

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE  
UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA

FACULTE DE TECHNOLOGIE  
DEPARTEMENT DE GENIE MECANIQUE

N° : .....



DOMAINE : SCIENCE ET TECHNOLOGIE  
FILIERE : GENIE MECANIQUE  
OPTION : CONSTRUCTION MECANIQUE

**Mémoire présenté pour l'obtention  
Du diplôme de Master Académique**

**Par:**

-MEKKI Miloud.

-MAHMOUDI Thameur.

**Intitulé**

**Conception et réalisation d'un dispositif pour la  
mesure de la trempabilité des aciers  
(Essai Jominy).**

**Soutenu devant le jury composé de:**

Nom et prénom Enseignant

- |                           |                      |             |
|---------------------------|----------------------|-------------|
| • Dr Zaoui Moussa         | Université de M'sila | Président   |
| • Dr Zemmamouche Redouane | Université de M'sila | Encadreur   |
| • Dr Elhadi Abdelmalek    | Université de M'sila | Examinateur |
| • Dr Hamrit Fareh         | Université de M'sila | Examinateur |

**Année universitaire : 2017 /2018**

## **Remerciement**

*Je tiens à remercier mon Dieu, pour tout puissant et L'aide et le courage qu'il ma donnai pour surmonter toutes les difficultés durant mes années d'études et de m'avoir aidé à élaborer ce modeste mémoire.*

*Je remercie particulièrement Dr : ZemmamoucheRedouane qui je fais l'honneur de m'encadrer tout au long de mon travail, ainsi que tous les autres enseignants qui donnent beaucoup d'encouragement et de science et d'aide.*

*Je remercie tous les travailleurs de laboratoire de génie mécanique surtout monsieur AoufiBelkacem et monsieur Bourezeg Abdelkrim Chef de laboratoire de génie mécanique Pour les explications et les documents qu'il madonné tout la durée de stage.*

*J'aimerais ensuite remercier Dr Zaoui Moussa et Dr Elhadi Abdelmalek et Dr HamritFareh, qui m'honorent par leur présence en tant que jury de soutenance et Examineurs de mon mémoire.*

*Je remercie toutes les personnes qu'ont participé de loin ou De près à l'élaboration de ce travail.*

*Enfin je tiens à remercier ma famille, mes amis et tout mes collègues de l'université de M'sila, pour leurs encouragements.*

## *Dédicaces*

*Je dédie le présent mémoire à :*

*Ma mère, et mon père qui m'ont toujours soutenu  
affectivement et moralement.*

*Ainsi que :*

- *Mes frères et Mes sœurs.*
- *Toute ma famille.*
- *touts les Amis. ettout mes collègues de l'université  
de M'sila.*

<b>Sommaire</b>	
<b>Remerciement</b>	
<b>Dédicaces</b>	
<b>Liste de figures.....</b>	<b>07</b>
<b>Résumé .....</b>	<b>09</b>
<b>Introduction générale.....</b>	<b>10</b>
<b>Chapitre I: Traitements thermiques</b>	
<b>I. Introduction.....</b>	<b>13</b>
<b>I.1. Métallurgie des aciers.....</b>	<b>13</b>
<b>I.2. Points de transformations des aciers.....</b>	<b>14</b>
<b>I.3. Définition d'un acier .....</b>	<b>15</b>
<b>I.4 Traitement thermique des aciers.....</b>	<b>16</b>
<b>4.1. Cycle d'un traitement thermique.....</b>	<b>16</b>
<b>4.2. Types des traitements des aciers.....</b>	<b>17</b>
<b>4.2.1. Trempe.....</b>	<b>17</b>
<b>4.2.2 Traitement de recuit.....</b>	<b>18</b>
<b>4.2.3 Traitements d'amélioration (revenus).....</b>	<b>19</b>
<b>I.5. Trempabilité des aciers.....</b>	<b>20</b>
<b>I. 6. L'essai Jominy.....</b>	<b>21</b>
<b>Chapitre II: La conception d'un produit</b>	
<b>Introduction.....</b>	<b>24</b>
<b>II.1. Les grandes étapes de la conception.....</b>	<b>24</b>
<b>1.1. L'analyse du besoin client.....</b>	<b>24</b>
<b>1.2. L'étude de faisabilité.....</b>	<b>25</b>
<b>1.3. La concrétisation de l'avant-projet.....</b>	<b>25</b>
<b>II.2. Le bureau d'études dans l'entreprise.....</b>	<b>25</b>
<b>2.1. Les principaux acteurs du bureau d'études.....</b>	<b>25</b>
<b>2.1.1. L'ingénieur d'études.....</b>	<b>25</b>
<b>2.1.2. Le dessinateur d'études.....</b>	<b>26</b>
<b>2.1.3. Le projeteur.....</b>	<b>.26</b>
<b>II.3. La démarche de l'analyse fonctionnelle.....</b>	<b>26</b>
<b>3.1. Définition de l'Analyse fonctionnelle.....</b>	<b>26</b>
<b>3.2. L'analyse des produits existants.....</b>	<b>27</b>
<b>3.3. Analyse fonctionnelle descendante (SADT).....</b>	<b>27</b>

3.3.1. Description : niveau A-0.....	27
3.3.2. Utilisation et fonctionnement : niveau A0.....	28
3.4. Diagramme FAST.....	29
3.4.1. Description.....	29
3.4.2. Utilisation et fonctionnement.....	29
II.4. Le cahier des charges fonctionnel.....	29
II.5. Le dessin technique.....	30
5.1. Les différentes représentations des dessins techniques.....	30
5.2. L'échelle.....	31
5.3. Le cartouche.....	31
5.4. La nomenclature.....	32
II.6. La cotation fonctionnelle.....	32
6.1. Définition.....	32
6.2. Cote condition.....	32
6.3. La chaîne de cotes.....	32
6.4. Tolérances.....	32
II.7. Le choix des matériaux.....	33
7.1. Mise en œuvre.....	33
7.2. Caractéristiques physico-chimiques.....	33
II.8. La chaîne cinématique.....	34
8.1. Le schéma cinématique.....	34
8.2. Classes d'équivalence cinématique.....	34
8.3. Graphe des liaisons.....	35
8.4. Liaisons mécanique .....	35
<b>Chapitre III: Conception et réalisation d'un dispositif</b>	
Introduction .....	38
III.1. Analyse fonctionnelle du dispositif de Jominy.....	38
III.2. Expression du besoin .....	38
2.1. Analyse fonctionnelle externe.....	39
2.2. Analyse fonctionnelle Interne.....	40
III.3 La conception du dispositif .....	41
III.4 La réalisation du dispositif .....	43
4.1 Matériels utilisée .....	43
4.2 Réalisation du bac de refroidissement.....	43

<b>4.3 Préparation des éprouvettes .....</b>	<b>45</b>
<b>4.3.1 Caractéristique de l'acier (42CD4) .....</b>	<b>45</b>
<b>4.3.2 Gamme d'usinage .....</b>	<b>45</b>
<b>III.5 Préparation de l'essai pour la trempe .....</b>	<b>48</b>
<b>5.1 Chauffage .....</b>	<b>49</b>
<b>5.2 Refroidissement d'éprouvet.....</b>	<b>50</b>
<b>IV. Conclusion .....</b>	<b>51</b>
<b>V. Bibliographie .....</b>	<b>52</b>

<b>Liste des figures</b>	
Figure(I.1) Diagrammes TTT .....	13
Figure(I.2) Lignes de transformations dans le diagramme Fe-C .....	14
Figure(I.3) Cycle d'un traitement thermique .....	15
Figure(I.4) Cycle thermique du recuit .....	18
Figure(I.5) Cycle thermique du revenu .....	19
Figure(I.6) Appareil de trempe selon Jominy .....	20
Figure(I.7) Courbe de refroidissement à différentes profondeurs de l'éprouvette Jominy.....	20
Figure (II.1) Fonction principale .....	26
Figure (II.2) Fonction complémentaire .....	26
Figure (II.3) Diagramme A-0 utilisé en SADT .....	27
Figure (II.4) Analyse descendante .....	27
Figure (II.5) Forme générale du CDCF .....	29
Figure (II.6) Classes d'équivalence cinématique d'un rétroprojecteur .....	33
Figure (II.7) Graphe des liaisons d'un rétroprojecteur .....	34
Figure (II.8) Liaisons mécanique .....	35
Figure (III.1) Expression du besoin du dispositif de Jominy .....	37
Figure (III.2) Diagramme pieuvre du dispositif de Jominy .....	38
Figure (III.3) Diagramme SADT A-0 .....	39
Figure (III.4) Diagramme SADT A0 .....	39
Figure (III.5) la conception de la pièce par logiciel CATIA .....	40
Figure (III.6) Les différents vue de la pièce .....	40
Figure (III.7) la conception du bac par logiciel CATIA .....	41
Figure (III.8) La conception de la table par logiciel CATIA .....	41
Figure (III.9) Le dispositif complet .....	42
Figure (III.10) assemblage du tuyau avec la pompe .....	43
Figure (III.11) assemblage du support avec le bac .....	43
Figure (III.12) cisaillement de la pièce .....	45
Figure (III.13) chariotage de la pièce .....	45
Figure (III.14) dressage de la pièce .....	46
Figure (III.15) le fraisage de la pièce .....	46
Figure (III.16) Les éprouvettes de l'essai de Jominy .....	47
Figure (III.17) jet d'eau sans éprouvette .....	48

Figure (III.18) four électrique à température 830C <sup>0</sup> .....	49
Figure (III.19) le refroidissement de l'éprouvette .....	49

## Résumé

Dans cette étude on représente l'importance des traitements thermiques des aciers et leurs différents types (trempe, revenu, recuit). Les modifications structurales obtenues par traitement thermique permettent, de conférer à un matériau des propriétés particulières adaptées à sa meilleure utilisation sous forme de pièce finie.

Ensuit, le but de notre travail est la conception et la réalisation d'un dispositif dont le principe consiste à réaliser la trempe, d'un acier chauffé à la température d'austéniésation, par un jet d'eau. Il s'agit de l'essaie de Jominy.

La finalité de notre travail est de réaliser un dispositif qui permettra d'enrichir le laboratoire des traitements thermiques avec de nouveaux matériels, soit pour les travaux pratiques ou les travaux de recherches Scientifique.

**Mots clés :**traitements thermiques, dispositif, la trempe, l'essaie de Jominy.

## ملخص

في هذه الدراسة ، يتم تقديم أهمية المعالجة الحرارية للفولاذ وأنواعها المختلفة (التبريد ، التقسية ، التلدين). تتيح التعديلات الهيكلية التي تم الحصول عليها عن طريق المعالجة الحرارية إمكانية تحديد خصائص معينة مادية تتكيف مع أفضل استخدام لها في شكل جزء مكتمل ، ثم الهدف من عملنا هو تصميم جهاز يتكون مبدئه من التبريد ، من الصلب المسخن إلى درجة حرارة التنقية بواسطة نفثة من الماء. هذه هي محاولة جوميني. الغرض من عملنا هو إنشاء جهاز من شأنه إثراء المعالجات الحرارية للمختبرات بمواد جديدة إما للعمل العملي أو البحث العلمي

**الكلمات المفتاحية :** المعالجات الحرارية ، الجهاز ، التبريد ، تجربة جوميني.

## Introduction générale

Les traitements thermiques sont des opérations de chauffage suivi de refroidissement qui ont pour but de donner à une pièce métallique les propriétés les plus convenables pour son emploi au stade de sa mise en forme. Ils permettent d'améliorer dans une large mesure les caractéristiques mécaniques d'un acier de composition déterminée les buts principalement recherchés étant l'augmentation de la limite élastique et la diminution de la fragilité.

La plupart des matériaux sont susceptibles de subir des traitements thermiques. C'est ainsi que l'on peut modifier les structures des matières plastiques, des verres, des céramiques, mais ce sont les matériaux métalliques, métaux et alliages, qui offrent les plus grandes possibilités de traitements thermiques : on peut même dire que c'est grâce à eux que l'on peut en tirer le plus grand profit.

L'importance commerciale des traitements thermiques est considérable. Les modifications structurales obtenues par traitement thermique permettent, de conférer à un matériau des propriétés particulières adaptées à sa meilleure utilisation sous forme de pièce finie, ou à sa mise en œuvre dans les meilleures conditions, sous forme de demi-produit ou d'ébauche. Ces améliorations contribuent très souvent à une diminution des coûts, car elles permettent l'emploi d'alliages bon marché quand on sait les traiter convenablement, ou la diminution du nombre de nuances à utiliser pour un type de fabrication donné, en choisissant un traitement bien adapté à chaque propriété recherchée.

Dans ce contexte, le but de notre travail est la conception et la réalisation d'un dispositif de mesure de la trempabilité des aciers. Il s'agit de l'essai de Jominy, dont le principe consiste à réaliser la trempe, d'un acier chauffé à la température d'austénisation, par un jet d'eau. Puis mesurer la pénétration de la trempe dans l'acier par un essai de dureté.

La finalité de notre travail est de réaliser un dispositif qui permettra d'enrichir le laboratoire des traitements thermiques avec de nouveaux matériels, soit pour les travaux pratiques ou les travaux de recherches.

*Chapitre I :* Dans ce chapitre, on présente des généralités sur la métallurgie, et on définit les aciers, puis on fait des notions préliminaires sur les traitements thermiques des aciers et leurs différents types (trempe, revenu, recuit). Après ça on étudie la trempabilité des aciers. Et on fait aussi une étude sur (L'essai Jominy).

*Chapitre II :* dans le deuxième chapitre on parle de la conception d'un produit. Et leurs grandes étapes. Puis on parle du bureau d'étude dans l'entreprise. L'analyse fonctionnelle, le

cahier de charge fonctionnel, le dessin technique, cotation fonctionnel, choix des matériaux, et la chaîne cinématique.

*Chapitre III* : dans le troisième chapitre on fait une conception et réalisation du dispositif de l'essai de Jominy pour comprendre l'influence de trempabilité sur les caractéristiques de l'acier.

# **Chapitre I :**

## **Traitement thermique**

## **Introduction**

Les matériaux en général et les métaux en particulier prennent une place importante dans tout développement industriel ou progrès technologique. Vu les exigences de l'industrie moderne, nombreux programmes de recherches sont en route pour le développement d'autres matériaux plus performants et moins coûteux tels que les composites, les céramiques, les polymères...etc. mais les alliages métalliques occupent toujours une place importante, car les caractéristiques de ces derniers s'améliorent de jour en jour grâce aux recherches. La compréhension des divers aspects des transformations des phases devient nécessaire pour la maîtrise de la technologie des matériaux métalliques. Parmi les transformations des phases à l'état solide les plus intéressants et qui ont longtemps attirés bon nombre des chercheurs c'est la précipitation qui se produit lors des traitements de vieillissement et représentant une transformation à l'état solide d'une solution sursaturée, et la dissolution qui est une opération inverse de la précipitation. Les transformations de phases où certaines précipitations modifient les caractéristiques mécaniques des matériaux métalliques de façon le plus souvent non négligeable[1].

