

*République algérienne démocratique et populaire
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique*

Université Mohammed Seddik Ben Yahia – Jijel



***FACULTÉ DES SCIENCES ET DE LA TECHNOLOGIE
DÉPARTEMENT DE GÉNIE DES PROCÉDÉS***

Projet de fin d'étude

Présenté en vue de l'obtention du Diplôme de :

Master en génie des procédés

Option : génie des matériaux

Thème

Etude de l'influence de la granulométrie du calcin
d'AFRICAVER sur les propriétés de la céramique
sanitaire.

Présenté par :

BENBEKHMA Fouad

BENAMOURA Wahid

Encadré par :

BOUDEGHDEGH Kamel

MENDACI Sonia

Promotion 2019

Remerciements

Avant tous, nous tenons à remercier le dieu, tout puissant, pour le courage, la volonté et la force qui nous a donné tout au long de notre chemin.

*Nous tenons à remercier vivement notre promoteur **M^r. BOUDEGHDEGH Kamel** qui nous a proposé le thème de ce projet et qui nous a guidé la progression avec un soin constant.*

*N'oubliez pas M^{me}. **MENDACI Sonia** particulièrement qui ont dirigé ce travail.*

Nos vifs remerciements à tous les membres de jury de nous avoir honoré en acceptant de juger et évaluer ce modeste travail.

Nous tenons aussi à remercier tous les personnels de laboratoire de l'usine céramique sanitaire d'El-Milia.

Présentation de l'usine

La société céramique sanitaire d'EL-Milia (SCS) est une unité parmi plusieurs autres de l'entreprise céramique de l'Est. Elle occupe une situation géographique stratégique qui lui procure des avantages commerciaux des grandes valeurs dont :

- *La position en bordure des routes nationales N°43 et N°27.*
- *Aéroport de Jijel 45km.*
- *Aéroport de Constantine à 80km.*
- *Port de Djendjen Jijel à 40km.*

L'usine est située à 1.5km du centre-ville d'EL-Milia sur la route nationale N°27 à 62km de Jijel et 72km de Constantine.

Mise en chantier en 1971, elle est entrée en production en 1975. La (SCS) à une capacité de traitement et de transformation de matière de 6300t/an et un personnel de 450 travailleurs permanents.

La société céramique sanitaire fabrique des articles sanitaires en vitreous-china.

Cette méthode de production devenue courante aux Etats-Unis d'Amérique, elle s'est développée en Allemagne, en Italie et en France.

Le procédé (SCS) d'El-Milia, rependant aux exigences des normes internationales, prend racine du procédé Italien. Ses clients bénéficient d'une large gamme de production :

- *Lavabo*
- *Gamme de luxe*
- *Eviars*
- *Bidets*
- *WC anglais, turc...etc.*

Table de matière

PARTIE THEORIQUE

CHAPITRE I : GENERALITES SUR LES CERAMIQUES

I.1. Introduction.....	1
I.2. Définition de la céramique	1
I.2.1. Définitions classique	1
I.2.2. Définition moderne.....	1
I.3. Présentation de grande classe de céramique	2
I.3.1. Céramiques traditionnelles	2
I.3.2. Céramiques techniques.....	2
I.4. Les matières premières pour la fabrication des céramiques.....	3
I.4.1. Les matières plastiques	3
A. Les argiles	3
B. Les kaolins.....	4
I.4.2. Les matières non plastiques.....	4
A. Les matières dégraissantes.....	4
B. Les matières fondantes.....	4
I.5. Fabrication et élaboration des céramiques	5
I.6. Les propriétés générales des céramiques.....	5
I.6.1. Propriétés électrique	5
I.6.2. Propriétés chimiques et environnement.....	6
I.6.3. Propriétés thermique	6
I.7. Les grandes caractéristiques des céramiques.....	6
I.8. Microstructure des céramiques	6
I.8.1. Céramique ionique et covalentes	6
1. Céramique ionique	6
2 .Céramique covalente	7
I.9. Quelques types des céramiques.....	7
I.9.1. La poterie	7
I.9.2. La sigillée.....	7
I.9.3. La faïence	8
I.10. Les céramiques sanitaires.....	8
I.10.1. Elaboration des céramiques sanitaire.....	8
I.11 La granulométrie	9
I.1.1 Définition.....	9
I.11.2 granulométrie des émaux.....	10
I.11.3 Types d'analyse granulométrique.....	10

1. Analyse granulométrique par tamisage.....	10
2. Analyse granulométrique laser.....	11

CHAPITRE II : LES GLAÇURES

Introduction.....	12
II.1 Définition des glaçures.....	12
II.2 Les type de glaçures	12
II.3 Classification des glaçures.....	13
A-Selon la température de fusion.....	13
B-Selon le mode de fabrication.....	13
II.4 La composition des glaçures.....	14
II.4.1 Les matières premières.....	14
Les argiles, les kaolins.....	14
Les feldspaths.....	14
Le quartz.....	14
La dolomie ($MgCO_3.CaCO_3$).....	14
Le talc ($4SiO_2.3MgO.H_2O$).....	15
II.4.2 Produit d'addition.....	15
Les colorants.....	15
Les opacifiants.....	16
II.4.3 Les oxydes et leur fonction dans la formation des glaçures.....	16
1. Les formateurs de réseaux.....	16
La silice SiO_2	16
L'alumine Al_2O_3	17
Oxyde phosphorique P_2O_5	17
L'anhydride borique B_2O_3 (3% à 25%).....	17
2.Les modificateurs de réseaux.....	17
L'oxyde de calcium CaO	17
L'oxyde de magnésium MgO	17
L'oxyde de zinc ZnO	18
L'oxyde de baryum BaO	18
L'oxyde de potassium K_2O	18
L'oxyde de sodium Na_2O	18
L'oxyde de bore B_2O_3	19
L'oxyde de zirconium ZrO_2	19
L'oxyde de plomb (Pb).....	19
L'oxyde de lithium (Li_2O).....	19
II.5 L'émaillage	19
II.5.1 Définition	19
II.5.2 Fabrication des émaux.....	19
A.Fritte.....	20
B.Colorants.....	20

II.5.3 Préparation de la barbotine d'émail.....	20
II.5.4 Les méthodes d'émaillage.....	21
A-Emaillage par aspersion.....	22
B-Emaillage par pulvérisation.....	22
C-Emaillage par trempage.....	22
D-Emaillage par poudrage.....	22
II.5.5 Séchage.....	22
II.5.6 Cuisson.....	22
II.5.7 Les facteurs influençant le développement de couche intermédiaire	23
Pour le tesson	23
Pour l'émail.....	23
II.6 La formule de SEGER.....	23
II.7 Les verres.....	24
II.7.1 Définition.....	24
II.7.2 Propriété des verres	24
1-Propriétés physiques.....	24
2- Propriétés thermiques.....	25
3- Propriétés chimiques.....	25
II.8 Verre récupère (calcin).....	25
II.8.1 Définition.....	26
II.8.2 Recyclage du verre.....	26
II.8.3 Avantages du recyclage du verre.....	27

CHAPITRE III : PROPRIETES DES GLAÇURES

Introduction.....	28
III. 1: Tension superficielle des émaux.....	28
III.1.1 Définition.....	28
III.1.2 Mise en évidence de la tension superficielle.....	28
III .2 : Liaison glaçure/tesson.....	28
Pour le tesson.....	28
Pour la glaçure.....	29
III .3 Cuisson des glaçures.....	29
III .3.1. Formation de la glaçure au feu.....	30
III .3.2: Point de fusion d'une glaçure.....	30
III.4. Dilatation et contraction de l'émail.....	30
III.4.1 Le coefficient de dilatation thermique.....	31
III.5 Les caractéristiques des émaux.....	32
III.5.1 la blancheur	32
III.5.2 La résistance thermique.....	32
III.5.3 La porosité.....	32
III.5.4 L'acidité.....	33

III.5.5 Brillance et matité.....	33
----------------------------------	----

PARTIE EXPERIMENTALE

CHAPITRE I : LES MOYENNES D'INVESTIGATION

I.1 Introduction.....	35
I.2 Proposition des recettes.....	35
I.3Préparation de l'émail.....	36
I. 4Les analyses physiques.....	36
I. 4.1 L'humidité.....	36
I.4.2 La densité.....	37
I.4.3Contrôle du résidu (refus) après le tamisage.....	37
I.4.4 La viscosité.....	38
I.4.5 La porosité.....	39
I.5Analyses mécaniques	40
I.5.1La résistance à la flexion.....	40
I.6Calcul des émaux.....	41
I.6.1Calcul de l'acidité « A ».....	41
I.6 .2 Calcul le coefficient de dilatation thermique « α ».....	41
I.6.3Calcul la tension superficielle de la glaçure.....	41
I.6.4Détermination de la température de fusion(T_f).....	42
1. Calcul de l'indice de fusibilité.....	42
I.7Formule de SEGER.....	43
I.7.1Calcul la composition chimique de l'email.....	43
I.7.2Calcul les fractions molaires.....	44
I.7.3Le calcul du pourcentage molaire(p).....	45
I.8La blancheur.....	46
I.9La brillance.....	46
I.10.Analyses chimiques.....	46
I.10.1.Attaque chimique.....	46
1. Résistance des surfaces émaillées aux acides à température ambiante.....	46
2. Résistance des surfaces émaillées aux agents chimiques domestiques et aux taches.....	48
1. L'eau oxygénée (H_2O_2).....	48
2. Solution de permanganate de potassium.....	49

CHAPITRE II : RESULTATS ET INTERPRETATIONS

Introduction.....	50
II.1.Résultats des propriétés physiques.....	50
II.1.1 L'humidité.....	50

II.1.2 Résultats des Refus, densité, viscosité et La porosité.....	50
II.2 Résultats des propriétés mécaniques.....	53
II.2.1 Résistance à la flexion et retrait.....	53
II.3 Résultats de la formule de SEGER.....	55
II.4 Résultats des propriétés thermiques de l'émail.....	57
II.5 Résultats des propriétés esthétiques	59
II.6 Résultats des propriétés chimiques.....	61
II.6.1 Résistance des surfaces émaillées avec des acides à température ambiante.....	61
II.6.2 Résistance des surfaces émaillées aux agents chimiques domestiques et aux taches.....	61
1. Résistance des surfaces émaillées avec permanganate de potassium.....	62
2. Résistance des surfaces émaillées avec l'eau oxygénée.....	63

