

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
UNIVERSITE SAAD DAHLEB - BLIDA 1 -

Faculté de Technologie

Département de Génie des Procédés



MEMOIRE

En vue de l'obtention du diplôme de
MASTER EN GENIE DES PROCEDES
Spécialité Génie des Procédés des Matériaux

Thème

*Fabrication et contrôle de qualité de
carreaux céramiques de l'entreprise*

SARL-TOUGRES-CERAMIC

Présenté par

**M. MOKHTARI Mohamed
M. BESSAD Oussama**

Encadré par

M. BOURAS Omar

Année Universitaire : 2020 / 2021

Remerciements

Remerciements

Ce travail a été réalisé en partie au laboratoire de la société **SARL-TOUGRES- CERAMIC** et en partie aux 4 laboratoires de l'université Blida1 laboratoire (valorisation des déchets) du Département de Génie des Procédés, Laboratoire (géo matériaux) du département génie civil, laboratoire (propulsion) aéronautique sous la direction de monsieur **Omar BOURAS**.

Au terme de cette étude, nous remercions ALLAH, le tout puissant, pour nous avoir donné le courage, la volonté et la patience sans lesquels ce travail n'aurait jamais vu le jour.

Nous exprimons notre profonde gratitude à notre encadreur Monsieur **Omar BOURAS** professeur à l'Université Blida 1, pour ses précieux conseils et ses remarques pertinentes qui nous ont été d'une grande utilité, pour son dévouement, sa patience, sa générosité et sa disponibilité. Veuillez trouver dans ce travail l'expression de notre plus profonde reconnaissance et de notre plus profond respect.

Nous remercions profondément notre cheffe d'option **faiza ZERMANE**, Professeurs à l'université Blida 1 pour son aide et ses précieux conseil et son soutien pour nous tout au long cursus.

Nous remercions profondément Messieurs **Djamel TOUIL**, et **Abdallah KHELIFA**, Professeurs à l'université Blida 1 pour leurs précieux conseils et leurs soutiens tout au long du parcours de nos études.

Nous remercions également **M. Bahaa El Din Ziwan** Chef de production de société **SARL-TOUGRES CERAMIC** pour nous avoir facilité l'accès à l'usine et son accompagnement - tout au long de la période.

Enfin, nous exprimons nos vifs remerciements à toutes celles et/ou ceux qui ont contribué, de près ou de loin, à la réalisation de cette thèse.

Dédicaces

Dédicaces

Je dédie ce travail à :

A mon père, qu'ALLAH lui fasse miséricorde

A ma mère, ma raison de vivre

A mon frère Younes et sa femme,

À mes frères Idris et Aboubaker,

À ma tendre soeur et son mari Khalil et leurs enfants.

A mon binôme Oussama

A mes amis Aymene, Abdelfattah, Mohamed,

Youcef, Wasim...

A tous ceux qui me sont chers

Dédicaces

Je dédie ce travail à :

Mes parents qui m'ont soutenu, encouragé et cru en moi.

A tous mes frères, mohamed, zakaria

À ma tendre soeur et son mari

A mon binôme Mohamed

A mes amis Yahia, Aymene, Abdelfattah, Mohamed,

Wassim, youcef, zohir, fathi, taher, younes, lhadi

Soufwane, yakoub, rabah-kada, fouad

A tous ceux qui me sont chers

Résumé

ملخص

الهدف الرئيسي من هذه الدراسة هو الرد على المشكلة المتعلقة بالعيوب في المنتجات النهائية. أجريت هذه الدراسة من خلال فحص جميع مراحل تصنيع السيراميك من دخول المواد الخام إلى المنتج النهائي (الضغط, المجفف, الفرن) من أجل الكشف عن الأعطال. تم إجراء العديد من التجارب في الفرن والتي سمحت لنا بتعديل معايير معينة مثل درجة الحرارة ووقت الطهي. التخزين السيئ مسؤولاً جزئياً عن ظهور بعض العيوب المتعلقة بالرطوبة. **الكلمات المفتاحية:** سيراميك. الطين. الطهي. المنتج النهائي.

Résume :

L'objectif principal de cette étude est de répondre à la problématique liée aux défauts dans les produits finis.

Cette présente étude a été menée en examinant toutes les étapes de la fabrication de la céramique depuis l'entrée des matières premières jusqu'au produit fini (le pressage, séchoir, four) afin de détecter les défaillances.

Plusieurs expériences au niveau du four ont été réalisées qui nous ont permis d'ajuster certains paramètres telle que la température et le temps de cuisson.

Le mauvais stockage s'est avérée, en parti, e responsable de l'apparition de quelques défauts liés à l'humidité.

Les mots clés : céramiques, argile, produit fini, cuisson,

Abstract

The main objective of this study is to improve the production line and the final product.

In this context, a study was carried out on the raw material of ceramics and its properties. We have followed the steps of ceramic manufacturing from the entry of raw materials to the final product (PM, pressing, dryer.)

Finally, we made several experiments at the level of the oven, where we adjusted certain parameters such as temperature and time. After all, we assumed that the firing curve could help adjust for errors in the final product.

Keywords: ceramic, clay, finished product, firing,

Liste d'abréviations

Abréviation

BN	Nitrure de bore
PZT	Titano Zirconates de plomb
T_f	Température de fusion
FRB	Four à rouleaux biscuite
FRE	Four à rouleaux électrothermique
MP	Matière première
STPP	Sodium tri poly de phosphate
CMC	Concentration micellaire critique
BH	Broyage humide
Q	Quartz
SF	Sable fine
DRX	Diffraction de rayons X

Sommaire

SOMMAIRE

Introduction générale

Chapitre I : Partie bibliographique

I.1. Introduction.....	3
I.2. Historique.....	3
I.3. Définition	3
I.4. Différents types de céramiques.....	4
I.4.1. Les céramiques traditionnelles.....	4
I.4.2. Les céramiques techniques	4
I.4.2.1. Les différentes familles de céramiques techniques.....	5
I.5. Domaines d'utilisation des céramiques	9
I.6. Essai de classification des céramiques	10
I.7. Propriétés générales des céramiques	12
I.8. Historique et techniques de fabrication de faïence et Plinthes	14
I.9. Présentation de la société SARL-TOUGRES-CERAMIC	16
I.9.1. Organigramme de l'entreprise SARL-TOUGRES-CERAMIC	17
I.9.2. Rôle des services de la société	18

Chapitre II : Procédé de fabrication de carreau céramique

II.1. Introduction	21
II.2. Entreposage des matières premières.....	21
II.2.1. Contrôle des matières premières	22
II.2.2. Préparation de la barbotine et Granulat.....	23
II.2.2.1. Le broyage	23
II.2.2.2. Contrôle de la barbotine.....	24
a) Le résidu.....	24
b) La densité	24
c) La viscosité.....	24
II.2.2.3. Séchage et atomisation	24
II.2.2.3.1. Stockage –tamisage	24
II.2.2.3.2. Atomisation	25
II.2.3. Contrôle de Granulat.....	26
II.2.4. Préparation des Frites, émaux et engobes.....	27
II.2.4.1. Préparation des frites	27
II.2.4.2. Processus de la fusion.....	27

II.3 Contrôle	28
II.3.1. Certification des frites	28
II.3.1.1. Préparation de l'émail et l'engobe	28
II.3.2.2.1. Préparation de l'émail.....	28
II.3.2.2.2. Préparation d'engobe	29
II.3.2.2.3. Contrôle l'émail et l'engobe	29
II.4. Applications et conditions pour installation de l'imprimante DHD.....	29
II.5. Chaîne de production des carreaux céramiques.....	30
II.5.1. Préparation des biscuits	30
II.5.1.1. Pressage	30
II.6. Contrôle des carreaux crus.....	31
II.7. Cuisson du biscuit.....	32
II.7.1 Le contrôle du biscuit	33
II.7.1.1. Certification du produit pour l'émaillage	33
II.7.1.2. Préparation des biscuits émaillés	33
II.2. Décoration	34
II.9. Triage et emballage.....	34
II.9.1. Stockage.....	35
Chapitre III : Matériel et méthode	
III.1. Dessiccateur KERN DBS	37
III.2. Le thermomètre Fluke 64 MAX	37
III.3. La tamiseuse AS 200 basic	38
III.4. Les fours de calcination	38
III.5. Le viscosimètre	39
III.6. L'éprouvette	40
III.7. Diffraction des rayons X (DRX)	40
III.7. 1. Principe	40
Chapitre IV : Résultats et discussions	
IV.1 Matières premières	42
IV.2. Conditions de stockage de la matière première (humidité * hygromètre *)	43
IV.3. Contrôle de la granulométrie	44
IV.4. Chaîne de production	44
IV.4.1 Pressage.....	44

IV.4.2- Séchage	47
IV.5. FOUR	47
IV.6.Test de cuisson	49
IV.7.La proposition pour le four à rouleaux aux niveaux de l'industrie	51

CONCLUSION GENERALE

Références bibliographique

Annexe

Liste des Figures
&
Des Tableaux

Liste des figures

Figure. I.1 : Microstructure typique d'une surface céramique polie qui illustre les grains mono cristallins, joints de grains et pores	4
Figure.2: Photographie numérique montrant quelques céramiques traditionnelles.....	4
Figure.3: Photographie numérique montrant quelques céramiques techniques	5
Figure. I.4 : Organigramme représentant les procédés de fabrication des carreaux céramiques	15
Figure.5: Lieu d'implantation de SARL-TOUGRES-CERAMIC	16
FigureI.6: Organigramme de l'entreprise SARL-TOUGRES-CERAMIC	17
FigureI.7: organigramme montrant la gestion des stocks	19
Figure II.1 : Photo numérique montre Stockage des matières premières	22
FigureII.2: Photo numérique montreLe doseur linéaire.....	23
Figure II.3 : Photo numérique montre Les moulins à tambours	24
FigureII.4: Photo numérique montre Stockage et le tamisage de barbotine	25
FigureII.5: Photo numérique et schéma montre des criptif de l'atomiseur.....	26
FigureII.6: Photo numérique montre les deux types de fritte	27
FigureII.7: Photo numérique montre Le processus de fusion des frites	28
Figure II.8 photo numiréque montre le moulin sa tambour pour la préparation de l'émail et engobe	29
FigureII.9: Photo numérique montre Pressage de granulats	31
FigureII.10: Photo numérique montre Four à rouleau pour cuissonbiscuitFRB	32
FigureII.11: Photo numérique montre l'émaillage	33
FigureII.12: Photo numérique montre Triage & Emballage des produits finis1 ^{er} choix et e2 ^{ème} choix	35
FigureII.13: Photo numériquemontreStockagedesProduits finis.....	36
Figure III.1 : photo numérique montre Dessiccateur DBS.....	37
Figure III.2 : photo montre thermomètreFluke 64 MAX	37
Figure III.3. Photo numérique montre tamiseuses.....	38
Figure III.4 : Photo numérique montre les Four de calcination (Nabertherm 30-3000 °C), (matest), (MLM elktro)	39
Figure III.5 : Photo numérique montre viscosimètre.....	39
Figure III.6 : Photo montre L'éprouvette	40

Figure III.7 : Photo numérique montre Appareille DRX SMARTLAB	41
Figure IV.1 : Photographie numérique montrant la matière première d'Entreprise « Zét Cérame » El Harrach	42
Figure IV.2 : Photo numérique montrant la matière première issue de l'entreprise « Moderne Céramique » Chéraga	42
Figure IV.5 : Photo numérique montre révision la valeur de pression sur format de carreaux céramiques 8 × 45 (cm).....	43
Figure IV.6 : Photo numérique montre tableau d'affichage de la température (°C) en fonction de la zone de séchoir.	44
Figure IV.6 : Variation de la température en fonction des zones de séchoir.....	46
Figure IV.7 : Photographies numériques montrant l'appareillage utilisé dans les tests d'humidité (MP1;A (B) : MP2	47
Figure IV.8 : la courbe montre la variation de température de mesure de four en fonction de temps	48
Figure IV.8.1p: photo numérique montrant le défaut de produite finie (cœur noire, des fissures).	49
Figure IV.9 : Courbe de cuisson (four électrique de laboratoire)	50
Figure IV.9.1 : photo numérique montrant le résultat obtenu après la cuisson	51
Figure IV.10: la courbe montre la variation de température proposée de four en fonction de temps proposée	52

Liste des tableaux

Tableau. I.1: Famille des oxydes métalliques	5
Tableau. I.2 : Famille des carbures	7
Tableau. I.3 : Famille des nitrures	8
Tableau. I.4 : Famille des borures	8
Tableau. I.5 : Famille des sulfures	9
Tableau I. 6 : Energie des liaisons de quelques matériaux	12
Tableau I.7: Température de fusion de quelques céramiques	13
Tableau IV.1 : Composition minéralogique de la matière première MP 1 et MP 2	43
Tableau IV.2 : Composition minéralogique de la matière MP 1 et MP 2	43
Tableau IV.3 : Analyse granulométrique des matières premières utilisée MP 1 et MP 2	44
Tableau IV.4 : révision la valeur de pression	44
Tableau IV.5 : Variation de la température en fonction des zones de séchoir	45
Le Tableau IV.6 : montre la température mesurée en fonction des zones de four et temps	47
Le Tableau IV.7: montre la température en fonction du temps	50
Le Tableau IV.8: montre la température proposée en fonction des zones de four	51
Le Tableau IV.9. Présente les résultats des différents essais de cuisson de carreau céramique...	52

Introduction Générale

Introduction

L'appellation "céramique" vient du grec "keramos" argile, qui signifie «terre à potier», «argile». Ce terme générique désigne l'ensemble des objets fabriqués à base d'argile (grès, faïence, porcelaine, terre vernissée, terre cuite, etc.), ayant subi une transformation au cours d'une cuisson à température variant de 600 à 1350 °C.

On classe la céramique d'art en 4 grandes familles qui se différencient par la mise en œuvre de l'argile, la cuisson

Les céramiques de grande diffusion garde toujours les plus grandes parts du marché mondial. Cette position est due à l'abondance des matières premières les constituants et au faible coût de leur production.

Ce sont en majorité des céramiques silicatées, constituées de matières premières minérales, dont les argiles. Parmi tous les minéraux argileux, le kaolin reste l'un des plus fréquemment utilisés et souhaité pour la fabrication des céramiques de grande diffusion.

Ces techniques ont connu une évolution technologique, des différenciations régionales et des successions de progrès et d'emprunts aux autres manufactures elles sont encore toutes pratiquées.

Les produits céramiques sont fabriqués à partir d'argiles et d'autres matériaux inorganiques non métalliques.

Les carreaux céramiques pour revêtement mural est l'un des produits céramique qu'on les rencontre couramment sous forme de plaques minces utilisées pour couvrir les murs, ils sont habituellement façonnés par pression des poudres céramiques la température ambiante, après quoi ils sont séchés et cuits afin de garder leur forme de manière permanente.

Le processus de production des faïences fait appel aux différents types d'équipements industriels et à toute une gamme de matières premières pour donner des carreaux pouvant revêtir diverses formes, tailles et couleurs, ainsi que les sources énergétiques utilisées pour accomplir des transformations à ces derniers et qui sont principalement le gaz naturel et l'électricité.

En général, les étapes fondamentales pour obtenir des carreaux céramiques pour revêtement mural sont : l'entreposage et la préparation des matières premières, le façonnage (pressage), le séchage et cuisson des carreaux crus, le traitement des surfaces (par l'émaillage), la cuisson des biscuits émaillés, le triage et l'emballage.

En Algérie, il existe plusieurs entreprises spécialisées dans la fabrication de ce type de céramiques de formes différentes et chacune a son propre méthodologie et système. Toutes ces industries sont désormais sous pression en raison de la concurrence nationale et/ou internationale.

L'étude que nous proposons dans le cadre de ce projet de fin d'études et de répondre à certaines problématiques rencontrées dans la fabrication de faïences de l'usine TUGRAS CERAMIQUE). L'objectif primordial est donc de découvrir les grands problèmes, de les identifier, de mettre en place des mécanismes afin de proposer des solutions adéquates qui peuvent aider à assurer l'épanouissement de l'entreprise dans le marché national et/ou international. Nous avons étudié dans cette thèse et cherché des solutions pour améliorer la production (augmenter la première choix et réduire la deuxième choix) afin d'atteindre notre objectif ; Dans ce contexte, nous avons proposé des modifications au niveau de la ligne de four à rouleau en recadrant la température de chaque zone tout en respectant le temps de chaque phase.