### **I.1. Métallurgie des aciers**

Les connaissances acquises au cours du dernier siècle sur les aciers permettent aujourd'hui non seulement de concevoir des aciers de très haute performance, mais aussi de comprendre une grande partie des mécanismes conférant les propriétés mécaniques aux aciers. Les aciers à outils sont un bon exemple de cette maîtrise technologique. Les connaissances actuelles en métallurgie physique nous permettent de relier les propriétés mécaniques à la microstructure et ainsi comprendre les effets des éléments d'alliages, des différents traitements mécaniques et thermiques. Un aperçu de quelques éléments métallurgiques de base est essentiel puisque ce sont les fondations des développements récents. Il sera question de la précipitation interphase, des diagrammes TTT (temps-température-transformation) (fig.1) et TRC (Transformation de refroidissement continue) et des notions relatives à la trempabilité [2].

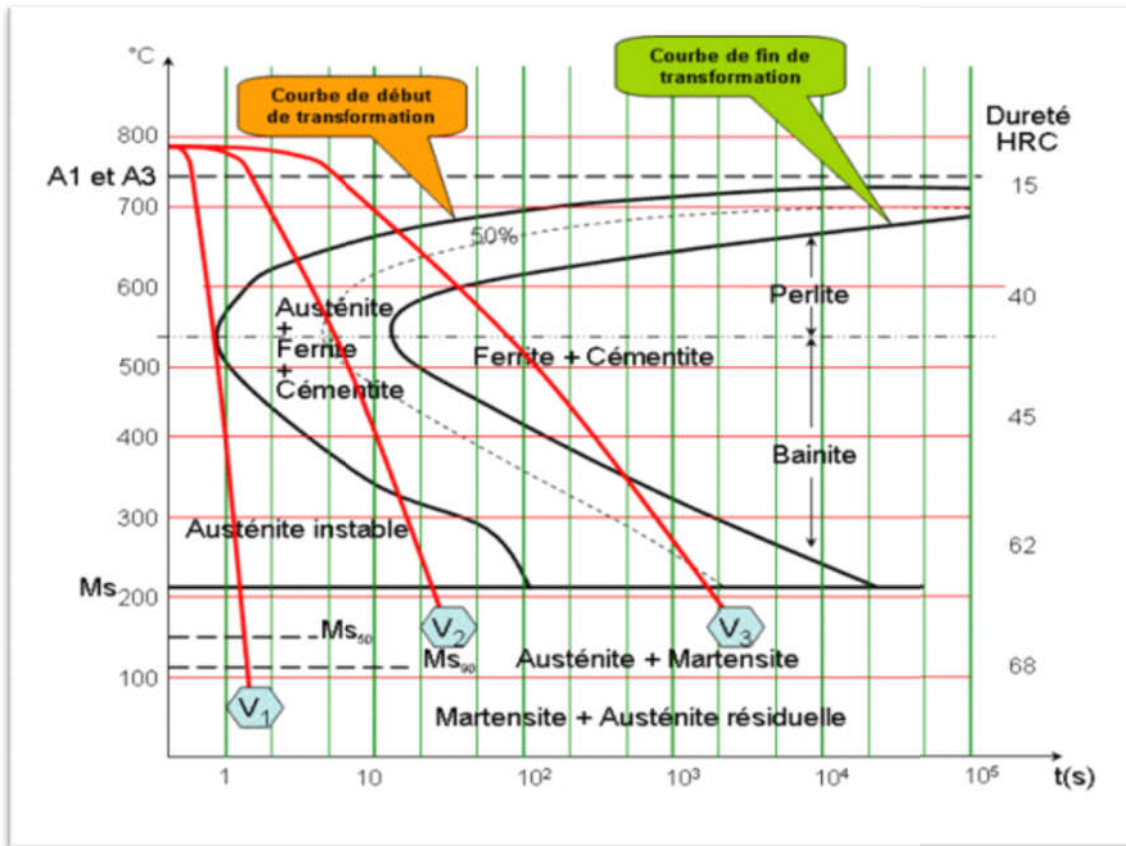


Fig. I.1. Diagrammes TTT

## I.2. Points de transformations des aciers

Ce sont les points établis lors de la transformation des aciers, et qui correspondent à l'intersection des verticales (représentant la composition chimique) avec les lignes de transformations du diagramme (fig.2).

- En dessous des points  $Ac_1$  ( $720^\circ$ ) : On obtient une solution stable à froid (solution  $\alpha$ ) de Ferrite ou perlite ou (Ferrite + perlite) ou (perlite + cémentite) elle est malléable dont la constitution dépende du % carbone.
- Au-dessus des points  $Ac_3$  ou  $Ac_{cm}$  ( $720^\circ$  à  $1145^\circ$ ): On obtient une solution stable ou le carbone se trouve dissout dans le fer (solution  $\gamma$  ou carbure de fer). On obtient un nouveau constituant Austénite.
- Entre les points  $Ac_1$  et  $Ac_3$  ( $Ac_{cm}$ ) : la connaissance du point  $Ac_3$  d'un acier correspond à la température de mise en solution du carbone. L'intervalle de température entre  $Ac_1$  et  $Ac_3$  plus ou moins important en fonction du % carbone) est nécessaire à la transformation de la mise en solution.

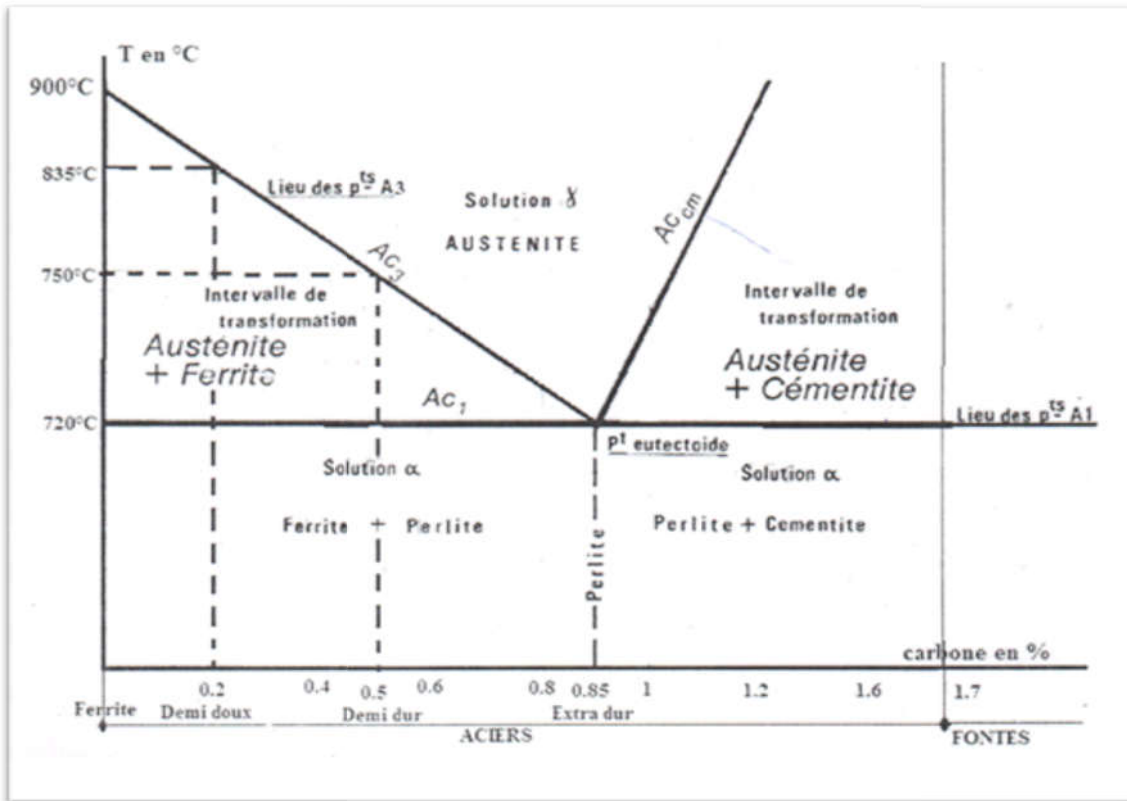


Fig. I.2.Lignes de transformations dans le diagramme Fe-C

### 1.3.Définition d'un acier

Selon le dictionnaire ROBERT, un acier est un « alliage de fer et de carbone (moins de 1,5 %) auquel on donne, par traitement mécanique ou thermique, des propriétés variées (malléabilité, résistance...) ».

Selon la norme NF A 02-025)«acier un matériau dont le fer est l'élément prédominant, sa teneur en carbone est généralement inférieure à 2 % et il contient d'autres éléments ; un nombre limité d'aciers au chrome peut avoir une teneur en carbone supérieure à 2 %, mais cette valeur de 2 % est la teneur limite courante qui sépare l'acier de la fonte ».

À la lecture de ces deux définitions, on constate que la limite supérieure de la teneur en Carbone des alliages Fe-C susceptibles de s'appeler des aciers (par différence avec les fontes) est délicate à préciser. C'est la raison pour laquelle il peut être préférable d'adopter un point de vue plus métallurgique en prenant en compte la différence intervenant lors de la solidification de ces alliages.

La solidification d'une fonte s'achève par une réaction eutectique qui inclut la précipitation de carbure de fer et/ou de graphite [2].

## I.4. Traitement thermique des aciers

Sur le plan technologique, les aciers et alliages à base de fer sont toujours d'une importance capitale, puisque on les retrouve sous une forme ou sous une autre dans presque tous les domaines. Ces aciers, on peut leur faire acquérir des propriétés très variées notamment en recourant au traitement thermique. Ce qui permet de les adapter aux exigences d'utilisations les plus diverses. Les traitements thermiques sont des opérations de chauffage suivi de refroidissement qui ont pour but de donner à une pièce métallique les propriétés les plus convenables pour son emploi ou sa mise en forme. Ils permettent d'améliorer dans une large mesure les caractéristiques mécaniques tel que ; l'augmentation de la limite élastique et la diminution de la fragilité. Toute utilisation rationnelle d'un alliage implique dans la plupart des cas, un traitement thermique approprié. D'une manière générale, un traitement thermique ne modifie pas la composition chimique mais apporte des modifications de point de vue [3].

- Constitution (état de carbone, forme allotropique de fer).
- Structure (taille de grain, répartition des constituants).
- Etat mécanique (gradient de température au divers point de la pièce).

### I.4.1.Cycle d'un traitement thermique

En général le traitement thermique comprend 3 étapes (fig.3)[3] :

- Un chauffage jusqu'à une température qui dépend du type de traitement voulu.
- Maintien isotherme à cette température de traitement.
- Un refroidissement dans un milieu préalablement défini.

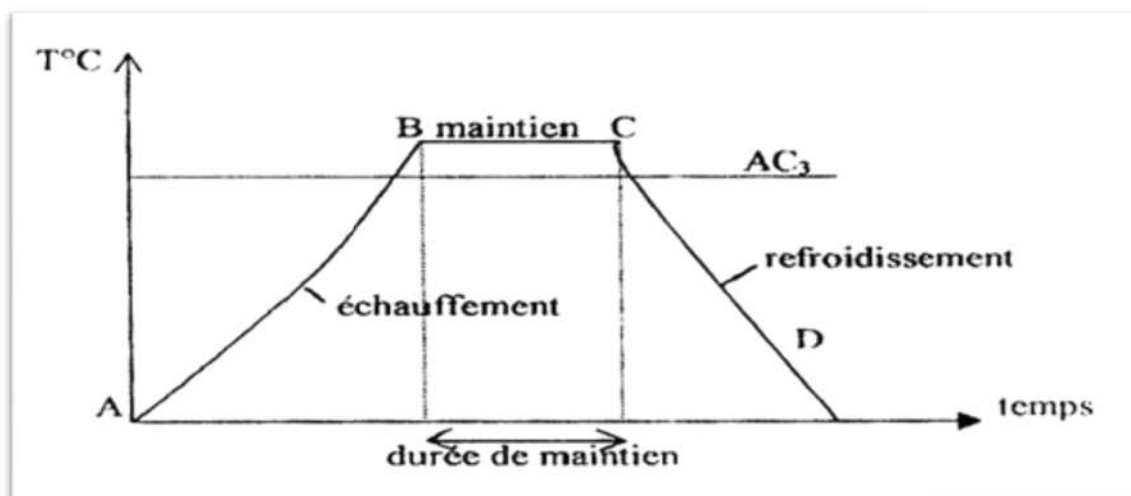


Fig. I.3. : Cycle d'un traitement thermique

- 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.4.2 Types des traitements thermiques des aciers**

Les traitements thermiques des aciers consistent à mettre en application les nombreux changements structuraux qui peuvent découler des transformations de phase ainsi que des phénomènes de recristallisation et de diffusion. On peut les subdiviser en trois groupes :

- Les recuits.
- Les trempes.
- Les traitements d'amélioration (revenus) [4].

### **I.4.2.1. trempe**

Globalement, il s'agit, pour ce procédé de traitement thermique, de la trempe de transformation, car il existe parallèlement de nombreuses autres possibilités pour améliorer la résistance de l'acier:

- écrouissage à froid par déformation,
- trempe à solution solide par adjonction d'éléments, en particulier carbone, manganèse et chrome,
- trempe à retassure dispersée ou à particules.

La structure atomique interne pour une dureté supérieure est fondamentalement la même dans tous les cas : les dislocations sont bloquées, ce qui empêche toute diffusion. La trempe dominante dans la pratique, est la trempe de transformation. Comme son nom l'indique, on ne peut la réaliser que sur des aciers transformables ; c'est le cas de la plupart des aciers, mais pas des aciers ferritiques et austénitiques fortement alliés. Le procédé consiste, pour les aciers hypo-eutectoïdes jusqu'à 0,8 % de C, à chauffer la pièce d'acier jusque dans la zone austénitique, donc au-dessus de la ligne A3 dans le diagramme fer-carbone (750 à 900 °C selon la teneur en C). Ensuite la pièce est refroidie (trempée) à haute vitesse. Comment peut-on expliquer l'accroissement de la dureté pendant cette étape?