Conclusion générale

Annexes

Appareillages

Références bibliographiques

Liste des tableaux

Liste des tableaux

Tableau II.1 : Classification de la glaçure Selon la température de fusion.....	13
TableauII.2 : Les principaux colorants pour émaux.....	15
Tableau II.3 : Principaux opacifiant pour émaux.....	16
Tableau II.4 : Classification des oxydes selon SEGER.....	24
Tableau III. 1 : Facteurs propres de coefficient de dilatation thermique des oxydes.....	31
Tableau III.2 : l'aspect de glaçure en fonction de l'acidité.....	33
Tableau I.1 : La composition des émaux.....	35
Tableau I.3 : Facteurs propres de coefficient de dilatation thermique des différents oxydes.....	41
Tableau I.4 : Facteurs propres de la tension superficielle des oxydes.....	42
Tableau I.5 : Coefficient de fusibilité de chaque oxyde.....	42
Tableau I.6 : Indice de fusibilité et la température de fusion de l'émail.....	42
Tableau I.7 : La composition chimique des matières premières.....	43
Tableau I.8 : La composition chimique de l'émail.....	44
Tableau 1.9 : Les fractions molaires et les pourcentages molaires des oxydes.....	45
Tableau II.1 : L'humidité des matières premières.....	50
Tableau II.2 : Résultats des refus, densité et viscosité.....	51
Tableau II.3 : Résistance à la flexion et le retrait.....	54
Tableau II.4 : Résultats de la formule de SEGER.....	56

Tableau II.5 : Propriétés thermiques de l'émail.....	57
Tableau II.6 : Les propriétés esthétiques.....	59
Tableau II.7 : Résistance des surfaces émaillées avec l'acide citrique.....	61
Tableau II.8 : Résistance des surfaces émaillées avec permanganate de potassium.....	62
Tableau II.9 : Résistance des surfaces émaillées avec l'eau oxygénée.....	63

Liste des figures

Liste des figures

Figure I.1: Exemple de céramiques traditionnelles	2
Figure I.2 : Quelques exemples de céramiques technique.....	3
Figure I.3 : Etapes de la fabrication d'un produit céramique.....	5
Figure I.4 : Le cycle de fabrication des produits céramiques sanitaires...	9
Figure I.5 : (A) Le tamiseur. (B) Le tamis.....	10
Figure I.6 : l'appareille d'analyse granulométrique laser.....	11
Figure II.1 : Le procédé de la préparation de l'émail.....	21
Figure II.2 : Calcin traité du verre.....	26
Figure I.1 : L'appareille de calcule la blancheur.....	46
Figure I.2 : L'appareille de calcule la brillance.....	46

Nomenclature

Kaolin RMB : kaolin Remblend.

SCS : société céramique sanitaire d'El-Milia.

R_n : recette numéro n.

T_f : température de fusion.

INTRODUCTION GENERALE

Introduction générale

L'objectif de notre travail est l'étude de l'influence de la quantité et de la granulométrie du calcin d'AFRICAVER sur les propriétés (esthétique, thermique, physique) de l'email et (physique, mécanique) pour la céramique sanitaire.

La céramique dans les installations sanitaires est synonyme d'hygiène, d'esthétique, de facilité d'entretien et de robustesse. La singularité de ce matériau tient non seulement à sa beauté et à sa facilité d'entretien, mais aussi à son cycle de vie écologique.

Les émaux céramiques sont de minces couches vitreuses sur la surface des produits céramiques qui jouent à la fois des rôles de base décoratifs et fonctionnels. Ces rôles sont combinés mutuellement, et d'un point de vue commercial, ils dépendent principalement des propriétés de surface des glaçures. La blancheur des corps céramiques (accordée par la glaçure déposée) est le principal facteur esthétique qui détermine la qualité de tout produit.

La tendance actuelle de l'industrie est de donner un produit de qualité, réduire au minimum le prix unitaire, et de protéger l'environnement c'est pour cela nous sommes intéressés dans notre étude aux calcins (verres cassés) récupéré au niveau de l'unité AFRICA VERRE ouled salah-taher –jijel. Où on a remplacé alternativement le quartz et le feldspath par le calcin dans la recette de préparation de l'email.

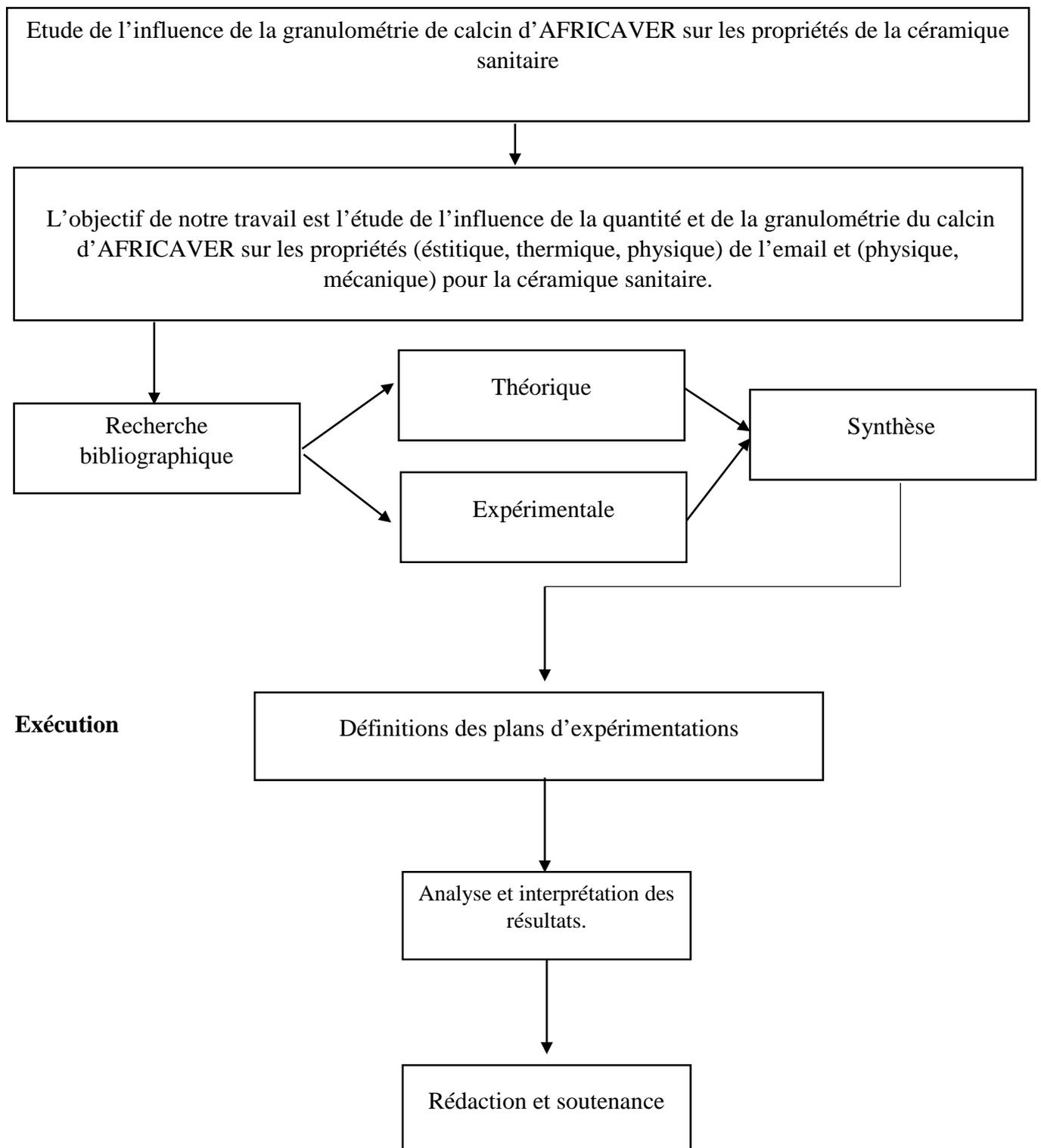
La taille des particules ainsi que leur répartition granulométrique ont un impact direct sur les propriétés physiques et esthétiques des glaçures car La distribution de la taille des particules est une des plus importantes caractéristiques dans le domaine de l'industrie céramique.

Introduction Générale

Ce travail est composé après une introduction générale en deux volets comme suit :

- Le premier volet est une synthèse bibliographique qui comporte trois chapitres, comme suit :
 - ✓ Chapitre I : Généralités sur les céramiques.
 - ✓ Chapitre II : Les glaçures.
 - ✓ Chapitre III : Les propriétés des glaçures.
- Le deuxième volet consiste en une étude expérimentale, répartie en deux chapitres :
 - ✓ Chapitre I : les moyennes d'investigation.
 - ✓ Chapitre II : les résultats et interprétations.
- Une conclusion générale résume les résultats obtenus lors de ce travail et des perspectives pour la suite du travail.

Pour réaliser cet objectif, nous avons exécuté la formule de travail suivant :



Partie théorique

CHAPITRE I

GENERALITES SUR LES CERAMIQUES

I.1 Introduction

Le terme « céramique » est dérivé du mot grec « keramos » qui signifie « terre cuite » et s'emploie pour désigner les matières utilisées dans l'industrie de la poterie. Des études récentes révèlent que la transformation de l'argile a connu ses débuts vers 19000 av. Les poteries les plus anciennes, découvertes au Japon, sont datées entre 8000 et 9000 av. En 4000 av, la brique cuite servait déjà à la construction de temples, de palais et de fortifications. Il y a plus de deux mille ans, les Romains ont répandu la technique de la briqueterie dans de vastes régions de l'Europe. En Egypte, on utilisait des plaques céramiques émaillées comme décorations murales pour les pyramides et en Chine, l'art de la porcelaine était connu dès 1000 av. [1].

Le principe de fabrication de la céramique est fondé sur la propriété que possède l'argile de former avec l'eau, dans des proportions convenables, une pâte liante et ductile que l'on peut modeler et cuire afin d'obtenir sans déformation des produits finaux durs et sonores.

I.2 Définition de la céramique

I.2.1 Définition classique

La céramique est l'art de fabriquer des poteries fondées sur les propriétés des argiles de donner avec l'eau une pâte plastique facile à façonner, devenant dure, solide et inaltérable après cuisson [1].

I.2.2 Définition moderne

Kingery (1960) a proposé la définition suivante d'une céramique: "Une céramique est un produit solide composé essentiellement de matériaux non métalliques et non organiques obtenu par cuisson, frittage ou calcination tel les poteries, porcelaines, réfractaires, abrasifs, émaux, verres, matériaux magnétiques non métalliques, matériaux ferroélectriques....." [2].

Selon la définition de l'Académie des sciences des Etats Unis, les céramiques sont des matériaux non organiques, non métalliques formés ou consolidés à hautes températures.

On peut donc définir la céramique comme étant le domaine scientifique, Technique et industriel qui s'occupe de la fabrication et des propriétés des solides inorganiques non métalliques [3].

Les céramiques se trouvent sous plusieurs formes composées ou simples : Des oxydes, nitrures, carbures et borures [4].

I.3 La Présentation des grandes classes de la céramique

On distingue deux grandes classes des céramiques :

I.3.1 Les céramiques traditionnelles (silico-alumineux)

Elles sont issues de matières premières naturelles (argile, feldspath, kaolin, quartz) et généralement mises en œuvre par coulée (barbotine). Les céramiques "traditionnelles" sont présentes dans de nombreux secteurs d'activités tels que les matériaux de construction (briques, tuiles, ...), les sanitaires, le culinaire, le revêtement (carrelages, faïences), les réfractaires (fours,...). Leur fabrication s'effectue à partir de matières premières minérales silicatées naturelles [5 ; 2].