Le manuscrit proposé est organisé comme suit :

- Le premier chapitre, est relatif à une synthèse bibliographique liée aux matériaux céramique et argiles en traitant les différents types de céramiques, leurs propriétés générales et classification et les domaines d'utilisation.
- L'entreprise SARL-TOUGRES-CERAMIC.
- Le deuxième chapitre décrit le processus de fabrication de faïences dans l'entreprise SARL-TOUGRES-CERAMIC en mettant en exergue la méthode de préparation et le contrôle des matières premières préparées.
- Le troisième chapitre est dédié au matériel et méthodes utilisées.

Ce travail se termine par une conclusion générale qui résume les points essentiels et forts de ce travail.

Chapitre I : synthèse bibliographique

I.1. Introduction

Les produits céramiques sont couramment utilisés dans la finition et la décoration des sols et des murs pour les habitations et autres locaux, aussi bien à l'intérieur qu'en extérieur.

Dans ce chapitre, nous identifions l'historique de céramiques et faïences ainsi que leurs techniques de fabrication.

Ce chapitre est clôturé par une présentation de la société SARL-TOUGRES-CERAMIC spécialisée dans la fabrication des carreaux céramiques destinés aux revêtements muraux.

I.2. Historique

La céramique est un art pratiqué depuis la préhistoire. Elle est née de la transformation sous l'action du feu d'un matériau universellement répandu qui est une terre, "argile".

La céramique est classée dans la catégorie des arts de la terre si on prend en compte le matériau qui la constitue. La céramique vient du mot « keramos » qui signifie argile.

Le terme céramique est une famille de matériaux : ceux-ci sont la terre cuite, la faïence, le grès, la porcelaine. Les céramiques doivent leurs différences à la composition physique de la pâte, au type de glaçure, et à la chaleur de cuisson.

On distingue deux grandes catégories de céramique : l'une à pâte poreuse (faïences, terres cuites et certains grès) et l'autre à pâte imperméable (porcelaines et grès).

La céramique à pâte poreuse et plus particulièrement la faïence est considérée comme l'une des plus communes et des plus anciennes techniques utilisées en céramique. Leur découverte au IX^{ème} siècle et sa diffusion en occident à la renaissance représentèrent une avancée technique majeure [1].

I.3. Définition

Le terme céramique signifie souvent des objets rustiques comme des poteries, des briques et des tuiles mais le terme de céramique signifie plus généralement un solide qui n'est ni un métal ni un polymère. Une céramique est un matériau solide de synthèse qui nécessite souvent des traitements thermiques pour son élaboration.

La plupart des céramiques modernes sont préparées à partir de poudres consolidées (mise en forme) et sont densifiées par un traitement thermique (le frittage). La plupart des céramiques sont des matériaux poly cristallins, c'est à dire comportant un grand nombre de microcristaux bien ordonnés (grains) reliés par des zones moins ordonnées (joints de grains) comme illustré en Figure. I. 1.

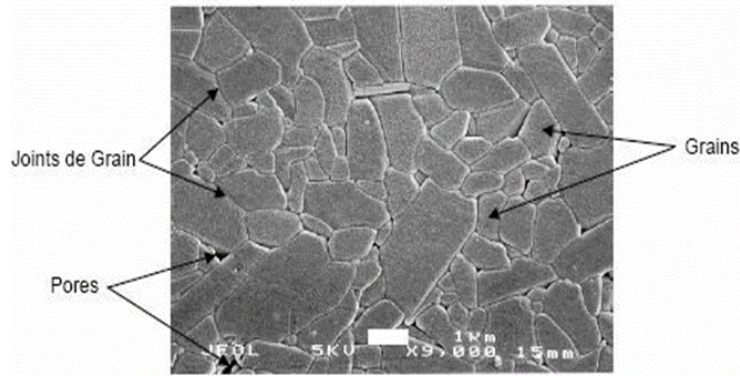


Figure. I.1. Microstructure typique d'une surface céramique polie qui illustre les grains monocristallins, joints de grains et pores [4].

I.4. Différents types de céramiques

On distingue deux types des céramiques :

I.4.1. Les céramiques traditionnelles

Les céramiques traditionnelles sont issues de matières premières naturelles (argile, kaolin, quartz) et généralement mise en œuvre par coulée, exemples : la faïence, terres cuites (briques de construction), porcelaines (vaisselle, objets décoratifs) [3].



Figure I.2 : Photographie numérique montrant quelques céramiques traditionnelles

I.4.2. Les céramiques techniques

Les céramiques techniques regroupent les matériaux développés récemment dans les laboratoires de recherche en raison de leurs propriétés chimiques ou physiques exceptionnelles.

Elles sont obtenues le plus souvent par frittage (traitement thermomécanique dans des fours spéciaux, qui provoque la cohésion de granules de poudre avec un aggloméré préparé à froid) ou par électro fusion (les oxydes sont coulés directement dans un moule) [3].

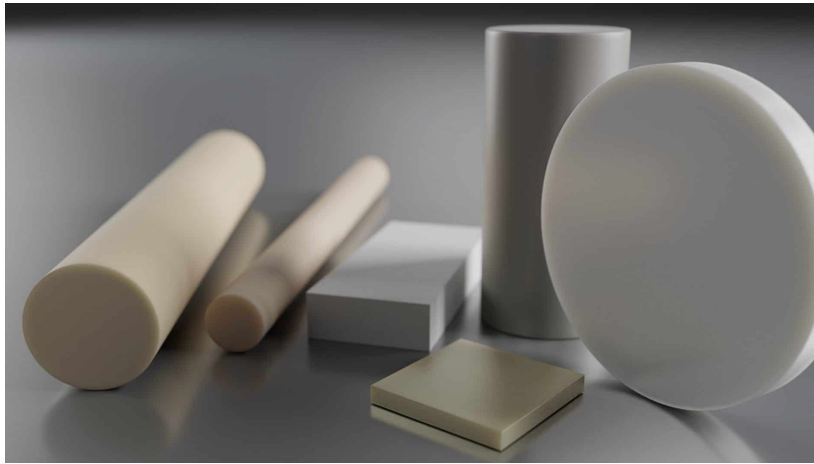


Figure I.3 : Photographie numérique montrant quelques céramiques techniques

I.4.2.1. Les différentes familles de céramiques techniques

Les familles de céramiques les plus importantes sont les oxydes (tels que ceux à base de dioxyde de zirconium ZrO_2), les nitrures tel que le nitrure d'aluminium AlN , les carbures tel que le carbure de silicium SiC et tous les composés entre les métaux et les métalloïdes.

Les céramiques peuvent être aussi des matériaux à base d'un seul élément chimique, tel que le bore B ou le carbone C (forme graphite ou diamant).

Les céramiques techniques peuvent être classées en plusieurs familles que nous présentons dans le Tableau I.1

Les oxydes métalliques sont les plus importants parmi les composés céramiques binaires. Cette première famille de céramiques est présente dans tous les domaines [4].

Tableau. I.1: Famille des oxydes métalliques.

Noms	Synonymes formules	Structure cristalline couleurs	Utilisations
Oxyde d'aluminium	Alumine Al_2O_3	Hexagonale Incolore	Mécanique, Thermique, Thermomécanique, Électronique, Biomédical, Chimique, Optique, Nucléaire, Militaire.
	α - Alumine (Corindon)	Rhombique Incolore	

	γ - Alumine	Cristalline Microscopique Blanc	
Oxyde de Béryllium	(Bromellite) BeO	Hexagonale Blanc	Electronique
Oxyde de chrome	CrO ₂	Poudre Brun - Noir	Thermomécanique, Magnétique.

Oxyde de fer	(Wuestite) FeO	Cubique Noir	Magnétique
	(Magnétite) Fe ₂ O ₃	Cubique Noir ou Poudre Rouge - Noir	Magnétique
	Fe ₃ O ₄	Cubique Noir ou Poudre Rouge - Noir	Magnétique

Oxyde de Magnésium	Magnésie (Périclase) MgO	Cubique Incolore	Thermique
Oxyde de Silicium	(Quartz) SiO ₂	Hexagonale Incolore	Électronique, Mécanique
	(Tridymite) SiO ₂	Rhombique Incolore	
	Cristobalite)SiO ₂	Cubique ou Tétraédrique Incolore	
Oxyde de Zirconium	Zircone ZrO ₂ (HfO ₂ <2%)	Monoclinique en Dessous de 1000° Cet Cubique au Dessus Blanc	Thermomécanique, Thermique, Mécanique, Electrique, Electronique,

a. Les carbures

Ont un point de fusion élevé, une haute stabilité, une grande dureté et une très bonne conductivité thermique et électrique, mais ils sont très fragiles. De plus, de

nombreux carbures réfractaires sont disposés à subir l'attaque de l'atmosphère.

Les carbures métalliques TELS QUE WC, VC, TaC, et TiC sont souvent employés en tant qu'outils de coupe et dans la fabrication de composante haute température dans les domaines aéronautique et nucléaire.

La haute section de capture des neutrons de B₄C a permis son emploi dans les écrans des réacteurs nucléaires [4].

Le Tableau I.2 présente les principaux carbures.

Tableau. I.2 : Famille des carbures.

Noms	Synonymes Formules	Struct. Cristal. Couleurs	Utilisations
Carbone	C	Amorphe noir	Nucléaire
Carbure de bore	B ₄ C	Rhomboédrique noir	Mécanique, Nucléaire
Carbure de silicium	SiC	Hexagonale ou cubique Incolore - Noir	Thermique, Thermomécanique, Mécanique, Électrique, Électronique,
Carbure de zirconium	ZrC	cubique	Carbure d'insertion
Graphite	C	Hexagonale noir	Fibres Réfractaires

b. Les nitrures

Les éléments de transition de troisième, quatrième et cinquième groupe de la classification périodique, les séries des actinides et des lanthanides, le bore, le silicium et l'aluminium forment des nitrures à haut point de fusion.

Dans la structure des nitrures, les atomes d'azote occupent des positions interstitielles du réseau métallique. Les nitrures réfractaires ont un point de fusion plus élevé que les oxydes et les sulfures correspondant mais tendent à se dissocier plus facilement. Pour cette raison, ils sont assez peu utilisés.

Toutefois, le nitrure de silicium Si₃N₄ et le nitrure de bore BN connaissent un intérêt croissant puisqu'ils sont stables dans l'air et résistent assez bien aux attaques chimiques.

Le BN est appliquée comme abrasif ou composant en milieu oxydant à température élevée.

Le Si₃N₄ est utilisé pour la fabrication de composants statiques et dynamiques pour des emplois jusqu'à 1200 °C en milieux oxydants. Ce dernier est aussi utilisé en tant qu'accessoire des turbines à gaz.

Le tableau I.3 présente les principaux nitrures [4].

Tableau. I.3 : Famille des nitrures

Noms	Synonymes formules	Structure cristallines couleurs	Utilisations
Nitrure d'aluminium	AlN	Hexagonale blanc	Électronique
Nitrure de bore	BN	Hexagonale blanc	Mécanique, Nucléaire
Nitrure de silicium	Si ₃ N ₄	Poudre amorphe	Mécanique, Thermique, Électronique
Nitrure zirconium	ZrN	Hexagonale	Mécanique

c. Les borures

Ont un point de fusion très élevé, compris entre 1900 et 3000°C, et sont peu volatiles [8].

De plus, ils ont une basse résistivité électrique, une haute stabilité et une dureté élevée. Mais ils sont très peu résistants à l'oxydation à des températures supérieures à 1200°C.

L'application des borures la plus répandue est la fabrication de creusets pour les métallisations sous vide.

Le tableau I.4 ci-dessous présente les principaux borures [4].

Tableau. I.4 : Famille des borures

Noms	Synonymes Formules	Struct. Cristal.
Borure de barium	BaB ₆	Cubique
Borure de titane	TiB ₂	Hexagonale
Borure de zirconium	ZrB ₂	Hexagonale

d. Les sulfures

Comme le montre le Tableau I. 5, les sulfures appartiennent surtout aux groupes 3B, 4B, 5B, et 2A.

Ils sont thermodynamiquement stables à haute température et possèdent un point de fusion élevé [4].

Tableau. I.5 : Famille des sulfures.

Noms	Formules
Sulfure de magnésium	MgS
Sulfure de thorium	ThS
	ThS ₂
	Th ₂ S ₃
	Th ₄ S ₇
Sulfure de titane	TiS

I.5. Domaines d'utilisation des céramiques

a) Industrie électrique

Les céramiques sont d'excellents isolants électriques, en raison de leur résistivité électrique élevée.

La fabrication d'isolateurs électriques a longtemps été l'une de la principale utilisation des céramiques [5,6].

b) Industrie électronique

Les céramiques sont utilisées comme condensateurs. Le matériau de base est souvent le titanate de baryum BaTiO₃ dont les propriétés d'usage sont ajustées par ajouts d'additifs, comme les zirconates ou d'autres titanates.

De même, les céramiques sont utilisées comme supports de circuits électroniques à cause de leur caractère isolant et leur pouvoir de dissipation thermique.

Les substrats et boîtiers sont essentiellement fabriqués en alumine Al₂O₃.

Pour les circuits électroniques à très forte intégration, l'alumine est remplacée par le nitrure d'aluminium afin d'obtenir une plus grande dissipation thermique.

c) Matériaux piézoélectriques

Certaines céramiques sont utilisées comme matériaux piézoélectriques afin de produire des champs de surfaces (source d'étincelle, allumez de gaz,).

En effet, sous l'effet d'une contrainte mécanique, elles développent une différence de potentiel à leurs extrémités.

Ces céramiques sont à base de quartz ou des titanate zirconate de plomb dénommées céramiques PZT [5].

d) Supraconducteurs

L'oxyde CuO_3 est un composé isolant. Si on multiplie sa maille élémentaire par un facteur cinq tout en substituant un atome de lanthane par un atome de baryum, on obtient alors un autre matériau de composition $\text{La}_4\text{BaCu}_5\text{O}_{(13+x)}$ qui est un bon conducteur de l'électricité à basse température.

Le fait d'avoir dans un même matériau des atomes de cuivre ayant des valences différentes et des degrés d'oxydation différents confère au matériau des propriétés supraconductrices [5].

I.6. Essai de classification des céramiques

a) Première tentative

Dans cette tentative, la classification des céramiques est basée sur le caractère chimique (liaison, structure électronique).

Les diverses céramiques connues se répartissent en 5 grandes familles ou groupes [5, 7,9].

Groupe A

Les éléments légers de la colonne IV.B (C, Si, Ge, Sn, Pb) forment des liaisons covalentes, à l'état solide ces matériaux sont très durs et leurs températures de fusion sont élevées ces deux propriétés T_f élevée et dureté permettent de les considérer comme céramiques.

On peut citer comme composés types: diamant, silicium, carbure de silicium,

Groupe B

Les métaux réfractaires ou métaux de transitions sont caractérisés par une température de fusion élevée due à leurs sous couche (d) incomplet.

Groupe C

Ce groupe regroupe les familles de carbures et de nitrures des métaux de transition. Les céramiques de ce groupe ont des températures de fusion très élevées, en outre ils sont très durs et souvent utilisés comme abrasifs.

Il est à remarquer que quelques autres nitrures d'aluminium et nitrure de silicium ont aussi leurs T_f très élevées.

Groupe D

C'est le groupe des oxydes et en particulier les oxydes des éléments de la colonne IV (IV. A et IV.B) du tableau périodique des éléments.

Ce groupe est divisé en deux sous-groupes, les éléments légers ou oxydes de la colonne IV.A et les oxydes des éléments de transition de la colonne IV.B.

Groupe E

On regroupe ici les divers, qui sont en fait les céramiques les plus répandues et en particulier les nombreux aluminosilicates.

b) Deuxième tentative

Dans cette seconde tentative, la classification des céramiques n'est plus basée sur le caractère chimique, mais sur les propriétés physiques intéressantes et utilisées cette classification éclairera un peu plus la notion vaste et vague de céramiques.

En fait cette classification prédestine les domaines potentiels d'utilisation des céramiques.

➤ **Les verres**

Ce sont essentiellement les silicates de Na et de Ca. Leur structure est amorphe, ils sont donc isotropes.

De plus, ils sont transparents et peuvent être colorés par ajouts d'impuretés (FeO pour la verte bouteille, Fe₂O₃ pour la couleur roille) [5].

