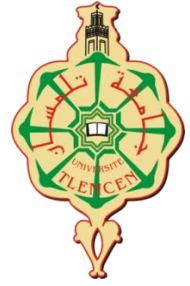




République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche  
Scientifique



UNIVERSITÉ ABOU BEKR BELKAID DE TLEMEN  
FACULTÉ DE TECHNOLOGIE  
DÉPARTEMENT GENIE ELECTRIQUE ET ELECTRONIQUE  
FILIERE GÉNIE INDUSTRIEL

## **Projet de Fin d'Etudes**

### **Master 2 : Génie Industriel**

# **Mise en œuvre d'un outil de la qualité pour l'amélioration des performances d'une briqueterie**

Soutenu le 12 juin 2017 devant le jury composé de :

<b>Président :</b>	M. Hadj Abdelkader Amine	MCA à UABB Tlemcen
<b>Encadrant :</b>	M. Kahouadji Housseyn	MAB à UABB Tlemcen
<b>Examineur :</b>	M. Bensmaine Abderrahmane	MCB à Tlemcen
<b>Examineur :</b>	M. Mekamcha Khalid	MAA à UABB Tlemcen

Présenté par :

- ❖ **Matallah Issam**
- ❖ **Benhammou Sidi Mohammed**

Année académique : 2016-2017

# Remerciements

Après avoir rendu grâce à Dieu, c'est un devoir attrayant d'exprimer en quelques phrases l'estime et la reconnaissance que nous devons à tous ceux qui ont contribué directement ou indirectement à l'accomplissement de ce travail.

A l'entreprise accueillante « Briqueterie TAFNA », où nous avons effectué le stage, nous nous adressons avec un remerciement particulier ; à la direction générale et à Mr Bendimred qui a agréé notre présence.

Nous exprimons toutes nos gratitude :

À notre encadrant Mr Kahouadji Housseyn pour son suivi, ses valeureuses remarques et ses conseils, qui ont aidé à une meilleure finition du mémoire.

Egalement à Mr Zemmit Mohamed notre tuteur de stage, pour son assiduité régulière avec nous et pour l'intérêt qu'il portait à notre projet.

À Monsieur Berrada Abdelkader et Mr Bouhassoun Aissa, pour leurs contributions et intégrations dans les expériences que nous avons menées.

A nos mères et nos pères, nos racines, pour toutes ces belles choses qu'ils nous ont apprises ; honnêteté, courage, patience. Pour le goût qu'ils donnent à notre existence. Ce mémoire vous est dédié.

Ne manquerons pas l'occasion pour remercier Mr Benachenhou Kamel et Mlle Fatiha membres du laboratoire Céramique Remchi pour son aide.

On est heureux d'exprimer nos remerciements aux membres du jury :

Monsieur Hadj Adbelkader Amine, pour avoir accepté de présider le présent mémoire, qu'il trouve ici l'expression de notre reconnaissance et de notre respect.

Monsieur Bensmaine Abderrahmane et Monsieur Mekamcha Khalid d'avoir accepté d'examiner ce travail, on les remercie pour leurs confiances, observations et leurs remarques pertinentes et constructives.

Nous finissons par remercier, bénir et gratifier tous ceux qui ont contribué à notre formation, y a que le bon Dieu qui Saura vous récompenser

# TABLES DES MATIERES

---

<b>INTRODUCTION GENERALE .....</b>	<b>9</b>
<b>CHAPITRE 01 : PRESENTATION DE LA BRIQUETERIE TAFNA.....</b>	<b>11</b>
<b>1. Introduction.....</b>	<b>12</b>
<b>2. Présentation de la briqueterie de la TAFNA .....</b>	<b>12</b>
<b>3. L’organigramme de l’entreprise : .....</b>	<b>14</b>
<b>4. Le procédé de fabrication : .....</b>	<b>15</b>
4.1. Carrière :.....	16
4.2. Préparation 1 :.....	17
4.3. Préparation 2.....	17
4.4. Fabrication :.....	18
<b>5. Planification de la production : .....</b>	<b>20</b>
<b>6. Approvisionnement : .....</b>	<b>20</b>
6.1. Objet :.....	20
6.2. Définitions :.....	21
6.3. Déroulement : .....	22
6.4. Enregistrement :.....	23
<b>7. La gestion du stock.....</b>	<b>24</b>
7.1. Gestion des entrées des produits achetées .....	24
7.2. Gestion des sorties des produits achetées .....	24
<b>8. La gestion de la maintenance .....</b>	<b>25</b>
8.1. Définitions .....	25
8.2. Logiciel.....	25
8.2.1. Gestion des demandes d’interventions .....	25
8.2.2. Gestion automatique des préventifs .....	25
8.3. Création IP :.....	26
8.4. Mode de fonctionnement de la maintenance préventive .....	27
8.5. Mode de fonctionnement de la maintenance curative : .....	28
<b>9. Système qualité.....</b>	<b>29</b>
9.1. Description du SMQ de la TAFNA .....	29
9.1.1. Description des processus .....	29
9.1.2. Exigences relatives à la documentation.....	29
9.1.2.1. Généralités :.....	29
9.1.2.2. Manuel qualité .....	29
9.1.2.3. Maitrise des documents et enregistrements .....	30

9.2.	Management des ressources .....	30
9.2.1.	Mise à disposition des ressources.....	30
9.2.2.	Ressources humaines.....	30
9.3.	Infrastructure .....	30
9.4.	Environnement de travail.....	30
9.5.	Amélioration.....	31
9.5.1.	Amélioration continue.....	31
9.5.2.	Actions .....	31
<b>10.</b>	<b>Laboratoire .....</b>	<b>31</b>
10.1.	Matériel.....	32
10.2.	Logiciel.....	33
10.3.	Les tests de laboratoire .....	34
10.3.1.	Le test du retrait.....	34
10.3.2.	Le test de résistance.....	34
10.4.	Le rôle de laboratoire dans l'amélioration de l'entreprise.....	35
<b>11.</b>	<b>Conclusion.....</b>	<b>36</b>
<b>CHAPITRE 02 ETAT DE L'ART ET PRESENTATION DE LA METHODE DE TAGUCHI.....</b>		<b>38</b>
<b>1.</b>	<b>Introduction.....</b>	<b>39</b>
<b>2.</b>	<b>Etat de l'art : (plan d'expériences).....</b>	<b>39</b>
<b>3.</b>	<b>Généralités sur les plans d'expériences.....</b>	<b>40</b>
3.1	Qu'est-ce qu'un plan d'expérience.....	40
3.2	Vocabulaire de base des plans d'expérience .....	41
3.3	Pourquoi faire des plans d'expériences .....	41
3.4	Domaines d'application.....	41
3.5	L'utilité du plan d'expérience .....	42
3.6	Plans complets .....	42
3.7	Plan réduit.....	43
3.7.1	Plan de Box et Hunter .....	43
3.7.2	Plan de Plackett et Burman .....	44
3.7.3	Plans de Rechtschaffner .....	45
3.8	La modélisation mathématique .....	45
3.9	Analyse et résultat .....	46
3.9.1	Acquisition progressive des résultats .....	46
3.9.2	Analyse global des résultats .....	47
3.9.3	Analyse mathématique des résultats .....	47
<b>4</b>	<b>La méthode de Taguchi .....</b>	<b>48</b>
4.1	Naissance de l'approche Taguchi .....	49
4.2	L'apport de l'approche de Taguchi par rapport aux méthodes traditionnelles .....	49
4.3	Conditions d'application de la méthode de Taguchi .....	51
4.4	Les étapes d'application de la méthode de Taguchi .....	51

<b>5 Conclusion .....</b>	<b>53</b>
<b>CHAPITRE 03 : PROBLEMATIQUE ET APPROCHE DE RESOLUTION .....</b>	<b>55</b>
<b>1. Introduction : .....</b>	<b>56</b>
<b>2. Problématique : .....</b>	<b>56</b>
2.1. Introduction : .....	56
2.2. Etat du fonctionnement actuel du four : .....	57
2.3. L'objectif recherché par l'automatisation du four : .....	58
2.4. Estimation de l'automatisation du four .....	58
<b>3. Approche de résolution.....</b>	<b>59</b>
3.1. Formalisation du problème .....	59
3.2. Sélection des paramètres : .....	60
3.3. Construction du plan : .....	61
3.4. Réalisation des essais.....	63
3.5. Choix de la configuration .....	67
3.6. Essai de validation : .....	86
3.7. Interprétation des résultats : .....	88
<b>4. Conclusion : .....</b>	<b>88</b>
<b>CONCLUSION GENERALE : .....</b>	<b>89</b>
<b>Annexe 1 : Quelques matrices d'expériences de Taguchi .....</b>	<b>90</b>
<b>Annexe 2 : Exemple de calcul de la configuration optimale .....</b>	<b>98</b>
<b>Annexe 3 : Le cœur noir .....</b>	<b>100</b>
<b>Annexe 4 : Diagramme d'Ishikawa .....</b>	<b>106</b>
<b>LEXIQUE : .....</b>	<b>108</b>
<b>RECHERCHE BIBLIOGRAPHIES .....</b>	<b>109</b>

# LISTE DES FIGURES

## Chapitre 01

---

Figure 1	: l'organigramme de la briqueterie TAFNA.....	14
Figure 2	: le procédé de fabrication des briques.....	15
Figure 3	: illustration de l'extraction d'argile au niveau de carrière .....	16
Figure 4	: illustration de stockage d'argile après l'extraction. ....	16
Figure 5	: illustration de changement de granulométrie d'argile après concassage. ....	17
Figure 6	: illustration d'argile éliminée et l'argile passée après le tamisage.....	17
Figure 7	: illustration de malaxeur .....	18
Figure 8	: illustration de la sortie de la mouleuse et l'entrée au coupeur. ....	18
Figure 9	: illustration de balancelle .....	19
Figure 10	: illustration de robot empileur.....	19
Figure 11	: logigramme de l'entrée des produits achetées au magasin.....	24
Figure 12	: logigramme de la sortie des produits de magasin. ....	24
Figure 13	: la procédure suit pour la création d'une fiche d'intervention préventive. ....	26
Figure 14	: le déroulement de la maintenance préventive.....	27
Figure 15	: le déroulement de la maintenance curative.....	28
Figure 16	: illustration de tamis vibrant. ....	32
Figure 17	: illustration de mouleuse d'échantillons .....	32
Figure 18	: illustration de l'étuve .....	33
Figure 19	: illustration de four de laboratoire. ....	33
Figure 20	: illustration de l'interface de stratigraphique .....	34
Figure 21	: illustration de l'appareil de la résistance a compression. ....	35
Figure 22	: illustration des échantillons réalisés par le laboratoire. ....	35

## Chapitre 02

---

Figure 23	: le domaine du facteur.....	41
Figure 24	: la vision classique du système. ....	50
Figure 25	: la vision de Taguchi.....	51

## Chapitre 03

---

Figure 26	: Etat du fonctionnement actuel du four.....	57
Figure 27	: tableau de contrôle du four. ....	57
Figure 28	: schéma du four automatisé. ....	58
Figure 29	: illustration de refus bleu et jaune.....	60
Figure 30	: Illustration de la récupération des différentes argiles au niveau de la carrière.....	63
Figure 31	: illustration de balance de précision pour le laboratoire. ....	63
Figure 32	: illustration des deux argiles avec leurs refus. ....	64
Figure 33	: illustration de malaxage manuel et le versement dans la mouleuse. ....	64
Figure 34	: illustration de la coupure de boudin sorti de la mouleuse. ....	65

Figure 35 : illustration du marquage pour le calcul de retrait. ....	65
Figure 36 : illustration d'un groupe des échantillons pour un essai. ....	65
Figure 37 : illustration de séchage des éprouvettes. ....	66
Figure 38 : illustration du posage des éprouvettes dans le four. ....	66
Figure 39 : illustration de l'appareil de résistance à la flexion. ....	66
Figure 40 : illustration des échantillons d'essai 01. ....	67
Figure 41 : illustration des échantillons d'essai 02. ....	69
Figure 42 : illustration des échantillons d'essai 3. ....	71
Figure 43 : illustration des échantillons d'essai 4. ....	73
Figure 44 : illustration des échantillons d'essai 5. ....	75
Figure 45 : illustration des échantillons d'essai 6. ....	77
Figure 46 : illustration des échantillons d'essai 7. ....	79
Figure 47 : illustration des échantillons d'essai 8. ....	81
Figure 48 : illustration des échantillons d'essai 9. ....	83
Figure 49 : illustration d'un échantillon d'essai de validation. ....	86

## **Annexe**

---

Figure 50 : illustration cœur noir essai 01. ....	101
Figure 51 : illustration cœur noir essai 02. ....	101
Figure 52 : illustration cœur noir essai 02. ....	102
Figure 53 : illustration cœur noir essai 04. ....	102
Figure 54 : illustration cœur noir essai 05. ....	103
Figure 55 : illustration cœur noir essai 06. ....	103
Figure 56 : illustration cœur noir essai 07. ....	104
Figure 57 : illustration cœur noir essai 08. ....	104
Figure 58 : illustration cœur noir essai 09. ....	105
Figure 59 : illustration cœur noir essai de validation. ....	105
Figure 60 : diagramme d'Ishikawa. ....	107

# Liste des tableaux

## Chapitre 01

---

Tableau 1: les caractéristiques contrôlées à chaque état de produit. ....	21
Tableau 2 : les types de processus de système management de la qualité. ....	29

## Chapitre 02

---

Tableau 3 : le plan d'expériences complet qui traite 7 facteurs à 2 niveaux .....	43
Tableau 4 : plan de Box et Hunter.....	44
Tableau 5 : la configuration de la première ligne de la matrice d'expériences.....	44

## Chapitre 03

---

Tableau 6 : l'estimation des pertes. ....	56
Tableau 7 : Paramètres d'évaluation de la qualité des éprouvettes. ....	59
Tableau 8 : les facteurs choisis avec leurs niveaux. ....	61
Tableau 9 : Matrice $L_9$ de Taguchi. ....	61
Tableau 10 : Matrice de Taguchi avec les valeurs des niveaux des facteurs. ....	62
Tableau 11 : Matrice d'expériences avec le poids en kg de chaque composant du mélange ...	62
Tableau 12 : le retrait d'essai 1. ....	67
Tableau 13 : la résistance au sec d'essai 1. ....	68
Tableau 14 : la résistance au cuit d'essai 1. ....	68
Tableau 15 : Notation de l'essai 1. ....	68
Tableau 16 : le retrait d'essai 2. ....	69
Tableau 17 : la résistance au sec d'essai 2. ....	70
Tableau 18 : la résistance au cuit d'essai 2. ....	70
Tableau 19 : la notation d'essai 2. ....	71
Tableau 20 : le retrait obtenu en essai 3. ....	71
Tableau 21 : la résistance au sec obtenu en essai 3. ....	72
Tableau 22 : la résistance au cuit obtenu en essai 3. ....	72
Tableau 23 : la notation d'essai 3. ....	72
Tableau 24 : le retrait obtenu en essai 4. ....	73
Tableau 25 : la résistance au sec obtenu en essai 4. ....	74
Tableau 26 : la résistance au cuit obtenu en essai 4. ....	74
Tableau 27 : la notation d'essai 4. ....	74
Tableau 28 : le retrait obtenu en essai 5. ....	75
Tableau 29 : la résistance au sec obtenu en essai 5. ....	76
Tableau 30 : la résistance au cuit obtenu en essai 5. ....	76
Tableau 31 : la notation d'essai 5. ....	76



Tableau 32 : le retrait obtenu en essai 6. ....	77
Tableau 33 : la résistance au sec obtenu en essai 6. ....	78
Tableau 34 : la résistance au cuit obtenu en essai 6. ....	78
Tableau 35 : la notation d'essai 6. ....	78
Tableau 36 : le retrait obtenu en essai 7. ....	79
Tableau 37 : la résistance au sec obtenu en essai 7. ....	80
Tableau 38 : la résistance au cuit obtenu en essai 7. ....	80
Tableau 39 : la notation d'essai 7. ....	80
Tableau 40 : le retrait obtenu en essai 8. ....	81
Tableau 41 : la résistance au sec obtenu en essai 8. ....	82
Tableau 42 : la résistance au cuit obtenu en essai 8. ....	82
Tableau 43 : la notation d'essai 8. ....	82
Tableau 44 : le retrait obtenu en essai 9. ....	83
Tableau 45 : la résistance au sec obtenu en essai 9. ....	84
Tableau 46 : la résistance au cuit obtenu en essai 9. ....	84
Tableau 47 : la notation d'essai 9. ....	84
Tableau 48: le résultat des essais. ....	85
Tableau 49 : la moyenne des résultats pour les facteurs. ....	85
Tableau 50 : la nouvelle composition des matières premières obtenues. ....	86
Tableau 51 : le retrait obtenu en essai de validation. ....	86
Tableau 52 : la résistance au sec obtenu en essai de validation. ....	87
Tableau 53 : la résistance au cuit obtenu en essai de validation. ....	87
Tableau 54 : la notation d'essai de validation. ....	87

## **Annexe**

---

Tableau 55 : exemple matrice L8. ....	99
Tableau 56 : les résultats de calcul des pourcentages moyens. ....	99

# Introduction générale

Dans le cadre de la validation de notre diplôme de Master en **Génie Industriel**, nous avons été amenés à finaliser notre spécialisation par un mémoire de fin d'études, où nous avons eu l'occasion de confronter l'enseignement théorique que nous avons reçu, les connaissances acquises lors de nos précédentes expériences professionnelles (stages) à des problématiques plus générales propres au fonctionnement des entreprises.

Dans le cadre de cette finalisation nous avons effectué un stage de fin d'études qui s'est déroulé au sein de laboratoire de la briqueterie TAFNA qui dispose de tous les moyens permettant de reproduire l'usine à petit échelle.

Le contexte économique actuel oblige les entreprises à être performantes et compétitives, ce qui rend la recherche de l'amélioration continue une mission indispensable pour garantir la pérennité de l'entreprise.

C'est dans cette optique que TAFNA, leader du marché de l'ouest de l'Algérie en matière de production de briques creuses en terre cuite, vise à consolider sa position et à multiplier ses facteurs clés de succès et ses avantages concurrentiels par son engagement dans l'amélioration continue.

Pendant notre stage, nous avons constaté que cette entreprise a un taux de rebuts élevé dû à des sur-cuissons et a une diminution de la longueur des briques après le séchage, ou encore un grand diamètre de cœurs noirs. Pour diminuer ce taux de rebut, l'entreprise s'est orientée vers une modification technique du four et du séchoir, mais cette dernière est coûteuse en temps et en argent.

Notre mission durant ce stage a été « L'amélioration de la qualité des briques ». Pour faire face à cette problématique nous avons utilisé un outil de qualité connu sous le nom des plans d'expériences de Taguchi.

Cette méthode est basée sur l'expérimentation et permet de planifier, structurer et organiser une recherche expérimentale, tout en ayant pour but d'obtenir un maximum d'informations en ne réalisant qu'un minimum d'essais, ce qui répond parfaitement au défi qu'impose le contexte économique actuel.

Ce mémoire se subdivise en trois chapitres :

- ❖ Dans le premier chapitre nous allons présenter l'entreprise, les différents services, le processus de fabrication de la brique et encore le déroulement de différentes opérations dans l'entreprise, puis nous allons exposer le système qualité de l'entreprise.
- ❖ Dans le deuxième chapitre nous allons présenter les plans d'expériences et la méthode de Taguchi, ensuite nous allons tenter de montrer l'intérêt de cette dernière par rapport aux méthodes classiques des plans d'expériences.

- ❖ Dans le troisième chapitre nous allons commencer par la présentation de la problématique puis nous allons présenter l'approche de résolution que nous avons proposée.

# **Chapitre 01**

---

## **Présentation de la briqueterie TAFNA**

## 1. Introduction

Les briques sont les matériaux de construction les plus utilisés en Algérie, et ce malgré l'existence et le développement de produits concurrents (parpaings, plaques de plâtre, panneaux en bois pierres etc.) en raison de :

- ❖ La qualité de produits.
- ❖ Le prix concurrentiel.

Dans ce dernier stage de notre formation en génie industriel nous avons découvert ce produit grâce à la briqueterie TAFNA qui nous a donné cette chance et nous a permis de faire le lien entre la théorie que nous avons vue dans notre formation et le terrain.

Dans le cadre de ce premier chapitre, nous allons présenter la briqueterie TAFNA. Deux parties seront développées, une première partie dans laquelle nous avons procédé à une présentation générale de l'entreprise, et une deuxième partie dans laquelle nous avons présenté les activités du support qui aide à la réalisation de la brique.

## 2. Présentation de la briqueterie de la TAFNA

- ❖ Statut juridique : La briqueterie de LA TAFNA est une Société À Responsabilité Limité (SARL)
- ❖ Date de création : 1992
- ❖ La SARL briqueterie la TAFNA est composée de son siège, de son usine de production et d'une carrière attenante sous concession.

### Bref historique :

- ❖ **1991-1992** : Réalisation de l'usine pour une production de 50 000 tonnes sur une seule ligne, avec un seul four.
- ❖ **1993** : Démarrage de la production en deux équipes.
- ❖ **1994-2000** : Continuelle progression de la production, supportée par un imposant programme d'investissement en capacités (Deuxième ligne, troisième four).
- ❖ **2000** : Fonctionnement de l'usine en continu, réalisation de la production en trois équipes (trois fois huit).
- ❖ **2005** : obtention de la certification ISO 9001 version 2000 délivrée par SGS ICS France. Première briqueterie certifiée ISO 9001 :2000.
- ❖ **2005-2006** : Continuelle progression de la qualité, supportée par un imposant programme d'investissement de productivité :

- ❖ Modernisation des moyens de production (équipements de la carrière de la préparation, de la fabrication, du séchage, de l'empilage, de la cuisson, du dépilage, ...).
  - ❖ Modernisation du système d'information et de pilotage des activités (Informatisation du système de suivi -superviseurs-, informatisation de la gestion des documents, ...).
  - ❖ Modernisation des moyens de communication (mise en place d'un site Web, d'intranet).
- 
- ❖ **2007** : Obtention du « premier prix spécial du jury pour la mise à niveau » dans le cadre du programme d'appui au développement des PME privées en Algérie
  - ❖ **2008** : Réalisation du projet de garnissage des wagons par le réfractaire et renouvellement de certificat du SMQ
  - ❖ **2009** : Acquisition et installation de groupe à gaz de 2,18 MW pour l'autonomie en électricité, et installation et mise en marche de deux voies de dépilage automatique pour les deux chaînes.
  - ❖ **2009 – 2016** : développement continu de la briqueterie.

3. L'organigramme de l'entreprise :

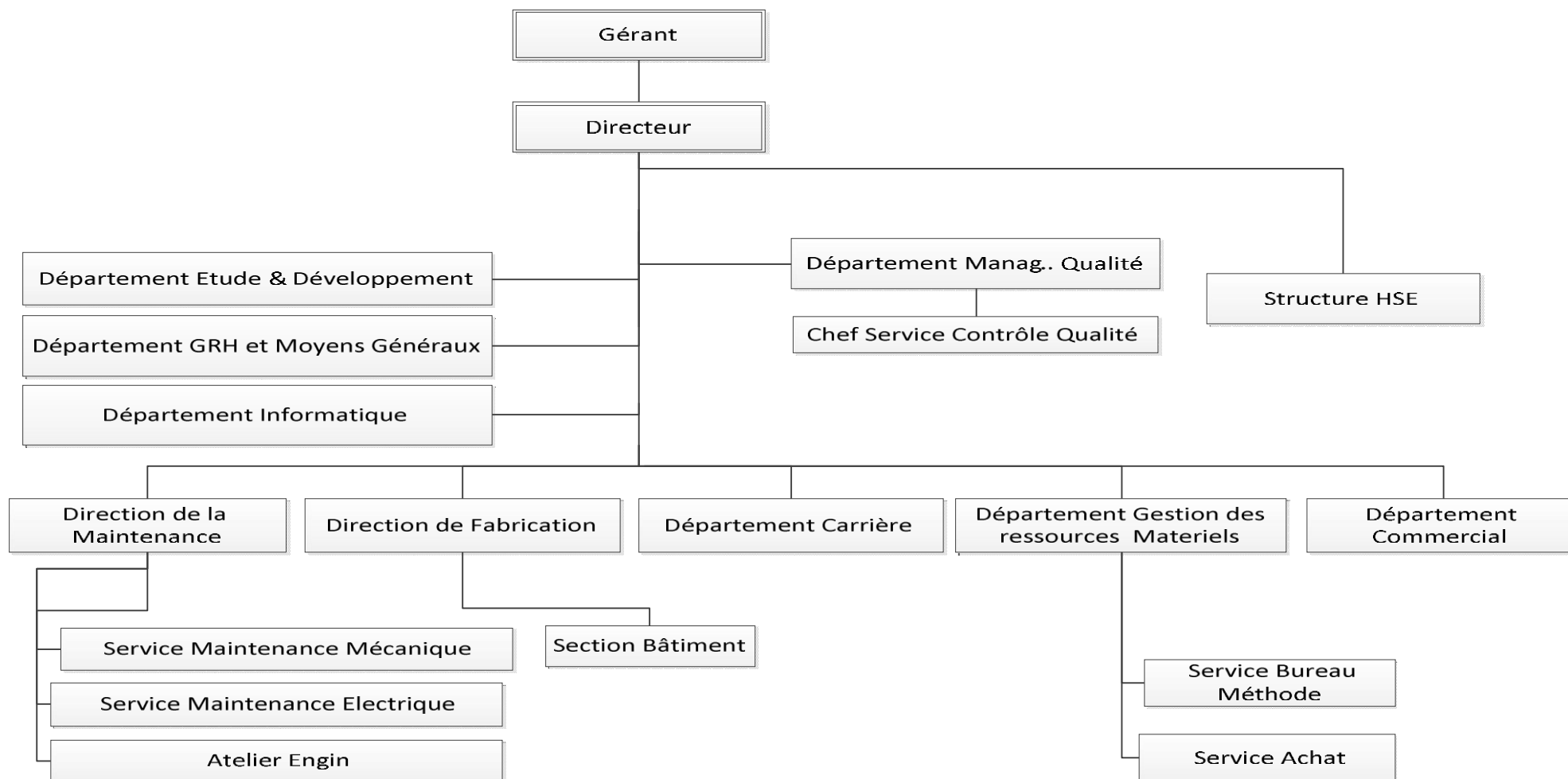


Figure 1 : l'organigramme de la briqueterie TAFNA.