A

B

Figure I .1: Exemple de céramiques traditionnelles : (A)-Les porcelaines, (B)-Le grés

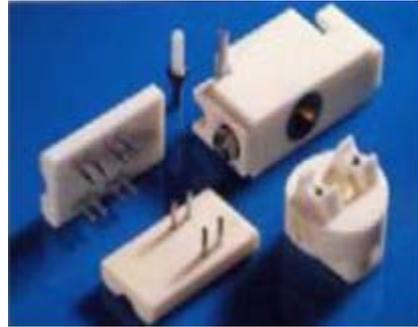
I.3.2 Les céramiques techniques

Elles sont obtenues le plus souvent par frittage (traitement thermomécanique qui, dans un premier temps, provoque la cohésion de granulés de poudre avec un « aggloméré » préparé par compression à froid, cette ébauche étant ensuite chauffée dans des fours spéciaux) ou électro fusion (les oxydes sont coulés directement dans un moule).

Les céramiques techniques sont présentes dans des secteurs nouveaux et en plein expansion comme l'électronique, l'aérospatiale, l'automobile, le biomédical. Leurs composés sont essentiellement non silicatés et les matières premières employées sont synthétiques (oxydes, carbures, nitrures, ...) [6].



A



B

Figure I.2 : Quelques exemples de céramiques technique :

(A) –bougie pour automobiles ;

(B)-pièces pour isolation de systèmes électriques.

I.4 Les matières premières pour la fabrication des céramiques

I.4.1 Les matières premières plastiques

A- Les argiles

Ont une origine géologique secondaire, elles ont été formées par la dégradation des roches ignées (volcaniques) dues à des phénomènes d'érosion et d'altération chimique, sous l'action des agents atmosphériques.

La nature des produits argileux formés dépendra de la nature de la roche mère, des conditions climatiques et du drainage [5].

Les matières premières argileuses sont utilisées par l'homme depuis l'Antiquité. Elles sont extraites, mises en forme et ou cuites à des fins multiples. Leur connaissance implique de faire une étude minéralogique des argiles afin d'expliquer certains phénomènes (comme le gonflement lors de la cuisson, le retrait lors du séchage...), d'améliorer et de maîtriser le comportement des constituants argileux de l'extraction jusqu'au produit final.

Le terme argile désigne à la fois un ensemble de minéraux silicatés en feuillets de la famille des phyllo silicates, et la roche qui les contient majoritairement. On définit également les argiles comme des minéraux formant avec de l'eau une pâte plastique [7 ; 8].

B- Kaolin

Le terme kaolin, d'origine chinoise, vient de "Kao ling". Il signifie littéralement « haute colline ».

Le kaolin est une roche composée essentiellement de kaolinite, résultant de la décomposition des granites et des feldspaths par hydrolyse sous un climat chaud et humide, ou par une action hydrothermale. La kaolinite est une argile TO di octaédrique dont le cation octaédrique est l'aluminium. Elle a pour formule $\text{Si}_2\text{Al}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ [9].

I.4.2 Les matières premières non plastiques

Les matériaux non plastique peuvent être divisé en deux classes : les dégrissant et les fondants.

A- Les matières dégraissantes

Ces matières ont pour rôle de réduire le retrait dû à la plasticité de l'argile. Ont les distingue aussi par le terme dégraissant. Elles ont en outre pour but d'améliorer certaines propriétés lors de la cuisson. Les ajouts de dégraissant aux argiles ont en généralement pour effet d'augmenter la propriété de la pâte crue, de faciliter le séchage des produits en facilitant la diffusion de l'eau au cours de séchage et de donner un squelette à la pâte en crue et en cuit. On cite parmi les dégraissants : Le sable et la chamotte [8].

B- Les matières fondantes

Ces matières en général assurent l'augmentation de l'intervalle de frittage et la diminution de la température de cuisson. La fonction principale du fondant c'est de former une phase vitreuse. De cette façon, la cohésion en cuit, la densification sont facilitées et la température de cuisson réduite. Les meilleurs fondants sont ceux qui permettent d'abaisser le point de vitrification sans abaisser le point de fusion [5].

I.5 Fabrication et élaboration des céramiques

Les céramiques sont obtenues souvent par frittage, généralement entre 1200 et 1400°C selon la composition du mélange utilisé et les propriétés physico-chimiques de ses composés. Cette étape, essentielle au procédé de fabrication des céramiques s'accompagne d'une transformation des minéraux [5].

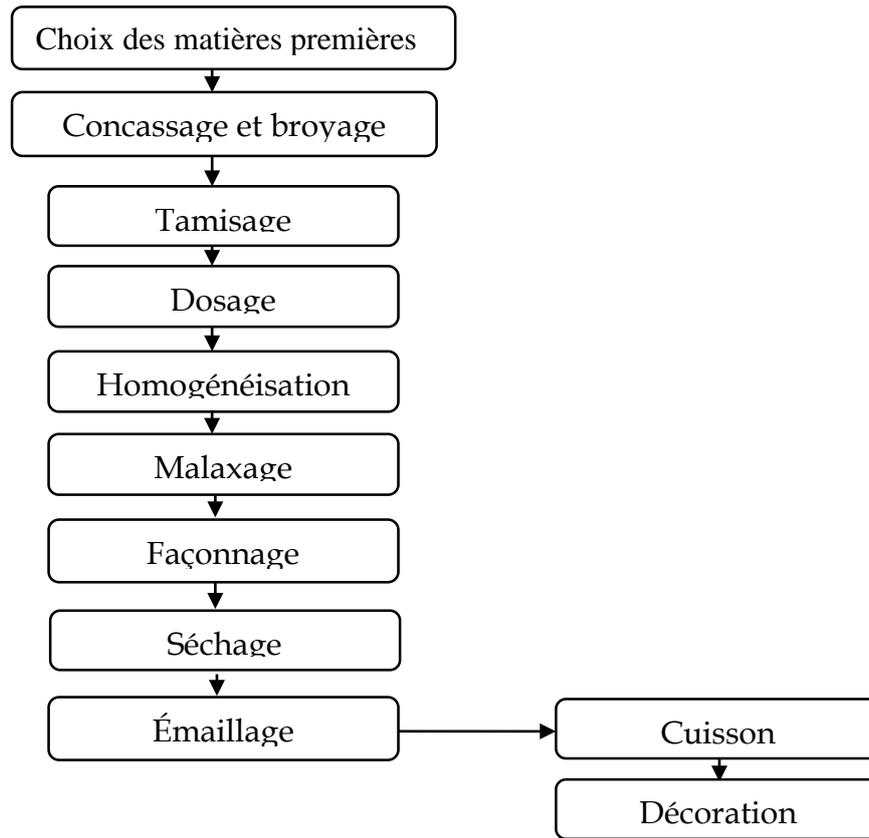


Figure I.3 : Etapes de la fabrication d'un produit céramique.

I.6 Les propriétés générales des céramiques

I.6.1 Propriétés électriques

Les céramiques sont d'excellents isolants électriques et peuvent servir de support à des éléments de circuits électriques. Ce sont elles, en particulier, qui constituent les isolateurs des lignes à hautes tensions. Dans certaines conditions, comme des températures extrêmement basses, certaines céramiques deviennent des supraconducteurs [4].

I.6.2 Propriétés chimiques et environnementales

Les céramiques présentent généralement une très grande inertie chimique et résistent bien aux attaques de substances agressives, à l'oxydation et aux agressions climatiques. Ce caractère de matériaux neutres et inertes fait qu'elles ne présentent pas de danger pour l'homme et pour la nature. On les utilise d'ailleurs largement pour les équipements sanitaires, médicaux ou alimentaires. On appelle inertie chimique la capacité à résister aux attaques chimiques. Les céramiques oxydes étant déjà oxydées, elles résistent beaucoup mieux aux effets corrosifs que certains métaux. [4].

I.6.3 Propriétés thermiques

Lorsque les céramiques sont traitées thermiquement, l'argile se transforme, et après refroidissement, elle est alors constituée uniquement d'une phase amorphe ou d'un mélange d'une phase amorphe et de phases cristallisées. Le choix, souvent empirique, des matières premières et du cycle de cuisson dépend des propriétés d'usage recherchées pour les produits finaux : par exemple, une faible conductivité thermique, une forte résistance mécanique ou même certains aspects esthétiques (couleur) [4].

I.7 Les grandes caractéristiques des céramiques

Les céramiques sont caractérisées par des liaisons fortes, ce qui se traduit dans la pratique par ;

- Une très bonne tenue en température.
- Une excellente rigidité élastique.
- Une bonne résistance à la corrosion.
- Une bonne résistance à l'usure.

I.8 Microstructure des céramiques

On peut séparer les céramiques en deux grandes classes, suivant qu'elles sont cristallines ou amorphes.

I.8.1 Céramiques ioniques et covalentes

On différencie les céramiques à caractère majoritairement covalent et celles à caractère majoritairement ionique dans leurs liaisons atomiques.

1. Les céramiques ioniques

Elles sont composées d'un métal et d'un non-métal. Exemples :

- Chlorure de Sodium (NaCl)
- Magnésie (MgO) • Alumine (Al_2O_3)
- Zircone (ZrO_2)

L'attraction électrostatique entre charges de signes opposés constitue la source principale de liaison. Les ions adoptent un empilement dense afin de minimiser les distances entre charges de signes opposés. Cet empilement est aussi contrôlé par une restriction que les charges de même signe ne se touchent pas. La structure de ce type de céramique est généralement cristalline [10].

2. Les céramiques covalentes

Elles sont composées de deux non-métaux ou d'éléments purs. Exemples :

- Silice (SiO_2)
- Diamant (C)
- Silicium (Si)

La cohésion du solide est assurée par la présence de liaisons covalentes, c'est-à-dire le partage des électrons avec ses voisins. L'énergie est minimum, non par le développement d'un empilement dense comme pour les céramiques ioniques, mais par la formation de chaînes, feuillets ou réseaux. Les céramiques à liaisons covalentes sont plus fréquemment amorphes [11].

I.9 Quelque type de céramique

I.9.1 La poterie

On désigne généralement sous ce terme les terres cuites simples d'usage courant. Peu onéreuse elle est généralement fabriquée à proximité du lieu de consommation. Objet utilitaire, son usage définit sa forme. Parfois une glaçure peut venir le recouvrir afin de favoriser les caractéristiques du vase (étanchéité, décoration...).

I.9.2 La sigillée

Céramique fine produite à grande échelle par quelques ateliers gallo-romains. Il s'agit d'une terre cuite moulée richement décorée puis trempée dans de la barbotine (argile liquide) qui va lui conférer à la cuisson une couleur rouge-orangée d'aspect vernissé typique. Lorsqu'elles sont de bonne qualité, les sigillées sont solides et difficilement rayables. Très populaire au 1er et 2ème siècle de notre ère, elles disparaissent avec la chute de l'Empire romain.

