

République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique  
Université Mouloud MAMMERY de Tizi-Ouzou



## MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

Pour l'obtention du diplôme de Master en Electro mécanique  
Option Maintenance industrielle

Thème

---

Rénovation d'un four de frittage sous atmosphère  
contrôlée

---

Présenté par

MEKSEM Dahmane

KHALDI Sofiane

Proposé et dirigé par

NECHICHE Mustapha

# Remerciements

Nous tenons à remercier tous d'abord notre promoteur Mr **NECHICHE Mustapha** pour son suivi et ses conseils judicieux.

Nous remercions également toutes les personnes qui nous ont soutenu et encouragé pour aller au bout de ce travail en particulier nos familles.

Nous adressons nos remerciements aussi à tous les enseignants qui ont participé depuis le début jusqu'à la fin de notre formation aussi à tous le personnel de l'Université de Mouloud MAMMERIE de Tizi ouzou .

# *Dédicaces*

Je dédie ce modeste travail à l'âme et à la mémoire de ma chère maman et ma chère sœur que le bon dieu les garde en son vaste paradis.

À mon cher papa et mes sœurs Kamilia et Yasmine, à mes grands parents, mes oncles Lounis, Abderrahmane, Smail, Boualem et leurs familles, qui m'ont tant donné sans jamais rien demander en retour, qui m'ont soutenu, aidé tout le long de mon parcours.

À mes frères Juba et Samir qui ont toujours été là pour moi, je vous adore.

À mon binôme **Sofiane** avec qui j'ai travaillé et créé de très bons souvenirs.

À mes amis Chabane, Lyes, Rabah, Said, Cherif.

À ma deuxième famille de karaté et toute l'équipe de l'E.S.BENI DOUALA.

À mon cher entraîneur Juba CHERIK.

À ma chère Sarah et toute sa famille.

Dahmane MEKSEM

# *Dédicaces*

Je dédie ce modeste travail a ma chère yemma et mon cher vava qui m'ont tant donné sans jamais rien demander en retour, qui m'ont soutenu, aidé tout le long de mon parcours et sans qui je ne serais pas ou j'en suis

A mes frères adorés Takfarinas et Ghiles, et ma grande sœur Thiziri bien aimée, a mes neveux Ahmed et Lina qui ont toujours été là pour moi.

A tous mes amis Tahar, Ghiles, Ali, Khaled, Karim, et Hilal qui ont été toujours à mes côtés.

A mon binôme **Damane** pour tous ses encouragements.

I.1. Introduction.....	4
I.2. Maintenance industrielle.....	6
I.2.1.Objectifs de la maintenance .....	7
I.2.2. Concepts de la maintenance industrielle .....	7
I.2.3. Méthodes de la maintenance industrielle .....	8
I.2.3.1 Maintenance corrective.....	8
<i>I.2.3.1.1. Opérations de maintenance corrective .....</i>	<i>8</i>
<i>I.2.3.1.2. Maintenance corrective curative et maintenance corrective palliative .....</i>	<i>9</i>
I.2.3.2. Maintenance préventive .....	9
<i>I.2.3.2.1. Différents buts de la maintenance préventive .....</i>	<i>9</i>
<i>I.2.3.2.2. Opérations de maintenance préventive.....</i>	<i>9</i>
I.2.3.2.3. Maintenance préventive systématique .....	10
I.2.3.2.4. Maintenance préventive conditionnelle .....	11
I.2.3.3. Maintenance améliorative .....	11
I.2.4. Surveillance.....	11
I.2.5. Outils de gestion de la maintenance.....	12
I.2.5.1.Outil méthode maintenance 1 : la TPM.....	12
I.2.5.2.Outil méthode maintenance 2 : le PDCA.....	12
I.2.5.3.Outil méthode maintenance 3 : le diagramme d'Ishikawa .....	12
I.2.5.5.Outil méthode maintenance 5 : le kaizen.....	13
I.2.5.6. Outil méthode maintenance 6 : Pareto ou l'analyse ABC .....	14
I.2.5.7. Outil méthode maintenance 7 : l'AMDEC .....	14
I.2.5.8.Outil méthode maintenance 8 : l'outil Méride .....	15
I.3. Rénovation des équipements industriels.....	15
I.3.1. Reconstruction .....	15
I.3.2. Modernisation .....	15
I.3.3.Travaux neufs .....	15
I.3.4. Sécurité.....	16
I.4. Conclusion .....	17

II.1. Introduction .....	19
II.2. Parties du four .....	20
II.2.1. Partie basse du four.....	20
II.2.2. Partie haute du four.....	20
a. Resistances MOSI2 (di siliciure de molybdène).....	21
b. Laine d'alumine .....	23
c. Mécanisme a plusieurs ouvertures .....	23
II.2.3. Systèmes reliés au mécanisme .....	24
II.2.3.1. Système d'échappement .....	24
II.2.3.2. système de refroidissement.....	25
II.2.3.3. Système des gaz .....	26
II.3. Partie électrique .....	29
II.3.1. boîtier électrique .....	29
a) <i>Partie de face</i> .....	29
b) <i>Partie gauche</i> .....	30
c) <i>Partie droite</i> .....	30
d) <i>Partie de derrière</i> .....	31
II.3.2. Thermocouples .....	31
a. <i>Définition</i> .....	31
b. <i>Fonctionnement d'un thermocouple</i> .....	31
c. <i>Les types de thermocouples</i> .....	32
II.3.3. Prises.....	32
II.4.2. poste à souder (transformateur).....	32
II.5 Conclusion .....	33
III.1. Introduction .....	35
III.2. Plan du travail.....	36
III.2.1. Réalisation du dispositif a gaz .....	36
III.2.1.1. Etapes suivies pour réaliser le dispositif.....	37
III.2.1.1.1. L'étude des fonctionnalités du dispositif.....	37
a) <i>entrée du gaz</i> .....	38
b) <i>entrée de système d'échappement</i> .....	38
c) <i>entrée de pompe a vide</i> .....	39

III.2.1.1.2. L'étude sur l'endroit où mettre le dispositif sur le four.....	40
III.2.1.1.3. Prendre les mesures nécessaires pour fabriquer le dispositif .....	41
III.2.2. Système électrique et rénovation du boîtier électrique.....	41
III.2.2.1. schéma de câblage .....	41
III.2.2.2. Explication du circuit.....	41
III.2.2.2.1. Les différents entrés pour alimenter le boîtier .....	41
III.2.2.2.2. Système de commande dans le four .....	42
III.2.2.2.3. Les différents composants du système de commande du four .....	43
<i>a. Régulateurs numériques de type analogique PID (Proportionnel, Intégral, Dérivé) ...</i>	43
<i>b. Relais statique .....</i>	43
<i>c. Capteur de température .....</i>	45
III.2.2.3. Rénovation du boîtier électrique .....	46
III.2.3. Montage .....	48
III.3. Conclusion générale.....	50

## Liste de figures

Figure I.1 : La norme Afnor.....	5
Figure I.2.3 : Méthodes de la maintenance industrielle.....	8
Figure I.2.5 : diagramme ishikawa GMAO .....	13
Figure I.4 : les opérations de maintenance .....	17
Figure II.1 : four de frittage dans l'état initial.....	19
Figure II.2 : carcasse du four .....	20
Figure II.2.2: la partie chauffante du four.....	21
Figure II.2.2.b : l'aine d'alumine .....	23
Figure II.2.2.c : bride tube.....	24
Figure II.2.3.1 : système d'échappement.....	25
Figure II.2.3.2 : système de refroidissement.....	26
Figure II.2.3.3 : bouteille de gaz .....	27
Figure II.3 : Boitier électrique.....	29
Figure II.3.1.a : Boitier électrique .....	29
Figure II.3.1.b : Partie gauche.....	30
Figure II.3.1.d vue de derrière.....	31
Figure II.3.2 : thermocouple .....	32
Figure II.4.2 : poste à souder (transformateur) .....	33
Figure III.2.1 : dispositif a gaz .....	37
Figure III.2.1.1.a : manomètre .....	38
Figure III.2.1.1.b : système d'échappement.....	39
Figure III.2.1.1.c : pompe à vide .....	39
Figure III.2.1.1.d : dispositif a gaz .....	40
Figure III.2.1.1.2 : Emplacement du dispositif .....	40
Figure III.2.2.1 : schéma de câblage.....	41
Figure III.2.2.2.2 : Schéma simplifié d'un système de commande d'un four à résistances .....	42
Figure III.2.2.2.3.a : régulateur .....	43
Figure III.2.2.2.3.b.1 : relais statique .....	44
Figure III.2.2.2.3.b.3 Circuit d'entrée [W3] .....	45
Figure III.2.2.2.3.b.4 Triac                      Figure III.2.2.2.3.b.5 : Thyristors tête-bêche.....	45
Figure III.2.2.3 : renforcement et finition du boitier électrique .....	46
Figure III.2.2.3.a4: boitier électrique.....	47
Figure II.2.3a : branchement de tuyau du gaz.....	48
Figure II.2.3.b : four de frittage après rénovation .....	49

# Introduction générale

Un four de frittage est un dispositif utilisé pour réaliser un traitement thermique d'un compacté de poudre (poudre métallique et/ou céramique) selon un cycle de température bien déterminé. Vu la nature pulvérulente des matériaux à traiter et les hautes températures de frittage. Le cycle thermique doit être le plus précis possible pour réduire au maximum de grandes différences de températures entre différents points de l'échantillon.

Aussi, les faibles granulométries (quelques micromètre) des particules de poudres métalliques/céramiques et leur forte réactivité, notamment à haute température, les traitements thermiques de frittage doivent être réalisés, généralement, sous une atmosphère inerte ou protectrice. Le four de frittage nécessite par conséquent de puissants éléments chauffants, une bonne isolation thermique et un système de régulation du cycle de température suffisamment précis. De plus, le dispositif de contrôle de l'atmosphère de frittage doit être fiable pour réduire au maximum l'influence de la présence d'impureté sur l'échantillon.

Pour mener ses travaux, l'équipe de recherches Elaboration des matériaux par métallurgie des poudres a conçu et fabriqué, en 2011, un four de frittage en utilisant des composants récupérés ou achetés séparément. L'indisponibilité de composant adéquat a fait que ce four présente des insuffisances qu'il est nécessaire de combler.

Une panne survenue sur le dispositif de régulation et de la température nous a poussé à le rénover partiellement puisque les composants essentiels (tube borgne en alumine, un transformateur adéquat pour circuit de puissance, pompe à eau, carte électronique, etc.) demeurent indisponibles.

Pour permettre la remise en marche de cet Equipement le plus tôt possible, nous avons entrepris de le rénover partiellement et de parer définitivement à certaines de ses insuffisances. Il s'agit notamment de :

- Remplacer l'ancien système de régulation électronique de la température en utilisant un régulateur capable de contrôler la vitesse de chauffe ;
- Remplacer et rendre plus ergonomique le système de contrôle de l'atmosphère de frittage ;
- Améliorer la disposition des différentes parties constitutives du four pour une utilisation plus facile.

Nous rapportons, dans le présent manuscrit, les principales opérations réalisées. Par ailleurs, nous exposent, dans le premier chapitre une synthèse bibliographique autour de la maintenance industrielle et de la rénovation des équipements. Au deuxième chapitre, nous décrivons sommairement le four à rénover exposant ses parties constitutives et son état global. Dans le troisième chapitre, nous synthétisons les descriptifs des opérations à mener sur chaque partie du four. Le travail, purement pratique, réalisée sera ensuite décrit parallèlement a l'expose de l'état du four rénover. Des essais de cycle thermique avec contrôle de l'atmosphère de traitement constituent la dernière partie de ce travail.

Nous terminons notre manuscrit par une conclusion générale et des perspectives.

## Chapitre I

# Généralités sur la maintenance et la rénovation des équipements industriels

# Chapitre I

## Généralités sur la maintenance et la rénovation des équipements industriels

### I.1. Introduction

Dans l'industrie, la maintenance est l'une des fonctions essentielles du système de production et dans les systèmes fortement automatisés; c'est donc une fonction capitale.

La notion de maintenance industrielle est définie par la norme NF 60 010 comme étant « l'ensemble des actions permettant de maintenir ou de rétablir un bien dans un état spécifié ou en mesure d'assurer un service déterminé».

Parfois, la maintenance constitue un élément stratégique de l'entreprise qui nécessite des moyens importants et beaucoup de dépenses. En effet, une maintenance mal organisée, mal gérée ou mal exécutée, peut avoir des impacts néfastes sur le fonctionnement du système de production, soit par des arrêts multiples et indisponibilité des installations, soit par des surcoûts de production ou par de grands risques de mauvaise qualité et d'indisponibilité des produits. De même, une mauvaise maintenance peut être à l'origine d'importantes catastrophes (aéronautique, transport, nucléaire, ..) et peut mettre en danger des vies humaines et l'existence de l'entreprise [1], [2].

**La norme Afnor X 60-010** : Elle introduit les niveaux de maintenance Afnor. De plus, on a considéré que pour préserver au mieux un parc de machines industrielles, il fallait assurer un niveau de maintenance optimale.

C'est ainsi que la notion de "niveaux de maintenance" est née.

C'est la norme Afnor X 60-010 (1994) puis NF X 60-000 (2016) qui introduit cette définition des niveaux de maintenance.

Il existe 5 niveaux de maintenance correspondant aux degrés de complexité de l'opération de maintenance à prévoir.

Cela permet d'avoir une idée du niveau d'expertise requis pour la réaliser, mais aussi de l'importance des moyens à mettre en œuvre (outillage, espace physique à prévoir).

Cette classification permet également de juger si une action peut être faite en interne ou si elle nécessite l'intervention de prestataires externes qualifiés.

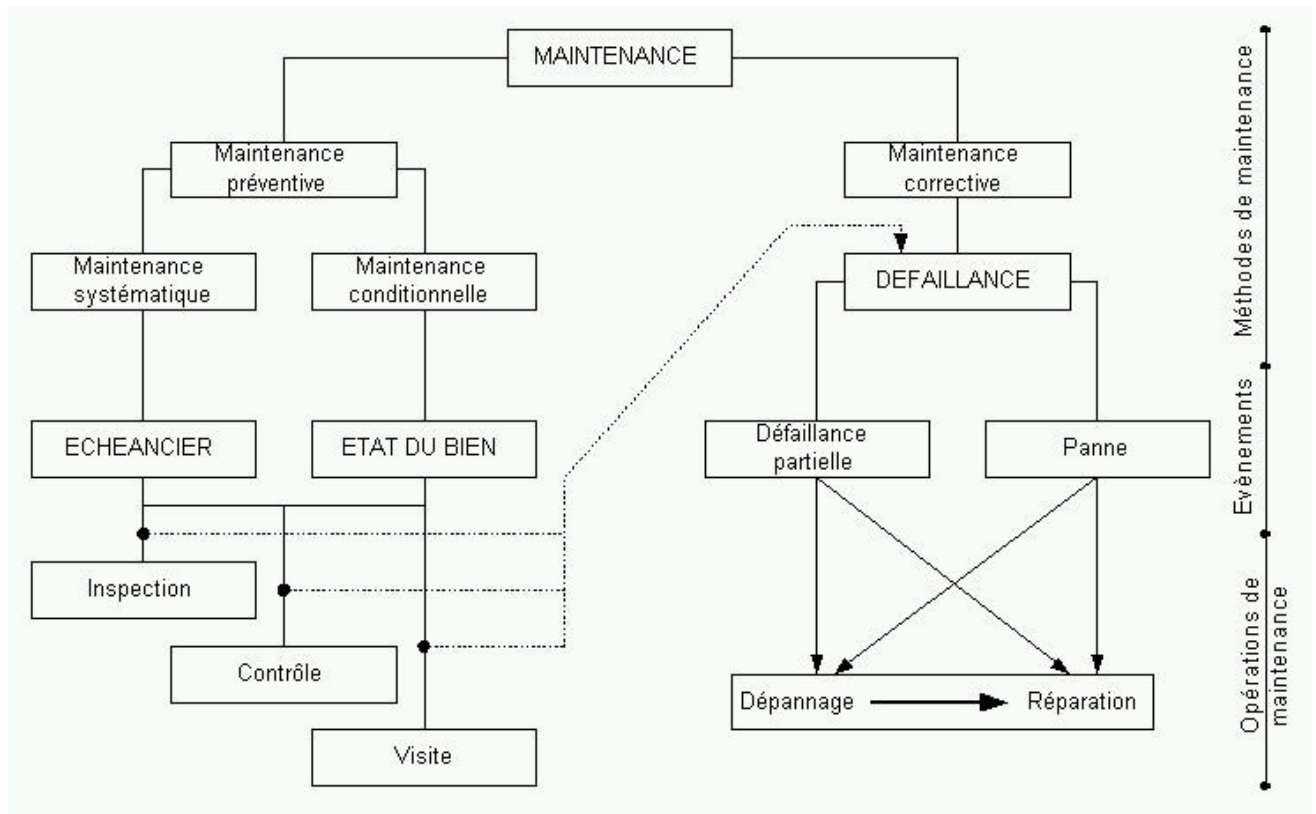


Figure I.1 : Types de maintenances [1]

Tableau I.1 : Les différents niveaux de maintenance Afnor.

niveaux	Description	Exemples
1	Réglages simples ou échanges de consommables prévus par le constructeur, sans démontage et en toute sécurité	Réglages, nettoyage
2	Dépannages par échange standard et opérations préventives simples	Graissage, lubrification contrôle de bon fonctionnement.
3	Identification et diagnostic des pannes, réparations par échange de composants, et opérations préventives.	Analyse, diagnostic de pannes, réparation, réglage d'appareils.
4	Travaux importants, correctifs ou préventifs, sans modifications ou reconstruction.	Travaux suite a un diagnostic et/ou une expertise.
5	Rénovation, reconstruction ou réparation importantes en atelier spécialisé.	Souvent effectué par la constructeur.

