



## Etude de la mise en place d'un four pour la détentionnement des pièces mécano-soudées

Présenté par :

Le binôme : Fayssal El HADDAD & Fatimazahra HAIKI

DEPARTEMENT DE GENIE MECANIQUE

EN VUE DE L'OBTENTION DE LA LICENCE EN SCIENCES ET TECHNIQUES  
CONCEPTION ET ANALYSE MECANIQUE  
JUN 2010

A été dûment accepté par le jury d'examen constitué de :

Prof. Ahmed EL KHALFI, Encadrant et président du jury  
Abdelkader BENDENGUIR, Ingénieur CAM, Encadrant

## Sommaire ::

Introduction ::	4
Présentation de l'entreprise ::	5
Etude Théorique ::	13
<u>Cycle de soudage</u> .....	13
<u>Relaxation des contraintes</u> .....	14
<u>Traitements thermiques de détensionnement</u> .....	16
o La Trempe : .....	18
o Le recuit : .....	19
<u>Le four de détensionnement</u> .....	21
Présentation du Projet & choix du matériaux ::	23
Cahier de charge.....	23
Présentation du projet.....	23
Le besoin du client est problématique.....	23
Choix du matériaux.....	24
Un matériau réfractaire.....	24
Isolation thermique : .....	26
Principaux isolants thermiques.....	26
<u>Fixation des briques et fibres céramiques</u> .....	29
Le calcul RDM ::	32
I- <u>fixation du four</u> : .....	32
II- <u>efforts sur les parois du four</u> : .....	34
<u>Introduction</u> : .....	37
<u>Hypothèse du problème</u> .....	38
Étude économique ::	44
Gamme de fabrication ::	45
Conclusion ::	51

## Remerciement ::

*Il m'est agréable de présenter nos remerciements et l'expression de reconnaissance à notre responsable M. Abdelkader BENDENGUIR et notre encadrant M. Ahmed EL KHALFI pour les remarques et les conseils qu'ils nous ont prodigué, et bien sur on n'a pas oublié de remercier le responsable de bureau de méthodes M. Abdelatif AMINI pour ces précieux conseils ainsi que toute personne du bureau qu'ils nous ont soutenue et ont contribué leur collaboration à fin de terminer ce stage.*

*Pour être plus démocratique, je présente à l'ensemble du personnel de CAM mes meilleures expressions et mes sentiments les plus dévoués pour leur accueil chaleureux malgré leurs obligations*

*Nos remerciements vont également à nos familles : pères, mères, frères et sœurs pour leur supports et encouragements.*

## Introduction ::

Afin de compléter mes études scientifiques et techniques par une vue professionnelle, l'activité du stage offre à l'étudiant l'occasion de mettre en pratique ses connaissances ainsi de lui permettre des problèmes réels proche à ceux rencontrés dans l'avenir.

Le stage est aussi la meilleure façon qui lui permet de s'intégrer facilement dans le monde du travail.

Dans ce sens je trouve que l'opportunité d'effectuer un stage à CAM,précisément dans le chantier de fabrication mécanique et le bureau de méthode, la voie adéquate qui me permet d'acquérir une approche plus pratique sur le secteur de travail pour développer chez l'étudiant l'esprit critique et la méthode d'analyse synthèse. Ces compétences sont fortement présentes dans la vie professionnelle.

## Présentation de l'entreprise ::

Fondés en 1944, Chantiers et Ateliers du Maroc est le prestataire privilégié au coeur du port de Casablanca. Idéalement situés en bordure du bassin d'armement qui peut accueillir des navires jaugeant jusqu'à 20.000 tonnes et de la cale sèche qui reçoit des navires jaugeant 10.000 tonnes, Chantiers et Ateliers du Maroc déploient ses ateliers sur plus de 10.000 m<sup>2</sup> dont 7.000 couverts.

Dotés d'équipements modernes et d'une main d'oeuvre performante, motivée et suivant des cycles de formation réguliers, la CAM est à la pointe de la technologie en termes de réparation navale, de mécanique et de chaudronnerie.

Ses activités navales couvrent la totalité des besoins des armateurs et s'appuient sur des accords techniques et commerciaux avec les plus grands constructeurs mondiaux d'équipements.

Elle a un savoir-faire industriel reconnu par la qualité des ouvrages réalisés et les techniques employées ont été mis à contribution par les plus grandes entreprises du pays. Avec une filiale à Agadir, Ateliers et Chantiers d'Agadir et du Sousse (ACAS), située sur le port le plus important des provinces du sud Maroc, la CAM apporte son savoir-faire et sa technologie aux flottes locales et étrangères opérant dans la zone.

L'entreprise se constitue de trois pole principaux :

- L'administration générale
- Le département maritime
- Le département terrestre

Avec un effectif global d'environ 250 personnes, l'organisation de la CAM est principalement centrée sur des ressources spécialisées.

Sous la responsabilité d'un directeur d'exploitation expérimenté, deux chefs de département riches de longues expériences et rompus aux dernières technologies supervisent les activités navales et industrielles. L'activité navale est forte d'une équipe de plus de 150 agents spécialisés.

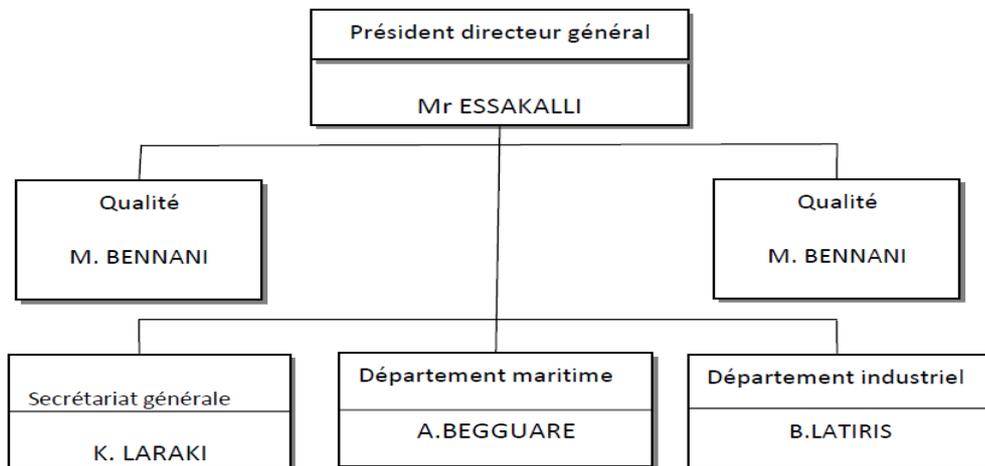
Les activités industrielles qui bénéficient des ressources dédiées aux activités navales comptent 80 collaborateurs.

Le personnel de Chantiers et Ateliers du Maroc est très spécialisé. Compte tenu des évolutions techniques dans certains domaines, ils sont amenés à suivre des cycles de formation chez les principaux

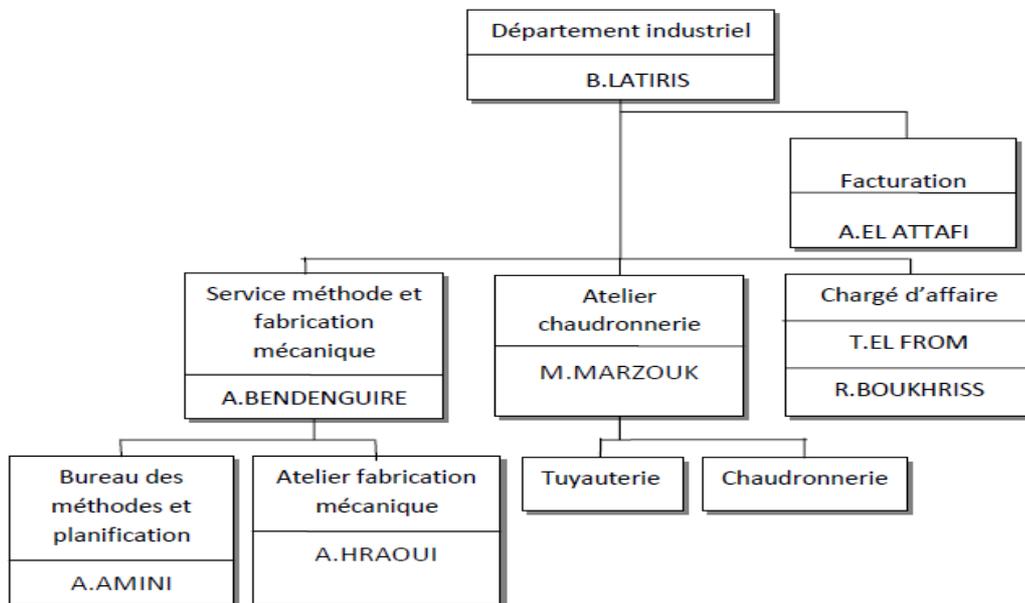
constructeurs d'équipements. C'est un engagement de qualité renouvelé chaque jour au profit de sa clientèle.

La CAM est le 1er chantier naval et prestataire de l'industrie au Maroc à être certifié à la norme ISO 9001 par BVQI.

### Organigramme général de la société



### Organigramme de département industriel:



"Chantiers et Ateliers du Maroc" s'étendent sur une surface de 10.000 m<sup>2</sup> au coeur du port de Casablanca.

Idéalement situés en bordure du bassin d'armement qui compte 300 ml de quais pouvant accueillir des navires avec un tirant d'eau maximal de 6,50 m et d'une cale sèche de 157 m ayant une capacité d'accueil de 10.000 TPL, "Chantiers et Ateliers du Maroc" bénéficie également d'un accès direct à un slipway de 600 tonnes.

Ces infrastructures portuaires, ainsi que d'importants moyens de levage grues flottantes, grues de quai et grues mobiles - sont mis à la disposition de l'entreprise à la demande. Sur une surface couverte de près de 7.000 m<sup>2</sup>, tous les ateliers bénéficient d'accès directs aux zones d'armement ou de cale sèche.

Equipés de plus de 200 machines-outils, 8 ponts roulants, 2 monorails et plusieurs élévateurs, treuils, portiques et palans, "Chantiers et Ateliers du Maroc" dispose d'un parc machine unique permettant l'exécution des opérations les plus complexes.

Tous ces équipements de précision et de contrôle sont régulièrement vérifiés et étalonnés dans un souci de qualité total. "Chantiers et Ateliers du Maroc" est doté d'un important parc informatique.

Outre les logiciels classiques de gestion d'entreprise, AUTOCAD CAO et DAO et METALCAD font partie des outils utilisés pour la réalisation de ses travaux.

#### Activités navales :

Au cœur du port de Casablanca, en bordure des routes maritimes longeant le continent Africain et menant soit à l'atlantique Nord soit au bassin méditerranéen, "Chantiers et Ateliers du Maroc" offre toutes les prestations d'un chantier naval.

Les interventions à flots ou en cale sèche sont menées par des équipes spécialisées de techniciens sensibilisés aux particularités de la profession.

Soucieux de réduire l'immobilisation des navires au strict minimum, ils s'engagent sur des délais et programment les entrées en bassin d'armement ou en cale sèche en fonction des disponibilités immédiates à l'arrivée au port de Casablanca. Ses domaines d'intervention couvrent les spécialités suivantes:

- ❖ La mécanique générale.
- ❖ Les systèmes de propulsion.
- ❖ les machines auxiliaires.
- ❖ les systèmes de navigation.
- ❖ les systèmes hydrauliques.
- ❖ les équipements électriques.
- ❖ La tuyauterie.
- ❖ Les travaux de coque et carénage, chaudronnerie et étanchéité.

- ❖ Les travaux d'aménagement.

- ✓ Mécanique et propulsion :

Les travaux de mécanique générale sur moteurs principaux sont exécutés sur tous types de moteurs thermiques.

Equipés pour les travaux lourds tels que les remplacements de bâtis moteurs, de vilebrequins...

Ses prestations englobent également les visites et réparations des accessoires moteurs tels que les turbocompresseurs, les pompes et régulateurs.