I.9.3 La faïence

La faïence naît de la volonté de copier la coûteuse porcelaine chinoise. Les procédés sont connus depuis longtemps au Moyen-Orient et sont réellement mis en valeur en Italie et en Espagne au 15^{ème} siècle.

En France, il faut attendre la venue d'artistes italiens dans le sillage de François 1^{er} pour découvrir les techniques de cet art. La faïence est une terre cuite qui, après une première cuisson, est recouverte d'un émail opaque généralement blanc. Après un temps de séchage, on peut décorer les objets selon une palette limitée dans un premier temps à cinq couleurs (bleu, jaune, rouge, vert et violet) avant de leur faire subir une nouvelle cuisson qui leur donnera un aspect brillant et parfaitement étanche[5 ;12].

Également dans la grande famille de la terre cuite, les émaux sont munis d'un revêtement vitrifié. Étant donné leur éclat et leur brillance saisissante, cela en fait le matériel de prédilection pour la réalisation d'une mosaïque ou d'un carrelage de douche.

I.10. Les céramiques sanitaires

Ce sont des produits céramiques destinés aux usages domestiques (cuvette, lavabo, baignoire, bidet,...) regroupés tous sous l'appellation collective de « appareils sanitaires » et qui sont des céramiques traditionnelles modernes parfois appelées conventionnelles.

La fabrication des appareils sanitaire se fait selon des procédés similaires à ceux qu'on applique à tous les autres produits céramiques.

I.10.1 Élaboration de la céramique sanitaire

L'argile et le kaolin en tant que composants essentiels de la céramique sanitaire, sont des minéraux produits par l'altération du granit. Pour la préparation de l'émail, les matières premières quartz, craie, feldspath, dolomite et des agents opacifiants sont broyées avec de l'eau. L'extrême résistance à la température de ce matériau naturel permet une température de cuisson d'environ 1280°C. D'où résulte la grande dureté du produit final [5].

Le cycle de fabrication des produits céramiques sanitaires comporte les opérations :

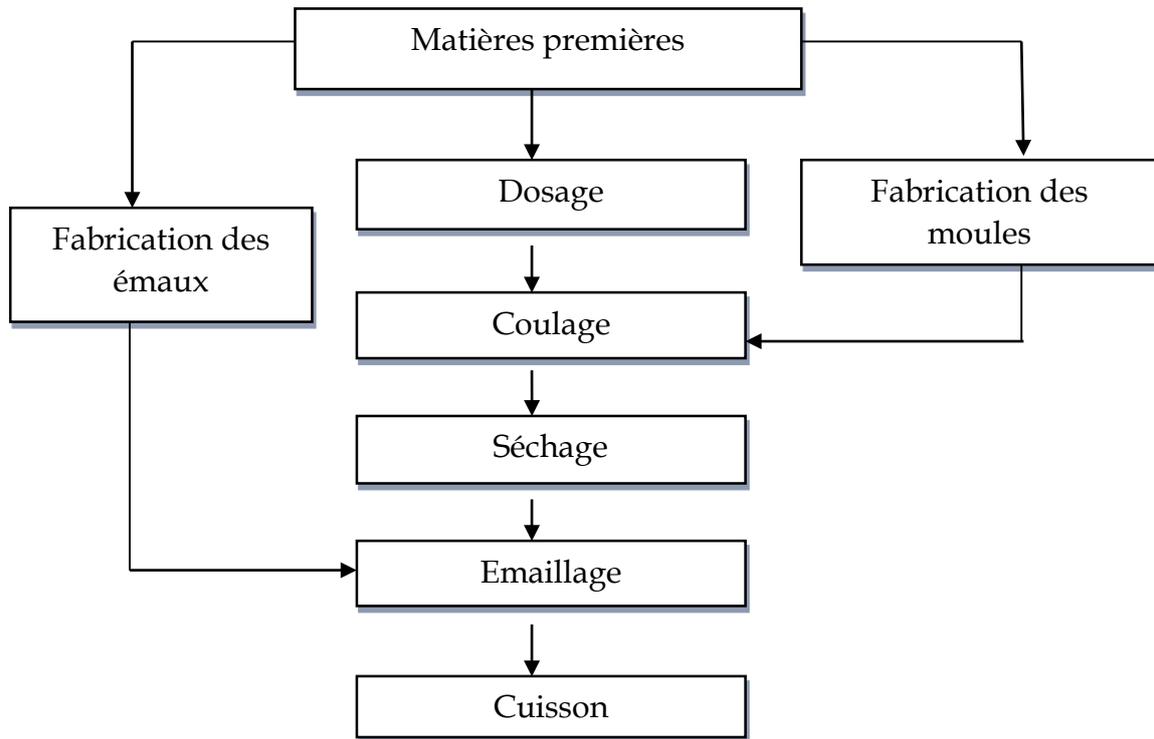


Figure I.4 : Le cycle de fabrication des produits céramiques sanitaires.

I.11 La granulométrie

I.1.1 Définition

La granulométrie a pour objet la mesure de la taille des particules élémentaires qui constituent les ensembles de grains de substances diverses, telles que l'argile, poudres, sables ...etc. La taille des particules ainsi que leur répartition granulométrique ont impact direct sur les propriétés physiques et esthétiques des glaçures car la distribution de la taille des particules est une des plus importantes caractéristiques dans le domaine de l'industrie céramique [3 ; 13].

Remarque

Il faut éviter la confusion entre la granulométrie qui s'intéresse à la détermination de la dimension des grains et la granularité qui concerne la distribution dimensionnelle des grains d'un granulat [14].

I.11.2 granulométrie des émaux

Des essais effectués sur un émail pour une faïence calcaire ont montré que cet émail présenter un maximum de brillance après 30 h de broyage et que cet émail broyé 50h, était beaucoup plus mat il semblerait donc que dans certains cas la prolongation excessive du broyage. Soit non seulement inutile mais encore nuisible non seulement en ce qui concerne les conditions de pose et le retraitement, mais encore sur l'aspect après cuisson. Mais la finesse des grains incontestablement nécessaire pour tous les pigments destinés à la peinture sur, ou sous émail, on recourra à la coloration et l'opacification des émaux.

I.11.3 Types d'analyse granulométrique

1. Analyse granulométrique par tamisage

Une portion d'échantillon est séchée et séparée par vibration sur une série de tamis superposés. Par la suite, le contenu de chaque tamis est pesé. Figure I.5.



A



B

Figure I.5 : (A) Le tamiseur. (B) Le tamis.

2. Analyse granulométrique laser

L'appareil mesure des particules en voie liquide allant de 0,1 à 600 μ m. Son système de circulation comprend une pompe centrifuge et une cuve à ultrasons servant à favoriser une dispersion optimale. Cette méthode rapide permet de connaître les proportions en argile-limon-sable pour un échantillon en 20 secondes [3].



Figure I.6 : l'appareille d'analyse granulométrique laser.

CHAPITRE II : LES GLAÇURES

Introduction

Tous corps est constitué de molécules, atomes ou ions, liés entre eux par des forces plus ou moins intenses et assurant la cohésion du corps. A la surface, il existe un certain nombre de liaisons non saturées, et ceci confère aux éléments constitutifs de la surface un état d'énergie et de contraintes de cohésion diffère de celui des éléments constitutifs interne. Les éléments forment de cette surface forment donc une phase superficielle, dont les propriétés sont différentes de celle des éléments internes qui constituent une phase volumique [1]. Afin d'améliorer l'aspect de la surface ou réaliser des décors en effectuant des revêtements céramique qui sont des glaçures pour but de masquer la porosité du tesson, rendre la surface imperméable, lisse et brillante ...etc.

II.1 Définition des glaçures

Une glace (ou émail) est un revêtement à caractère vitreux et pratiquement imperméable il est de 0.1 à 0.3 mm d'épaisseur posé sur la surface du tesson de l'article céramique. Elles sont élaborées à partir des matières suivantes : kaolin, feldspath, quartz, carbonate de calcium, oxyde de zinc, silicate de zircon, la dolomie [7,9].

Les émaux appartiennent à des substances vitreuses généralement proche de la celle des verres, qui sont des liquides en surface et dont la viscosité est très aux températures ordinaires.

Un émail satisfaisant doit être :

- Insoluble dans l'eau, ainsi que dans les acides et bases.
- Imperméable aux gazes et aux liquides et par conséquent aisément plus nettoyable.
- Résistance au trissailage, à l'écaillage et autres défauts.
- Napper convenablement la cuisson, c'est-à-dire donner une couche unie lisse et glacée.
- Posséder un palier de cuisson étendu [15].

II.2 Les type des glaçures

On distingue plusieurs types de glaçures selon les fondants utilisées :

- **Glaçure alcalines** : Aux sels de sodium, de potassium ou de lithium.
- **Glaçure au bore** : A l'acide brique (température de fusion 600 °C) les glaçures boraciques sont les plus utilisées car elles sont peu coulantes et visqueuses.
- **Glaçure au plomb** : A l'oxyde de plomb. glaçure au sulfure de plomb utilisé dans le sud de la France jusqu'à son interdiction dans les années 1950, donnait des coloris vernissés

vert ou jaunes typique des productions provençales. les glaçures au plomb ne sont plus employées du fait de leur toxicité.

➤ **Glaçure « bristol »** : A l'oxyde de zinc. moins toxiques que les précédentes, elles les ont progressivement remplacées.

II.3 Classification des glaçures

Les glaçures peuvent être différenciées et classées selon leurs températures de fusion et selon leur mode de fabrication.

A- Selon la température de fusion

Il existe trois types en les- résume dans le tableau c'est dessus :

Glaçures	Température de fusion
Porcelaine	1200 °C – 1400°C
Faïence	900 °C – 1050°C
Grés	1200 °C – 1300 °C

Tableau II.1 : Classification de la glaçure Selon la température de fusion.

B- Selon le mode de fabrication

Les glaçures sont classées en deux catégories :

- **Les glaçures crues** : Sont des glaçures mal fusible de température de formation supérieur à 1100°C, les composants de ces glaçures sont insoluble dans l'eau ce qui permet d'effectué un broyage humide [2].
- **Les glaçures frittées** : Sont des glaçures très fusible, renferment des composés solubles dans l'eau, l'ensemble des constituants sont totalement fondés jusqu'à l'obtention d'une substance vitreuse appelle fritte [2].

II.4 La composition des glaçures

Une glaçure peut s'apparenter à du verre fondu sur la pièce. Elle est surtout constituée de silice et d'alumine .Pour fondre on lui ajoute d'autres substance .C'est en ajoutant sur les quantités respectives qu'on obtient des glaçures plus ou moins opaques, brillantes ou mates.

II.4.1 Les matières premières

Pour assurer les différents oxydes nécessaires pour la préparation des glaçures, on utilise différentes matières premières naturelles ou artificielles comme : **les argiles, les kaolins (voir chapitre I).**

- **Les feldspaths** : sont le plus utilisé, matière première la plus courante dans la fabrication des émaux à grés et à porcelaine. il se présente sous des formes variées :
 - Feldspaths potassique (l'orthose) : $6\text{SiO}_2.\text{Al}_2\text{O}_3.\text{K}_2\text{O}$.
 - Feldspaths sodique (albite) : $6\text{SiO}_2.\text{Al}_2\text{O}_3.\text{Na}_2\text{O}$.
 - Feldspaths calcique (l'anorthose) : $6\text{SiO}_2.\text{Al}_2\text{O}_3.\text{CaO}$.