Tableau I.1 : Différents niveaux de maintenance Afnor X 60-010 [2]

Les différents niveaux de maintenance Afnor sont décrits ci-dessous :

**1<sup>er</sup> niveau :** Il concerne les réglages simples prévus par le constructeur au moyen d'éléments accessibles sans aucun démontage ou ouverture de l'équipement, ou échanges d'éléments consommables accessibles en toute sécurité, tels que voyants ou certains fusibles, etc.

Ce type d'intervention peut être effectué par l'exploitant du bien, sur place, sans outillage et à l'aide des instructions d'utilisation. Le stock de pièces consommables nécessaires est très faible.

**2<sup>ème</sup> Niveau :** Il correspond aux dépannages par échange standard des éléments prévus à cet effet et opérations mineures de maintenance préventive, telles que graissage ou contrôle de bon fonctionnement.

Ce type d'intervention peut être effectué par un technicien habilité de qualification moyenne, sur place, avec l'outillage portable défini par les instructions de maintenance, et à l'aide de ces mêmes instructions. On peut se procurer les pièces de rechange transportables nécessaires sans délai et à proximité immédiate du lieu d'exploitation.

Notons qu'un technicien est habilité lorsqu'il a reçu une formation lui permettant de travailler en sécurité sur une machine présentant certains risques potentiels, et est désigné pour l'exécution des travaux qui lui sont confiés, compte tenu de ses connaissances et de ses aptitudes.

**3<sup>ème</sup> Niveau :** Il permet l'identification et le diagnostic des pannes, les réparations par échange de composants ou d'éléments fonctionnels, réparations mécaniques mineures, et toutes opérations courantes de maintenance préventive telles que le réglage général ou le réaligement des appareils de mesure.

Ce type d'intervention peut être effectué par un technicien spécialisé, sur place ou dans le local de maintenance, à l'aide de l'outillage prévu dans les instructions de maintenance ainsi que des appareils de mesure et de réglage, et éventuellement des bancs d'essais et de contrôle des équipements et en utilisant l'ensemble de la documentation nécessaire à la maintenance du bien ainsi que les pièces approvisionnées par le magasin.

**4<sup>ème</sup> Niveau :** Il concerne tous les travaux importants de maintenance corrective ou préventive à l'exception de la rénovation et de la reconstruction. Ce niveau comprend aussi le réglage des appareils de mesure utilisés pour la maintenance, et éventuellement la vérification des étalons de travail par les organismes spécialisés.

Ce type d'intervention peut être effectué par une équipe comprenant un encadrement technique très spécialisé, dans un atelier spécialisé doté d'un outillage général (moyens mécaniques, de câblage, de nettoyage) et éventuellement des bancs de mesure et des étalons de travail nécessaires, à l'aide de toutes documentations générales ou particulières.

**5<sup>ème</sup> Niveau :** Il correspond à la rénovation, la reconstruction ou l'exécution des réparations importantes confiées à un atelier central ou à une unité extérieure.

Par définition, ce type de travail est donc effectué par le constructeur, ou par le reconstruteur, avec des moyens définis et donc proches de la fabrication.

## I.2. Maintenance industrielle [3] [4] [5]

La maintenance industrielle peut se définir comme le fait de maintenir ou de rétablir un équipement de production dans un état défini en amont afin que celui-ci soit en mesure d'assurer le service prévu.

Elle implique une inspection des installations, mais également des données précises sur l'état des infrastructures de l'équipement et des machines.

### I.2.1. Objectifs de la maintenance

D'une manière générale, la maintenance a pour but d'assurer la disponibilité maximale des équipements de production à un coût optimal. Les principaux objectifs que doit se fixer la fonction maintenance sont :

- Améliorer la fiabilité du matériel : La mise en œuvre de la maintenance préventive nécessite les analyses techniques du comportement du matériel. Cela permet à la fois de pratiquer une maintenance préventive optimale et d'éviter complètement certaines défaillances.
- Garantir la qualité des produits : La surveillance quotidienne des machines est pratiquée pour détecter les symptômes de défaillance et veiller à ce que les paramètres de réglages et de fonctionnement soient respectés. A titre d'exemple, le contrôle des jeux dans les assemblages mécaniques et de la géométrie des pièces permet d'éviter les aléas de fonctionnement tels que les vibrations qui, avec le temps, produisent des défaillances. La qualité des produits est ainsi assurée ainsi que l'absence de rebuts.
- Améliorer l'ordonancement des travaux : La planification des interventions de la maintenance préventive, correspondant au planning d'arrêt machine qui devra être validée par le service production. Cela implique la collaboration de ce service afin de faciliter la tâche de la maintenance.
- Assurer la sécurité des personnels : La préparation des interventions de maintenance préventive ne consiste pas seulement à respecter le planning, mais elle doit tenir compte aussi des critères de sécurité des travailleurs.
- Améliorer la gestion de stock : La maintenance préventive est planifiable. Elle maîtrise les échéances de remplacement des organes ou pièces, ce qui facilite la tâche de gestion des stocks. Elle permet aussi d'éviter de mettre en stock certaines pièces et ne les commander que le moment venu [réf].
- 

### I.2.2. Concepts de la maintenance industrielle

L'analyse des différentes formes de maintenance repose sur 4 concepts:

- Les événements qui sont à l'origine de l'action : référence à un échancier, relation à un type d'événement (auto diagnostic, information d'un capteur, mesure d'une usure) l'apparition d'une défaillance.
- Les méthodes de maintenance qui leur seront respectivement associées : maintenance préventive systématique, maintenance préventive conditionnelle, maintenance corrective.
- Les opérations de maintenance proprement dites : inspection, contrôle, dépannage, réparation, etc.
- Les activités connexes : maintenance d'amélioration, rénovation, reconstruction, modernisation, travaux neufs, sécurité, etc.

Cette réflexion terminologique et conceptuelle représente une base de référence pour l'utilisation d'un langage commun pour toutes les parties telle que la conception, la production et les prestataires de services ainsi que la mise en place de systèmes informatisés de gestion de la maintenance.

### I.2.3. Méthodes de la maintenance industrielle

Le choix entre les méthodes de maintenance s'effectue dans le cadre de la politique de la maintenance et doit s'opérer en accord avec la direction de l'entreprise.

Pour choisir une méthode, il faut donc être informé des objectifs de la direction, mais il faut également connaître le fonctionnement, les caractéristiques et le comportement des matériels en exploitation, les conditions d'application de chaque méthode, les coûts de maintenance et les coûts de perte de production.

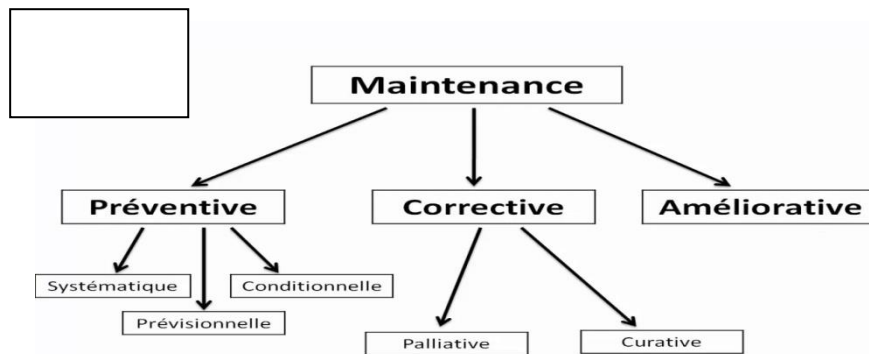


Figure I.2.3 : Méthodes de la maintenance industrielle

#### I.2.3.1 Maintenance corrective

La défaillance est l'altération ou la cessation de l'aptitude d'un bien à accomplir la fonction requise comme il existe 2 formes de défaillance :

- Défaillance partielle : altération ou dégradation de l'aptitude d'un bien à accomplir la fonction requise.
- Défaillance complète : cessation de l'aptitude d'un bien à accomplir la fonction requise.

La maintenance corrective a pour objet de redonner au matériel des qualités perdues nécessaires à son utilisation.

Les défauts, pannes ou avaries diverses exigeant une maintenance corrective entraînent une indisponibilité immédiate ou à très brève échéance des matériels affectés et/ou une dépréciation en quantité et/ou qualité des services rendus.

##### I.2.3.1.1. Opérations de maintenance corrective

###### - Dépannage

Action sur un bien en panne, en vue de le remettre en état de fonctionnement. Compte tenu de l'objectif, une action de dépannage peut s'accommoder de résultats provisoires (maintenance palliative) avec des conditions de réalisation hors règles de procédures, de coûts et de qualité, et dans ce cas sera suivie de la réparation. Le dépannage n'a pas de conditions d'applications particulières et la connaissance du comportement du matériel et des modes de dégradation sont à la base d'un bon diagnostic et permettent souvent de gagner du temps.

Souvent, les opérations de dépannage sont de courtes durées mais peuvent être nombreuses. De ce fait, les services de maintenance soucieux d'abaisser leurs dépenses tentent d'organiser les actions de dépannage. Certains indicateurs de maintenance (pour en mesurer son efficacité) prennent en compte le problème du dépannage. Ainsi, le dépannage

peut être appliqué par exemple sur des équipements fonctionnant en continu dont les impératifs de production interdisent toute visite ou intervention à l'arrêt.

- *Réparation*

Intervention définitive et limitée de maintenance corrective après panne ou défaillance se pendant l'application de la réparation peut être décidée soit immédiatement à la suite d'un incident ou d'une défaillance, soit après un dépannage, soit après une visite de maintenance préventive conditionnelle ou systématique.

*Remarque*

La réparation correspond à une action définitive. L'équipement réparé doit assurer les performances pour lesquelles il a été conçu et donc tous les équipements sont concernés.

### *I.2.3.1.2. Maintenance corrective curative et maintenance corrective palliative*

Certains auteurs utilisent l'expression « maintenance curative » comme synonyme de maintenance corrective, alors qu'elle n'est qu'une partie de la maintenance corrective celle qui se solde par la restauration de l'élément matériel à l'état antérieur, par opposition à une maintenance corrective dite palliative ou, pour parler simplement d'un dépannage provisoire.

### **I.2.3.2. Maintenance préventive [8]**

Maintenance effectuée selon des critères prédéterminés, dont l'objectif est de réduire la probabilité de défaillance d'un bien ou la dégradation d'un service rendu.

Elle doit permettre d'éviter les défaillances des matériels en cours d'utilisation. L'analyse des coûts doit mettre en évidence un gain par rapport aux défaillances qu'elle permet d'éviter.

#### *I.2.3.2.1. Différents buts de la maintenance préventive*

- La maintenance préventive sert à augmenter la durée de vie des matériels d'une part, et à diminuer la probabilité des défaillances en service et les temps d'arrêt en cas de révision ou de panne d'autre part. Elle aide à prévoir les interventions coûteuses de maintenance corrective et permet de décider la réalisation de la maintenance corrective dans de bonnes conditions
- Éviter les consommations anormales d'énergie, de lubrifiants, de pièces détachées. Elle a pour but d'améliorer les conditions de travail du personnel de production, et diminuer le budget de maintenance. Au final, la maintenance préventive supprime les causes d'accidents graves.

#### *I.2.3.2.2. Opérations de maintenance préventive*

- *Les inspections*

Les activités de surveillance consistent à relever périodiquement des anomalies et d'exécuter des réglages simples ne nécessitant pas d'outillage spécifique, ni d'arrêt de l'outil de production ou des équipements.

- *Les visites*

Ce sont toutes les opérations de surveillance qui, dans le cadre de la maintenance préventive systématique, s'opèrent selon une périodicité déterminée. Ces interventions correspondent à une liste d'opérations définies préalablement qui peuvent entraîner des démontages d'organes et une immobilisation du matériel. Une visite peut entraîner une action de maintenance corrective.

- *Les contrôles*

Ils constituent les vérifications de conformité par rapport à des données préétablies suivies d'un jugement. Le contrôle peut comporter une activité d'information ou inclure une décision (acceptation, rejet et ajournement) ou bien déboucher comme les visites sur des opérations de maintenance corrective.

- *Les opérations de surveillance (contrôles, visites, inspections)*

Elles sont nécessaires pour maîtriser l'évolution de l'état réel du bien. Elles sont effectuées de manière continue ou à des intervalles prédéterminés ou non, calculés sur le temps ou le nombre d'unités d'usage.

### *Autres opérations*

- *Révision*

C'est l'ensemble des actions d'examen, de contrôles et des interventions effectuées en vue d'assurer le bien contre toute défaillance majeure ou critique, pendant un temps ou pour un nombre d'unités d'usage donné.

Il faut distinguer suivant l'étendue des opérations à effectuer les révisions partielles et les révisions générales. Dans les 2 cas, le terme révision ne doit en aucun cas être confondu avec les termes visites, contrôles, inspections

Les 2 types d'opérations définis (révision générale ou partielle) relèvent du 4ème niveau de maintenance.

### I.2.3.2.3. Maintenance préventive systématique

C'est une maintenance qui est effectuée selon un échéancier établi, le temps ou le nombre d'unités produites. Même si le temps est l'unité la plus répandue, d'autres unités peuvent être retenues telles que la quantité et la longueur de produits fabriqués, la distance parcourue et le nombre de cycles effectués.

Cette périodicité d'intervention est déterminée à partir de la mise en service ou après une révision complète ou partielle mais cette méthode nécessite de connaître le comportement du matériel, les modes de dégradation et le temps moyen de bon fonctionnement entre 2 avaries.

### *Remarque*

De plus en plus, les interventions de la maintenance systématique se font par échanges standards.