Les systèmes de propulsion sont traités avec un grand soin. Qu'il s'agisse de réparation, d'alignement et de calage, de la réparation ou de la réhabilitation d'hélices, de visite et réparation sur les systèmes d'étanchéité ou de travaux sur les réducteurs, la CAM intervient suivant les normes internationales



- ✓ Navigation et réseaux :

Parce qu'un chantier naval de leur dimension ne peut se passer du concours de spécialistes, ils entretiennent des relations privilégiées avec les meilleurs sous-traitants de la place en matière de systèmes de navigation.

Filiales d'entreprises internationales, et sur la base de garanties de performance, ces prestataires travaillent à leurs cotés sur les systèmes dont dépend la sécurité des bâtiments.

Ses équipes d'électriciens et d'hydrauliciens sont spécifiquement formées aux activités navales et familières des réfections et révisions complètes ou partielles des équipements électriques et systèmes hydrauliques.

Par ailleurs, ils effectuent dans leurs ateliers et sous stricte supervision, les bobinages de tous équipements électriques. Qu'il s'agisse d'installations à caractère purement technique ou liées au confort des équipages leurs travaux d'électricité sont réalisés avec des matériaux de qualité conformes aux standards de sécurité en vigueur.

### Carénage Chaudronnerie et autre aménagement :

Tous les travaux de tuyauterie sont réalisés aux ateliers suivant les impératifs d'exécution.

Ils traitent aussi bien les réseaux fonctionnels des navires - gasoil, eau, eau potable, etc. que les conduites de chargement et déchargement.

Qu'il s'agisse de travaux des réseaux hauts ou basse pression, les matériaux utilisés sont certifiés aux normes internationales. L'étanchéité des réseaux est systématiquement testée en fin de travaux et une garantie de conformité délivrée.



Spécifiquement équipés pour tous travaux de coque, de carénage et de chaudronnerie, "Chantiers et Ateliers du Maroc" offre des prestations inégalées dans ces spécialités.

Les interventions de remplacement ou réhabilitation de structures endommagées ou avariées se font, suivant les cas, et l'importance des travaux, à flot ou à sec. Les tôles marines travaillées, - acier grade A, acier inoxydable, aluminium ou autre -, sont soigneusement sélectionnées et préparées pour une durabilité accrue.

En matière de chaudronnerie, les réalisations font référence en ce qui concerne les ballasts, les citernes de cargaison, les travaux de pont et de cale, les panneaux de cales et les rampes RoRo.

Les travaux de carénage, plus généralement réalisés en cale sèche, incluent le lavage à haute pression, le sablage à la norme SA l'application de peinture à "l'airless" et la protection cathodique.



✓ **Activité terrestre :**

Équipés pour la fabrication et l'usinage de sous-ensembles mécano soudés et de pièces mécaniques au modèle ou sur plan, ils effectuent également les équilibrages et les alignements grâce à un matériel sophistiqué permettant une précision sans faille.



Les activités terrestres se résument en :

- ❖ Mécanique générale : travaux de révision, rénovation, usinage, travaux de réglage (antifriction), rechargement par métallisation de tous métaux ou alliages, soudure à froid, rectification et usinage sur site.
- ❖ Activités vérins hydrauliques (confection vérins neufs, réparation vérins).
- ❖ Installations et entretien d'ensemble industriel : grues portuaires, portiques.
- ❖ Electricité industrielle : Révision de circuits électriques, entretien et rembobinage de moteurs électriques, équilibrage dynamique.

- ❖ Tôlerie chaudronnerie : Découpage, pliage, préfabrication et montage
- ❖ de tôles d'acier, mécano soudure de pièces diverses suivant plan
- ❖ Tuyauterie

#### Maintenance d'usine :

- ❖ Les travaux de maintenance d'usine sont faits soit dans le cadre de programmes de maintenance préventive, soit dans le cadre de missions spécifiques.
- ❖ -Dans le premier cas, les programmes d'actions sont élaborés grâce à la connaissance des processus industriels, des outils et des machines mis en oeuvre ou, le cas échéant, suivant les spécifications des constructeurs.
- ❖ Dans le cadre de missions spécifiques, un diagnostic de pré intervention est réalisé par les ingénieurs et un planning de maintenance est établi sur la base de
- ❖ leurs recommandations.



#### ✓ Mécanique et usinage :

Grâce aux compétences d'ingénieurs en mécanique et d'un personnel spécialisé, la CAM a développé l'un des premiers centres de fabrication, d'usinage, de réglage et de mécano soudure du pays. Ils fabriquent pour le client, suivant son modèle ou ses plans détaillés, toutes pièces mécaniques fonctionnelles ou d'usures indispensables au bon fonctionnement de son outil de production. Qu'il s'agisse d'arbres, de galets de grandes dimensions, de coussinets et paliers ou tout simplement de moules, les réalisations de "Chantiers et Ateliers du Maroc" sont issues d'un savoir-faire particulier.

#### ✓ Chaudronnerie et construction métallique :

"Chantiers et Ateliers du Maroc" a une longue expérience en matière de chaudronnerie et de construction métallique. Ayant participé à la construction de grands ensembles industriels dans divers secteurs, ils maîtrisent parfaitement toutes les techniques de construction métallique. Les ateliers de chaudronnerie disposent de tous les équipements nécessaires à des opérations de grande envergure.

Qu'il s'agisse de la fabrication en mécano-soudure ou en assemblage (malaxeurs, vis transporteuses, squelettes de presses ou ventilateurs de tirage), nos réalisations sont en stricte conformité avec les plans remis et l'installation sur site est assurée par énormes soins.

## Etude Théorique ::

*Selon le matériau, la massivité des pièces, le type de procédé de soudage la nature de la construction et des sollicitations en service, différents types de traitements peuvent être appliqués aux constructions soudées. Les objectifs recherchés dans le cas des aciers peuvent être :*

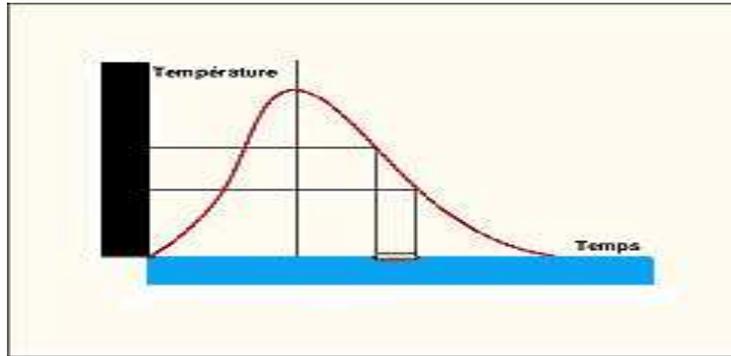
- *la modification du cycle thermique de soudage,*
- *la relaxation des contraintes, la modification des structures de soudage.* Les moyens utilisés peuvent être :
  - Des traitements thermiques.
  - Des traitements mécaniques.

### Cycle de soudage

Le cycle thermique de soudage correspond à la variation de température d'un point de la pièce soudée en fonction du temps :  $T = f(t)$ . On déterminera en Particulier :

- la température maximale  $T_m$  atteinte,

- le temps de maintien  $t_c$  au-dessus d'une température critique  $T_c$  fonction du matériau
- la loi de refroidissement qui sera représentée par le temps de refroidissement  $t_r$  entre deux températures .



Les cycles thermiques dans les assemblages soudés sont provoqués :

- Pour le chauffage par l'apport de chaleur à partir de la source de soudage.
- pour le refroidissement par une évacuation de la chaleur dégagée au niveau de la source par :
  - Conduction dans les pièces
  - Convection et rayonnement à la surface des pièces.

Pour un procédé de soudage donné, les paramètres exerçant une influence sur la durée de refroidissement sont :

- les propriétés thermiques du matériau,
- la température initiale des pièces,
- la massivité de la pièce,
- l'énergie de soudage.

### [Relaxation des contraintes](#)

#### Contraintes de soudage :

Toute opération de soudage est, par essence, un processus de chauffage non uniforme. Ceci entraîne des dilatations et des retraites dans les assemblages soudés, également non homogènes, se traduisant en fin de soudage :

- soit, par des déformations,

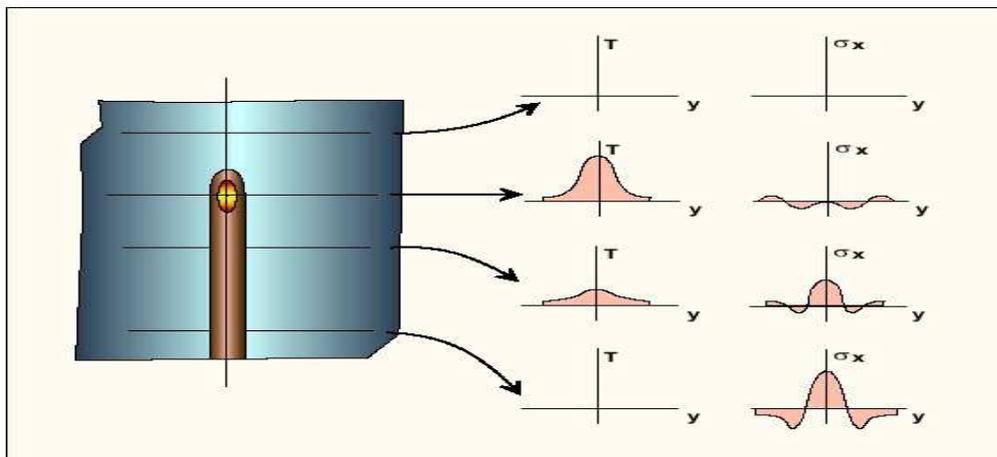
- soit, par des contraintes résiduelles.

La figure ci déçue montre la genèse des contraintes résiduelles dans un assemblage soude. Par ailleurs il faut tenir compte du bridage :

- par la construction soudée,
- par le montage de soudage.

Les contraintes résiduelles affectent le comportement des assemblages soudés. On distingue trois grands effets :

- ❖ Une instabilité dimensionnelle (Lors d'un réchauffage, d'un enlèvement de Matière, de l'introduction de nouvelles contraintes,...),
- ❖ Un endommagement de la construction (Par fissuration a froid, fissuration a chaud, fissuration au réchauffage, arrachement lamellaire,...),
- ❖ Une influence sur la résistance des pièces (Tenue mécanique, processus de rupture, vieillissement, corrosion sous contrainte,...).



Contraintes de soudage

### Mécanisme de relaxation des contraintes

La relaxation des contraintes dans les assemblages soudés est obtenue par déformation plastique du matériau. Cette plastification peut être obtenue par deux méthodes.

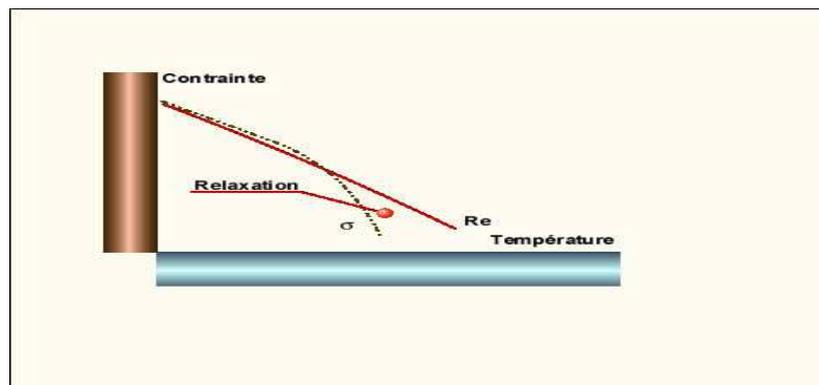
➤ Augmentation de la température

Cette élévation de la température du matériau provoque un abaissement de la limite élastique qui devient inférieure aux contraintes résiduelles. Ces dernières provoquent alors la déformation plastique des zones sous contrainte entraînant une relaxation plus ou moins complète.