➤ **Les ciments**

Ce sont des silicates de Ca et Mg, elles sont non transparentes pour des raisons de microstructure (pores, fissures,) [5].

➤ **Les terres cuites**

Ce sont des aluminosilicates divers de la poterie, les tuiles, les briques, les faïences, la porcelaine [5].

➤ **Les réfractaires**

Ce sont les silicates de Mg, des oxydes d'Al, de Zr. Pour les réfractaires chers, les oxydes ne sont plus des minéraux naturels mais matériaux préparés par synthèse [5].

➤ **Les abrasifs**

On trouve les carbures SiC, B₂C₃ et les oxydes Al₂O₃ [5,7].

➤ **Les optoélectroniques**

Ces matériaux transforment les impulsions électriques en signaux optiques. C'est le cas de niobate de lithium LiNbO₃ monocristallin, du vanadate de lithium LiVO₃ Monocristallin, ces monocristaux sont de synthèse donc très onéreux [5].

➤ **Les magnétiques**

Ces matériaux de types ferrite Fe₃O₄ servent de mémoires magnétiques.

➤ **Les ferroélectriques**

Ces céramiques ont une très haute constante diélectrique, ils sont du type titanate de baryum BaTiO₃ pour applications piézoélectriques, ils transforment une impulsion

électrique en impulsions mécaniques et réciproquement.

Notons que le quartz possède également cette propriété [5].

➤ Les électrolytes solides

Ces matériaux sont des supers conducteurs ioniques. Ils ont une haute conductivité et peuvent servir de piles ou d'accumulateurs d'énergie.

C'est le cas d'alumine β qui est en fait un aluminat de sodium $\text{Na}_3\text{Al}_2\text{O}_3$ [5].

I.7. Propriétés générales des céramiques

a) Liaisons chimiques

Ces liaisons assurent la cohésion du matériau et jouent un rôle principal dans la détermination des certaines propriétés physiques et dans la classification des céramiques elles sont fortes à cause de sa nature covalentes, ioniques et peut être mixtes [6].

Tableau I- 6 : Energie des liaisons de quelques matériaux [3]

liaison	Si-C	Si-Si	Si-O	B-N	C-C
Energie (ev)	3.38	2.30	4.60	4.55	3.60

b) Structures cristallographiques

Les structures des céramiques sont complexes, en effet, les natures des liaisons assurent leurs cohésions sont souvent mixtes, il faut donc s'attendre à ce que leurs structures cristallographiques soient variées.

La différence d'électronégativité entre les composés est fondamentale pour la structures des céramiques, si cette différence est grande la structure sera de type ionique, Inversement, si elle est faible c'est le caractère covalent qui prédominera.

Dans le cas d'une différence moyenne, nous aurons des liaisons mixtes et de la contribution de chacune des liaisons pures sera déterminée par différence d'électro négativité, ces liaisons mixtes rencontrées dans les céramiques acquièrent ainsi une certaine qualité polaire qui les rend sensible au champ électrique [7].

c) Propriétés mécaniques

Les propriétés mécaniques sont extrêmement importantes tant pour la fabrication que pour les applications de ces matériaux. Ils sont généralement fragiles car l'effort nécessaire pour la fracture est inférieur à l'effort demandé pour la déformation [7].

On suppose donc avec une très bonne approximation, que leur comportement est élastique jusqu'à la rupture et à cause de ces fortes liaisons les céramiques possèdent des grandes valeurs de coefficients d'élasticité en comparaisons avec les métaux, les caractéristiques qui rendent fragiles les céramiques sont en même temps celles qui leur confèrent les

propriétés désirées de dureté, réfractarité et résistance chimique [7].

d) Propriétés thermiques

1- Température de fusion

Les céramiques possèdent une température de fusion très élevée qui peut dépasser 2000 °C [6] à cause de ses liaisons chimiques qui sont fortes.

Le tableau I-7 montre quelques valeurs de température de fusion (T_f) de quelques céramiques.

Tableau I-7: Température de fusion de quelques céramiques [6]

Oxydes	Al ₂ O ₃	MgO	CaO	TiN	SiO ₂
T_f (°C)	2070	2640	2625	2950	1700

2- Conductibilité thermique

En général, les céramiques sont considérées comme des isolants thermiques à cause de l'absence totale des électrons libres et la nature des liaisons chimiques, la conductibilité dépend de la composition chimique de l'état d'agrégation et de la température, elle dépend aussi considérablement de la forme, de la grosseur, de l'orientation et de la répartition des pores.

Des considérations purement théoriques, il résulte que tandis que dans les substances vitreuses la conductibilité thermique croît avec la température mais dans les corps cristallins au contraire elle est inversement proportionnelle à la température [7].

e) Propriétés électroniques

Les céramiques contiennent trois catégories des matériaux, isolants, semi-conducteurs et autres conducteurs mais en général la plupart des céramiques sont des isolants et leurs conductivités sont faibles par rapport aux métaux à cause de la nature des liaisons et l'absence des électrons libres [7].

f) Propriétés optiques

La couleur est l'une des propriétés optiques les plus importantes qui permet aux céramiques d'être utilisées dans diverses applications tels que les pigments dans les matériaux produits et utilisés à basse températures.

La couleur résulte de l'absorption des proches longueurs d'onde des radiations à l'intérieur de la région visible. Elle peut être due aussi à la non stoechiométrie dans la structure.

Certains ions peuvent être de couleurs différentes dues à leur position dans la structure atomique et des ions adjacents.

L'ion Cr^{+3} produit une couleur dans le Cr_2O_3 et les couleurs émeraude et rouge respectivement dans le spinelle et le rubis.

I.8. Historique et techniques de fabrication de faïence et Plinthes

La fabrication de faïence et plinthes est connue depuis l'Antiquité au Moyen et Proche-Orient telle que la plupart des terres cuites de faïence utilisent une terre argileuse de teinte ocre, mélange de potasse, de sable, de feldspath et d'argile.

C'est l'un des plus anciens mélanges employés en céramique. Il en existe deux types : la faïence stannifère, recouverte d'une glaçure stannifère (à base d'étain) opaque appelée engobe, qui masque totalement la pâte avec laquelle elle a été façonnée et lui donne son aspect caractéristique blanc et brillant, et la faïence fine, dont la pâte blanche ou légèrement ivoire, précuite puis décorée, est recouverte d'une glaçure plombifère (à base de plomb) transparente.

L'émail stannifère opaque fut découvert vers la fin du 8^{ème} et début du 9^{ème} siècle, en Mésopotamie et plus particulièrement par les potiers musulmans de l'empire abbasside.

Par l'Afrique du Nord, cette technique fut exportée par les musulmans jusqu'en Espagne où la faïence fut produite dès les 11^{ème} et 12^{ème} siècles.

De l'Espagne, cette technique gagna la région française de Marseille, la Sicile et l'Italie où les princes de la renaissance italienne rivalisèrent entre eux pour avoir la plus belle fabrique de majolique.

Là où le mot faïence trouve son origine dans le nom de la ville italienne de Faenza, tandis que l'Angleterre invente la Faïence fine et la fait mondialement connaître dès le 18^{ème} siècle.

La diffusion de ce nouveau produit restera limitée à l'Europe méditerranéenne jusqu'au début du 15^{ème} siècle. A partir de cette date, les faïences espagnoles à décor métallescent vont connaître un succès considérable dans toute l'Europe mais resteront réservées à une élite qui passe commande de pièces ornées de ses armoiries.

L'Italie, va prendre le relais à partir de la fin du 14^{ème} siècle et deviendra rapidement, grâce à certaines innovations techniques et surtout décoratives, le principal fournisseur de la noblesse et

de la riche bourgeoisie. Il s'agit avant tout d'une production de luxe qui trouvera son apogée vers le milieu du 16^{ème} siècle.

A cette époque apparaissent les premières productions françaises capables de concurrencer les ateliers italiens. Elles proviennent essentiellement de Lyon, de Montpellier et à partir du début du 17^{ème} siècle, de Rouen et Nevers.

Le 17^{ème} siècle vit l'émergence des manufactures de Delft en Hollande, elles même héritières de l'Italie.

Le 18^{ème} siècle va marquer l'apogée de la faïence dans toute l'Europe. Où leur production passera du statut de produit de luxe à celui de produit de consommation courante.

Au XIXème siècle, la production va devenir semi industrielle notamment par l'utilisation de moules et, l'emploi d'ouvriers spécialisés dans chaque étape de la fabrication [5].

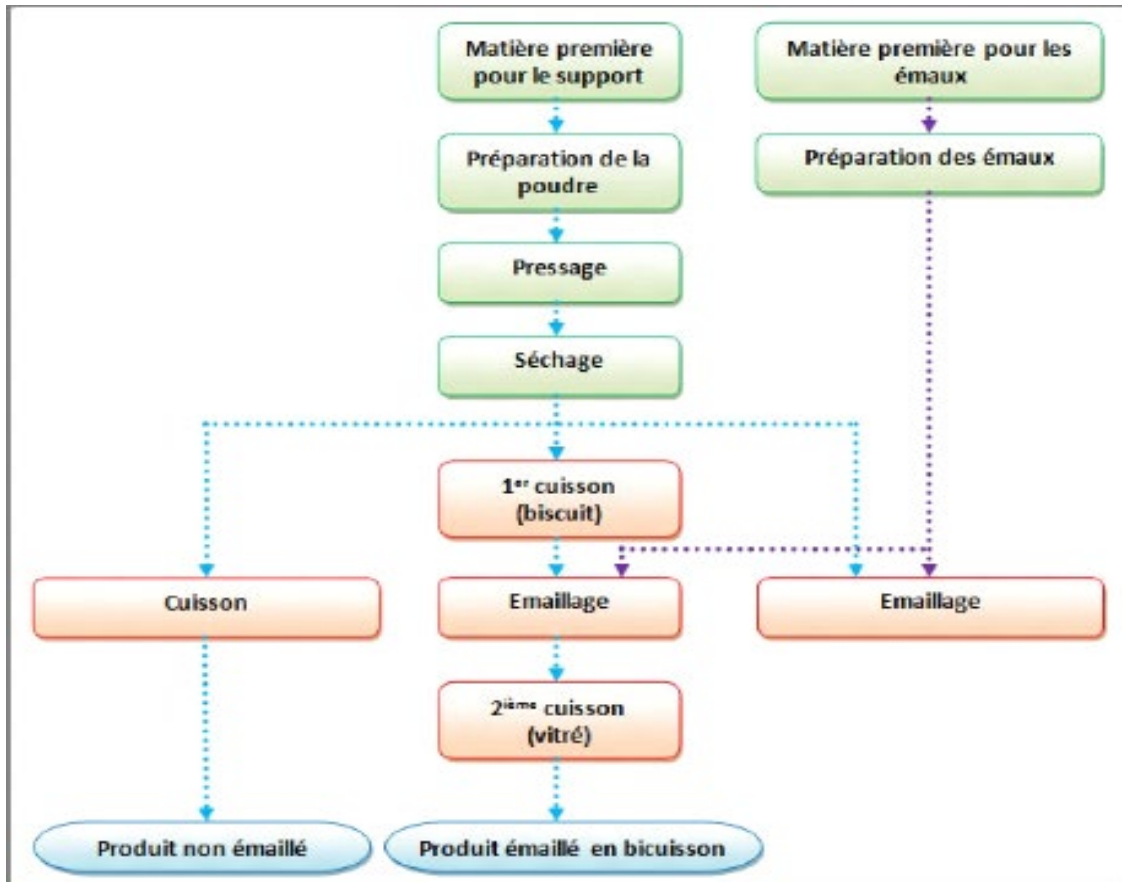


Figure.I.4 : Organigramme représentant les procédés de fabrication des carreaux céramiques

I.9. Présentation de la société SARL-TOUGRES-CERAMIC :

La société SARL-TOUGRES-CERAMIC a été créée en 2000. C'est une société juridiquement autonome avec un capital social de 15.000.000 DA

SARL-TOUGRES-CERAMIC est considérée comme l'une des unités régionales de production de la faïence ; sa principale mission est la fabrication et la commercialisation des carreaux pour revêtement mural de forme (30 x 90) cm ; (15 x 80) cm ; (20 x 30) cm ; (33 x 33) cm ; (8 x 40) cm et (8x 45) cm en différentes couleurs ; Blanc, Mono couleur, Décore.

L'unité de production se trouve à 1.30 km au nord de la ville de Ouled yaich, zone industrielle site 2, sur un terrain d'une superficie totale de 5500 m², dont 3600 m² bâtie

Dont :

- Bâtiment de production : 2749,56 m²
- Bâtiment Annexe : 850,44 m².

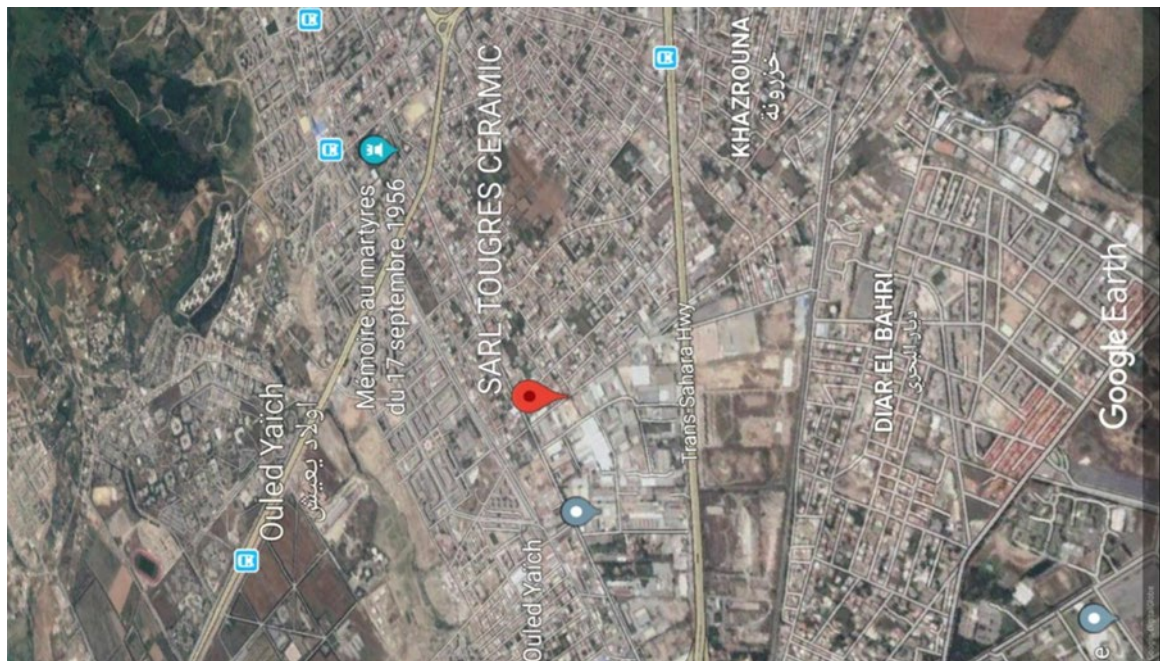


Figure I.5 : Photo satellite montrant le site d’implantation de SARL-TOUGRES-CERAMIC

A. Fiche signalétique de la CERAMIR :

- Dénomination : SARL-TOUGRES-CERAMIC.
- Nature juridique : EPE/SPA au capital social de 15 000 000 DA.
- Localisation : Ouled yaich, zone industrielle site 2
- Commune: Ouled yaich.
- Daïra: Ouled yaich.
- Wilaya : Blida.
- Effectif total: 39 Agents.

B. Moyens matériaux :

- Superficie totale du terrain : 5500 m²
- Surface bâtie: 3600 m²
- Bâtiment de production : 2749,56 m²
- Bâtiment Annexe: 850,44 m²

La Figure I.6 présente l’organigramme de l’entreprise SARL-TOUGRES-CERAMIC.