### Cas d'application

- Equipements soumis à une législation en vigueur (sécurité réglementée) telle que les appareils de levage, extincteurs, réservoirs sous pression, convoyeurs, ascenseurs et monte-charge.
- Équipements dont la panne risque de provoquer des accidents graves : tous les matériels assurant le transport en commun des personnes, avions, trains.
- Équipements ayant un coût de défaillance élevé : éléments d'une chaîne de production automatisée, processus fonctionnant en continu (industries chimiques ou métallurgiques).
- Équipements dont les dépenses de fonctionnement deviennent anormalement élevées au cours de leur temps de service : consommation excessive d'énergie, éclairage par lampes usagées, allumage et carburation déréglés (moteurs thermiques).

#### I.2.3.2.4. Maintenance préventive conditionnelle

Maintenance préventive subordonnée à un type d'événement prédéterminé telle que l'auto diagnostic ou information d'un capteur ou mesure d'une usure.

La maintenance préventive conditionnelle se caractérise par la mise en évidence des points faibles. Suivant le cas, il est souhaitable de les mettre sous surveillance et, à partir de là, de décider d'une intervention lorsqu'un certain seuil est atteint. Mais les contrôles demeurent systématiques et font partie des moyens de contrôle non destructifs.

Tous les matériels sont concernés. Cette maintenance préventive conditionnelle se fait par des mesures pertinentes sur le matériel en fonctionnement. Les paramètres mesurés peuvent porter sur :

- Le niveau et la qualité de l'huile
- Les températures et les pressions
- La tension et l'intensité des matériels électriques
- Les vibrations et les jeux mécaniques

Certaines méthodes comme l'analyse vibratoire, l'analyse d'huile, ... sont très riches quant aux informations recueillies. Leur compréhension autorise la prise à bon escient, de décisions qui sont à la base d'une maintenance préventive conditionnelle.

#### *Remarque*

La maintenance conditionnelle est donc une maintenance dépendante de l'expérience et faisant intervenir des informations recueillies en temps réel. On l'appelle aussi maintenance prédictive (terme non normalisé).

#### I.2.3.3. Maintenance améliorative

La maintenance améliorative est moins connue et souvent considérée comme une activité connexe. Elle désigne un ensemble de mesures techniques, administrative et de gestion visant à améliorer la sûreté de fonctionnement d'un bien en modifiant la conception d'origine mais sans changer sa fonction requise.

#### *Objectifs de la maintenance améliorative*

Peuvent être de réduire la consommation d'énergie, d'augmenter la durée de vie des composants, d'améliorer la maintenabilité, d'augmenter les performances de production.

#### I.2.4. Surveillance

Qu'elle soit périodique ou continue, son avantage est de connaître le comportement qui se fait en temps réel à condition de savoir interpréter les résultats. A ce niveau, l'informatique prend une place primordiale.

Le matériel nécessaire pour assurer la maintenance préventive conditionnelle devra être fiable pour ne pas perdre sa raison d'être. Il est souvent onéreux, mais pour des cas bien choisis il est rentabilisé rapidement.

Cette méthode de maintenance, pour être efficace, doit dans tous cas être comprise et admise par les responsables de production et avoir l'adhésion de tout le personnel.

Ces méthodes doivent être dans la mesure du possible standardisées entre les différents secteurs (production et périphériques) ; ce qui n'exclut pas l'adaptation essentielle de la méthode au matériel.

Avec l'évolution actuelle des matériels et leurs tendances à être de plus en plus fiables, la proportion des pannes accidentelles sera mieux maîtrisée. La maintenance préventive

diminuera quantitativement d'une façon systématique mais s'améliorera qualitativement par la maintenance conditionnelle.

## I.2.5. Outils de gestion de la maintenance [4] [13]

### I.2.5.1. Outil méthode maintenance 1 : la TPM

La TPM ou maintenance productive totale est une technique qui a vu le jour au Japon, en 1971. Elle consiste en une évolution des techniques de maintenance et a pour but final d'augmenter le rendement des machines d'une entreprise. Elle vise à bannir les arrêts non planifiés, les pertes de temps lorsqu'un technicien démarre une machine ou encore les retouches et les déchets engendrés par les performances des machines dégradées. On évite ainsi les pertes de productivité dues à des équipements défectueux ou au possible manque d'attention de certains techniciens.

Pour parvenir à cet objectif, la TPM se divise en trois outils distincts :

- le TRS ou taux de rendement synthétique qui est un indicateur mesurant le taux d'utilisation des machines
- le 5s :
  - Seiri – ordonner
  - Seiton – ranger
  - Seiso – dépoussiérer
  - Seiketsu – rendre évident
  - Shitsuke – être rigoureux
- l'auto-maintenance, qui permet aux opérateurs de production de réaliser des tâches simplifiées de maintenance.

### I.2.5.2. Outil méthode maintenance 2 : le PDCA

Le PDCA est une technique qui permet d'améliorer l'anticipation et la gestion des projets industriels. Cet outil aide à mettre ses idées en pratique et à découper le travail à réaliser en plusieurs étapes. L'acronyme PDCA correspond à :

P « Plan » planifier ce que l'on va faire

D « Do » faire ce qui a été prévu

C « Check » vérifier que le travail effectué correspond à ce qui était prévu au départ

A « Act » réagir et ajuster en dressant un bilan du travail réalisé.

### I.2.5.3. Outil méthode maintenance 3 : le diagramme d'Ishikawa

Le diagramme d'Ishikawa, également appelé diagramme de causes et effets, 5M voir Figure I.2.5 ou encore diagramme en arêtes de poissons, est utilisé dans la gestion de la qualité. Il aide à identifier les différentes causes et effets d'une problématique donnée.

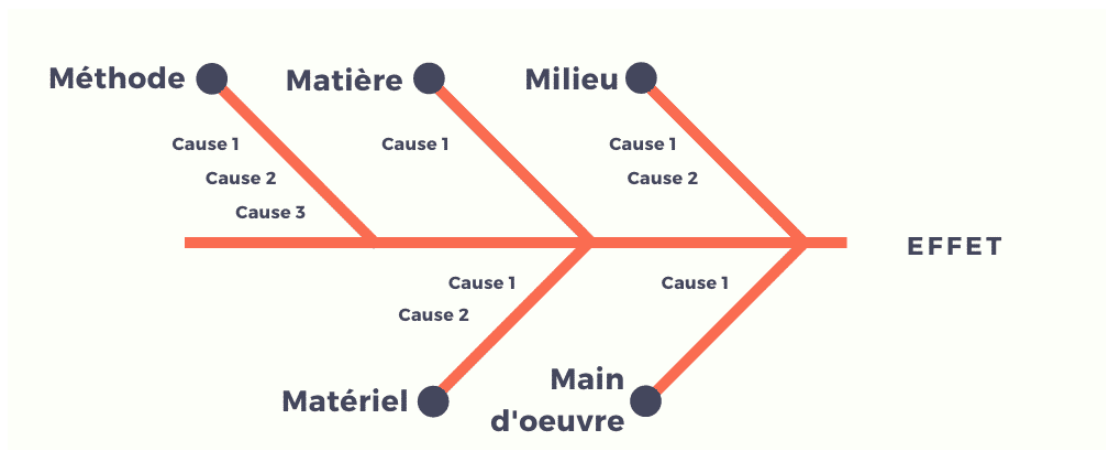


Figure I.2.5 : diagramme ishikawa GMAO

Le fonctionnement de la méthode Ishikawa est simple : il suffit de lister l'ensemble des potentielles causes imputables à la problématique et de les classer selon différentes catégories. Sur une machine donnée, on pourrait par exemple créer les catégories électrique, mécanique, hydraulique, automatisme et retrouver sous chacune d'entre elles tout un ensemble de problèmes que l'on peut rencontrer sur la machine en question.

Cet outil assez visuel est particulièrement utilisé dans la gestion des risques, propre à la gestion de projets, puisqu'il permet d'anticiper tout un éventail de difficultés qui pourraient avoir des retombées assez catastrophiques sur l'activité de l'entreprise.

#### *I.2.5.4. Outil méthode maintenance 4 : le QQQQCCP*

Le QQQQCCP est une méthode de questionnement par rapport à un problème précis, qui a le mérite d'être simple et rapide à utiliser. L'objectif est de prendre une problématique industrielle et de répondre à l'ensemble des questions suivantes : Qui? Quoi? Où? Quand? Comment? Combien? Pourquoi?

Grâce à cette méthode, il est possible de rassembler tout un ensemble d'informations qui permet sûrement de mieux isoler la problématique et de dégager ainsi des priorités, les classer selon leur importance et agir rapidement en trouvant les solutions et propositions adéquates.

#### *I.2.5.5. Outil méthode maintenance 5 : le kaizen*

Le Kaizen est une méthode japonaise qui consiste à améliorer l'efficacité et la qualité de production d'une usine à travers de petites améliorations continues.

Pour que cette méthode puisse fonctionner, chaque employé doit s'impliquer dans ce processus d'amélioration continue et tous doivent rassembler leurs efforts pour parvenir à l'objectif fixé.

Pour mettre en place cette méthode, il est nécessaire d'organiser des sessions de sensibilisation pour pousser les employés à s'impliquer et à se sentir concernés et aussi de former les managers et techniciens à cette méthode pour qu'ils mesurent toute son utilité, de standardiser l'ensemble des processus et de mettre en place des outils comme le PDCA, présenté ci-dessus, ou encore de gestion de la qualité, qui permettent à chacun de s'exprimer librement et de donner son avis.

#### I.2.5.6. Outil méthode maintenance 6 : Pareto ou l'analyse ABC

L'analyse Pareto, autrement appelée méthode des 20-80, permet d'analyser les pannes les plus importantes, aussi bien en termes de fréquence d'intervention que de temps passé. Elle permet d'affirmer que 20 % des causes sont responsables de 80 % des problèmes rencontrés dans une usine, et donc d'analyser toutes les problématiques pour trouver une réponse adaptée. Pour utiliser cette méthode, on doit nous munir de nos historiques de défaillance. La GMAO nouvelle génération nous permet, grâce à son module d'analytique, de ressortir automatiquement toutes nos données afin de les exploiter.

Les prévisions de l'outil d'analytique reposent sur les données collectées auprès de milliers d'utilisateurs travaillant sur les mêmes équipements.

L'analyse ABC, quant à elle, se base sur le même principe que l'analyse Pareto puisqu'elle en découle directement. C'est une méthode de classification très utilisée dans l'analyse des stocks.

#### I.2.5.7. Outil méthode maintenance 7 : l'AMDEC

L'analyse des modes de défaillance, de leurs effets et de leur criticité AMDEC a pour but de nous aider à mener une analyse poussée de nos interventions de maintenance et de votre parc machine et elle nous permet de gérer notre maintenance industrielle.

Pour l'utiliser au mieux, il nous suffit de déterminer le mode de défaillance ainsi que la cause et mesurer les effets sur le système, la fonction touchée ainsi que le dommage induit enfin identifier les critères suivants :

- N : Nombre de pannes
- F : Fréquence
- G : Gravité
- E : Évidence

On calcule la criticité d'après la formule suivante :  $\text{Fréquence} * \text{Gravité} * \text{Évidence} = \text{Criticité}$ .

La forme de l'AMDEC peut être multiple : fonctionnelle, produit, processus, moyen de production et flux. Avoir chaque fois des effets différents, mais qui permettront toujours d'obtenir un document de travail incontournable pour savoir quelles actions entreprendre et quelles interventions réaliser.

On conclut que cette méthode permet d'augmenter la production en limitant les problèmes de défaillance, d'analyser les défauts de production et de constamment chercher à s'améliorer.

#### I.2.5.8. Outil méthode maintenance 8 : l'outil Méride

La méthode d'évaluation des risques industriels et des dysfonctionnements des équipements est particulièrement appréciée dans le cadre de la planification d'opérations de maintenance. Pour l'utiliser au mieux, on doit évaluer les dites défaillances et finalement réaliser une étude générale d'évaluation des risques.

Si on adopte cet outil, nous pourrions déterminer le type de maintenance que nous souhaitons mettre en place (préventive ou prévisionnelle par exemple), mieux gérer nos stocks, décidé des procédures à suivre.

Au final, tous ces outils peuvent grandement faciliter notre quotidien et rendre la maintenance industrielle des équipements de notre entreprise fluide et sans heurt.

### I.3. Rénovation des équipements industriels

Elle désigne l'inspection complète de tous les organes, la reprise dimensionnelle complète ou remplacement des pièces déformées, la vérification des caractéristiques et éventuellement la réparation des pièces et sous-ensembles défaillants et la conservation des bonnes pièces.

La rénovation apparaît donc comme l'une des suites possibles d'une révision générale au sens strict.

#### I.3.1. Reconstruction

C'est la remise en l'état défini par le cahier de charges initial, qui impose le remplacement de pièces vitales par des pièces d'origine ou des pièces neuves équivalentes.

La reconstruction peut être assortie d'une modernisation ou de modifications qui peuvent concerner, en plus de la maintenance et de la durabilité, la capacité de production, l'efficacité et la sécurité.

##### *Remarque*

Actuellement, entre la rénovation et la reconstruction, se développe une forme intermédiaire : « la cannibalisation ». Elle consiste à récupérer, sur du matériel rebuté, des éléments en bon état, de durée de vie connue si possible, et à les utiliser en rechanges ou en éléments de rénovation.

#### I.3.2. Modernisation

C'est le remplacement d'équipements, accessoires et appareils ou éventuellement de logiciels apportant, grâce à des perfectionnements techniques n'existant pas sur le bien d'origine, une amélioration de l'aptitude à l'emploi du bien et cette opération peut aussi bien être exécutée dans le cas d'une rénovation.

#### I.3.3. Travaux neufs

L'adjonction à la fonction maintenance de la responsabilité des travaux neufs est très répandue, en particulier dans les entreprises de taille moyenne. Elle part du principe que, lors de tout investissement additionnel de remplacement ou d'extension, il est logique de consulter les spécialistes de la maintenance qui, d'une part, connaissent bien le matériel anciennement en place, et d'autre part auront à maintenir en état de marche le matériel nouveau. A partir de là, on prend souvent la décision de leur confier l'ensemble des responsabilités de mise en place des nouvelles installations. On crée alors un service appelé « maintenance-travaux neufs ». L'étendue des responsabilités en matière de travaux neufs est très variable d'une entreprise à l'autre. Il peut s'agir sur la mise en place d'une machine achetée à l'extérieur ou même de la réalisation intégrale de la machine elle-même. Dans certains cas les « travaux

neufs » auront recours à la fabrication de l'entreprise qui réalisera les commandes passées par eux-mêmes. Notons que même si la fonction maintenance ne se voit pas adjoindre la fonction « travaux neufs », le service s'occupera des installations succinctes du type modifications.

#### I.3.4. Sécurité

La sécurité est l'ensemble des méthodes ayant pour objet, sinon d'éviter, du moins de minimiser les conséquences des défaillances ou des incidents dont un dispositif ou une installation peuvent être l'objet, conséquences qui ont un effet destructif sur le personnel, le matériel ou l'environnement de l'un et de l'autre.

Sachant qu'un incident mécanique, une panne, peuvent provoquer un accident, sachant aussi que la maintenance doit maintenir en état le matériel de protection ou même que certaines opérations de maintenance sont elles-mêmes dangereuses, il apparût que la relation entre la maintenance et la sécurité est particulièrement étroite.

Dans une entreprise moyenne où la sécurité n'a pas de service propre, on trouve normal de faire appel au service maintenance pour les interventions concernant la sécurité. Celles-ci sont de deux ordres :

- D'une part celles que l'on peut classer dans la sécurité : c'est la tenue des registres concernant les chaudières, les visites d'appareils à pression, le contrôle des installations électriques, la tenue des dossiers des rapports de visite de l'inspecteur du travail et du contrôleur de la sécurité sociale.
- D'autre part celles qui tout en s'inspirant des premières, les appliquent dans un contexte précis.

## I.4. Conclusion

Même si les activités connexes sortent du cadre direct de la maintenance, elles s'intègrent bien dans le champ de compétence des techniciens et des professionnels de maintenance. En période de crise économique, certains industriels peuvent se montrer prudents à l'égard des investissements et trouvent des possibilités d'amélioration par l'intermédiaire de ces formes de maintenance.