Dans le fer  $\alpha$  à surface cubique centrée, tous les atomes de C sont dissous régulièrement. Lors d'un refroidissement lent, deux phénomènes se produisent : le réseau se rabat autour de

la ferrite en réseau cubique centré et, les atomes de C ont le temps de diffuser à partir de ces zones et de former des lamelles de perlite. Par contre, lors d'un refroidissement *rapide*, les voies de diffusion du carbone deviennent de plus en plus courtes du fait que l'énergie nécessaire à cet effet est dissipée sous forme de chaleur, alors que la transformation du réseau démarre de toute façon. On distingue ensuite les trois phases suivantes de transformation à partir de la zone austénitique, au fur et à mesure de l'augmentation de la vitesse de refroidissement

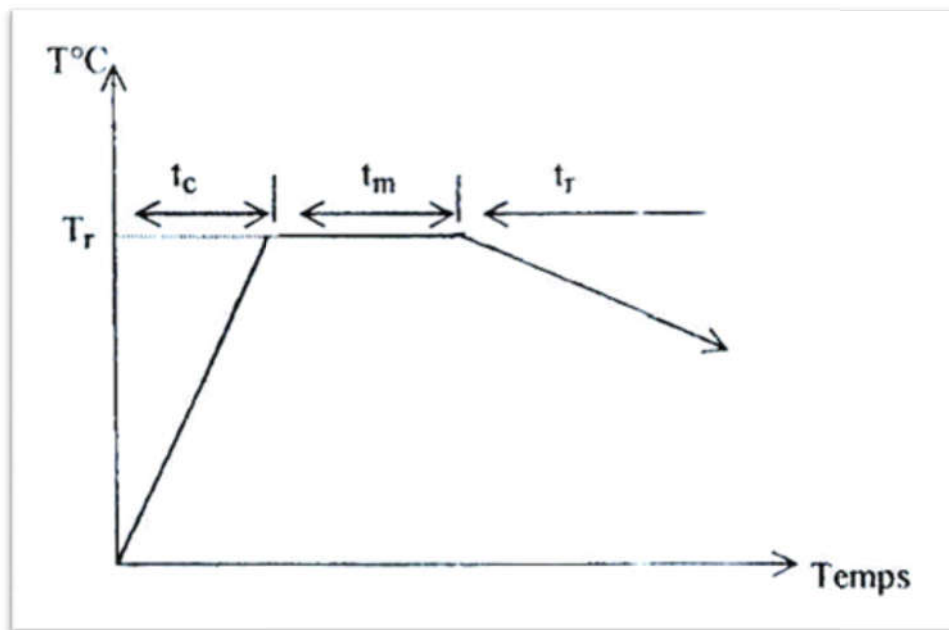
- **Phase perlitique** : Il n'y a déjà plus de formation de grains de ferrite lorsqu'on augmente un peu la vitesse. Seul de la perlite formant des lamelles de plus en plus fines apparaît. Autrefois, on désignait cette structure par les termes de sorbite (fine) et trostite (lamelles encore plus fines), car les anciens microscopes ne permettaient pas encore d'identifier la perlite.
- **Phase intermédiaire** : Elle intervient presque uniquement pour les métaux alliés, tout particulièrement lorsqu'on démarre la trempe dans un bain chaud et qu'on la laisse s'y dérouler à température constante (isotherme). Le réseau se rabat d'abord, ensuite le carbone diffuse; il ne produit toutefois pas de lamelles de cémentite, mais des grains extrêmement petits. Cette structure intermédiaire est aussi appelée bainite.
- **Phase martensitique** : A partir d'une vitesse de refroidissement critique, la diffusion du carbone n'a pas du tout lieu. Dans le réseau cubique centré, les atomes de C n'ont en fait pas de place ; ils restent cependant dans les interstices, «tendent» le réseau et assurent ainsi une dureté élevée. La structure martensitique consiste, sur la micrographie, en fines aiguilles [5].

### **I.4.2.2traitements de recuit**

Les recuits en général amèneront les alliages en équilibre physico-chimique et mécanique. Ils tendent à réaliser l'équilibre structural en faisant disparaître les états hors d'équilibre résultants des traitements thermiques et mécaniques antérieurs. Le recuit correspond aux valeurs maximales des caractéristiques de ductilité (résilience et allongement) et aux valeurs minimales des caractéristiques de résistance (dureté, limite élastique, charge à la rupture). Le recuit a pour but de :

- Diminuer la dureté d'un acier trempé.
- Obtenir le maximum d'adoucissement pour faciliter l'usinage ou les traitements mécaniques.
- Régénérer un métal écroui ou surchauffé.

- Homogénéiser les textures hétérogènes.
- Un chauffage jusqu'à une température dite de recuit qui dépend du type de recuit à réaliser.
- Un maintien isotherme à la température de recuit ou des oscillations autour de cette température.
- Un refroidissement généralement lent, la vitesse de refroidissement doit être inférieure à la vitesse critique de recuit. Le refroidissement s'opère à l'air lorsque se traitement n'entraîne pas la trempe de l'acier, sinon on utilise un milieu assurant une vitesse plus faible (four)(Fig4).



**Fig. I.4. Cycle thermique du recuit**

$T_r$  : température de recuit.

$t_c$  : temps de chauffage.

$t_m$  : temps de maintien

$t_r$  : temps de refroidissement

### **I.4.2.3. traitements d'amélioration (revenus)**

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  $AC1$ , (selon la résistance exigée), suivi d'un maintien à cette température et au refroidissement jusqu'à la température ambiante (fig. I.5).

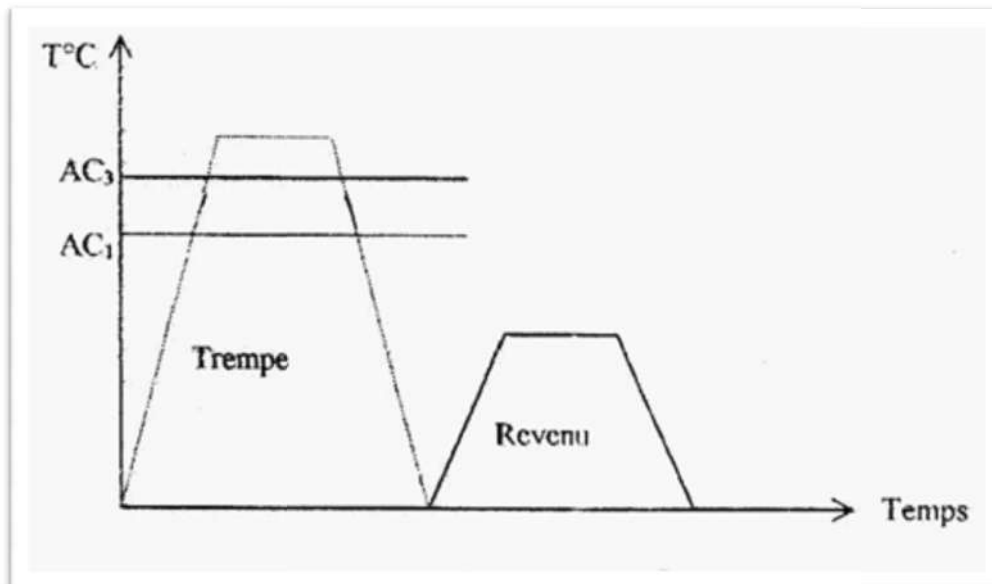


Fig. I.5. Cycle thermique du revenu

## I.5. Trempabilité des aciers

La trempabilité d'un acier est son aptitude à accroître sa dureté sous l'effet de la trempe. Elle est liée directement à la pénétration de trempe. Celle-ci désigne l'aptitude de l'acier à recevoir une couche trempée plus ou moins profonde.

La trempabilité est définie essentiellement par la teneur de l'acier en carbone. Plus cette teneur, dans la martensite est élevée, plus sa dureté est grande.

La trempabilité en général est affectée par trois facteurs. Premièrement, lorsqu'il y a la présence d'éléments d'alliage, la trempabilité est améliorée lorsque les éléments d'alliage, à l'exception du cobalt, sont dissous dans l'austénite. Lorsque ceux-ci se trouvent sous forme d'inclusions comme des carbures, des nitrures ou des inclusions non métalliques, ils diminuent la trempabilité de l'acier. Deuxièmement, la trempabilité est fonction de la taille des grains austénitiques, un acier sera plus trempable si ses grains austénitiques sont plus grossiers. Troisièmement, l'homogénéité chimique de l'austénite affecte la trempabilité [2].

La présence d'éléments d'alliage dissous dans l'austénite améliore la trempabilité, cette influence est concrétisée soit par le retardement de la germination ou de la croissance des différentes phases se formant par diffusion. Le retardement de la croissance de la ferrite et de la cémentite est le facteur principal améliorant la trempabilité. Dans l'austénite, les éléments d'alliage en solution solide et interstitielle se trouvent en concentration relativement homogène dans la structure. Pour qu'il y ait formation de perlite, puisque la solubilité des différents éléments d'alliage est différente dans les deux phases constituant la perlite, il doit y avoir diffusion de ces éléments d'alliage dans l'austénite afin que la composition permettant la

formation de la perlite soit atteinte. La croissance de la perlite sera dictée par la vitesse de diffusion des éléments d'alliage dans l'austénite. Comme la vitesse de diffusion du carbone dans l'austénite est très grande comparée à celle des autres éléments d'alliage que l'on retrouve généralement dans l'acier, la vitesse de croissance de la perlite sera plus faible pour un acier allié comparativement à un acier non allié[6].

## I.6. L'essai Jominy

L'essai Jominy est un essai très utile lors du développement d'une nuance d'alliage et plus particulièrement d'acier. En effet, il permet de statuer sur la trempabilité d'une nuance et fournit des abaques permettant de prévoir les évolutions de microstructure dans des produits de différentes épaisseurs. Le principe de l'essai Jominy est assez simple : une éprouvette cylindrique est chauffée jusqu'à son domaine d'austénitisation puis une durée de maintien. puis elle est extraite du four et positionnée verticalement sur un montage lui permettant de la refroidir uniquement par le bas grâce à un jet d'eau dont le débit et la température doivent répondre à la norme NF EN ISO 642 (1999-10), Fig.I.6. Ainsi, un gradient de vitesse de refroidissement est créé sur la hauteur de l'éprouvette [2].

- **NF EN ISO 642 (1999-10)** : La présente Norme internationale spécifie la méthode de détermination de la trempabilité de l'acier par trempe en bout (essai Jominy), à l'aide d'une éprouvette de 25 mm de diamètre et 100 mm de longueur.

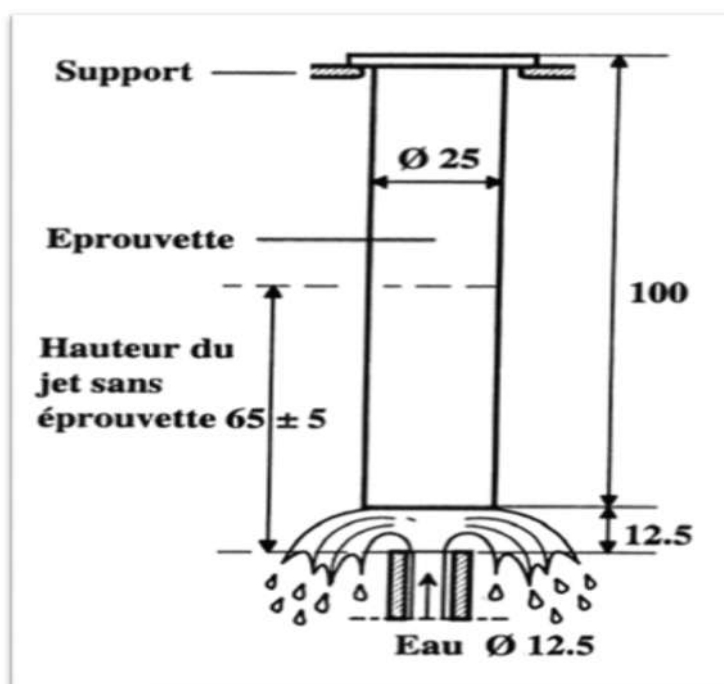


Fig. I.6. Appareil de trempe selon Jominy

Les courbes de refroidissement ci-dessous (fig.I.7) montrent que la vitesse de refroidissement diminue très rapidement vers l'intérieur de l'éprouvette. Pour des aciers montrant des courbes TRC ayant le début de transformation perlitique déjà à environ 1s, une trempe à l'eau ne provoquera la formation de martensite uniquement dans les premiers 1 à 2mm sous la surface. On parle alors de mauvaise trempabilité.

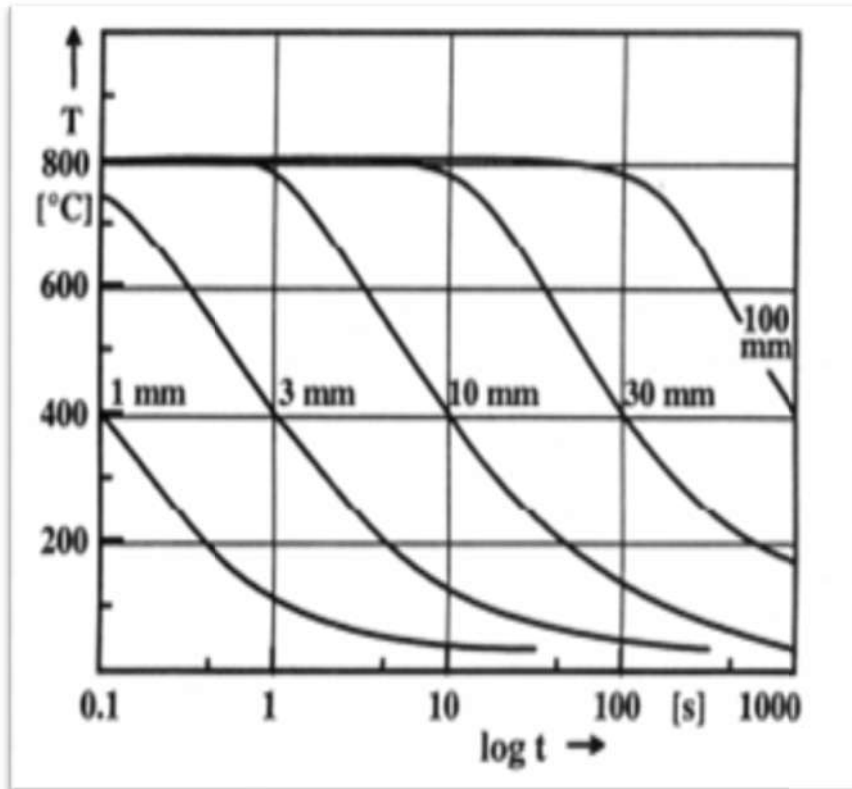


Fig. I.7. Courbe de refroidissement à différentes profondeurs de l'éprouvette Jominy

# **Chapitre II:**

## **La conception d'un produit**

## **Introduction**

Activité se déroulant au sein d'un bureau d'études, la conception d'un produit a pour but de réaliser un dossier de définition qui définit complètement et sans ambiguïté le produit à partir de l'expression d'un besoin exprimé par un client (la demande client). On se rend compte immédiatement que le domaine est vaste puisqu'il dépend de l'activité dans laquelle on travaille (mécanique, hydraulique, électronique . . .), du domaine d'application (agro-alimentaire, aéronautique, navale . . .) et du projet proprement dit (machine spéciale, banc d'essais, outillage . . .). On ne s'intéresse ici qu'à la conception des systèmes mécaniques mais nombre de principes abordés sont applicables à d'autres domaines.