4. Le procédé de fabrication :

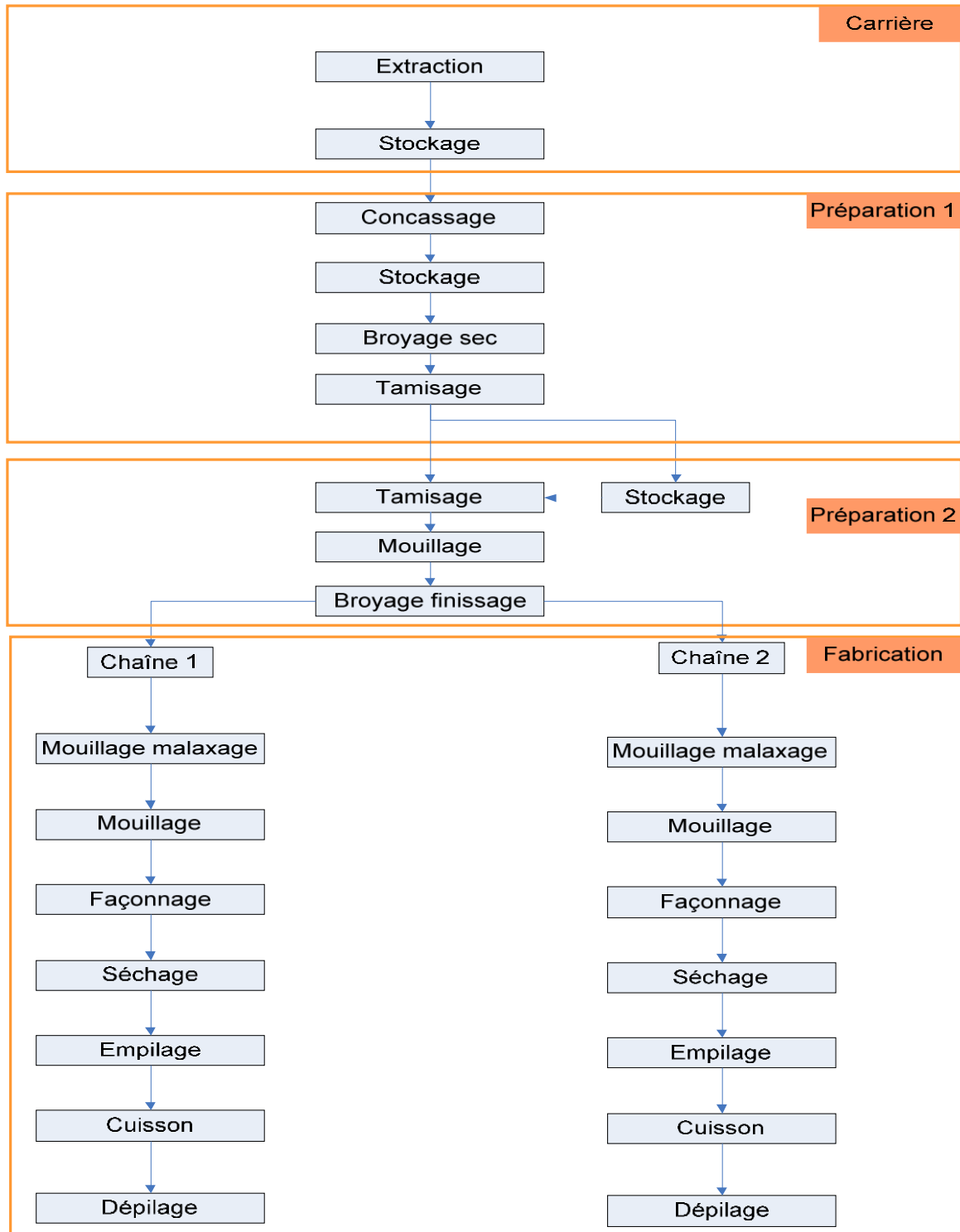


Figure 2 : le procédé de fabrication des briques.

Le procédé de fabrication de brique dans TAFNA installée se compose d'une série d'étapes fondamentales pour l'obtention d'un produit de qualité que satisfont aussi bien les propres attentes, comme celles des clients, en assurant la qualité.



L'argile est la matière première de base pour la fabrication de briques. Cette argile doit être ni trop maigre ni trop grasse. Elle doit sécher facilement avec un retrait limité et doit aboutir à une cuisson sans problèmes.

Le processus de production de la terre cuite se compose de différentes étapes :

#### 4.1. Carrière :

**Extraction :** La briqueterie TAFNA extrait l'argile brute à ses propres carrières situées à proximité de l'usine. Dans les gisements, l'extraction se fait au moyen de bulldozer et de poclain. L'argile est par la suite acheminée par camions jusqu'à le stock.



**Figure 3 :** illustration de l'extraction d'argile au niveau de carrière

**Stockage :** L'argile (bleu et jaune) est extraite séparément et stockées à ciel ouvert au niveau de la carrière. Le pourcentage est prés définis par le laboratoire.



**Figure 4 :** illustration de stockage d'argile après l'extraction.

#### 4.2. Préparation 1 :

**Concassage** : L'argile (bleue et jaune) est transférée ensuite au concasseur par des camions en respectant un dosage prédéfini par le laboratoire. Cette étape consiste à concasser l'argile en morceaux de tailles plus petites et plus régulières par un concasseur à mâchoires.



**Figure 5** : illustration de changement de granulométrie d'argile après concassage.

**Stockage** : l'argile concassée est stockée à ciel ouvert.

**Broyage sec** : Le but de cette étape est de réduire la granulométrie à un diamètre à moins de 10 mm avec un débit qui devrait satisfaire la production.

**Tamissage** : dans cette étape on cherche à éliminer les grains les plus gros, en utilisant des tamis.



**Figure 6** : illustration d'argile éliminée et l'argile passée après le tamissage.

#### 4.3. Préparation 2

**Stockage de matière première** : Une fois tamisée, l'argile est transférée ensuite dans des bandes transporteuses à un hangar (surface couverte).

**Tamissage** : Un deuxième tamissage de l'argile en amont du mouillage pour éliminer les grains les plus gros.

**Mouillage** : L'étape d'humidification a pour but l'ajout d'eau à l'argile pour obtenir la plasticité suffisante pour le moulage. C'est une opération clef car elle conditionne les opérations de façonnage, séchage et cuisson.

**Broyage finissage** : Dans cette étape il se réalise un broyage semi-humide de l'argile, où l'on recherche une plus grande division de la matière première pour faciliter la phase de moulage.

#### 4.4. Fabrication :

**Mouillage** : Cette deuxième opération de mouillage est assurée dans un malaxeur de criblage doté avec un système de régulation d'ajout d'eau avec le débit d'argile déversé dans lequel on cherche une pâte facile à être façonnée.



**Figure 7** : illustration de malaxeur

**Façonnage** : à la sortie du malaxeur de criblage l'argile est transférée par une bande transporteuse vers la mouleuse dans laquelle tourne une vis sans fin qui pousse l'argile avec une pression d'étirage d'environ 22 bars vers la sortie où l'attend une filière (moule) qui donne la forme de la brique.



**Figure 8** : illustration de la sortie de la mouleuse et l'entrée au coupeur.

**Ligne de coupe** : Doté un pré-coupeur qui coupe les boudins en un morceau pour qu'il soit sectionné en longueur de brique à dimension prédéfini par le laboratoire. Cette opération de pré-coupe et coupe est automatique et réalisé à intervalle défini selon la cadence définie.

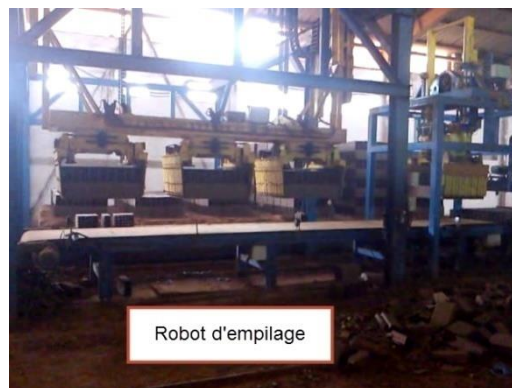
**Séchoir** : Le séchoir à balancelles est constitué de deux canaux superposés dans lesquels des balancelles circulent en sens inverse du flux d'air. Ces deux canaux sont reliés à leurs extrémités

par un descenseur à l'avant et un ascenseur à l'arrière. Deux chaînes de manutention à haute résistance à la traction, sur lesquelles sont fixées les balancelles, permettent la circulation dans les canaux. Le séchoir est équipé par deux brûleurs, un en avant et le deuxième à l'arrière avec des ventilateurs de refoulement, des circulateurs et des ventilateurs d'extraction d'air à la sortie.



**Figure 9** : illustration de balancelle

**Empilage** : Après le séchage intervient un premier contrôle visuel et un tri manuel des briques non-conformes. Ensuite un empileur empile les briques sous forme de piles sur le wagon.



**Figure 10** : illustration de robot empileur

**Cuisson** : Une fois le wagon empilé, il est transféré par un système de manutention vers le four. C'est la dernière étape que doit subir la brique d'argile façonnée et séchée, avant de pouvoir devenir une brique de terre cuite à proprement parler. C'est là une phase d'une grande importance qui doit se dérouler très progressivement. On augmente graduellement la température jusqu'à l'obtention de la température de cuisson (comprise entre 850 et 1200°C, en fonction du type d'argile), on diminue ensuite progressivement la température jusqu'au refroidissement complet. Chaque mélange d'argile se caractérise par sa propre « courbe de cuisson ».

**Dépilage** : c'est une étape qui consiste à conditionner les briques sous forme de paquets cerclés par le ruban et entreposés dans les aires de stockage pour être chargés par la suite à l'aide des chariots élévateurs sur les camions clients.

## 5. Planification de la production :

Elle est basée sur les objectifs annuels fixés par la direction. et lancé à travers des bons de commandes internes du commercial à la production portant la quantité de brique à réaliser par type.

En fonction des types de brique demandé. La production commence par le montage des filières concerné, et fixe les paramètres et l'exigence du procédé depuis la préparation jusqu'au défilage.

Contrôle et surveillance :

- ❖ **Contrôle du procédé** : consiste à un contrôle permanent des paramètres machines et consigner pour assurer le bon fonctionnement pour atteindre les résultats exceptés.
- ❖ **Contrôle de produit (en cours de production)** : à chaque étape du procédé, un contrôle est effectué dans le but de vérifier la conformité du produit par rapport aux spécifications fixés et apporte des corrections en cas d'écart.
- ❖ **Contrôle de produit fini** : une fois le produit est politisé et mis en stock il est soumis à un contrôle effectué par le laboratoire avant qu'il soit chargé pour commercialisation.

Etat du produit	Caractéristiques soumis aux essais
<b>Mélange sortie</b>	Refus sur le tamis
<b>Produit humide</b>	Poids humide Poids humide Taux de défaut
<b>Produit sec</b>	Dimension et retrait sec Perte de mass et aspe
<b>Produit fin</b>	Etat de la surface, dimensions Poids et retrait cuit, perte au feu Planéité et rectitude, absorption d'eau Eclatement, masse volumique

**Tableau 1:** les caractéristiques contrôlées à chaque état de produit.

## 6. Approvisionnement :

### 6.1. Objet :

La présente procédure a objet la présentation des dispositions relatives à la définition, la planification et la réalisation des achats. Elle s'applique à l'ensemble des produits achetés.

## 6.2. Définitions :

**Les pièces d'usure :** les pièces qui subissent une détérioration suite aux contacts et ou aux frottements avec la matière à travailler.

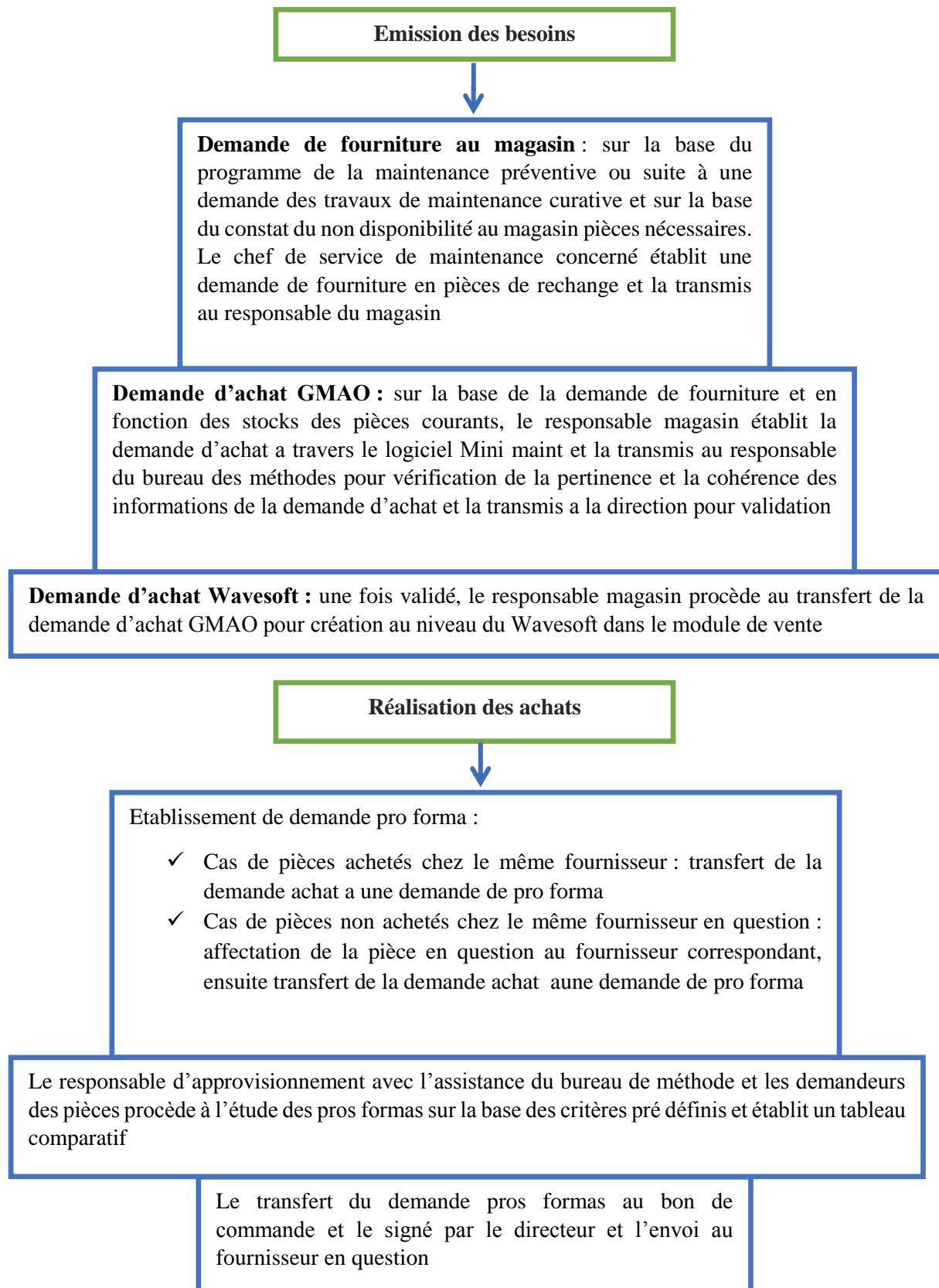
**Les pièces de rechange :** les pièces qui subissent une usure et ou un vieillissement normal qui doivent être remplacées en temps opportun.

**Consommable à la maintenance :** les pièces qui assurent les activités de la maintenance

**Mini maint :** permet :

- ❖ Inventorier simplement et rapidement tous les équipements dans une arborescence illimitée en nombre de niveaux et modifiable dans le temps par simple copier-coller.
- ❖ Associer toutes les informations comptables et techniques à chaque équipement à l'aide de champs, listes déroulantes, zones libres et fichiers associés, onglet photo, compteurs, mesures.
- ❖ Accéder rapidement aux pièces de la nomenclature, aux interventions, au préventif de l'équipement.
- ❖ Retrouver facilement les équipements par n'importe quel critère grâce à un bouton de recherche rapide.
- ❖ Accéder rapidement aux pièces et aux contrats de l'équipement
- ❖ Consulter l'historique des déplacements et des précédentes affectations de l'équipement dans l'arborescence.

### 6.3. Déroulement :



**6.4. Enregistrement :**

Le responsable cellule approvisionnements est responsable de l'établissement, la conservation et le classement des formulaires suivants :

- ❖ Programme annuel des achats.
- ❖ Demandes préformas Wavesoft.
- ❖ Préformas Wavesoft.
- ❖ Bon de commandes Wavesoft.
- ❖ Bon de commande imprimée.
- ❖ TCO (Total cost of ownership) Wavesoft.

Le responsable Magasin est responsable de l'établissement, la conservation et le classement des formulaires suivants :

- ❖ Demande fourniture 140701.
- ❖ Demandes achat GMAO.
- ❖ Demande achat Wavesoft.
- ❖ Bon d'entrée Wavesoft.
- ❖ Bon d'entrée GMAO.
- ❖ Fiches de stocks pièces.

Le responsable comptabilité et finance est responsable de la conservation et le classement des formulaires suivants :

- ❖ Factures fournisseurs.
- ❖ Documents de paiement.



## 7. La gestion du stock

### 7.1. Gestion des entrées des produits achetées

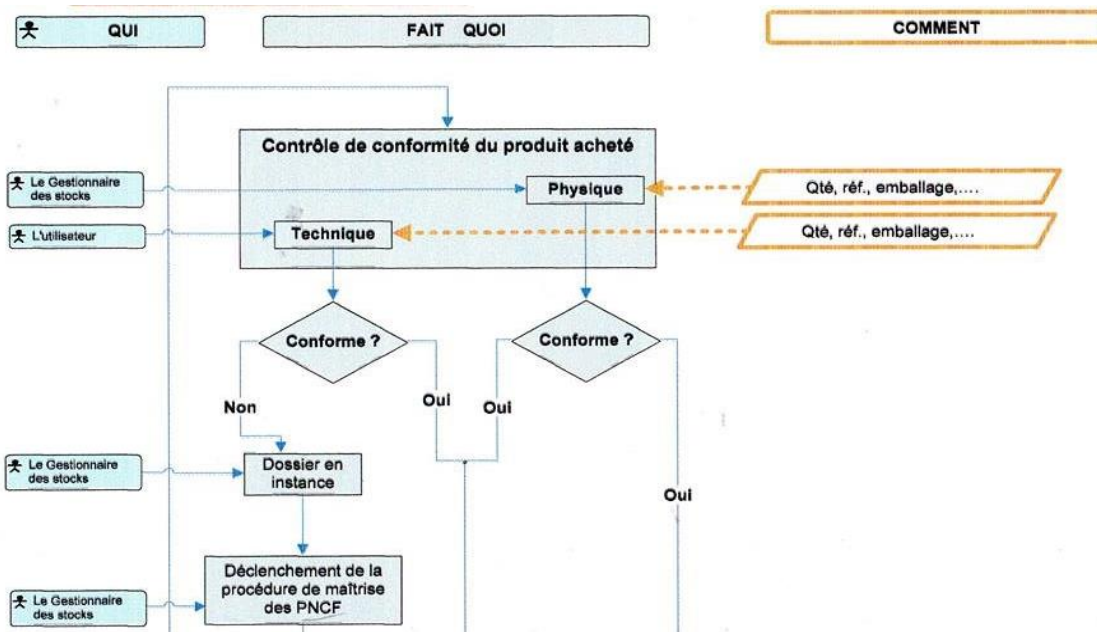


Figure 11 : logigramme de l'entrée des produits achetées au magasin.

### 7.2. Gestion des sorties des produits achetées

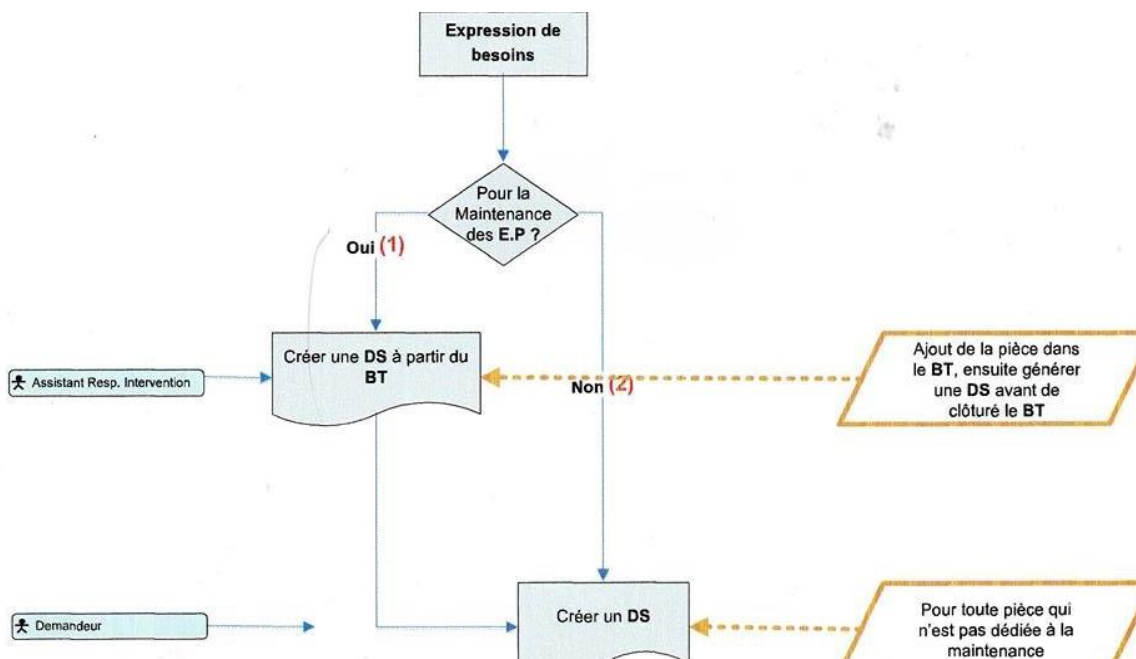


Figure 12 : logigramme de la sortie des produits de magasin.

## 8. La gestion de la maintenance

### 8.1. Définitions

- ❖ **Equipements de production** : Machines et installations électriques.
- ❖ **Engins** : Exemple (camions, bulls, chariots, élévateurs, groupe électrogène).
- ❖ **IP** : Fiche d'interventions préventive.
- ❖ **DI** : Demande d'interventions.
- ❖ **BT** : bon de travail.
- ❖ **BS** : bon de sortie magasin.

### 8.2. Logiciel

Mini Maint offre la réponse fonctionnelle la plus flexible de la gamme pour gérer les activités de maintenance.

#### 8.2.1. Gestion des demandes d'interventions

- ❖ Permettre à tous les services de créer de façon intuitive et ludique des demandes d'intervention via un masque de saisie paramétrable et une bibliothèque pré-renseignée de mots clés.
- ❖ Traiter l'ensemble des demandes depuis un écran clair et interactif et informer le demandeur de la suite donnée à sa demande via un code couleur ou un envoi d'email.
- ❖ Générer d'un seul clic un ou plusieurs bons de travaux depuis la demande d'intervention.

#### 8.2.2. Gestion automatique des préventifs

Le principe de base est simple :

- ❖ Détaillez toutes les caractéristiques du travail (pièces, main d'œuvre, cotraitante, procédures, plans, documents associés, ...)
- ❖ Choisissez un type de déclencheur : périodique temporel, seuil compteur, aperiodique (dates fixes et répétitives)

Chaque jour, Mini Maint scrute le planning, anticipe les dates et intègre les travaux à réaliser dans le plan de charge.