En résumé nous pouvons présenter les opérations de maintenance suivant le tableau synoptique suivant :

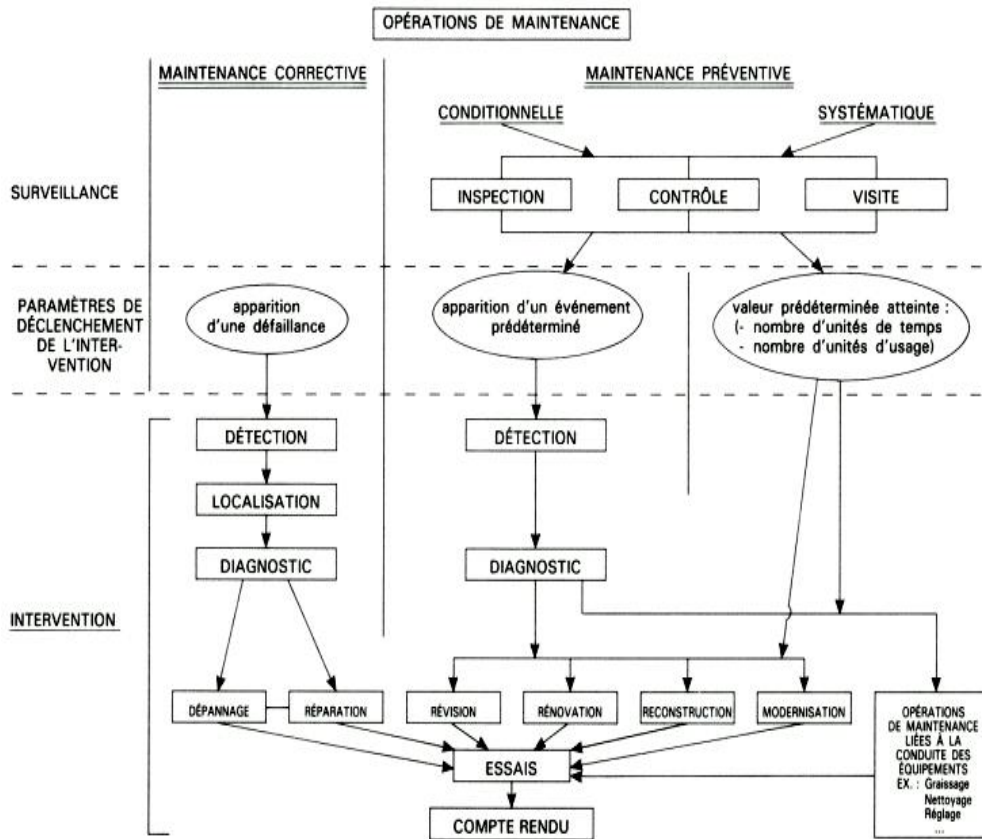


Figure I.4 : les opérations de maintenance [5]

## Chapitre II

### Description du four à rénover

# Chapitre II

## Description du four à rénover

### II.1. Introduction

Le choix de concevoir un four électrique de laboratoire repose sur plusieurs raisons :

- Notre laboratoire dispose seulement de ce four pour faire des expériences
- L'électricité est une source d'énergie facile à procurer au sein de notre laboratoire c'est pourquoi nous avons conçu un four électrique.

Dans ce chapitre on va parler de l'état du four avant la rénovation et tout les composants qu'on a trouvé.



Figure II.1 : four de frittage dans l'état initial

## II.2. Parties du four

### II.2.1. Partie basse du four

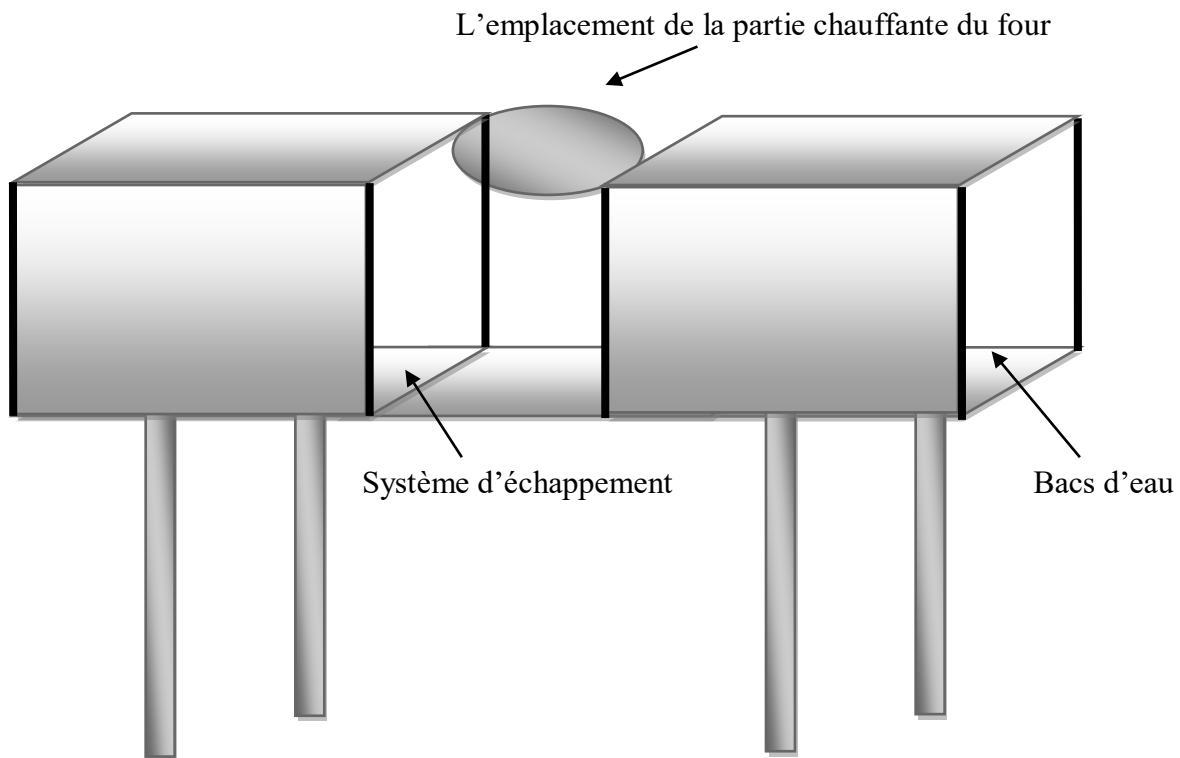


Figure II.2 : carcasse du four

En pratique sur cette carcasse en acier qu'on met tous les composants du four, voir [figure II.2](#).

### II.2.2. Partie haute du four

Ce four a une forme cylindrique de diamètre de 50 cm et une hauteur de 40cm.

Comme c'est un four de laboratoire et il est conçu pour le frittage donc il devra atteindre une température de 1400°C, à l'intérieur on trouve 4 résistances de modèle MOSI2 de forme U qui sont reliées en série, un tube en céramique est mis au centre de ces résistances pour pouvoir mettre l'échantillon à l'intérieur. Pourquoi le tube est en céramique ? Voir [figure II.2.2](#)

Parce-que les céramiques offrent des propriétés thermiques exceptionnelles par rapport aux métaux et plastiques. La dilatation thermique est faible pour l'ensemble des familles de céramiques ils possèdent généralement une excellente résistance mécanique, une forte dureté

et une résistance élevée à l'usure et à la haute température, tout en présentant une densité relativement faible. De plus, ils sont d'excellents isolants électriques et thermiques.

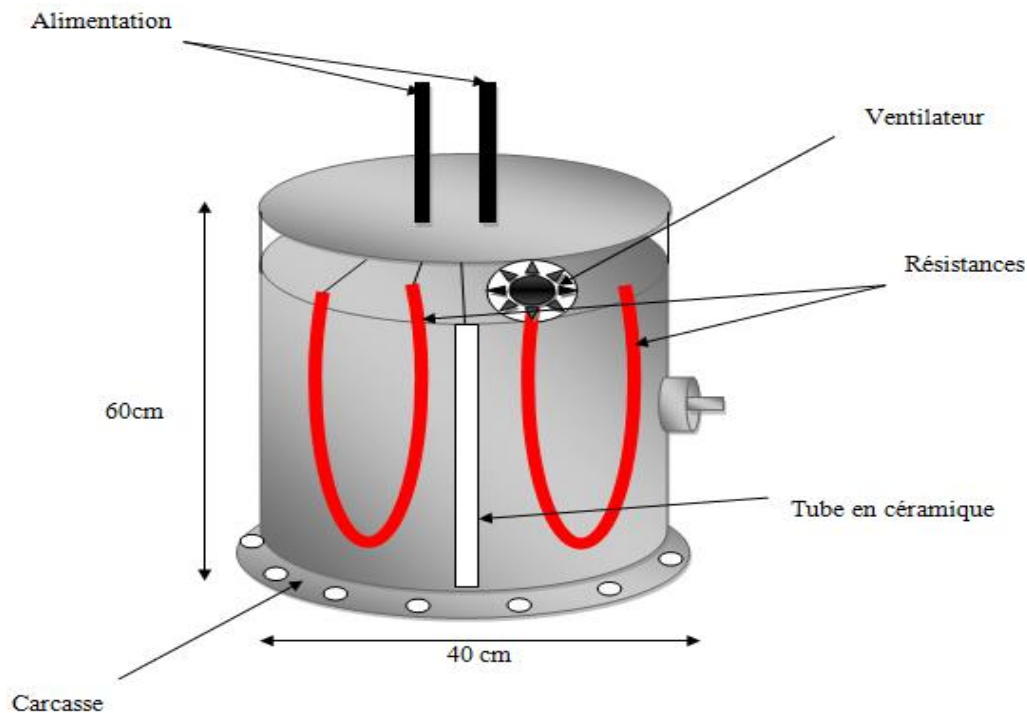


Figure II.2.2: la partie chauffante du four

a. Résistances MOSI2 (di siliciure de molybdène) [6] [7]

Le di siliciure de molybdène, est un composant chimique de formule  $\text{MoSi}_2$ . Il s'agit d'un composé intermétallique réfractaire utilisé en premier lieu dans les éléments chauffants.

Il présente une masse volumique modérée, un point de fusion élevé et une bonne conductivité électrique. Il est protégé à haute température par une couche de passivation en dioxyde de silicium  $\text{SiO}_2$  qui empêche l'oxydation en profondeur du matériau. Ses surfaces ont un aspect gris métallique. Il présente deux structure cristallines : une forme dite  $\alpha$ , tétragonale et stable, et une forme  $\beta$  hexagonale instable. Il est insoluble dans la plupart des acides mais est soluble dans l'acide nitrique ainsi que dans l'acide fluorhydrique.

Le di siliciure de molybdène présente une excellente résistance à l'oxydation ainsi qu'un module d'Young élevé au-dessus d'environ  $1\ 000\ ^\circ\text{C}$  mais devient fragile en dessous de cette limite. Il perd de surcroît sa résistance au fluage au-dessus d'environ  $1\ 200\ ^\circ\text{C}$ , ce qui limite son utilisation comme matériau structurel ; cet inconvénient peut toutefois être compensé par l'utilisation conjointe d'un autre matériau aux propriétés mécaniques adaptées ou bien par l'utilisation d'un matériau composite contenant du di siliciure de molybdène.

Le di siliciure de molybdène et les matériaux à base de ce composé sont généralement obtenus par frittage. La projection thermique peut permettre de produire leurs formes composites et monolithiques denses ; les matériaux produits de cette façon sont susceptibles de contenir une fraction de forme cristalline  $\beta$  en raison du refroidissement rapidement accompagnant leur formation.

Les éléments chauffants en di siliciure de molybdène peuvent être utilisés jusqu'à des températures de 1 800 °C dans des fours électriques.

Bien qu'ils soient fragiles, ces éléments peuvent être utilisés intensivement sans vieillir, et leur résistivité n'augmente pas avec leur utilisation. Leur température de fonctionnement maximum doit cependant être réduite dans les atmosphères peu oxygénées en raison de la fragilité de la couche de passivation dans ce type d'environnements.

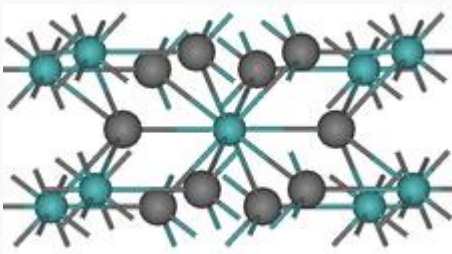
Di siliciure de molybdène	
	
Structure cristalline du di siliciure de molybdène	
Identification	
No CAS	12136-78-6
No ECHA	100.032.016
No CE	235-231-8
PubChem	6336985
Apparence	solide inodore
Propriétés chimiques	
Formule	MoSi <sub>2</sub>
Masse molaire <sup>2</sup>	152,13 ± 0,02 g/mol Mo 63,08 %, Si 36,92 %
Propriétés physiques	
T° fusion	1 870 à 2 030 °C
Masse volumique	6,31 g·cm à 25 °C

Figure II.2.2.a : caractéristique Di siliciure de molybdène

b. Laine d'alumine

Pour éviter la forte perte de chaleur alors que les résistances sont reliées on a de la laine d'alumine pour minimiser la conductivité thermique. Voir figure II.1.1.2



Figure II.2.2.b : l'aine d'alumine

L'échantillon doit être placé au centre des 4 résistances pour effectuer de bonnes expériences du frittage. En bas du cylindre on a l'entrée du tube en céramique. Voir figure II.1.1.3

c. Mécanisme à plusieurs ouvertures

Un mécanisme est mis en place qui joue principalement le rôle d'un bouchon qui est en aluminium. Il permet de garder la température voulue à l'intérieur du four, mais aussi il y a des joints qui sont mis en place pour ne pas avoir de fuite de gaz et aussi pour faire le vide, en principe pour manipuler la pression du four.

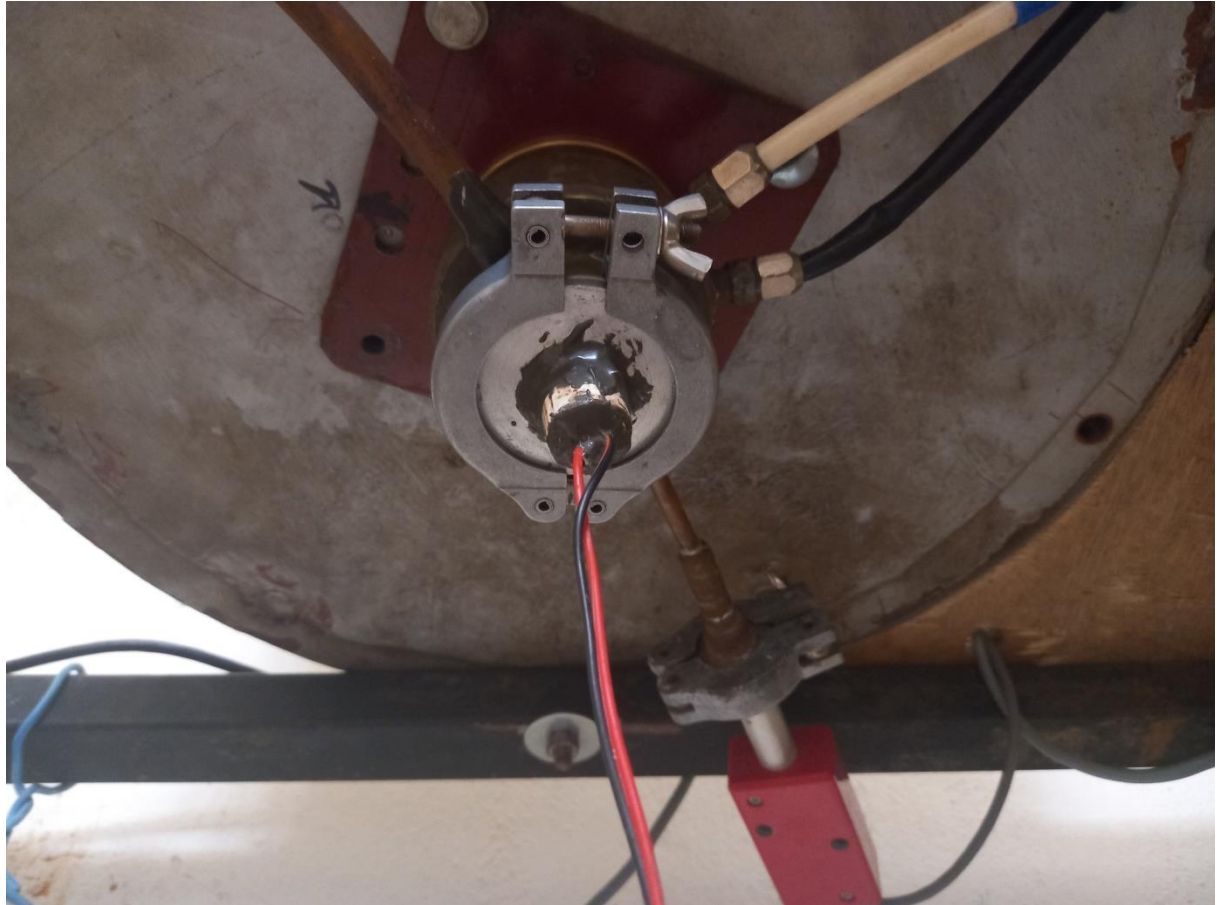


Figure II.2.2.c : bride tube.....