Une telle activité nécessite à la fois des connaissances techniques et des qualités personnelles inhérentes à tout travail de création. Donc une activité à deux dimensions qu'il faut être capable de gérer afin de concevoir le produit optimum dans le délai imparti de l'étude.

Bien qu'il soit courant d'entendre, notamment de la part de certains professionnels, que l'expérience est essentiellement et avant tout à la base de sa pratique, la conception d'un produit, surtout s'il veut être innovant, s'appuie sur d'autres concepts et façons de faire qui donne, au projeteur, l'état d'esprit indispensable pour mener à bien cette tâche. Concevoir un produit, c'est faire évoluer une demande client plus ou moins bien formulée vers un dossier de définition en suivant une structure bien définie. Cette structure guide efficacement le projeteur en lui laissant la plus grande liberté possible compatible avec l'avancement de son projet. C'est là qu'on retrouve le lien entre créativité et expérience technique : doit-on à chaque fois partir sur une conception nouvelle au risque de réinventer le fil à couper le beurre ou conduire systématiquement des solutions qui ont plus ou moins bien fonctionné pour des projets antérieurs et ne pas développer un projet optimum ? C'est tout l'enjeu de la conception [8].

### **II.1. grandes étapes de la conception**

Pour mener à bien son étude, le projeteur, quel que soit le produit à concevoir et l'environnement dans lequel il se trouve, doit passer par trois grandes étapes :

#### **II.1.1.analyse du besoin client**

Systématiquement, le besoin exprimé par le client est toujours incomplet, ambigu voire non exprimé. C'est le rôle du projeteur de clarifier avec le client son juste besoin.

#### **II.1.2. étude de faisabilité**

C'est le cœur de la conception et la partie la plus délicate étant donné que les projets ne se ressemblent pas et que cette activité relève à la fois des connaissances techniques du projeteur

mais aussi de ses qualités créatives. La difficulté essentielle est qu'il est impossible de prévoir qu'on aura les bonnes idées au moment où on en aura besoin.

### **II.1.3. concrétisation de l'avant-projet**

C'est à partir de ces documents que l'étude détaillée du produit peut être engagée. Il est constitué des dessins d'avant-projet et de tous les justificatifs définissant la solution choisie.

## **II.2. bureau d'études dans l'entreprise**

C'est le lieu où l'on conçoit ; et s'il existe un service méconnu ou incompris dans une entreprise, c'est bien le bureau d'études. Derrière l'image de personnes assises toute la journée devant un ordinateur à manipuler une souris cache des activités à fortes contraintes et fortes responsabilités dans des délais de plus en plus courts. En effet, certains responsables d'entreprise ont décrété que le bureau d'études n'est pas un service productif, qu'il faut donc réduire au maximum les délais d'études ; l'idéal étant de supprimer les bureaux d'études ! C'est pourtant là que tout se décide en termes de performance, délai et, bien sûr, de coût du produit livré chez le client.

Un bureau d'études peut être une entité à lui seul ou bien l'un des services d'une entreprise. Sa taille peut varier d'une à une centaine de personnes. Les bureaux d'études ont des façons de fonctionner différentes voire divergentes à cause des habitudes, de l'historique, de la structure ou bien du type de produit conçu par l'entreprise. Intégrer un bureau d'études nécessite donc des connaissances techniques et une grande qualité d'adaptation. Il n'en reste pas moins qu'ils ont tous le même but : la conception d'un produit. Il faut définir le dénominateur commun à toutes ces structures de façon à proposer une méthodologie de travail qui puisse être applicable à tous [8].

### **II.2.1. principaux acteurs du bureau d'études**

En se limitant aux intervenants directs sur la conception d'un produit, il y a lieu de définir trois personnages qui ont un rôle bien précis à jouer dans tous les cas. Ils existent ou pas physiquement ; peu importe. Le travail de chacun doit être réalisé et parfois il l'est par une seule personne.

#### **II.3.1.1. ingénieur d'études**

En fin de compte, c'est lui le responsable de l'étude qu'il confie au projeteur. Il rend compte à la hiérarchie et présente l'étude au client. Il s'assure que tout le côté contractuel est bien respecté. Il a, évidemment, plusieurs études en cours, à des états d'avancement différents, avec plusieurs projeteurs et passe une grande partie de son temps en réunion ou en déplacement.

### II.3.1.2. dessinateur d'études

C'est lui qui finalise le dossier de définition à partir de l'avant-projet en suivant les directives du projeteur. La réalisation des dessins d'ensemble, de définition et des différentes notices font partie de ses activités.

### II.3.1.3. projeteur

Il assiste l'ingénieur pour tout ce qui est technique. à ce titre, il est responsable de la conception du produit, rend compte à l'ingénieur et encadre techniquement le dessinateur. Selon le cas, il peut être en contact direct avec le client, avec les fournisseurs et les autres services de l'entreprise. Il remonte à l'ingénieur les problèmes rencontrés avec des propositions de solutions. Il mène les revues de conception et en fait la synthèse sous forme de compte rendu.

Comme on le voit, le rôle d'un projeteur est loin d'être celui d'un opérateur en CAO. Il est la clé de voûte du bureau d'études et, par cela même, du projet. Il est indispensable que l'ingénieur d'études ait toute confiance en lui et puisse s'appuyer sur lui [8].

## II.3.démarche de l'analyse fonctionnelle

### II.3.1. Définition de l'Analyse fonctionnelle

L'analyse fonctionnelle consiste à recenser, caractériser, ordonner, hiérarchiser et valoriser les fonctions d'un produit. À partir de cet instant, le besoin est traduit en termes de fonctions.

Pour réaliser cette analyse, il faut déterminer la séquence de vie du produit (utilisation, Maintenance...) dans laquelle on se place, et la frontière qui délimite la zone d'étude. On parle alors d'isolement du produit par rapport à son milieu environnant.

Les relations entre les différentes parties sont en fait les fonctions du produit. Ces fonctions sont classées en deux groupes [9] :

- **les fonctions principales:** ce pourquoi le produit existe. Une fonction principale relie toujours deux composants en passant par le produit (fig.II.1).

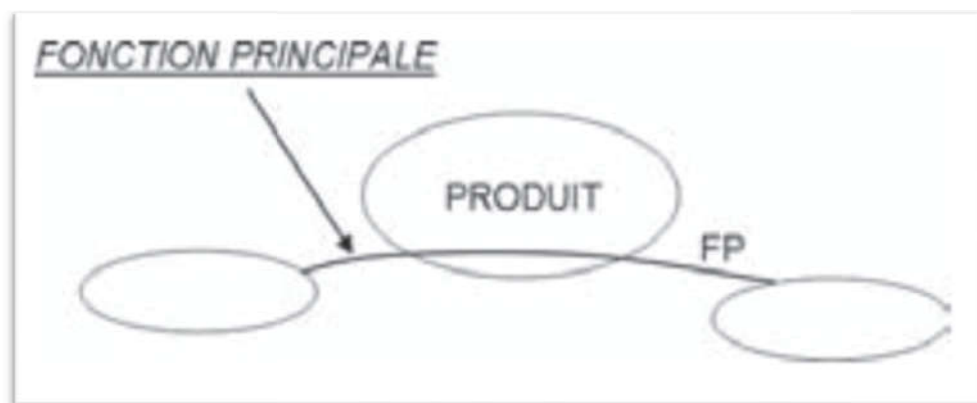
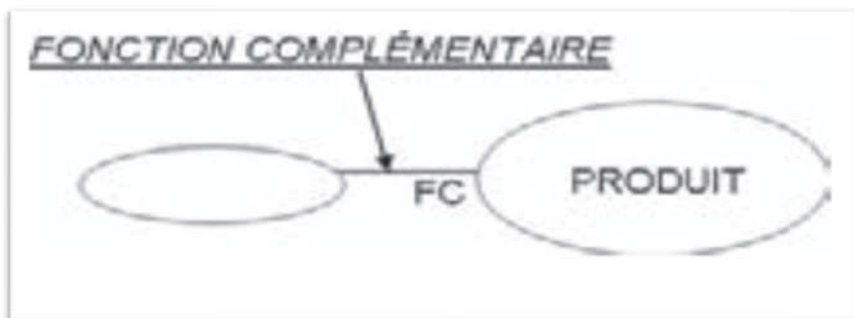


Fig. II.1.Fonction principale

- **les fonctions complémentaires** : ce qui permet d'adapter le produit à son environnement immédiat. Une fonction complémentaire ne relie le produit qu'à une composante à la fois (fig.II.2).



**Fig. II.2.Fonction complémentaire**

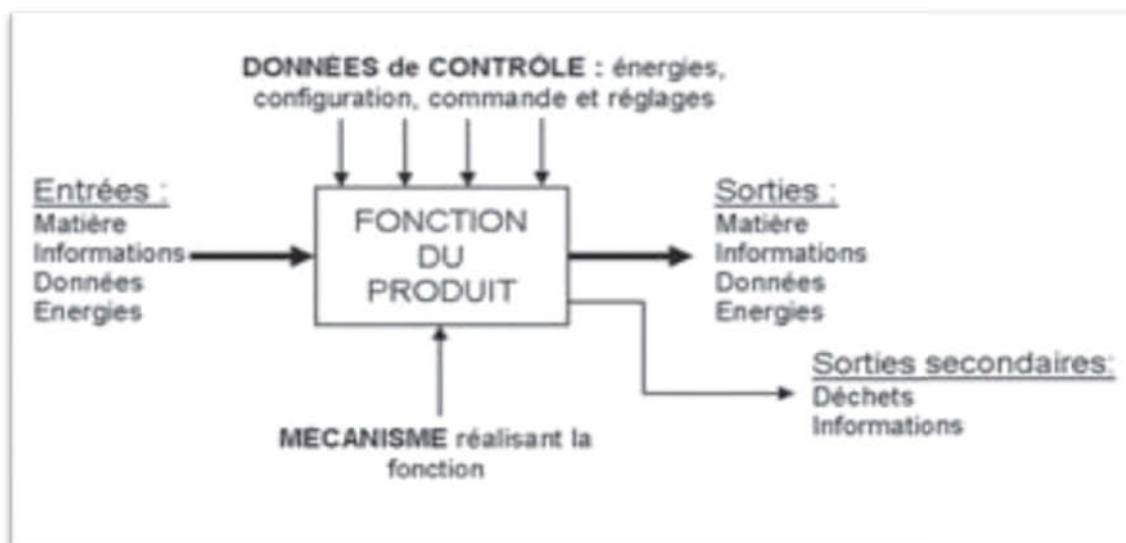
### II.3.2. L'analyse des produits existants

L'analyse fonctionnelle des produits existants (ou en phase de développement) est nécessaire pour améliorer ces produits. En effet, il n'est pas rare de constater qu'un véhicule soit modifié pour répondre au mieux aux besoins de l'utilisateur, besoins qui évoluent sans cesse. De plus, en cours de développement, cette analyse permet au concepteur de ne pas s'égarer dans des solutions techniques complexes ou inutiles. Cette analyse s'inscrit également dans une démarche de maintenance, de recherche de panne [9].

### II.3.3. Analyse fonctionnelle descendante (SADT)

#### II.3.3.1. Description : niveau A-0

Ce type d'analyse permet de modéliser graphiquement un produit. L'élément graphique de base est la boîte rectangulaire dans laquelle est inscrite la fonction. On y trouve également les flux de données, matières qui traversent cette fonction et les données de contrôle qui gèrent la fonction. En dessous de la boîte est noté le mécanisme réalisant la fonction (fig.II.3) [9].

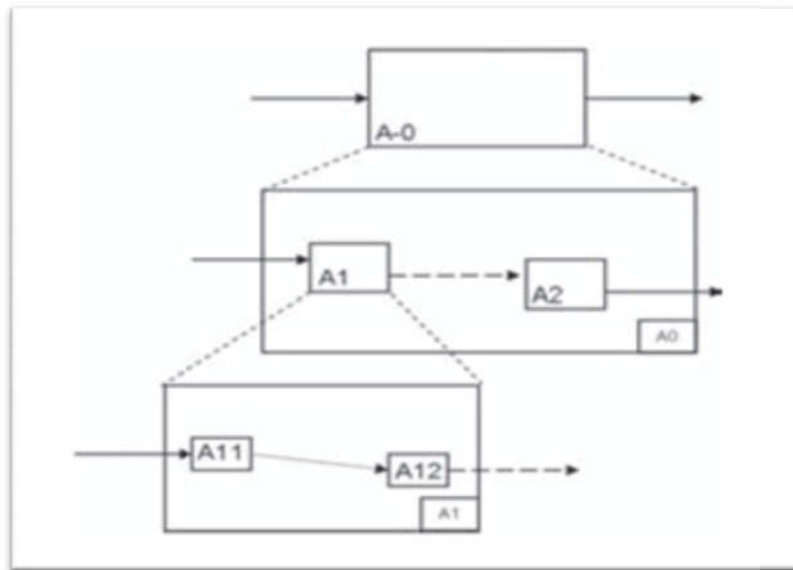


**Fig. II.3.Diagramme A-0 utilisé en SADT**

**Remarque :** Les entrées se retrouvent toujours en sortie, mais modifiées par la fonction du produit.

### II.3.3.2. Utilisation et fonctionnement : niveau A0 :

Cette analyse se fait toujours en partant de la fonction globale du produit pour aller vers le détail (fig.II.4). C'est un effet de zoom. Le premier niveau est le niveau A-0 : fonction globale du système ; en « zoomant » dans cette boîte, on trouve d'autres boîtes (notées A1, A2...). De même, si nous regardons dans la boîte A1, on retrouve d'autres boîtes (notées A11, A12...), et cela jusqu'à ce que le produit soit entièrement Modélisé [9].