Le bon de travail comporte deux notions principales :

- ❖ Les ressources utilisées : Main d'œuvre interne ou externe et pièces utilisées.
- ❖ Les informations nécessaires à la réalisation du travail : commentaires, plans, schémas, fiches de procédures.

8.3. Création IP :

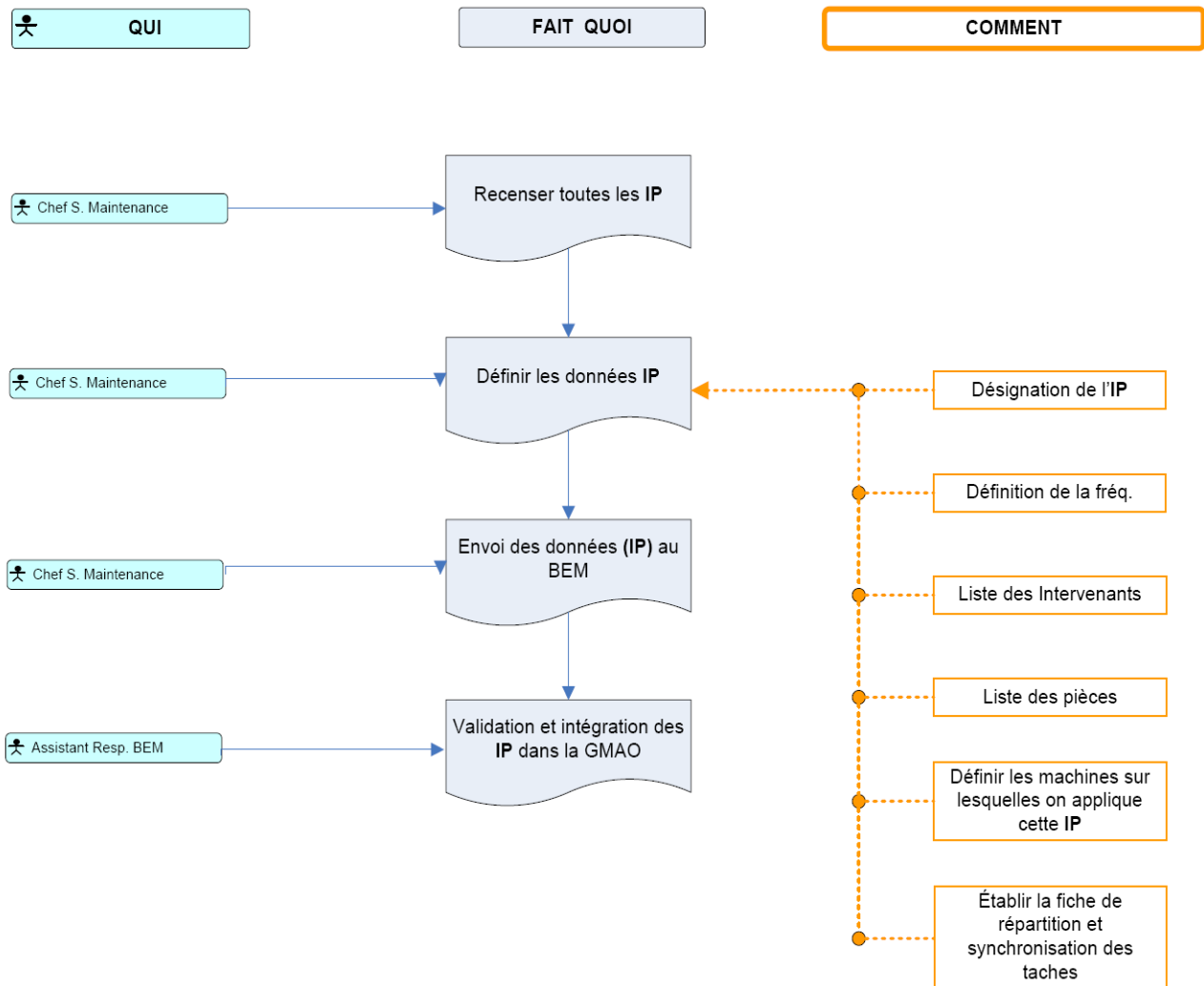


Figure 13 : la procédure suit pour la création d'une fiche d'intervention préventive.

### 8.4. Mode de fonctionnement de la maintenance préventive

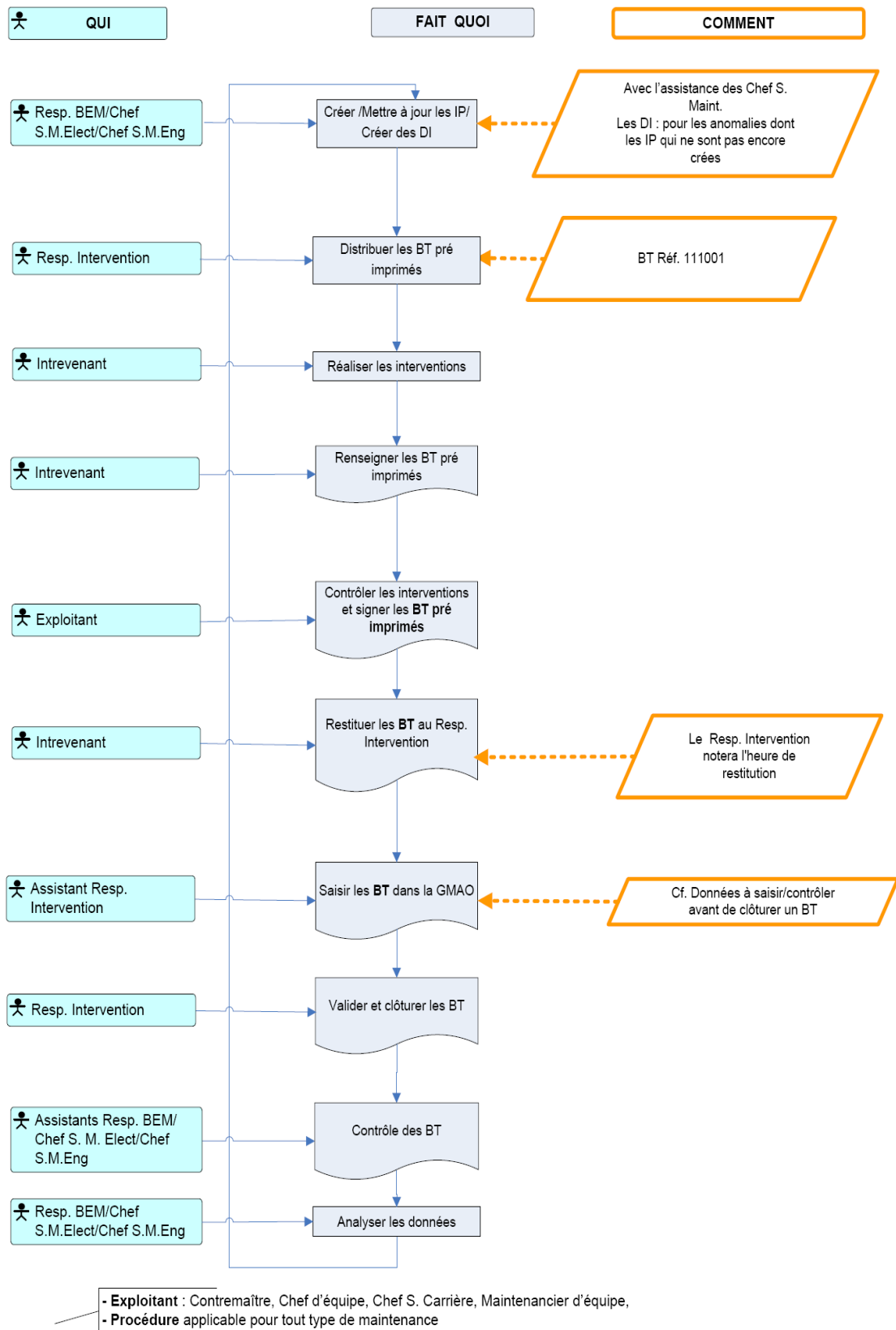
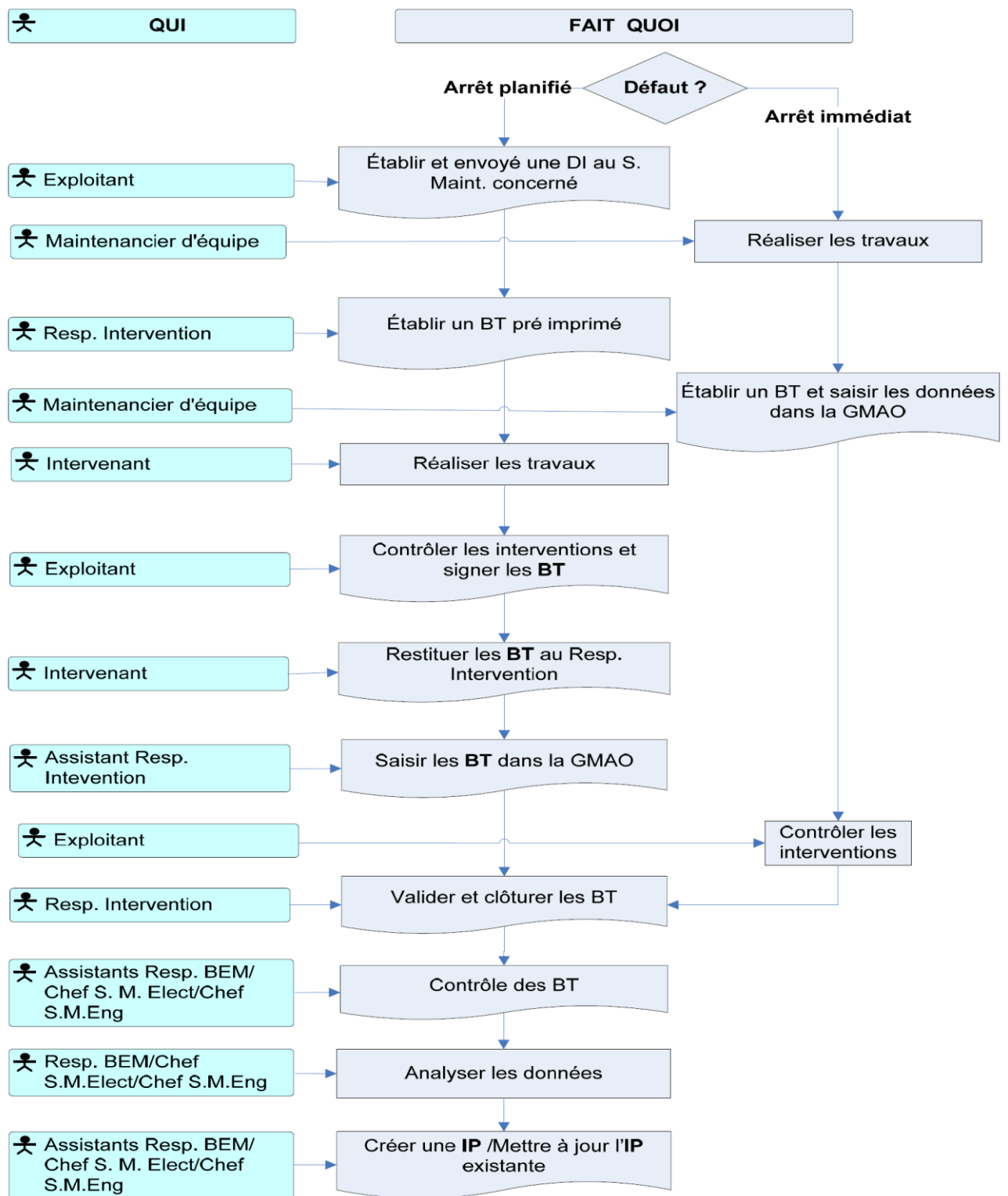


Figure 14 : le déroulement de la maintenance préventive.

8.5. Mode de fonctionnement de la maintenance curative :



- **Exploitant** : Contremaître, Chef d'équipe, Chef S. Carrière, Mainteneur d'équipe,  
 - **Procédure** applicable pour tout type de maintenance

Figure 15 : le déroulement de la maintenance curative.

## 9. Système qualité

### 9.1. Description du SMQ de la TAFNA

#### 9.1.1. Description des processus

Le système de Management de la Qualité est organisé selon trois types de processus, placés sous la responsabilité des pilotes :

Type de processus	Intitulé du Processus
Management : « PM »	Amélioration Continue
Réalisation : « PR »	Carrière
	Fabrication de la brique
	Contrôle Qualité
	Vente et Commercialisation de la brique
Support : « PS »	Maintenance
	Approvisionnement
	Gestion des Ressources Humaines

**Tableau 2** : les types de processus de système management de la qualité.

#### 9.1.2. Exigences relatives à la documentation

##### 9.1.2.1. Généralités :

Le système documentaire du système de management de la qualité de LA TAFNA comporte quatre niveaux :

- ❖ Le premier niveau est constitué du présent manuel qualité et des documents politique, objectifs et cibles et organisation de LA TAFNA.
- ❖ Le deuxième niveau est constitué par des procédures opérationnelles du Système qualité spécifiant toutes activités et processus.
- ❖ Le troisième niveau est constitué par des instructions de travail et modes opératoires et spécifications.
- ❖ Le quatrième niveau est composé de l'ensemble des enregistrements qui montrent la preuve des résultats atteints ou de l'exécution de l'activité.

##### 9.1.2.2. Manuel qualité

Le présent manuel décrit le Système de Management de la qualité adopté et mis en œuvre et s'applique à l'ensemble des activités de la briqueterie la TAFNA.

La gestion des activités des systèmes à travers une approche impliquant la recherche constante de l'amélioration des résultats obtenus, ainsi que le contrôle et mesure dans le temps avec des opportuns indicateurs de performances.

### **9.1.2.3. Maîtrise des documents et enregistrements**

La maîtrise des documents et enregistrement de LA TAFNA sous toutes ses formes est assurée par le respect des règles d'utilisation de l'outil GED (gestion électronique des documents) et QUALIPRO XL, pour la création, vérification, approbation, diffusion et l'archivage.

## **9.2. Management des ressources**

### **9.2.1. Mise à disposition des ressources**

Les ressources humaines, matériels et financiers nécessaires à la mise en œuvre et à la maintenance du système qualité de la TAFNA et à l'amélioration continue de son efficacité sont déterminées de façon systématique et mises à disposition des différentes structures de la TAFNA, après étude et approbation par la direction.

### **9.2.2. Ressources humaines**

La TAFNA s'assure que le personnel dispose des compétences requises et que la direction en la collaboration avec les différents responsables doit donner une attention particulière à la formation.

La direction, le RMQ avec le responsable GRH s'efforcent de mettre en place des programmes de sensibilisation et de formation pour tout le personnel axé sur leur implication au quotidien dans la gestion à tous les niveaux.

Pour cela la direction dispose de procédures opérationnelles simples et explique à chaque fois leurs contenus aux personnes impliqués.

## **9.3. Infrastructure**

La TAFNA dispose des infrastructures adéquates qui comprennent les bâtiments les équipements de production, moyens de logistique et de communication, logiciels, ... pour la réalisation de ses activités.

La TAFNA se fixe comme préoccupation permanente, la maintenance de ces infrastructures pour assurer leur aptitude continue à répondre aux exigences spécifiées, à travers des actions appropriées de maintenances préventive et curative.

## **9.4. Environnement de travail**

La TAFNA veille, en permanence, à la préservation de l'environnement et dispose d'une structure d'Hygiène et Sécurité au travail qui veille à l'application des consignes HSE.

## 9.5. Amélioration

### 9.5.1. Amélioration continue

L'amélioration continue de l'efficacité du SMQ de LA TAFNA est inscrite dans sa politique qualité.

L'amélioration continue de l'efficacité du SMQ de LA TAFNA vise à améliorer sa capacité à fournir à ses clients des produits conformes à leurs exigences, aux spécifications techniques de ses produits et aux exigences légales et réglementaires relatives à ses produits.

L'amélioration continue de l'efficacité du SMQ de LA TAFNA repose sur l'utilisation de la démarche P.D.C.A. permettant d'évaluer le niveau de réalisation des activités planifiées par rapport aux résultats escomptés et d'entreprendre des actions correctives et préventives pour éliminer les écarts.

### 9.5.2. Actions

La procédure en vigueur pour la gestion des actions est celle qui est adaptée avec le logiciel QUALIPRO XL qui :

- ❖ Identifiée les sources d'actions (audit externe, audit interne, non-conformité, réclamation client...), les types d'action (corrective, préventive, curative/correction, amélioration, taches...)
- ❖ Décrit le mode de déclenchement et enregistrement d'une action
- ❖ Définit la responsabilité des responsables de réalisation, de suivi et la clôture des actions.

La gestion des actions est assurée au niveau du logiciel QUALIPRO XL dans le module « ACTIONS » qui permet l'enregistrement, la réalisation, le suivi, le calcul du coût et la clôture ou non de l'action, en plus la génération de tous les états des statistiques nécessaires à l'analyse.

## 10. Laboratoire

Pendant le processus de production, des analyses en laboratoire sont effectuées à différents stades. Ces analyses se déroulent dans le cadre de plans de suivi élaborés par le service qualité en respectant la norme iso 9001. Il contribue ainsi au développement de nouvelles méthodes d'analyse.

Les tests de laboratoire constituent une aide à la meilleure décision et jouent ainsi un rôle central dans la gestion de qualité dans l'entreprise, les tests sont effectués par les techniciens sur les différents produits, les missions effectués dans laboratoire de la briqueterie TAFNA sont les suivants :

- ❖ Réaliser des tests et des contrôles sur les produits (briques au sec et cuit)
- ❖ Analyser les éléments chimiques et les composantes du produit (mélange, refus...)
- ❖ Veiller au respect des normes (les dimensions, poids, résistance)
- ❖ Vérifier et contrôler toutes les étapes de fabrication de produit
- ❖ Entretien le matériel de contrôle du laboratoire.



- ❖ Faire des recherches pour développer le produit et le processus dans le cycle d'amélioration continu.

### 10.1. Matériel

**Les tamis :** sont utilisés pour le tamisage de mélange (l'argile jeune et bleue) et pour faire le test de refus.



**Figure 16:** illustration de tamis vibrant.

**La balance :** Comme la plupart des laboratoires industriels, le laboratoire TAFNA contient deux balances qui sont utilisées pour peser les matières premières et faire les différents tests.

**La mouleuse :** Cette machine permet le malaxage, le moulage et le façonnage des éprouvettes, le principe de fonctionnement de celle-ci est le même principe de la mouleuse de l'usine où elle est contrôlée par la pression en bar.



**Figure 17:** illustration de

**L'étuve :** est un appareil de chauffage fonctionnant à la pression atmosphérique et permettant d'effectuer l'opération de séchage. Les laboratoires d'analyse ou de recherche en sont souvent pourvus. Le principe de fonctionnement

mouleuse d'échantillons

de chauffage

de cet appareil est d'éliminée l'eau en augmentant sa volatilité par élévation de température et par création d'un vide partiel



**Figure 18:** illustration de l'étuve

**Le four** : ce four de haute température qui permet de faire l'opération de la cuisson des éprouvettes fabrique dans le laboratoire.



**Figure 19:** illustration de four de laboratoire.

## 10.2. Logiciel

Les techniciens s'appuient sur le logiciel Stat-graphiques de statique pour l'analyse et la visualisation de données, la modélisation statistique et l'analyse prédictive.

Ce logiciel utilisé essentiellement pour analyser les données de test de retrait ou il facilite l'interprétation des résultats. Ce logiciel permet de tracer la courbe de loi de gauss.

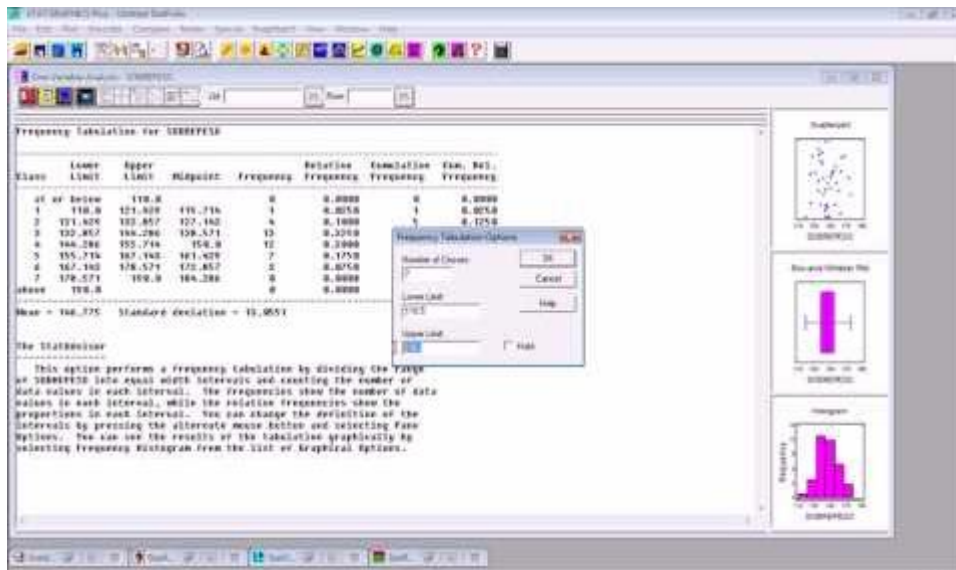


Figure 20 : illustration de l'interface de stratigraphique

### 10.3. Les tests de laboratoire

#### 10.3.1. Le test du retrait

En général, les dimensions d'une brique sont : 300 x 200 x 150 mm Selon la technologie de fabrication des briques il est difficile d'obtenir des briques ayant des dimensions exactement précises, à cause du retrait à l'air et retrait de séchage et cuisson.

Pour vérifier que les briques sont aux normes les techniciens de laboratoire faisant quotidiennement un test qui s'appelle le retrait qui consiste à mesurer les dimensions des briques cuit en prenant des échantillons à chaque lot. Le teste se faire à l'aide de pied à coulisse.

La formule de calcul de retrait est la suivant :

$$R = [(5-x) / 5] * 100$$

Ou x c'est la valeur mesurée par les techniciens (longueur, largeur ...)

#### 10.3.2. Le test de résistance

Après l'opération de cuisson les techniciens font le test de résistance à la flexion pour mesuré la dureté de la brique et pour vérifie que le produit respecte les exigences.



**Figure 21** : illustration de l'appareil de la résistance a compression.

#### 10.4. Le rôle de laboratoire dans l'amélioration de l'entreprise

Puisque la qualité est le défi le plus important pour cette entreprise, laboratoire de la briqueterie TAFNA cherche toujours d'améliorer la qualité de ces produits ou les techniciens de laboratoire utilisent les équipements qui simulée l'usine pour fabrique des échantillons pour faire les différents tests et chercher d'améliorer la qualité de leur produits (résistance, perte de masse, retrait...) et faire des recherche pour diminue le temps de séchage et de cuisson pour augmenter la productivité de l'entreprise.



**Figure 22** : illustration des échantillons réalisés par le laboratoire.

Depuis sa création en 1992, puisque le marché de brique n'est plus un marché vierge le laboratoire contribué dans l'amélioration de l'entreprise et jouer un rôle central dans la pérennité de la briqueterie et d'atteindre ces objectives de court, moyen et long terme.

## **11. Conclusion**

Dans ce chapitre nous avons présenté l'entreprise, ses différents départements et le processus de fabrication de la brique dans TAFNA. Cette dernière est l'une des meilleures briqueteries dans l'ouest de l'Algérie mais comme toutes les entreprises, TAFNA cherche à améliorer la qualité de ses produits pour réduire les rebuts qui sont très coûteux pour l'entreprise.

Selon les ingénieurs de l'entreprise la meilleure façon pour améliorer la qualité des produits est la modification technique du four. Nous avons donc pensé à leur proposer une méthode que nous avons vue durant notre formation en génie industriel. Cette dernière est connue sous le nom des plans d'expériences de Taguchi et permet d'organiser et de planifier des expériences afin d'obtenir des informations pour améliorer de la qualité de la brique et pour éviter de faire des réparations ou des modifications techniques.

Dans la suite nous allons voir l'utilité des plans d'expériences pour optimiser le déroulement des essais et les importants travaux réalisés à l'aide de cet outil et nous allons voir aussi les différentes stratégies des plans d'expériences.



## **Chapitre 02**

---

### **Etat de l'art et présentation de la méthode de Taguchi**

## 1. Introduction

Dans un environnement concurrentiel, les entreprises doivent assurer une amélioration de leurs produits et leurs processus de production pour garder leur pérennité. Pour cela, les techniciens et les ingénieurs doivent suivre une stratégie qui assure la réalisation des objectifs fixés en exploitant leurs connaissances sur le produit ou le processus et définissent les paramètres de réglage des équipements de production pour atteindre cet objectif. Ces paramètres sont des résultats d'une analyse des observations expérimentales, donc l'expérimentation est un des excellents moyens pour obtenir ou améliorer les connaissances.

Les essais doivent comprendre des paramètres de système avec leur valeur modifiée chaque fois qui donne un grand nombre d'essais parfois difficile à exploiter et l'absence d'une stratégie dans les tests peut mener à effectuer des tests informels et non performants donc cette opération doit être optimisée tout en s'assurant d'obtenir des informations plus fiables en un minimum d'essais.