Ce mécanisme a plusieurs ouvertures :

- 1<sup>ère</sup> ouverture est reliée au gaz
- 2<sup>ème</sup> ouverture est reliée à un système de refroidissement (2 ouvertures) voir figure II.2.2.c.
- 3<sup>ème</sup> ouverture est reliée à la pompe à vide.

### II.2.3. Systèmes reliés au mécanisme

Le four n'a pas de dispositif à gaz qui nous permet une meilleure manipulation des systèmes (gaz, pompe à vide, système de refroidissement et d'échappement), c'est juste des tuyaux désordonnés qui sont reliés directement vers le mécanisme. Voir figure II.2.2.c

#### II.2.3.1. Système d'échappement

Il se forme de trois fioles, la première est vide celle qui est reliée directement vers le four et les deux autres fioles sont remplies à moitié d'huile. Cette méthode sert à nous indiquer la pression dans le four: si la pression diminue à l'intérieur on remarque que l'huile monte dans les tuyaux (absorbée par le four) et si la pression augmente on remarque des bulles dans l'huile.

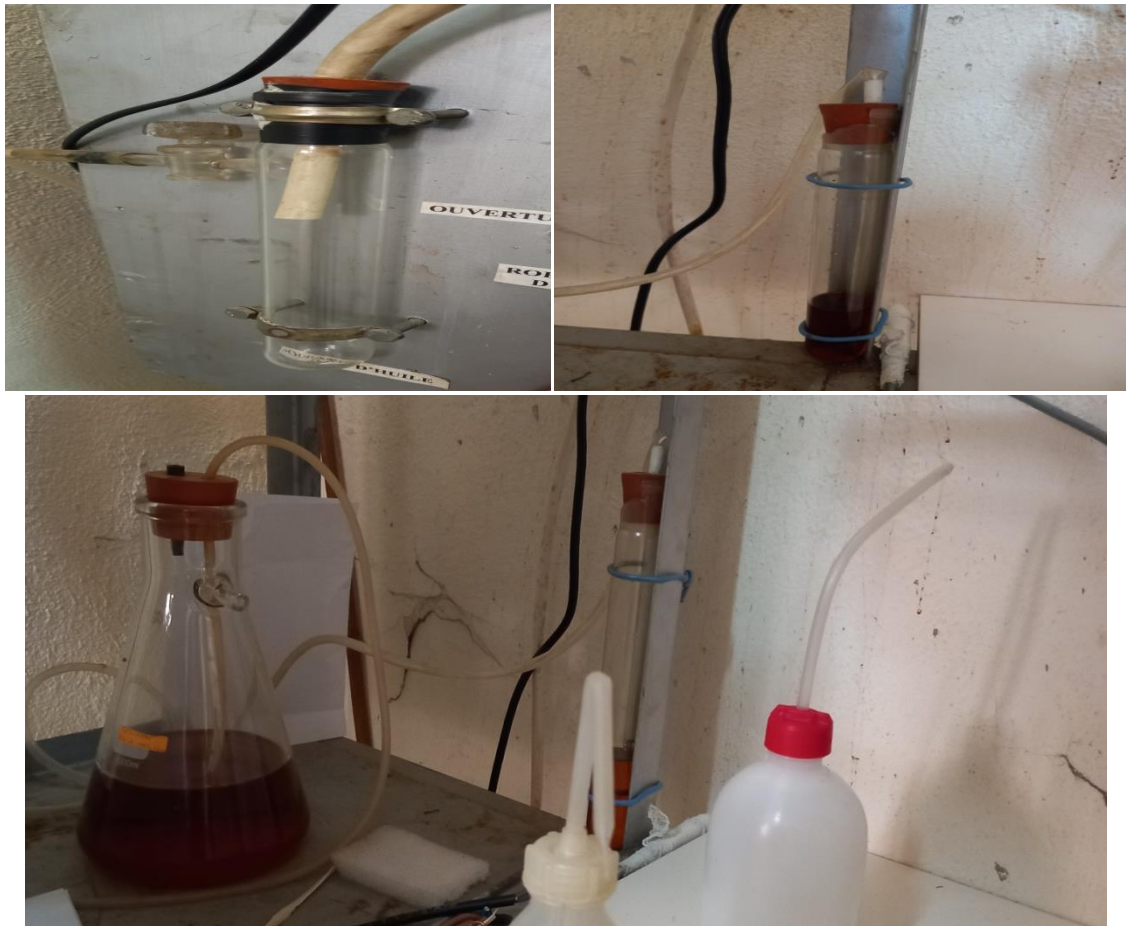


Figure II.2.3.1 : système d'échappement

### II.2.3.2. système de refroidissement

Ce système de refroidissement sert à protéger les joints qui sont au niveau du mécanisme qu'on a cité. Voir [figure II.2.2.c](#) dont on a deux ouvertures une entrée et une sortie qui permettent la circulation d'eau depuis le bassin, à l'aide d'une pompe à eau.

#### *Pompe à eau*

Une pompe à eau est une pompe qui permet la mise en mouvement de l'eau. Son principe de base est de faire circuler un fluide pour permettre son refoulement il s'agit de pomper un volume constant de liquide pour l'évacuer ou le distribuer. Les principales caractéristiques d'une pompe sont d'aspirer tous les types de fluides et d'afficher de bons rendements même à faible débit. Voir [figure II.2.3.2](#)

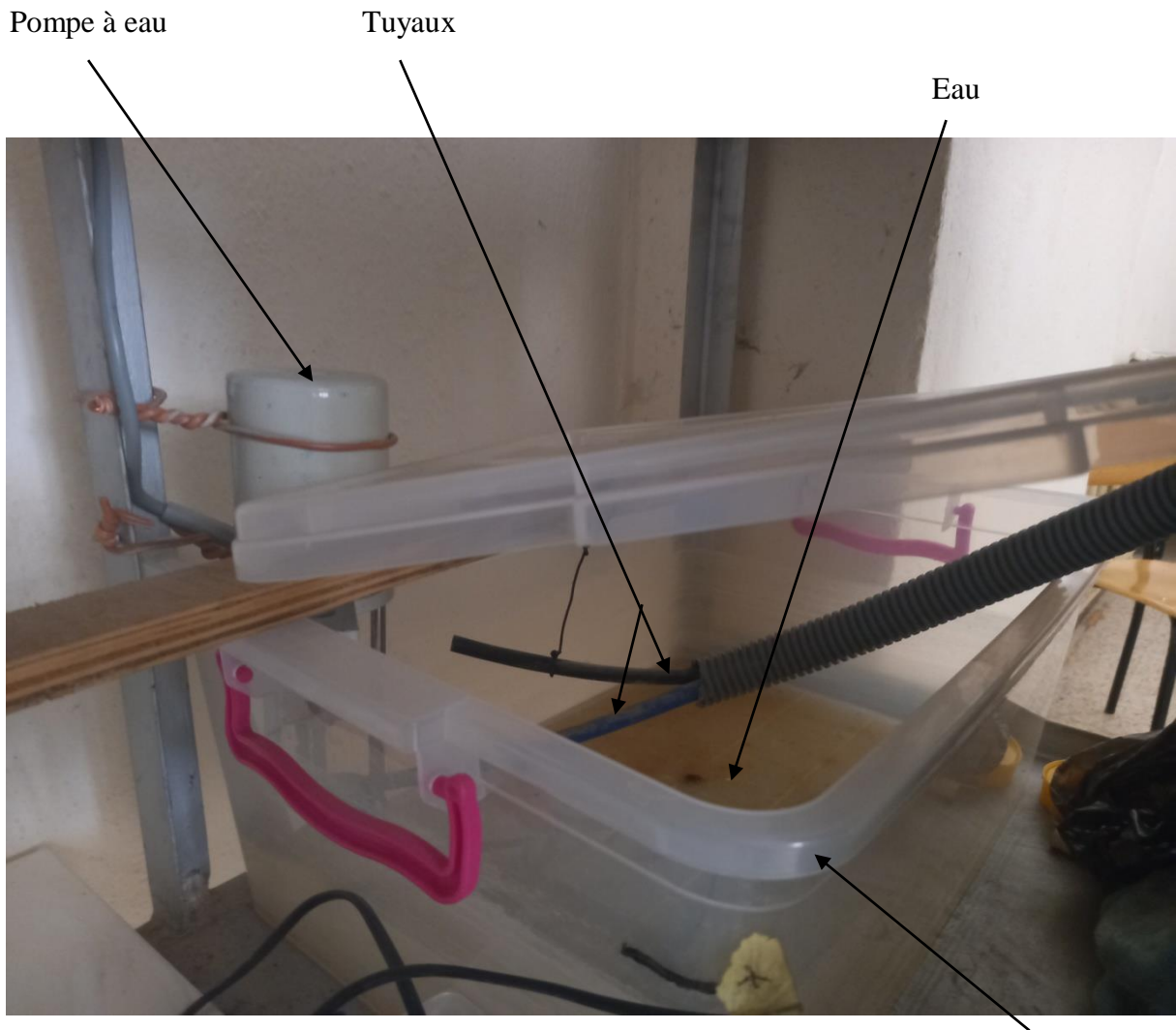


Figure II.2.3.2 : système de refroidissement      bacs en plastique

*Remarque*

Dans ce cas l'inconvénient c'est que il faut toujours changer d'eau parce que au moment de l'expérience ce dernier se réchauffe.

### II.2.3.3. Système des gaz

L'utilité des gaz dans notre cas c'est pour éviter l'oxydation lors du frittage

*a. Bouteilles de gaz [11]*

On appelle généralement bouteille de gaz ou bonbonne de gaz ou bouteille sous pression, un récipient ou réservoir sous pression, métallique ou pour l'alléger, en matériau composite, de forme cylindrique, plus ou moins allongé, conçu pour contenir un gaz à une pression nettement différente de la pression ambiante. Voir [figure II.2.3.3](#)



Figure II.2.3.3 : bouteille de gaz

Ces bouteilles sont utilisées pour le transport de gaz et sont soumises à la norme européenne EN 1089-3 qui fixe depuis 2006 la signalisation des bouteilles en fonction de leur contenu. Une couleur spécifique est attribuée pour chaque gaz, couleur visible sur l'ogive des bouteilles, c'est-à-dire la partie supérieure de la bouteille de gaz. Les mélanges de gaz sont désignés par une couleur indiquant leur niveau de danger et non leur contenu.

Les gaz respirables possèdent une signalisation particulière : une bande de couleur horizontale faisant le tour de la bouteille de gaz et elles sont définies à partir du nuancier RAL.

Les bouteilles ont des contenances bien définies, elles sont exprimées en litres ou en [m<sup>3</sup>](#).

Tableau II.2.3.3 : indique la correspondance entre contenance de la bouteille en litres d'eau, volume de la bouteille en m<sup>3</sup> et sa référence pour les gaz classiques.

Référence	Capacité en eau (L)	Volume de gaz pour <u>dioxygène, di-azote, argon, etc.</u> (m <sup>3</sup> )	Diamètre de la bouteille (mm)
S02	2,5	0,5	118
S05	5	1	140
S11	11	2,3	180
M20	20	4	210
M50	50	10	240

Tableau II.2.3.3

*b. Gaz utilisé [12]*

L'argon est l'élément chimique de numéro atomique 18 et de symbole Ar. Il appartient au groupe 18 du tableau périodique et fait partie de la famille des gaz nobles, également appelés « gaz rares », qui regroupe également l'hélium, le néon, le krypton, le xénon et le radon. L'argon est le troisième constituant le plus abondant de l'atmosphère terrestre, avec une fraction massique de 1,288 %, correspondant à une fraction volumique de 0,934 % (soit 9 340 ppm), et est le gaz noble le plus abondant de l'écorce terrestre, dont il représente 1,5 ppm. L'argon de l'atmosphère terrestre est presque entièrement constitué d'argon 40, nucléide radiogénique provenant de la désintégration du potassium 40, tandis que l'argon observé dans l'univers est essentiellement constitué d'argon 36, produit par nucléosynthèse stellaire dans les supernovae.

Le nom argon provient du grec, signifiant « paresseux », signifiant « sans travail », en référence au fait que cet élément est chimiquement inerte. Sa configuration électronique présente une couche de valence saturée à l'origine de sa stabilité et de la quasi impossibilité d'établir des liaisons covalentes. La température de son point triple, 83,805 8 K, est l'un des points de référence de l'Échelle internationale de température de 1990 (ITS-90).

L'argon est produit industriellement par distillation fractionnée d'air liquéfié. Il est utilisé essentiellement comme atmosphère inerte pour le soudage et divers procédés

industriels à haute température faisant intervenir des substances réactives. On utilise ainsi une atmosphère d'argon dans les fours à arc électrique au graphite pour éviter la combustion de ce dernier. On emploie également l'argon dans l'éclairage par lampes à incandescence, tubes fluorescents et tubes à gaz. Il permet de réaliser des lasers à gaz bleu-vert.

## II.3. Partie électrique

Enfin on passe à la partie électrique celle qui commande le four, elle est alimentée par une tension 220V, c'est dans cette partie qu'on a trouvé la défaillance donc on a trouvé certains câbles brûlés.