- **Le quartz** : est le dégraissant le plu commun et le moins couteux, c'est silice anhydre, très pure et très cristallisée, sa formule chimique est SiO_2 , elle se trouve dans les roches primitives son rôle est de :
 - Améliorer la blancheur des produits.
 - Augmenter la résistance mécanique par combinaison avec Al_2O_3 (en forme le mellite) [2].

- **La dolomie ($\text{MgCO}_3.\text{CaCO}_3$)** : est un carbonate naturel double de calcium et de magnésium. Elle se présente dans la nature sous forme de roche plus ou moins compacte par fois poreuse, sa coloration va du blanc au noir, et sa température de la fusion est de 2500°C à l'état pur. la dolomie est utilisée comme fondant secondaire dans les pâtes et surtout dans les glaçures pour augmenter les teneurs de MgO et CaO , ces derniers jouent des rôles essentiels dans les propriétés des glaçures [1].

- **Le talc ($4\text{SiO}_2.3\text{MgO}.\text{H}_2\text{O}$)** : pour introduire l'oxyde de magnésium (MgO) dans la préparation de l'émail, on utilise le talc, qui est un silicate et minérale magnésien hydraté, de texture lamellaire et d'origine hydrothermale.

L'emploi du talc dans les émaux assure le MgO (qui se trouve en grande promotion environ 32 %) [2].

II.4.2 Produit d'addition

En plus de matières premières utilisées dans la fabrication des émaux, on a produit d'addition qui on les ajoute pour augmenter la qualité esthétique des objets élaborés.

- **Les colorants** : Par exemple Les compositions vitrifiables, qui sont transparentes pour les colorer, il faut ajouter certains oxydes métalliques tels que le fer, le manganèse, le cobalt, le chrome et le nickel [16].

Les colorants principaux des glaçures résumées dans le tableau suivant : **Tableau II.2.**

Oxyde métallique introduit		Couleur obtenue
Oxyde de fer	Fe ₂ O ₃	Jaune brun
	FeO	Bleu vert
Oxyde de cuivre	CuO	Bleu
Oxyde de cobalt	CoO	Bleu ou rose
Oxyde de manganèse	Mn ₂ O ₃	Violet
	MnO	Jaune
Oxyde de vanadium	VO ₂	Bleu
	V ₂ O ₃	Vert
Oxyde de nickel	NiO	Bleu ou jaune brun
Oxyde de chrome	Cr ₂ O ₃	Vert clair
Oxyde de titane	Ti ₂ O ₃	Violet brun

Tableau II.2 : Les principaux colorants pour émaux.

➤ Les opacifiants

Ce sont divers produits destinés à améliorer le pouvoir couvrant des revêtements grâce à des phénomènes de diffusion de la lumière. Le pouvoir d'opacification dépend de :

- La taille des particules d'opacifiant dispersées dans la matrice vitreuse. La dimension optimale se situe entre 0,2 -0,4µm.
- La différence entre les indices de réfraction de l'opacifiant et de la matrice vitreuse [17].

Les principaux d'opacifiant pour émaux sont : **Tableau. II.3**

Les oxydes	Indice de réfractons
Dioxyde de titane (anatase)	2,52
Dioxyde de titane (rutil)	2,76
Oxyde d'antimoine	2,0
Oxyde de zirconium	1,96
Oxyde d'étain	2.04

Tableau II.3 : Principaux opacifiant pour émaux.

II.4.3 Les oxydes et leur fonction dans la formation des glaçures

Une glaçure se compose après cuisson, d'une combinaison de plusieurs « oxyde » différents et complémentaires.

1. Les formateurs de réseaux

La silice SiO₂

La silice est l'oxyde fondamentale pour la formation du verre, elle est indispensable à la formation des glaçures. Elle augmente la température de fusion, la viscosité, la stabilité chimique et mécanique ; diminue par contre le coefficient de dilatation thermique. Une forte teneur en silice cause la dévitrification. La silice est introduite dans les glaçures sous forme de sable, de kaolin et de feldspath [18].

L'alumine Al₂O₃

L'alumine rend la glaçure en fusion plus visqueuse et moins apte à couler le long des parois verticales. En grande quantité, le MgO favorise la cristallisation, conduit à la formation de retirement (tension superficielle élevée). Il agit comme fluidifiant aux hautes températures [18].

Oxyde phosphorique P_2O_5

C'est un formateur de réseau, il contribue à consolider la structure vitreuse. Il a tendance à augmenter la tension superficielle, par contre il diminue le coefficient de dilatation. Les matières premières permettant d'introduire P_2O_5 sont des phosphates alcalins ou alcalino-terreux. [18].

L'anhydride borique B_2O_3 (3% à 25%)

Il agit comme fondant, sans diminuer la résistance chimique.

1. Les modificateurs de réseaux**L'oxyde de calcium CaO**

C'est un fondant actif pour les glaçures à température de fusion élevée, favorise la cristallisation et diminue de cuisson des glaçures. Il diminue la viscosité dans les glaçures ayant une forte teneur en silice, il augmente la dureté, la durabilité ainsi que la résistance à l'abrasion.

Si une glaçure contient trop d'oxyde de calcium elle sera mate-terne ou rugueuse en raison du caractère réfractaire de dévitrification due éventuellement à la solubilité limitée du silicate de calcium.

L'oxyde de calcium est introduit dans les glaçures sous de carbonate de calcium, de craie et de calcaire. [18].

L'oxyde de magnésium MgO

Il a un comportement analogue à celui du CaO, en faible quantité, il se présente comme fondant actif, favorise l'élasticité de glaçure, assure une meilleure dureté. En grande quantité, le MgO favorise la cristallisation, conduit à la formation de retraitement (tension superficielle élevée). Il agit comme fluidifiant aux hautes températures.

Comme source de MgO nous avons la dolomie [18].

L'oxyde de zinc ZnO

Il est ajouté à la glaçure en tant que fondant auxiliaire, en particulier pour les glaçures sans plomb il est également utilisé pour les glaçures cristallisées ou mat, en raison de la relative facilité avec laquelle elle cristallise dans la glaçure. Il diminue le coefficient de dilatation thermique, améliore la conductibilité de la glaçure ainsi que le palier de cuisson. En petite quantité il donne brillance à cause de « son indice de réfraction élevé » [18].

L'oxyde de baryum BaO

Sa fonction très voisine de celle de l'oxyde de calcium aux hautes températures, c'est un fondant mais peu actif.

En grande quantité, il augmente la matière des glaçures par contre en quantité normale, il augmente la brillance des glaçures [18].

L'oxyde de potassium K₂O

L'oxyde de potassium est chimiquement très actif et agit dans les glaçures comme un fondant puissant aussi bien aux températures les plus basses qu'aux températures les plus hautes. Le seul naturel de K₂O à l'état insoluble est le feldspath [18].

L'oxyde de sodium Na₂O

Son action sur les glaçures est semblable à celle de potasse à tel point qu'on écrit souvent (K₂, Na₂ à reste une déférence à noter c'est que la viscosité à une température déterminée du système de la potasse est plus grande que celle du système de la soude équivalentes.

Les inconvénients de la soude utilisée en forte proportion, dans la glaçure : possèdent un coefficient de dilatation très élevé, ce qui peut provoquer le traissailage. Les glaçures deviennent fragiles et par conséquence de s'user ou de se rayer facilement, en d'autre part elles sont légèrement soluble dans l'acide et sensible aux agents atmosphériques.

Il introduit dans les glaçures par le borax, carbonate de sodium, nitrate de sodium et le feldspath [18].

L'oxyde de bore B₂O₃

L'oxyde de bore possède un point de fusion très bas. C'est un fondant très puissant similaire à l'oxyde de plomb et de sodium depuis la plus basse température jusqu'aux plus hautes, il forme des borates qui réduisent la dilatation des glaçures améliorent la résistance mécanique et chimique et diminuent la viscosité et donnent la brillance, c'est un formateur de réseaux dans la composition des émaux. B₂O₃ est introduit par la colimanite source naturelle [18].

L'oxyde de zirconium ZrO_2

Les compositions de zirconium présentent une excellente stabilité à température et peuvent supporter des cuissons prolonges sans inconvénient. La cuisson doit se réaliser dans une atmosphère d'oxydante car l'atmosphère réductrice fait noircir l'email. Le zircon est obtenu généralement après le traitement des sables australiens [18].

L'oxyde de plomb (Pb)

Fondant ayant un point de fusion très bas [18].

L'oxyde de lithium (Li_2O)

Augmente la fusibilité au même titre que Na_2O et K_2O , mais plus cher [18].

II.5 L'émaillage

II.5.1 Définition

C'est l'action de déposer l'email ou la recouverte sur un support céramique (cru, dégourdi ou biscuit) par trempage, par pulvérisation, ou par arrosage manuel ou mécanique.

Elle consiste à recouvrir par aspersion ou par trempage une surface par un liquide composé par un mélange d'oxydes : alumine, quartz, zircone, oxyde de lithium, oxyde de sodium, oxyde de potassium, oxyde de magnésium...etc.

II.5.2 Fabrication des émaux

La fabrication des émaux constitue une part importante des activités de chaque unité de production. Mélange de matière frites et colorants.

A. Fritte

L'email vitreux se prépare par fusion d'une charge dans des fours tournants ou continus, chauffés le plus souvent au gaz naturel.

Les matières première (réfractaires, fondants...) sont soigneusement repérées, référencées, pesés puis mélangées intimement. L'opération de mélange est réalisée généralement dans des mélangeurs Ce mélange, sous forme de poudre, est introduit dans les fours, au moyen d'une trémie ou d'un appareil à vis sans fin. La phase de fusion la plus importante, permet aux matières premières de se combiner et de former une masse vitreuse. La température de fusion de l'ordre de 1100 à 1350 °C, est contrôlée au moyen de pyromètres à

radiation total permettant de procéder à un enregistrement continu. Ours de la cuisson, une première étape correspond à l'attaque chimique puis à la combinaison des différents éléments entre eux, une seconde correspond à l'affinage du verre, étape pendant par le dégagement d'un grand volume du gaz renfermés dans le verre [19].

B. Colorants

Pour des raisons de concurrence, les formules et les procédés de fabrication des colorants restent toujours très secrets. D'une manière générale, nous pouvons dire que la plus grande partie des colorants pour émaux est fabriquée par calcination. Le principe est d'amener, sous l'influence de l'énergie thermique, les atomes ou groupes d'atomes à se constituer, par une réaction chimique, en structure cristallines stables correspondant aux types de colorants fabriquer.