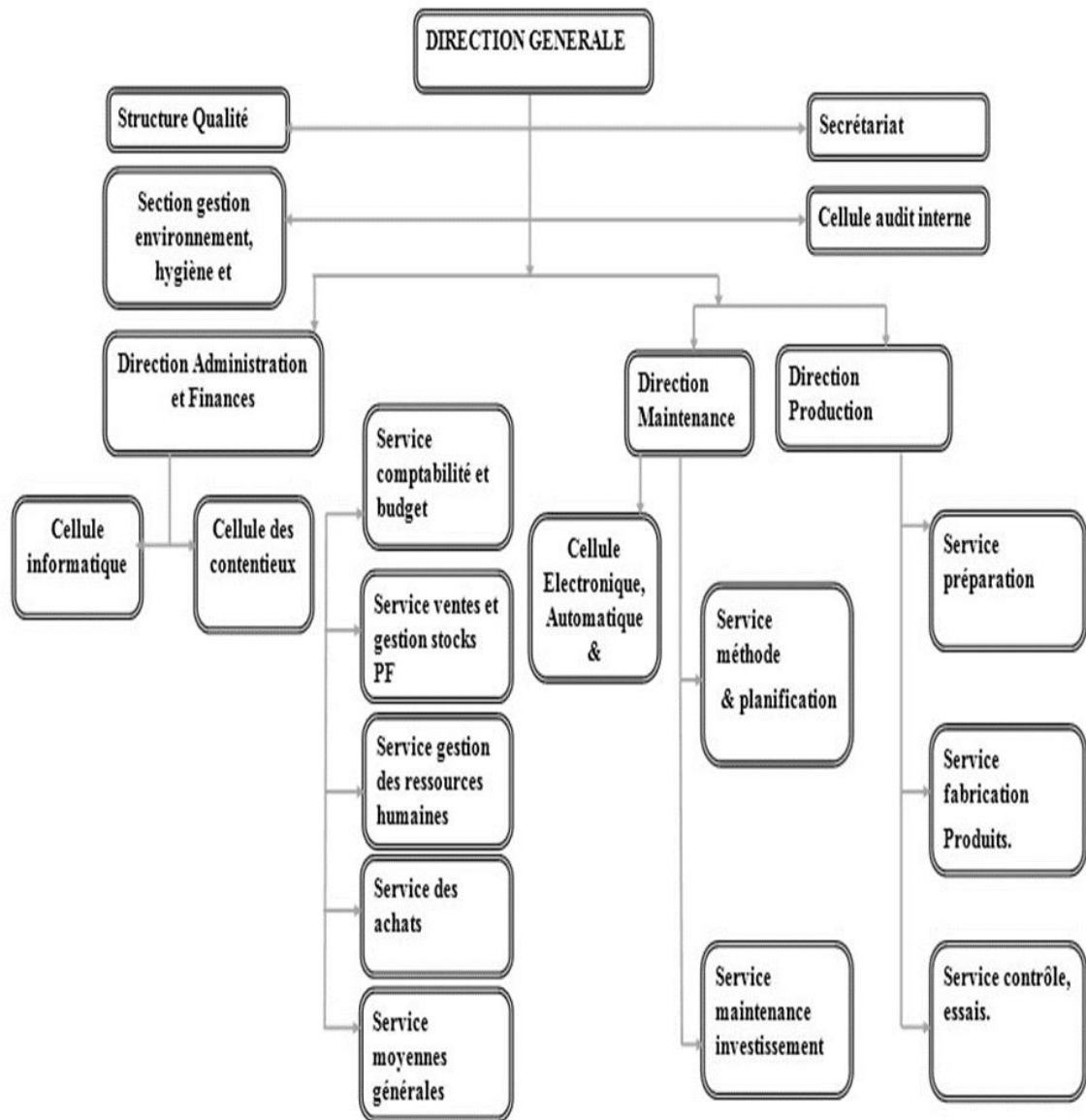


Figure I.6 : Organigramme de l'entreprise SARL-TOUGRES-CERAMIC

I.9.2. Rôle des services de la société

L'entreprise se base sur ces différents services pour avoir une stabilité dans le système :

Service de production : le rôle de ce service est de suivre tous les ateliers de fabrication suivants :

- Atelier de pressage.
- Atelier d'émaillage.
- Atelier de cuisson FRB et FRE.
- Atelier de triage.

Service de préparation : le rôle de ce service est de suivre tous les ateliers de préparation

suivants:

- Atelier de préparation de barbotine, L'atelier de préparation des frites et émaux.
- Atelier de préparation des pates sérigraphie.
- Atelier de préparation des tamis sérigraphique.

Service de la qualité : Ce service est responsable sur la qualité de tout ce qui concerne la production, les contrôles sont faits quotidiennement étape par étape.

Service maintenance & Investissement : Ce service assure la rentabilité des investissements matériels par la vérification et le réglage des nouvelles machines avant la mise en marche ainsi laréparation des machines.

Service finance et comptabilité : Il s'occupe de:

- l'assurance et du paiement de la main d'œuvre.
- frais de toutes les recherches du laboratoire.
- frais d'achats pour la matière première, les produits chimiques de nettoyage et les pièces de rechange.

Service gestion de stock et ventes :

Comme le montre la Figure I.7, l'entreprise est perçue à travers deux stocks : un stock pour « Produits » et un stock pour « financier ».

Ces deux stocks représentent l'actif circulant del'entreprise.

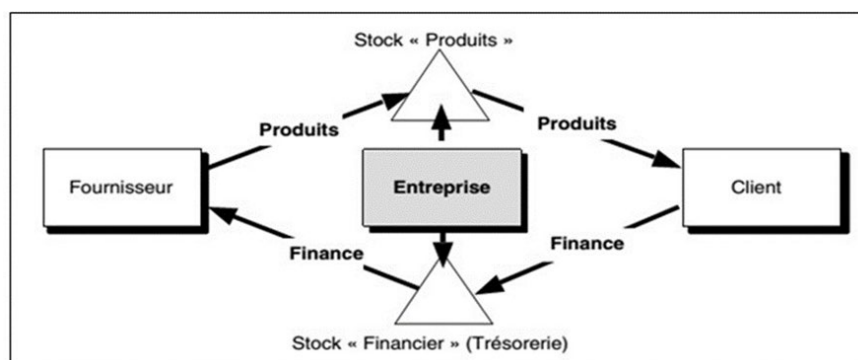


Figure I.7 : organigramme montrant la gestion des stocks

Ce service a pour principaux rôles d'avoir l'emploi du temps de la production, faire des approvisionnements pour connaître la quantité nécessaire, informer l'approvisionneur des besoins(matières premières nécessaires) et garder un stock de sécurité (réserve) au cas où il y a des problèmes, ainsi de s'occuper des ventes des produits finis « faïences » aux différents clients.

Service des achats : Ce service avait un contact avec le fournisseur, service qualité, comptabilité, gestion de stock.

Il fait la commande des matières premières, pièces de rechange.... Avec un bon de commande. Ce service commence par :

La réception provisoire : cette réception est faite par le bon de livraison pour détailler la livraison et la facture pour comptabiliser le produit.

Réception finale : contient le bon de réception (la date de réception, numéro de la facture, le prix unitaire, l'unité de mesure, la référence, numéro de bon de réception).

Les matières premières : l'approvisionnement se fait à Date variable/Quantité variable car l'achat de ce type de produit ne peut se faire que lorsque la commande du client est passée. Cette méthode permet de ne pas avoir en stock des produits qui risquent de ne jamais être utilisés.

Les pièces de rechange : l'approvisionnement se fait à Date fixe/Quantité fixe (Réapprovisionnement fixe périodique). Dans cette méthode, on prévoit des livraisons de pièces à dates fixes.

Les quantités livrées sont égales et peuvent se rapprocher de la quantité économique ou toute autre valeur.

Chapitre II : procédé de fabrication de carreau céramique

II.1. Introduction

Ce chapitre est dédié principalement à la description du processus de production des carreaux céramiques destinés aux revêtements muraux.

Les produits céramiques sont fabriqués à partir d'argiles et d'autres matériaux inorganiques non métalliques. Les carreaux céramiques pour revêtement mural existent couramment sous forme de plaques minces utilisées pour couvrir les murs.

Ils sont habituellement façonnés par pression des poudres céramiques à la température ambiante, séchés et cuits afin de garder leur forme de manière permanente.

Le processus de production des faïences, utilisant le gaz naturel et l'électricité, fait appel aux différents types d'équipements industriels et à toute une gamme de matières premières pour donner des carreaux pouvant revêtir diverses formes, tailles et couleurs.

En général, les étapes fondamentales d'obtention des carreaux céramiques muraux sont l'entreposage et la préparation des matières premières, le façonnage (pressage), le séchage et cuisson des carreaux crus, le traitement des surfaces (par l'émaillage), la cuisson des biscuits émaillés, le triage et l'emballage.

II.2. Entreposage des matières premières

Les matières premières utilisées, ci-dessous, passent par plusieurs étapes avant d'arriver au produit fini, l'enchaînement de ces opérations nécessite une cohésion parfaite et régulière.

Les matières premières destinées à la préparation de la barbotine : argiles (argiles jaunes E1, E2), argile bleu E3, argile Nedroma, feldspath de Nedroma, calcaire de Chabat, le sable de Sig, la Chamotte (biscuits recyclés) et le rebut (carreau cru). Elles sont stockées dans des zones respectives séparées par des cloisons et disposées selon le rapprochement de leurs propriétés :

Les matières plastiques : Argiles (argile jaune E1, E2 et argile bleu E3) contenant différents minerais qui apportent la fusibilité et le kaolin ($Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$).

Les matières dégraissantes : Sable de Sig et chamotte (diminution de la plasticité,

retrait et augmentation de la porosité.

Les matières fondantes : Feldspath de Nedroma et calcaire de Chabat (diminution de la température de fusion afin de remédier à la porosité). [10]

• **Les matières premières destinées à la préparation des frites et émaux** : quartz

(SiO_2), fondant (borax penta et l'acide borique), feldspath potassique (Al_2O_3 , K_2O , et SiO_2), craie (CaO), oxyde de zinc (ZnO) pour la brillance, zircon (ZrO_2 et SiO_2); kaolin chamotte (SiO_2),



Figure II.1 : Photo numérique montrant les Stockage des matières premières

II.2.1. Contrôle des matières premières

L'humidité de chaque matière première est mesurée quotidiennement par le procédé suivant :

-Prélèvement des portions de (10 à 20g) d'échantillons MP stockées après homogénéisation,

- Pesage sur la balance hygrométrique,

- Détermination du pourcentage de l'humidité Préparation des produits semi finis

Le principe de fabrication de faïence est fondé sur la préparation des plusieurs produits semi finis (la barbotine, fritte, émaux, engobe et la pâte sérigraphie) et qui nécessite une cohésion parfaite afin de réaliser un produit fini de bonne qualité. [11]

Chaque produit est préparé dans un atelier distinct dans des conditions particulières et bien définies.

II.2.2. Préparation de la barbotine et Granulat

La barbotine et le granulat sont préparés dans un atelier qui englobe un doseur linéaire, trois moulins à tambours, tamis, bacs de stockage et un atomiseur.

Le procédé suivant (Figure II.2.) décrit l'ensemble des opérations d'obtention du granulat en tant que matériaux de base de fabrication des carreaux céramique.

➤ Le pesage

Le pesage des composants doit être effectué strictement d'après les prescriptions données, et d'après la composition des matières et leurs teneurs en eau, on fait le calcul de charge pour déterminer la quantité exacte pour chaque matière première.

Le pesage est effectué sur une balance spécifique (doseur linéaire). Dont les caractéristiques sont :

- Balance à plate-forme modèle 2503E.
- Domaine d'échelle 12000 kg.
- Division d'échelle 10 kg.
- Possibilité de lecture 5 kg.
- Force portante 20000 kg
- Dimensions du puits 6000-2500 mm



Figure II.2 : Photo numérique montrant le doseur linéaire.

II.2.2.1. Le broyage

Les MP sont introduites dans des moulins à tambour rotatif avec l'eau et défloculants STPP (Tri poly phosphate de sodium) pour y être homogènes et visqueuses. L'opération se fait en deux temps :

- En premier temps les MP dures comme « Argile Nedroma, feldspath, calcaire, sable de Sig et chamotte » sont mélangées avec une quantité d'eau qui varie entre 8000 L à 8500 L (3000 à 3500 tours avec une vitesse de 13 rotations par minute.
-) dans des moulins à tambour pendant une durée d'environ 4 heures et 40 minutes. Les conditions de broyage sont déterminées au laboratoire en fonction des essais. C'est la durée de broyage ainsi la quantité d'eau ajoutée qui doivent obéir aux exigences du résidu après le broyage final, qui ne doit pas excéder les 9% sur un tamis de 0.630 mm

Généralement le second broyage reste plus d'une heure avec un nombre de tours de l'ordre de 500 trs /min et qui requiers. Ces moulins se caractérisent par :

- Moulin à tambours, modèle Hermine (NM 300/460).
- Diamètre extérieure 4600 mm.
- Diamètre intérieure 3000 mm
- Long tambour (vitesse de rotation) :13 tr/min.
- Capacité : 23.1 m³.
- Epaisseur de revêtement(Silex) :120 mm
- Charge 12 tonne.
- Pression maximum de vidange : 4bars.
- Densité de galets : 2.5.
- Densité de barbotine : 1.650.
- Puissance moteur 15 kW. LZ
- Le volume de l'élément broyant (galets) est :50% du volume total du moulin.



Figure II.3 : Photo numérique montrant les moulins à tambours

II.2.2.2. Contrôle de la barbotine :

Le contrôle du résidu, de la densité et de la viscosité s'effectue régulièrement au niveau du laboratoire :

a) Le résidu : le contrôle consiste à verser 10 ml d'échantillon dans un tube gradué puis le laisser au repos ; le niveau de refus représente la valeur du résidu. Le tube est gradué de 12 unités dont chacune représente 1%.

La méthode classique consiste peser 100g de barbotine puis laver sur un tamis de 63 μ . Le refus obtenu est pesé après séchage pendant deux heures.

b) La densité : l'échantillon de la barbotine est rempli dans l'éprouvette graduée jusqu'à 500 ml puis pesé ; le résultat correspondant affiché représente le rapport poids/litre de la barbotine. Cette valeur est multipliée par 2 pour avoir la densité finale.

c) La viscosité : Le viscosimètre est rempli par la barbotine jusqu'au trait jaugé. La viscosité correspondante représente le temps d'écoulement de 500 mL par l'orifice du viscosimètre (diamètre 3.2 mm). [12]

II.2.2.3. Séchage et atomisation

II.2.2.3.1. Stockage –tamisage :

Le vidange des moulins à tambours est accéléré par une pression d'air comprimé vers des tamis pour éliminer les particules qui n'ont pas encore été bien broyées et d'autre déchets.

Après ce tamisage ébauche (1200 μ m), la barbotine est stockée dans des réservoirs intermédiaires équipés d'agitateurs à hélices, ensuite elle est acheminée vers de grands bacs de stockage munis d'agitateur pour éviter un dépôt de grains solides, en passant par un tamisage fini (390 μ m)(Figure II.4).

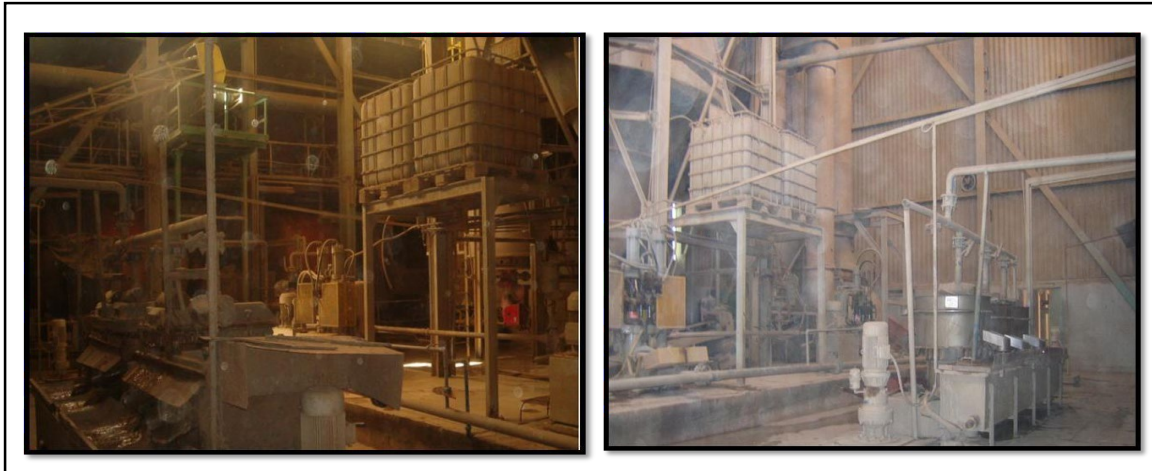


Figure II.4 : Photo numérique montrant le stockage et le tamisage de la barbotine

II.2.2.3.2. Atomisation

La barbotine est séchée dans l'atomiseur à l'aide d'un brûleur qui lance l'air chaud sec de 530 °C afin d'obtenir une poudre appelé granulat d'humidité allant de 6.90 à 7.30% ou elle est emmagasinée dans trois silos de stockage.