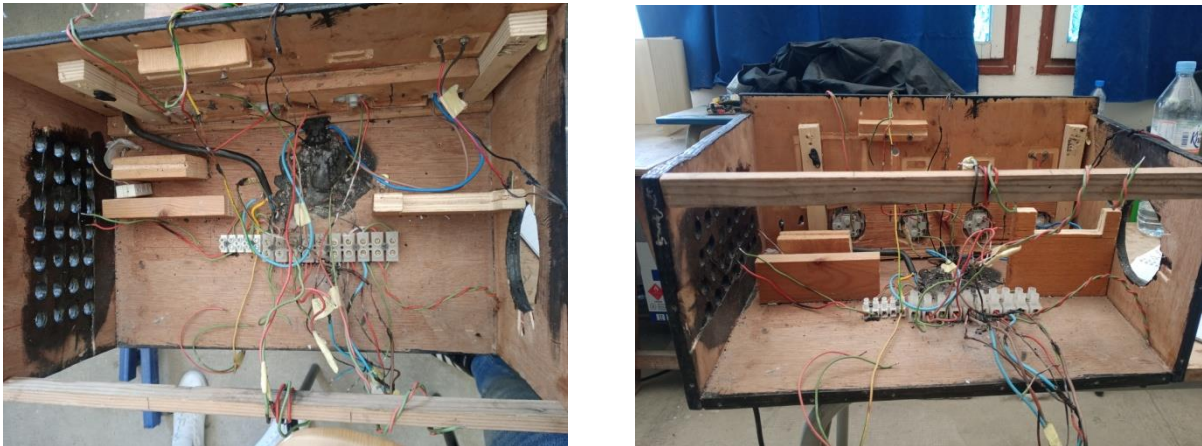


Figure II.3 : Boîtier électrique

### II.3.1. boîtier électrique

Il mesure par une largeur de 50cm sur une longueur de 30cm, et d'une hauteur de 30cm. voir figure II.3.1.a

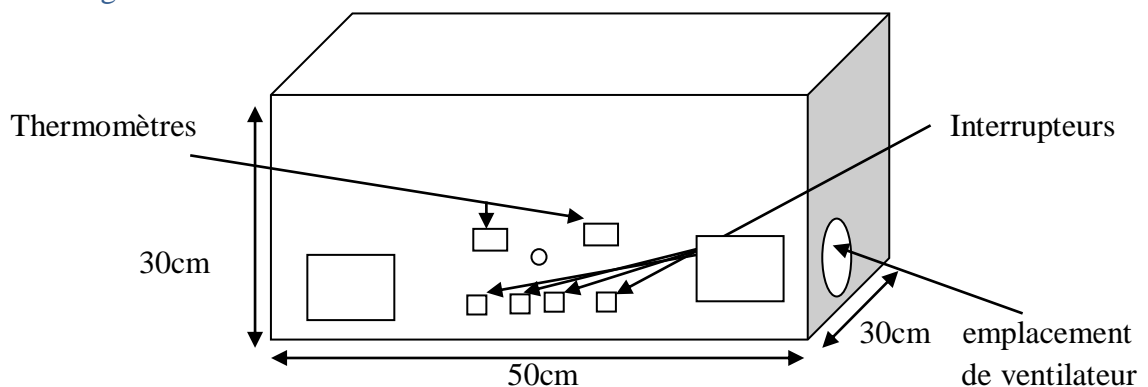


Figure II.3.1.a : Boîtier électrique

a) *Partie de face* : Cette partie est fabriquer par du plexiglas qui permet la visualisation a l'intérieur du boîtier et intervenir en cas de court-circuit. Voir figure II.3.1.a

Sur cette partie on a l'emplacement de la jauge de vide, 4 interrupteurs, deux thermomètres et un voyant rouge qui se situent au milieu, le régulateur est à droite parce qu'il doit être près du ventilateur. Mais ils n'ont pas respecté les normes de symétrie par rapport aux emplacements des dispositifs : 4 interrupteurs non centrés, le régulateur et la jauge de vide ne sont pas alignés.

*(Pour les autres parties elles ont été fabriquées par du bois).*

b) *Partie gauche* : on a des petits trous de diamètre de 5cm pour faciliter l'aération du boîtier. Voir [Figure II.3.1.b](#)



Figure II.3.1.b : Partie gauche

c) *Partie droite* : on a un trou de 15cm de diamètre là où on a un ventilateur qui rafraîchit le régulateur. Voir [Figure II.3.1.c](#)



Figure II.3.1.c : vue de droite

### Remarque

Même avec ce système le boîtier n'a pas pu résister pour des raisons qu'on va expliquer.

- d) *Partie de derrière* : on a 4 prises alimentées par les interrupteurs, c'est là où on peut brancher tous les composants cités tels que la pompe à eau, pompe à vide, jauge de vide, transformateur. voir [Figure II.3.1.d](#)



Figure II.3.1.d vue de derrière

## II.3.2. Thermocouples [16]

Le thermocouple est relié au mécanisme. Voir [figure II.3.1.d](#)

### a. Définition

Les thermocouples font partie des capteurs de température les plus courants dans l'industrie. En effet, ils permettent notamment de mesurer des températures très élevées, beaucoup plus élevées que ce que peut mesurer une sonde résistive par exemple. Le thermocouple est aussi un capteur très robuste et casse peu facilement. Bien qu'ils ne soient pas aussi précis que les sondes résistives, ils le sont suffisamment pour un grand nombre d'applications. De plus, sont plutôt bon marché et leur circuit de mesure ne nécessite pas de courant d'excitation, au contraire des sondes résistives. De ce point de vue, ils sont donc plus faciles à réaliser. Il existe plusieurs types de thermocouples, chacun optimisé pour différentes applications.

### b. Fonctionnement d'un thermocouple

Un thermocouple est constitué de 2 fils de matériaux conducteurs différents connectés ensemble à une de leurs extrémités appelée soudure chaude. C'est cette partie avec laquelle la température sera mesurée. Voir [figure II.3.2](#)

Thomas Johann Seebeck qui a découvert en 1821 que le changement de température du point de contact entre les fils génère un courant thermoélectrique, causant l'apparition d'une

tension faible entre les deux extrémités non connectées. La tension ainsi obtenue dépend d'une part de la température et d'autre part du type de matériau conducteur constituant les fils. Ce phénomène s'appelle l'effet Seebeck.

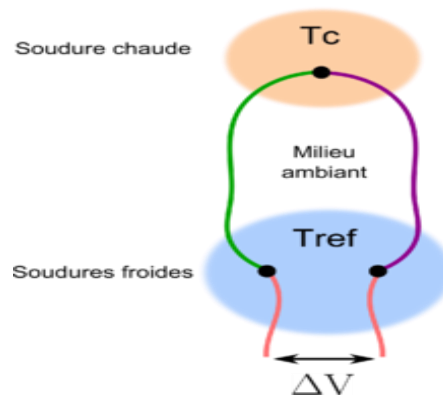


Figure II.3.2 : thermocouple

### c. Les types de thermocouples

Il existe un grand nombre de types de thermocouples fabriqués dans différents matériaux et alliages. Des matériaux différents vont entraîner une sensibilité différente et donc une tension générée différente à température égale. Cela influencera leurs caractéristiques comme la température maximale d'utilisation

*Par exemple* : certains types de thermocouples ont été standardisés et ont des noms précis en fonction des matériaux qui les constituent. Les noms sont pour la plupart très courts, souvent réduits à une seule lettre comme les types K, R, S, J, N. Comme dans notre cas on a un thermocouple de type K : (fil positif : chromel/ fil négatif : alumel)

### II.3.3. Prises

On a 4 prises qui nous permettent d'alimenté les composants du four telle que :

- La pompe à vide
- Le transformateur
- La pompe a eau
- Jauge de vide

### II.4.2. poste à souder (transformateur) [W5]

Un poste à souder est un simple transformateur électrique modifiant un courant d'entrée pour obtenir un courant électrique adapté. En fait un transformateur électrique, alimenté par le courant secteur, équipé d'une électrode constituée généralement d'un fil métallique, qui permet de produire un courant à haute intensité. Il est généralement alimenté en énergie électrique par du courant provenant du secteur.

Le courant secteur alimentant un poste à souder est soit du courant électrique monophasé en 220 V, soit du courant électrique en triphasé 380 V.

Un poste à souder monophasé délivre une intensité de soudage généralement inférieure à 200A alors que les postes à soudeur triphasés délivrent généralement au-delà de 200A (400 à 600A). Cependant un poste à soudeur monophasé est capable de moins de puissance pour travailler en continu alors que le triphasé pourra travailler plus longtemps, car la puissance est supérieure.



Figure II.4.2 : poste à souder (transformateur)

## II.5 Conclusion

Après avoir analysé toutes les parties ; on a constaté que le problème générale dans le four ce trouve au niveau du boîtier électrique. Dont on a trouvé certains câbles et dominos totalement brûlés. Un court circuit s'est produit à l'intérieur a cause de la surchauffe des fils électriques, dont les sections ne sont pas adaptées et de la mauvaise qualité de connexion entre les fils par utilisation de dominos.

# Chapitre III

## Rénovation du four de frittage

# Chapitre III

## Rénovation du four de frittage

### III.1.Introduction

Le frittage est un procédé de fabrication de pièces consistant à chauffer une poudre sans la mener jusqu'à la fusion. Sous l'effet de la chaleur, les grains se soudent entre eux, ce qui forme la cohésion de la pièce. Le cas le plus connu est celui de la cuisson des poteries.

Au XXI<sup>e</sup> siècle, le frittage est utilisé pour obtenir la consolidation de matériaux céramiques :

- Il permet de maîtriser la densité de la matière, comme on part d'une poudre et que celle-ci ne fond pas, on peut maîtriser la taille des grains de poudre (granulométrie) et la densité du matériau, selon le degré de compactage initial des poudres.
- Il permet d'obtenir des matériaux durs mais fragiles, à porosité contrôlée inertes chimiquement et thermiquement.
- Il permet de maîtriser les dimensions des pièces produites : Comme il n'y a pas de changement d'état, les variations de volume et de dimensions sont peu importantes par rapport à la fusion.

**Le but de frittage** est d'obtenir à partir des poudres un solide plus ou moins dense sans passer par l'état liquide, ou en maintenant à l'état solide au moins un des constituants du système. Dans le cas d'un frittage en phase solide, l'écart entre la température de traitement et la température de fusion est le plus souvent supérieur à 0,25 fois cette dernière.

Le phénomène du frittage est influencé par de nombreux facteurs : caractéristiques propres des poudres (morphologie, dimensions, pureté), conditions du traitement thermique (température, durée, pression) et atmosphère de traitement (vide, atmosphères protectrices diverses). [17]

Le four de frittage que nous proposons de rénover est conçu au laboratoire de sciences des matériaux par l'équipe du professeur AZEM, actuellement à la retraite. La première version du four, réalisée en 2011, comprenait l'ossature générale avec des connexions électriques réalisées pour essais. En effet, conçu sur la base de pièces disponible (aucun choix concernas les composants à utiliser) et vu que les seuls résistances à utiliser sont en MoSi<sub>2</sub> de forme précise et donnée, le choix des autres composants et accessoires s'est révélé très réduit.

De plus, vu l'impossibilité de réaliser un circuit électrique adapté (indisponibilité de pièces adéquates), les concepteurs ont réalisé le four en réalisant le circuit électrique à partir de fils d'occasion et en utilisant des dominos. Le circuit de gaz (tuyauterie et robinetterie utilisées) est également constitué de pièces de récupération en mauvais état. Leur connexion était également provisoire vu que le four est déposé dans un endroit où un tel système n'était pas prévu.

## III.2. Plan du travail

Pour la réalisation de ce four on a opté à suivre les étapes suivantes :

- La réalisation du dispositif à gaz et travailler sur les systèmes qui se connectent à ce dispositif
- Faire un schéma de câblage et réalisation du boîtier électrique.
- Montage.
- Mise en marche du four.

### III.2.1. Réalisation du dispositif à gaz

Comme le four est conçu pour le frittage ; alors nous avons prévu de corriger le système de gestion des gaz en utilisant un dispositif multi-entrées avec des robinets adaptés (suffisamment robuste) pour contrôler la pression, le vide et l'injection de gaz à l'intérieur du four.

En effet, pour faire un traitement de frittage sous vide, il faut pouvoir connecter le four à une pompe à vide avec une possibilité d'isoler la pompe et remettre l'air. D'où une connexion avec robinet. Pour faire le traitement sous argon (ou azote ou mélange de gaz), il faut pouvoir faire le vide et injecter les gaz par la suite. D'où une autre connexion avec robinet.

Pour éviter qu'une surpression du gaz, notamment à haute température (le gaz se dilate avec l'augmentation de la température), il faut prévoir un système d'échappement sans possibilité d'entrée de l'air au cas où le traitement se fera sous vide. Autrement dit, en cas de sous-pression, il faut éviter que l'air ne rentre, par ce dernier canal. D'où la nécessité de prévoir l'échappement sans possibilité de retour (sens unique pour les gaz). Il est évidemment préférable de rendre « visible » l'état de la pression et la nature de l'atmosphère dans le four.

Pour ce dispositif, nous avons conçu et réalisé le système représenté et photographié sur la figure III.2.1.

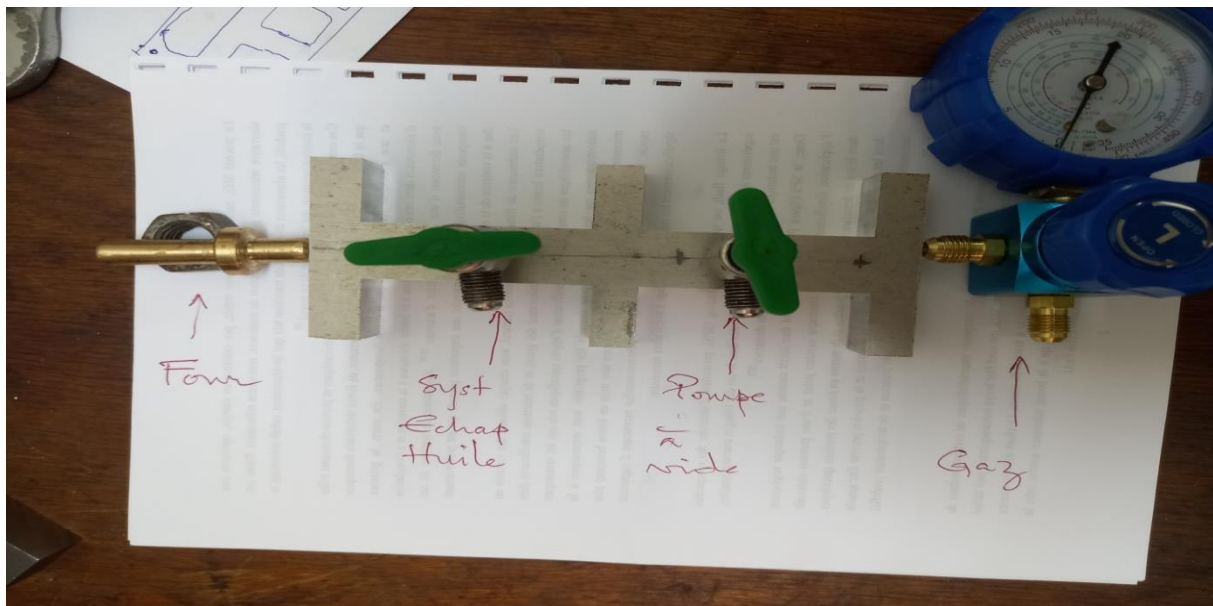
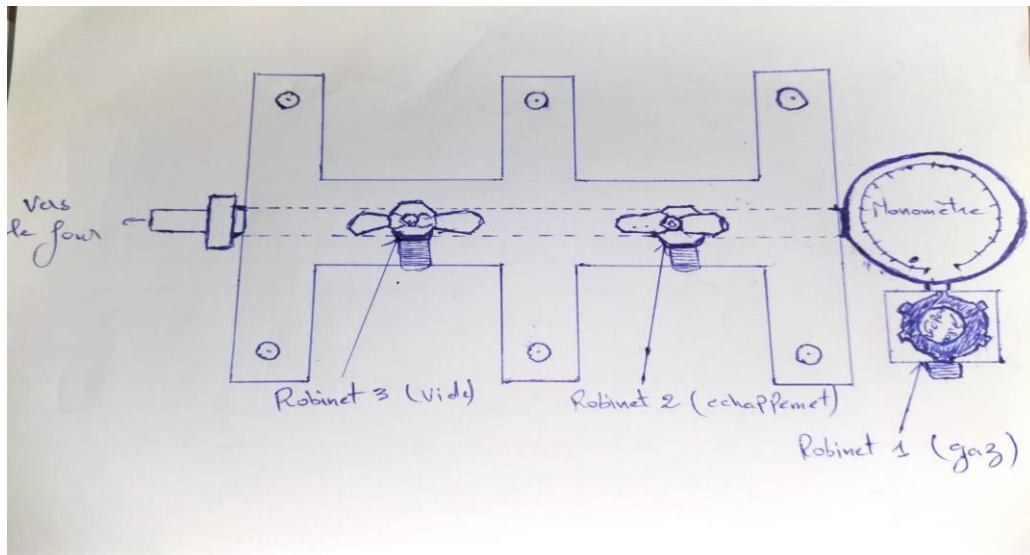


Figure III.2.1 : dispositif a gaz

### III.2.1.1. Etapes suivies pour réaliser le dispositif

- 1<sup>er</sup> étape : L'étude des fonctionnalités du dispositif.
- 2<sup>eme</sup> étape : L'étude sur l'endroit où mettre le dispositif sur le four.
- 3<sup>eme</sup> étape : Prendre les mesures nécessaires pour fabriquer le dispositif.
- 4<sup>eme</sup> étape : Tracer un schéma.
- 5<sup>eme</sup> étape : Réaliser le dispositif.