Dans la suite nous allons introduire des généralités sur les plans d'expériences en présentant leurs fondements afin de mettre en surbrillance leur intérêt dans notre étude et aussi pour que son utilisation dans le chapitre 03 soit compréhensible.

## 2. Etat de l'art : (plan d'expériences)

Les plans d'expériences sont utilisés dans des différents domaines, par exemple dans **les sciences de la vie et santé**, **MOHAMMED EL HOURCH [1]** a suivi une méthodologie technique. La méthodologie a été optimisée à travers l'utilisation des plans d'expérience pour étudier les effets du cuivre en conditions expérimentales et a pu déterminer d'autres types de cuivres. Dans d'autres travaux, des plans d'expériences ont été utilisés par **AMINA LAMRAOUI [2]** pour étudier l'influence de chaque paramètre opératoire du laser afin d'obtenir la meilleure adhérence du revêtement et confirme que l'utilisation de texturation par laser n'a pas d'incidence sur l'environnement, de la santé ainsi que l'écosystème du procédé en comparaison au procédé conventionnel.

En restant dans le secteur du respect de l'environnement et de la santé, **KADOUR RANI [3]** s'intéresse à la réduction du danger des scanners dans les hôpitaux dû à l'exposition des patients à des rayonnements ionisants qui peuvent conduire à des risques de développement de cancers, il s'intéresse aux deux indicateurs de qualité d'image et de dose délivrée aux patients en étudiant les paramètres des protocoles scénographiques à travers l'utilisation de plans d'expériences.

Dans d'autres domaines, **RUBAIUET IFTEKHARUL HAQUE [4]** a réussi par l'utilisation des plans d'expériences à concevoir et réaliser par impression un capteur acoustique capacitif résonant à bas coût dans le but d'améliorer la géo localisation des étiquettes RFID.

En mécanique l'étude de **JEAN-PHILIPPE RAISIN [5]** propose de réduire le niveau vibratoire d'une pompe hydraulique installée sur un engin de travaux publics et à l'aide de plan



d'expériences il a pu identifier numériquement les paramètres susceptibles de réduire le niveau vibratoire.

D'autres auteurs ont utilisé les plans d'expériences de Taguchi dans leurs études, comme par exemple **SEVGUI HADJHASSIN [6]** qui s'en est inspiré pour concevoir un processus de fabrication d'un contrôleur de température qui garantit la satisfaction d'un cahier de charges malgré les fluctuations de ses composants ou l'influence de l'environnement.

Et dans le but de renforcer la sécurité des motocyclistes **VIDJANNAGNI KODJO [7]** à travers de la méthode de **TAGUCHI** propose un nouveau protocole d'essais d'évaluation de performances d'écrans motards pour subir des essais de chocs normatifs et répondre à certaines exigences afin de pouvoir être installés sur le bord des routes européennes et de garantir surtout la sécurité des motards.

**MINH QUANG LE NGUEN [8]** réalise une étude du procédé de fabrication et de la caractérisation des propriétés des produits pour la réalisation des barrières anti-pollution pour protéger le sol et les nappes phréatiques contre diverses sources de contamination.

Nous avons voulu montrer, à travers cet état de l'art, que les plans d'expériences ont été utilisés dans plusieurs de domaines scientifiques, et ont apporté des résultats significatifs dans beaucoup d'études.

Dans notre cas nous allons les utiliser, dans le domaine industriel, en particulier dans la fabrication de briques de construction.

Notre choix peut se justifier par le fait que les plans d'expérience, en particulier la méthode de Taguchi, est un outil relié à la qualité des produits, notre stage s'étant déroulé en grande partie dans le service de management de la qualité de l'entreprise la TAFNA, nous avons décidé de l'utiliser car cette dernière n'arrivait pas à atteindre les critères qualitatifs qu'elle s'était exigée pour satisfaire ses clients.

En plus, leur aspect pratique, liés aux expériences faites sur le terrain nous ont semblé être un challenge très intéressant pour l'accomplissement de notre cursus universitaire, car nous pouvions appliquer un outil que nous avons appris durant ce dernier.

Dans la suite de ce chapitre nous allons présenter les différents types des plans d'expériences, leur origine, ainsi que la méthode de Taguchi.

### **3. Généralités sur les plans d'expériences**

#### **3.1 Qu'est-ce qu'un plan d'expérience**

Norme ISO 3534-3 : les plans d'expériences constituent essentiellement une stratégie de planification d'expériences afin d'obtenir des solutions solides et adéquates de manière efficace et économique. La méthodologie des plans d'expériences se base sur le fait d'une expérience convenablement organisée, conduira fréquemment à une analyse et a une interprétation relativement simple des résultats.

### 3.2 Vocabulaire de base des plans d'expérience

**Réponses** : ce sont les grandeurs physiques que doit mesurer l'expérimentateur à chaque essai dans son étude.

**Facteurs** : ce sont les grandeurs supposées influencer sur la variation des réponses. Ces paramètres, définis par l'expérimentateur, peuvent influencer ou ne pas influencer sur la variation de la réponse. Ils peuvent être :

- ❖ Continus : il peut prendre toutes les valeurs numériques réelles dans l'intervalle  $[L_{inf}, L_{sup}]$
- ❖ Discrets : il prend un ensemble de valeurs fini.
- ❖ Qualitatifs : ce sont les facteurs discrets que l'on ne peut comparer entre eux.
- ❖ Booléens : ce sont les facteurs discrets qui peut prendre juste deux valeurs.

**Espace expérimental** : c'est le domaine où se situent les réponses des essais.

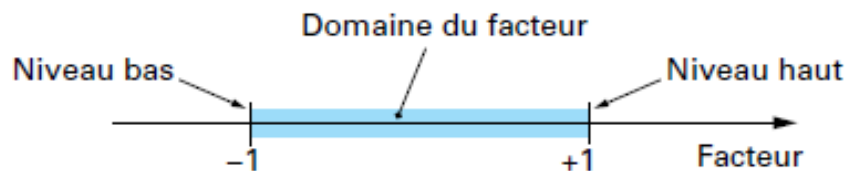


Figure 23 : le domaine du facteur

### 3.3 Pourquoi faire des plans d'expériences

Le développement de la technologie et des sciences est lié avec l'amplitude d'expliquer le réel et le maîtriser. Cette maîtrise vient de l'ensemble des représentations et savoirs ou bien la connaissance. Donc quel est le meilleur moyen pour obtenir et améliorer nos connaissances ? D'après Albert Einstein "*the only source of knowledge is experience*". Mais elle doit être optimisée car l'objectif est obtenir le maximum de renseignements avec le minimum d'expériences par le suivi des règles mathématiques et l'adoption d'une démarche précise.

### 3.4 Domaines d'application

Les plans d'expériences s'appliquent dans plusieurs domaines :

- ❖ En ingénierie.
- ❖ En sciences médicales.
- ❖ En sciences humaines.
- ❖ Recherche et le développement des produits et procédés industriels.

Et en particulier aux contextes suivants :

- ❖ Etudes techniques avec détermination des tolérances.
- ❖ Optimisation de processus.

- ❖ Essais de mise au point.
- ❖ Etude des moyens de fabrication.
- ❖ Essais de laboratoires.

### 3.5 L'utilité du plan d'expérience

Les plans d'expériences est un outil de qualité qui permet d'améliorer la qualité.

Le plan d'expériences servent à mettre en clair l'influence des paramètres pris en compte, pour cela, tous les industriels doivent se poser les questions suivantes lorsqu'ils mettent en œuvre une série d'essais physiques ou une série de calculs numériques :

- ❖ Quelle stratégie d'essais adopter pour arriver rapidement aux résultats attendus ?
- ❖ N'existe-t-il pas de meilleures stratégies que d'autres ?
- ❖ Quel est le nombre minimum d'essais qui doivent être réalisés pour arriver aux résultats ?
- ❖ Ne peut-on pas éviter de réaliser des essais inutiles ?
- ❖ Comment améliorer la précision de mes résultats ?

La méthode des plans d'expériences répondre à ces questions par leur méthodologie. Cette dernière permet d'organisé au mieux les essais accompagnent un recherche expérimental ou des études industrielles par la réalisation d'un " minimum " d'essais et un maximum de précision.

[10]

### 3.6 Plans complets

Cette catégorie de plans d'expériences traite toutes les combinaisons possibles des facteurs avec leurs modalités. Ce genre de plan fournit une information complète.

Prenons un exemple (voir tableau ci-dessous) de 7 facteurs possèdent le même nombre de modalité (-1 et +1) donc le plan complet contient  $2^7 = 128$ .

Numéro d'essai	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	Réponse
1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	Y1
2	-1	-1	-1	-1	-1	-1	+1	Y2
3	-1	-1	-1	-1	-1	+1	-1	Y3
4	-1	-1	-1	-1	-1	+1	+1	Y4
5	-1	-1	-1	-1	+1	-1	-1	Y5
6	-1	-1	-1	-1	+1	-1	+1	Y6
7	-1	-1	-1	-1	+1	+1	-1	Y7
8	-1	-1	-1	-1	+1	+1	+1	Y8
9	-1	-1	-1	+1	-1	-1	-1	Y9
10	-1	-1	-1	+1	-1	-1	+1	Y10
11	-1	-1	-1	+1	-1	+1	-1	Y11
12	-1	-1	-1	+1	-1	+1	+1	Y12
13	-1	-1	-1	+1	+1	-1	-1	Y13

14	-1	-1	-1	+1	+1	-1	+1	Y14
15	-1	-1	-1	+1	+1	+1	-1	Y15
16	-1	-1	-1	+1	+1	+1	+1	Y16
17	-1	-1	+1	-1	-1	-1	-1	Y17
...	...	...	...	...	...	...	...	...
127	+1	+1	+1	+1	+1	+1	-1	Y127
128	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	Y128

**Tableau 3:** le plan d'expériences complet qui traite 7 facteurs à 2 niveaux

### 3.7 Plan réduit

En réalité, l'expérimentateur utilise le plan complet dans le cas où le nombre de combinaisons relativement petit et les essais ne prennent pas beaucoup de temps, pour l'exemple précédent de 7 facteurs avec 2 niveaux, le plan complet demande d'effectuer 128 essais.

Le plan réduit consiste à choisir certaines combinaisons qu'ils permettent de réduire le temps et les coûts mais aussi diminuer l'information obtenu par le plan complet sur la réponse de système étudier. Il faut donc que la sélection des combinaisons assure un ajustement avec le plan complet identifié.

Nous en présentons deux méthodes dans les plans réduits.

#### 3.7.1 Plan de Box et Hunter [14]

La méthode de Box et Hunter permet de construire soi-même des plans réduits à partir de plans complets. Elle s'adresse exclusivement aux modèles à deux niveaux par facteur et se base sur la définition suivante.

##### Définition :

Soient  $x_i$  et  $x_j$  deux facteurs admettant chacun deux niveaux, notés +1 et -1. Le niveau de l'interaction entre  $x_i$  et  $x_j$ , est  $I_{ij}$ , le produit de leurs niveaux respectifs.

Étant donnés trois facteurs  $x_i$ ,  $x_j$  et  $x_k$  admettant chacun deux niveaux,  $I_{ijk}$  le produit de leurs trois niveaux respectifs, et ainsi de suite.

La méthode de Box et Hunter consiste à négliger l'interaction d'ordre le plus élevé, et à ne conserver que les essais donnant un même signe (par exemple +1) à cette interaction.

Voici un exemple de plan de Box et Hunter (voir le tableau ci-dessous)

Essai	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	I <sub>12</sub>	I <sub>13</sub>	I <sub>23</sub>	I <sub>123</sub>
1	- 1	- 1	- 1	+1	+1	+1	-1
2	+ 1	- 1	- 1	- 1	- 1	+1	+1
3	- 1	+ 1	- 1	- 1	- 1	-1	+1
4	+ 1	+ 1	- 1	+1	- 1	-1	-1
5	- 1	- 1	+1	+1	- 1	-1	+1
6	+ 1	- 1	+1	- 1	+1	-1	-1
7	- 1	+ 1	+1	- 1	- 1	+1	-1
8	+ 1	+ 1	+1	+1	+1	+1	+1

**Tableau 4** : plan de Box et Hunter

La démarche conduit donc à ne sélectionner que les essais 2, 3, 5 et 8, ce qui permet de diviser le nombre d'essais par deux par rapport à un plan complet.

### 3.7.2 Plan de Plackett et Burman

Dans leur étude, Plackett et Burman définissent une méthode pour construire des plans permettant d'étudier un grand nombre de facteurs en peu d'essais.

#### Définition :

Un plan de Plackett et Burman est une fraction d'un plan factoriel complet  $2^m$  qui permet d'estimer un modèle d'ordre 1 pour  $m$  facteurs quantitatifs ou qualitatifs à deux niveaux  $\pm 1$ . Le nombre d'essais  $n$  est un multiple de  $4 > m + 1$ .

#### Construction d'un plan de Plackett et Burman

Il s'agit d'utiliser la table des signes  $\pm$  de Plackett et Burman. Le premier essai correspond à la première ligne de la matrice choisie en fonction du nombre  $m$  de facteurs à étudier, les  $n - 2$  suivants sont générés par permutation circulaire et on complète le plan en ajoutant une ligne de signes moins.

m	N	Premier essai du plan d'un plan de Plackett et Burman
7	8	+++--+-
11	12	++-++++--+-
15	16	++++-+-+--+-
19	20	++--++++-+-+--+-
23	24	++++-+-+--+-+--+-
35	36	-++++++-++++-++++-++-+-+--+-

**Tableau 5** : la configuration de la première ligne de la matrice d'expériences

Le plan de Plackett et Burman est économique, pour détecter les effets principaux. En effet, il suffit de  $(k \cdot 2^2)$  expériences pour tester  $((k - 1) \cdot 2^2)$  à  $(k \cdot 2^2 - 1)$  facteurs à 2 niveaux (avec  $k$  entier positif).

Si le nombre d'essais est une puissance de 2, le plan est équivalent à un plan factoriel fractionnaire et où le nombre de facteurs  $m$  est égal au nombre d'expériences moins un (8 essai pour 7 facteurs par exemple).

Ils sont orthogonaux, permettant ainsi d'estimer les paramètres du modèle avec une précision optimale.

Ils sont des plans saturés, car ils comportent autant d'essais que de coefficients (correspondant aux effets principaux) à déterminer dans le modèle mathématique et sont de résolution.

Toutefois ils permettent d'étudier les interactions de 2 facteurs si le nombre d'essais  $n$  est pas une puissance de deux sans étudier les interactions qui sont confondues avec les facteurs simples.

### 3.7.3 Plans de Rechtschaffner

Les plans de Rechtschaffner sont des plans factoriels fractionnaires simplifiés qui permettent de déterminer les effets des facteurs et les interactions d'ordre deux. Toutes les autres interactions sont supposées nulles avant même l'expérimentation.

## 3.8 La modélisation mathématique [13]

La formulation la plus générale de la fonction qui lie la réponse aux facteurs :

$$Y = f(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$$

Cette fonction est trop générale et il est d'usage d'en prendre un développement limité de Taylor. Si les dérivées du développement de Taylor peuvent être considérées comme des constantes le développement précédent prend la forme d'un **polynôme** de degré plus ou moins élevé :

$$Y = a_0 + \sum a_i x_i + \sum a_{ij} x_i x_j + \sum a_{ii} x_i^2 + \dots$$

**Y** : est la grandeur à laquelle s'intéresse l'expérimentateur. C'est la réponse ou la grandeur d'intérêt. Elle est mesurée au cours de l'expérimentation et elle est obtenue avec une précision donnée.

**X<sub>i</sub>** : représente le niveau attribué au facteur  $i$ . C'est la valeur de la coordonnée du facteur  $i$  retenue par l'expérimentateur pour réaliser un essai. Cette valeur est parfaitement connue. On supposera même, par la suite, que ce niveau est déterminé sans erreur (hypothèse classique de la régression).

**a<sub>0</sub>** , **a<sub>i</sub>** , **a<sub>ij</sub>** , **a<sub>ii</sub>** : sont les coefficients du modèle mathématique adopté a priori. Ils ne sont pas connus et doivent être calculés à partir des résultats des expériences.

Deux compléments doivent être apportés au modèle précédemment écrit :

Le premier est le **manque d'ajustement** : cette expression décrit l'écart entre le modèle choisi par l'expérimentateur avant les essais et le modèle réel qui régit le phénomène étudié

Le second est la prise en compte de la **nature aléatoire de la réponse** : est le fait de mesurer plusieurs fois une réponse en un même point expérimental et le non obtention exactement le même résultat. Cette dispersion est appelée **erreurs aléatoires** ou **erreurs expérimentales**.

Ces deux écarts, manque d'ajustement et erreur expérimentale, sont souvent réunis dans un seul écart, le **résidu**, noté « e ». Le modèle utilisé par l'expérimentateur s'écrit alors :

$$Y = f(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n) + e$$

Chaque point expérimental apporte une valeur de la réponse. Or cette réponse est modélisée par un polynôme dont les coefficients sont les inconnues qu'il faut déterminer. À la fin du plan d'expériences, un système de n équations (s'il y a n essais) à p inconnues (s'il y a p coefficients dans le modèle choisi a priori). Ce système s'écrit d'une manière simple en notation matricielle :

$$Y = X \cdot a + e \dots \dots \dots (1)$$

Avec :

- **Y** : vecteur des réponses
- **X** : matrice de calcul, qui dépend des points expérimentaux choisis pour exécuter le plan et du modèle postulé
- **a** : vecteur des coefficients

### 3.9 Analyse et résultat

#### 3.9.1 Acquisition progressive des résultats [12]

L'expérimentateur mène les expériences en respectant le plan d'expérimentation. Cette étape est très importante, puisque c'est de la bonne réalisation des essais que l'on pourra tirer les informations capitales qui seront exploiter par la suite. Il est recommandé d'avancer progressivement et de réorienter voire d'affiner les études en fonction des premiers essais réalisés. Ainsi une première ébauche permettra de mieux choisir les nouvelles orientations à prendre pour préciser les seuls points intéressants de l'étude et pour abandonner ceux qui ne le sont pas. C'est pour cela qu'il est préconisé de procéder de manière progressive. La première série d'expériences conduit à des conclusions provisoires ensuite on lance une nouvelle série d'essais. L'expérimentateur accumule ainsi les résultats dont il a besoin et s'arrête dès que le but est atteint. Il est également conseillé de randomiser l'ordre des essais car si le processus subit un dérivé, en n'effectuant pas les essais de manière aléatoire, on va amplifier aux effets des facteurs les effets de dérivés. Cette randomisation consiste à tirer au hasard l'ordre des essais pour supprimer l'influence des facteurs perturbateurs non identifiés pouvant être corrélés avec l'ordre des essais.

### 3.9.2 Analyse global des résultats

Avant de mettre en œuvre des outils mathématiques pour estimer les  $p$  inconnues du modèle et réaliser la surface de réponse correspondante, il est important de porter un jugement global sur l'ensemble des résultats d'essais.

L'analyse globale des résultats d'essais permet notamment :

- ❖ D'apprécier la variation des réponses observées au cours du plan d'expériences s'assurer d'un écart significatif entre les valeurs minimales et maximales de la réponse observée
- ❖ De détecter des valeurs suspectes et procéder à une reproduction d'expériences le cas échéant.
- ❖ De repérer une combinaison des modalités des facteurs dont les résultats peuvent se révéler industriellement intéressants.

### 3.9.3 Analyse mathématique des résultats

Le système (1) ne peut pas, en général, être résolu simplement car le nombre d'équations est inférieur au nombre d'inconnues. En effet, il y a  $n$  équations et  $p + n$  inconnues.

Après l'utilisation d'une méthode de régression qui introduit  $p$  équations supplémentaires qui donne les estimations les plus probables des coefficients notés :  $\hat{\mathbf{a}}$

Le résultat de ce calcul est :

$$\hat{\mathbf{a}} = (\mathbf{X}^t \mathbf{X})^{-1} \mathbf{X}^t \mathbf{y}$$

Deux matrices interviennent constamment dans la théorie des plans d'expériences :

- ❖ La matrice d'information  $\mathbf{X}^t \mathbf{X}$
- ❖ La matrice de dispersion  $(\mathbf{X}^t \mathbf{X})^{-1}$

Les statisticiens ont établi la formule qui donne l'erreur sur les coefficients du modèle lorsque l'on a une estimation du résidu. Cette formule, sous sa forme la plus simple, est la suivante :

$$\text{Diag } \mathbf{V}(\hat{\mathbf{a}}) = \text{Diag } \sigma_r^2 \mathbf{X}^t (\mathbf{X})^{-1}$$

C'est-à-dire que les variances des coefficients sont égales à la variance du résidu, multipliée par l'élément diagonal de la matrice de dispersion.

Les variances des coefficients sont les termes diagonaux de la matrice  $\mathbf{V}(\hat{\mathbf{a}})$ . On obtient ces variances par identification.

### Critères d'optimalité [13]

Suivant les objectifs de l'étude, les meilleurs emplacements des points expérimentaux dans le domaine d'étude ne sont pas les mêmes. En effet, la disposition optimale des points expérimentaux dépend de plusieurs choix effectués par l'expérimentateur, choix qui dépendent eux-mêmes des caractéristiques de l'étude et des objectifs à atteindre. Ces choix dépendent



d'abord du domaine d'étude et du modèle a priori retenus par l'expérimentateur. Ils dépendent ensuite d'un critère d'optimalité

Les principaux critères d'optimalité sont les suivants :

- ❖ **Critère d'O-optimalité** : La matrice de calcul  $\mathbf{X}$  est une matrice orthogonale. Il en résulte que la matrice  $({}^t \mathbf{X} \mathbf{X})^{-1}$  est une matrice diagonale. Seuls les termes diagonaux de cette matrice sont différents de zéro et l'on démontre que ces termes diagonaux sont positifs et minimaux. La variance des coefficients est donc, à coup sûr, la plus faible possible.
- ❖ **Critère de presque orthogonalité** : Si la sous-matrice obtenue en retirant la première ligne et la première colonne de la matrice  $({}^t \mathbf{X} \mathbf{X})^{-1}$  est diagonale, le critère de presque orthogonalité est respecté.
- ❖ **Critère de D'optimalité** : si l'on veut la plus petite variance possible sur l'ensemble des coefficients, il faut que les termes diagonaux de la matrice de dispersion soient eux-mêmes les plus petits possibles. On obtient ce résultat en maximisant le déterminant de la matrice  ${}^t \mathbf{X} \mathbf{X}$ . Le critère correspondant s'appelle le critère de D-optimalité.
- ❖ **Critère d'A-optimalité** : La somme des variances des coefficients peut être minimisée. Dans ce cas, on parle de critère d'A-optimalité. Un plan est A-optimal si la position des points expérimentaux minimise la trace de la matrice  $({}^t \mathbf{X} \mathbf{X})^{-1}$ .
- ❖ **Critère de G-optimalité** : Parmi les variances des coefficients il y en a une qui est plus grande que toutes les autres. On peut vouloir que cette forte variance soit la plus faible possible. Le critère correspondant s'appelle le critère de G-optimalité.
- ❖ **Critère d'iso variance par rotation** : On désire que les réponses calculées avec le modèle issu du plan d'expériences aient une erreur de prévision identique pour des points situés à la même distance du centre du domaine d'étude. Dans ce cas on parle de plan iso variant par rotation.

#### 4 La méthode de Taguchi

L'approche de Taguchi est une méthode très puissante et efficace pour optimiser la qualité, la performance et le rendement des processus de fabrication, donc un outil robuste pour relever ce défi.

Cette approche vient pour enrichir les méthodes de plans d'expériences en apportant une amélioration considérable aux plans factoriels complets et fractionnaires. Elle se distingue par une réduction importante du nombre d'essais, tout en gardant une bonne précision

Dans la suite nous avons présenté cette approche, leur vocabulaire ainsi les étapes de l'application de ce dernier.

#### 4.1 Naissance de l'approche Taguchi

Après la seconde guerre mondiale, les forces alliées ont constaté que la qualité du système téléphonique japonais était extrêmement pauvre et totalement inadaptée à des fins de communication à long terme.

Pour améliorer le système, la commande alliée a recommandé d'établir des laboratoires de recherche afin de développer un système de communication de haute technologie. Les japonais ont fondé des laboratoires de communication électrique (ECL) avec le Dr Genichi Taguchi chargé d'améliorer la productivité de la R & D et d'améliorer la qualité du produit. Il a observé que beaucoup de temps et d'argent ont été consacrés à l'expérimentation et au test d'ingénierie. Il a remarqué aussi qu'une mauvaise qualité ne peut pas être améliorée par le processus d'inspection, de dépistage et de récupération.

Taguchi a commencé à développer de nouvelles méthodes pour optimiser les processus d'expérimentation. Il a estimé que la meilleure façon d'améliorer la qualité était de concevoir et la construire dans le produit. Il a développé les techniques qui sont maintenant connues comme méthode Taguchi. Sa principale contribution ne réside pas dans les formulations mathématiques de la conception des expériences, Mais plutôt dans la philosophie qui l'accompagne. Ses concepts produisent une technique d'amélioration de la qualité unique et puissante qui diffère des pratiques traditionnelles.