D'un point de vue chimique, les colorants pour émaux sont des combinaisons d'oxydes métalliques ou d'éléments de transition entre eux ou avec d'autres éléments des groupes principaux du tableau de Mendeleïev. La calcination se fait dans des fours box ou dans des fours continus, pendant plusieurs dizaines d'heures, à des températures comprises entre 700 et 1350 °C [19].

II.5.3 Préparation de la barbotine d'émail

La préparation d'une barbotine est la même que la glaçure soit frittée ou non, sauf que dans le premier cas, on emploi des matières frittées et dans le second des ingrédients insolubles dans l'eau (argile, kaolin, feldspath...). Elle consiste à faire un dosage en poids correct :

- Faire la pesée des matières premières.
- Introduire les matières premières dans le broyeur.
- Ajouter l'eau (0.6- 0.8 en poids).
- La durée de broyage est de 4 heures avec la vitesse de rotation du broyeur de 935 tr /min.
- Après broyage, on fait un contrôle de refus, densité et l'humidité.

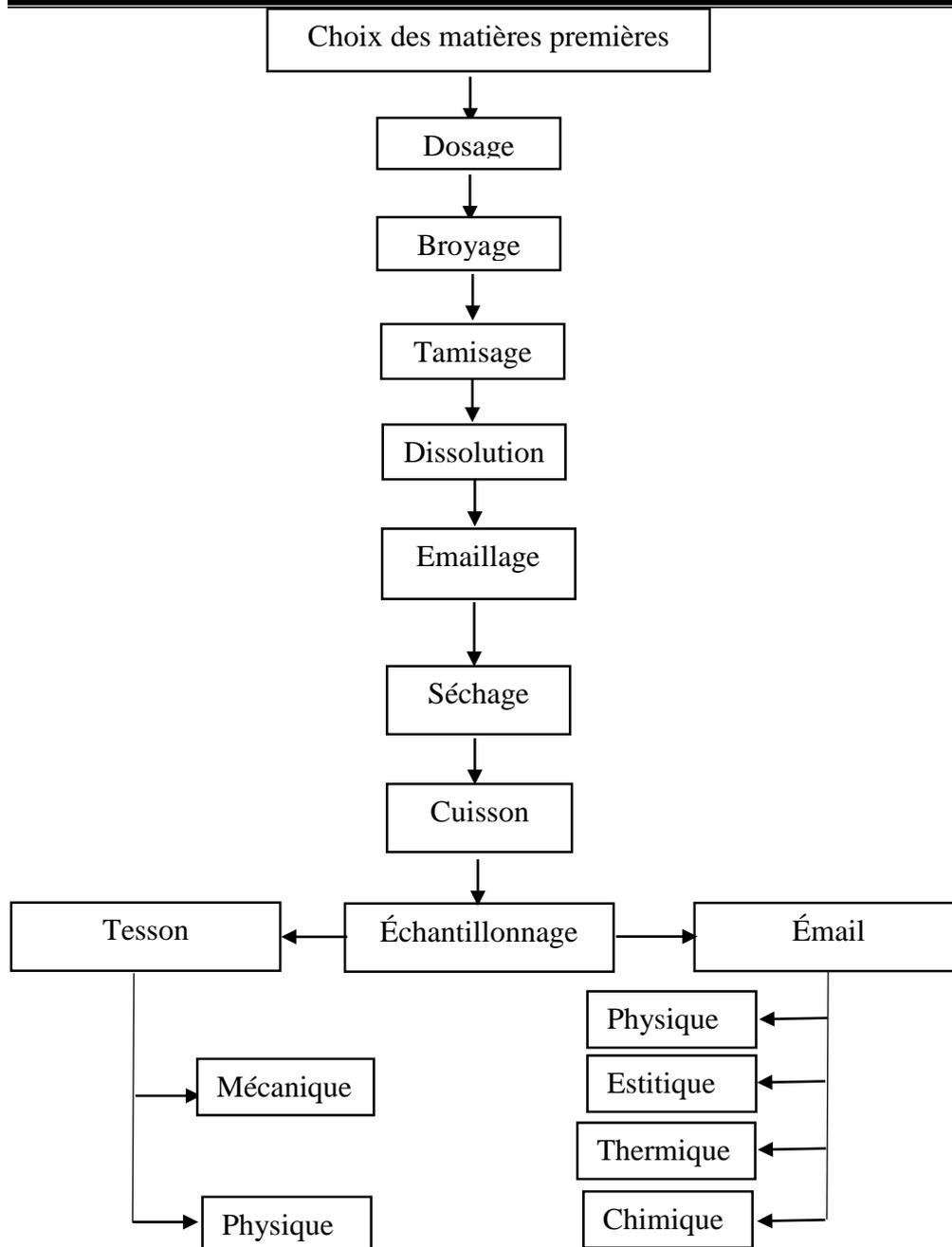


Figure II.1 : Le procédé de la préparation de l'émail.

II.5.4 Les méthodes d'émaillage : Plusieurs technologies peuvent être mise en œuvre dont le choix dépend entre autres de taille et de la masse des pièces .Les principales techniques mises en œuvre sont : l'aspersion, le pistoledge, le trempage, et le poudrage.

A- Emaillage par aspersion : Cette technique est essentiellement utilisée pour l'émaillage des intérieurs de cuvettes sanitaires. La technique consiste à arroser les pièces, soit manuellement, soit mécaniquement en les faisant défiler à travers un arrosage de vernis tombant sous forme d'une mince lame liquide [20].

B- Emaillage par pulvérisation

C'est le cas général appliqué dans la plupart des usines de fabrication de céramique sanitaire .Il est important de bien régler le débit au pistolet la pression d'air de pulvérisation selon le type de pistolet .Les glaçures doivent être soigneusement réduites en poudre et tamisées pour ne pas boucher le pistolet [21].

C- Emaillage par trempage

Ce procédé est valable pour l'émaillage des pièces relativement légères et peu encombrants, c'est un procédé rapide et efficace pour appliquer l'email en couche régulière sur la pièce.

La pièce est immergée pendant un certain temps dans un bain d'email, puis elle est posée sur un égouttoir [22].

D- Emaillage par poudrage

L'émaillage par poudrage consiste à recouvrir la pièce à émailler d'un enduit collant.

II.5.5 Séchage

Son but est d'éliminer l'eau .ayant servi de moyen de transport aux particules d'email, afin d'obtenir un revêtement sec appeler biscuit avant d'entrée dans le four .Les pièces peuvent être séchées soit statiquement à l'air libre ou dans des étuves discontinues, soit dans des séchoirs continus [23].

II.5.6 Cuisson

La cuisson est le processus final de la fabrication des produits céramiques, car c'est d'elle que vont dépendre un certain nombre de propriétés importantes du produit fini, entre autres la résistance mécanique, la résistance à l'abrasion, la stabilité dimensionnelle, la résistance à l'eau et aux produits chimiques, et la teneur au feu [5].

II.5.7 Les facteurs influençant le développement de couche intermédiaire

Les facteurs influençant sur le développement de la couche intermédiaire sont :

Pour le tesson

- La nature du tesson (composition, granulométrie, état de surface) et sa porosité.
- Réactivité du tesson suivant sa température.
- Finesse des constituants de la pâte qui conditionne l'effet de surface.
- Etat de surface du tesson, un tesson rugueux plus de surface d'attaque à l'émail.
- La structure du tesson, une structure grésée ayant une très grande compacité s'opposera à une dissolution par l'émail.

Pour l'émail

- De sa composition.
- Sa répartition en fritte et ajout.
- Sa température de cuisson (vitesse et durée).
- La viscosité et la fluidité de l'émail fondu (également la tension superficielle).

L'épaisseur d'émaillage, car c'est seulement après une certaine épaisseur que l'on retrouvera la Composition initiale.

II.6 La formule de SEGER

La classification des oxydes telle qu'elle a été établie au 19^{ème} siècle par le chimiste allemand SEGER. Cette classification est généralement adoptée dans tous les calculs céramiques, et il est indispensable de la connaître pour aller plus loin.

L'utilisation des mots BASE et ACIDE dans les textes concernant la céramique n'est pas celle que l'on a coutume d'utiliser dans le langage courant et chimique.

Ces mots désignent seulement une classification empirique déterminée par Mr SEGER dans ses formules dont le but est simplement de déterminer deux groupes d'oxydes distincts avec des rôles et des comportements différents.

On dit d'un oxyde qu'il est AMPHOTERE lorsqu'il se comporte de façon ambiguë, (pas vraiment Acide, pas vraiment Base), et n'est vraiment classable dans aucune des deux catégories (un transsexuel en somme).

Classification des oxydes selon Mr SEGER (formule Stœchiométrique).

Par définition, le total des oxydes «BASE» doit impérativement faire le chiffre 1,00[24].

Groupe des oxydes BASE	Groupe des oxydes AMPHOTERES	Groupe des oxydes ACIDES
Oxyde de Potassium Oxyde de Sodium Oxyde de Calcium Oxyde de Magnésium Oxyde de Zinc Oxyde de Lithium Oxyde de Plomb ...etc.	Oxyde d' Aluminium Oxyde de Fer ...etc.	Oxyde de Silicium Oxyde d'Etain ...etc.

Tableau II.4 : Classification des oxydes selon SEGER.

II.7 Les verres

II.7.1 Définition

Selon American Society for Testing Materials (ASTM) en 1945 : le verre est un matériau inorganique produit par fusion, qui a été refroidi dans des conditions qui ont empêché sa cristallisation.

On peut adopter la définition du verre proposée par Zarzycki :
« Le verre est un solide non-cristallin présentant le phénomène de transition vitreuse » [25].

II.7.2 Propriété des verres

Le verre est la seule matière minérale solide que l'on puisse produire à des dimensions et sous des formes quelconques tout en conservant sa transparence.

1- Propriétés physiques

- **La transparence** : mais il peut être opaque ou opalescent.
- **La dureté** : seuls les diamants et le carbure de tungstène le rayent. Le verre le plus dur est le verre de Bohême et le cristal est le plus tendre.
- **La densité** : elle dépend des composants ; elle est d'environ 2,5. Cela signifie qu'un mètre cube pèse environ deux tonnes et demie ou qu'une feuille d'un mètre carré et d'un millimètre d'épaisseur pèse 2,5 kg.
- **La résistance et l'élasticité** : la cassure du verre est liée à sa flexion et à sa résistance au choc. Il casse là où le métal se tord. Contrairement, sa résistance à la compression est importante : il faut une pression de 10 tonnes pour briser un centimètre cube de verre.
- **L'imputrescibilité** : il ne se putréfie pas.
- **L'imperméabilité** : elle est extrêmement grande mais le verre reste poreux pour certains liquides comme le kérosène ; on dit « qu'il sue » [26].

2- Propriétés thermiques

- **La dilatation** : c'est un très mauvais conducteur de chaleur. Il se brise s'il subit un brusque changement de température car les différentes parties du verre ne se réchauffent pas en même temps. Son coefficient de dilatation est faible, ce qui lui confère de nombreuses applications : il sert d'isolant thermique (laine de verre). On retrouve presque les mêmes coefficients que certains métaux d'où l'exécution de soudures verre-métal. Ce coefficient varie selon la composition.