Le principe de fonctionnement de l'atomiseur se fait comme suit :

Après l'allumage du brûleur à gaz naturel afin de chauffer l'air introduit dans l'atomiseur, une pompe assure le transport de la barbotine qui sera pulvérisée par 6 buses supportées par une lance sous une pression de 18 à 20 bars.

Le contact entre l'air chaud et la barbotine provoque un transfert de chaleur qui va créer un transfert de matière (vapeurs d'eau, granulat). [13]

L'eau contenu dans la barbotine est vaporisée et la barbotine ainsi séchée tombe sous forme de granulat au fond de l'atomiseur ; en même temps que les gaz dégagés (vapeur d'eau et l'air) évacués par un ventilateur principale en passant par trois cyclones de récupération (Figure II.5).

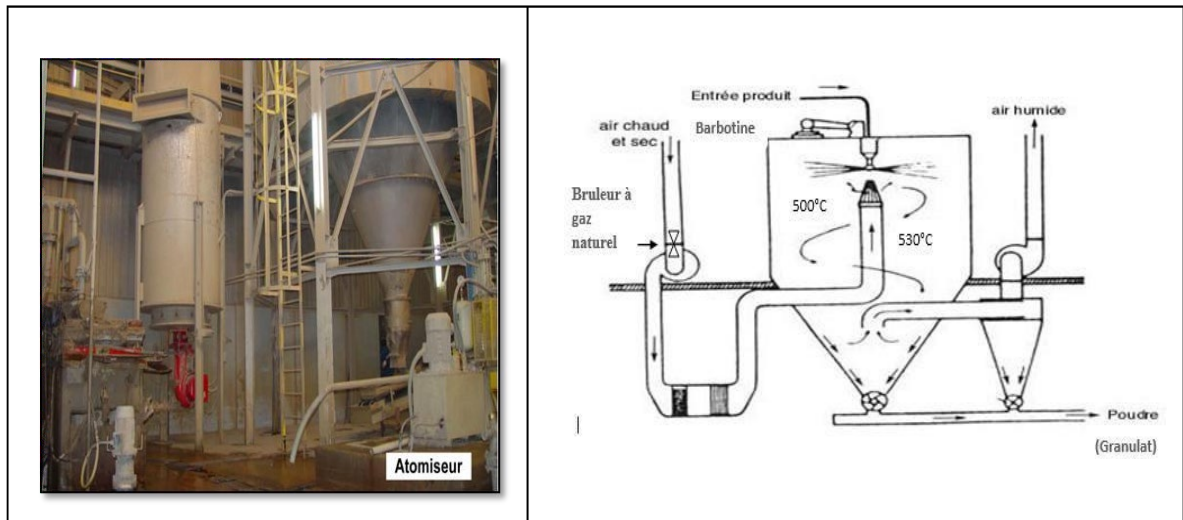


Figure II.5 : Photo numérique et schéma descriptif montrant l'atomiseur.

L'atomiseur est caractérisé par :

- Un brûleur à gaz naturel.
- Un ventilateur (apport d'air nécessaire à la combustion) et un ventilateur principal.
- Une chambre à combustion et un chemin d'évacuation d'air chaud.
- Tour de séchage de la matière.
- Grille se situant dans la partie supérieure de l'atomiseur.
- Un tri cyclone de récupération de la matière et buses d'injection de la barbotine.

II.2.3 Contrôle de Granulat

La teneur en humidité doit être contrôlée périodiquement pour rester dans les intervalles tolérés selon les normes de service.

Humidité : la méthode classique utilisant un hygromètre consiste à :

- Récupération de l'échantillon à la sortie atomiseur ;
- Séchage dans l'étuve à 120 °C pendant 02 heures ;
- Pesage précis avant et après séchage. ($\% \text{H}_2\text{O} = \frac{M1 - M2}{M1} * 100$).

Granulométrie : pour ce contrôle, on utilise un vibreur de tamis vibrants ((ouvertures : 0.630-0.400-0.250-0.160-0.100-0.063-le reste) μm).

L'opération consiste à mettre 100 g de granulat sec dans la série des tamis sous vibration permettant de distribuer cette quantité dans ces différents tamis selon leurs diamètres.

II.2.4. Préparation des Frites, émaux et engobes

Le deuxième atelier conçu pour préparer les frites, émaux et engobes est équipé par le matériel suivant : Une balance numérique (digitale), Mélangeur, Four rotatif, Cuves, Sept Moulins à galet d'alumine.

II.2.4.1. Préparation des frites

La fritte est préparée après la fusion des MP: (quartz (SiO_2), fondant (borax penta et l'acide borique), feldspath potassique (Al_2O_3 , K_2O , et SiO_2), craie (CaO), oxyde de zinc (ZnO) pour la brillance, zircon (ZrSiO_4) ; kaolin chamotte (SiO_2 , Al_2O_3) à haute température ($1400\text{ }^\circ\text{C}$) suivie d'un refroidissement rapide [14].

La majorité de ces éléments forment en fondant des liquides qui se cristallisent lors du refroidissement (rencontre avec l'eau).

On obtient donc deux types de fritte, l'une transparente et l'autre opaque à cause de la présence du zircon.

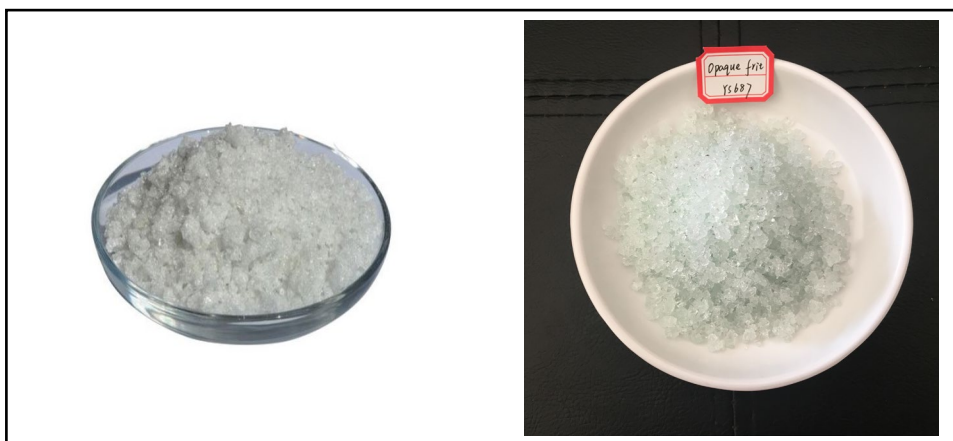


Figure II.6 : Photo numérique montrant les deux types de fritte

II.2.4.2. Processus de la fusion

Les MP mentionnées dans la recette sont pesés totalement avant d'être placées dans le mélangeur où elles sont mélangées de façon homogène.

Des temps de mélange entre 3 et 7 min sont suffisants dans le cas des mélangeurs modernes.

Après le processus de mélange, la charge est vidangée dans une cuve afin de passer à la phase de fusion qui est accomplie à l'aide d'un four à tambour rotatif chauffé par un gaz naturel.

Le four à tambour rotatif se présente sous forme d'un long cylindre, incliné et tournant lentement autour de son axe.

Ce four fonctionne avec un brûleur qui est fixé axialement par rapport à son extrémité inférieure et qui joue le rôle principal dans le processus de fusion. [15]



Figure II.7 : Photo numérique montrant le processus de fusion des frites.

II.3. Contrôle

Pour obtenir un email régulier et de haute qualité, les frites doivent être contrôlées avant le stockage dans les silos.

II.3.1. Certification des frites

L'échantillon de fritte qui fera l'objet du test au niveau du laboratoire est broyé dans la tourne jarre au bout de 30 mn.

L'email obtenu est appliqué sur un carreau humidifié puis enfourné en cuisson email. La qualité de la fritte est appréciée après cuisson.

II.3.1.1. Préparation de l'email et l'engobe

II.3.2.2.1. Préparation de l'email

Généralement, on utilise 85% de fritte opaque, 10% de fritte transparente et 5% de kaolin qui est broyés en addition de STPP avec un pourcentage de 0.025% et CMC « colle ». Le dosage de CMC est toujours de 0.08% avec de l'eau.

Pour l'email semi opaque, on utilise 47% de fritte opaque. Le même pourcentage est utilisé pour la fritte transparente (5% de kaolin avec 0.024% de STPP et 0.014 de la colle « CMC »)

Dans le procédé de préparation de l'email, on broie généralement la fritte, les additifs et l'eau dans des moulins à tambour (broyage humide) jusqu'à obtention d'un rejet prédéfini.

L'email est mis dans des tamis vibrants puis stockée dans des silos en résine fermée afin d'éviter toute contamination.

De nombreux types d'émaux sont formulés en fonction du type de produit, de la température de cuisson, et des propriétés souhaités pour le produit fini. [16]

II.3.2.2.2. Préparation d'engobe :

Il se compose de la Fritte opaque- sable lavé- kaolin, quartz, STPP et la colle. Ces composants sont mélangés dans les moulins puis tamiser et stocker dans des cuves.

II.3.2.2.3. Contrôle l'email et l'engobe

Avant le transport de l'email et l'engobe dans la chaine d'émaillage, la viscosité et le poids spécifique doivent être contrôlé pendant la préparation.

Ce contrôle doit être effectué à un intervalle régulier et bien défini par laboratoire.

La viscosité : On contrôle la viscosité à l'aide d'un viscosimètre LEHMAN qui permet de déterminer la vitesse d'écoulement de l'email qui doit varier dans l'intervalle de 22-28 (temps en seconde, nécessaire à l'écoulement d'un échantillon de 100 mL de barbotine email).

Le poids volumique doit varier aussi entre 1690 et 1740g/L. (On peut toujours ajouter de l'eau pour remédier à un poids volumique élevé).



Figure II.8 : Photo numérique montrant les moulins à tambour pour la préparation de l'email et l'engobe.

II.4. Applications et conditions pour installation de l'imprimante DHD :

L'utilisateur doit donc garantir les conditions de fonctionnement indiquées ci - dessous. L'absence ou le non-respect de ces conditions, pouvant porter à l'endommagement et au mauvais fonctionnement du système d'impression, entraîne la déchéance immédiate de la garantie pour vice de la part du fournisseur :

- Cabine climatisée : l'imprimante numérique DHD doit être logée dans une cabine

Climatisée à une température comprise entre 20 et 25°C et une humidité relative inférieure à 70%.

- Système d'aspiration adéquat.
- Installation air comprimé adéquate.
- Flux constant du produit vers la machine.
- Température carreaux ne dépassant pas 45°C et évaporation absente.
- Distance minimum entre la dernière application d'émail et la machine numérique : 10-12m avec une vitesse de la ligne inférieure ou égale à 25 m/min.
- Connexion Internet pour l'assistance à distance.
- Signaux d'interface machine — ligne d'émaillage.
- Système d'alimentation sans interruption.

II.5. Chaîne de production des carreaux céramiques

Après la préparation du granulat, l'émail, la pâte sérigraphique et les tamis ; passent à la chaîne de production qui englobe quatre stations principales : station de biscuits, biscuits émaillés, produits finis avant triage et enfin les produits finis emballés.

II.5.1. Préparation des biscuits

II.5.1.1. Pressage

Le granulat qui est stocké dans des silos va alimenter les presses en passant d'abord par un premier tamis pour éliminer les déchets.

Ces presses donnent une des produits finis de type (carreau 20 x 30) cm. Cette opération est faite sous une pression de 240 bars.

La presse est : « PH 680 » est une machine entièrement automatique qui sert au comptage des carreaux pendant leur cycle de fabrication.

Cette machine utilise l'énergie hydraulique pour les différentes actions d'emploi : 'chargement de moule, pressage, extraction de carreau, éjection de ce dernier, tous les organes fonctionnent au moyen d'énergie hydraulique' leur caractéristiques sont :

- Puissance installée 48 kW.
- Commande de moteur P=45kW.
- Pompe 1500 tr/min
- Force de rejet 20 tonnes.
- Capacité du réservoir d'huile 350 litres.
- Pompe à eau de refroidissement P=3kW.

Le fonctionnement de cette machine se déroule comme suit :

Pressage ébauche : la presse applique une basse pression qui sert en premier lieu à compacter légèrement la poudre.

Désaération : l'air ainsi emprisonné doit être dégagé, cela se fait par relâche de la pression ; cette phase est essentielle pour éviter les contraintes qui peuvent provoquer des fissures.

Pressage final : pour le serrage des grains on applique une pression maintenue constante, de l'ordre de 240 bars.

Le pressage est plus important pour l'orientation des micelles que pour la réalisation de la forme finale (carreaux 20 x 30). A la fin de cette opération les carreaux crus sont acheminés à l'entrée de four à rouleaux biscuit (FRB) à l'aide d'un convoyeur à courroies.

[17]



Figure II.9 : Photo numérique montrant le pressage de granulat.

II.6. Contrôle des carreaux crus

Les mêmes contrôles (humidité ; granulométrie ; densité) sont effectués :

Humidité : la mesure se fait à l'aide d'une balance hydrométrique.

Poids de carreau : emploi d'une balance de précision.

Mesure des dimensions : à l'aide d'un pied à coulisse ; on mesure les dimensions sur les quatre côtés du carreau cru et les épaisseurs sur les quatre diagonales pour chaque alvéole.

Résistance à la flexion : un appareil destiné à l'essai mécanique est disponible au niveau du laboratoire. Pour chaque alvéole, on mesure l'épaisseur (la petite valeur) et la largeur du côté (la plus grande valeur) qui subit la rupture ; la résistance correspondante est lue

directement sur le cadran de l'appareil.

II.7. Cuisson du biscuit

La cuisson biscuit est effectuée dans une atmosphère oxydante qui se passe au niveau du four à rouleaux biscuit (FRB) selon 4 étapes:

Séchage : pour dégager la quantité de l'eau restante dans les carreaux, où l'humidité est inférieure à 1%, la température est variée entre (100 et 250°C).

Zone de pré-cuisson : sert à chauffer les carreaux et dégager les gaz ; la température est variée entre : 250 et 750°C.

Zone de cuisson : Obtention des matériaux réfractaires et des fibrescéramiques spécifiques aux hautes températures [$1000 < T(^{\circ}\text{C}) < 1090$]

Zone de refroidissement : le refroidissement se fait en deux temps :

-Refroidissement rapide où la température peut arriver jusqu'à 600 °C et refroidissement rapide lent avec une chute de température jusqu'à 150 °C ; le cycle de cuisson peut atteindre 46 min.

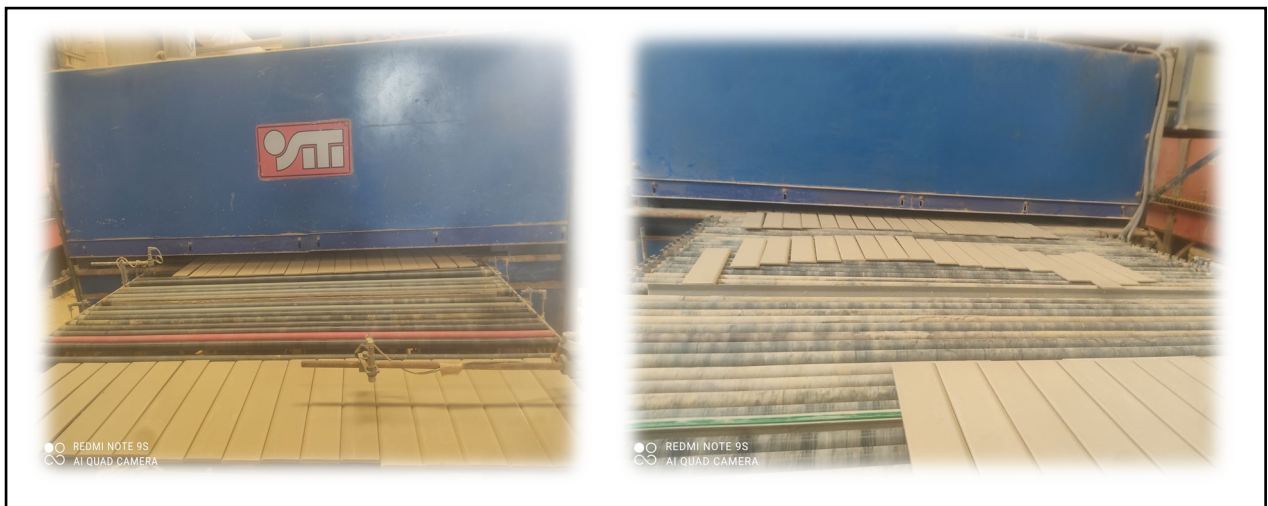


Figure II.10 : Photo numérique montrant le four à rouleau pour cuisson biscuit FRB.