➤ Superposition de contraintes

En superposant aux contraintes résiduelles, une contrainte supplémentaire on provoque un dépassement de la limite élastique. Ces contraintes supplémentaires peuvent être introduites :

- de façon globale par allongement des cordons (cas des épreuves hydrauliques des réservoirs).
- par vibration de la construction,
- localement par chocs (cas du grenailage, ou du martelage)



### Traitements thermiques de détensionnement :

#### Principe:

La relaxation thermique consiste à faire subir à la construction soudée un cycle thermique comprenant :

- ❖ Une montée en température contrôlée
- ❖ Un maintien en température
- ❖ un refroidissement contrôlé (idem chauffage).

Le traitement de relaxation peut provoquer des effets secondaires plus ou moins acceptables :

- adoucissement du métal de base,
- fragilisation de certains aciers,
- fissuration au réchauffage,
- .....

#### Critères des traitements de relaxation :

Les traitements de relaxation sont caractérisés par quatre critères principaux.

- L'épaisseur maximale admissible sans traitement thermique En dessous d'une certaine valeur de l'épaisseur, le risque de fragilité au cours du Détermination l'emporte sur l'efficacité du détensionnement.
- La température de traitement  $T_m$  Elle doit être suffisante pour provoquer un détensionnement des pièces, mais limitée afin de ne Pas entraîner des inconvénients graves (déformations des pièces, modifications de structures, Fragilité,...).
- Le temps de maintien a la température maximale Il existe une relation inverse entre la température et le temps de maintien (paramètre d'Hollomon et Jaffe). On définit un temps de maintien minimum  $t_m$ .
- Les vitesses de chauffage et de refroidissement Leur existence est justifiée par la nécessité d'éviter des gradients thermiques trop importants Dans les pièces au cours du traitement.

Les valeurs de ces différents critères (Tableaux 3 et 4) sont définies par le code CODAP en Fonction du Choix de matériau.

Matériau	Critères	CODAP
Aciers C et C-Mn	$e_m$ $T_m$ Durée $t_m$	40 mm 530/580 °c 2 min/mm pour $e < 60$ mm + 0,5 min/mm pour $e > 60$ mm 30 min
Aciers C-Mo	$e_m$ $T_m$ Durée $t_m$	20 mm 580/620 °c 2 min/mm pour $e < 60$ mm + 0,5 min/mm pour $e > 60$ mm 30 min
Aciers Mn-Mo et Mn-Mo-V	$e_m$ $T_m$ Durée $t_m$	20 mm 600/640 °c 2 min/mm pour $e < 60$ mm + 0,5 min/mm pour $e > 60$ mm 30 min
Aciers Cr-Mo	$e_m$ $T_m$ Durée $t_m$	0/20 mm 630/680 °c 2,5 min/mm pour $e < 100$ mm + 0,5 min/mm pour $e > 100$ mm 30 min
Aciers alliés au Ni	$e_m$ $T_m$ Durée $t_m$	30 mm 530/580 °c 2,5 min/mm pour $e < 100$ mm + 0,5 min/mm pour $e > 100$ mm 30 min

**Critères de détensionnement  
TABLEAU 3**

Critères		CODAP
Température maximale d'enfournement		300 °c
Vitesse de chauffage maximale	e < 25 mm	220 °c/h
	e > 25 mm	5500 / e (mm) ou 55 °c/h
Gradient maxi pendant chauffe et refroidissement		150 °c sur 4500 mm
Vitesse de refroidissement maximale	e < 25 mm	220 °c/h
	e > 25 mm	5500 / e (mm) ou 55 °c/h
Température maximale de défournement		300 °c

**Vitesse de chauffage et de refroidissement  
TABLEAU 4**

Type de traitement :

o Le recuit :

o La trempe :

**Généralité :**

La trempe des aciers consiste en un chauffage dans le domaine austénitique, un maintien et un refroidissement suffisamment rapide pour éviter la formation des constituants d'équilibre. On obtient ainsi une phase hors d'équilibre : la martensite, qui donne la dureté maximale pour une nuance d'acier donnée. Pour aboutir à des constituants moins durs, on peut utiliser le réglage de la vitesse de refroidissement ou la trempe isotherme (ou étagée).

**Température d'austénitisation :**

Le maintien à la température d'austénitisation doit être conduit jusqu'à l'achèvement des transformations de phases. Ce temps de maintien dépend, en particulier, de la composition chimique de l'acier, de la dimension et de la forme des pièces à traiter. La détermination du temps est donc surtout une question d'expérience et un compromis.

**Temps de maintien :**

Le maintien à la température d'austénitisation doit être conduit jusqu'à l'achèvement des transformations de phases. Ce temps de maintien dépend, en particulier, de la composition chimique de l'acier, de la dimension et de la forme des pièces à traiter. La détermination du temps est donc surtout une question d'expérience et un compromis.

### Refroidissement :

En dehors des propriétés des aciers (conductivité thermique...) et de la configuration des pièces (masse, forme, état de surface), la vitesse de refroidissement dépend essentiellement du pouvoir refroidisseur du bain. Les modes de refroidissement sont très variés : air, brouillard, (air + eau), bains de sels fondus, bains d'huile, eau...

### Les défauts possibles occasionnés par la trempe :

Déformations : qui proviennent généralement d'un chauffage non uniforme (dû à des inégalités de section de la pièce)

Tapures : caractérisées par une rupture du métal résultant des inégalités de température entre les différentes parties de la pièce (principalement aux changements brusques de section)

Manque de dureté : dû à une température de trempe trop basse.

### o Le recuit :

#### Définition :

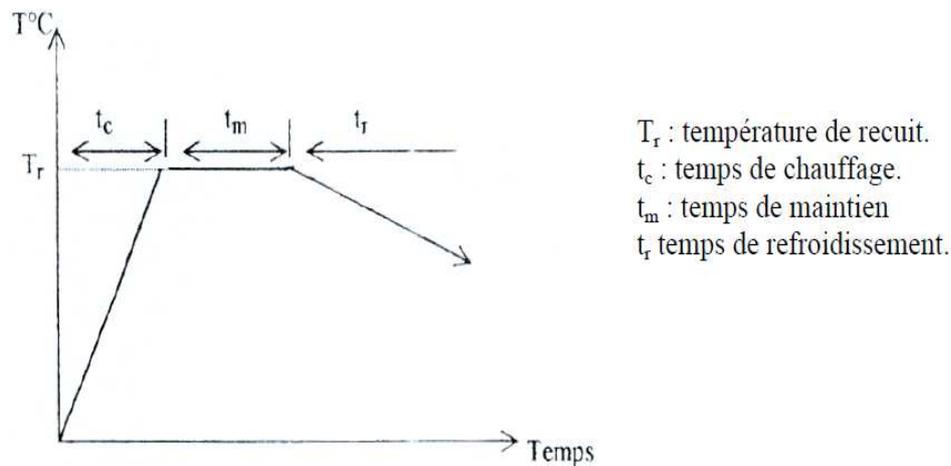
On appelle recuit tout traitement consistant à chauffer l'acier au-dessus de AC3, à maintenir la température atteinte pendant un temps suffisant, puis à refroidir lentement le métal jusqu'à l'ambiante.

Il 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.
- Réduire les contraintes internes

Le cycle thermique d'un recuit comprend :

- a. Un chauffage jusqu'à une température dite de recuit qui dépend du type de recuit à réaliser.
- b. Un maintien isotherme à la température de recuit ou des oscillations autour de cette température.
- c. Un refroidissement très lent généralement à l'air calme. La vitesse de refroidissement doit être inférieure à la vitesse critique de recuit



#### Différents types de recuits :

On distingue plusieurs sortes de recuits :

##### ❖ Recuit d'homogénéisation

C'est un recuit à haute température ( $\approx A3 + 200^\circ \text{C}$ ) destiné à atténuer ou à faire disparaître les hétérogénéités de composition chimique. Il est suivi d'un refroidissement lent.

##### ❖ Recuit de normalisation

Il s'effectue à une température égale à  $A3 + 50^\circ \text{C}$  à  $100^\circ \text{C}$  suivi d'un refroidissement à l'air calme. Il a de multiples effets :

- Homogénéisation
- Affinage et régénération du grain
- Adoucissement
- Déterminement (ou stabilisation)

##### ❖ Recuit de glottalisation (sphéroïdisation)

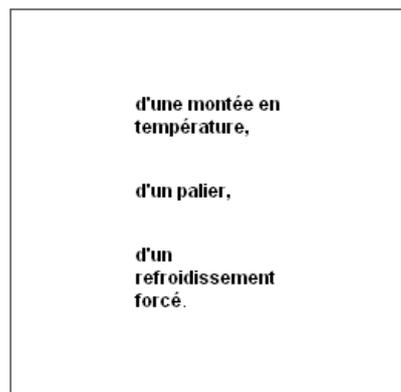
Il s'obtient en faisant subir à l'acier des oscillations de température autour de  $A1$ . Il permet de transformer la perlite lamellaire en perlite globulaire présentant de bonnes caractéristiques, notamment une meilleure déformation à froid.

##### ❖ Recuit d'adoucissement

L'opération consiste à chauffer l'acier à une température quelque peu inférieure à A1, et après maintien, à le refroidir à l'air. Il a pour objet d'abaisser la dureté du métal et s'applique aux aciers au carbone destinés à l'usinage, l'emboutissage à froid et l'étirage.

### Le four de détensionnement

Lors de la soudure de deux pièces en continu, il apparaît des contraintes mécaniques qui peuvent entraîner des fissures au sein de la matière. Il est donc nécessaire d'effectuer un traitement thermique qui se compose :



Les fours et les étuves sont des outils de production destinés à élaborer ou transformer des matériaux grâce aux transferts thermiques entre une source de chaleur et la matière à traiter.

Ce traitement thermique est effectué par le biais de fours thermiques. Ces derniers fonctionnent généralement électriquement ou par gaz. Un four à gaz est généralement chauffé par combustion, ce qui nécessite un flux continu d'air frais dans le compartiment de cuisson. Par comparaison aux fours à gaz, un four électrique est souvent assimilé à un four à radiations, avec des éléments de chauffage en haut et en bas. On préfère les fours électriques aux fours à gaz aussi pour l'équipartition de la chaleur dans ces derniers et pour leur meilleur réglage thermostatique.



Domaine de température	Usages
de 50 à 200 °C	séchage de pièces après lavage/dégraissage — désolvation et cuisson de peinture — fusion de cire (fonderie) —
de 150 à 300 °C	stabilisation des aciers — revenu des aciers à haute teneur en carbone — revenu et vieillissement des alliages légers — bleuissement des aciers —
de 500 à 700-750 °C	revenu des aciers ordinaires — recuit des aciers — recuit des soudures — recuit des métaux cuivreux — stabilisation de la fonte — fusion des alliages légers —
de 700 à 850-900 °C	cémentation au carbone, carbonitruration — recuit des aciers — trempe des aciers — recuit des maillechorts et des cupronickels —
de 900 à 1 000-1 100 °C	cémentation au carbone — recuit des aciers spéciaux — trempe des aciers spéciaux — traitement des aciers inoxydables et des aciers réfractaires — traitement des fontes malléables (à cœur blanc et à cœur noir) —
de 1 000 à 1 250- 1 300- 1 350 °C	traitement des aciers rapides — fusion du cuivre —
au - delà de 1 350 °C	fusion de la fonte et de l'acier —

## Présentation du Projet & choix du matériaux ::

### Cahier de charge

- Le four va utiliser pour un traitement thermique les pièces mécano-soudées .
- Le type des pièces a traiter : Pièces mécano soudées avec un poids variant entre 2 et 5 tonnes
- La température vari entre 350 et 920 °C
- L'encombrement ne dépasse pas  $3 * 3 * 2 \text{ m}^3$
- Le cycle de traitement :
  - Un chauffage : croissant suivant un maintien de température
  - Refroidissement avec palier
- Moyen de manutention : un chariot élévateur (existe dans la société)
- Energie de chauffage électrique

### Présentation du projet

La société CAM a plusieurs activités terrestres et navales, entre autre la réalisation des pièces mécanique. Ces derniers causent des problèmes notamment lors de la relaxation des contraintes dans l'assemblage soudés est obtenus par déformation plastique du matériaux.