#### III.2.1.1.1. L'étude des fonctionnalités du dispositif

Ce dispositif joue un rôle d'un circuit de multi entrées (système d'échappement, le vide, le gaz). Chaque entrée à un robinet pour la manipulation.

- a) *entrée du gaz* : le circuit de gaz est relié à un manomètre qui est en suite relié au dispositif pour pouvoir injecter du gaz dans le four qui est contrôlé avec le robinet du manomètre. Voir figure III.2.1 et figure III.2.1.1.a.



Robinet de gaz

Figure III.2.1.1.a : manomètre

- b) *entrée de système d'échappement* : C'est un système d'huile qui permet de contrôler la pression dans four.

Dans ce système on a utilisé deux fioles au lieu de trois. La première est vide (relier vers le dispositif) et la seconde est remplie à moitié d'huile (relier vers la première fiole) : Quand la pression diminue on remarque que l'huile monte dans le tuyau vers la première fiole absorber par four donc il faut injecter plus de gaz. Si la pression dépasse l'énorme on remarque des bulles dans la deuxième fiole.

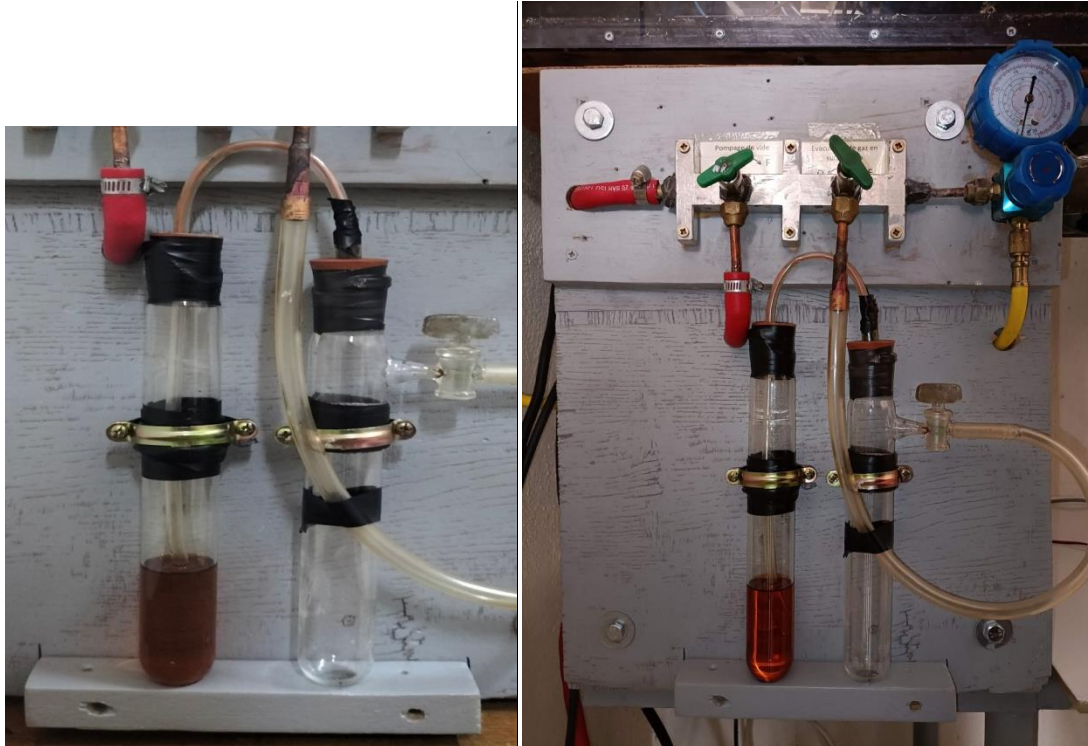


Figure II.2.1.1.b : système d'échappement

- c) *entrée de pompe à vide* : Faire le vide dans le four c'est à l'aide d'une pompe à vide qui est reliée à ce dispositif.

Une pompe à vide est un type de pompe permettant de faire le vide dans le four, c'est-à-dire d'extraire l'air ou tout autre gaz contenu dans une enceinte close. Voir figure III.2.1.1.c.



Figure III.2.1.1.c : pompe à vide

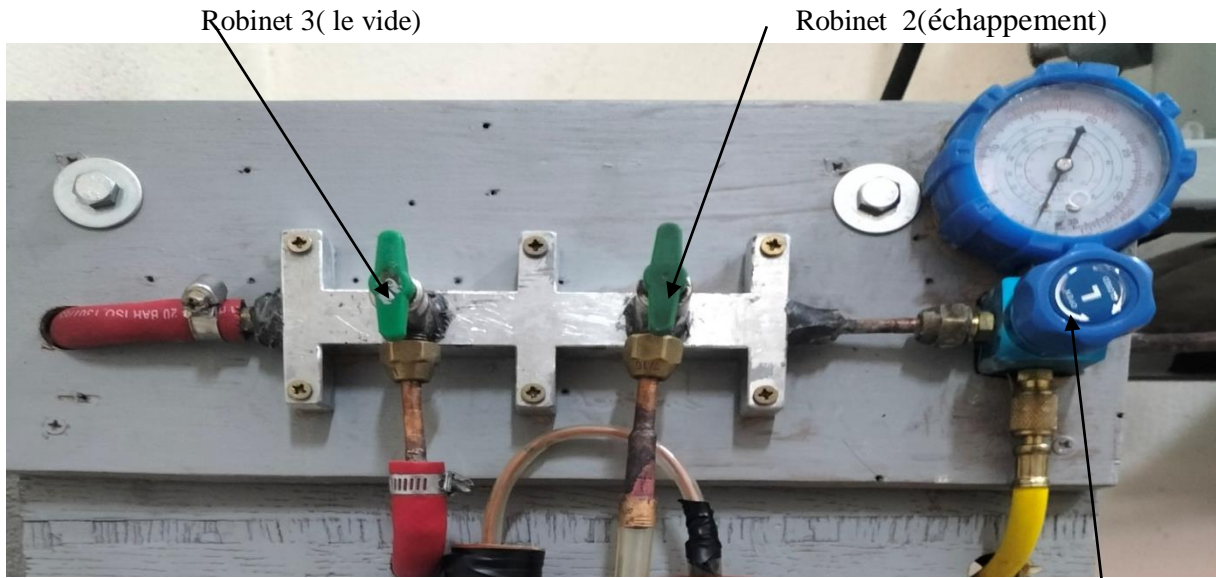


Figure III.2.1.1.d : dispositif a gaz

### III.2.1.1.2. L'étude sur l'endroit où mettre le dispositif sur le four.

Sur la partie de face du four on a un emplacement idéal pour placer le dispositif, sa nous permet de manipuler facilement les robinets.



Figure III.2.1.1.2 : Emplacement du dispositif

### III.2.1.1.3. Prendre les mesures nécessaires pour fabriquer le dispositif

Après avoir su les fonctionnalités de dispositif a gaz, on choisi une longueur de 30 cm pour bien centré les 2 robinets. On a choisi une forme voir figure III.2.1.1.d. Pour qu'on puisse brancher les tuyaux aux robinets parce que si c'est une forme carré il faut les placer au bout de la plaque et c'est impossible de faire le perçage.

### III.2.2. Système électrique et rénovation du boitier électrique

Pour le faire on a suivie les étapes suivantes :

- **1<sup>er</sup> étape** : Tracé un schéma de câblage.
- **2<sup>eme</sup> étape** : Explication du circuit et le système de commande
- **3<sup>eme</sup> étape** : Rénover l'ancien boitier électrique.
- **4<sup>eme</sup> étape** : Montage du circuit.

#### III.2.2.1. schéma de câblage

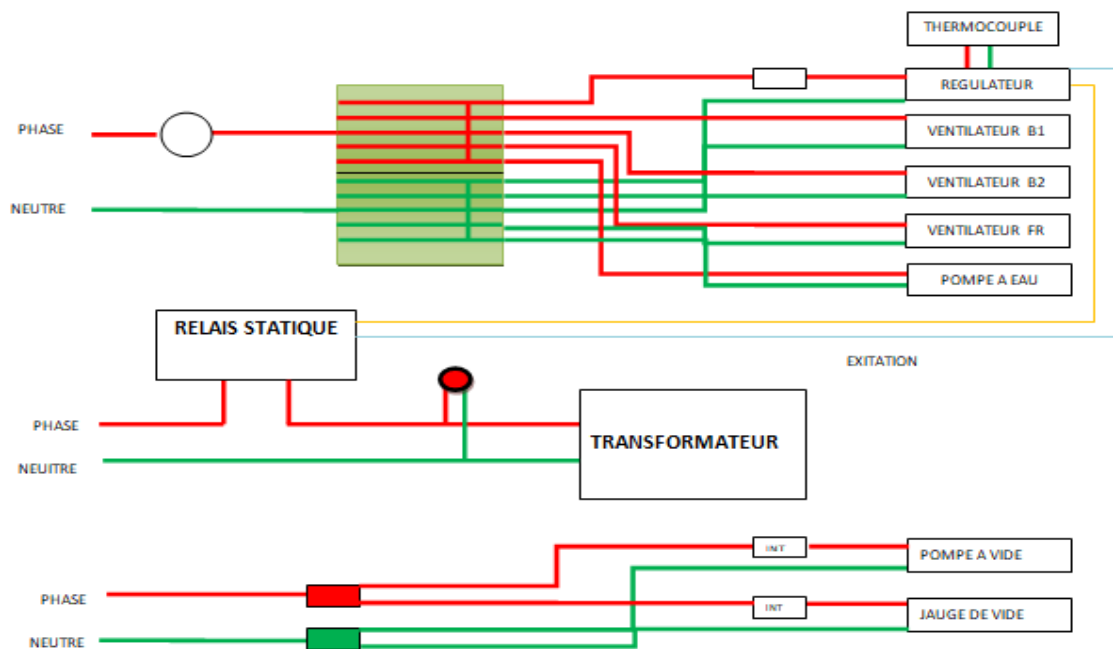


Figure III.2.2.1 : schéma de câblage

#### III.2.2.2. Explication du circuit

Le boitier sera alimenté par une tension de 220v, on a trois entrées pour éviter la surcharge sur le boitier.

##### III.2.2.2.1. Les différents entrées pour alimenter le boitier

- **1<sup>ère</sup> entrée** : pour alimenter le système de refroidissement (deux ventilateurs du boitier, ventilateur du four et la pompe a eau), le régulateur. Juste à l'entrée on a mis un interrupteur a clé par mesure de sécurité pour éviter les mauvaises manipulations, ensuite on a utilisé une carte électronique pour relier tous les composants cités (voir figure...), on a mis un interrupteur pour le régulateur, les

ventilateurs et la pompe a eau sont direct reliés a la carte électronique pour qu'une fois on ouvre l'interrupteur a clé le système de refroidissement sera en marche automatiquement. Pour le ventilateur du four on a ajouté un transformateur abaisseur et un redresseur pour avoir une tension de 6V.

- **2ème entrée** : pour alimenter la pompe a vide et la jauge de vide. On a ajouté un interrupteur pour chaque composant. (Voir figure...)
- **3ème entrée (circuit de puissance)** : le circuit est composé d'un relais statique, transformateur et voyant rouge. Donc on a utilisé des fils plus épais pour pouvoir supporter la charge. Pour la sortie du boîtier on a utilisé des boulons. (Voir figure ...).

### III.2.2.2.2. Système de commande dans le four

Dans cette partie, nous allons essayer d'expliquer le fonctionnement du système de commande. Le control de température est indispensable pour conduire un four avec précision. Le dispositif de chauffe d'un four électrique se compose de résistances reliées à une alimentation électrique. Le rôle du régulateur est de commander cette alimentation électrique par action sur un relais statique de puissance pour permettre au four de suivre automatiquement une "allure" de chauffe selon un programme établi. Il permettra le passage du courant dans les résistances pour suivre très précisément la courbe de cuisson programmée. Pour cela il doit surveiller la température du four par l'intermédiaire d'un capteur de température. Le système de commande doit comprendre :

- Le four et ses résistances,
- Le contacteur de puissance ou un relais statique,
- L'alimentation de puissance électrique du four (secteur 220V),
- Un régulateur de température,
- Le capteur de température (thermocouple).

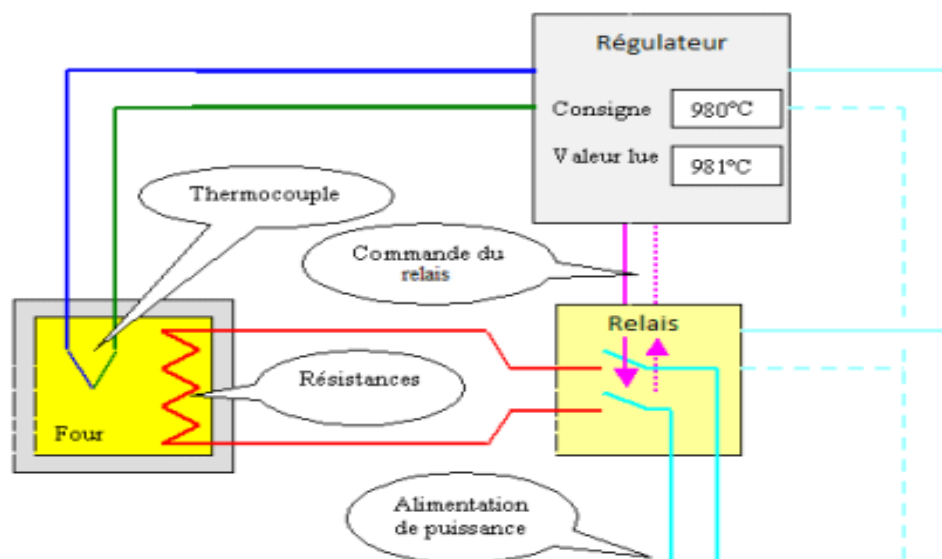


Figure III.2.2.2.2 : Schéma simplifié d'un système de commande d'un four à résistances [W5]

### III.2.2.2.3. Les différents composants du système de commande du four

#### a. Régulateurs numériques de type analogique PID (*Proportionnel, Intégral, Dérivé*)

Ce sont la plupart des régulateurs de tableau. Ils fonctionnent à fréquence d'échantillonnage élevée (période de 100 à 200 ms) quel que soit le processus. Les algorithmes sont simples et n'utilisent pas les potentialités des algorithmes avancés de l'automatique. Leur comportement est calqué sur celui des régulateurs analogiques. Cependant, grâce aux microprocesseurs, des fonctions additionnelles (autoréglage, auto adaptatif, auto calibration, autotest, etc.) ont pu être rajoutées par rapport aux régulateurs analogiques.