**Fig. II.4. Analyse descendante**

## II.3.4. Diagramme FAST

### II.3.4.1. Description

Cet outil d'analyse de l'existant est très pertinent car il permet d'associer à la fonction de service (réponse au besoin de l'utilisateur) des solutions technologiques. Il se présente également sous la forme de boîte, mais l'effet de zoom est remplacé par une description linéaire, le sens de l'analyse se faisant de la gauche vers la droite. En partant de la fonction principale, toutes les fonctions techniques sont reliées et ordonnées jusqu'à aboutir aux solutions techniques.

Le but de cet outil est de définir et de caractériser chaque zone fonctionnelle du produit (une zone fonctionnelle n'est rien d'autre qu'une solution technologique répondant à une fonction). De plus, en séparant chaque zone fonctionnelle du produit, il est facile d'évaluer la fiabilité et la compétitivité du produit : le produit n'est plus critiqué sur sa fonction principale mais sur les choix technologiques mis en œuvre pour la réaliser [9].

### II.3.4.2. Utilisation et fonctionnement

Les différentes fonctions (boîtes) sont reliées de manière très précise et stricte. Pour passer d'une boîte à l'autre, il faut répondre à la question qui correspond. Trois questions sont possibles :

- Pourquoi la fonction doit-elle être réalisée ?
- Comment la fonction doit-elle être réalisée ?
- Quand la fonction doit-elle être assurée ?

## II.4. Le cahier des charges fonctionnel

Le CDCF est un élément capital pour la conception. La pieuvre est un outil simple qui permet au concepteur de trouver les fonctions de service et de les caractériser. Il sert d'abord de document de travail entre le client et le concepteur afin de définir de façon la plus précise possible le besoin, puis, après signature du client, ce document devient contractuel. Il sert ensuite de point de départ pour la recherche de solutions puis de référence pour la validation de l'avant-projet via l'AMDEC de conception.

Pour rédiger le cahier des charges fonctionnelles, on reprend chaque fonction décrite par les techniques d'analyse fonctionnelles et on fait un tableau à 3 colonnes (Caractéristiques, niveau, flexibilité) sous chaque fonction (fig. II.5) [8].

FPI ou FC1 : Intitulé de la fonction		
Caractéristiques	Niveau	Flexibilité
Analyse qualitative	Analyse quantitative	Niveau possible de négociation

**Fig. II.5** Forme générale du CDCF

Il apparaît ensuite les solutions techniques ou technologiques interdites par le client. Le concepteur doit vérifier que toutes les informations présentes dans le cahier des charges initial sont reprises dans le CDCF.

Le concepteur remplit en totalité les caractéristiques des fonctions. Attention à ne pas confondre l'intitulé de la fonction avec les caractéristiques de la fonction. On peut s'en rendre compte si la pieuvre génère un grand nombre de fonctions principales. Le niveau des fonctions est indiqué par le concepteur s'il en a connaissance à partir du cahier des charges initial ; sinon, c'est le client qui doit donner cette information. Les flexibilités sont du ressort

du client. Elles vont de FO (non négociable) à F3 (très négociable) et permettent au concepteur, en cours d'études de savoir s'il est possible de négocier avec le client le niveau d'une caractéristique d'une fonction qui pose un problème de conception. Ainsi, quand le concepteur présente le CDCF au client, toutes les fonctions sont définies ainsi que leurs caractéristiques. Les niveaux sont à compléter par le client selon nécessité ainsi que toutes les flexibilités [8].

## **II.5. Le dessin technique**

Pour pouvoir réparer ou fabriquer un objet, il faut d'abord le comprendre. Quelles sont les pièces du mécanisme ? Comment sont-elles assemblées ? Où se situent-elles dans le mécanisme ? Autant de questions auxquelles il faut répondre pour comprendre un mécanisme. Un moyen simple d'y parvenir est le dessin technique, souvent appelé **plan**.

Le dessin technique est donc un moyen d'expression universel à tout technicien. Il suit des règles, des normes précises et rigoureuses dans un souci d'efficacité. Tout professionnel qui utilise ou agit sur des mécanismes (machines, engins, automobiles...) doit pouvoir décoder un dessin technique, sans quoi il serait vite perdu et inefficace. Savoir décoder et utiliser un dessin technique nécessite de la rigueur et de l'organisation [9].

### **II.5.1. Les différentes représentations des dessins techniques**

Il existe plusieurs types de dessins techniques, tous complémentaires :

- **Le croquis**

C'est un dessin (ou une esquisse) fait à main levée sans respecter de règles précises. Il permet de visualiser une idée, un avant-projet.

- **Le dessin d'ensemble**

C'est le « plan » du mécanisme, plus ou moins détaillé, à une certaine échelle. Le mécanisme est représenté assemblé et toutes les pièces apparaissent sur ce dessin.

- **Le dessin de définition**

Ce dessin est le complémentaire du précédent. Une seule pièce du mécanisme est dessinée et définie totalement. Ce dessin est souvent la base de la fabrication de la pièce.

- **Le schéma**

C'est un dessin tracé à partir d'une famille de symboles. Il permet de représenter de manière simple un mécanisme, une installation (électrique, hydraulique, mécanique ou pneumatique). Le schéma permet surtout de décrire facilement le fonctionnement plus ou moins complexe d'un système.

- **La vue éclat**

Dans ce cas, le mécanisme est représenté en perspective (3 dimensions) et démonté. Ce mode de représentation permet de mettre en évidence l'assemblage des différentes pièces du mécanisme. La vue éclatée est souvent utilisée dans des notices d'assemblages ou de maintenance [9].

### **II.5.2. L'échelle**

Un dessin technique représente un produit réel qu'il est souvent impossible de représenter en taille réelle. Ainsi un objet trop grand sera dessiné en réduction et un objet trop petit en agrandissement. Pour savoir si un objet est représenté en taille réelle ou non, le dessinateur indique l'échelle utilisée sur le dessin technique.

L'**échelle** d'un dessin est le rapport entre la dimension dessinée et la dimension de l'objet vu en vraie grandeur. L'échelle est toujours notée sous forme de division, par exemple, 1:2 ; 2:1 ; 1:10 ; 5:1.

### **II.5.3. Le cartouche**

Le **cartouche** est un cadre regroupant de nombreuses informations relatives au dessin : c'est la fiche d'identité du dessin. Il contient les renseignements suivants :

Le titre de l'objet représenté, l'échelle, le format, le nom de l'entreprise, le nom du dessinateur, des repères de classement ou de mise à jour, la date et le symbole ISO de disposition des vues. La forme du cartouche varie d'une entreprise à l'autre. La position du cartouche sur le dessin est souvent en bas et à droite.

### **II.5.4. La nomenclature**

La **nomenclature** est une liste qui regroupe tous les éléments (pièces) du mécanisme dessiné. Cette liste est généralement sous forme de tableau composé de cinq colonnes:

- Dans la colonne **Repère** (Rep), on trouve un chiffre différent attribué à chaque pièce différente. Cela permet d'identifier rapidement un élément sur le dessin ;
- dans la colonne **Nombre** (Nbre), un chiffre correspondant au nombre de pièces du même repère est noté ; cela permet de connaître le nombre total de chaque pièce identique ;
- dans la colonne **Désignation**, chaque pièce est nommée, souvent en relation avec sa fonction ;
- dans la colonne **Matière**, la désignation normalisée de la matière de la pièce est renseignée ;
- dans la colonne **Observations**, se trouve toute information complémentaire jugée utile pour le lecteur [9].

## **II.6. La cotation fonctionnelle**

### **II.6.1. Définition**

La cotation fonctionnelle est nécessaire pour qualifier et quantifier les dimensions des pièces qui participent à une fonction technique donnée dans un mécanisme. Un jeu inapproprié peut

entraîner des dysfonctionnements qui empêchent le montage ou qui modifient le niveau sonore, la durée de vie et le rendement des mécanismes [9].

### **II.6.2. Cote condition**

Une cote condition représente généralement une distance entre deux surfaces appartenant à deux pièces différentes : ces deux surfaces seront appelées surfaces terminales. La cote condition réalise une fonction précise. Elle est tracée avec un vecteur orienté sur l'axe croissant du repère.

### **II.6.3. La chaîne de cotes**

Une chaîne de cotes représente l'ensemble des cotes fonctionnelles qui permettent de déterminer graphiquement la cote condition nécessaire au bon montage ou au bon fonctionnement du mécanisme. C'est une chaîne vectorielle écrite dans un repère. La distance entre deux surfaces fonctionnelles d'une même pièce est appelée cote fonctionnelle.

La chaîne de cotes n'est pas tracée au hasard. C'est une chaîne vectorielle partant d'une surface terminale, joignant avec des vecteurs les surfaces fonctionnelles prépondérantes dans la cote condition, et arrivant sur la deuxième surface terminale [9].

### **II.6.4. Tolérances**

Comme pour les ajustements, on affecte aux pièces des tolérances.

- soit numériques :  $10 \pm 0,01$  mm.
- Soit ISO : 10 H9.

## **II.7. Le choix des matériaux**

La matérialisation d'un objet passe par le choix d'un matériau dont les propriétés doivent satisfaire les exigences du service attendu. On insistera sur le fait que les caractéristiques effectives du matériau d'une pièce sont souvent très différentes des valeurs standard mesurées avec des éprouvettes et données dans les catalogues.

Les pièces de machines sont le plus souvent sollicitées dynamiquement, c'est pourquoi on accorde une large place au phénomène de fatigue. On interprétera la croissance des fissures à la lumière de la mécanique de la rupture.

Le choix d'un matériau est souvent délicat. Il ne repose jamais uniquement sur des considérations mécaniques; il faut toujours aussi tenir compte des méthodes de fabrication, des couts, de la résistance aux agressions chimiques, des problèmes d'élimination ou de recyclage après usage. L'expérience acquise est d'un précieux secours. [10].

### **II.7.1. Mise en œuvre**

Un matériau doit d'abord assurer une certaine fonction, mais son choix est étroitement lié à la forme et aux procédés de fabrication. En plus des exigences fonctionnelles, la géométrie et la structure de la pièce dépendent considérablement des moyens de fabrication qui dépendent

à leur tour du matériau choisi. En effet, les techniques de mise en œuvre telles que coulée, formage à chaud ou à froid, usinage, soudage, collage, traitement thermique, sont fonction des caractéristiques physico-chimiques du matériau. Par exemple, une pièce peut se fabriquer en aluminium coulé pour autant qu'on choisisse un alliage convenable, mais sa précision géométrique est meilleure avec un procédé de coulée par injection. Cependant, le choix du matériau, de la forme et du procédé de fabrication est dominé par le souci d'obtenir la pièce au prix minimum.

### **II.7.2. Caractéristiques physico-chimiques**

Du point de vue fonctionnel, les principales caractéristiques physico-chimiques d'un matériau sont les suivantes:

- la résistance à la traction, la limite élastique et la résistance à la fatigue sont déterminantes pour la résistance mécanique.
- le module d'élasticité influence la déformation, le flambage et le voilement.
- la masse volumique définit la masse des pièces et influence le comportement Dynamique.
- le coefficient d'amortissement interne influence le comportement vibratoire.
- la résistance à la chaleur détermine le fluage et la relaxation des contraintes. C'est-à-dire le comportement à long terme.

- la dureté en surface et la nature du matériau influencent la résistance à l'usure.

La résistance à la pression hertzienne et le frottement.

- le coefficient de dilatation thermique, la chaleur massique et le coefficient de Conductivité thermique déterminent le comportement thermique.
- la composition chimique conditionne la résistance à l'agression de l'environnement.

Le choix d'un matériau n'est pas facile. Il fait appel à de vastes connaissances techniques et technologiques ainsi qu'à l'expérience industrielle [10].

## **II.8. La chaîne cinématique**

### **II.8.1. Le schéma cinématique**

Le schéma cinématique est un outil de représentation normalisé permettant d'effectuer une analyse cinématique d'un mécanisme (c'est-à-dire l'étude des mouvements dans un mécanisme par la schématisation). C'est un schéma qui simplifie un dessin d'ensemble.

Pour réaliser un schéma cinématique, il faut d'abord déterminer les classes d'équivalence cinématique d'un mécanisme, puis définir les mouvements possibles entre chaque classe d'équivalence cinématique ayant une liaison dans un repère imposé ( $T_x, T_y, T_z; R_x, R_y, R_z$ ). On trace alors le graphe des liaisons, puis le schéma cinématique [9].

## II.8.2. Classes d'équivalence cinématique

Une classe d'équivalence cinématique représente un ensemble de plusieurs pièces encastrées les unes entre les autres (une pièce seule peut représenter une classe d'équivalence cinématique). L'encastrement peut être obtenu de diverses manières : collage, soudage, assemblage, etc. Elles n'ont donc pas de mouvement entre elles. Par contre, deux classes d'équivalence cinématique différentes peuvent avoir des mouvements entre elles.

Par exemple, on peut décomposer un rétroprojecteur en salle de classe (fig.6) en deux classes d'équivalence cinématique (classes A et B) :

Classe A : {bloc lumineux + colonne} : {3 ; 2}

Classe B : {tête de projection + loupe + miroir} : {1 ; 4 ; 5}

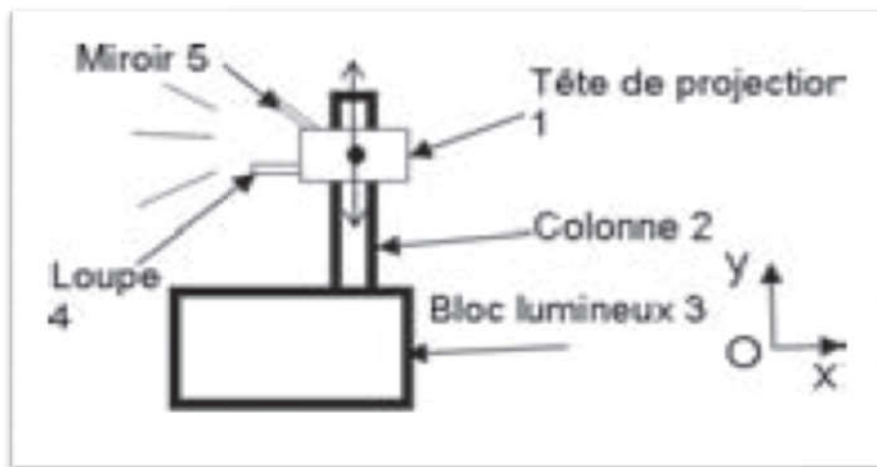


Fig. II.6. Classes d'équivalence cinématique d'un rétroprojecteur

### Remarque

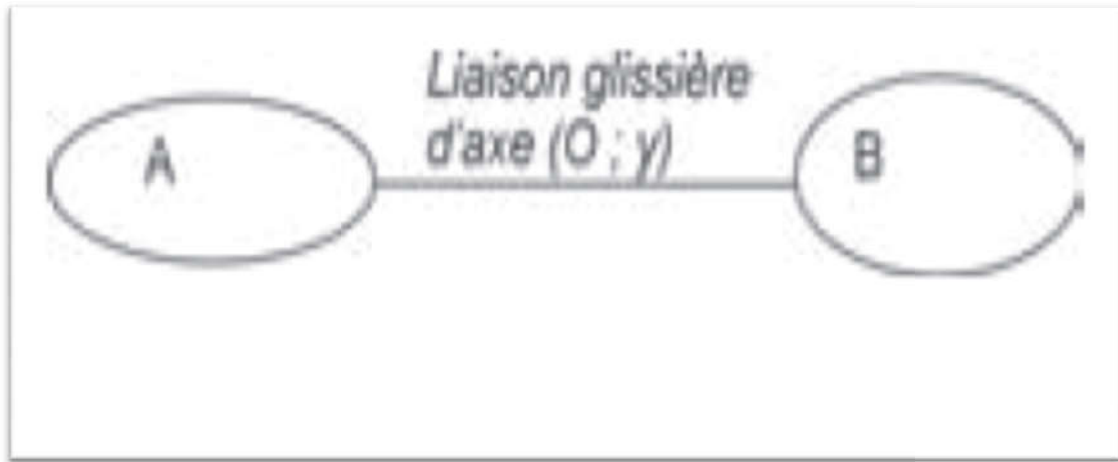
\* Une pièce ne peut faire partie que d'une classe d'équivalence cinématique.