C'est pourquoi la société éprouve le besoin d'un four de détensionnement pour traitement des pièces mécano-soudées

### Le besoin du client est problématique

Le client est la société elle-même et le four qu'on va fabriqué répond aux les exigences de la société qui prévoient sa mise en place a fin de pouvoir des travaux de détensionnement des pièces effectuer après le soudage.

Suivant les exigences des responsables de la société, la conception de ce four va respecter certaines normes connus celles relatives au choix de matériau pour sa fabrication, le type et le poids des charger à traiter.

On peut résumer l'objective de ce projet dans la mise à la disposition de la société d'un four dont l'encombrement ne dépasse pas les  $3*3*2 \text{ m}^3$  avec un poids comprise entre 2 et 5 t des pièces charger.

### Choix du matériaux

Un matériau est une matière d'origine naturelle ou artificielle que l'homme façonne pour en faire des objets, c'est donc une matière de base sélectionner en raison de propriété particulier et mise en œuvre en vue d'un usinage spécifique.

Donc le choix des matériaux dépend de l'application, il faut précisément le besoin, cela fait appel à la notion de fonction .il faut définir la fonction que doit remplir le matériau, a partir d'un cahier de charge fonctionnel.

A partir de cahier de charge qu'on a un cycle de traitement

Comme suit :

Un chauffage croît et l'énergie de chauffage c'est électrique, suivie d'un maintien de température qui varie entre  $350^{\circ}\text{C}$  et  $920^{\circ}\text{C}$  selon cette critère on a choisi un matériau spécifique qui absorbe la chaleur.

Pour cette dernière on a fait une paroi qui compose trois couches :

- ❖ En face chaude, une couche de brique réfractaire
- ❖ En face froide, une couche essentiellement isolante, on a choisi pour isolation la laine de roche.

- ❖ Une couche intermédiaire qui se présente a une tôle d'acier réfractaire.

### Un matériau réfractaire

Réfractaire est un terme chimique signalant une résistance à une influence chimique, physique ou biologique, qu'il faudrait précisé,mais qui sensible évidente dans chaque domaine technologique s'agit d'une bonne résistance à la chaleur c'est-à-dire aux effets induits par les hautes température par des corps ayant un point de fusion élevé.

### Brique réfractaire

On a choisi le brique réfractaire pour la face chaude (intérieure de four) a cause de leurs caractéristiques thermiques :

- ❖ Faible conductivité thermique :

Le pouvoir isolant très élevé

- ❖ Faible accumulation thermique :

Conséquence de leur basse densité et de leur faible conductivité thermique, elle permet de réduire la consommation énergétique de four .

- ❖ Pureté :

Une bonne résistance à la déformation a chaud.

Remarquable résistance à la compression a chaud.

### **Application au sujet de stage :**

Les briques réfractaires isolantes sont utilisées comme garnissage de premier rang, exposition directe à la source de chaleur ou de second rang derrière les matériaux réfractaire.

Pour bien défini les dimension et le poids du brique on a contacté un fournisseur de CAM .c'est la société SEDRIC, on a donné à la société la température maximal de four qui est 920°C en fin on a pris les information suivants :

- Les dimension du brique se sont 220\*110\*60 mm<sup>3</sup>
- Le poids : 3.3 kg
- Avec un prix de 13 DH/brique



### Tôle chaudière P265 GH :

**Acier :** L'acier est un alliage de fer contenant moins de 2 % de carbone. Il peut être répertorié selon cette teneur en carbone. Un acier à haute teneur en carbone sera employé pour sa grande dureté, alors qu'un acier dont la part sera plus faible permettra un travail plus facile, sera plus malléable



### Isolation thermique :

Désigne l'ensemble des techniques mises en œuvre pour limiter les transferts de chaleur entre un milieu chaud et un milieu froid. On retrouve de l'isolation thermique dans :

- le bâtiment (diminution des besoins énergétiques des habitations) ;
- l'industrie (protection contre de grandes sources de chaleur : four) ;
- l'automobile

En thermique, un isolant thermique est un matériau ayant une faible conductivité thermique. Il permet d'assurer une bonne isolation thermique en évitant les fuites de chaleur (refroidissement) ou l'entrée de la chaleur. Une isolation thermique très performante se traduit par l'absence de ponts thermiques et l'utilisation d'un isolant épais, L'isolation thermique est un des investissements d'économie d'énergie les plus rentables, notamment dans la construction neuve. On construit ainsi des fours positives en énergie, qui ne nécessitent plus de chaudière et produisent plus d'électricité qu'elles n'en consomment.

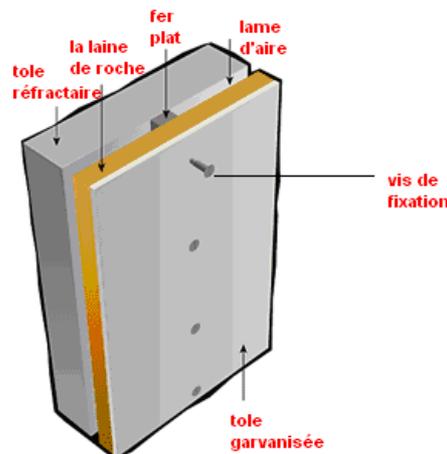
### Principaux isolants thermiques

Les principaux isolants thermiques utilisés pour l'isolation des murs et sous pentes sont, par ordre croissant de conductivité thermique :

- la mousse de polyuréthane : excellent isolant, cher, elle est moins stable dans le temps que ses concurrents,
- la laine de verre : bon marché, stable, irritante pour la peau lors de la pose, elle est proposée en panneaux ou en rouleaux,
- la laine de roche : semblable à la laine de verre mais moins désagréable à poser, elle ne fond pas au contact de la flamme.
- la perlite : Roche d'origine volcanique.
- Les mousses de polymère :

*Polystyrène expansé* : il présente les avantages des polymères et de l'air. Léger, rigide, fragile, facile à découper, il doit être protégé des rongeurs, ne nécessite pas de pare vapeur. Existe en plaques incompressibles pour l'isolation des dalles flottantes.

*Polystyrène extrudé* (styrodur, depron)



Il y a plusieurs isolantes mais on a défini les plus important dans le domaine industriel et parmi ces derniers on a choisi la laine de roche pour notre isolation de four qu'on va fabriqué a cause de leur faible conductivité thermique et la température limite d'emploi jusqu'à 700°c.

### La laine de roche

Réalisée à base de roche basaltique. Son processus de fabrication consiste à faire fondre et à fibre la roche, jusqu'à l'obtention d'un matelas de laines enchevêtrées qui emprisonnent l'air. Elle se présente sous la forme de rouleaux ou de panneaux et est utilisée pour l'isolation des combles, des cloisons, des bardages et des planchers.

Caractéristiques :

- Très bonne qualité d'isolations thermique et acoustique (meilleur isolant phonique que la laine de verre).
- Perméabilité à la vapeur d'eau.
- L'un des isolants les moins chers du marché.
- Bon comportement au feu.

Application :

- Equipements en général
- Canalisation de grand diamètre
- Fours
- Chaudières
- Transport de fluides
- Construction navale



on a au niveau de la porte une source des fuites et pour une isolation parfaite il faut mettre des joints d'étanchéité, qu'est aptitude du paroi à ne pas laisser l'eau, gaz, vapeur etc..... sur une façade constituée d'éléments pré fabriqués, des dispositions spéciales permettant d'assurer l'étanchéité sont placés au niveau des joints.

Un joint est un dispositif assurant l'étanchéité évitant les fuites de le fluide à un raccord.

La plupart du temps, le joint est une pièce de caoutchouc ou polymère, il y a aussi des joints métalliques mais la chose la plus importante ce que le matériau de joint doit permettre de résister à la pression et à la température.

C'est pour ça on a cherché d'un matériau qui résiste une grande température on a trouvé que les fibres céramiques réfractaires sont des fibres conçues pour des applications dépassant 800°C.

**Caractéristiques générales :**

- Excellente tenue à la chaleur
- Faible conductivité thermique
- Faible capacité calorifique
- Résistance au choc thermique

#### Application

- Calorifugeage amovible des turbines à gaz et à vapeur
- Isolation haute température de flexibles
- Joints de fours
- Système de protection incendie
- Joints de dilatation
- Joints haute température
- Revêtement de cheminées et d'équipements d'incinération

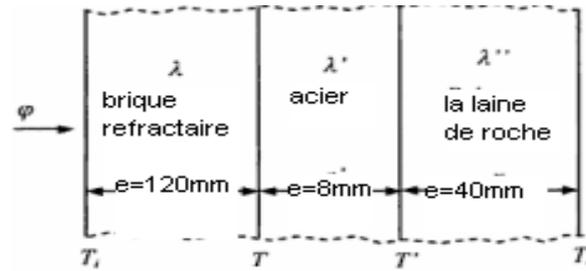


#### Fixation des briques et fibres céramiques

Pour la fixation de la brique réfractaire il y a deux méthodes soit en ciment réfractaire soit en mastic réfractaire la différence entre les deux c'est que la première a une mauvaise élasticité a cause de problème de dilatation et allongement entre les briques ce dernier se détache des murs sous les cas des hautes températures c'est pour ça on a choisi le mastic réfractaire.

Le mastic réfractaire est un matériau de première monte et de réparation a une tenue en température 1300 °c et une température de mise en œuvre +5°c, excellente adhérence sur fonte, ciment, brique réfractaire, acier et inox .sèche a l'air et durcit sous l'action de la température, pour devenir un véritable granit.

Pour choisir le matériau on a basé sur la conductivité thermique et le coefficient de dilatation de chaque matériau qui sont faibles et pour montrer qu'il est correcte on doit faire un calcul thermique.



Les caractéristiques thermiques de chaque matériau sont :

Brique réfractaire :

$$\lambda = 0,1 \text{ w/m.k}$$

$$e = 120\text{mm}$$

Tôle d'acier :

$$\lambda = 43 \text{ w/m.k}$$

$$e = 8\text{mm}$$

La laine de roche :

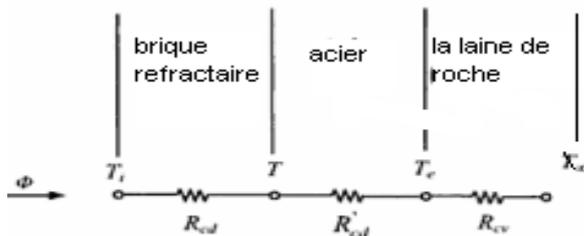
$$\lambda = 0,09 \text{ w/m.k}$$

$$e = 40\text{mm}$$

Pour calculer le flux thermique on doit calculer la résistance thermique de chaque matériau d'après la relation suivante :

On le schéma électrique suivante :

$$T_1 - T_4 = \left( \frac{e_A}{\lambda_A S} + \frac{e_B}{\lambda_B S} + \frac{e_C}{\lambda_C S} \right) \Phi = (R_{thA} + R_{thB} + R_{thC}) \Phi$$



Calcul de flux thermique

$$T_1 - T_4 = (R_{thA} + R_{thB} + R_{thC}) \Phi$$

Avec  $T_1 = T$  intérieure =  $920^\circ\text{C} = 1193,15 \text{ K}$

$T_4 = T$  extérieure =  $25^\circ\text{C} = 298,15 \text{ K}$

$$R \leftrightarrow R_{thc} = \frac{e}{\lambda S}$$

Avec  $S = 3 \times 2 = 6\text{m}^2$

Donc 
$$\begin{aligned} \text{Req} &= 1/S (e_1/\lambda_1 + e_2/\lambda_2 + e_3/\lambda_3) \\ &= 1/6 (0,12/0,1 + 0,008/43 + 0,04/0,09) \\ &= 0,2741 \text{ W/K} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Phi &= T_1 - T_4 / \text{Req} \\ &= (1193,15 \text{ K} - 298,15 \text{ K}) / 0,2741 \\ &= 3265,2316 \text{ W} \end{aligned}$$

Enfin la surface de contact entre chaque matériau est constante ce qui implique un flux surfacique  $\varphi$  constant.

$$\varphi = \Phi / S$$

$$\begin{aligned} \varphi &= 3265,2316 / 6 \\ &= 544,2052 \text{ W/m}^2 \end{aligned}$$

On a aussi

$$\begin{aligned} \varphi &= -\lambda_1/e_1 (T_2 - T_1) = -\lambda_2/e_2 (T_2 - T_3) = -\lambda_3/e_3 (T_3 - T_4) \\ T_2 &= T_1 - (\varphi e_1/\lambda_1) \\ &= 1193,15 \text{ K} - (544,2052 * 0,12) / 0,1 \\ &= 540,1037 \text{ K} \\ &= 266,9537^\circ\text{C} \end{aligned}$$

Avec T2 la température de la surface de contact de l'acier avec la brique réfractaire

$$\begin{aligned} T_3 &= T_2 - (\varphi e_2/\lambda_2) \\ &= 540,1037 \text{ K} - (544,2052 * 0,008) / 43 \\ &= 540 \text{ K} \\ &= 266,87^\circ\text{C} \end{aligned}$$

Avec T3 la température de la surface de contact de l'acier avec la laine de roche qui a une température limite d'emploi jusqu'à 700 °C

**NB :**

En fin on peut déduire que on a bien choisir les matériaux de fabrication de four.