Sa philosophie est fondée sur trois concepts très simples, ses techniques sont entièrement issues de ces trois idées :

- a. La qualité doit être conçue dans le produit et ne pas être inspectée.
- b. La qualité est mieux réalisée en minimisant l'écart par rapport à une cible. Le produit doit être conçu de telle sorte qu'il soit immunisé contre les facteurs environnementaux incontrôlables.
- c. La qualité des coûts doit être mesurée en fonction de l'écart par rapport à la norme et les pertes doivent être mesurées à l'échelle du système.

Taguchi considérait l'amélioration de la qualité comme un effort continu. Pour ce faire, il a conçu des expériences en utilisant des tables construites connues sous le nom de « tableaux orthogonaux ». L'utilisation de ces tableaux rend l'achèvement des expériences très simple, cohérent et plus efficace.

On trouvera en annexe 1, à la fin de ce mémoire, quelques tables standard de Taguchi.

#### 4.2 L'apport de l'approche de Taguchi par rapport aux méthodes traditionnelles

Classiquement, les ingénieurs cherchent les causes de dispersion ou d'instabilité des caractéristiques d'un produit lors de sa fabrication ou de son utilisation afin de les réduire voire les éliminer (voire la figure 24).

Les moyens pour les combattre coûtent en général fort cher : resserrement des tolérances des matières utilisées, surdimensionnement des composants, dispositifs plus ou moins sophistiqués de climatisation des ateliers de fabrication, règles d'utilisation ou de fonctionnement des produits très strictes...

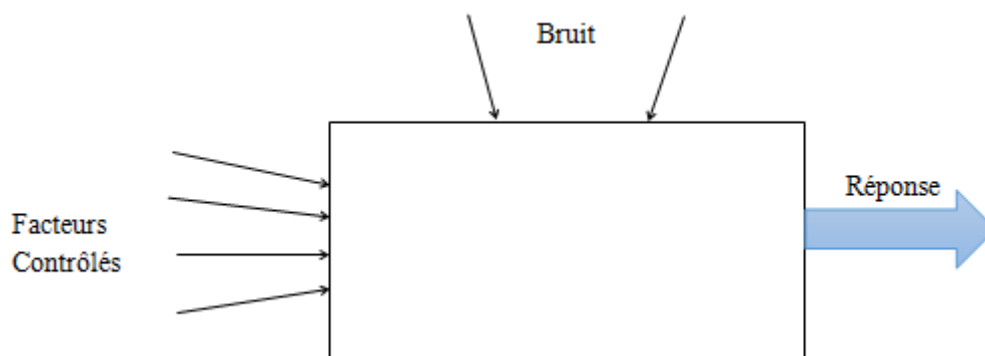
La stratégie adoptée par le Docteur Taguchi est diamétralement opposée : au lieu de chercher à éliminer ces facteurs parasites (appelés facteurs bruits), la démarche consiste à minimiser leur impact (voir la figure 25).

Concrètement, elle consiste à identifier les combinaisons de paramètres qui réduisent les effets des causes, sans s'attaquer directement à celles-ci.

Les paramètres relatifs au produit ou au processus de fabrication, sont appelés les facteurs contrôlés (tels que la pression, la température, le type de lubrifiant, la vitesse de refroidissement d'une solution, ...)

Le choix correct des facteurs est l'étape la plus délicate de la démarche Taguchi car elle nécessite une très grande expérience industrielle.

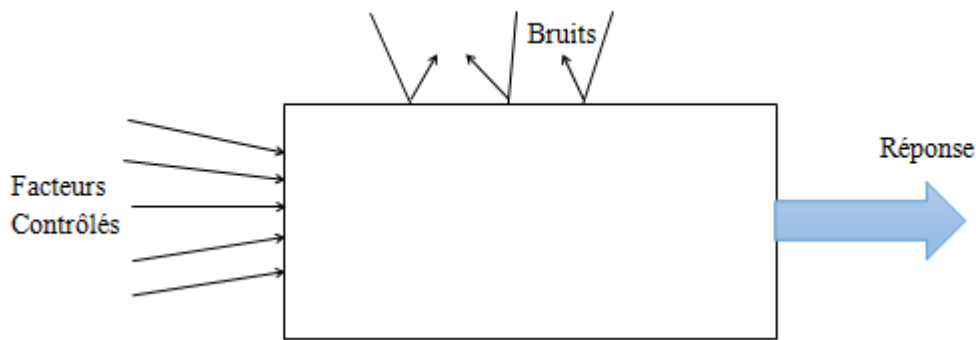
#### Perception initiale du produit :



**Figure 24** : la vision classique du système.

Classiquement, les ingénieurs s'attaquent aux causes des variations :

- Surdimensionnement des composants.
- Resserrement des tolérances.
- Diversification des produits.
- Diversification des conditions d'utilisation.

**Vision de Taguchi :****Figure 25** : la vision de Taguchi.**4.3 Conditions d'application de la méthode de Taguchi**

L'application de la méthode de Taguchi avec succès nécessite les conditions suivantes: [9]

- Créer un groupe pluridisciplinaire constitué de personnes compétentes, concernées et motivées.
- Associer un animateur formé à la méthode à un pilote, responsable technique du sujet traité.
- Être en mesure d'expérimenter, de maîtriser les valeurs à donner aux paramètres et de mesurer avec précision la ou les réponses. La méthode devient lourde à utiliser lorsque les paramètres pris en compte sont trop nombreux.
- Établir une stratégie expérimentale (série de plans) en fonction des objectifs fixés, des moyens disponibles et du délai accordé à l'étude.
- Respecter scrupuleusement la démarche décrite ci-après.

**4.4 Les étapes d'application de la méthode de Taguchi [9]**

Les principales étapes dans la mise en œuvre d'un plan d'expériences sont :

1. Formaliser le problème, si possible au moyen d'un modèle graphique.
2. Sélectionner les paramètres (facteur), fixer leurs modalités (niveau de variations des paramètres) et sélectionner leurs interactions.
3. Construire le plan en fonction des tables de Taguchi.
4. Réaliser les essais.
5. Choisir la configuration optimale.
6. Conclure après choix du réglage des paramètres qui peuvent être maîtrisés et essai de validation.

**ÉTAPE 1 : FORMALISER LE PROBLEME**

Identifier le problème : comprendre la situation, identifier le ou les problèmes prioritaires, est-ce un dysfonctionnement "produit" et/ou "processus", un taux de rebut important, une performance insuffisante, une mise au point à réaliser?

Quantifier l'objectif à atteindre en définissant une ou plusieurs réponses. Les réponses étant définies,

- Comment les mesurer ?
- Qui mesure ?
- Que mesure-t-on ?
- Où le fait-on ?
- Quand le fait-on ?
- Comment le fait-on ?

Les différentes mesures peuvent être :

- Une grandeur quantitative (une longueur, un poids, une dureté, une force...)
- Un pourcentage
- Un classement
- Une cotation (un démerite ...)

## **ÉTAPE 2 : SÉLECTIONNER LES PARAMÈTRES (FACTEURS)**

---

Fixer leurs modalités et sélectionner leurs interactions s'il existe.

Le groupe doit identifier les paramètres, qualitatifs ou quantitatifs, à priori responsables des variations des réponses.

La manière de procéder est la suivante :

- Recenser tous les paramètres possibles (diagramme causes-effet (Ishikawa), ADMEC, ...).
- Sélectionner les paramètres à priori les plus influents pour l'étude, par élimination successive.
- Choisir le nombre de modalités et leurs valeurs pour chacun des paramètres retenus.
- Déterminer les conditions d'essais : les paramètres listés mais non retenus seront maintenus constants au cours des essais.

## **ÉTAPE 3 : CONSTRUIRE LE PLAN**

---

Un plan d'expériences évite de combiner toutes les modalités de tous les paramètres, les plans les plus courants sont répertoriés dans un ensemble de tables disponibles en standard (tables de Taguchi).

Le nombre de paramètres et de modalités par paramètres permettent de trouver le plan le mieux adapté au problème à résoudre.

Les paramètres sont affectés aux colonnes en tenant compte des interactions et des paramètres difficiles à faire varier.

**ÉTAPE 4 : RÉALISER LES ESSAIS**

---

Cette opération est normalement effectuée par les services concernés (ateliers d'usinage, laboratoire, ...).

Il s'agit de reproduire sur le produit et/ou le processus chaque combinaison du plan d'expériences et pour chacune d'entre elles de consigner la ou les réponses dans un tableau.

Un soin particulier doit être apporté à la réalisation de ces essais (grande rigueur, respect de la gamme d'essais, relevé des conditions expérimentales.)

Il faut réaliser tous les essais prévus. Il est impossible de s'arrêter sous peine de perdre le bénéfice de l'étude.

**ÉTAPE 5 : CHOISIR LA CONFIGURATION OPTIMALE**

---

Le but de cette étape est de rechercher la configuration qui rapproche le mieux de l'objectif fixé. Pour trouver cette configuration il faut calculer la valeur de chaque facteur à chaque niveau. (Voir en annexe 2 un exemple de calcul de la configuration) Une dernière étape reste à faire pour vérifier que les prédictions théoriques étaient correctes : c'est l'essai ou validation.

**ÉTAPE 6 : CONCLURE**

---

L'objectif de cette dernière étape est de faire la synthèse des résultats obtenus et de décider des actions à entreprendre (réglages des paramètres).

L'essai de validation doit permettre la décision à entreprendre soit :

- Accepter le niveau de qualité obtenu après réglage.
- Mettre en œuvre un nouveau plan pour améliorer le résultat.
- Changer de stratégie d'analyse ou de conception du procédé.

**5 Conclusion**

Dans ce chapitre nous avons vu l'importance de l'expérience dans l'amélioration des connaissances. Dans le domaine industriel les connaissances sont représentées par le savoir-faire et l'aptitude à réagir face aux problèmes rencontrés dans l'application de ces connaissances. Et nous avons vu l'utilité des plans d'expériences pour optimiser le déroulement des essais et les importants travaux réalisés à l'aide cet outil

Et nous avons terminé ce chapitre avec « l'approche de Taguchi » qui est une méthode pour réaliser des plans d'expériences dont l'objectif est d'obtenir des produits, processus et systèmes aussi robustes et insensibles aux perturbations externes que possible.

Dans la suite nous allons voir l'application de la méthode de Taguchi à la problématique de la qualité des briques que nous avons rencontrée durant notre stage à la TAFNA, et ceci dans le but de ne pas passer par la modification du four.



## **Chapitre 03 :**

### **Problématique et approche de résolution**

---



## 1. Introduction :

La qualité est devenue une variable essentielle dans toutes les stratégies compétitives. Elle permet à une entreprise d'assurer sa rentabilité et de consolider sa position sur un marché. Pour cela, réussir à améliorer la qualité des briques est inscrit durablement dans la dynamique d'amélioration continue de la TAFNA.

Une démarche d'amélioration de la qualité nécessite une panoplie d'outils d'aide (méthode, analyse, suivi et contrôle). Pour cela, nous avons utilisé la méthode de Taguchi qui englobe tous ces outils d'aides.

Dans ce chapitre, nous allons appliquer la méthode de Taguchi en commençant par la formalisation du problème et le choix des facteurs grâce au brainstorming effectué avec les chefs services (management de la qualité et laboratoire) tout en passant par la réalisation des essais au niveau de deux laboratoires. Nous terminerons par une analyse des résultats et un test de validation.

## 2. Problématique :

### 2.1. Introduction :

Pendant notre stage au sein de la briqueterie TAFNA, nous avons constaté que cette dernière a un taux de rebut élevé dû à des problèmes techniques au niveau de four, ce taux de rebut a été évalué à 5% des produits fabriqués.

Dans un premier instant, cela peut paraître négligeable, mais en estimant financièrement ces pertes par mois et par année, nous nous sommes rendus compte qu'elles étaient colossales. (Voir le tableau ci-dessous)

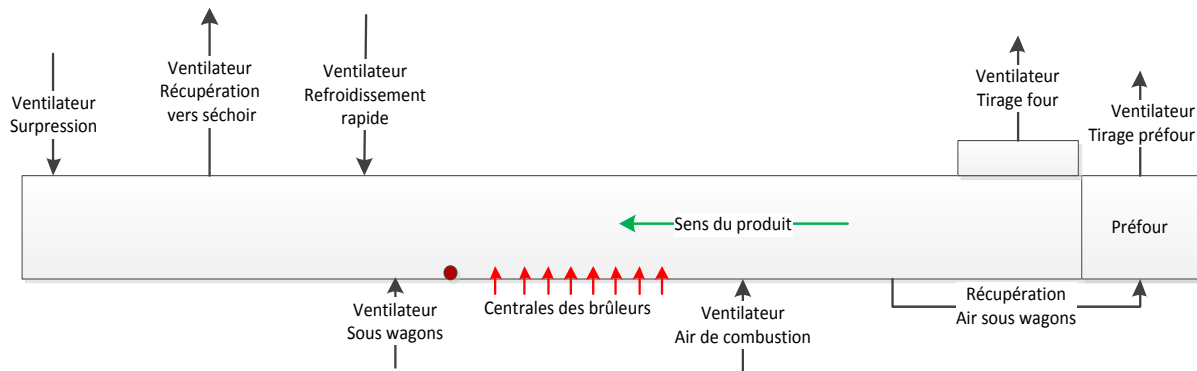
	Chaîne 1	Chaîne 2
Type de produit	12	8
Nombre de pièces par wagon	1200	1944
Nombre de pièces fabrique par jour	103200	167184
Casse	5160	8359
Prix (DZD)	25	15

**Tableau 6 :** l'estimation des pertes.

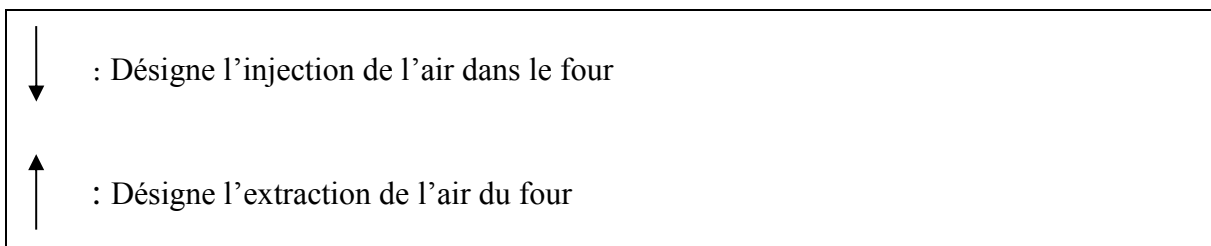
Donc la perte de l'entreprise causée par ce taux de rebut est estimée à : **254385 da par jour** et **3052620 da par an**.

Dans cette optique, les chefs services : production et maintenance ont proposé la solution suivante basée sur l'automatisation du four.

**2.2. Etat du fonctionnement actuel du four :**



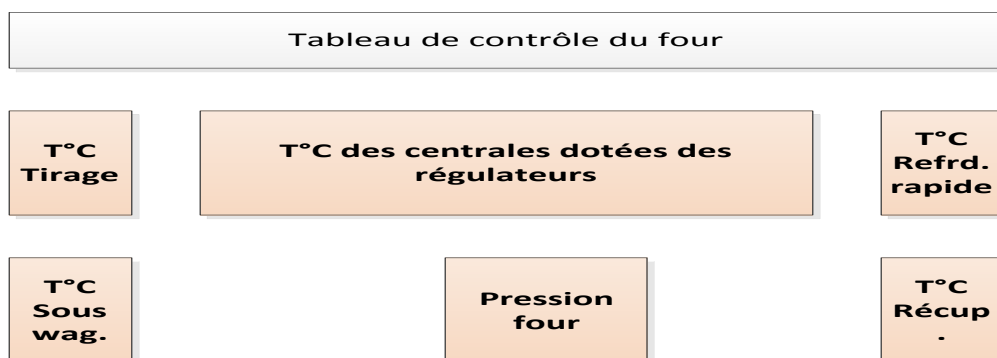
**Figure 26 :** Etat du fonctionnement actuel du four.



Remarques :

- ❖ Tous les ventilateurs sont dotés de variateurs de fréquences à travers lesquels on peut augmenter ou réduire la vitesse des moteurs et donc agir sur les débits d’air
- ❖ Il existe une salle de contrôle dans laquelle on peut contrôler le four à travers des afficheurs de mesures de température ainsi que la pression du four
- ❖ Toutes les centrales des brûleurs sont dotées de régulateurs de températures (mesure la température et action sur le servomoteur du gaz pour atteindre et ne pas dépasser la consigne fixée)

La figure suivante représente le tableau de contrôle du four qui permet de vérifier la pression et la température à l’intérieur du four.



**Figure 27 :** tableau de contrôle du four.

### 2.3. L'objectif recherché par l'automatisation du four :

Sachant que pour avoir une cuisson homogène des briques, la pression du four doit être égale à zéro (quantité d'air sortant = quantité d'air entrant), et que pour atteindre cet objectif il est nécessaire de passer par une automatisation du four et de proposer une variation automatique des vitesses des ventilateurs du four en fonction de la donnée principale recherchée « **Pression four** ».

#### Schémas simplifiés

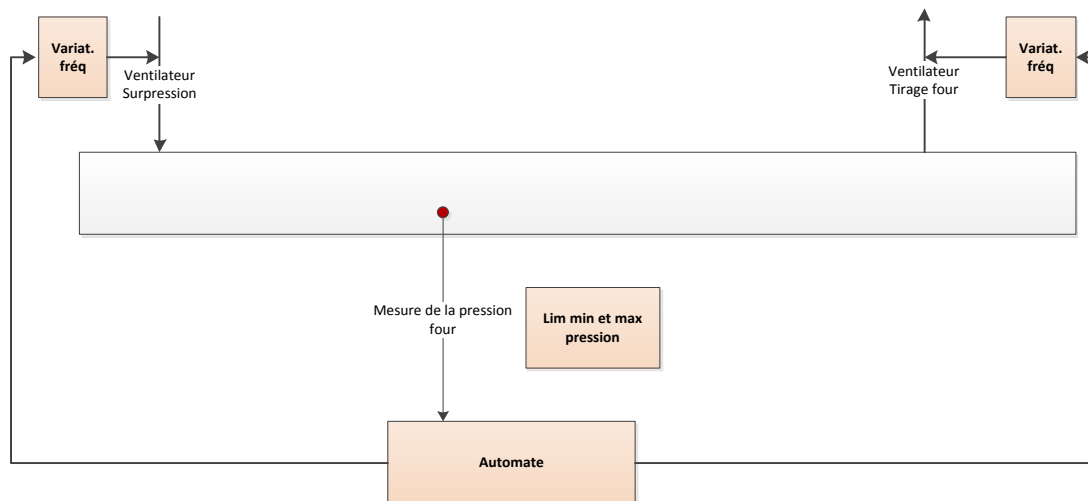


Figure 28 : schéma du four automatisé.

#### Descriptif simplifié

- ❖ La mesure de la pression est faite à la fin de la cuisson (centrales).
- ❖ L'intervalle des pressions souhaitées des définis (Lim Min ; Lim Max).
- ❖ Pour garder la pression dans cet intervalle, on devrait agir sur le débit d'air injecté par la surpression et celui extrait par le tirage.
- ❖ Sachant que les ventilateurs sont dotés des variateurs de fréquence des moteurs on devrait ajouter donc un automate qui a pour fonction la corrélation entre ces trois mesure (Pression, vitesse surpression et vitesse tirage).

### 2.4. Estimation de l'automatisation du four

Cette solution est efficace mais le budget de sa réalisation est beaucoup trop lourd. L'entreprise La TAFNA dispose de 4 fours dans ses 2 chaînes de production, le coût des modifications techniques serait donc multiplié par 4.

C'est pour cette raison que nous nous sommes orientés vers l'amélioration de la qualité des briques en adoptant la méthode de Taguchi.

### 3. Approche de résolution

L'approche de résolution était basée sur :

**Le travail d'équipe :** nous avons proposé la méthode de Taguchi dans un premier temps au responsable de management de qualité **Mr Zemmit Mohammed** et nous avons réussi à le convaincre ensuite avec l'aide de **Mr Zemmit** nous avons réussi à convaincre d'autres services (laboratoire et production) qui nous ont aidé à définir la meilleure méthode de travail en termes de temps, coût et à évaluer les informations obtenues.

**Le mode opératoire :** notre travail a été effectué dans le laboratoire de l'entreprise et nous avons suivi un mode opératoire que l'entreprise a utilisé avant la mise en route du procédé de fabrication et qui donne des informations très représentatives sur la qualité de la brique. Le mode est basé sur la réalisation d'éprouvettes à partir du même mélange utilisé dans la fabrication des briques.

#### 3.1. Formalisation du problème

Dans cette étape, nous avons évalué la qualité des éprouvettes à partir d'une notation définie par le service qualité de l'entreprise. Cette notation dépend de cinq paramètres (voir tableau ci-dessous), ayant chacun un degré d'importance (coefficient) et un intervalle de tolérance.

Caractéristiques des éprouvettes à contrôler	Coefficients	Tolérance
Retrait sec	30%	4,5% à 6,5%
Résistance au sec (kgf/cm <sup>2</sup> )	20%	20 à 60
Résistance au cuit (kgf/cm <sup>2</sup> )	30%	40 à 130
Diamètre cœur noir (mm)	10%	3 à 13
Présence du défaut apparent	10%	Oui / Non

**Tableau 7:** Paramètres d'évaluation de la qualité des éprouvettes.

Chaque paramètre a été noté de 0 à 5 suivant une fonction qui dépend de la valeur de ce dernier. On peut distinguer 3 types de fonctions de notation ici :

**Le minimum est optimal :** cette fonction s'applique pour le retrait et le diamètre de cœurs noirs, prenons le retrait par exemple :

- Si le résultat est inférieur ou égal à 4,5% la note sera complète 5/5.
- Si le résultat est supérieur ou égal à 6,5 % la note sera nulle 0/5.
- Si le résultat appartient à l'intervalle de tolérance la note sera :

$$Note = \frac{5}{4,5\% - 6,5\%} \cdot (\text{résultat}) - 5 \cdot \frac{6,5\%}{4,5\% - 6,5\%}$$

**Le maximum est optimal** : pour les paramètres de résistance au sec et au cuit, nous avons un intervalle pour chacun [ $L_{inf}$ ,  $L_{sup}$ ] :

- Si le résultat est inférieur ou égal à  $L_{inf}$ , la note sera nulle 0/5.
- Si le résultat est supérieur ou égal à  $L_{sup}$ , la note sera complète 5/5.
- Si le résultat appartient à l'intervalle de tolérance la note sera :

$$Note = \frac{5 \cdot \text{résultat}}{L_{sup} - L_{inf}} - \frac{5 \cdot L_{inf}}{L_{sup} - L_{inf}}$$

**Une fonction booléenne** : pour le paramètre défaut :

- Si le résultat est « Oui », la note sera nulle 0/5
- Si le résultat est « Non », la note sera complète 5/5

### 3.2. Sélection des paramètres :

Après une séance de brainstorming avec des membres de différents services (management qualité, production et laboratoire) et l'utilisation de la méthode d'Ishikawa (voir annexe 4) nous avons pu définir 4 paramètres qu'on peut contrôler et ils sont comme suit :

- a) **Humidification** : est le pourcentage d'eau ajouté au mélange pour le malaxer.
- b) **Refus** : est la même argile (bleu et jaune) utilisé dans le mélange mais avec une granulométrie bien définie entre 2 mm et 2,5 mm



**Figure 29** : illustration de refus bleu et jaune.

- c) **Mélange** : est composé des deux argiles avec une granulométrie inférieure à 1,6 mm
- d) **Sable** : est une nouvelle proposition car il a été jamais utilisé dans la fabrication des biques dans la TAFNA avec une granulométrie inférieure à 1 mm

Grâce à l'expertise de ces derniers, nous avons choisi 3 niveaux pour chaque paramètre avec leurs valeurs. (Voir le tableau ci-dessous)

Facteurs	Niveau 1	Niveau 2	Niveau 3
a) Humidification	10%	12% (actuel)	15%
b) Refus	10%	15% (actuel)	20%
c) Mélange	60% B+ 40% J	50% B + 50% J	40%B + 60%J (actuel)
d) Sable	0% (actuel)	10%	20%

**Tableau 8 :** les facteurs choisis avec leurs niveaux.

### 3.3. Construction du plan :

A l'aide des tableaux standards de Taguchi, il suffit choisir la table qui correspond au nombre de facteurs et leurs niveaux.

Pour notre cas nous avons choisi la matrice  $L_9$  qui va permettre de réduire le nombre total des essais de  $3^4 = 81$  à 9 essais.

