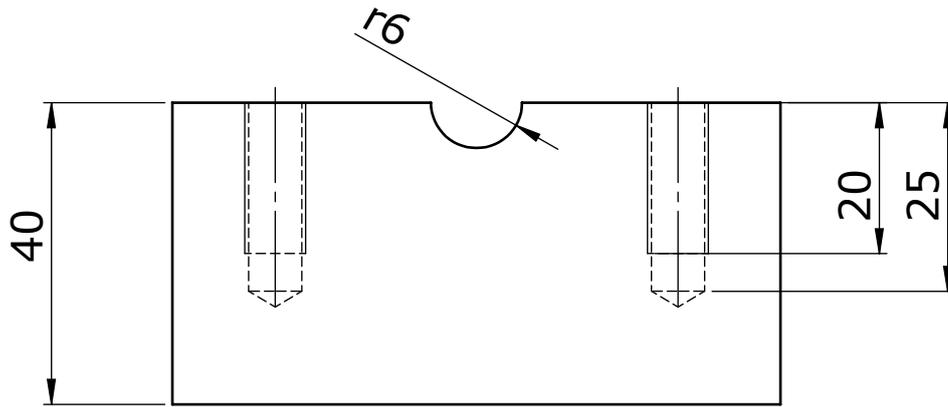
3	1	Haut du support de fixation	Acier Ordinaire	
Rep	Nbr	Désignation	Matière	Observation
Echelle: 1:1		<b>CONCEPTION ET REALISATION D'UNE CELLULE CHAUFFANTE ADAPTTABLE SUR UNE MACHINE DE TRACTION</b>		Réalisé par CHERIFI Md Arezki MISSOUM Mouloud
				Projet de fin d'etude
A4		Université Mouloud MAMMERI Tizi Ouzou		30/05/2015



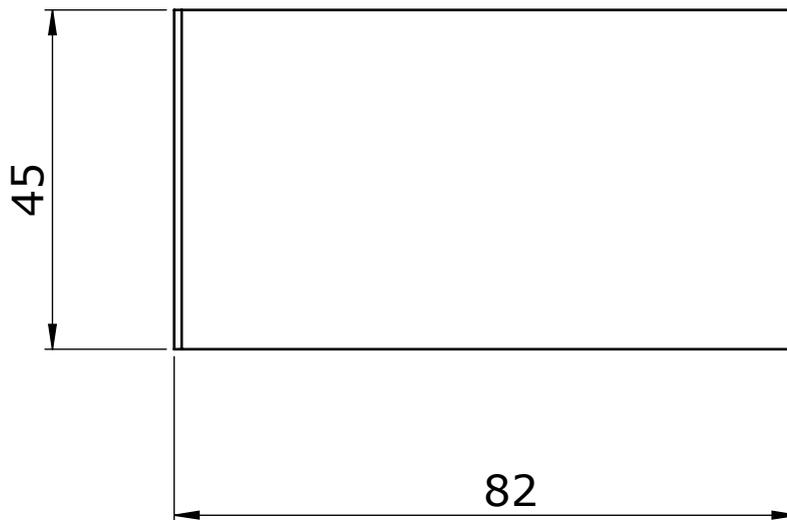
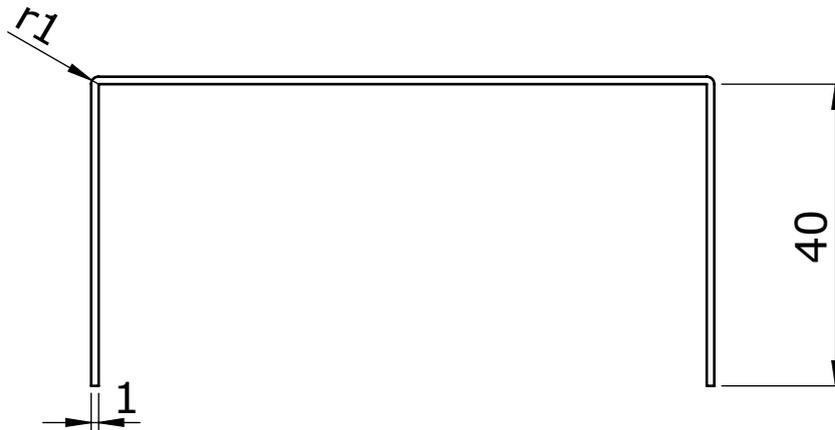
COUPE B-B  
ECHELLE 1 : 1