La conductivité : il est mauvais conducteur (environ 500 fois moins que le cuivre) ; on l'utilise comme isolant électrique. C'est aussi un bon isolant acoustique suivant l'épaisseur de la feuille. Ceci n'est pas le cas à chaud car il devient conducteur à partir de 250°C. Il est inflammable et incombustible [26].

3- Propriétés chimiques

- **L'action de l'eau** : l'eau agit sur les silicates qui, en se décomposant, forment un dépôt en surface qui devient peu à peu opaque ; le verre perd de sa transparence.

- **L'action de l'air** : les silicates alcalins se combinent avec l'acide carbonique contenu dans l'air ce que donne un dépôt blanchâtre à la surface du verre.
- **L'action de la lumière** : exposés aux ultraviolets, certains verres se colorent ou se décolorent.
- **L'action des acides** : ils décomposent la silice, le plus rapide est l'acide fluorhydrique qui permet de graver en profondeur le verre plaqué. Le verre peut donc être dissout [26].

II.8 Verre récupère (calcin)

Un verre est un composé minérale fabriquée à base de silice qui possède une structure vitreuse, c'est-à-dire désordonnée. Il est mis en forme à partir d'une poudre agglomérée et consolidée par frittage [3].

II.8.1 Définition de calcin

Le terme « calcin » désigne tout produit verrier qui n'est pas conforme aux normes, c'est-à-dire qu'il n'est pas apte à être utilisé sous forme initiale. Tout déchet de verre. Il peut être considéré comme matière première dans quelque procédé de fabrication des articles verriers comme il peut être introduit dans la charge selon un taux bien défini, car il est connu comme un fondant de premier ordre. L'utilisation du calcin soit comme matière première, soit comme fondant importante par ce qu'elle permet de réduire les problèmes de pollution de l'environnement et la récupération des produits inutilisables et la réduction des fumées qui provoquent la pollution atmosphérique et permet encore de faire une grande économie d'énergie et de matière première destinée à la fabrication [27].



Figure II.2 : Calcin traité du verre.

II.8.2 Recyclage du verre

Le verre peut être produit presque indifféremment à partir de matière minérale vierge (silice), ou de calcin (verre broyé) de récupération. C'est lors du choc pétrolier de 1974, qu'il a été découvert que la fonte du calcin revenait moins cher que la récupération des matières

premières traditionnelles .ce procédé de traitement arrivés en fin de vie qui permet la transformation de ces déchets en matières premières ou secondaires puis les réintroduisent, dans le cycle de production d'autres produits.

Le verre usagé peut être recyclé par réemploi direct (consigne comme dans le système allemand), ou en fabriquant de la matière première (système français).Le verre récupéré, exempt de polluants, se recycle indéfiniment sans perdre ses qualités d'origines. Il est broyé en petits morceaux, appelés calcin. Le calcin est du verre récupéré à partir de déchets (ménagers et assimilés, etc.) ou directement à partir de chutes de fabrication. Il est d'abord trié et nettoyé pour éliminer toutes les impuretés. Ensuite, avant d'être introduit avec les matières premières, il est broyé très finement.

Le calcin est du débris de verre ajouté aux matières premières (sable, carbonate de soude...) mises en œuvre pour fabriquer le verre. il sert à favoriser la vitrification.

Dans l'industrie du verre on utilise plusieurs types : le calcin de cave, le calcin de récupération ou calcin ménager, le calcin d'usine [27].

II.8.3 Avantages du recyclage du verre

- Le recyclage du verre est une des meilleures initiatives pour le respect de l'environnement.
- Il permet de faire des économies de matières premières donc Préserve les ressources naturelles non-renouvelables (sable, calcaire, etc...).
- Protéger l'atmosphère (Réduit les émissions de CO₂).
- Économies d'énergie.
- Augmentation de la durée de vie des fours verriers.
- Moins de frais de transport. Les frais de fusion sont également inférieurs dans le cas du recyclage.

CHAPITRE III :
PROPRIETES DES
GLAÇURES

Introduction

Tous corps est constitués de molécules, atomes ou ions, liés entres eux par des forces plus ou moins intenses et assurant la cohésion du corps. A la surface, il existe un certain nombre de liaisons non saturées, et ceci confère aux éléments constitutifs de la surface un état d'énergie et de contraintes de cohésion différente de celui des éléments constitutifs internes. Les éléments constitutifs de cette surface forment donc une phase superficielle, dont les propriétés son différentes de celles des éléments internes qui constituent une phase volumique [28].

III.1 Tension superficielle des émaux

III.1.1 Définition

C'est la force qui tend à rapprocher les molécules de la surface d'un liquide sur une longueur égale à l'unité. Elle est généralement mesurée en dyne/cm.

III.1.2 Mise en évidence de la tension superficielle

Lors de la cuisson d'une pièce enduit de glaçure, il se produit un dégagement de gaz, soit en raison de décomposition chimique de carbonates ou déshydratation de l'argile de tesson, soit parce qu'il y a de l'air emprisonné dans la glaçure commence à fondre, ce dégagement de gaz devient plus difficile, car il se fait alors se forme de bulles qui devront un chemin à travers la glaçure en fusion [18].

La durée de ce phénomène dépend essentiellement de la fluidité ou de l'épaisseur de la glaçure. Lorsque ces bulles atteignent la surface, elles éclatent laissant des cratères :

- **A faible Tension superficielle :** L'émail nappe convenablement et parfaitement et il y a une forte mouillabilité du tesson par l'émail avec le prolongement de cuisson, les cratères peuvent se combler.
- **A fort Tension superficielle :** L'émail se met en boule et mouille très mal de tesson.

III. 2 Liaison glaçure/tesson

Pour le tesson

- La composition de la pâte : la plus riche possible en matière argileuses.
- La granulométrie des constituants : la plus fin possible.

- La nature de la surface du produit : la plus poreuse possible.
- La température et la durée de cuisson : la mono cuisson et la cuisson définitive de la glaçure et du tesson en même temps (poteries vernissées, grés, porcelaines dures...) sont les plus favorable [29].

Pour la glaçure

- la composition de glaçure : la plus riche possible en alcalis et bore frittés.
- La granulométrie des constituants : la plus fin possible.
- La température et la durée de cuisson : la plus élevées et la plus longue possible, avec palier souhaitable.
- La nature de la glaçure en fusion : la plus fluide possible [29].

Remarques

Le tesson réagit au contact de la glaçure en fusion, cédant une partie de ses constituants, modifiant ainsi partiellement la composition de la glaçure.

La réactivité est d'autant plus forte, que le tesson a été biscuité à plus basse température, d'où la nécessité de cuire dans les limites prescrites par le fabricant, tout en tenant compte des différents phénomènes physico-chimiques de la pâte.

Lorsqu'il n'y a pas formation de cette couche intermédiaire ou couche tampon, il apparaît un défaut qui se présente sous forme de plaques de glaçure se décollant en plus ou moins grande surface (cassure nette en franche perpendiculaire à sa couche), sans arracher de particules de biscuit puisqu'il n'y a pas eu adhérence de la glaçure sur le tesson [18].

III .3 Cuisson des glaçures

Après avoir été enduites de glaçure, les pièces sont séchées et mises à cuire. Au cours cette opération de cuisson, la glaçure doit non seulement fondre, mais également se répartir uniformément sur toute la surface de la pièce et toutes les bulles de gaz doivent pouvoir s'échapper.

Une glaçure doit cuire non seulement à une température déterminée, mais encore lorsqu'elle est en fusion, sa viscosité doit être telle que la glaçure uniformément toute la pièce.

Une glaçure trop fluide de faire coller les pièces sur les supports d'enfournement, tandis qu'une glaçure insuffisamment fluide peut être une cause de pelage [18].

III .3.1 Formation de la glaçure au feu

La formation d'eutectiques peut jouer un rôle important dans la fusion du mélange de matière, lors de la cuisson d'une pièce émaillée, il se produit un dégagement de gaz, soit en raison de la composition chimique telles que la décomposition des carbonates et la déshydratation de l'argile, soit parce qu'il y'a de l'air emprisonné dans la glaçure en poudre ou dans le tesson (si ce dernier est poreux).

Dès que la glaçure commence à fondre, ce dégagement de gaz devient plus difficile, car il se fait sous forme de bulles devront se frayer un chemin à travers la glaçure en fusion. La durée de ce phénomène dépend entièrement de la fluidité ou de l'épaisseur de la couche de la glaçure.

Lorsque ces bulles atteignent la surface celles éclatent, laissant des cratères. Le prolongement de la cuisson a pour but de compléter les cratères [18].

III .3.2 Point de fusion d'une glaçure

La combinaison d'oxyde est d'habitude un point de fusion plus bas que celui de la plupart de ces oxydes pris séparément. En effet, quand deux oxydes sont intimement mélangés et soumis à la chaleur, leur point de fusion est en général considérablement plus bas que celui de chacun deux chauffé séparément.

La fusion est causée par l'interaction des différents oxydes les uns sur les autres quand on les soumet à la chaleur, puisque la plupart contiennent plusieurs oxydes les réactions impliqués dans la transformation de matériaux bruts en verre sont complexes et il est difficile de prévoir le point de fusion exacte d'un mélange [18].

III.4 Dilatation et contraction de l'émail

En perdant son eau lors du séchage, le tesson se rétracte. En cuisant sous forme de dégloré, il se rétracte encore un peu. Lors de la cuisson à haute température pour l'émaillage, l'émail et le tesson vont tous deux se dilater.

Les atomes alcalins (Li, Na, K par ordre croissant) sont gros par rapport à l'atome de silicium (Si). Quand ils participent à la formation du réseau. Ils déforment donc beaucoup l'émail en venant s'intercaler entre les mailles de silice. Ils donnent des émaux à coefficient de dilatation élevé. Pour avoir un bon émail, il faut que son coefficient de dilatation soit proche de celui du tesson.

C'est lors du refroidissement, entre 400 et 20 degrés que le rapport des coefficients de dilatation joue le rôle le plus important. Si on entend les pièces chanter à cette étape du refroidissement, c'est que le coefficient de dilatation (et donc de contraction) de l'émail est trop important. Il y a tressailage. Il est alors conseillé de diminuer la quantité de K et de Na Dans l'émail. On pourra souvent remplacer le potassium et le sodium par du lithium (Li) afin de garder couleur et texture et de régler le problème de tressailage. Le seule problème est alors le coût [30].

III.4.1 Le coefficient de dilatation thermique

Certains matériaux se dilatent d'avantage et par conséquent se rétractent plus que d'autres. Les objets en céramique n'échappent à cette règle la propriété naturelle des corps à augmenter de volume à la chaleur et à diminuer au froid est appelée "coefficient de dilatation" heureusement pour le potier, les matériaux qu'il utilisés dans ces pâtes et ces glaçures sont sensiblement les mêmes, de ce fait leurs coefficient de dilatation sont assez proches. Toutes fois, il se produit défaut d'accord. Il est possible d'y remédier en introduisant ou en modifiant les proportions des certaines matériaux dans la pâte ou la glaçure. Pour cela il est nécessaire de connaître le coefficient de dilatation couramment utilisés en céramique [30].