N essai	Facteurs de contrôle			
	A	B	C	D
1	1	1	1	1
2	1	2	2	2
3	1	3	3	3
4	2	1	2	3
5	2	2	3	1
6	2	3	1	2
7	3	1	3	2
8	3	2	1	3
9	3	3	2	1

**Tableau 9 :** Matrice  $L_9$  de Taguchi.

N° essai	Facteurs de contrôle			
	Humidité (eau)	Refus	Mélange (argile bleu et jaune)	Sable
1	10%	10%	60% B 40% J	0%
2	10%	15%	50% B 50% J	10%
3	10%	20%	40% B 60% J	20%
4	12%	10%	50% B 50% J	20%
5 (actuel)	12%	15%	40% B 60% J	0%
6	12%	20%	60% B 40% J	10%
7	15%	10%	40% B 60% J	10%
8	15%	15%	60% B 40% J	20%
9	15%	20%	50% B 50% J	0%

**Tableau 10 :** Matrice de Taguchi avec les valeurs des niveaux des facteurs.

Les pourcentages dans notre plan d'expériences doivent être traduits en poids pour réaliser les 9 essais, pour cela nous avons pris un mélange de référence égal à 3 kg et par la suite nous avons calculé le poids de chaque paramètre à partir de son pourcentage par rapport au poids de référence en utilisant la loi suivante pour chaque paramètre testé. Voir l'équation ci-dessous pour plus de compréhension :

$$\text{Masse refus bleu} = \frac{\text{Pourcentage refus bleu} \times \text{mélange de référence}}{100\% - \text{pourcentage de refus bleu}}$$

Cette loi a été appliquée pour le reste des calculs, et à partir d'une simple application sur EXCEL nous avons obtenu le tableau suivant pour démarrer les essais

N essai	Refus		Argile		Sable	Eau
	Refus bleu	Refus jaune	Argile bleu	Argile jeune		
1	200	133	1800	1200	0	370
2	265	265	1500	1500	392	436
3	300	450	1200	1800	938	521
4	167	167	1500	1500	833	568
5	212	318	1200	1800	0	481
6	450	300	1800	1200	417	586
7	133	200	1200	1800	370	654
8	318	212	1800	1200	882	779
9	375	375	1500	1500	0	662

**Tableau 11 :** Matrice d'expériences avec le poids en kg de chaque composant du mélange

### 3.4. Réalisation des essais

La réalisation des essais s'est déroulée comme suit :

**Préparation du mélange :** la préparation du mélange nous a pris 2 jours, entre les allers et retours à la carrière pour récupérer les différents types d'argiles bleues et jaunes avec leur refus.



**Figure 30 :** Illustration de la récupération des différentes argiles au niveau de la carrière.

Par la suite, nous avons préparé les neuf mélanges en respectant le poids calculé dans le plan pour assurer les valeurs des niveaux des paramètres sélectionnés.



**Figure 31 :** illustration de balance de précision pour le laboratoire.





**Figure 32:** illustration des deux argiles avec leurs refus.

Dans la dernière étape dans la préparation du mélange nous avons ajouté l'eau et malaxé manuellement pour obtenir une pâte à poser dans la mouleuse



**Figure 33 :** illustration de malaxage manuel et le versement dans la mouleuse.

Les éprouvettes sont sorties de la mouleuse sous forme d'un long boudin. Nous avons coupé ce dernier afin d'obtenir des éprouvettes de 15 cm de longueur.



**Figure 34:** illustration de la coupe de boudin sorti de la mouleuse.

À l'aide d'une pierre coulisse, nous avons marqué une distance de 5 cm sur les éprouvettes, cette distance a été mesurée après le séchage pour calculer le retrait.



**Figure 35 :** illustration du marquage pour le calcul de retrait.

Pour chaque essai, nous avons réalisé un groupe des échantillons qui va subir un refroidissement dans l'air libre avant de le mettre dans le séchoir pour éviter les fissures dues au choc thermique.



**Figure 36 :** illustration d'un groupe des échantillons pour un essai.

Ensuite les éprouvettes ont été versées dans une étuve pour éliminer totalement le taux d'humidité et éviter les fissures dans l'étape de cuisson.



**Figure 37 :** illustration de séchage des éprouvettes.

Après, les éprouvettes ont subi l'étape de cuisson dans un four situé au niveau de l'usine pour être cuites dans les mêmes conditions que les briques.



**Figure 38 :** illustration du posage des éprouvettes dans le four.

Et nous avons terminé les mesures des paramètres avec le test de résistance à la flexion, ce test n'a été pas disponible au niveau du laboratoire de la briqueterie. Pour cela nous avons contacté l'entreprise **CERAMIR** située à 15 km de la TAFNA et spécialisée dans le même secteur d'industrie (terre cuite). Cette dernière nous ouvert ses portes et nous a permis de réaliser ce dernier test.



**Figure 39 :** illustration de l'appareil de résistance à la flexion.

### 3.5. Choix de la configuration

Pour chaque essai nous avons analysé les résultats relatifs aux paramètres d'évaluation de la qualité afin de choisir la configuration optimale qui donne les nouveaux paramètres pour effectuer l'essai de validation. À la fin de chaque essai, nous avons introduit les résultats obtenus dans la notation pour évaluer chaque essai par une note.

#### Essai 01 :

Nous avons remarqué la présence des fissures dans les éprouvettes à cause de petit pourcentage de refus utilisé dans ce test qui va rendre l'éprouvette moins poreux qui empêchera l'étape de séchage. Le cœur noir dans cet essai est : 13mm.



Figure 40 : illustration des échantillons d'essai 01.

Echantillons	Mesure (mm)	Référence (mm)	Retrait (%)
1	4,69	5	6,2
2	4,75	5	5
3	4,74	5	5,2
4	4,73	5	5,4
5	4,72	5	5,6
6	4,78	5	4,4
7	4,76	5	4,8
8	4,74	5	5,2
9	4,72	5	5,6
10	4,73	5	5,4
11	4,72	5	5,6
12	4,74	5	5,2
13	4,81	5	3,8
14	4,7	5	6
15	4,73	5	5,4
16	4,74	5	5,2
17	4,74	5	5,2
18	4,7	5	6
19	4,75	5	5
20	4,74	5	5,2
<b>Moyenne</b>	<b>4,7365</b>	<b>5</b>	<b>5,27</b>

Tableau 12 : le retrait d'essai 1.

Echantillons	Résistance au sec (kgf/cm <sup>2</sup> )
1	67
2	57
3	63
4	62
5	58
6	68
7	67
8	71
9	60
10	65
<b>Moyenne</b>	<b>63.8</b>

Tableau 13 : la résistance au sec d'essai 1.

Echantillons	Résistance au cuit (kgf/cm <sup>2</sup> )
1	94
2	82
3	94
4	75
5	77
6	88
7	88
8	78
9	80
10	80
<b>Moyenne</b>	<b>83.6</b>

Tableau 14 : la résistance au cuit d'essai 1.

### Evaluation de la qualité des éprouvettes

Caractéristique des éprouvettes à contrôler	Coeff.	Tolérance	Résultat	Notation sur 5
Retrait sec	30%	4,5% à 6,5%	<b>5,27%</b>	<b>3,1</b>
Résistance au sec (Kgf/cm <sup>2</sup> )	20%	20 à 60	<b>63,80</b>	<b>5,0</b>
Résistance au cuit (Kgf/cm <sup>2</sup> )	30%	40 à 130	<b>83,60</b>	<b>2,4</b>
Diamètre cœur noir (mm)	10%	3 à 13	<b>13,00</b>	<b>0,0</b>
Présence du défaut apparent	10%	Défaut	<b>Oui</b>	<b>0,0</b>
Note globale sur 5				<b>2,6</b>

Tableau 15 : Notation de l'essai 1.

**Essai 2 :**

Nous avons remarqué que le même défaut apparent dans l'essai 1 se répète dans l'essai 2.

Le cœur noir dans cet essai est : 13.6mm.



**Figure 41** : illustration des échantillons d'essai 02.

Echantillons	Mesure (mm)	Référence (mm)	Retrait (%)
1	4,73	5	5,4
2	4,72	5	5,6
3	4,74	5	5,2
4	4,73	5	5,4
5	4,73	5	5,4
6	4,73	5	5,4
7	4,71	5	5,8
8	4,74	5	5,2
9	4,74	5	5,2
10	4,74	5	5,2
11	4,74	5	5,2
12	4,72	5	5,6
13	4,76	5	4,8
14	4,73	5	5,4
15	4,74	5	5,2
16	4,72	5	5,6
17	4,76	5	4,8
18	4,74	5	5,2
19	4,74	5	5,2
20	4,73	5	5,4
<b>Moyenne</b>	<b>4,7365</b>	<b>5</b>	<b>5,31</b>

**Tableau 16** : le retrait d'essai 2.

Echantillons	Résistance au sec (kgf/cm <sup>2</sup> )
1	38
2	41
3	39
4	36
5	43
6	44
7	37
8	41
9	37
10	40
<b>Moyenne</b>	<b>39.6</b>

Tableau 17 : la résistance au sec d'essai 2

Echantillons	Résistance au cuit (kgf/cm <sup>2</sup> )
1	122
2	108
3	117
4	117
5	113
6	117
7	123
8	125
9	117
10	108
<b>Moyenne</b>	<b>116.7</b>

Tableau 18 : la résistance au cuit d'essai 2.

### Evaluation de la qualité des éprouvettes

Caractéristique des éprouvettes à contrôler	Coeff.	Tolérance	Résultat	Notation sur 5
Retrait sec	30%	4,5% à 6,5%	<b>5,31%</b>	<b>3,0</b>
Résistance au sec (Kgf/cm <sup>2</sup> )	20%	20 à 60	<b>39,60</b>	<b>2,5</b>
Résistance au cuit (Kgf/cm <sup>2</sup> )	30%	40 à 130	<b>116,70</b>	<b>4,3</b>
Diamètre cœur noir (mm)	10%	3 à 13	<b>13,60</b>	<b>0,0</b>
Présence du défaut apparent	10%	Défaut	<b>Oui</b>	<b>0,0</b>
Note globale sur 5				<b>2,7</b>

**Tableau 19** : la notation d'essai 2.**Essai 3 :**

Le cœur noir dans cet essai est évalué à : 10mm, et les échantillons n'ont aucun défaut.

**Figure 42** : illustration des échantillons d'essai 3

Echantillons	Mesure (mm)	Référence (mm)	Retrait (%)
1	4,75	5	5
2	4,77	5	4,6
3	4,75	5	5
4	4,74	5	5,2
5	4,74	5	5,2
6	4,76	5	4,8
7	4,73	5	5,4
8	4,77	5	4,6
9	4,74	5	5,2
10	4,73	5	5,4
11	4,73	5	5,4
12	4,78	5	4,4
13	4,72	5	5,6
14	4,73	5	5,4
15	4,76	5	4,8
16	4,74	5	5,2
17	4,77	5	4,6
18	4,76	5	4,8
19	4,74	5	5,2
20	4,75	5	5
<b>Moyenne</b>	<b>4,7365</b>	<b>5</b>	<b>5,04</b>

**Tableau 20** : le retrait obtenu en essai 3.



Echantillons	Résistance au sec (kgf/cm <sup>2</sup> )
1	44
2	40
3	44
4	44
5	35
6	47
7	40
8	36
9	35
10	42
<b>Moyenne</b>	<b>40,7</b>

**Tableau 21** : la résistance au sec obtenu en essai 3.

Echantillons	Résistance au cuit (kgf/cm <sup>2</sup> )
1	102
2	115
3	120
4	108
5	128
6	114
7	115
8	109
9	102
10	115
<b>Moyenne</b>	<b>112.8</b>

**Tableau 22** : la résistance au cuit obtenu en essai 3.

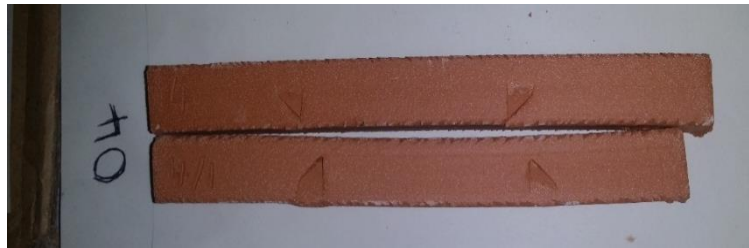
### Evaluation de la qualité des éprouvettes

Caractéristique des éprouvettes à contrôler	Coeff.	Tolérance	Résultat	Notation sur 5
Retrait sec	30%	4,5% à 6,5%	<b>5,04%</b>	<b>3,7</b>
Résistance au sec (Kgf/cm <sup>2</sup> )	20%	20 à 60	<b>40,70</b>	<b>2,6</b>
Résistance au cuit (Kgf/cm <sup>2</sup> )	30%	40 à 130	<b>112,80</b>	<b>4,0</b>
Diamètre cœur noir (mm)	10%	3 à 13	<b>10,00</b>	<b>1,5</b>
Présence du défaut apparent	10%	Défaut	<b>Non</b>	<b>5,0</b>
Note globale sur 5				<b>3,5</b>

**Tableau 23** : la notation d'essai 3.

**Essai 4 :**

Le cœur noir dans cet essai est : 6.5mm.



**Figure 43 :** illustration des échantillons d'essai 4.

Echantillons	Mesure (mm)	Référence (mm)	Retrait (%)
1	4,75	5	5
2	4,74	5	5,2
3	4,72	5	5,6
4	4,72	5	5,6
5	4,73	5	5,4
6	4,71	5	5,8
7	4,73	5	5,4
8	4,7	5	6
9	4,72	5	5,6
10	4,73	5	5,4
11	4,72	5	5,6
12	4,73	5	5,4
13	4,72	5	5,6
14	4,71	5	5,8
15	4,76	5	4,8
16	4,73	5	5,4
17	4,71	5	5,8
18	4,71	5	5,8
19	4,73	5	5,4
20	4,72	5	5,6
<b>Moyenne</b>	<b>4,7245</b>	<b>5</b>	<b>5,51</b>

**Tableau 24 :** le retrait obtenu en essai 4.

Echantillons	Résistance au sec (kgf/cm <sup>2</sup> )
1	35
2	35
3	34
4	34
5	33
6	38
7	41
8	37
9	38
10	37
<b>Moyenne</b>	<b>36,20</b>

**Tableau 25 :** la résistance au sec obtenu en essai 4.

Echantillons	Résistance au cuit (kgf/cm <sup>2</sup> )
1	119
2	118
3	100
4	107
5	109
6	110
7	120
8	115
9	116
10	104
<b>Moyenne</b>	<b>111.8</b>

**Tableau 26 :** la résistance au cuit obtenu en essai 4.

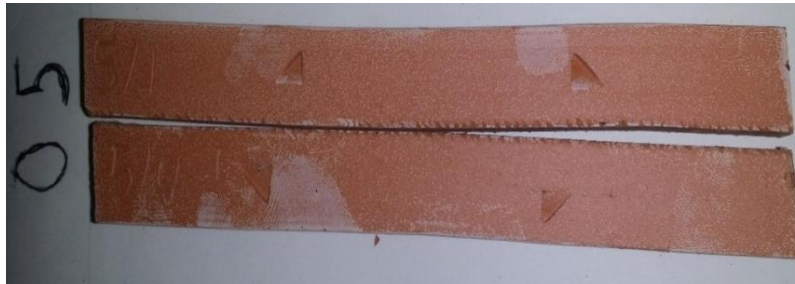
**Evaluation de la qualité des éprouvettes**

Caractéristique des éprouvettes à contrôler	Coeff.	Tolérance	Résultat	Notation sur 5
Retrait sec	30%	4,5% à 6,5%	<b>5,51%</b>	<b>2,5</b>
Résistance au sec (Kgf/cm <sup>2</sup> )	20%	20 à 60	<b>36,20</b>	<b>2,0</b>
Résistance au cuit (Kgf/cm <sup>2</sup> )	30%	40 à 130	<b>111,80</b>	<b>4,0</b>
Diamètre cœur noir (mm)	10%	3 à 13	<b>6,50</b>	<b>3,3</b>
Présence du défaut apparent	10%	Défaut	<b>Non</b>	<b>5,0</b>
Note globale sur 5				<b>3,2</b>

**Tableau 27 :** la notation d'essai.4.

**Essai 5 : (actuel)**

Le diamètre de cœur noir dans cet essai est : 12.80mm.



**Figure 44** : illustration des échantillons d'essai 5.

Echantillons	Mesure (mm)	Référence (mm)	Retrait (%)
1	4,73	5	5,4
2	4,72	5	5,6
3	4,67	5	6,6
4	4,66	5	6,8
5	4,67	5	6,6
6	4,66	5	6,8
7	4,7	5	6
8	4,7	5	6
9	4,73	5	5,4
10	4,68	5	6,4
11	4,72	5	5,6
12	4,66	5	6,8
13	4,7	5	6
14	4,73	5	5,4
15	4,71	5	5,8
16	4,7	5	6
17	4,67	5	6,6
18	4,68	5	6,4
19	4,74	5	5,2
20	4,7	5	6
<b>Moyenne</b>	<b>4,69</b>	<b>5</b>	<b>6,07</b>

**Tableau 28** : le retrait obtenu en essai 5

Echantillons	Résistance au sec (kgf/cm <sup>2</sup> )
1	40
2	51
3	43
4	52
5	42
6	37
7	40
8	43
9	43
10	54
<b>Moyenne</b>	<b>44.50</b>

Tableau 29 : la résistance au sec obtenu en essai 5

Echantillons	Résistance au sec (kgf/cm <sup>2</sup> )
1	127
2	123
3	121
4	134
5	127
6	131
7	123
8	134
9	139
10	137
<b>Moyenne</b>	<b>129.6</b>

Tableau 30 : la résistance au cuit obtenu en essai 5.

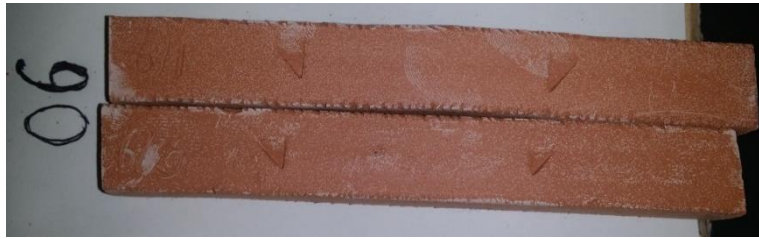
### Evaluation de la qualité des éprouvettes

Caractéristique des éprouvettes à contrôler	Coeff.	Tolérance	Résultat	Notation sur 5
Retrait sec	30%	4,5% à 6,5%	<b>6,07%</b>	<b>1,1</b>
Résistance au sec (Kgf/cm <sup>2</sup> )	20%	20 à 60	<b>44,50</b>	<b>3,1</b>
Résistance au cuit (Kgf/cm <sup>2</sup> )	30%	40 à 130	<b>129,60</b>	<b>5,0</b>
Diamètre cœur noir (mm)	10%	3 à 13	<b>12,80</b>	<b>0,1</b>
Présence du défaut apparent	10%	Défaut	<b>Non</b>	<b>5,0</b>
Note globale sur 5				<b>2,9</b>

Tableau 31 : la notation d'essai 5.

**Essai 06 :**

Le cœur noir dans cet essai est : 12.4mm.



**Figure 45 :** illustration des échantillons d'essai 6.

Echantillons	Mesure (mm)	Référence (mm)	Retrait (%)
1	4,71	5	5,8
2	4,75	5	5
3	4,74	5	5,2
4	4,72	5	5,6
5	4,73	5	5,4
6	4,7	5	6
7	4,7	5	6
8	4,73	5	5,4
9	4,71	5	5,8
10	4,76	5	4,8
11	4,72	5	5,6
12	4,71	5	5,8
13	4,73	5	5,4
14	4,72	5	5,6
15	4,72	5	5,6
16	4,7	5	6
17	4,72	5	5,6
18	4,7	5	6
19	4,7	5	6
20	4,72	5	5,6
<b>Moyenne</b>	<b>4.72</b>	<b>5</b>	<b>5,61</b>

**Tableau 32 :** le retrait obtenu en essai 6.

Echantillons	Résistance au sec (kgf/cm <sup>2</sup> )
1	34
2	34
3	36
4	36
5	35
6	38
7	38
8	30
9	36
10	34
<b>Moyenne</b>	<b>35.1</b>

Tableau 33 : la résistance au sec obtenu en essai 6.

Echantillons	Résistance au cuit (kgf/cm <sup>2</sup> )
1	131
2	135
3	139
4	132
5	139
6	129
7	151
8	141
9	141
10	143
<b>Moyenne</b>	<b>138.1</b>

Tableau 34 : la résistance au cuit obtenu en essai 6.

### Evaluation de la qualité des éprouvettes

Caractéristique des éprouvettes à contrôler	Coeff.	Tolérance	Résultat	Notation sur 5
Retrait sec	30%	4,5% à 6,5%	<b>5,61%</b>	<b>2,2</b>
Résistance au sec (Kgf/cm <sup>2</sup> )	20%	20 à 60	<b>35,10</b>	<b>1,9</b>
Résistance au cuit (Kgf/cm <sup>2</sup> )	30%	40 à 130	<b>138,10</b>	<b>5,0</b>
Diamètre cœur noir (mm)	10%	3 à 13	<b>12,4</b>	<b>0,3</b>
Présence du défaut apparent	10%	Défaut	<b>Non</b>	<b>5,0</b>
Note globale sur 5				<b>3,1</b>

Tableau 35 : la notation d'essai 6.

**Essai 07 :**

Le cœur noir dans cet essai est : 12mm. Nous avons remarqué la présence de défaut : sur-cuisson dans les échantillons.



**Figure 46 :** illustration des échantillons d'essai 7.

Echantillons	Mesure (mm)	Référence (mm)	Retrait (%)
1	4,7	5	6
2	4,68	5	6,4
3	4,7	5	6
4	4,68	5	6,4
5	4,7	5	6
6	4,72	5	5,6
7	4,67	5	6,6
8	4,67	5	6,6
9	4,7	5	6
10	4,72	5	5,6
11	4,69	5	6,2
12	4,68	5	6,4
13	4,71	5	5,8
14	4,7	5	6
15	4,72	5	5,6
16	4,72	5	5,6
17	4,74	5	5,2
18	4,72	5	5,6
19	4,69	5	6,2
20	4,74	5	5,2
<b>Moyenne</b>	<b>4.69</b>	<b>5</b>	<b>5,95</b>

**Tableau 36 :** le retrait obtenu en essai 7.



Echantillons	Résistance au sec (kgf/cm <sup>2</sup> )
1	33
2	35
3	33
4	31
5	33
6	33
7	34
8	36
9	34
10	33
<b>Moyenne</b>	<b>33.5</b>

Tableau 37 : la résistance au sec obtenu en essai 7.

Echantillons	Résistance au cuit (kgf/cm <sup>2</sup> )
1	90
2	77
3	82
4	73
5	73
6	88
7	74
8	93
9	85
10	90
<b>Moyenne</b>	<b>82.5</b>

Tableau 38 : la résistance au cuit obtenu en essai 7.

### Evaluation de la qualité des éprouvettes

Caractéristique des éprouvettes à contrôler	Coeff.	Tolérance	Résultat	Notation sur 5
Retrait sec	30%	4,5% à 6,5%	<b>5,95%</b>	<b>1,4</b>
Résistance au sec (Kgf/cm <sup>2</sup> )	20%	20 à 60	<b>33,50</b>	<b>1,7</b>
Résistance au cuit (Kgf/cm <sup>2</sup> )	30%	40 à 130	<b>82,50</b>	<b>2,4</b>
Diamètre cœur noir (mm)	10%	3 à 13	<b>12,0</b>	<b>0,5</b>
Présence du défaut apparent	10%	Défaut	<b>Oui</b>	<b>0,0</b>
Note globale sur 5				<b>1,5</b>

Tableau 39 : la notation d'essai 7.

**Essai 08 :**

Le cœur noir égal à zéro.



**Figure 47 :** illustration des échantillons d'essai 8

Echantillons	Mesure (mm)	Référence (mm)	Retrait (%)
1	4,67	5	6,6
2	4,72	5	5,6
3	4,75	5	5
4	4,72	5	5,6
5	4,67	5	6,6
6	4,66	5	6,8
7	4,7	5	6
8	4,7	5	6
9	4,73	5	5,4
10	4,68	5	6,4
11	4,73	5	5,4
12	4,66	5	6,8
13	4,67	5	6,6
14	4,71	5	5,8
15	4,69	5	6,2
16	4,74	5	5,2
17	4,67	5	6,6
18	4,7	5	6
19	4,65	5	7
20	4,68	5	6,4
<b>Moyenne</b>	<b>4.7</b>	<b>5</b>	<b>6.1</b>

**Tableau 40 :** le retrait obtenu en essai 8.

Echantillons	Résistance au sec (kgf/cm <sup>2</sup> )
1	20
2	20
3	22
4	20
5	19
6	21
7	20
8	19
9	17
10	26
<b>Moyenne</b>	<b>20.4</b>

Tableau 41 : la résistance au sec obtenu en essai 8.

Echantillons	Résistance au cuit (kgf/cm <sup>2</sup> )
1	100
2	84
3	100
4	103
5	92
6	88
7	85
8	91
9	105
10	102
<b>Moyenne</b>	<b>95</b>

Tableau 42 : la résistance au cuit obtenu en essai 8.