\* Les joints d'étanchéité, les ressorts et les roulements ne sont jamais comptabilisés dans les classes d'équivalence.

Le but de regrouper un mécanisme en classe d'équivalence cinématique est d'en simplifier l'approche cinématique. Le mécanisme sera ainsi considéré comme un regroupement de sous-ensembles ayant des mouvements relatifs possibles.

## II.8.3. Graphe des liaisons

Le graphe des liaisons est le schéma sur lequel on relie deux classes d'équivalence d'un mécanisme par sa liaison (fig. II.7).



**Fig. II.7. Graphe des liaisons d'un rétroprojecteur**

#### **II.8.4. Liaisons mécanique**

Le contact entre deux solides (pièces) différents crée une liaison mécanique entre ces deux éléments. En fonction de la forme des surfaces mises en contact, on obtient différentes liaisons mécaniques.

Une liaison mécanique est obtenue en mettant deux pièces en contact. Il existe donc entre ces deux pièces une surface commune de contact.

Il existe plusieurs liaisons normalisées d'après la norme (NF EN ISO 3952 ). Nous avons les recensées sur la (fig. II.8). [9].

Nom de la liaison	Liberté	Représentation		
	Degré	Plane (2 dimensions)		Perspective (3 dimensions)
Encastrement	Aucune			
	0			
Glissière	$T_z$			
	1			
Pivot	$R_z$			
	1			
Hélicoïdale	$T_z, R_z$			
	1 (rotation et translation combinées)			
Pivot glissant	$T_z, R_z$			
	2			
Sphérique ou rotule	$R_x, R_y, R_z$			
	3			
Appui plan	$T_x, T_z, R_y$			
	3			
Linéaire rectiligne	$T_x, T_z, R_y, R_z$			
	4			
Sphère cylindre	$T_z, R_x, R_y, R_z$			
	4			
Sphère plan ou ponctuelle	$T_x, T_z, R_x, R_y, R_z$			
	5			

Fig. II.8. Liaisons mécanique

**Chapitre III:**  
**Conception et réalisation du dispositif de**  
**Jominy**

### III. Introduction

De nos jours, les traitements thermiques des aciers sont devenus une étape obligatoire lors du choix des matériaux dans le domaine industriel. Ils sont généralement composés d'une phase de chauffage, puis d'un refroidissement jusqu'à la température ambiante. Ils permettent de faire apparaître et d'exploiter certaines propriétés de l'acier, comme la dureté par exemple. Dans ce chapitre on va réaliser un dispositif pour mesurer la trempabilité des aciers (l'essai de Jominy).

#### III.1. Analyse fonctionnelle du dispositif de Jominy

#### III.2. Expression du besoin

L'outil utilisé pour cela est « la bête à cornes ». Ce schéma pose trois séries de questions, listées ci-après, et auxquelles il convient de répondre de manière détaillée.

**À qui le système rendent-ils service ?** La réponse à cette question est souvent orientée vers les utilisateurs, exploitants ou entreprises parties prenantes du projet. Dans tous les cas, la réponse à la question est plutôt axée sur des personnes physiques ou morales.

**Sur qui ou sur quoi agit-il ?** Le système agit sur son environnement « proche », c'est-à-dire sur des éléments avec lesquels une interaction directe peut être mise en évidence

**Dans quel but ?** Ces questions sont fondamentales, et la réponse, ou les réponses, à celles-ci mettent en évidence l'intérêt, et donc la finalité du produit, du système ou du projet.

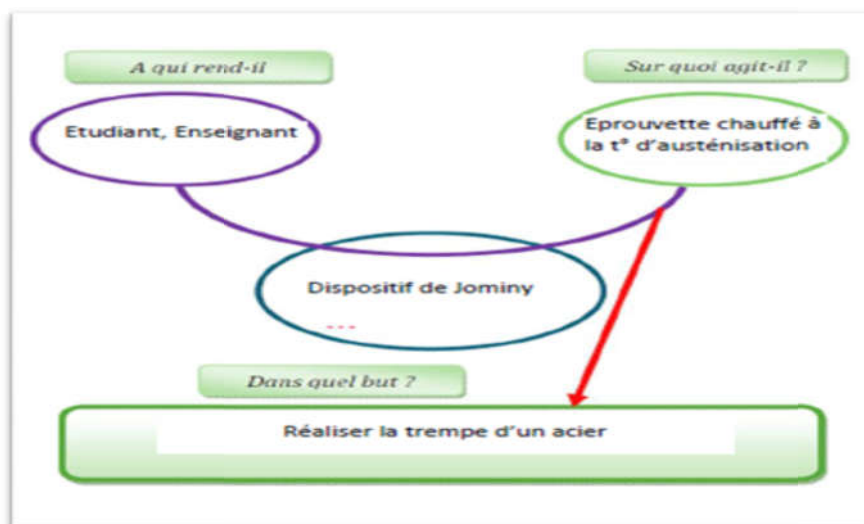
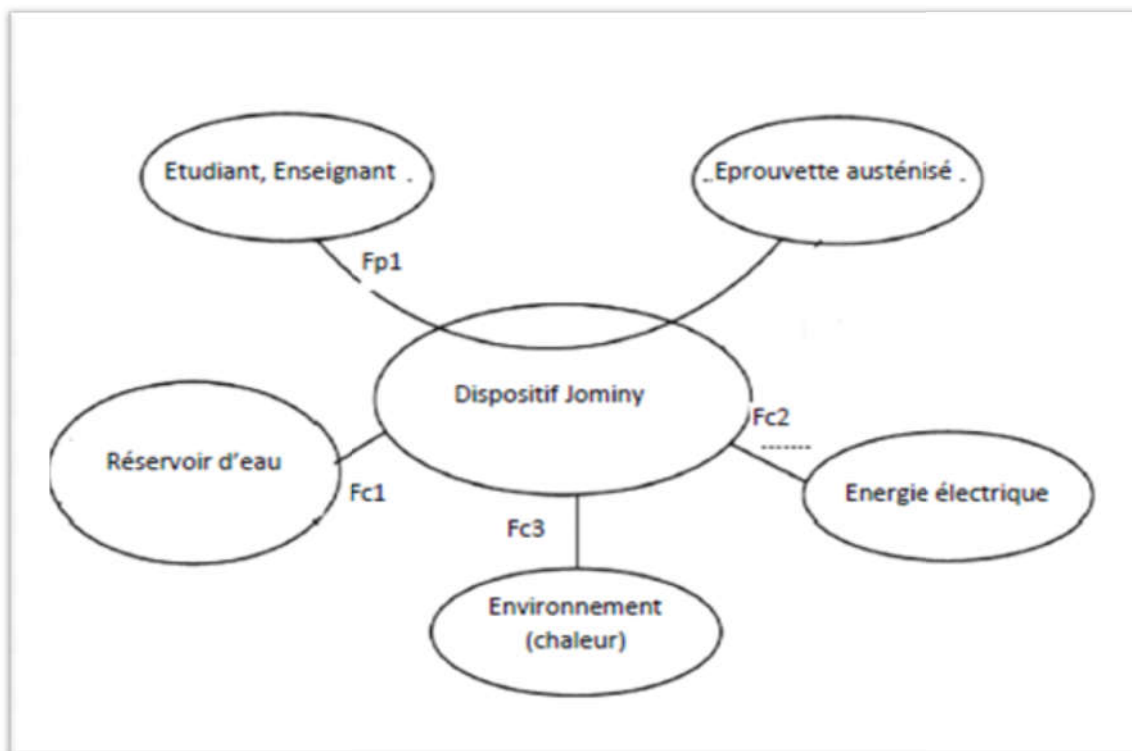


Fig.III.1. Expression du besoin du dispositif de Jominy

### III.2.1. Analyse fonctionnelle externe

Pour une position d'utilisation ou phase de cycle de vie sélectionnée, l'analyste est amené à identifier les éléments d'environnement, ou éléments extérieurs, avec lesquels le dispositif interagissent lorsqu'il est dans cette position. Un des éléments peut être naturellement l'utilisateur, ou encore le bénéficiaire du service rendu, etc.

Une fois les éléments d'environnement ou éléments extérieurs identifiés et recensés correctement pour une position sélectionnée, on aborde alors l'identification des fonctions, c'est-à-dire la recherche et la validation des Fonctions Principales (FP) et des Fonctions Contraintes (FC) ou d'adaptation. Il s'agit d'élaborer le diagramme de contexte ou diagramme d'environnement, souvent appelé dans l'industrie **diagramme pieuvre**.



**Fig.III.2. Diagramme pieuvre du dispositif de Jominy**

**Fp1** : Trempé une éprouvette chauffée à la température d'austénisation dans un four

**Fc1** : Alimenté le dispositif avec l'eau tiède (température ambiante)

**Fc2** : Alimenté le dispositif par tension électrique

**Fc3** : Résister à la chaleur de l'éprouvette

### III.2.2. Analyse fonctionnelle Interne

Cette analyse décrit le point de vue du concepteur en charge de fournir un dispositif qui répond au Cahier des Charges Fonctionnel, c'est-à-dire, de chercher les fonctions techniques (FT) que le produit doit assurer pour que les fonctions de service puissent être remplies. Ces fonctions techniques sont élaborées par raffinement puis matérialisées par association de

composant ou de constituants. Cette matérialisation constitue ce que l'on appelle les solutions constructives (technologiques).

Les fonctions techniques sont définies par plusieurs outils. On se limitera à l'outil SADT.

### Analyse SADT niveau A-0

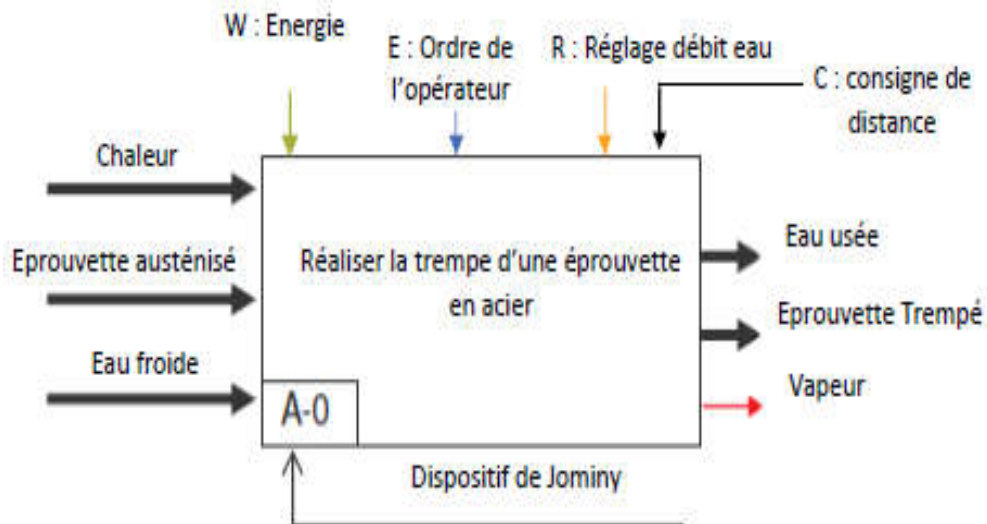


Fig.III.3. Diagramme SADT A-0

### Analyse SADT A0

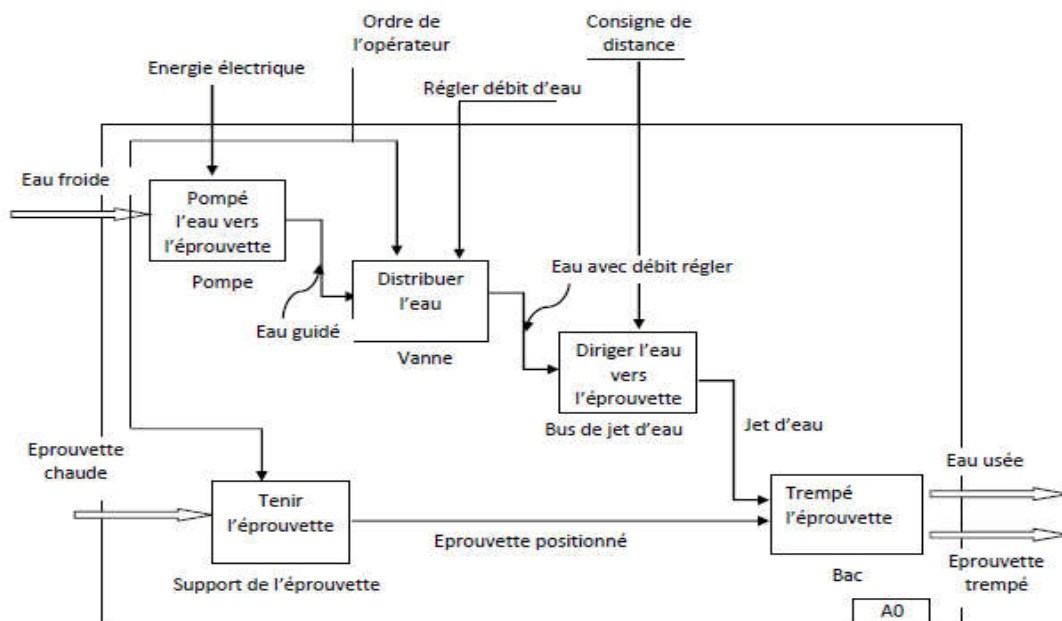
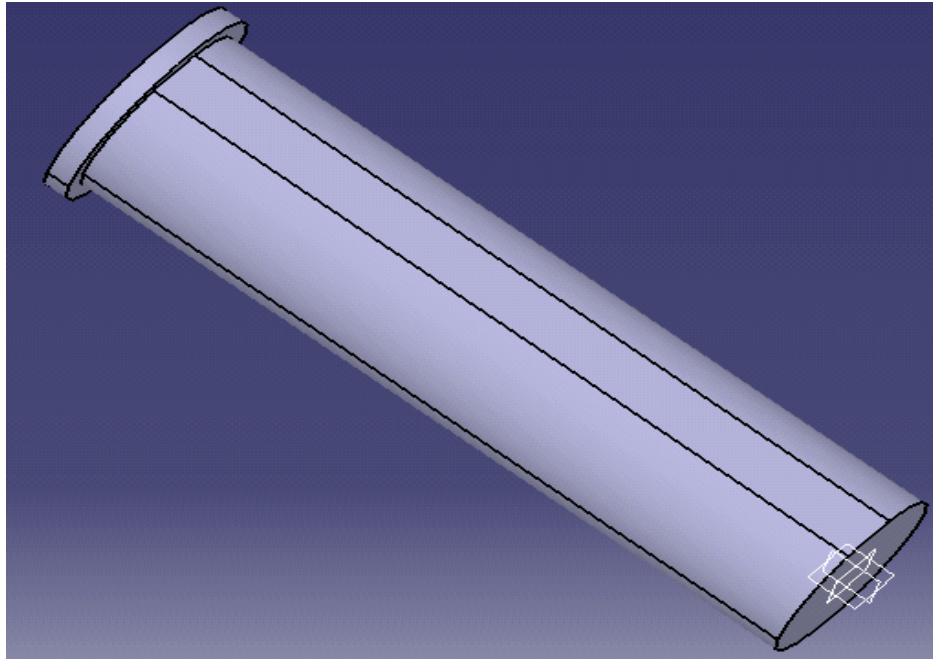