Four à rouleaux biscuit (FRB) : Il est tout aussi moderne que le canal de cuisson avec la première section de séchage puis le pré-four plus le préchauffage pour la cuisson et à la fin de la section de refroidissement (rapide, régulier et lent).

Les caractéristiques du four sont : _Modèle : ITAM23-5-18. Longueur utile (18 modules) : 39,750 m.

-Largeur intérieur de canal : 2,300 m.

-Longueur utile de charge : 2,100 m.

-Hauteur de four : 2,060 m.

-Longueur mini du produit à cuir : 150 m

-Température maximal de cuisson : 1400 °C.
-Température de cuisson : 1080 °C. Combustible : gaz. -Temps de cuisson : 30 à 90 mn.

Cycle prévu : 35 mn.

-Vitesse d'entrée carreau : 450 m/mn.

-Vitesse de sortie carreau : 452 m/mn.

II.7.1. Le contrôle du biscuit :

Le contrôle consiste à prendre des échantillons de carreau à la sortie du four pour déterminer leur poids ; dimensions et résistances à la flexion:

Carreaux et peser chaque pièce et noter les résultats avec précision.

M1 : masse de carreau séché.

M2 : masse de carreau humide.

$\% \text{ Absorption} = \frac{M2 - M1}{M1} * 100.$

II.7.1.1. Certification du produit pour l'émaillage

La certification se base sur le contrôle de planéité et l'intégralité du biscuit ; chaque wagon est doté d'une fiche d'identification sur laquelle le produit est certifié, notons qu'un rapport de certification est donné par un poste de travail.

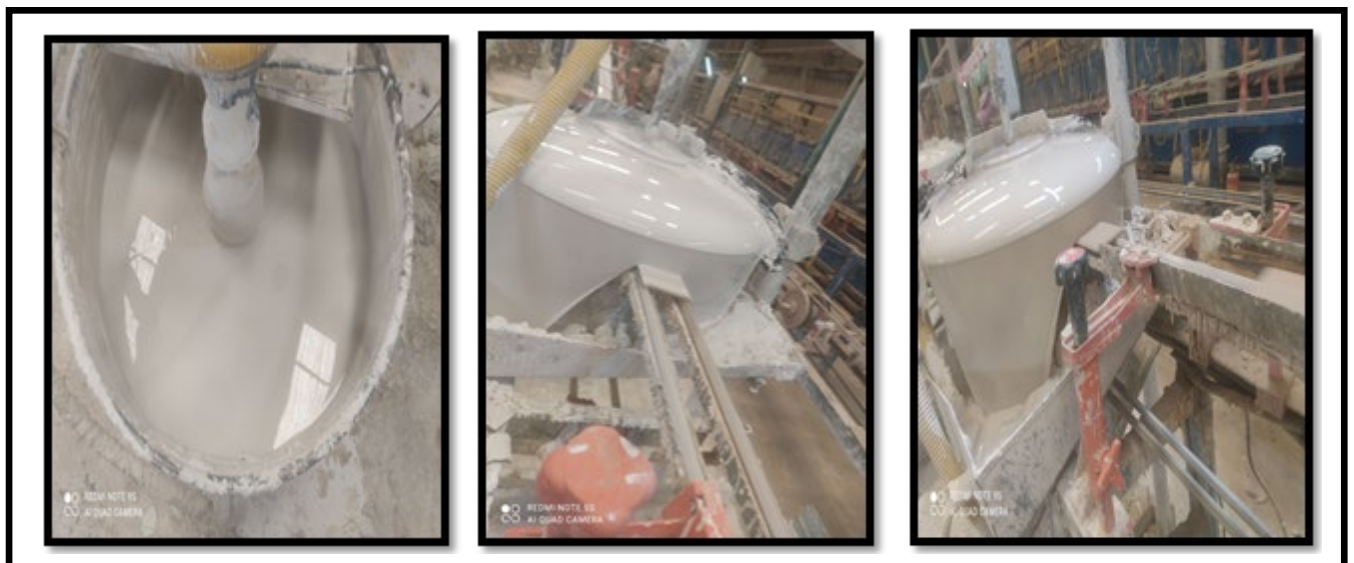


Figure II.11 : Photo numérique montrant l'émaillage.

II.7.1.2. Préparation des biscuits émaillés :

Dans cette étape il existe deux chaînes d'émaillages l'une pour l'obtention des carreaux mono couleur et l'autre pour les carreaux décorés.

Les biscuits stockés dans les wagons sont transportés manuellement vers ces deux chaînes où ils sont triés et alimentés encore manuellement par un opérateur pour

lancer l'émaillage. [18] [19]

Cette opération est faite sur plusieurs étapes :

1. Le chan freinage et marteau : pour tester la résistance du carreau et le chaud freinage pour bien définir les côtés du carreau.
2. Le brossage : pour éliminer la poussière.
3. Le souffleur : pour éliminer les résidus de poussière sur les carreaux.
4. Humidification : pour appliquer la douche sur les carreaux qui sert à diminuer l'absorption d'eau du carreau.
5. Application d'engobe : c'est la première couche mise sur le biscuit, a une couleur crème. On utilise l'engobe avant l'émail puisqu'il a une bonne résistance mécanique, il est plus économique et il permet de masquer la couleur du biscuit.
6. Application de l'émail : c'est une deuxième couche mise sur le biscuit qui a une couleur blanche.
7. Deux groupes d'ébarbage : pour nettoyer les quatre cotés latéraux.

La première chaine est destinée pour la réalisation des carreaux mono couleur et s'arrête dans cette étape ; mais pour les carreaux décorés qui sont traités dans la deuxième chaine nécessite d'autres étapes plus que celles déjà cités,

II.8. Décoration :

Les carreaux décorés nécessitent une nouvelle machine de décoration jet d'encre, qui peut remplacer l'ancienne technique de décoration basée sur l'utilité des tamis sérigraphiques puisque ces derniers créent des problèmes catastrophiques qui influent sur la qualité, quantité, et sur le temps de production.

Le choix de ce type de machines est basé essentiellement sur leurs adaptations avec les chaines d'émaillages qui sont des convoyeurs à courroies et l'espaces libre autours de ces deux chaines car cette machine de décoration nécessite une surface importante pour son installation.

II.9. Triage et emballage

Les produits finis stockés dans les boitiers sont déchargés par la machine à ventousedans la table à rouleau puis acheminé par un convoyeur à courroie jusqu'à la machine detri.

Les carreaux sont triés par bandes de triage de façon à ce que la belle face soumise àun examen soit visuelle normalement à une distance d'un mètre.

Les carreaux sont exposés à une intensité lumineuse uniforme à la surface des carreaux et les pièces sont contrôlées avant l'essai.

Les produits finis sont classés selon les choix en trois classes :

- **Le 1^{er} choix** : les carreaux n'ayant aucune contamination ni fissures ni bordure ébréchée.
- **Le 2^{ème} choix** : les carreaux peuvent présenter quelques défauts.
- **Le 3^{ème} choix** : des carreaux portants des fissures ayant des bords ébréchés, un émail surcuit ou incuit, une décoloration impropre.

Les carreaux à revêtements mural sélectionnés et contrôlés sont mis dans des cartons d'emballage.



Figure II.12 : Photo numérique montrant le tri et l'emballage des produits finis
1^{er} choix et 2^{ème} choix.

II.9.1. Stockage

Le produit fini est stocké manuellement dans des palettes pour la commercialisation. La capacité de ces palettes est de 96 cartons, les palettes sont stockées dans une zone de stockage.



Figure II.13 : Photo numérique montrant le stockage des produits finis.

Chapitre III : Matériel et méthode

Dans ce chapitre, nous présentons le matériel et les méthodes utilisés utilisés dans le cadre de ce mémoire.

III.1. Dessiccateur KERN DBS

Le dessiccateur DBS est un analyseur d'humidité avec écran graphique et 10 emplacements de mémoire pour les processus de dessiccation



Figure III.1 photo numérique montrant le Dessiccateur DBS

III.2. Le thermomètre Fluke 64 MAX

Le thermomètre Fluke 64 MAX offre la précision requise pour effectuer votre travail avec justesse pour un prix abordable. Conçu et testé pour résister à une chute de 3 mètres, vous pouvez compter sur ce thermomètre infrarouge compact et léger dans votre travail, même dans les environnements les plus rudes et auxquels vous ne pouvez pas accéder.



Figure III.2 photo montre thermomètre Fluke 64 MAX

III.3. La tamiseuse AS 200 basic

Les tamiseuses analytiques de la série AS 200 sont utilisées dans la recherche et le développement, le contrôle qualité des matières premières, des produits intermédiaires et finis ainsi que dans le suivi de la production.

L'entraînement électromagnétique contrôlable permet une adaptation optimale pour chaque produit.

Des fractions nettes sont obtenues même après des temps de tamisage très courts.



Figure III.3. Photo numérique montrant les tamiseuses

III.4. Les fours de calcination

Les fours à calcination sont des fours industriels employés dans la fabrication de la chaux, céramique du ciment ou du plâtre.

C'est aussi un appareil de laboratoire visant à réaliser les opérations de calcination, Nous avons utilisé plusieurs fours différents.



Figure III.4. Photo numérique montre les Four de calcination (Nabertherm 30-3000 °C), (matest), (MLM elktro).

III.5. Le viscosimètre

Le viscosimètre est rempli par la barbotine jusqu'au trait jaugé. La viscosité correspondant représente le temps d'écoulement de 500 ml par l'orifice du viscosimètre (diamètre 3.2mm).



Figure III.5. Photo numérique montre viscosimètre.

III.6. L'éprouvette

L'échantillon de la barbotine est rempli dans l'éprouvette graduée jusqu'à 500 ml puis pesé ;

Le résultat correspondant affiché représente le rapport poids/litre de la barbotine. Cette valeur est multipliée par 2 pour avoir la densité finale.



Figure III.6. Photo montre L'éprouvette

III.7. Diffraction des rayons X (DRX)

La découverte des rayons X était un événement très important qui a bouleversé le sens des progressions scientifique, éventuellement dans le domaine de la cristallographie, car la diffraction des rayons X est une technique d'analyse non destructive pour l'identification et la détermination quantitative des différentes formes cristallines présentes dans un solide.

La diffraction des rayons X consiste à applique un rayonnement de la longueur d'onde des rayons X ($0.1 < \lambda < 10\text{nm}$) sur un échantillon argileux orienté ou non. Le rayonnement pénètre le cristal.

III.7.1. Principe

Le processus de production des rayons X résulte du bombardement d'une cible métallique par des électrons. Les électrons accélérés par un champ électrique sont très brutalement ralentis lorsqu'ils arrivent au contact de la cible, il perde alors une partie de leur énergie qui est dispersée sous forme de rayonnement.



Figure III.7. Photo numérique montre Appareille DRX SMARTLAB

Chapitre IV : Résultats et discussions

Dans ce chapitre, tous les résultats expérimentaux obtenus sont présentés et discutés. En effet, comme mentionné auparavant le programme expérimental réalisé a concerné le procédé de fabrication et le contrôle de qualité des carreaux céramiques fabriqués par l'entreprise SARL-TOUGRES-CERAMIC

IV.1 Matières premières

Dans notre étude, nous avons utilisé deux matériaux de base (MP1, MP2) provenant de deux sources différentes :

- **Matière première 1 (MP1)** : Provenant de l'entreprise « Zét Cérame » El Harrach
- **Matière première 2 (MP2)** : Provenant de l'entreprise « Moderne Céramique » Chéraga.



Figure IV.1 : Photo numérique montrant (A) : la matière première d'Entreprise « Zét Cérame » El Harrach ; (B) : la matière première issue de L'entreprise « Moderne Céramique » Chéraga.

Le Tableau I.1 présente la composition minéralogique de la matière première **MP 1** et **MP 2**

Tableau IV-1 : Composition minéralogique de la matière première MP 1 et MP 2

Constituant MP 1	Constituant MP 2
1-Kaolin rouge	1- Oxyde de fer rouge Fe ₂ O ₃
2- Feldspath	2- Kaolin rouge
3- Calcaire	3- Pigment brique noire K37
4- Argile jaune	4- Calcaire
	5- Feldspath

Le Tableau IV.2 présente le gisement de la matière première **MP 1** et **MP 2**

Tableau IV-2 : Composition minéralogique de la matière MP 1 et MP 2

Gisement MP1	Gisement MP2
la gare omare (Bouira)	Attatba – (Tipaza)
Nedroma (Tlemcen)	Attatba – (Tipaza)
(boumerdes, Tipaza, chelf, Laghouat)	(Cherchell)
(Tipaza)	(Ain Témochent)
	Nedroma (Tlemcen)

➤ **IV.2. Conditions de stockage de la matière première (humidité * hygromètre *)**

Dans un premier temps, nous avons déterminé le pourcentage d'humidité dans les deux matières premières utilisées afin de les comparer aux normes exigées qui sont dans la gamme (3,5 - 6,5) %.

Les valeurs obtenues de la teneur en humidité des deux matériaux (MP1 et MP2) sont généralement acceptables selon les normes exigées (3,5 % - 6,5%). Elles sont respectivement de l'ordre de 5,53 et 4,87 %.

IV.3. Contrôle de la granulométrie

Tableau IV-3 : Analyse granulométrique des matières premières utilisée **MP 1** et **MP 2**.

	500µm	325µm	177µm	75µm
MP 1	9%	19.7%	34.8%	36.09%
MP2	8.1%	20.3%	32.6%	38.58%

IV.4. Chaîne de production :

IV.4.1 Pressage :

Dans cette partie de notre travail, nous avons vérifié les valeurs de la pression appliquée sur les différents formats de carreaux céramiques fabriqués.

Le Tableau IV.4 présente les résultats correspondants

Tableau IV-4 : révision la valeur de pression

Format de carreaux (cm)	20 ×30	33×33	8×40	8×45
Pression (bar)	200 - 240	220 – 250	130 – 170	130 – 180
Pression (ton)	400 – 480	440 - 500	240 – 340	280 – 360

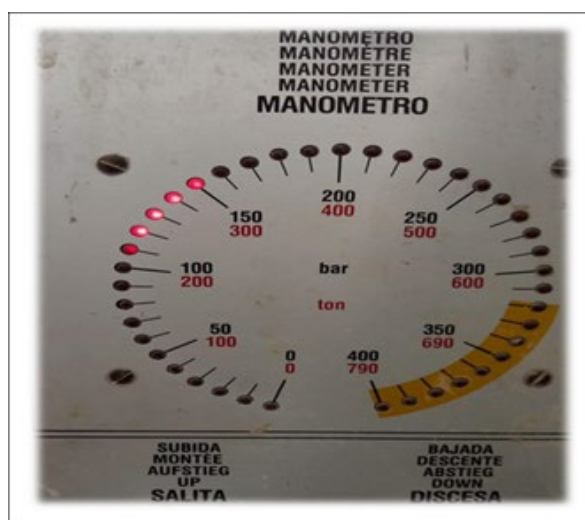


Figure IV.2 : Photo numérique montre révision la valeur de pression sur format de carreaux céramiques 8 × 45 (cm)

IV.4.2- Séchage:

Le séchage a pour but de dégager la quantité de l'eau restante dans les carreaux afin que l'humidité soit inférieure à 1%. Pour ce là, la température est variée entre 100 et 250 ° C).

Le Tableau IV.5 montre tableau d'affichage de la température (°C) repère et température mesure en fonction de les zone de séchoir.

Tableau IV-5 : Variation de la température en fonction des zones de séchoir.