### Evaluation de la qualité des éprouvettes

Caractéristique des éprouvettes à contrôler	Coeff.	Tolérance	Résultat	Notation sur 5
Retrait sec	30%	4,5% à 6,5%	<b>6,1%</b>	<b>1,0</b>
Résistance au sec (Kgf/cm <sup>2</sup> )	20%	20 à 60	<b>20,40</b>	<b>0,0</b>
Résistance au cuit (Kgf/cm <sup>2</sup> )	30%	40 à 130	<b>95,00</b>	<b>3,1</b>
Diamètre cœur noir (mm)	10%	3 à 13	<b>0,0</b>	<b>5,0</b>
Présence du défaut apparent	10%	Défaut	<b>Non</b>	<b>5,0</b>
Note globale sur 5				<b>2,2</b>

Tableau 43 : la notation d'essai 8.

**Essai 09 :**

Dans cet essai le cœur noir est zéro.



**Figure 48 :** illustration des échantillons d'essai 9.

Echantillons	Mesure (mm)	Référence (mm)	Retrait (%)
1	4,67	5	6,6
2	4,67	5	6,6
3	4,7	5	6
4	4,69	5	6,2
5	4,68	5	6,4
6	4,66	5	6,8
7	4,68	5	6,4
8	4,67	5	6,6
9	4,64	5	7,2
10	4,67	5	6,6
11	4,69	5	6,2
12	4,66	5	6,8
13	4,65	5	7
14	4,69	5	6,2
15	4,72	5	5,6
16	4,71	5	5,8
17	4,67	5	6,6
18	4,7	5	6
19	4,72	5	5,6
20	4,67	5	6,6
<b>Moyenne</b>	<b>4.68</b>	<b>5</b>	<b>6,93</b>

**Tableau 44 :** le retrait obtenu en essai 9.

Echantillons	Résistance au sec (kgf/cm <sup>2</sup> )
1	29
2	22
3	21
4	26
5	25
6	26
7	29
8	22
9	21
10	23
<b>Moyenne</b>	<b>24.4</b>

**Tableau 45 :** la résistance au sec obtenu en essai 9.

Echantillons	Résistance au cuit (kgf/cm <sup>2</sup> )
1	112
2	110
3	119
4	116
5	115
6	120
7	113
8	108
9	119
10	105
<b>Moyenne</b>	<b>113.7</b>

**Tableau 46 :** la résistance au cuit obtenu en essai 9.

### Evaluation de la qualité des éprouvettes

Caractéristique des éprouvettes à contrôler	Coeff.	Tolérance	Résultat	Notation sur 5
Retrait sec	30%	4,5% à 6,5%	<b>6,93%</b>	<b>0,3</b>
Résistance au sec (Kgf/cm <sup>2</sup> )	20%	20 à 60	<b>24,40</b>	<b>0,6</b>
Résistance au cuit (Kgf/cm <sup>2</sup> )	30%	40 à 130	<b>113,70</b>	<b>4,1</b>
Diamètre cœur noir (mm)	10%	3 à 13	<b>0,0</b>	<b>5,0</b>
Présence du défaut apparent	10%	Défaut	<b>Non</b>	<b>5,0</b>
Note globale sur 5				<b>2,4</b>

**Tableau 47 :** la notation d'essai 9.

Après que nous avons terminé les neuf essais, nous avons utilisé les notes des essais pour le calcul de la configuration optimale pour effectuer le test de validation.

N essai	Facteurs de contrôle				Evaluation de la qualité
	A	B	C	D	
1	1	1	1	1	2.6
2	1	2	2	2	2.7
3	1	3	3	3	3.5
4	2	1	2	3	3.2
5	2	2	3	1	2.9
6	2	3	1	2	3.1
7	3	1	3	2	1.5
8	3	2	1	3	2.2
9	3	3	2	1	2.4

**Tableau 48:** le résultat des essais.

Par la suite nous avons calculé la moyenne de chaque facteur et à chaque niveau (voir tableau 49 ci-dessous)

Facteur	A	B	C	D
Note Niveau 1	2.93	2.43	2.63	2.63
Note Niveau 2	3.06	2.6	2.77	2.43
Note Niveau 3	2.03	3	2.63	2.96

**Tableau 49 :** la moyenne des résultats pour les facteurs.

Puisque notre objectif est de maximiser et d'améliorer la qualité des produits, donc de s'approcher au de la notation maximale qui est égale à 5, nous avons choisi le niveau le plus élevé pour chaque facteur. Et voici la configuration optimale :

Facteurs	A	B	C	D
Niveau de facteur choisir	2	3	2	3
Le pourcentage	12%	15%	50% jaune 50% bleu	20%

**Tableau 50** : la nouvelle composition des matières premières obtenues.

Par la suite nous avons utilisé cette nouvelle configuration pour effectuer le test de validation. Pour réaliser ce dernier nous avons suivi le même mode opératoire qui nous avons utilisé pour réaliser les neuf essais précédents.

### 3.6 Essai de validation :

Nous avons fabriqué vingt échantillons pour effectuer les différents tests. Les échantillons de cet essai n'ont aucun défaut (voir la figure ci-dessous), et le diamètre de cœur noir est égal à zéro (voir annexe 3).

**Figure 49**: illustration d'un échantillon d'essai de validation.

Echantillons	Mesure (mm)	Référence (mm)	Retrait (%)
1	4,72	5	5,6
2	4,71	5	5,8
3	4,79	5	4,2
4	4,72	5	5,6
5	4,73	5	5,4
6	4,72	5	5,6
7	4,71	5	5,8
8	4,72	5	5,6
9	4,77	5	4,6
10	4,71	5	5,8
11	4,71	5	5,8
12	4,77	5	4,6
13	4,7	5	6
14	4,76	5	4,8
15	4,7	5	6
16	4,73	5	5,4
17	4,78	5	4,4
18	4,71	5	5,8
19	4,7	5	6
20	4,73	5	5,4
<b>Moyenne</b>	<b>4.73</b>	<b>5</b>	<b>5,41</b>

**Tableau 51** : le retrait obtenu en essai de validation

Echantillons	Résistance au sec (kgf/cm <sup>2</sup> )
1	52
2	57
3	53
4	50
5	54
6	53
7	52
8	52
9	53
10	53
<b>Moyenne</b>	<b>53</b>

**Tableau 52 :** la résistance au sec obtenu en essai de validation.

Echantillons	Résistance au cuit (kgf/cm <sup>2</sup> )
1	134
2	129
3	120
4	121
5	124
6	129
7	129
8	133
9	124
10	135
<b>Moyenne</b>	<b>127.8</b>

**Tableau 53 :** la résistance au cuit obtenu en essai de validation.

Dans la suite nous avons utilisé les résultats des différents tests pour évaluer la qualité des échantillons de cet essai.

**Evaluation de la qualité des éprouvettes**

Caractéristique des éprouvettes à contrôler	Coeff.	Tolérance	Résultat	Notation sur 5
Retrait sec	30%	4,5% à 6,5%	<b>5,41%</b>	<b>2,7</b>
Résistance au sec (Kgf/cm <sup>2</sup> )	20%	20 à 60	<b>53,00</b>	<b>4,1</b>
Résistance au cuit (Kgf/cm <sup>2</sup> )	30%	40 à 130	<b>127,80</b>	<b>4,9</b>
Diamètre cœur noir (mm)	10%	3 à 13	-	<b>5,0</b>
Présence du défaut apparent	10%	Défaut	<b>Non</b>	<b>5,0</b>
Note globale sur 5				<b>4,1</b>

**Tableau 54 :** la notation d'essai de validation.



### 3.7 Interprétation des résultats :

Nous remarquons que les résultats donnés par le teste de validations sont largement supérieurs à ceux de tous les essais réalisés précédemment. En effet, ce test a donné une note globale de 4.1/5

D'autre part on remarque que l'utilisation de cette composition nous donne un produit qui répond aux besoins des clients, car tous les paramètres d'évaluation (Résistance, défaut, cœur noir) sont dans les tolérances exigées.

Cette composition consiste à réaliser un mélange composé de 50 % argile bleu et 50 % argile jaune avec un refus de 20% et utilise un nouvel ajout qui est le sable avec un teneur de 20 % et utiliser 20 % d'eau pour le malaxer.

## 4. Conclusion :

Ce chapitre comme son intitulé l'indique, a été consacré à notre cas d'étude qui est l'amélioration de la qualité des briques, dans lequel nous avons utilisé la méthode de Taguchi.

Nous sommes passés par toutes ses étapes, de la formulation du problème et la sélection des paramètres jusqu'à la réalisation des essais et le choix d'une configuration qui donne une nouvelle composition pour les teneurs des matières premières.

L'utilisation de cet outil de qualité nous a permis d'obtenir une nouvelle composition du mélange des matières premières destinées à la fabrication des briques, qui pourrait être utilisée dans un avenir proche, nous l'espérons, dans le but d'améliorer la qualité des briques au sein de l'entreprise la TAFNA et d'éviter à cette dernière de passer par des modifications techniques du four très coûteuses.

## Conclusion générale :

Ce travail a été réalisé en 2 phases, un stage pratique inclus dans notre formation et un stage pour le projet de fin étude.

Le premier stage, effectué entre le mois d'août 2016 et le mois de septembre 2016 nous a permis de découvrir les différents départements, processus de fabrication et toutes les activités de support qui aident à la fabrication de la brique.

Quant au deuxième stage, beaucoup plus pratique, il nous a permis d'observer un problème lié au taux de rebut des briques. Ce dernier cause des pertes considérables en matière et en énergie. Il a été estimé à 5 %, sachant qu'il ne doit pas dépasser les objectifs de production fixés par la TAFNA, estimés à 2%.

Nous avons donc présenté dans ce mémoire une approche technique basée sur un puissant outil de la qualité nommé « méthode de Taguchi » pour tenter de résoudre cette problématique qui ennuyait l'entreprise la TAFNA depuis quelques temps.

L'utilisation de cet outil peut permettre de réduire le taux de rebut des briques par l'amélioration des paramètres liés aux teneurs des matières premières.

Pour ce faire, nous avons présenté dans ce mémoire un travail divisé en trois chapitres :

- ❖ Le chapitre 1 a été consacré à la présentation de l'entreprise, de ses différents départements, de son organigramme, et du processus de fabrication de la brique.
- ❖ Le chapitre 2 a été consacré à la présentation de la méthode que nous avons proposée afin de remédier, un tant soit peu, au problème lié au taux de rebut des briques. Nous avons commencé ce chapitre par l'introduction des plans d'expérience et leurs intérêts dans le développement des sciences et technologies en présentant quelques travaux dans différents domaines scientifiques. Puis nous avons introduit la méthode de Taguchi considérée comme étant des plans d'expériences réduits.
- ❖ Le troisième et dernier chapitre a été consacré au cœur de notre travail où nous avons présenté :
  - Le mode opératoire utilisé dans le laboratoire de la TAFNA pour la réalisation des éprouvettes.
  - Les facteurs des essais et leurs modalités.
  - Les essais réalisés selon le plan de Taguchi.
  - Une nouvelle configuration qui consiste à réaliser un mélange composé de 50 % argile bleu et 50 % argile jaune avec un refus de 20% en ajoutant du sable avec une teneur de 20 % ; et 20 % d'eau pour le malaxer.

Toutes ces étapes, nous ont permis de proposer un mélange qui répond aux besoins des clients et qui a atteint la note 4.1 sur 5, dans le système de notation que nous avons proposé afin de comparer entre les différentes configurations.

## **Annexe 1 :**

### **Quelques matrices d'expériences de Taguchi**

---

**Matrice d'expériences L12 (11 facteurs à 2 niveaux)**

N° essai	Facteurs contr <sup>TM</sup> s										
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2
3	1	1	2	2	2	1	1	1	2	2	2
4	1	2	1	2	2	1	2	2	1	1	2
5	1	2	2	1	2	2	1	2	1	2	1
6	1	2	2	2	1	2	2	1	2	1	1
7	2	1	2	2	1	1	2	2	1	2	1
8	2	1	2	1	2	2	2	1	1	1	2
9	2	1	1	2	2	2	1	2	2	1	1
10	2	2	2	1	1	1	1	2	2	1	2
11	2	2	1	2	1	2	1	1	1	2	2
12	2	2	1	1	2	1	2	1	2	2	1

**Matrice d'expériences L16 (5 facteurs à 4 niveaux)**

N° essai	Facteurs contr <sup>TM</sup> 's				
	A	B	C	D	E
1	1	1	1	1	1
2	1	2	2	2	2
3	1	3	3	3	3
4	1	4	4	4	4
5	2	1	2	3	4
6	2	2	1	4	3
7	2	3	4	1	2
8	2	4	3	2	1
9	3	1	3	4	2
10	3	2	4	3	1
11	3	3	1	2	4
12	3	4	2	1	3
13	4	1	4	2	3
14	4	2	3	1	4
15	4	3	2	4	1
16	4	4	1	3	2

Matrice d'expériences L16 (15 facteurs à 2 niveaux)

N° essai	Facteurs contr <sup>TM</sup> 's														
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2
3	1	1	1	2	2	2	2	1	1	1	1	2	2	2	2
4	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1
5	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2
6	1	2	2	1	1	2	2	2	2	1	1	2	2	1	1
7	1	2	2	2	2	1	1	1	1	2	2	2	2	1	1
8	1	2	2	2	2	1	1	2	2	1	1	1	1	2	2
9	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
10	2	1	2	1	2	1	2	2	1	2	1	2	1	2	1
11	2	1	2	2	1	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1
12	2	1	2	2	1	2	1	2	1	2	1	1	2	1	2
13	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1
14	2	2	1	1	2	2	1	2	1	1	2	2	1	1	2
15	2	2	1	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1	1	2
16	2	2	1	2	1	1	2	2	1	1	2	1	2	2	1

**Matrice d'expériences L9 (4 facteurs à 3 niveaux)**

N° essai	Facteurs contr <sup>TM</sup> l's			
	A	B	C	D
1	1	1	1	1
2	1	2	2	2
3	1	3	3	3
4	2	1	2	3
5	2	2	3	1
6	2	3	1	2
7	3	1	3	2
8	3	2	1	3
9	3	3	2	1

**Matrice d'expériences L32 (31 facteurs à 2 niveaux)**

N° essai	Facteurs contr <sup>TM</sup> 's																													
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	%	"	"	
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
3	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	
4	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	
5	1	1	1	2	2	2	2	1	1	1	1	2	2	2	2	1	1	1	1	2	2	2	2	2	1	1	1	1	2	
6	1	1	1	2	2	2	2	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	2	2	2	2	1		
7	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1		
8	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	2		
9	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1		
10	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2		
11	1	2	2	1	1	2	2	2	2	1	1	2	2	1	1	1	1	2	2	1	1	2	2	2	2	1	1	2		
12	1	2	2	1	1	2	2	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	1	1	1	2	2		
13	1	2	2	2	1	1	1	1	2	2	2	2	1	1	1	1	2	2	2	2	2	1	1	1	1	2	2	1		
14	1	2	2	2	2	1	1	1	1	2	2	2	2	1	1	2	2	1	1	1	1	2	2	2	2	1	1	2		
15	1	2	2	2	2	1	1	2	2	1	1	1	1	2	2	1	1	2	2	2	2	1	1	2	2	1	1	2		
16	1	2	2	2	2	1	1	2	2	1	1	1	1	2	2	2	2	1	1	1	1	2	2	1	1	2	2	1		
17	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1		
18	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2		
19	2	1	2	1	2	1	2	2	1	2	1	2	1	2	1	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1		
20	2	1	2	1	2	1	2	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2		
21	2	1	2	2	1	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1	2	1	2	1	2	2	1	2	1	1	2	2	1		
22	2	1	2	2	1	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1	2	1	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1	2		
23	2	1	2	2	1	2	1	2	1	2	1	1	2	1	2	1	2	1	2	2	1	2	1	2	1	2	1	2		
24	2	1	2	2	1	2	1	2	1	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1	1	2	1	2	1	2	1	2	1		
25	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	2		
26	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2		
27	2	2	1	1	2	2	1	2	1	1	2	2	1	1	2	1	2	2	1	1	2	2	1	2	1	1	2	2		
28	2	2	1	1	2	2	1	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	1	2	2	1	2		
29	2	2	1	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1	1	2	1	2	2	1	2		
30	2	2	1	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1	1	2	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1	1	2	2		
31	2	2	1	2	1	1	2	2	1	1	2	1	2	2	1	1	2	2	1	2	1	1	2	2	1	1	2	2		
32	2	2	1	2	1	1	2	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1	1	2	1	2	2	1	1	2	2	1	2		

Matrice d'expériences L4 (3 facteurs à 2 niveaux)

N° essai	Facteurs contr <sup>TM</sup> 's		
	A	B	C
1	1	1	1
2	1	2	2
3	2	1	2
4	2	2	1

Matrice d'expériences L8 (7 facteurs à 2 niveaux)

N° essai	Facteurs contr <sup>TM</sup> 's						
	A	B	C	D	E	F	G
1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	2	2	2	2
3	1	2	2	1	1	2	2
4	1	2	2	2	2	1	1
5	2	1	2	1	2	1	2
6	2	1	2	2	1	2	1
7	2	2	1	1	2	2	1
8	2	2	1	2	1	1	2

Matrice d'expériences L27 (13 facteurs à 3 niveaux)

N° essai	Facteurs contr <sup>TM</sup> 's												
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2
3	1	1	1	1	3	3	3	3	3	3	3	3	3
4	1	2	2	2	1	1	1	2	2	2	3	3	3
5	1	2	2	2	2	2	2	3	3	3	1	1	1
6	1	2	2	2	3	3	3	1	1	1	2	2	2
7	1	3	3	3	1	1	1	3	3	3	2	2	2
8	1	3	3	3	2	2	2	1	1	1	3	3	3
9	1	3	3	3	3	3	3	2	2	2	1	1	1
10	2	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
11	2	1	2	3	2	3	1	2	3	1	2	3	1
12	2	1	2	3	3	1	2	3	1	2	3	1	2
13	2	2	3	1	1	2	3	2	3	1	3	1	2
14	2	2	3	1	2	3	1	3	1	2	1	2	3
15	2	2	3	1	3	1	2	1	2	3	2	3	1
16	2	3	1	2	1	2	3	3	1	2	2	3	1
17	2	3	1	2	2	3	1	1	2	3	3	1	2
18	2	3	1	2	3	1	2	2	3	1	1	2	3
19	3	1	3	2	1	3	2	1	3	2	1	3	2
20	3	1	3	2	2	1	3	2	1	3	2	1	3
21	3	1	3	2	3	2	1	3	2	1	3	2	1
22	3	2	1	3	1	3	2	2	1	3	3	2	1
23	3	2	1	3	2	1	3	3	2	1	1	3	2
24	3	2	1	3	3	2	1	1	3	2	2	1	3
25	3	3	2	1	1	3	2	3	2	1	2	1	3
26	3	3	2	1	2	1	3	1	3	2	3	2	1
27	3	3	2	1	3	2	1	2	1	3	1	3	2

Matrice d'expériences L36 (13 facteurs à 3 niveaux)



N° essai	Facteurs contr <sup>TM</sup> I's												
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1
3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	1
4	1	1	1	1	2	2	2	2	3	3	3	3	1
5	2	2	2	2	3	3	3	3	1	1	1	1	1
6	3	3	3	3	1	1	1	1	2	2	2	2	1
7	1	1	2	3	1	2	3	3	1	2	2	3	1
8	2	2	3	1	2	3	1	1	2	3	3	1	1
9	3	3	1	2	3	1	2	2	3	1	1	2	1
10	1	1	3	2	1	3	2	3	2	1	3	2	1
11	2	2	1	3	2	1	3	1	3	2	1	3	1
12	3	3	2	1	3	2	1	2	1	3	2	1	1
13	1	2	3	1	3	2	1	3	3	2	1	2	2
14	2	3	1	2	1	3	2	1	1	3	2	3	2
15	3	1	2	3	2	1	3	2	2	1	3	1	2
16	1	2	3	2	1	1	3	2	3	3	2	1	2
17	2	3	1	3	2	2	1	3	1	1	3	2	2
18	3	1	2	1	3	3	2	1	2	2	1	3	2
19	1	2	1	3	3	3	1	2	2	1	2	3	2
20	2	3	2	1	1	1	2	3	3	2	3	1	2
21	3	1	3	2	2	2	3	1	1	3	1	2	2
22	1	2	2	3	3	1	2	1	1	3	3	2	2
23	2	3	3	1	1	2	3	2	2	1	1	3	2
24	3	1	1	2	2	3	1	3	3	2	2	1	2
25	1	3	2	1	2	3	3	1	3	1	2	2	3
26	2	1	3	2	3	1	1	2	1	2	3	3	3
27	3	2	1	3	1	2	2	3	2	3	1	1	3
28	1	3	2	2	2	1	1	3	2	3	1	3	3
29	2	1	3	3	3	2	2	1	3	1	2	1	3
30	3	2	1	1	1	3	3	2	1	2	3	2	3
31	1	3	3	3	2	3	2	2	1	2	1	1	3
32	2	1	1	1	3	1	3	3	2	3	2	2	3
33	3	2	2	2	1	2	1	1	3	1	3	3	3
34	1	3	1	2	3	2	3	1	2	2	3	1	3
35	2	1	2	3	1	3	1	2	3	3	1	2	3
36	3	2	3	1	2	1	2	3	1	1	2	3	3

Matrice d'expériences L25 (6 facteurs à 5 niveaux)

N° essai	Facteurs contrôlés					
	A	B	C	D	E	F
1	1	1	1	1	1	1
2	1	2	2	2	2	2
3	1	3	3	3	3	3
4	1	4	4	4	4	4
5	1	5	5	5	5	5
6	2	1	2	3	4	5
7	2	2	3	4	5	1
8	2	3	4	5	1	2
9	2	4	5	1	2	3
10	2	5	1	2	3	4
11	3	1	3	5	2	4
12	3	2	4	1	3	5
13	3	3	5	2	4	1
14	3	4	1	3	5	2
15	3	5	2	4	1	3
16	4	1	4	2	5	3
17	4	2	5	3	1	4
18	4	3	1	4	2	5
19	4	4	2	5	3	1
20	4	5	3	1	4	2
21	5	1	5	4	3	2
22	5	2	1	5	4	3
23	5	3	2	1	5	4
24	5	4	3	2	1	5
25	5	5	4	3	2	1

## **Annexe 2 :**

### **Exemple de calcul de la configuration optimale**

On prend un exemple d'une matrice L8 (7 facteur à 2 niveaux), cette dernière contient les résultats huit essais. (Voir le tableau ci-dessous)

N° essai	Facteurs testés							Résultats de l'essai
	A	B	C	D	E	F	G	
1	1	1	1	1	1	1	1	16%
2	1	1	1	2	2	2	2	17%
3	1	2	2	1	1	2	2	12%
4	1	2	2	2	2	1	1	6%
5	2	1	2	1	2	1	2	6%
6	2	1	2	2	1	2	1	68%
7	2	2	1	1	2	2	1	42%
8	2	2	1	2	1	1	2	26%

**Tableau 55** : exemple matrice L8

On note A1 le pourcentage moyen de résultats des essais lorsque le facteur A est au niveau 1.

On a alors :

$$A1 = (16 + 17 + 12 + 6) / 4 = 12,75\%$$

De la même façon :

$$A2 = (6 + 68 + 42 + 26) / 4 = 35,50\%$$

On peut ainsi calculer les pourcentages moyens pour les 2 niveaux des 7 facteurs étudiés.