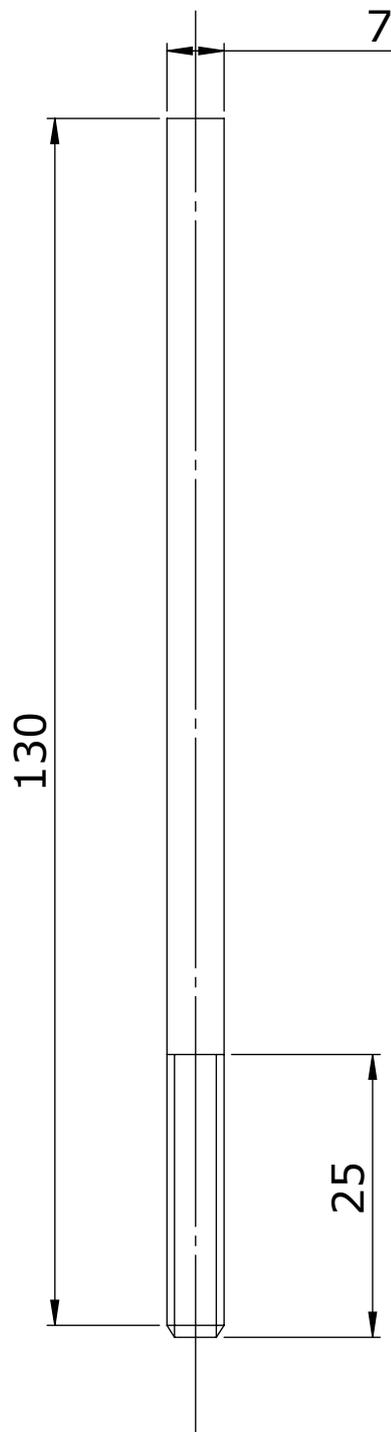
4	1	Haut du support de fixation	Acier Ordinaire	
Rep	Nbr	Désignation	Matière	Observation
Echelle: 1:1		<b>CONCEPTION ET REALISATION D'UNE CELLULE CHAUFFANTE ADAPTTABLE SUR UNE MACHINE DE TRACTION</b>		Réalisé par CHERIFI Md Arezki MISSOUM Mouloud
				Projet de fin d'etude
A4		Université Mouloud MAMMERRI Tizi Ouzou		30/05/2015



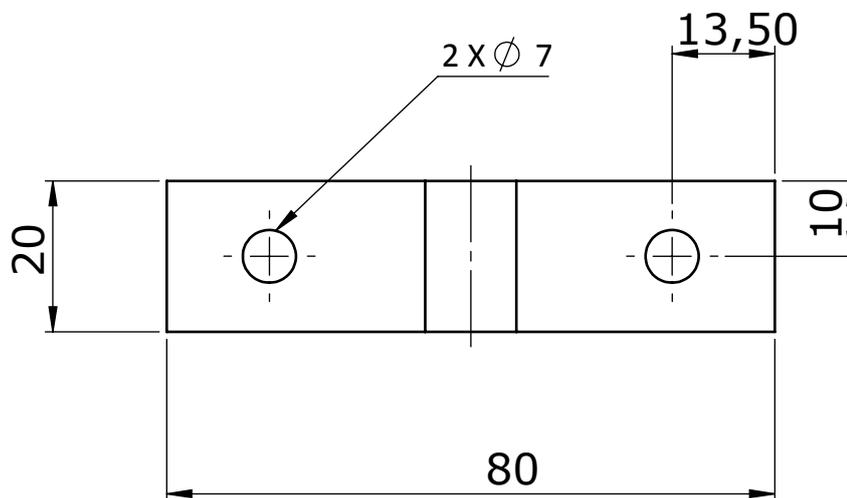
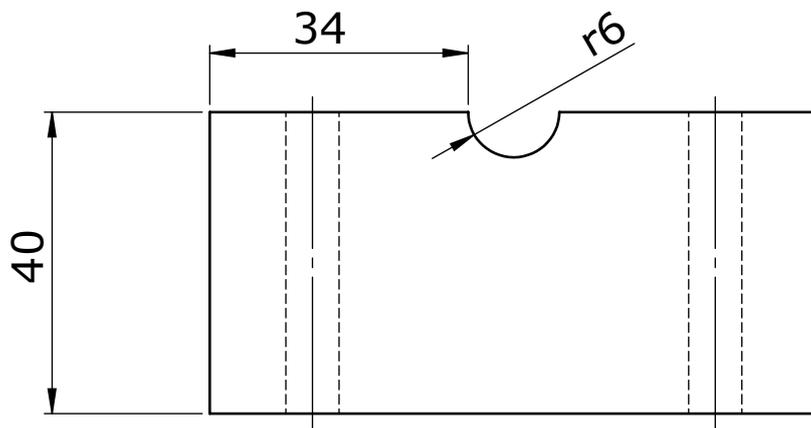
5	2	Plaque de la partie fixe	XC48	
Rep	Nbr	Désignation	Matière	Observation
Echelle: 1:1		<b>CONCEPTION ET REALISATION D'UNE CELLULE CHAUFFANTE ADAPTTABLE SUR UNE MACHINE DE TRACTION</b>	Réalisé par CHERIFI Md Arezki MISSOUM Mouloud	
			Projet de fin d'etude	
A4		Université Mouloud MAMMERI Tizi Ouzou	30/05/2015	