Zones de séchoir	zone 1	zone 1	zone 2	zone 2	zone 3	zone 3
Température repère (°C)	33	171	216	220	171	90
Température de mesure (°C)	33	170	210	220	170	

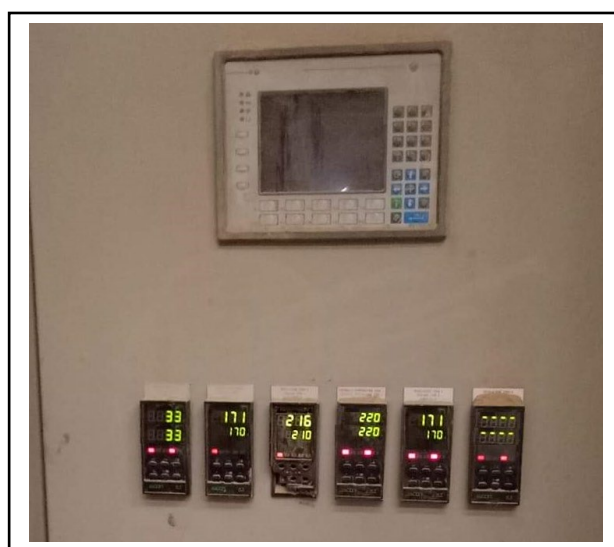


Figure IV.3 : Photo numérique montre tableau d'affichage de la température (°C) en fonction de la zone de séchoir.

Cette courbe montrant la variation de température examinée et température repère en fonction des zones de séchoir.

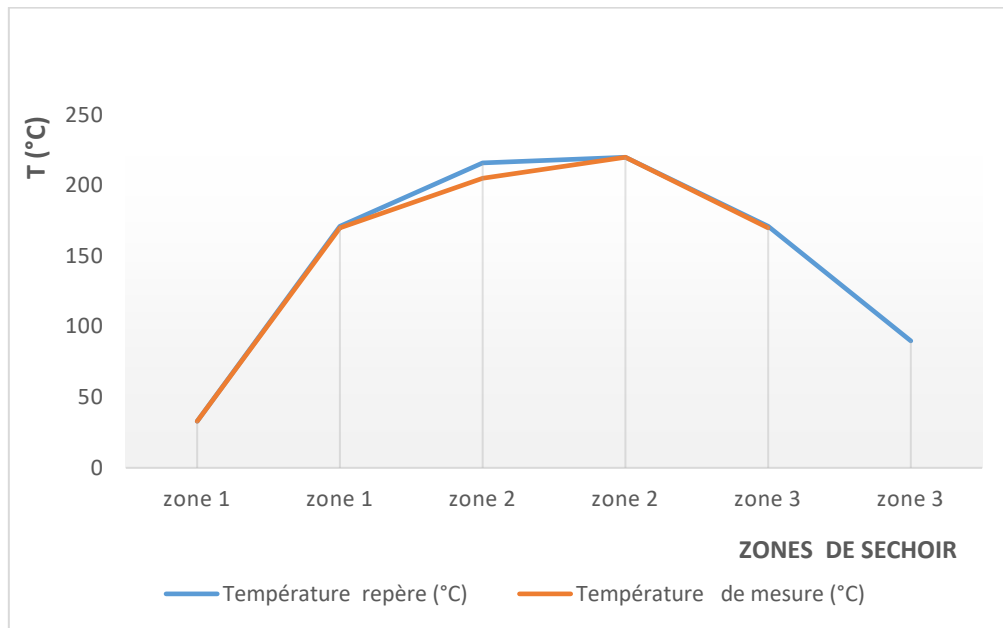


Figure IV.4 : Variation de la température en fonction des zones de séchoir.

Cette courbe fait apparaître trois zones suivantes :

- Une première zone où la température augmente rapidement de 33 jusqu'à 170 (°C)
- Une deuxième zone où la température augmente lentement et semble atteindre un palier allant de 170 jusqu'à 220 (°C)
- Une troisième zone où la température diminue rapidement de 220 jusqu'à 90 (°C)

IV.4.2- Vérifier le pourcentage d'humidité

Lorsque le biscuit sort du séchoir, il faut vérifier le pourcentage d'humidité sera inférieure à 1%.

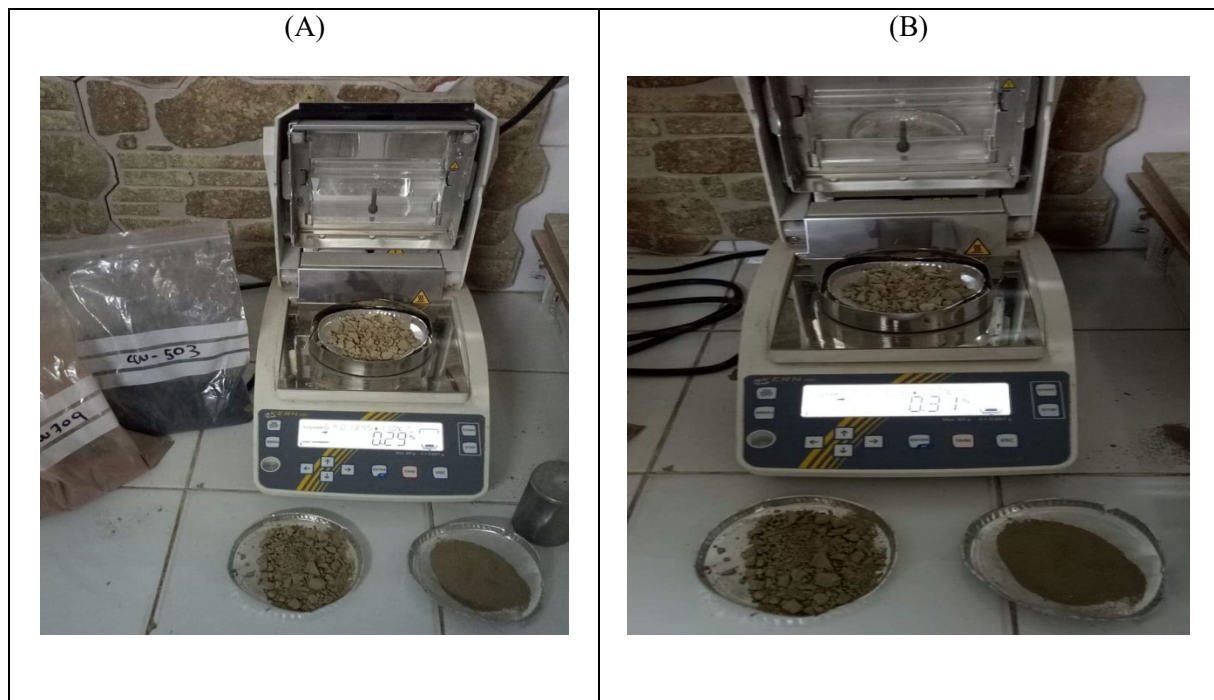


Figure IV.5 : Photographies numériques montrant l'appareillage utilisé dans les tests d'humidité
A) (MP) ; (B) : MP2

Les valeurs obtenues pour la teneur en humidité des deux matériaux après dessiccation (MP1 et MP2) sont généralement acceptables selon les normes requises inférieures à (1%). Ils sont respectivement de l'ordre de 0,31 % et 0,29 %.

IV.5. FOUR

Le **Tableau IV.6** : montre la température mesurée en fonction des zones de four et temps

Zones de four	zone 1	zone 1	zone 2	zone 2	zone 3	zone3	zone 3
Température de mesure (°C)	80	120	340	780	1000	460	180
Temps (min)	1	3	9	19	28	32	36

L'exploitation de ses résultats sous forme de courbe T(°C) en fonction du temps est présentée dans la Figure IV.6 suivante.

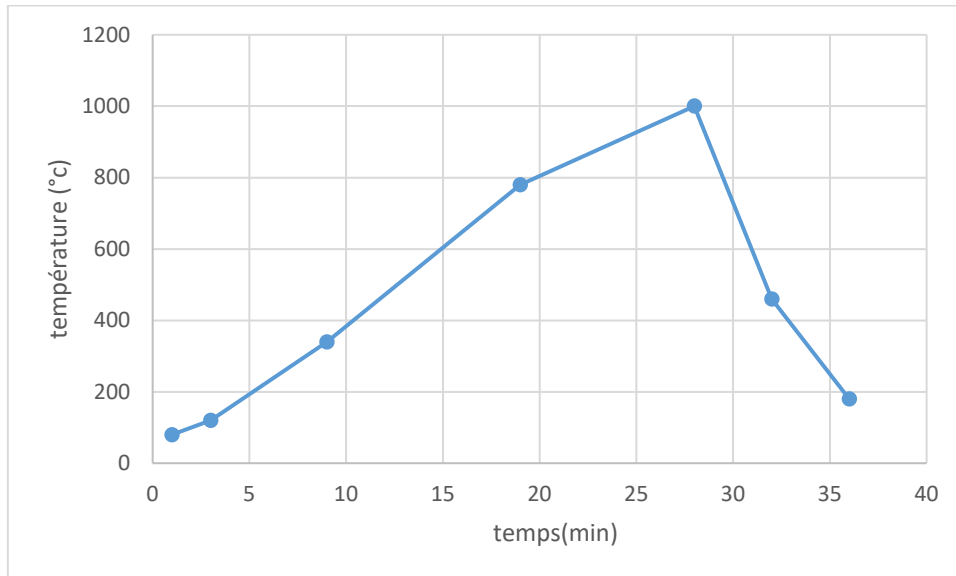


Figure IV.6 : la courbe montre la variation de température de mesure de four en fonction de temps

Cette courbe démarre. D'une température de 80 °C à une température de 340 °C pendant 9 minutes. Dans la zone 1 zone de pré-cuissons

Continue de monter jusqu'à une température de 1000 °C pendant 19 minutes dans la zone 2 zones de cuisson

Puis la courbe descend jusqu'à une température de 200 °C pendant 8 minutes dans la zone 3 zones de refroidissement



Figure IV.7 : photo numérique montrant le défaut de produite finie (cœur noire, des fissures).

D'après les résultats obtenus aux niveaux de produite finie en remarque des défauts (cœur noire, des fissures, les points noire), Ceci est dû à un problème technique au niveau du four (température de chaque zone, le temps de cuisson).

IV.6. Test de cuisson

Nous avons fait une expérience, on met plinthe dans le four (four électrique a échelle laboratoire) ensuite nous suivons l'étape de cuisson et pour faire le courbe de cuisson

Le Tableau IV.7: montre la température en fonction du temps

Temps (min)	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
Température (°C)	25	200	350	500	680	800	910	990	1030	1050	1080	1090	1100

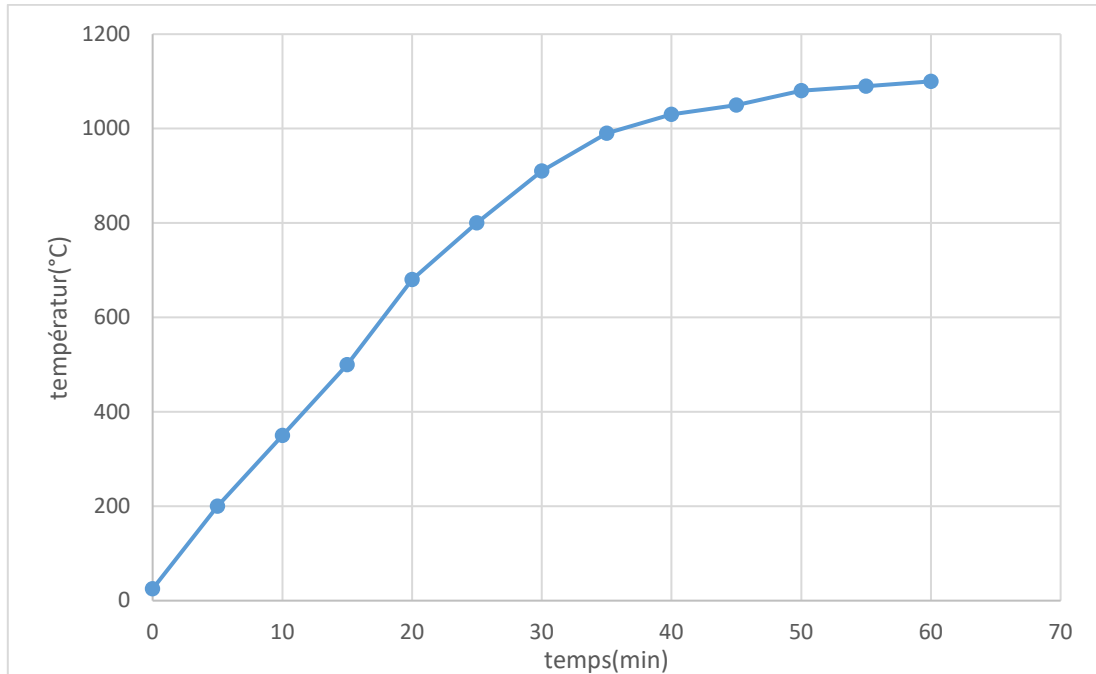


Figure IV.8. Courbe de cuisson (four électrique de laboratoire)

Lors de l'évolution de la température, des modifications de la structure s'opèrent :

Jusqu'à 200°C l'eau superficielle s'évacue (pré-chauffage)

De 200 à 450 °C, les matières organiques s'oxydent et sont détruites à 700°C

De 450°C à 650°C, la structure de matériaux argileux commence à se détruire

De 650°C à 800°C s'effectue la décomposition du carbonate de calcium

De 800 à 1100°C, il y a « grésage » progressif de l'argile sous l'effet des « fondants »

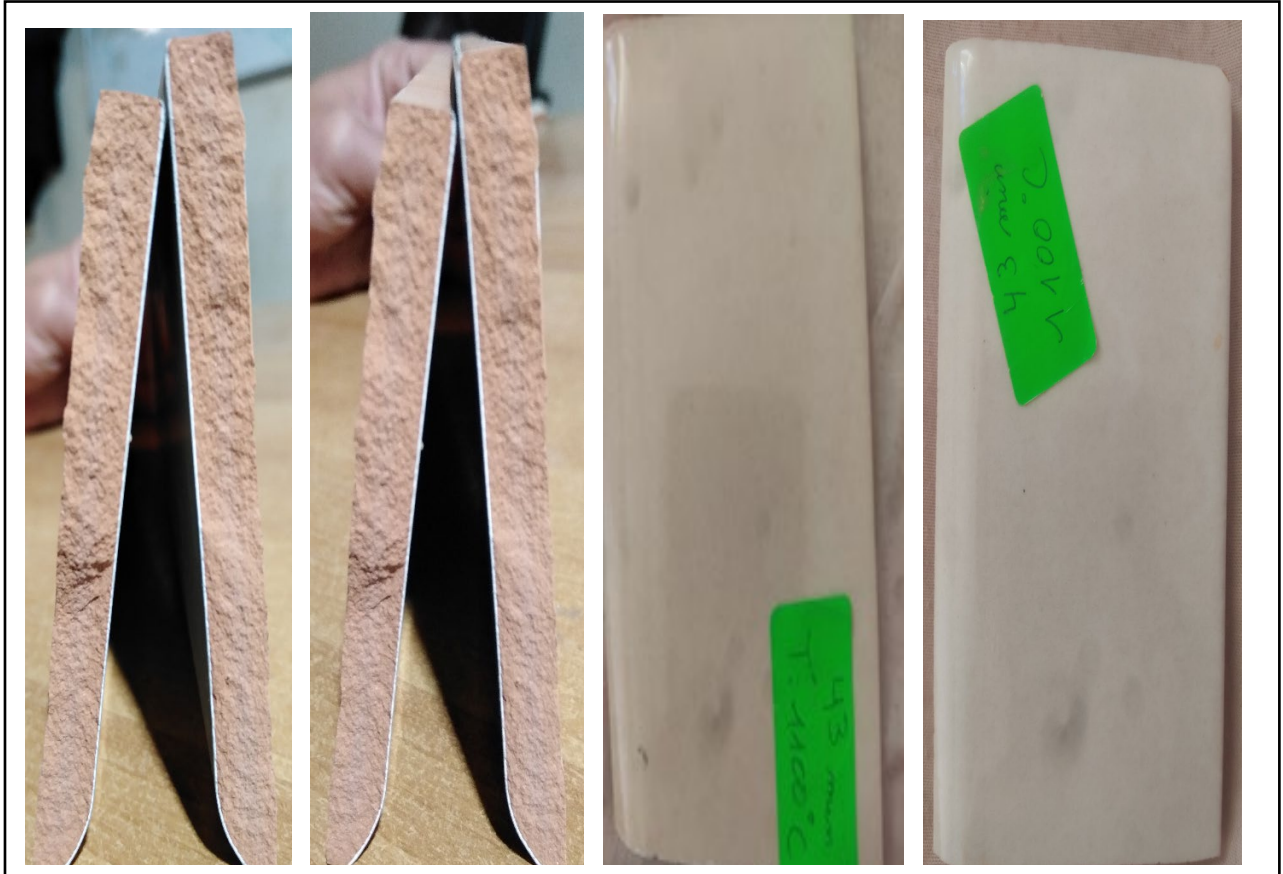


Figure IV.9 : photo numérique montrant le résultat obtenu après la cuisson

D'après les résultats obtenu On remarque que le produite finie été bien, on note aussi que les erreurs ont disparu

IV.7.La proposition pour le four à rouleaux aux niveaux de l'industrie

Après plusieurs expériences au niveau du four de laboratoire, nous avons atteint des résultats acceptables qui nous permettent d'améliorer le produit final avec une bonne qualité.