Fig.III.4. Diagramme SADT A0

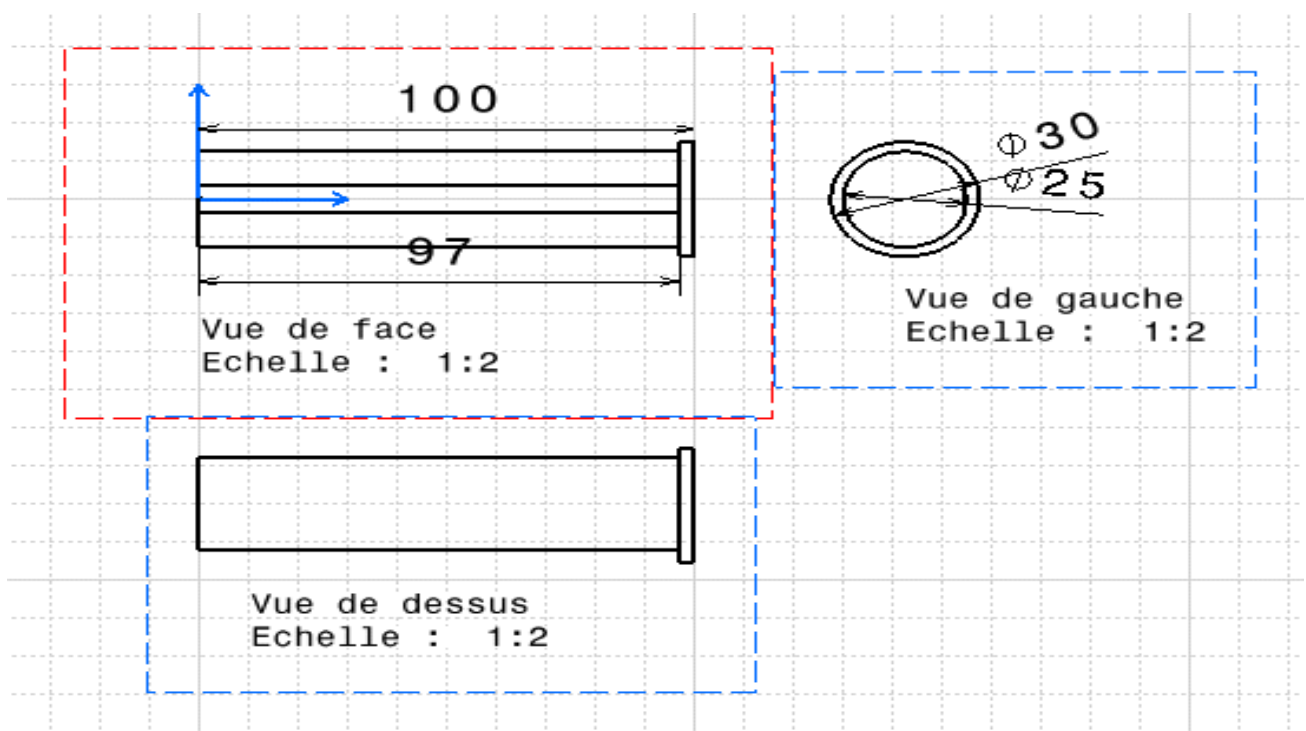
### III.3 La conception du dispositif

On fait une conception par logiciel CATIA des différentes parties de ce dispositif.

- Au début on fait la conception de l'éprouvette comme montre dans les figures (III.5 et III.6).

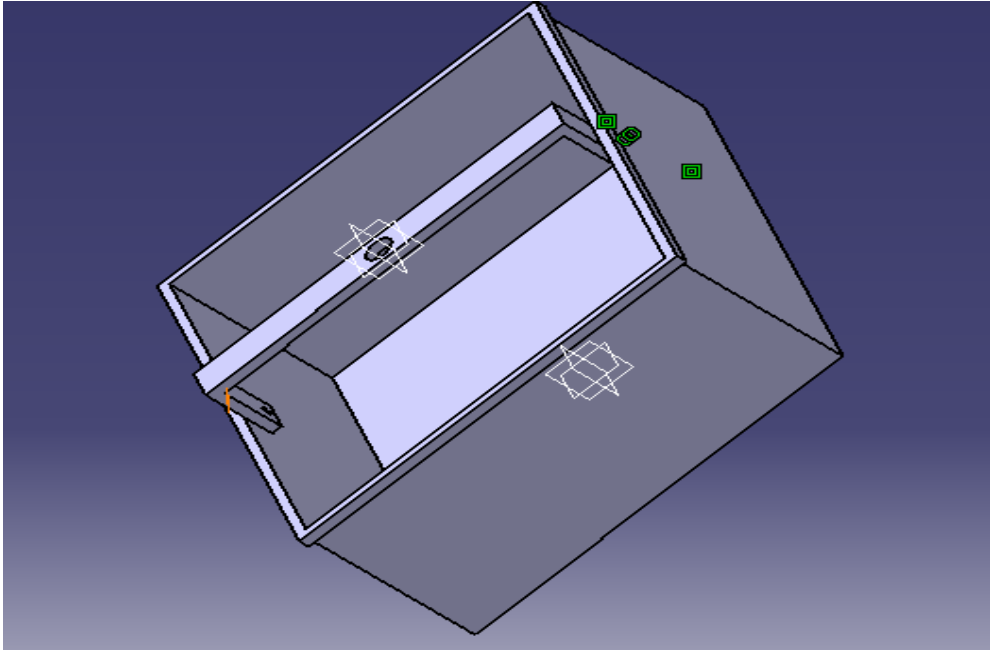


**Fig.III.5. la conception de la pièce par logiciel CATIA**



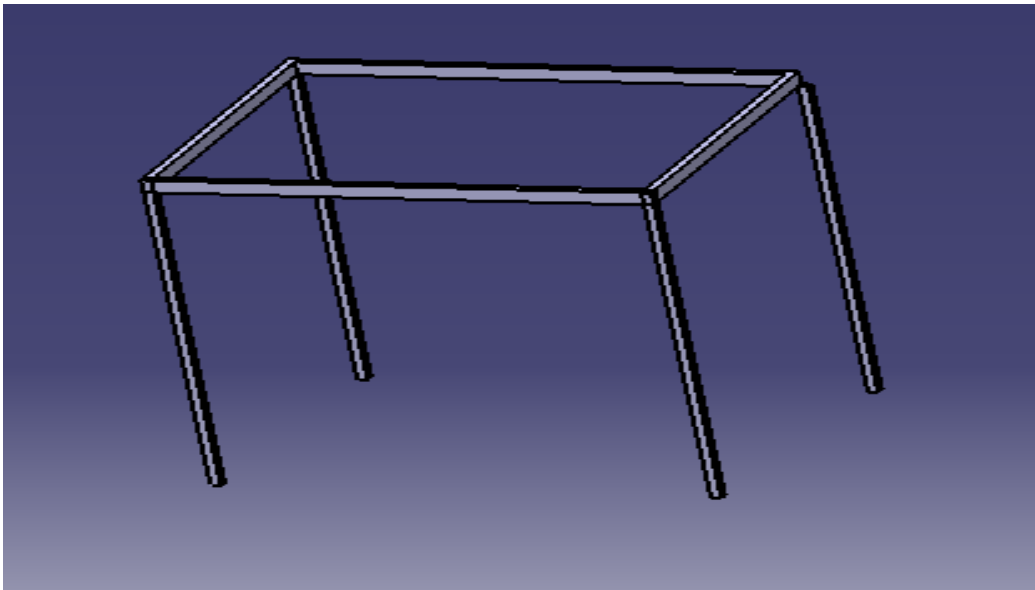
**Fig.III.6 : Les différents vue de la pièce**

- Deuxièmement on fait une conception d' un bac avec un support pour déposer l'éprouvette et récupérer l'eau usée comme montre dans la (fig.III.7).



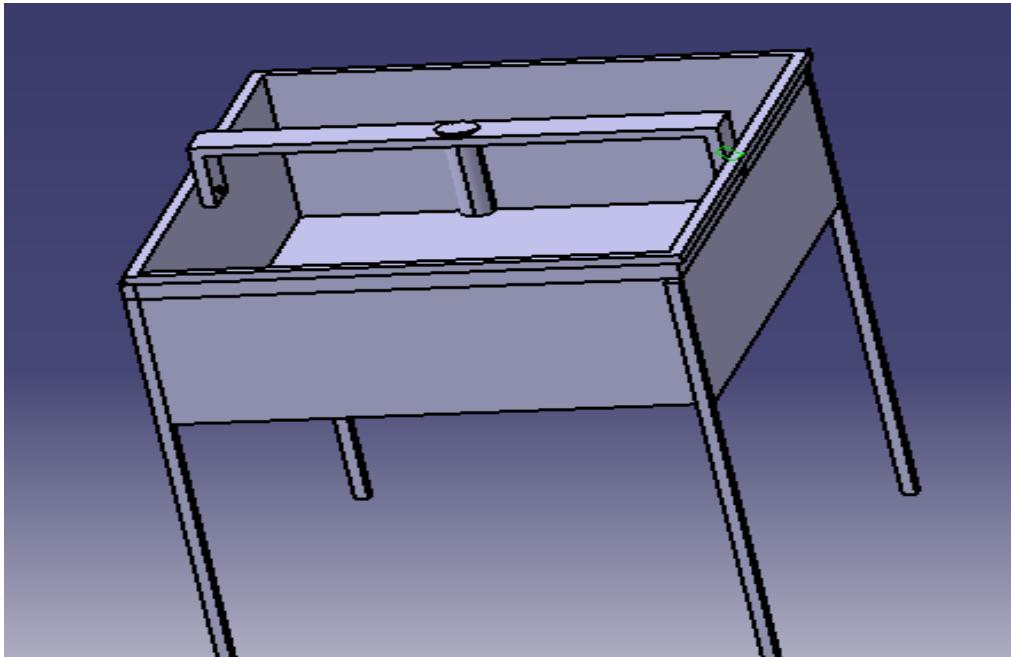
**Fig.III.7 : la conception du bac par logiciel CATIA**

- Troisièmement, on fait une conception d'une table comme une base du dispositif (fig.III.8).



**Fig.III.8 : La conception de la table par logiciel CATIA**

- Enfin, on assemble ces éléments pour obtenir un dispositif final comme montré dans la (fig.III.9).



**Fig.III.9 : Le dispositif complet**

### **III.4 La réalisation du dispositif**

#### **III.4.1 Matériels utilisée**

- Pompe à eau pour transférer le fluide.
- Une vanne pour régler le débit du fluide.
- Un tuyau de diamètre 14mm pour transférer le fluide.
- Un tuyau de diamètre 60mm pour assure l'évacuation du fluide.
- Bac avec un support pour refroidir l'éprouvette.
- Une tôle de dimensions (40\*400\*4) comme un support de l'éprouvette.
- Une table pour mettre le dispositif.

#### **III.4.2 Réalisation du bac de refroidissement**

- Dans ce travail, on assemble le tuyau de diamètre 13mm avec la vanne et la pompe et vers le bas du bac comme montre dans la (fig.III.10).
- Puis en fait deux trous dans la tôle de diamètre 12mm pour assembler cette dernière au haut de la table par des boulons de 17mm.et un trou de diamètre 26mm pour mettre l'éprouvette (fig.III.11).

- Après sa on place le tuyau de diamètre 60mm au bas du bac pour assurer le retour du fluide.



**Fig.III.10 : assemblage du tuyau avec la pompe**



**Fig.III.11 : assemblage du support avec le bac**

### **III.4.3 Préparation des éprouvettes**

Dans ce travail et pour l'essai de Jominy, nous avons utilisé une barre cylindrique d'acier de type (42CD4) de diamètre 30 mm et de longueur 330 mm et pour réaliser 03 éprouvettes (E1, E2, E3) selon les normes de l'essai.

#### **III.4.3.1 Caractéristique de l'acier (42CD4)**

- Norme Françaises (AFNOR) : 42 CD 4
- Norme Européennes (NF EN/EN) : 42 Cr Mo 4

Dans notre étude nous intéressons à la nuance 42CD4 qui contient 0.42% de C, 1% de Cr et 0.3% de Mo chaque teneur de ces éléments a un impact sur les propriétés de cet acier tel que : la teneur de 0.42% de C est adoptée pour les pièces forgées ou moulées et améliore la trempabilité. Des teneurs de chrome entre 0.5% à 1.5% donnent une bonne trempabilité parce qu'ils retardent la transformation de l'austénite (trempant à l'air) et ils améliorent la résistance à la rupture sans diminuer la ductilité de façon appréciable, aussi ils diminuent la décarburation et ils contribuent beaucoup à la formation des nitrures, donc ces aciers sont destinés à la nitruration.