## Le calcul RDM ::

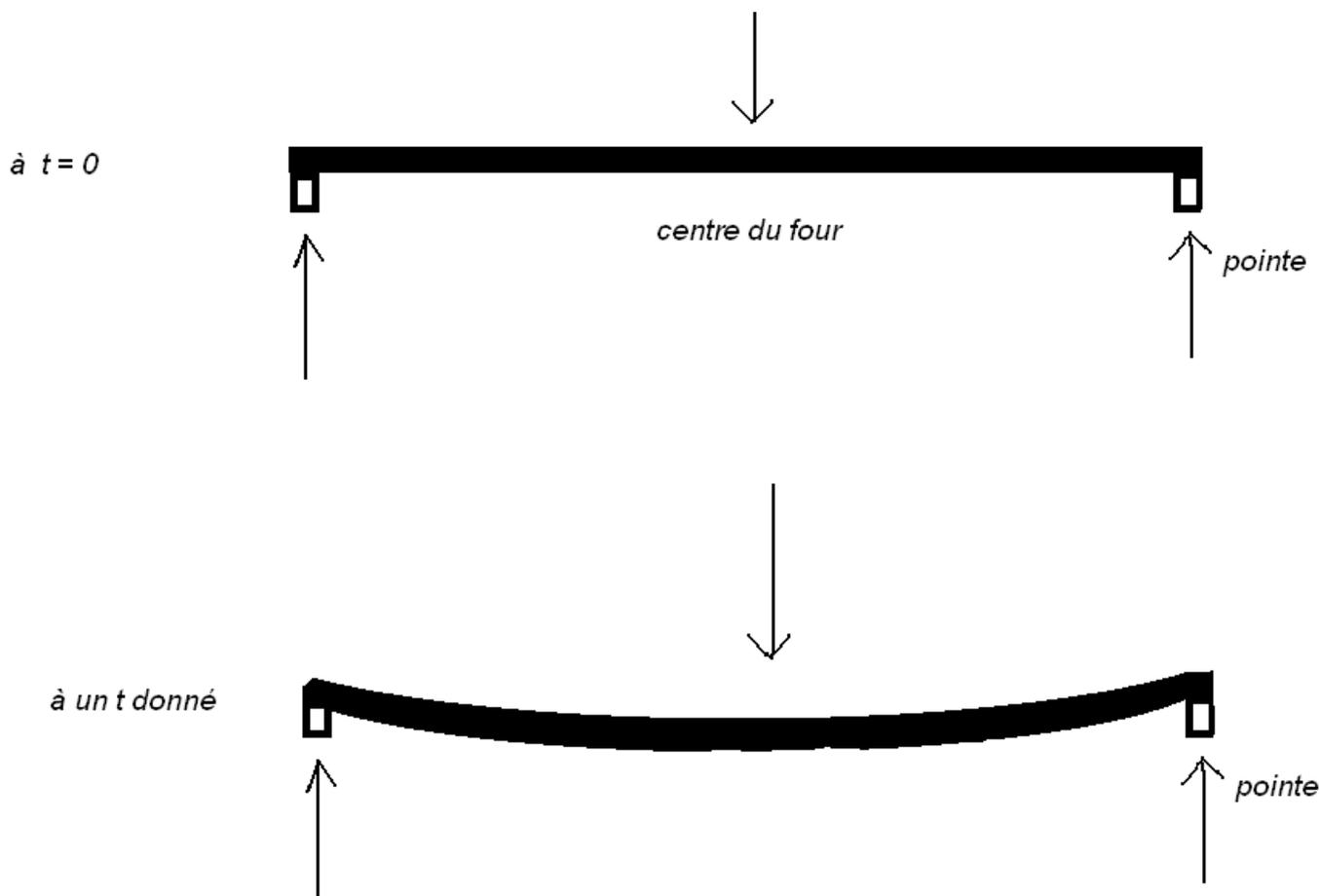
La forme du four nous amène à identifier les différentes contraintes subies par :

- ✓ les parois du four.
- ✓ les points sur lesquelles le four est disposé et par la suite calculer les déformations qu'elles seront au cours du temps

### I- fixation du four :

#### 1-étude préliminaire :

Pour rendre le four statique par rapport au sol, on a pensé à le mettre sur 4 pointes, cette solution à donner lieu à un problème de flexion au niveau du centre du four à cause du poids des pièces traiter .



2- solution finale :

La solution qu'on a opté est de mettre le four sur des barres de la forme « U » afin de distribuer les contraintes de poids comme suit :

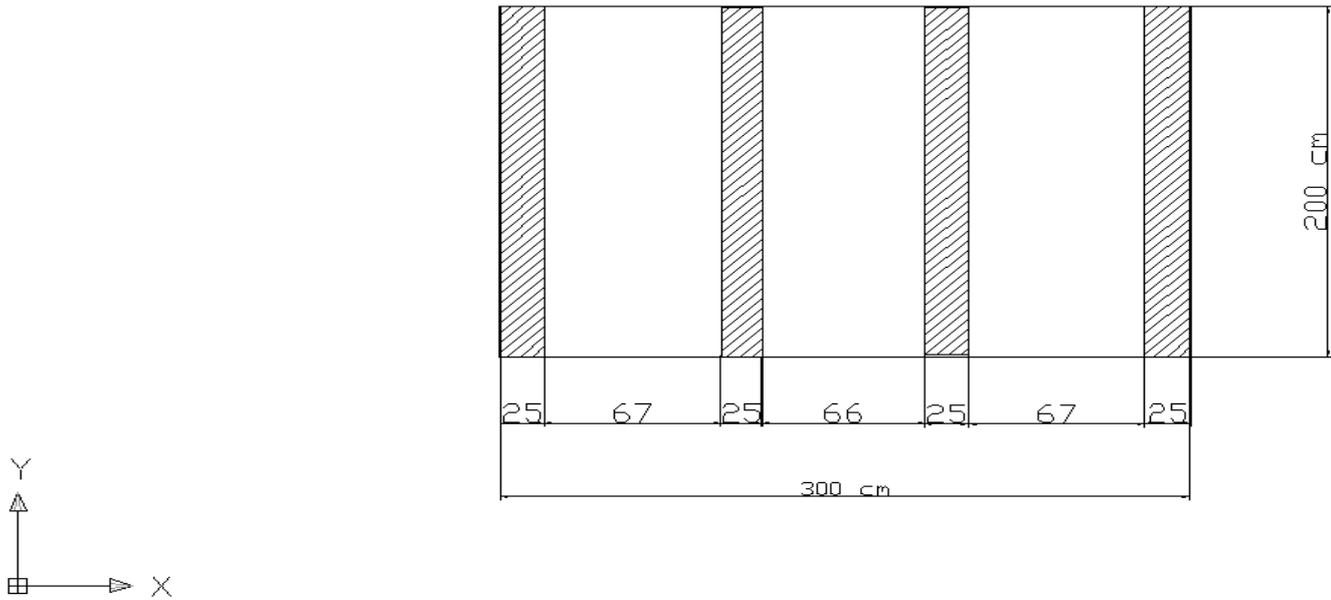
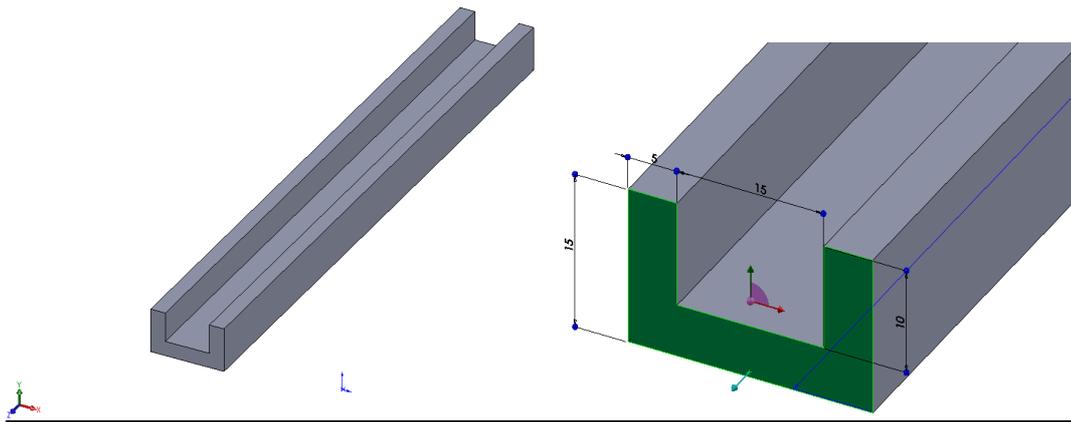
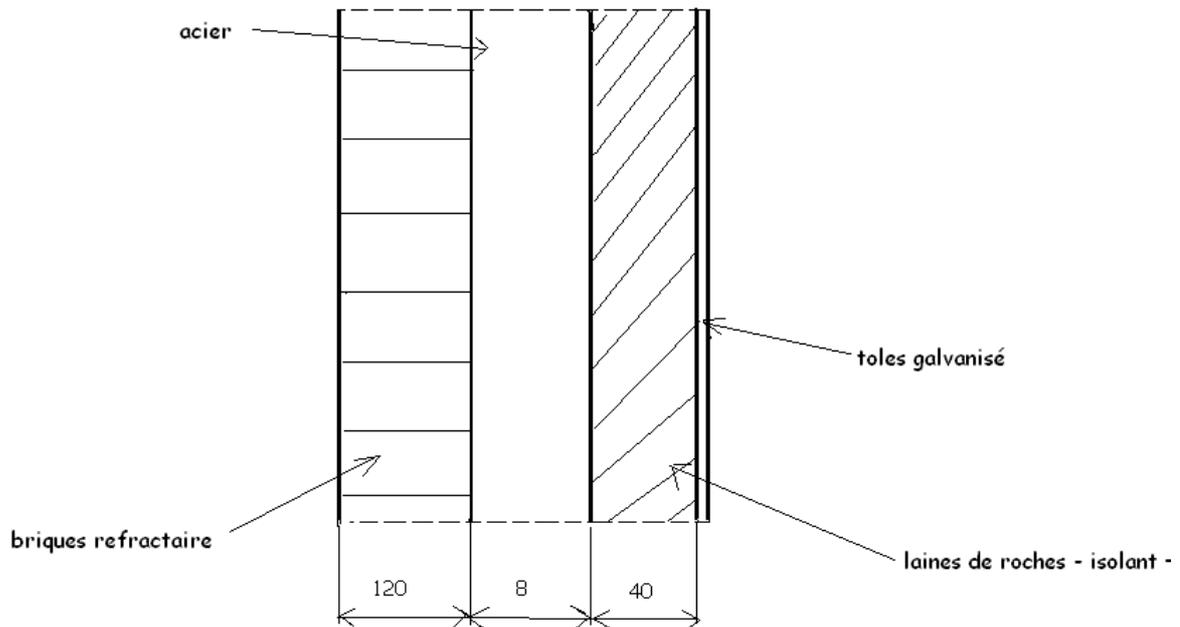


Schéma de la barre " U " utilise :



## II- efforts sur les parois du four :

Le flux thermiques des résistances électriques aura des effets sur les parois du four :



On a la relation :  $\epsilon_x = \epsilon_y = \epsilon_z = \alpha \times \Delta T$

### 1- pour les briques réfractaires :

on s'intéressera plus au briques réfractaires car ils ont en contacte directe avec le rayonnement imposé par les résistances électriques.