Nous avons suggéré ces changements au niveau (température et temps dans chaque zone).

Le Tableau IV.8 : montre la température proposée en fonction des zones de four et temps

Zones de four	Zone 1	Zone 1	Zone 1	Zone 2	Zone 2	Zone 3	Zone 3
Température proposé (°C)	80	250	450	1000	1090	750	200
Temps (min)	1	6	12	20	35	37	43

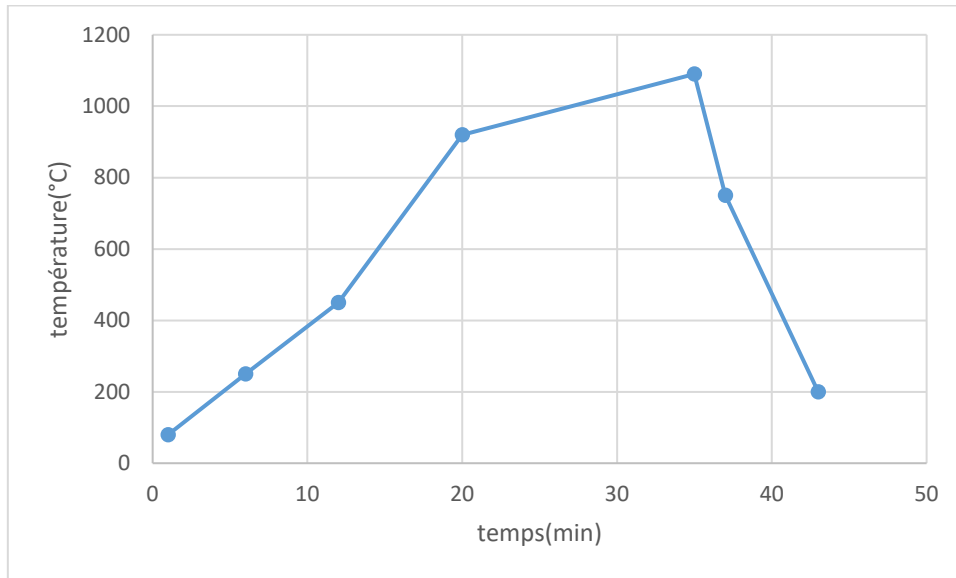


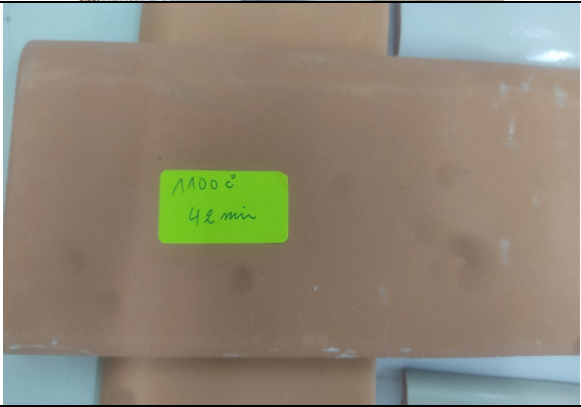
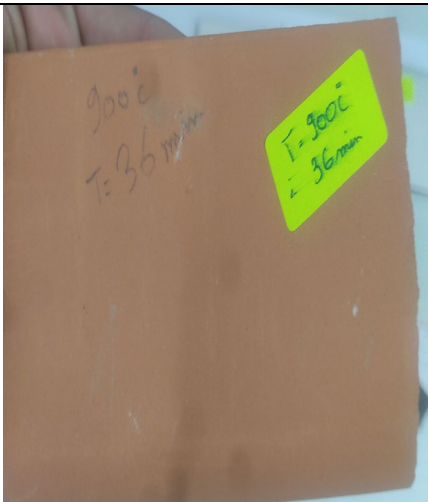



Figure IV.10 : la courbe montre la variation de température proposée de four en fonction de temps proposée

Le Tableau IV.9. Présent les résultats des différents essais de cuisson de carreau céramique.

Température°C	Temps	Expériences
Température 1200°C	Le temps 2h20min	

<p>Température 1300°C</p>	<p>Le temps 1h20min</p>	 A dark, almost black, textured material sample, possibly a polymer or composite, with a yellow label in the center. The label contains handwritten text: "T = 1300°C" and "1h20 min".
<p>Température 1300°C</p>	<p>Le temps 56min</p>	 A dark, smooth, and somewhat glossy material sample, possibly a polymer or composite, with a yellow label in the center. The label contains handwritten text: "1300°C" and "56 min".
<p>Température 1100°C</p>	<p>Le temps 42min</p>	 A light brown, smooth material sample, possibly a polymer or composite, with a yellow label in the center. The label contains handwritten text: "1100°C" and "42 min".

<p>Température 900°C</p>	<p>Le temps 36min</p>	
<p>Température 1090°C</p>	<p>Le temps 44min</p>	

CONCLUSION

Conclusion générale

L'étude a été effectuée, en grande partie, dans l'entreprise TOUGRES CERAMIQUE spécialisée dans la fabrication et la commercialisation des carreaux céramiques et plinthe pour revêtement mural.

L'objectif de l'étude est d'apporter des éléments de réponse aux défauts dans les produits finis suscités.

Les résultats obtenus ont permis de répondre à cette problématique. Nous les présentons de la manière suivante :

- La présence de défauts (fissures, cœur noir taches noires,) dans les produits finis est liée aux problèmes techniques du four en raison de son instabilité (température instable, problème de temps). Nous proposons donc de réinitialiser le four et d'ajuster les températures et le temps nécessaire à la cuisson de céramique.

- Mauvais stockage des matières premières qui affectent la qualité des produits finis. Ces matières premières sont placées dans un endroit ouvert exposé aux facteurs naturels. L'humidité affecte, en effet, les carreaux dans l'étape de pression entraînant ainsi leurs déformations et leur fragilité. Nous proposons donc des solutions pour le bon stockage des matières premières en les plaçant dans un endroit sec loin des perturbations extérieures.

Annexe

(Annexe -I) : fiche technique de service laboratoire contrôle A (MP1) et B (MP2).

(A)

S. A. R. L TOUGRES CERAMIC

SERVICE LABORATOIRE FICHE TECHNIQUE Mp.1

MODEL *Cartaba* Fait le... *13/05/2021*
 FORMAT *8 cm x 45 cm*
 COULEUR *3 couleurs (b/m.i)*

SECTION PRESSE
 Humidité (Terre atomisée) = *5.53 %*
 Granulométrie (µm)

500 µm	325 µm	177 µm	75 µm
<i>9 %</i>	<i>19.7 %</i>	<i>34.8 %</i>	<i>3.6, 09 %</i>

Pression de pressage = *150 bar*
 N°coupe/min = *8,8 coup / min*
 Vitesse séchoir = *14 min*
 Températures sortie séchoir (°C) = *117,3 °C* ↗

Zone 1	Zone 2	Zone 3	Zone 4	Zone 5	Zone 6
<i>33</i>	<i>170</i>	<i>210</i>	<i>220</i>	<i>170</i>	

Humidité sortie séchoir = *0,29 %*

SECTION EMAILLAGE
 Quantité d'eau d'humectation = *3,2 gr*
 Type d'engobe = *Blanc*
 Grammage d'engobe = *50 gr*
 Type d'email = *Blanc*
 Grammage d'email = *50 gr*
 Teinte 1ère S :
 Teinte 2ème S :
 Engobe réfractaire : OUI / ~~NON~~

I/ LINGE D'EMAILLAGE
 Densité engobe d = *1,77 Kg/cm³ (1,70 - 1,80)*
 Densité email d = *1,71 Kg/cm³ (1,70 - 1,80)*
 Viscosité engobe = *100 g*
 Viscosité email =

II/ PATE SÉRIGRAPHIQUE
 1ère S : Densité d = *1*
 2ème S : Densité d = *1*

III/ ENGOBE RÉFRACTAIRE
 Densité d = */*

SECTION FOUR
 Humidité entrée four = *1,58 %*
 Cycle four *45 min*
 Courbe de cuisson (copie joint)

PRODUITS FINIS
 1er Choix = *24 %*
 2ème Choix = *15 %*

CARREAUX DEFECTES
 % Explosion = *10 %*
 % Bulles = *25 %*
 % Fissure = *35 %*
 % Coeur Noir = *30 %*
 % Sérigraphie = */*

Mokhtari . M
Bessad . ou

(B)

S. A. R. L TOUGRES CERAMIC

SERVICE LABORATOIRE

FICHE TECHNIQUE . Mpe

MODEL *cor ta ba*
FORMAT *8 cm x 45 cm*
COULEUR *3 couleurs (br, m, j)*

Fait le *14/05/2011*

SECTION PRESSE

Humidité (Terre atomisée)

= *4,87 %*

Granulométrie (µm)

500 µm	325 µm	177 µm	75 µm
<i>8,1 %</i>	<i>20,3 %</i>	<i>32,6 %</i>	<i>38,58 %</i>

Pression de pressage

= *150 bar*

N°coupe/min

= *8,8 coup / min*

Vélocité séchoir

= *14 min*

Températures sortie séchoir (°C)

= *117,2 °C ↑*

Zone 1	Zone 2	Zone 3	Zone 4	Zone 5	Zone 6
<i>33</i>	<i>170</i>	<i>210</i>	<i>220</i>	<i>170</i>	

Humidité sortie séchoir

= *0,31 %*

SECTION EMAILLAGE

Quantité d'eau d'humectation

= *3* gr

Type d'engobe

= *Blanc*

Grammage d'engobe

= *50* gr

Type d'email

= *Blanc*

Grammage d'email

= *50* gr

Teinte 1ère S

: */*

Teinte 2ème S

: */*

Engobe réfractaire

: OUI / ~~NON~~

RHEOLOGIE

I/ LINGE D'EMAILLAGE

Densité engobe

d= *1,77 Kg / cm³*

Densité email

d= *1,71 Kg / cm³*

Viscosité engobe

= *100 g*

Viscosité email

=

II/ PATE SÉRIGRAPHIQUE

1ère S : Densité

d= */*

2ème S : Densité

d= */*

III/ ENGOBE RÉFRACTAIRE

Densité d=

Humidité entrée four

SECTION FOUR

= *1,53 %*

Cycle four

45 min

Courbe de cuisson (copie joint)

PRODUITS FINIS

1er Choix

= *84 %*

2ème Choix

= *15 %*

CARREAUX DEFECTES

% Explosion

= *10 %*

% Bulles

= *25 %*

% Fissure

= *35 %*

% Coeur Noir

= *30 %*

% Sérigraphie

= */*



1. Applications et conditions pour installation de l'imprimante DHD :

L'utilisateur doit donc garantir les conditions de fonctionnement indiquées ci - dessous.

L'absence ou le non-respect de ces conditions, pouvant porter à l'endommagement et au mauvais fonctionnement du système d'impression, entraîne la déchéance immédiate de la garantie pour vice de la part du fournisseur :

- ✓ Cabine climatisée : l'imprimante numérique DHD doit être logée dans une cabine climatisée à une température comprise entre 20 et 25 °C et une humidité relative inférieure à 70%.
- ✓ Système d'aspiration adéquat.
- ✓ Installation air comprimé adéquate.
- ✓ Flux constant du produit vers la machine.
- ✓ Température carreaux ne dépassant pas 45 °C et évaporation absente.
- ✓ Distance minimum entre la dernière application d'email et la machine numérique : 10-12 m avec vitesse de la ligne inférieure ou égale à 25 m/min.
- ✓ Connexion Internet pour l'assistance à distance.
- ✓ Signaux d'interface machine — ligne d'émaillage
- ✓ Système d'alimentation sans interruption.

❖ **Type : Email blanc**

Code	Matières	U.M	Quantités
1	FRITTE OPAQUE	Kg	1190
2	FRITTE TRANSPARENTE	Kg	140
3	KAOLIN PAR PAR	Kg	70
4	EAU	L	450
5	STTP	G	360
6	COLLE CMC	G	120
	Temps de broyage	Hrs	17

Tableau 1 : La quantité des matières première d'Email blanc

❖ **Type : ENGOBE**

Code	Matières	U.M	Quantités
1	FRITTE OPAQUE	Kg	420
2	KAOLIN RE6	Kg	630
3	QUARTZ ADWAN	Kg	350
4	EAU	L	500
5	STTP	G	900
6	COLLE CMC	G	300
	Temps de broyage	Hrs	17

Tableau 2 : La quantité des matières première d'ENGOBE

Références bibliographiques

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] : William D. Callister, Jr, Science et Génie des matériaux, éditeur Modulo, 2001.
- [2] : I. Levin and D. Brandon, « Metastable alumina polymorphs: Crystal structure and transition séquences », J. Am. Ceram. Soc., vol.81(8), p. 1995-2012, 1998.
- [3] : F. Jean-Marie Haussonne«Céramiques pour composants électroniques »Technique de l'ingénieur ; Traité Electronique ; E1820.
- [4] : F. Talbi, « Etudes des phénomènes de conduction et rupture diélectriques dans les matériaux à haute teneur en alumine » Thèse de Doctorat UMMTO, 2010.
- [5] : G. ALIPRANDI « Matériaux Réfractaires et Céramiques Techniques » Ed. Septima p:443-459(1979).
- [6] : J. PHILIBERT « Recueil de Communication » Deuxième Séminaire Des Sciences Des matériaux, université de Constantine, p.2-16 (1985) .
- [7] : G. ALIPRANDI « Matériaux réfractaires et céramiques techniques » Ed. Septima p : 109 (1979).
- [8] : J.L. CHARMANT « Les Céramiques Thermomécanique » presses du CNRS p : 18-22 France (1989).
- [9] : C. A. JOUENNE « Traité de Céramique et De Matériaux Minéraux » Ed. Septima Paris. p.100-120 (1990).
- [10] : TTWG Ceramics (2005). "Merged and sorted comments master spread sheet on draft 2 .
- [11] : BREF fabrication des produits céramiques [3] : CERAME-UNIE (2003). "Proposed Best Available Techniques (BAT) Reference Document (BREF) for the European Ceramic Industry, Rev. Nov. 2003".
- [12] : Michaël. Decup ; «Impact des procédés industriels de traitement sur les propriétés diélectriques des substrats d'Alumine utilisés dans les modules de commutation haute tension » ; thèse de Doctorat de l'Université Toulouse .2010.
- [13] : N.Zebouchi, M.Bendaoud, R.Essolbi, D.Malec, Bui Ai, Hoang The Giam « Electrical breakdown theories applied to polyethylene terephthalate films under the combined effects of pressure and temperature», J.Appl.Phys. vol 79, n°5, pp 2497-2501.
- [14] : Ullmann's (2001). "Encyclopedia of Industrial Chemistry, Sixth Edition", Wiley-VCH Verlag GmbH, Weinheim, Germany.
- [15] : Jean-Marie Haussonne, Claude Carry, Paul Bowen, James Barton. Traité des matériaux. 16. Céramique et verres. Principe et techniques d'élaboration.

[16] : Cransac, M.C., Filloux, J.L., Marez, T. et Serisay, B., 1993: Le risque chimique dans la céramique, Document n° 2, Publications A.S.M.T. (Paris, Centre Interservices de santé et de médecine du travail en entreprise).

[17] : CERAME-UNIE (2003). "Proposed Best Available Techniques (BAT) Reference Document (BREF) for the European Ceramic Industry, Rev. Nov. 2003"

[18] : Dodd, A., Murfin, D. (1994). "Dictionary of Ceramics", the Institute of Materials.

[19] : Sous la direction de Jean-Charles Hameau, conservateur du patrimoine au Musée national Adrien Dubouché Catalogue de l'exposition présentée au Musée national Adrien Dubouché du 9 octobre 2019 au 10 février 2020.