Figure III.2.2.2.3.a : régulateur

#### b. Relais statique [14] [15] [W1] [W2]

Le relai statique (voir figure ) est un dispositif de commutation réalisée à l'aide de composants électroniques. On dit " relai " par analogie avec les relais électromécaniques dont il a la séparation galvanique du circuit de commande et du circuit commuté. Statique confirme que ce dispositif ne comporte pas de pièces en mouvement. L'électronique confère à ce relai trois caractères essentiels :

- Amplification : Puissance de commande très faible directement adaptée en tension et en courant avec les sorties logiques de systèmes électroniques, d'où une simplification extrême du circuit de commande avec suppression des bobines de relais toujours génératrice de "parasites".
- Rapidité et possibilité de choisir l'instant de commutation : enclenchement au zéro de tension sur charges résistives (ou autre mode de commande adaptée à la charge) et coupure au zéro de courant évitent les fortes variations instantanées d'intensité génératrices de parasites. Cet élément est essentiel avec les nouvelles directives

européennes concernant la compatibilité électromagnétique (CEM), aussi bien en perturbations conduites que rayonnées.

- Absence de pièces mobiles, d'où une durée de fonctionnement pratiquement illimitée, absence d'arcs (antidéflagrant), entièrement surmoulé donc fonctionnement sans problème en atmosphère polluée (poussière, gaz, etc.), silencieux, résistant aux chocs, aux vibrations.

En revanche les relais électroniques doivent être convenablement refroidis, les tensions et les courants ne doivent pas dépasser les valeurs spécifiées et la sortie présente à l'état bloqué un faible courant de fuite.



Figure III.2.2.2.3.b.1 : relais statique

Un relais statique comporte quatre parties principales :

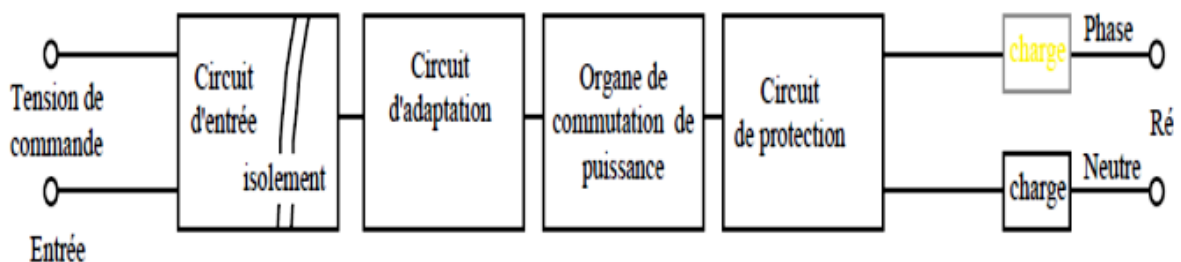


Figure III.2.2.2.3.b.2 : constitution d'un relais statique [1]

Circuit d'entrée et isolement : Ce circuit assure l'isolement galvanique entre le circuit d'entrée et le reste du montage. Il est réalisé par une commande optique appelée opto-coupleur (Cf.fig 19).Le courant d'entrée, limité par la résistance R, proportionnel à la tension de commande est appliqué à une diode électroluminescente (LED). La lumière agit sur un élément photosensible qui transmet l'information à la sortie. Le courant de fonctionnement

étant typiquement de 2 à 3mA, la puissance nécessaire à la commande est donc très faible. La LED acceptant des courants de 2 à 30mA, la tension de commande peut être généralement comprise entre 4V et 30VDC. Une diode en série ou en anti parallèle sur la LED, protège celle-ci d'un branchement d'entrée de polarité inverse.

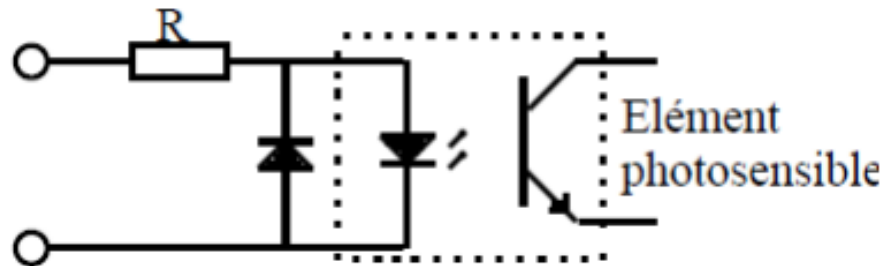


Figure III.2.2.2.3.b.3 Circuit d'entrée [W1]

**Circuit d'adaptation :** Ce circuit reçoit le signal de commande et le transmet à l'organe de commutation. En fonction du type de relais, l'instant de fermeture peut avoir lieu à différents niveau de tension du secteur.

**Organe de communication de puissance :** Les organes de commutation des relais statiques pour réseaux alternatifs sont des thyristors ou des triacs. Les thyristors sont des diodes à gâchette de commande. Ils ne sont conducteurs que dans un sens. Il faut monter deux thyristors en antiparallèle (tête-bêche) pour transmettre les 2 alternances du secteur (figure 21). Les triacs sont des semi-conducteurs commandés par la gâchette capables de conduction dans les 2 sens. Un seul triac assure la commutation des 2 alternances d'un réseau alternatif



Figure III.2.2.2.3.b.4 Triac [W1]

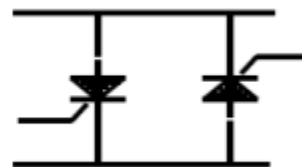


Figure III.2.2.2.3.b.5 : Thyristors tête-bêche

### c. Capteur de température [14] [15] [16] [W3] [W4]

Un capteur de température est un dispositif qui mesure la température. Concernant la mesure de la température dans un four, plusieurs méthodes sont à la disposition des ingénieurs. Une des méthodes le plus couramment utilisé est le thermocouple, qui fait partie de ces méthodes. Le terme de « couple thermoélectrique » est généralement recommandé et employé dans les normes. Cependant, le mot « thermocouple » est employé pour l'usage courant. Les couples thermoélectriques ou thermocouples comptent parmi les capteurs de température les plus employés en raison de la diversité des matériaux utilisés dans leur fabrication et de l'éventail des caractéristiques physiques qui en résultent.

### III.2.2.3. Rénovation du boîtier électrique

Dans cette partie on a seulement rénové l'ancien boîtier.

Premièrement on a enlevé tous les anciens composants (câbles, dominos, interrupteurs, prises, thermomètre, l'ancien plexiglas).

Après avoir fait un schéma de câblage pour savoir les emplacements des composants. On a renforcé d'abord la plaque en bas parce qu'elle est brûlée, en suite on a ajouté trois planches sur les cotés pour avoir une hauteur suffisante voir [figure III.2.2.3](#).

On ajoute d'autres trous de 5 cm de diamètre sur les deux cotés pour avoir une aération meilleure à l'aide d'une chignole et une tige à bois. Voir [figure III.2.2.3](#).

Une fois on a les mesures nécessaires on a entamé les finitions du boîtier, avec du papier abrasif, on a poncé toutes les parties en bois pour avoir des surfaces lisses et bien finies.

Enfin on a utilisé une bombe de couleur NOIR MAT (voir figure).....pour avoir un boîtier d'une couleur uni.



Figure III.2.2.3 : renforcement et finition du boîtier électrique

- *Partie de face* : Pour cette partie on a utilisé un autre plexiglas mais plus épais pour qu'il ne fissure pas facilement, d'une dimension de 50 cm sur 50cm. En suite on a tracé toutes les parties qu'on doit couper avec précision. Voir figure .....

### Les parties de découpage de plexi glace

**1<sup>er</sup> partie** : On a mesuré tout les composants en millimètre près : les interrupteurs, le régulateur, la jauge de vide, les thermomètres, interrupteur générale et le voyant rouge

**2<sup>eme</sup> partie** : Tracer le plexiglas après avoir toute les mesures.

**3<sup>eme</sup> partie** : A l'aide d'un fer à souder et une règle on a réussi à découper toutes les parties sans avoir abimer la matière.

**4<sup>eme</sup> partie** : pour fermer le boîtier du haut on a pris les mesures alors on a ajouté une planche ensuite on a fait un trou de 12cm de diamètre pour le deuxième ventilateur

Enfin on fait des petits trous sur les côtés pour bien fixer le plexi glace sur le boîtier avec des vices. On a placé tous les composants à l'intérieur.

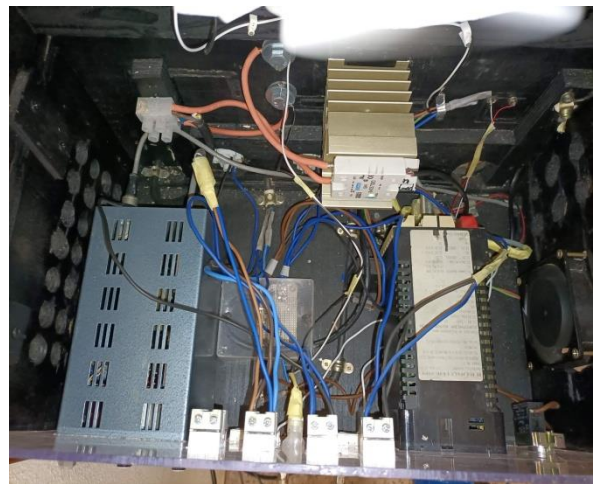
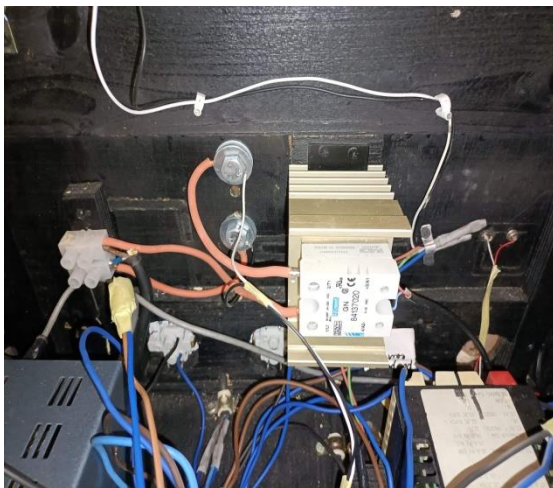


Figure III.2.2.3.a4: boîtier électrique

### III.2.3. Montage

Une fois qu'on a terminé de rénover et fabriquer tous les composants du four alors on a passé à la partie du montage (mise en place de la tuyauterie).



Figure II.2.3a : branchement de tuyau du gaz

On a pris un tuyau de cuivre 8mm de diamètre et 4 mètres de longueur, on l'a fixé sur le mur (voir Figure II.2.3a) Avant de placer les composants sur le four on a fait une peinture de couleur grise (peinture d'entretien) Ensuite on a fixé le dispositif sur le four, mettre en place le système de refroidissement et d'échappement. Voir figure III.2.3.b



Figure II.2.3.b : four de frittage après rénovation

### III.3. Conclusion générale

Ce travail a été consacré à la réalisation d'un four électrique de laboratoire atteignant une température de 1400°C. Il dispose des multitudes de fonctions qui offrent à son utilisateur une facilité de travail grâce à son interface électronique ; la réalisation de cet appareil permet de résoudre une partie de l'insuffisance d'appareillage dans notre laboratoire.

La première partie de notre réalisation s'est articulée autour de fabrication du dispositif à gaz d'une matière en aluminium ainsi tous les systèmes tels que (système de refroidissement, système d'échappement, tuyauterie de gaz) au niveau de OUED AISSI, pole de technologie avec des machines de frilage, filetage, perçage.

La deuxième partie de notre réalisation se focalise sur la régulation de la température à l'intérieur du four. Pour cela nous avons utilisé une résistance électrique pour assurer le chauffage à l'intérieur du four. Elle est régularisée par un régulateur de type PID qui nous offre une stabilité et une régulation de haute précision. La mesure de la température est assurée par un thermocouple de type K.

Grace à ce travail, nous avons pu remettre en marche le four en question. En y ajoutant les modifications nécessaires pour une utilisation plus sécurisé, et pour une meilleure précision de mesure

Ainsi, nous avons montré au cours de ce travail qu'il est possible de réaliser un four électrique pour usage de laboratoire. Cependant, nous pensons que des études restent encore à faire au niveau des résistances chauffantes afin que le four puisse atteindre des températures supérieures à 1400°C.

## Perspectives :

- Amélioration de tube échantillon
- Amélioré le système d'échappement sans utilisé de robinet (maitre un système automatique)
- Etude système de refroidissement

## Références bibliographiques

- [1] (Édition originale : Nakajima S., TPM Tenkai Program, Tokyo, JIPM, 1986) / (Traduction française : Nakajima S., La Maintenance Productive Totale (TPM). Mise en œuvre, AFNOR, 1989)
- [2] Jean-Claude Francastel, La fonction maintenance - De l'expression à la satisfaction du besoin, AFNOR Éditions, 2007, 368 p. (ISBN 978-2-12-475569-1)
- [3] Souris J.-P., La maintenance source de profits, Paris, Les Éditions d'Organisation, 1990
- [4] J. Favier, S. Gau, D. Gavet, I. Rak, C. Teixedo, Dictionnaire de technologie industrielle, Paris, Foucher, 1996, 384 p. (ISBN 2-216-03536-X)
- [5] Jean Dupré, La Maintenance sous-traitée, Thebookedition.com, 2013, 325 p.
- [6] Fiche Sigma-Aldrich du composé Molybdenum disilicide  $\alpha$ -phase, powder,  $\geq 99.8\%$  trace metals basis [archive], consultée le 28 décembre 2018.
- [7] (en) A. Nørlund Christensen, « Crystal growth and characterization of the transition metal silicides MoSi<sub>2</sub> and WSi<sub>2</sub> », Journal of Crystal Growth, vol. 129, nos 1-2, mars 1993, p. 266-268 (DOI 2 (Bibcode 1993JCrGr.129..266N, lire en ligne [archive] ,7-90456(93)0248-0022/10.1016
- [8] J. Favier, S. Gau, D. gavet, I. Rak, C. Texido, *Dictionnaire de technologie industrielle. Conception, production, gestion, maintenance*, Foucher, 1996, rubrique « Maintenance », pp. 253-254
- [9] Kelly A., Maintenance and its Management, Farnham (England), Conference Communication, 1989
- [10] Kelly A., Harris M. J., Management of Industrial Maintenance, Londres, Butterworths Management Library, 1978
- [11]: wikiwix archive [<http://www.dgdr.cnrs.fr/cnps/guides/doc/equipements/fiche032.pdf>]
- [12] (en) Beatriz Cordero, Verónica Gómez, Ana E. Platero-Prats, Marc Revés, Jorge Echeverría, Eduard Cremades, Flavia Barragán et Santiago Alvarez, « Covalent radii revisited », *Dalton Transactions*, 2008, p. 2832 - 2838
- [13] François Monchy, Claude Kojchen, Maintenance - Outils, Méthodes et Organisations, 4e édition, Dunod, 2015, 610 p.
- [14]. ENSP Montrouge ; «Ensemble des études de régulation de la température » ; p.33
- [15]. LATEIER Hutmann (1999) ; «L'ELECTRONIQUE DE L'AUJOURD'HUI » ; p.89 ; Edition Captier

[16]. RIVIERE Celia et LEBON Graziella (2001) ; « Thermocouple » ; p.45

[17] Henri Godfroid, *Les Métaux en poudre comprimée dits "frittés" : conférence prononcée, le 19 mars 1946 à la Société des ingénieurs de l'automobile*, Paris, impr. de Lang, Blanchong et Cie, 1946

## Web graphie

[W1]. [http:// www.gefransiei.com](http://www.gefransiei.com) (29/12/14)

[W2]. [http:// www.crydom.fr](http://www.crydom.fr) (06/01/15)

[W3]. [http:// www.omron.fr](http://www.omron.fr) (3/04/15)

[W4]. [http:// www.thermatec.fr/process&%control](http://www.thermatec.fr/process&%control) (22/01/15)

[W5]. <https://poste-a-souder.ooreka.fr/comprendre/poste-a-soudure>