6	1	Coque de la partie fixe	Acier Ordinaire	
Rep	Nbr	Désignation	Matière	Observation
Echelle: 1:1		<b>CONCEPTION ET REALISATION D'UNE CELLULE CHAUFFANTE ADAPTTABLE SUR UNE MACHINE DE TRACTION</b>	Réalisé par CHERIFI Md Arezki MISSOUM Mouloud	
			Projet de fin d'etude	
A4		Université Mouloud MAMMERRI Tizi Ouzou	30/05/2015	

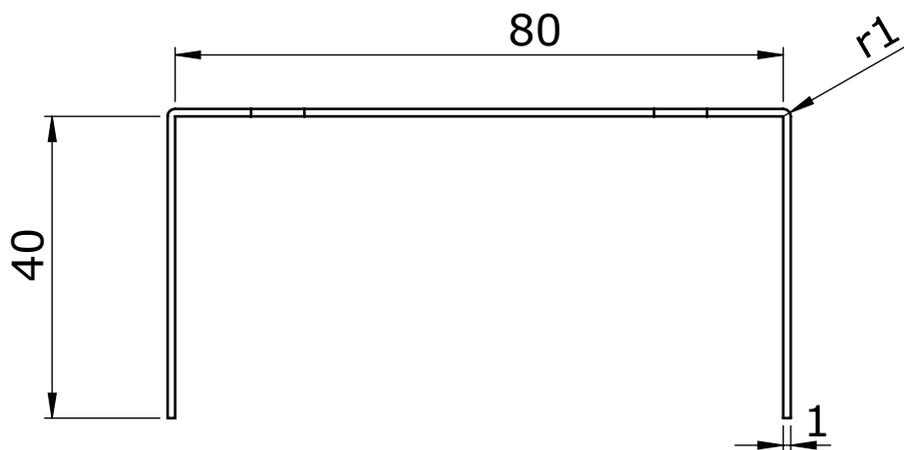
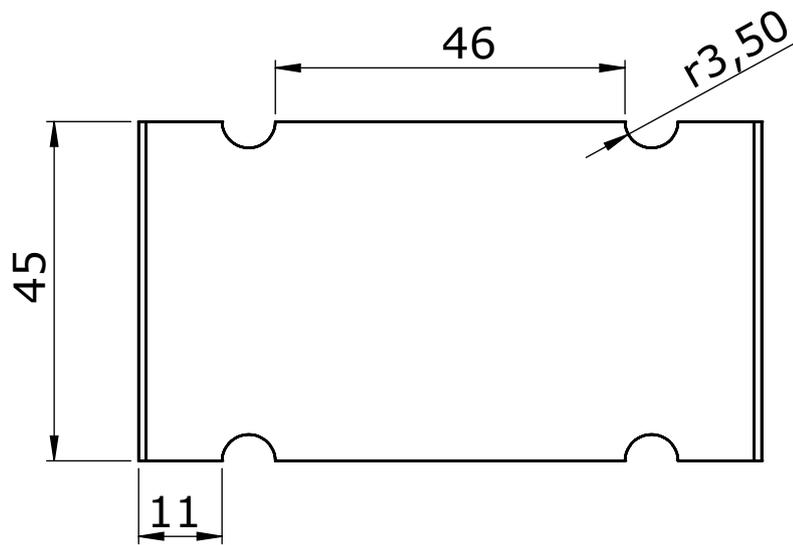


7	4	Glissière	Z200C12	
Rep	Nbr	Désignation	Matière	Observation
Echelle: 1:1		<b>CONCEPTION ET REALISATION D'UNE CELLULE CHAUFFANTE ADAPTTABLE SUR UNE MACHINE DE TRACTION</b>	Réalisé par CHERIFI Md Arezki MISSOUM Mouloud	
			Projet de fin d'etude	
A4		Université Mouloud MAMMERI Tizi Ouzou	30/05/2015	



13,50

8	2	haut de la partie mobile	XC48	
Rep	Nbr	Désignation	Matière	Observation
Echelle: 1:1		<b>CONCEPTION ET REALISATION D'UNE CELLULE CHAUFFANTE ADAPTTABLE SUR UNE MACHINE DE TRACTION</b>		Réalisé par CHERIFI Md Arezki MISSOUM Mouloud
				Projet de fin d'etude
A4		Université Mouloud MAMMERRI Tizi Ouzou		30/05/2015



9	1	Haut de la partie mobile	Acier ordinaire	
Rep	Nbr	Désignation	Matière	Observation
Echelle: 1:1		<b>CONCEPTION ET REALISATION D'UNE CELLULE CHAUFFANTE ADAPTTABLE SUR UNE MACHINE DE TRACTION</b>	Réalisé par CHERIFI Md Arezki MISSOUM Mouloud	
			Projet de fin d'etude	
A4		Université Mouloud MAMMERRI Tizi Ouzou	30/05/2015	