Ces résultats se trouvent résumer dans le tableau récapitulatif suivant :

Facteurs		A	B	C	D	E	F	G
%	Niv 1	12,75	26,75	25,25	19	30,5	13,5	33
rebuts	Niv 2	35,5	21,5	23	29,25	17,75	34,75	15,25

**Tableau 56** : les résultats de calcul des pourcentages moyens

Il suffit finalement de choisir la configuration optimale en prenant pour chaque facteur le niveau qui entraîne le pourcentage le plus faible (selon l'objectif fixé), c'est à dire :

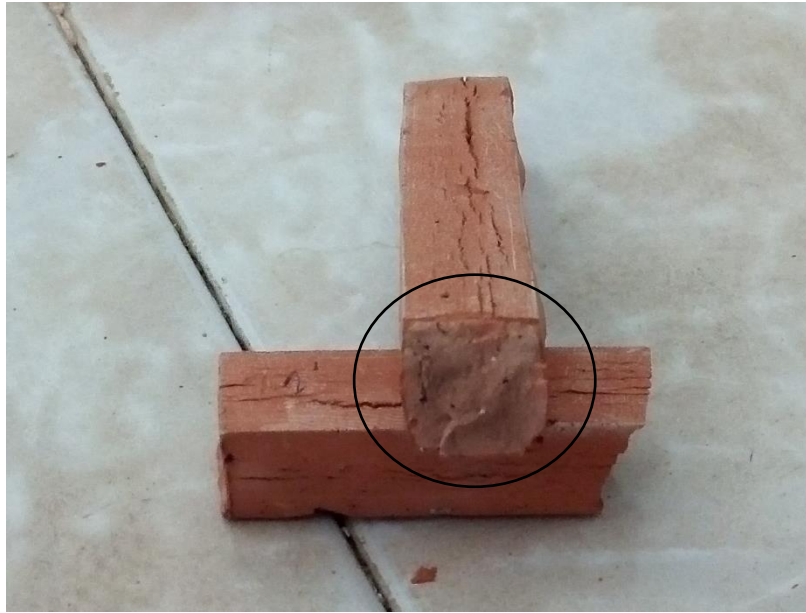
**A1 B2C2 D1 E2 F1 G2**

## **Annexe 3 :**

### **Le cœur noir**

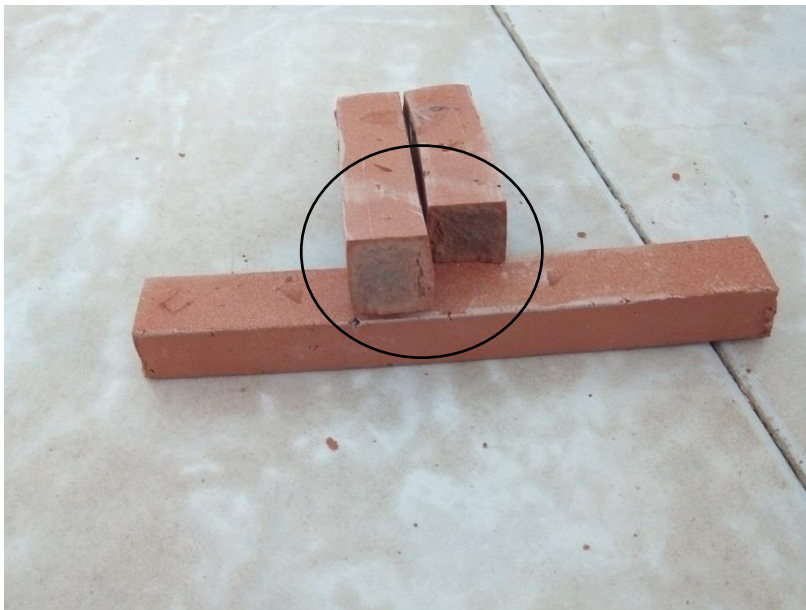
---

**Essai 01 :**



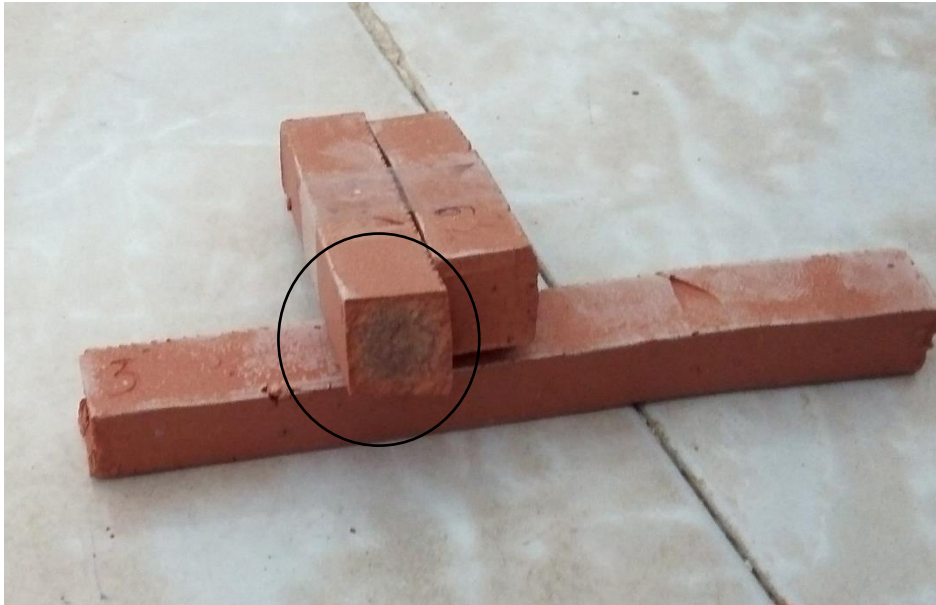
**Figure 50 :** illustration cœur noir essai 01.

**Essai 02 :**



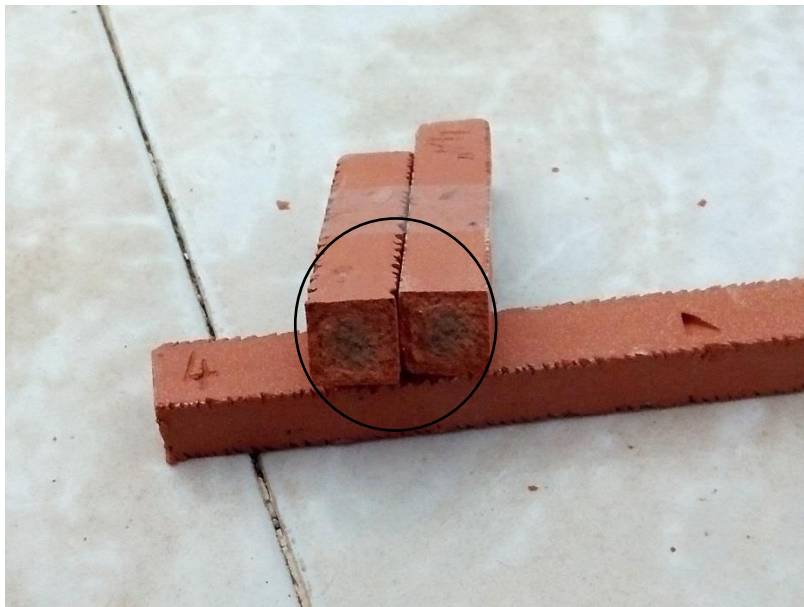
**Figure 51:** illustration cœur noir essai 02.

**Essai 03 :**



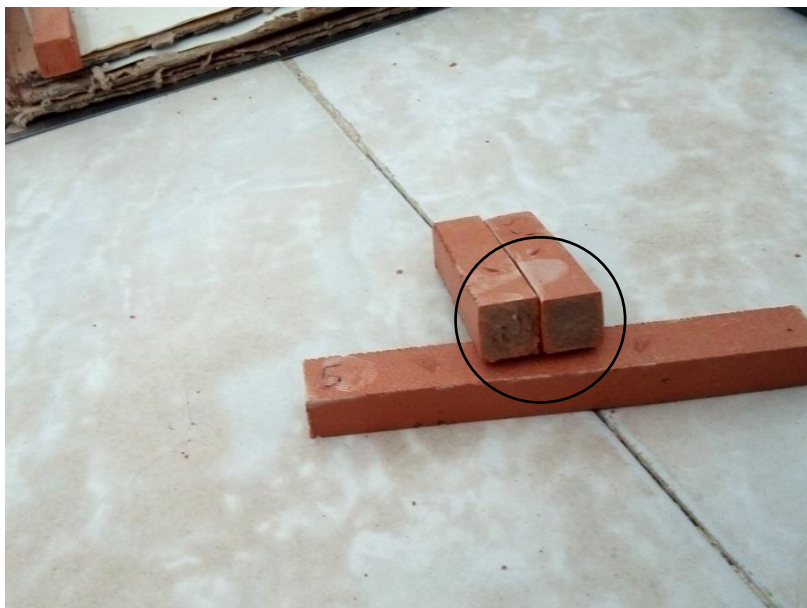
**Figure 52:** illustration cœur noir essai 02.

**Essai 04 :**



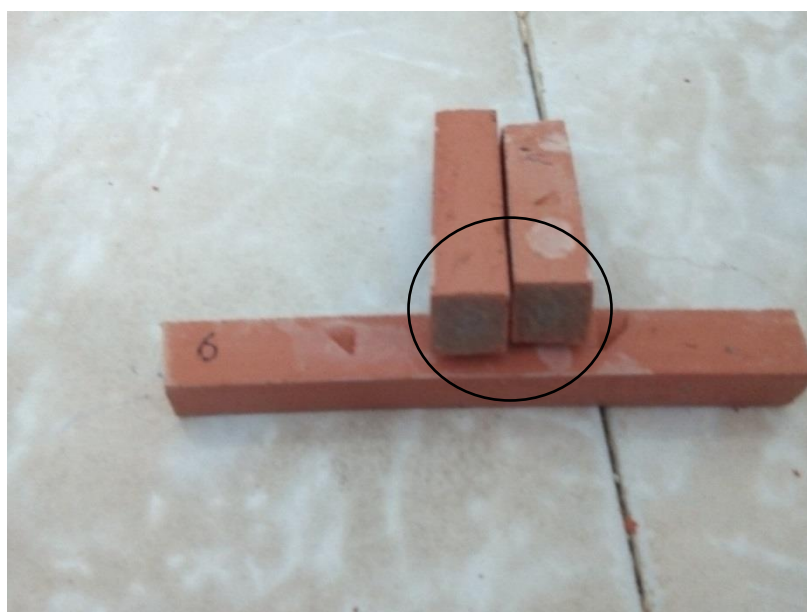
**Figure 53:** illustration cœur noir essai 04.

**Essai 05 :**



**Figure 54 :** illustration cœur noir essai 05.

**Essai 06 :**



**Figure 55 :** illustration cœur noir essai 06.

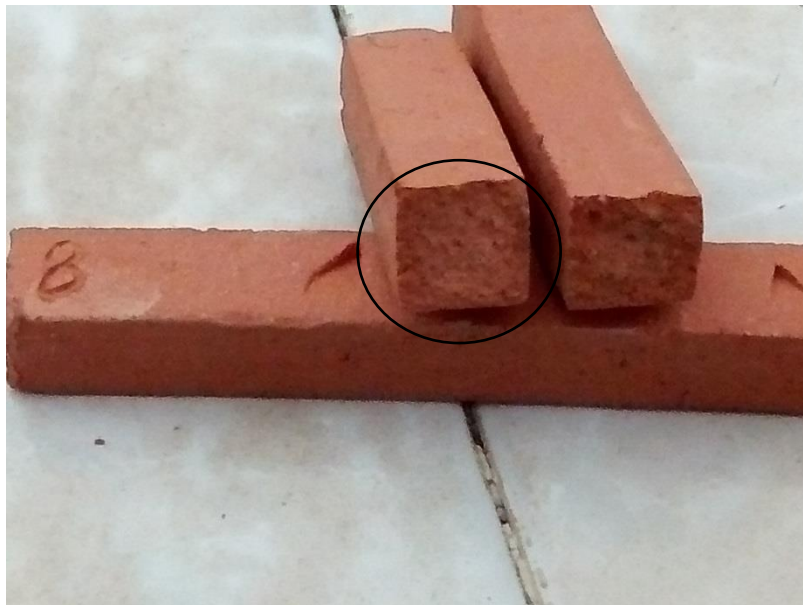


**Essai 07 :**



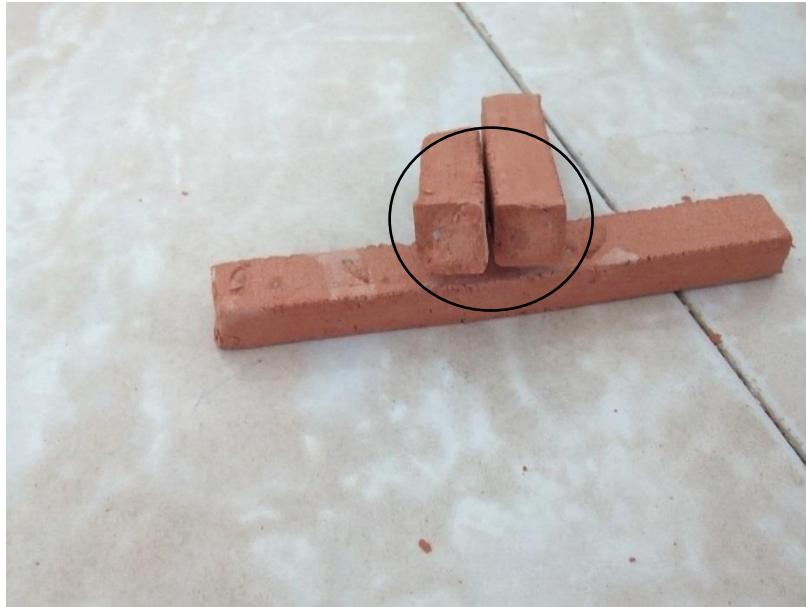
**Figure 56:** illustration cœur noir essai 07.

**Essai 08 :**



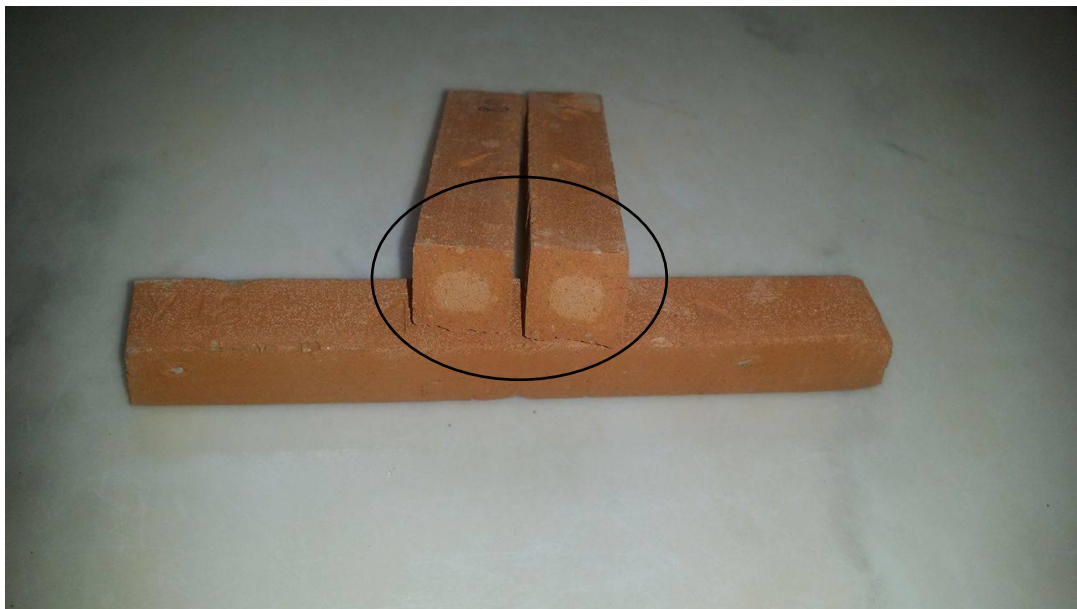
**Figure 57 :** illustration cœur noir essai 08.

**Essai 09 :**



**Figure 58 :** illustration cœur noir essai 09.

**Essai de validation :**



**Figure 59 :** illustration cœur noir essai de validation.

## **Annexe 4 :**

### **Diagramme d'Ishikawa**

---

Dans l'étape de choix des paramètres (Brainstorming), nous avons utilisé le diagramme d'Ishikawa (voir la figure ci-dessous) pour identifier les de la mauvaise qualité.

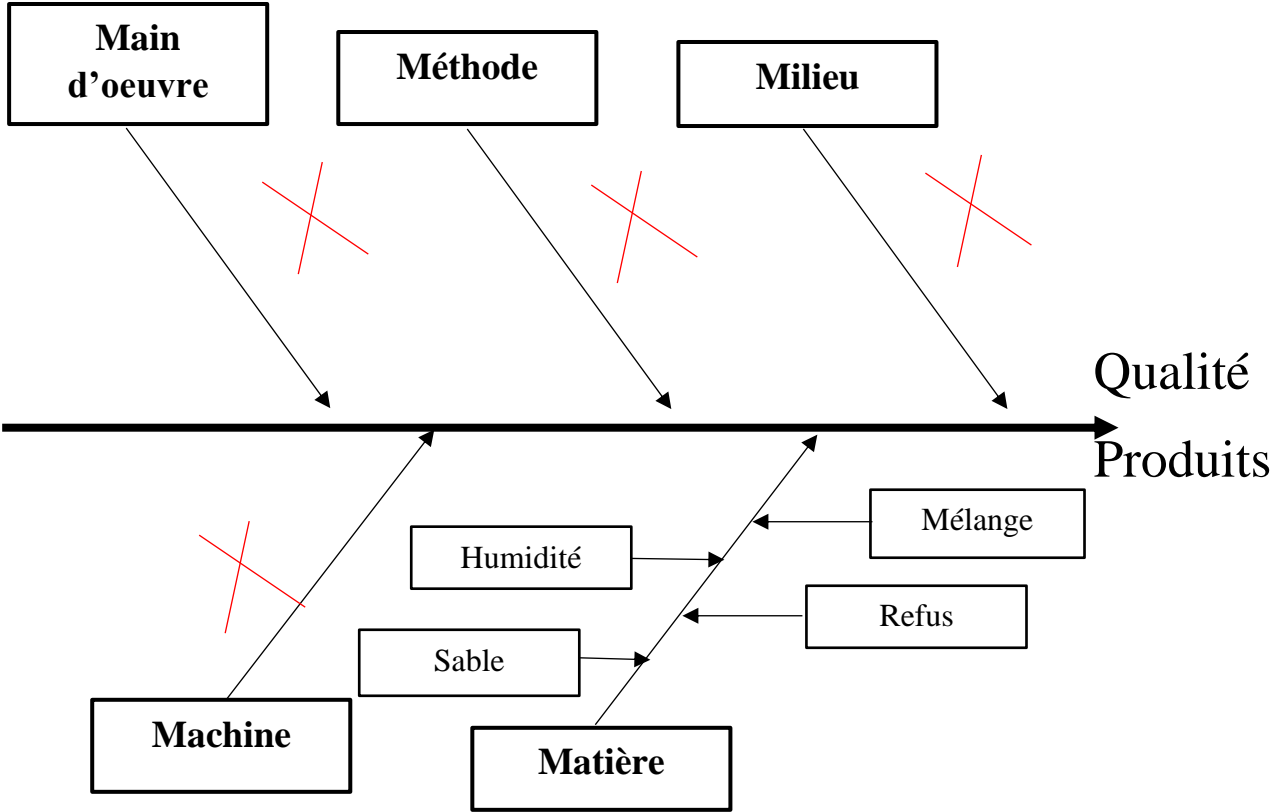


Figure 60: diagramme d'Ishikawa

# Lexique :

**Brainstorming** : Technique de recherche d'idées originales, fondée sur la communication réciproque dans un groupe des associations libres de chacun de ses membres.

**Cœur noir** : la partie non cuite à l'intérieur de la brique

**Essais** : expériences.

**Interaction** : combinaison des facteurs n'agissant pas de façon indépendante.

**Manuel qualité** : document spécifiant le système de management de la qualité d'un organisme.

**Modalités** : niveau de variations des paramètres.

**Norme** : document écrit, établi par consensus et approuvé par un organisme reconnu (AFNOR ou ISO...)

**Plan d'expérience** : une façon d'organiser les essais de manière optimale pour obtenir la réponse à un problème.

**Processus** : ensemble d'activités corrélées ou interactives qui transforme des éléments d'entrée en éléments de sortie.

**Retrait** : la diminution de la longueur des briques après le séchage.

**Taux de rebuts** : le pourcentage qu'on jette après un triage.

**Validation** : Confirmation par des preuves que les exigences pour une utilisation spécifique ou une application prévues ont été satisfaites.

**Diagramme d'Ishikawa** : Le diagramme d'Ishikawa, ou diagramme en arête de poisson, est une technique de créativité pour l'élaboration de solutions à des problèmes

# Recherche bibliographies

[1] : Mohamed El Hourch, « Optimisation des méthodes électrochimiques et spectroscopiques à l'aide de plan d'expériences dans l'étude des interactions métaux- biota : applications à diverses problématiques environnementales », Thèse de doctorat en Sciences de la vie et de la santé. Chimie de l'environnement et écotoxicologie, Sous la direction de Jean Claud-Amiard.

[2] : Amina Lamraoui, « Traitement de surface par texturation laser : une alternative "propre" de préparation de surface pour la projection thermique », Thèse de doctorat en Matériaux, Sous la direction de Cécile Langlade et de Sophie Costil , Soutenu le 16-12-2011 à Belfort-Montbéliard

[3] : Kadour Rani, « Stratégies d'optimisation des protocoles en scanographie pédiatrique », Thèse de doctorat en Automatique, Traitement du Signal et des Images, Génie Informatique, sous la direction de Didier Wolf et de Alain Noel, Soutenu le 14-12-2015 à l'université de Lorraine

[4] : Rubaiyet Iftekharul Haque , « Design et développement d'un capteur acoustique imprimé. », Thèse de doctorat en Microélectronique, Sous la direction de Patrick Benaben, Soutenu le 20-10-2015 à Saint-Etienne, EMSE

[5] : Jean-Philippe Raisin , « Contribution à l'optimisation de la régulation load sensing d'une pompe hydraulique à cylindrée variable », Thèse de doctorat en Mécanique, Sous la direction de Bernard Landjerit et de Christophe Herbelot. Soutenu en 2002 à Lille 1 .

[6] : SEVGUI HADJIHASSAN, « Approches déterministe et stochastique de l'amélioration de la qualité à base de modèles », Thèse de doctorat en Sciences et techniques communes, Sous la direction de ERIC WALTER. Soutenu en 1997 à Paris 11

[7] : Vidjannagni Kodjo , « Évaluation et modélisation des dispositifs de retenue pour motards » , Thèse de doctorat en Mécanique, Sous la direction de Michel Massenzio et de Sylvie Ronel , Soutenu le 02-09-2016 à Lyon

[8] : Minh-Quang Le Nguyen , « Conception des granules pour des barrières anti-pollution : application de la méthode Taguchi des plans d'expériences », Thèse de doctorat en Mécanique des sols, Sous la direction de Jean-Louis Favre ,. Soutenu en 1995 à Châtenay-Malabry, Ecole centrale de Paris

[9] Jean-Claude CHAUVEAU et Jean-Paul CHASSAING, « Introduction à la méthode des plans d'expériences par la méthode de Taguchi », Compléments au cours d'asservissement C.N.E.D Génie Electrotechnique, 46p.

[10] El Idrissi Halima, « Optimisation de la qualité du yaourt à boire par rapport à son coût », Rapport de stage de fin d'études, sous la direction de Mr. J. Allam et Mr. A. Boulahna, Fes, Université Sidi Mohammed Ben Abdellah, 51 p.

[11] Philippe Alexis, « Cours de plan d'expérience », 35p.

[12] : Sandrine Karam, « Application de la méthodologie des plans d'expériences et de l'analyse de données à l'optimisation des processus de dépôt », Thèse de doctorat en Electronique des hautes fréquences et optoélectroniques, sous la direction Annie Bessaudou

[13] Tutoriel LES PLANS D'EXPERIENCES, Jacques GOUPY

[14] Les plans d'expériences, Lionel GENDRE – Arnaud SAVARY – Bruno SOULIER

## Résumé

Pendant notre stage au sein de la briqueterie TAFNA, nous avons constaté que cette dernière a un taux de rebuts élevé dû à des surcuissons et a une diminution de la longueur des briques, ou encore un grand diamètre de cœurs noirs.

Pour diminuer ce taux de rebuts l'entreprise s'est orientée vers une modification technique du four, mais cette dernière est couteuse en temps et en argent. Pour cela nous proposons dans ce mémoire d'appliquer la méthode de Taguchi qui permet de planifier, structurer et organiser une recherche expérimentale de façon à en tirer le maximum d'information en minimum d'essais afin de trouver une nouvelle composition du mélange destiné à la fabrication des briques donnant des produits qui répondent aux besoins des clients sans passer par la réparation technique.

**Mots clés :** méthode de Taguchi, plans d'expériences, taux de rebut, qualité, brique.

## Abstract

During our training course within the TAFNA brickyard, we noted that the local has high rate of rejections due to overcooking and the reduction length of bricks, or to a large diameter of black cores.

To decrease this rejection rate, the company was directed towards an engineering changing of the oven, but this way is expensive in time and money. For that, we propose in our project to apply the Taguchi method which makes it possible to plan, structure and organize an experimental research in order to extract large information in few tests in order to find a new design mix intended for the manufacture of bricks which respond to the customer requirements without passing by technical repairs.

**Keywords:** method of Taguchi, experimental design, rate rejections, quality, brick.

## ملخص

اثناء خوضنا لدورة تدريبية على مستوى مصنع تافنة للأجر. لاحظنا ان المصنع يسجل نسبة عالية في الاجر الغير موافق للمعايير جراء عدم انتظام مروره في الفرن الصناعي او التقلص الغير عادي في أبعاد الاجر او حتى وجود جزء داخلي كبير لم يتم عملية الحرق.

وفي خطوة نحو تخفيض نسبة الاجر الغير متوافق. اتجه المصنع نحو التعديل التقني للفرن لكن هذا التعديل سيكون مكلفا من ناحية الوقت والمال. لذلك اقترحنا في مشروعنا العمل بطريقة طاغوشي التي تسمح بتخطيط وتنظيم البحث التجريبي بطريقة تمكننا من الحصول على أكبر كم من المعلومات مع اجراء عدد اقل من التجارب من اجل الحصول على تركيبة جديدة للخليط الموجه لعملية تصنيع الاجر الذي يعطي اجر يلبي طلبات الزبائن دون المرور نحو الصيانة التقنية.

الكلمات المفتاحية: طريقة طاغوشي، معدل الخردة، الجودة، اجر