Des teneurs de molybdène jusqu'à 0.50% sont plus efficaces que des additions correspondantes de chrome pour produire une structure aciculaire dans des aciers refroidis à l'air. Ils améliorent la pénétration de trempe et augmentent les propriétés de résistance aux chocs et possèdent une limite élastique élevée des aciers trempés.

Le molybdène agit d'une façon semblable à celle du chrome, pour augmenter la résistance, l'aptitude à la trempe et la résistance à l'usure, tout en gardant une bonne ténacité.

#### **III.4.3.2 Gamme d'usinage**

##### **a. Choix des opérations et des outils**

On peut choisir les types d'opérations et les outils correspondants aux différentes entités d'usinage comme suit.

- Choix d'une machine-outil.
- Ordre des opérations.
- Détermination des dimensions et des tolérances de fabrication.

Les éprouvettes (E1,E2,E3) normalisées sont réalisées dans le laboratoire de génie mécanique. Dans ces laboratoires, nous avons utilisé plusieurs machines afin de préparer nos modèles en fonction des conditions de l'expérience : nous utilisons en premier lieu la scie électrique pour couper la barre cylindrique en trois parties afin de les préparer pour les procédés de tournage et de fraisage.

- Premièrement nous utilisons la scie électrique pour couper ce cylindre en trois pièces de longueur 110 mm pour chaque pièce (fig..III.12).



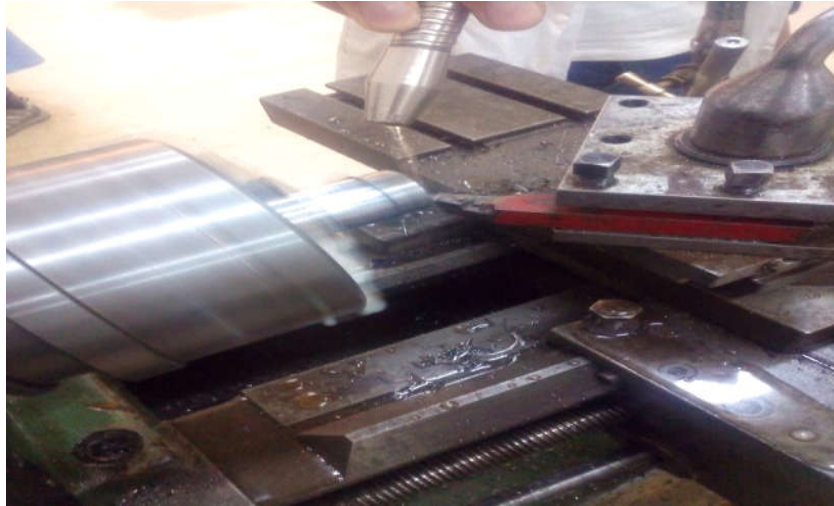
**Fig.III.12 : cisaillement de la pièce**

- Nous préparons les outils de coupe et les installons sur la machine, puis nous préparons la pièce et l'installons sur le tour afin de réaliser l'opération de chariotage pour réduire le diamètre jusqu'à 25 mm sur une longueur de 97 mm et le reste composera la tête de la pièce, (Fig.III.13).



**Fig.III.13 : chariotage de la pièce**

- Pour le processus de dressage, nous changeons les outils de coupe, puis on fait un dressage sur la même machine pour réduire la longueur jusqu'à 100 mm .(fig.III.14).



**Fig.III.14 : dressage de la pièce**

- Après avoir fini la préparation de la pièce, nous l'installons sur la fraiseuse, ensuite on a fait un fraisage pour mettre un méplat sur une de longueur 90 mm sur la surface de profondeur de 0.5mm. (Fig.III.15).



**Fig.III.15 : le fraisage de la pièce**

- Après ce processus, nous avons fini de préparer les éprouvettes ( E1, E2, E3) selon les normes de l'essai (Fig.III.16). Ensuite, nous transférons les pièces pour le traitement thermique.



**Fig.III.16 : Les éprouvettes de l'essai de Jominy**

### **III.5 Préparation de l'essai pour la trempe**

- Sur notre dispositif on règle la hauteur du jet d'eau selon les normes de l'essai sans éprouvette a  $65 \pm 5\text{mm}$  de la buse,( Fig.III.17).

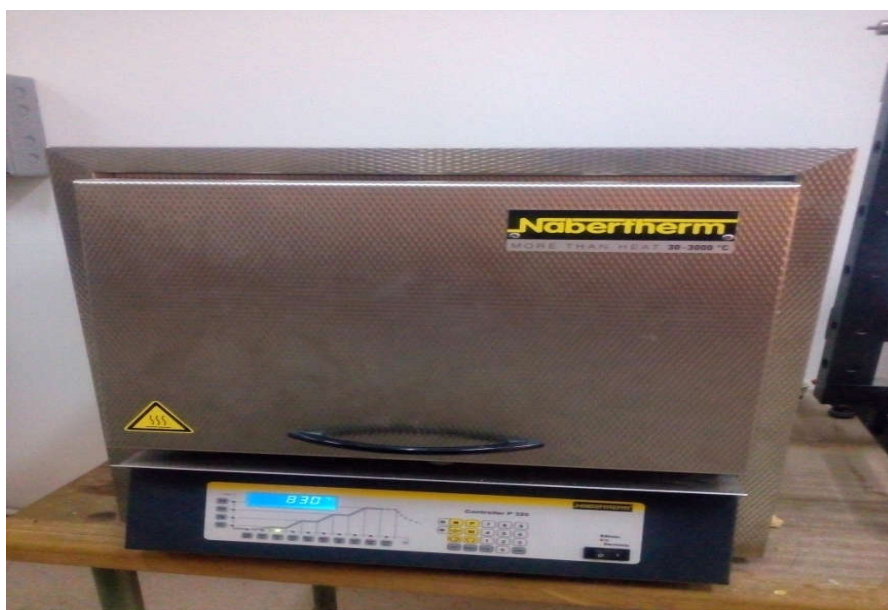


**Fig.III.17 : jet d'eau sans éprouvette**

### III.5.1 Chauffage

Le chauffage doit permettre de chauffer la pièce jusqu'au cœur à la température d'austénitisation. Or, la chaleur étant apportée par transmission à travers sa surface, la température de ce dernier est toujours supérieure à celle du cœur, l'opération s'achevant quand, justement, la différence entre ces deux températures est devenue nulle ou tout au moins inférieure à la tolérance admise.

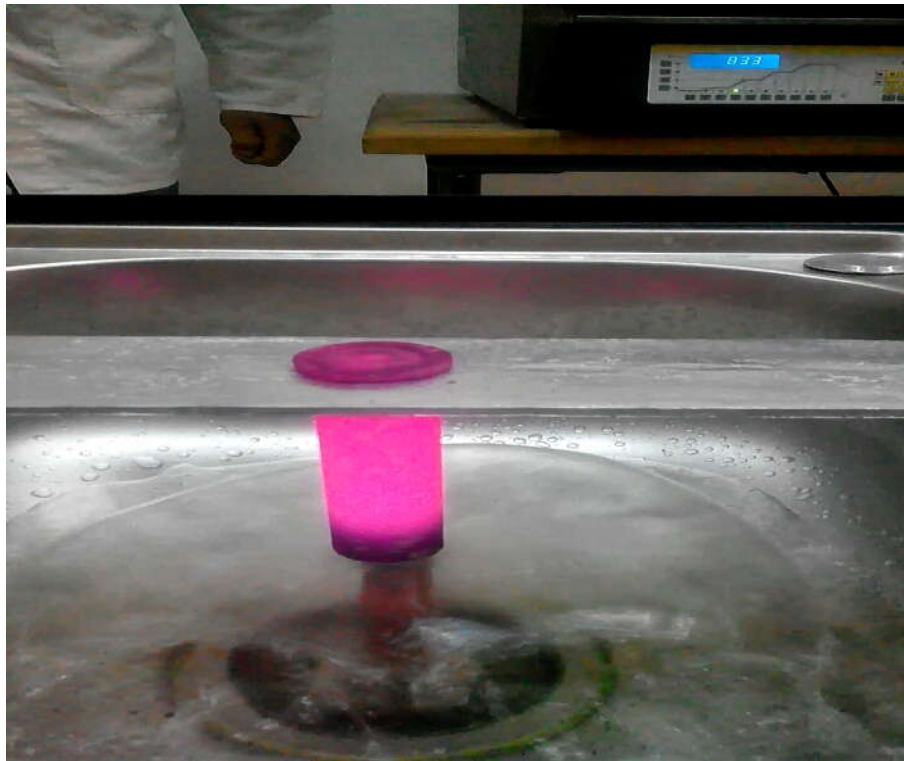
On a utilisé un four (**Nabertherm**) au niveau de laboratoire de génie mécanique Figure 3.18, on a fait un chauffage de l'éprouvette jusqu'à la température  $830\text{C}^0$  et un maintien à cette température durant  $30 (\pm 5)$  minutes (normes de l'essai).



**Fig.III.18: four électrique à température  $830\text{C}^0$**

### III.5.2 refroidissement d'éprouvette

Après avoir chauffé la pièce jusqu'à 830 degrés et la garder pendant environ 30 minutes à cette température. On fait sortir l'éprouvette du four et la transférer rapidement sur le dispositif Jominy. On stabilise l'éprouvette puis ouvrir immédiatement la vanne rapidement. On Laisse refroidir complètement (Fig.III.19).



**Fig.III.19 : le refroidissement de l'éprouvette**

Après refroidissement de l'éprouvette, on peut procéder à mesurer la dureté de l'éprouvette d'acier en plusieurs positions sur la surface de la pièce pour détecter la profondeur de la trempe dans la pièce. Pour ce faire, on peut utiliser un duromètre Vickers et les valeurs de duretés seront prises sur les distances : 1.5, 3, 5, 8, 12, 18, 26, 36, 50 et 70 mm de l'éprouvette. Le travail s'achèvera par le tracer d'une courbe de la dureté en fonction des différentes positions de mesure sur l'éprouvette.

#### **IV. Conclusion général**

Arrivant à la fin de notre projet de fin d'étude concernant la conception et la réalisation d'un dispositif pour la mesure de la trempabilité d'un acier (Essai Jominy), nous présentons le bilan du travail effectué.

D'abord il fallait bien comprendre et définir les différentes étapes de conception d'un produit. Ensuite, nous avons défini le principe des traitements thermiques dont notre dispositif a pour but, la mesure de la trempabilité des aciers.

Ce dispositif sera un important ajout au laboratoire des traitements thermiques. D'une part il participera à la diversification des travaux pratiques pour les étudiants de génie mécanique, et d'autre part aux travaux de recherches.

C'est dans ce cadre que nous avons réalisé une analyse fonctionnelle pour proposer des solutions adéquates qui vont satisfaire les exigences de réalisation du dispositif.

Une recherche bibliographique et l'utilisation du logiciel de conception CATIA nous ont permis d'aborder la conception et la réalisation de la majorité des dessins des composants les plus importants de notre dispositif.

Finalement, nous avons réalisé notre dispositif ainsi que quelques éprouvettes en aciers pour faire un essai de mesure de la trempabilité, mais malheureusement nous n'avons pas pu réaliser les essais à cause de non disponibilité de la machine de dureté. Nous espérons que d'autres travaux de recherches vont entamer ce sujet au futur.

## V. Bibliographie

- [1]. M. Sara Mecheri, 'Etude des réactions des Transformations de phase dans les alliages d'aluminium sous forme des tôles', Mémoire, 2007.
- [2]. M. François Beudet, 'Amélioration de la trempabilité de l'acier SF2050 par l'ajout de Vanadium', Mémoire, 2009.
- [3]. Mr. Amari Idriss, 'Influence des traitements thermiques sur la structure et les propriétés de l'acier Hadfield', Mémoire, Juin 2016.
- [4]. D. Zaoui Moussa, 'Influence des traitements thermiques sur la rupture fragile des constructions soudées, cas des soudures épaisses', Thèse, 2009.
- [5]. Zouaouid Khadidja, 'Analyse avec Spectroscopie d'électron Auger de la réaction entre des couches minces en Chrome et des substrats en Acier', Mémoire, 2012.
- [6]. M. Brüttsch/Rüegger, 'Influence des traitements thermiques sur la structure [www.b-r.ch](http://www.b-r.ch) ISO 9001:2001.
- [7]. M. Jonathan Hugues, 'Vieillessement thermomécanique d'un acier inoxydable martensitique à durcissement structural', Thèse, juillet 2014.
- [8]. M. Boisseau Philippe, 'la conception mécanique, Méthodologie et optimisation', DUNOD, 2011.
- [9]. M. Hubert Antz, François Ragusa; 'Manuel de technologie mécanique', DUNOD, 2006.
- [10]. G. Spinnler, 'Conception des machines principes et applications' T1, Presses polytechniques, 2002.

## Résumé

Dans cette étude on présente l'importance des traitements thermiques des aciers et leurs différents types (trempe, revenu, recuit). Les modifications structurales obtenues par traitement thermique permettent, de conférer à un matériau des propriétés particulières adaptées à sa meilleure utilisation sous forme de pièce finie, ensuite, le but de notre travail est la conception et la réalisation d'un dispositif dont le principe consiste à réaliser la trempe, d'un acier chauffé à la température d'austéniéation, par un jet d'eau. Il s'agit de l'essai de Jominy.

La finalité de notre travail est de réaliser un dispositif qui permettra d'enrichir le laboratoire des traitements thermiques avec de nouveaux matériels, soit pour les travaux pratiques ou les travaux de recherches Scientifique.

**Mots clés :** traitements thermiques ,dispositif,la trempe,l'essai de Jominy.

## ملخص

في هذه الدراسة ، يتم تقديم أهمية المعالجة الحرارية للفولاذ وأنواعها المختلفة (التبريد ، التقسية ، التلدين). تتيح التعديلات الهيكلية التي تم الحصول عليها عن طريق المعالجة الحرارية إمكانية تحديد خصائص معينة مادية تتكيف مع أفضل استخدام لها في شكل جزء مكتمل ، ثم الهدف من عملنا هو تصميم جهاز يتكون مبدنه من التبريد ، من الصلب المسخن إلى درجة حرارة التنقية بواسطة نفثة من الماء. هذه هي محاولة جوميني. الغرض من عملنا هو إنشاء جهاز من شأنه إثراء المعالجات الحرارية للمختبرات بمواد جديدة إما للعمل العملي أو البحث العلمي

**الكلمات المفتاحية :** العلاجات الحرارية ، الجهاز ، التبريد ، تجربة جوميني.