❖ Suivant l'axe  $o\vec{x}$  :

$$\epsilon_{br} = \alpha_{br} \times \Delta T$$

$$\frac{\Delta l_x}{l_x} = \alpha_{br} \times \Delta T$$

$$\Delta l_x = \alpha_{br} \times \Delta T \times l_x$$

❖ Suivant l'axe  $o\vec{y}$  :

$$\varepsilon_{br} = \alpha_{br} \times \Delta T$$

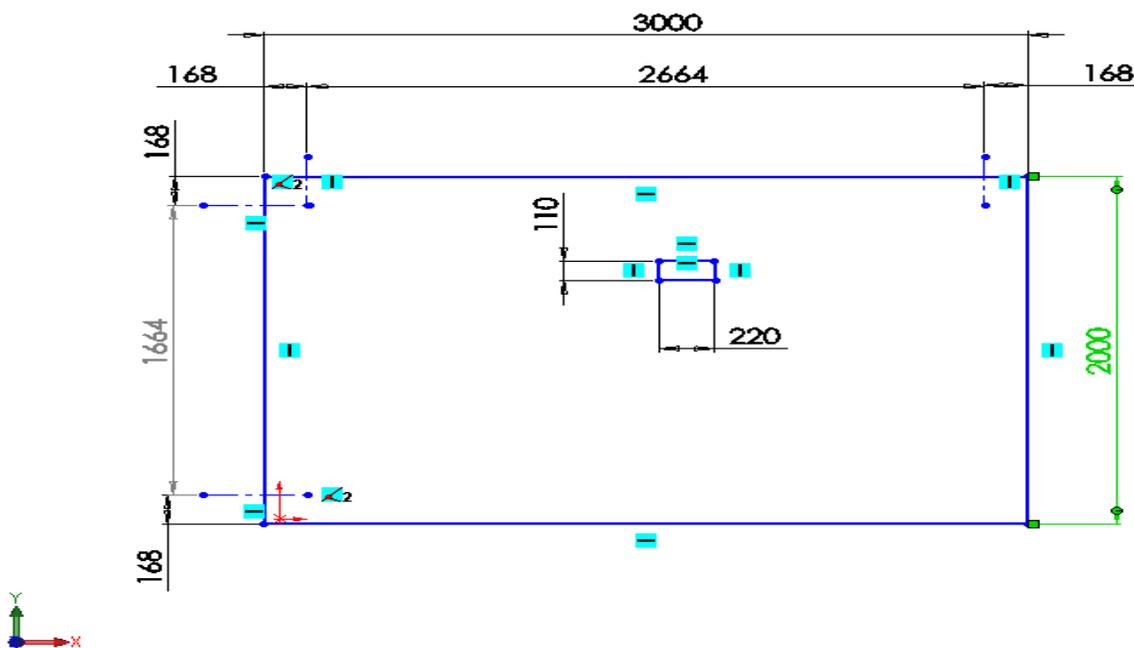
$$\frac{\Delta l_y}{l_y} = \alpha_{br} \times \Delta T$$

$$\Delta l_y = \alpha_{br} \times \Delta T \times l_y$$

Avec :

$$l_x = 220\text{mm} = 0.22\text{m}$$

$$l_y = 110\text{mm} = 0.11\text{m}$$



○ Déplacement de chaque brique :

$$\Delta l_x = \alpha_{br} \times \Delta T \times l_x$$

$$= 8,5 \times (920 - 266,9537) \times 0,22 \times 10^{-6}$$

$$= 1221.196 \times 10^{-6} \text{m}$$

$$\begin{aligned}\Delta l_y &= \alpha_{br} \times \Delta T \times l_y \\ &= 8,5 \times (920 - 266,9537) \times 0,11 \times 10^{-6} \\ &= 610,598 \times 10^{-6} m\end{aligned}$$

Nombre de briques :

$$\text{Suivant l'axe } o\vec{x} : \frac{2664}{220} = 12,1$$

$$\text{Suivant l'axe } o\vec{y} : \frac{1664}{110} = 15,13$$

o Pour les murs en général :

❖ Suivant l'axe  $o\vec{x}$  :

$$\Delta L_{o\vec{x}} = 12,10 \times 1221,196 \times 10^{-6} m = 14,77 mm$$

❖ Suivant l'axe  $o\vec{y}$  :

$$\Delta L_{o\vec{y}} = 15,13 \times 610,598 \times 10^{-6} m = 09,23 mm$$

**Conclusions :** - on doit laisser un jeu de 8 mm de chaque coté suivant l'axe  $o\vec{x}$   
- on doit laisser un jeu de 5.5 mm de chaque coté suivant l'axe  $o\vec{y}$

**NB :**

- On ne considère pas les déplacements suivant l'axe  $o\vec{z}$  car ils n'auront pas des effets sur la structure du four.
- On a ajoute 1/10 aux jeux laisser entre les couches comme un coefficient de sécurité.

2-Pour l'acier :

$$L = 2,664 m (o\vec{x}) \quad \text{On a :}$$

$$l = 1.664 m (o\vec{y})$$

$$\begin{aligned}\Delta L_x &= \alpha_{ac} \times \Delta T \times L = \alpha_{ac} \times (T_3 - T_a) \times L \\ &= 1.2 \times 10^{-5} (266,87 - 25) \times 2,664 \\ &= 7.73 mm\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta L_y (acier) &= \alpha_{ac} \times \Delta T \times l = \alpha_{ac} \times (T_3 - T_a) \times l \\ &= 1.2 \times 10^{-5} (266,87 - 25) \times 1,664 \\ &= 4.82 mm\end{aligned}$$

---

---

## Etude électrique ::

Introduction :

L'effet Joule est un effet thermique qui se produit lors du passage du courant électrique dans un conducteur. Il se manifeste par une augmentation de l'énergie interne du conducteur et généralement de sa température.

L'énergie dissipée sous forme de chaleur entre deux moments  $t_1$  et  $t_2$  par un dipôle de résistance  $R$  traversé par un courant d'intensité s'écrit :

$$W = R \int_{t_1}^{t_2} i^2 dt$$

Cette effet de Joule sera la méthode utilise pour le chauffage du four grâce a des résistances électriques.

Hypothèse du problème:

On a le flux :

$$\phi = \frac{T_1 - T_4}{\frac{e_1}{\lambda_1} + \frac{e_2}{\lambda_2} + \frac{e_3}{\lambda_3}} \times S = 3265,2316 \text{ W}$$

Avec : T : température      e : épaisseur

$\lambda$  : conductivité thermique (w/m.k)

S : surface normale a la direction du flux

Sachant que :  $\phi \times S = \dot{Q}$       et       $\dot{Q}$  : flux de chaleur       $\phi$  : Débit de flux de chaleur

On a : Brique réfractaire :  $\lambda_1 = 0,1 \text{ w/m.k}$

Tôle d'acier :  $\lambda_2 = 43 \text{ w/m.k}$

La laine de roche :  $\lambda_3 = 0,09 \text{ w/m.k}$

On détermine l'énergie électrique nécessaire au fonctionnement du four.

On a : Flux émis par les résistances = flux rayonne = flux conductif .

Donc la puissance du four =  $\dot{Q}$

$$P = \sqrt{3}UI$$

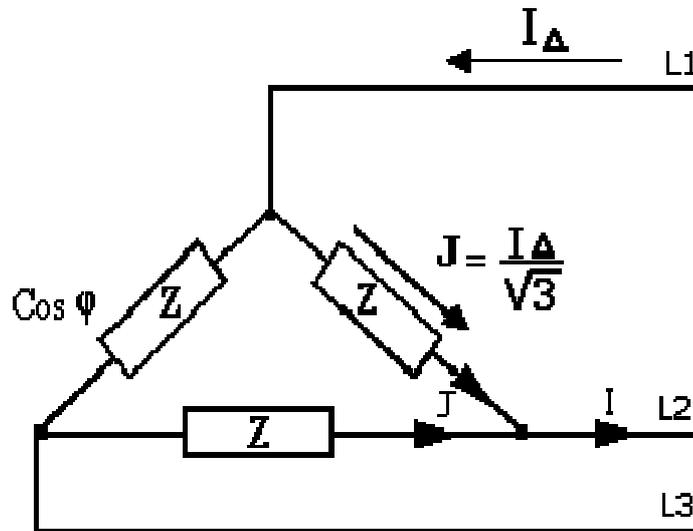
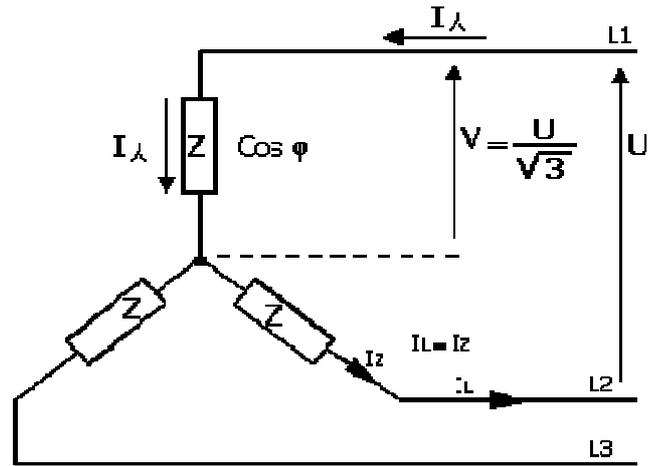
$$P = 3Ri^2 = \frac{3U^2}{R}$$

(Charge résistive :  $\cos \varphi = 1$  car  $\varphi = 0$       avec :  $\varphi$  déphasage courant – tension )

Et :  $U = \sqrt{3}V$

U : tension composée.

V : tension simple.



Montage étoile  
triangle

Montage

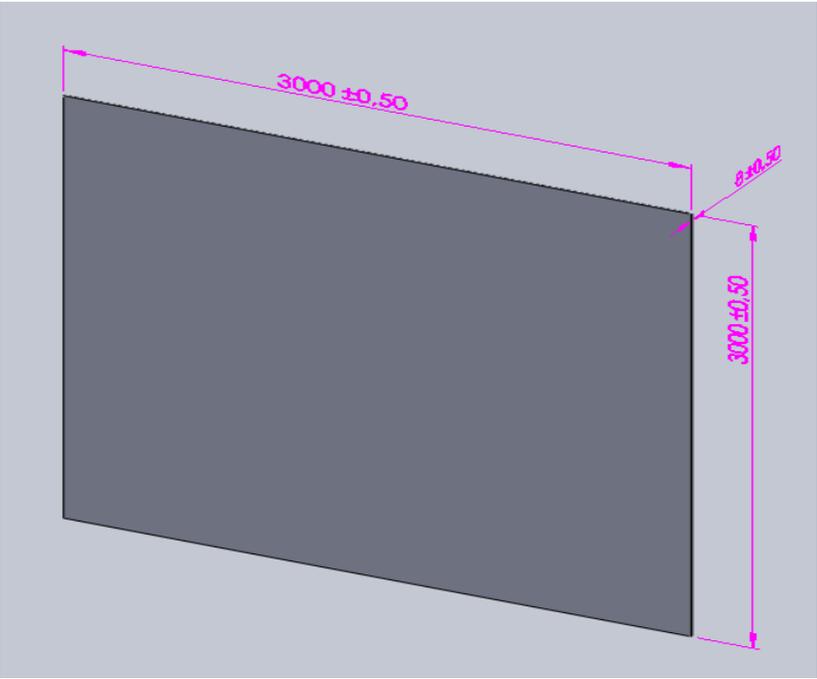
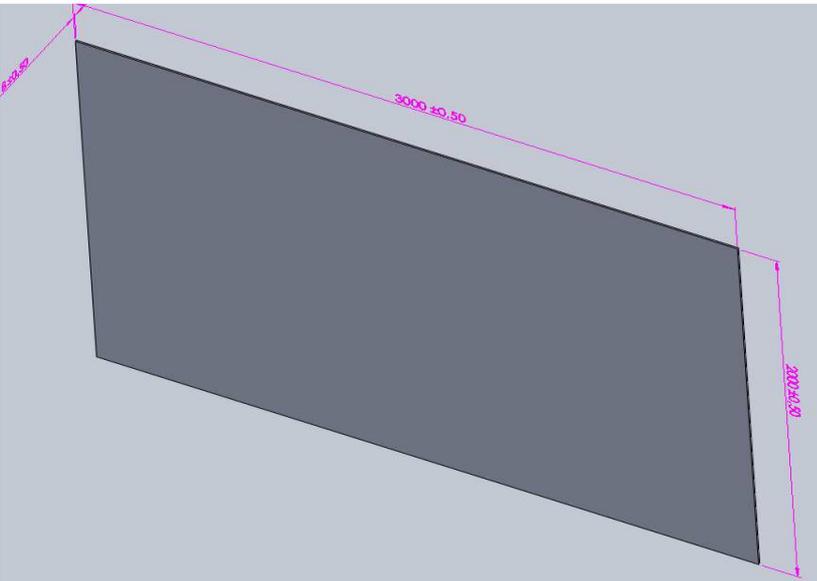
Et par la suite :  $P = \frac{3U^2}{R}$  et on a :  $P = \phi$  ( car il n'y a pas de circulation de l'air a l'intérieur de four )

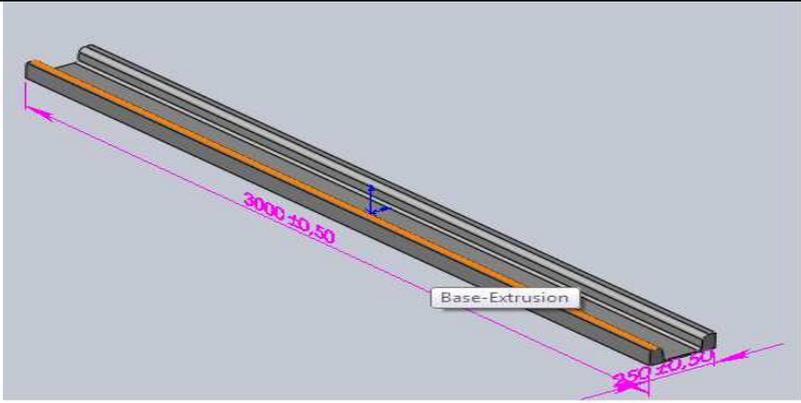
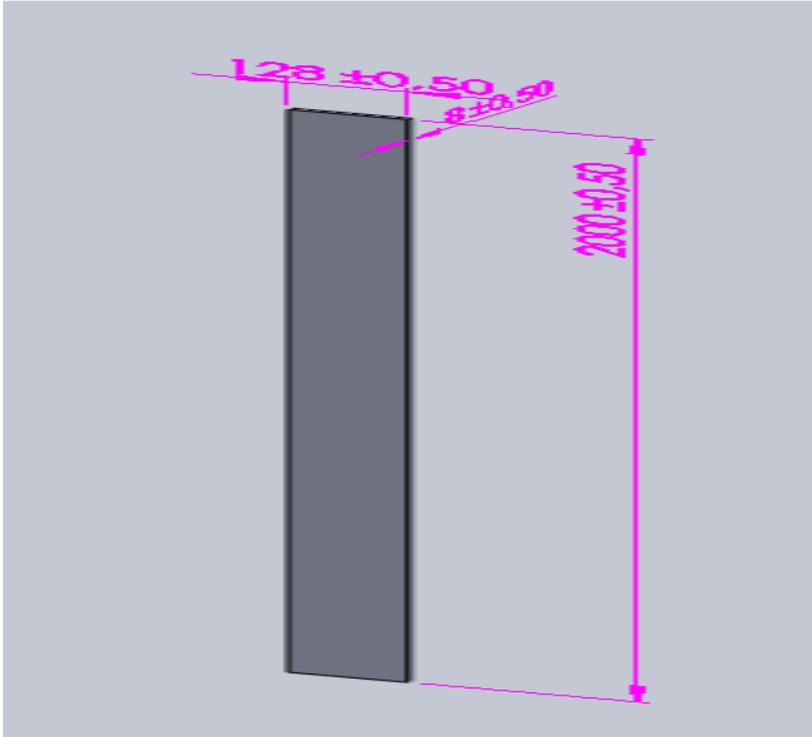
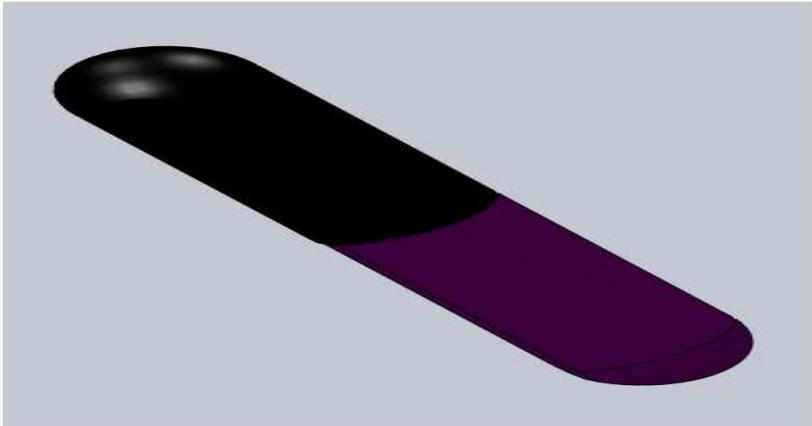
$$\text{Donc : } R = \frac{3U^2}{\phi}$$

La valeur de la tension composée du secteur où le four sera installé est : 220 V

$$\text{Donc : } R = \frac{3U^2}{\phi} = \frac{3 \times 220^2}{3265,2316} = 44,47\Omega$$

**Conception sur Solidworks 2010 :**

Pièces	Présentation	Nombre
Tôle chaudière P265 GH		2
		3

UPN 250 100		4
Cadre des portes		2
paumelle		4 - commande- sur



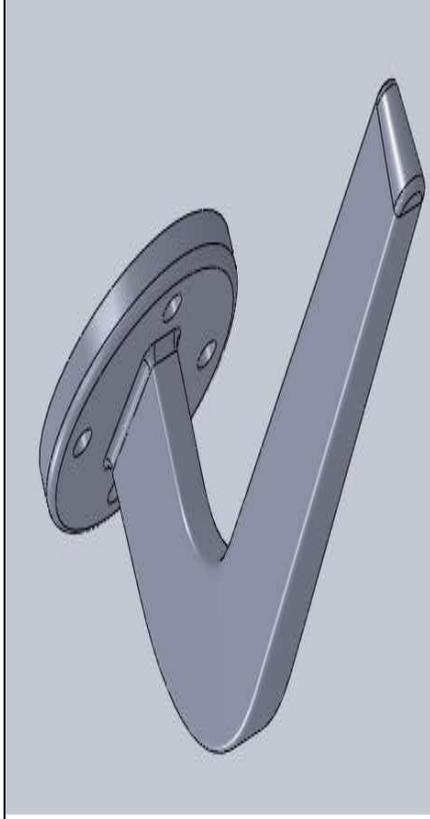
1 – sur commande -

Suivant plan - annexe

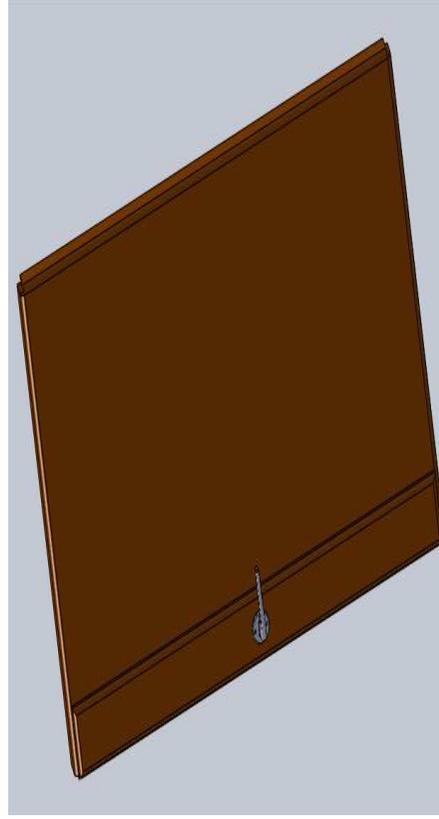
Suivant plan – annexe

-

-



poignée

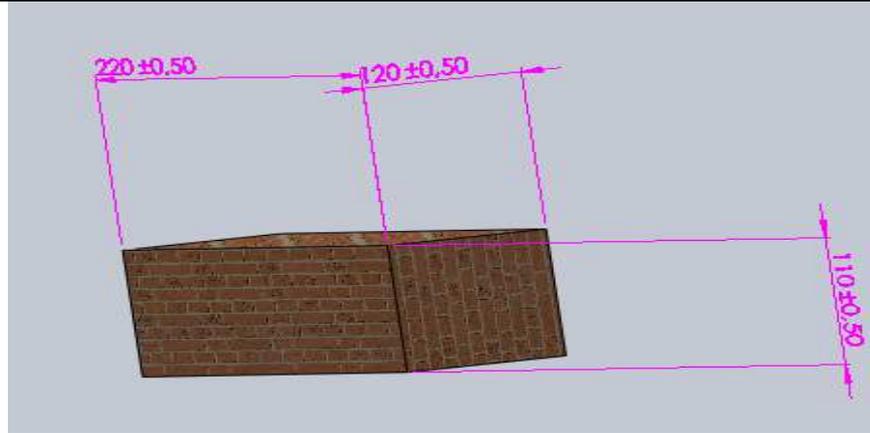


Porte droite

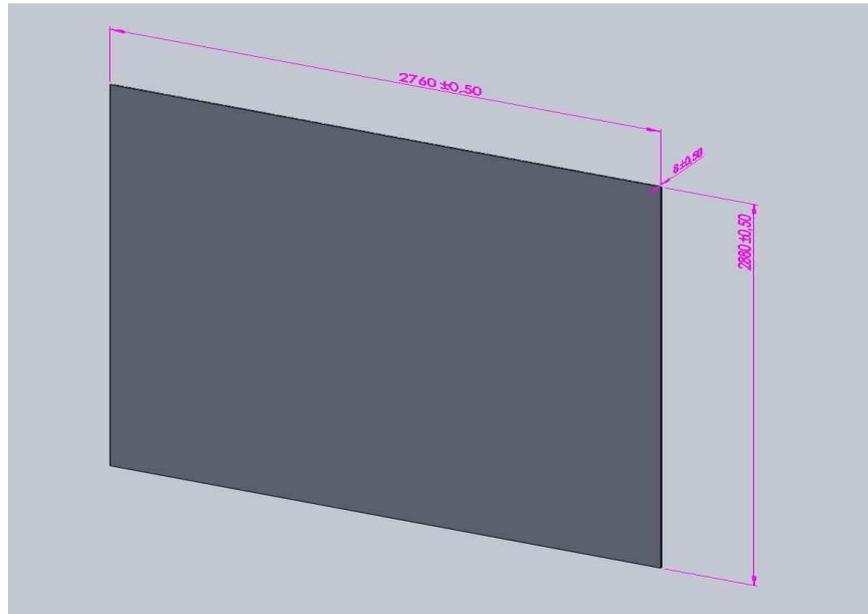


-Porte gauche

Brique réfractaire



Tôle chaudière P265 GH



1634 - SUR  
commande - 1

## Étude économique ::

Pour fabriquer le four on a besoin de 4 tôles chaudières

Les dimensions de la tôle c'est  $6*2 \text{ m}^2$

### Tôle P265 GH

La masse volumique  $\rho = 800\text{kg}/\text{m}^3$

$$6*2*0,008*8000= 768 \text{ kg}$$

Pour 5 tôles

Le poids total  $5*768= 3840 \text{ kg}$

Prix d'un kilogramme 12dh/kg

$$3840*12= 46080\text{DH}$$

### Pour fixer le four on a besoin de UPN250\*100 et de 3 m

Poids de UPN250\*100 c'est  $42,23\text{kg}/\text{m}$

donc  $42,23*3=126,69\text{kg}$  pour chaque UPN

le poids total  $126,69*4=506,76\text{kg}$

prix 21dh/kg

$$21*506,76=10641,96\text{DH}$$

Total :  $10641,96+46080=56721\text{DH}$

pour la consommation de la soudure 25% de prix de matière première .

$$56721 * 25\%=14180,49\text{DH}$$

### les pièces fini a acheté

- paumelle pour les portes
- nombre 2
- poignée
- nombre 1

Le prix approximatif de l'achat de la matière première:

## Étude économique ::

Prix total 70901

## Gamme de fabrication ::

### découpage des tôles (au plasma)

découpage de :

3 tôles de (3000\*2000\*8)

30min / tôle

le prix de machine 300dh / h

la main d'œuvre 100 dh / h

le temps de préparation c'est 1h30min

$250+550=750DH$

2 tôles de (3000\*3000)

Découpage de 2 tôles de 3000\*2000

découpage de 2 tôles de 3000\*1000

découpage de 2 tôles de 2760\*2880

$600+200=800dh$

soudage :

Soudage de tôle(3000\*2000) avec (3000\*1000) pour compléter la tôle qu'on veut

le temps de préparation 2h

$100*2= 200dh$

$$\underline{750+ 800 + 200= 1750dh}$$

les portes :

cisaillage :

on va cisailler les deux tôles de porte suivant le module de dessin

le temps de cisaillage :1h

le prix de la machine 50dh/ h

Pliage

on va plier les deux tôle suivant le plan de dessin

la temps de pliage : 4h

le prix de la machine 50dh/h

$$\underline{(5*50)+(5*100)= 750dh}$$

Assemblage

pour assembler les tôles on a utiliser la soudure de type bout a bout :

montage avec pointage

Le temps de préparation : 40h

$$40*100=4000DH$$

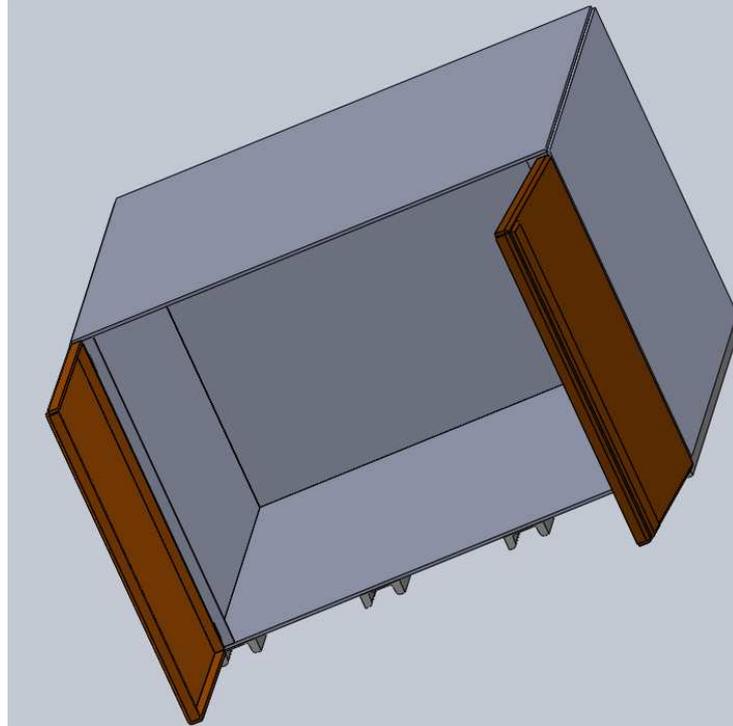
soudage

Pour le soudage final de four

Le temps de soudage : 45h

$45*100=45000DH$

$$\underline{\text{TOTAL } 53050DH}$$



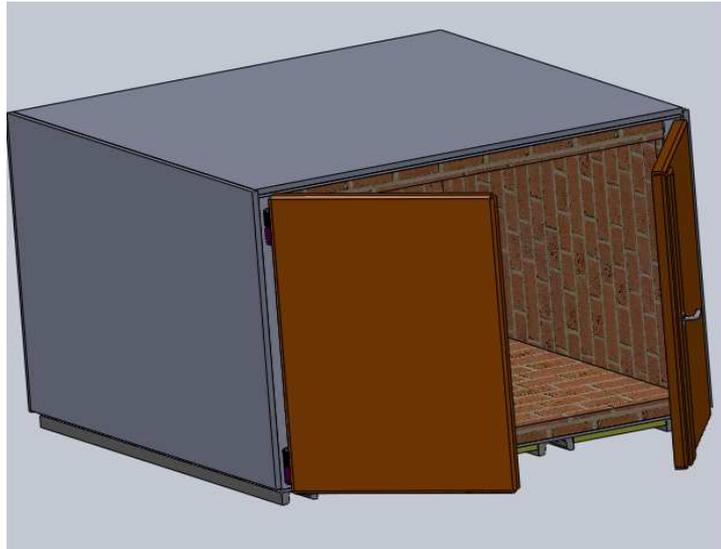
### [L'installation des briques](#)

pour poser les briques dans le four on a consulter un fournisseur de CAM " SEDRIC"

on a su que le prix pour installer les briques c'est 36dh/ brique

et d'après les calculs on a trouver que le nombre de brique c'est 1634

Donc le prix de l'installation c'est 58824DH



calorifuge

pour bien isoler le four on besoin de 45 m<sup>2</sup> de la laine de roche

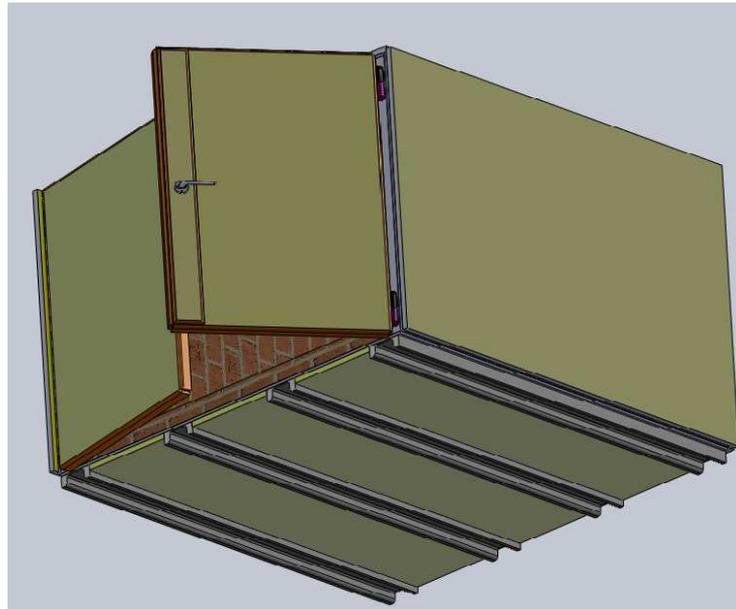
le prix de la laine de roche: 150dh/m<sup>2</sup>

donc  $150 \times 45 = 6750DH$

le temps de préparation 45h

le prix de préparation 45000DH

*Le prix total  $51750 + (51750 \times 10\%) = 56925DH$*



L'installation électrique :

Pour obtenir une température varie entre 350-920 °C et un chauffage croissant suivant un maintien de température et refroidissement avec palier suivant le cycle de traitement on a contacté un fournisseur on a su que :

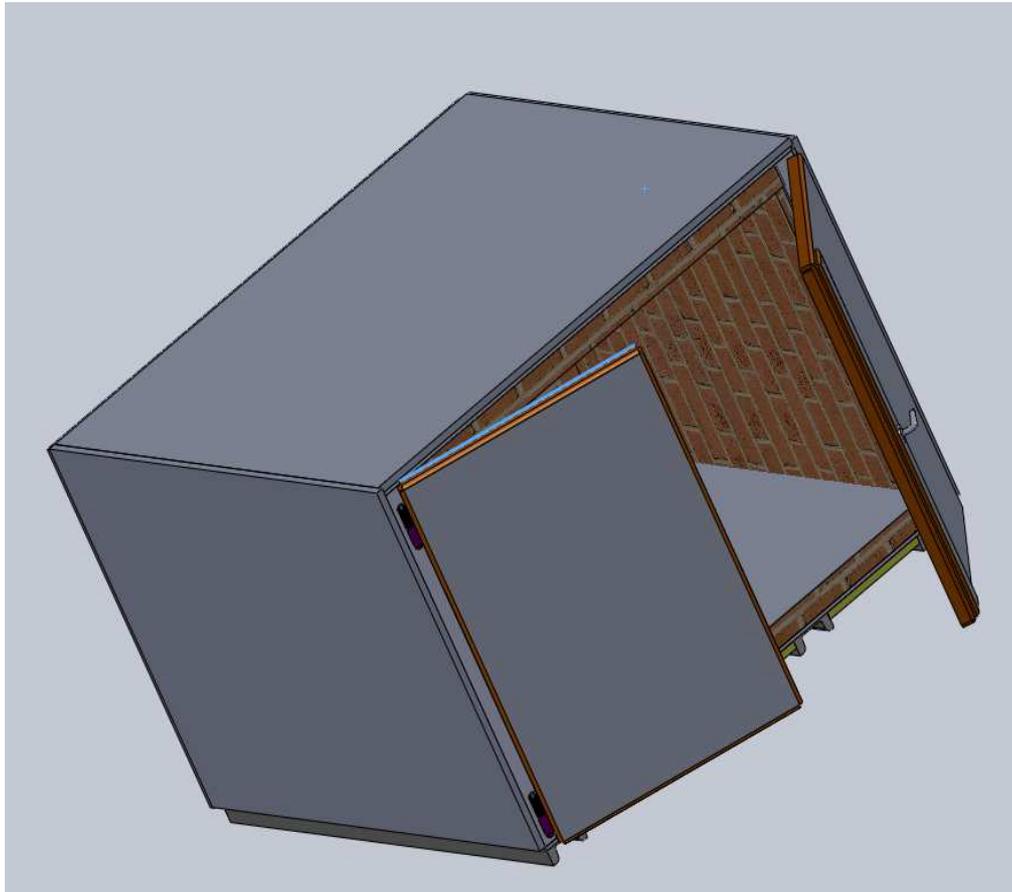
Le prix : 40000DH

Le prix total du four : 279700 DH+X

X : Le prix de fibre de céramique

Assemblage final :

Le four pour la détection des pièces mécano soudées



## Conclusion ::

Ce projet au sein des Chantiers et ateliers du Maroc nous a permis d'affronter le domaine industriel car nous avons été amenés à contacter des fournisseurs et des sous-traitants pour adapter notre conception théorique à la réalité industrielle. Cette projection n'était pas facile du tout, surtout que notre étude théorique réalisée au début de notre projet a été révisée tant de fois jusqu'à la conception d'un four qui s'adapte essentiellement à la technologie pouvant la trouver sur le marché surtout le marché national afin de répondre au volet économique de notre projet.

# Annexe ::