Les coefficients de dilatation thermique des oxydes sont rassemblés dans le tableau suivant :

Oxydes	Al ₂ O ₃	CaO	Fe ₂ O ₃	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	SiO ₂	TiO ₂	ZnO	ZrO ₂
$\alpha \cdot 10^{-7} C^{-1}$	-0.3	1.3	0.55	0.6	4.65	3.95	0.38	0.3	0.5	-0.6

Tableau III. 1: Facteurs propres de coefficient de dilatation thermique des oxydes.

III. 5 Les caractéristiques des émaux

III.5.1 la blancheur

La blancheur est une propriété utilisée pour comparer la qualité des pièces céramiques, elle dépend de la quantité des oxydes (Fe_2O_3 , TiO_2) dans les matières premières et en plus du régime de la cuisson.

pour avoir une céramique blanche, la quantité des oxydes colorants (Fe_2O_3 , TiO_2) ne doit pas dépasser les 0.3-0.4%. Une plus grande perte de ces oxydes peut être éliminée par magnétisation et aussi par tamisage de l'émail.

L'inconvénient majeur est d'avoir la plus grande partie de ces oxydes dans les dégraissants (quartz), tandis que dans les matières plastiques (kaolin) on a qu'une petite quantité de Fe_2O_3 et TiO_2 qui peut s'installer dans la structure cristalline de la mullite formée pendant la cuisson de la kaolinite, dans ce cas il n'y pas de coloration par ces oxydes [31].

III.5.2 La résistance thermique

A température élevée, les matériaux céramiques peuvent être sollicités. La sensibilité des matériaux céramiques aux tensions thermiques est l'un des facteurs principaux limitant leur utilisation.

Une brusque variation de température que ce soit du côté émail peut conduire à la destruction du revêtement vitrifié.

Les chocs thermiques les plus dangereux sont ceux causés par la projection de produit froid sur une surface émaillée chaude. Ils conduisent d'abord à la formation d'un réseau de fines fissures superficielles qui peuvent uniquement être détectés par test de choc thermique [27].

III.5.3 La porosité

La porosité est un ensemble de lacunes dans un matériau qui pourrait contenir un fluide (liquide ou gaz). Elle est définie par le rapport du volume du vide et volume total de matériau. La porosité se forme pendant l'étape de frittage, elle est bénéfique pour l'endommagement mais est un facteur néfaste pour la résistance à la fissuration. Son effet sur la rupture des pièces sous chargements thermiques est manifesté aux plusieurs modes [27].

III.5.4 L'acidité

Les combinaisons de bases et d'acides constituant les composés céramiques (pâtes et émaux) peuvent être assimilés à des sels complexes dans lesquels il reste une prédominance plus ou moins grande de fonction acide ou de fonction basique.

Pour connaître l'aspect de la glaçure il suffit de calculer l'acidité, puis la comparaison des valeurs trouvées avec le tableau suivant : **Tableau III.2**

Acidité	l'aspect de la glaçure
0.7 à 0.8	Farineux
0.8 à 1.45	Mat
1.45 à 1.90	Brillant possible
1.90 à 2.00	Brillant
2.00 à 2.30	Brillant sur
2.30 à 2.50	Brillant
2.50 à 2.90	Brillant possible
Au-delà de 2.90	Dévittrification

Tableau III.2 : l'aspect de glaçure en fonction de l'acidité [32].

III.5.5 Brillance et matité

La brillance d'un email est en fonction du pouvoir réfléchissant de la lumière éclairante ; ce pouvoir dépend de l'indice de réfraction du produit. Les produits qui augmentent le plus la brillance sont d'abord Pb et Ba, viendront ensuite, à degré moindre, les alcalins, le bore, le zinc et la chaux améliorent à condition d'être utilisés en faible pourcentage.

- La glaçure, ou l'email, ne doit pas masquer ou modifier un décor éventuel du support.
- Elle doit bien développer les couleurs sous email (vivacité et fraîcheur des décors).
- Elle doit éviter la dévittrification et contenir le moins de bulles possible.
- Avoir une brillance de bonne qualité.

La transparence d'un email peut être affectée par des nombreux facteurs et en particulier :

- Absence de dévittrification. (cette dévittrification est due à un excès d'acidité).

- Voile laiteux. (ce voile est souvent provoqué par un excès de chaux qui est difficilement soluble dans le flux vitreux).
 - Attaques chimiques par composés sulfureux : les vapeurs sulfureuses se condensent sur l'émail, réagissent en particulier avec les alcalins pour donner des sulfates alcalins non solubles dans le flux vitreux ; ils donnent à la surface de l'émail des dépôts blanchâtres en forme de lentille qui se décolle facilement.
 - Dans les cas les plus graves on obtient des émaux avec une croûte.
 - Présence de bulles est provoquée par l'existence ou la formation au sein de la glaçure de petits volumes gazeux qui sous influence de la température se dilatent et se réunissent les uns aux autres pour former des bulles. Pour se dégager et venir crever en surface, les bulles devront vaincre la viscosité de l'émail.
- Une glaçure dont la surface est terne sans être brillante, est dite mate.

Les glaçures complètement fondues ont normalement une surface brillante et luisante, car en fondant, elles s'étalent en surface, facile à nettoyer. Si une glaçure n'est pas complètement fondue au feu, ou si sa viscosité est trop élevée à la cuisson, sa surface peut être légèrement et par conséquent, plus ou moins mate [28].

Partie pratique

Chapitre I : les moyens d'investigation

I.1 Introduction

Les moyens d'investigations sont les différentes méthodes qui sont utilisés pour but de déterminer les propriétés physico-chimiques, la composition chimique, coefficient de dilatation et l'acidité sur le comportement de l'émail.

On a substitué le quartz d'une part et le feldspath d'autre part par l'ajout de 0-40% du verre recyclé (calcin de AFRICAVER, Taher).

I.2 Proposition des recettes

Les recettes proposées y compris une recette comme référence [33] sont résumées dans le **Tableau I.1** :

Ce tableau est définie un taille de $63\mu\text{m} < d < 80\mu\text{m}$. (8 recettes) c'est même calcule avec la taille $80\mu\text{m} < d < 100\mu\text{m}$. :

Matières Premières (%en poids)	Feldspath Na	Quartz Bir El-Ather	Calcin (AFRICAVER)
Recette (R) Réf 1	34	26	-
R 1	24	26	10
R 2	34	16	10
R 3	14	26	20
R 4	34	6	20
R 5	4	26	30
R 6	30	0	30
R 7	0	20	40
R 8	20	0	40

Tableau I.1 : La composition des émaux.

I.3 Préparation de l'émail

La préparation de l'émail est effectuée au sein de l'usine de la Société Céramique Sanitaire d'El-Milia (SCS). Sachant que nos échantillons sont contrôlés et testés dans les mêmes conditions opératoires de l'usine. Avant d'effectuer l'émaillage beaucoup de paramètres sont pris en considération à savoir : L'humidité, la densité, résidu et la viscosité.

- **Matériels utilisés**

- Balance technique.
- Jarre à billes.
- Jarre tourne à rouleaux.

- **Protocole expérimental**

Après le choix de matières premières, l'analyse chimique de chaque matière, la détermination de l'humidité et le calcul des recettes (dosage en poids), nous pouvons suivre le procédé ci-dessous :

- ✓ Prendre les pesées nécessaires.
- ✓ Broyer le quartz, la dolomie, calcin et la moitié de la quantité du kaolin dans la jarre avec une quantité d'eau (200 ml).
- ✓ La jarre est posée entre les rouleaux, et laisser tourner pendant deux à trois heures
- ✓ Ajouter les autres matières déjà pesées et une quantité d'eau de (200 ml).

A la fin de ces étapes, nous obtenons une barbotine de l'émail, avant l'utilisation, elle est indispensable de contrôler : le résidu, la densité et la viscosité.

I. 4 Les analyses physiques.

Les analyses physiques sont effectuées dans laboratoire de la Société céramique sanitaire d'El-Milia (SCS).

I. 4.1 L'humidité

La détermination de l'humidité est indispensable pour que le dosage de l'émail soit correct. Par définition c'est la teneur en eau dans une matière soit plastique ou non plastique ; exprimée en pourcentage (%) en poids.

➤ Mode opératoire

Nous pesons 100g de matières premières (M_0) dans une capsule tarée, ensuite on met la matière pesée dans l'étuve à $T=110\text{ }^{\circ}\text{C}$ quand la matière première devenait sèche, nous repesons (M_1). Le Pourcentage de l'humidité est calculé selon la formule suivante :

$$H(\%) = \frac{M_0 - M_1}{M_0} \times 100 \dots \dots \dots (I.1)[34]$$

Avec :

M_0 : Masse de l'échantillon humide.

M_1 : Masse de l'échantillon sec.

H : degré de l'humidité(%).

I.4.2 La densité

Par définition, la densité d'un corps est le rapport de sa masse volumique à la masse d'un corps pris comme référence. Pour les liquides et solides, le corps de référence est l'eau pure et la valeur de la densité s'exprime sans unité de mesure.

➤ Mode opératoire

On pèse la fiole à vide (A), ensuite on la remplit par la barbotine de l'email, puis on refaire la pesée de la fiole remplie(B).

Pour déterminer la densité, on utilise la formule suivante :

$$D = \frac{(A-B)}{100} \dots \dots \dots (I.2) [34]$$

Avec :

D : La densité.

A : Le poids de la fiole remplie par la barbotine de l'email.

B : Le poids de la fiole vide.

I.4.3 Contrôle du résidu (refus) après le tamisage

Le tamisage est le passage d'un produit solide ou d'une suspension (liquide+ solide) au tamis pour réaliser la séparation et éventuellement l'analyse granulométrique. On appelle la matière qui reste sur le tamis le refus

Sachant que le contrôle se fait :

- A chaque préparation de l'émail.
- A chaque coulée.

- **Matériels utilisés :**

- Balance technique.
- Tamis 80 μ m ,63 μ m.
- Eau de robinet.
- Capsules.
- Etuve.

- **Procédé**

On pèse 100g de l'émail dans les tamis (80 μ m ,63 μ m), on fait couler doucement l'eau du robinet, ensuite on estime que le tamisage est terminé lorsque l'eau traversant le tamis est tout à fait claire. Les résidus sont récupérés dans une capsule et on recueillera les résidus après la pesée par la balance. Il est préférable que le refus doit être dans l'intervalle [0% à 1%] pour assurer les propriétés d'écoulement (régime, la vitesse des mouvements) requises de la suspension de l'émail.

I.4.4 La viscosité

La viscosité est le temps d'écoulement d'un certain volume de l'émail à travers un orifice ayant un diamètre calibré. Cette procédure a pour objet de déterminer la vitesse d'écoulement d'un émail, et peut influencer sur le développement de l'émail sur le tesson d'une part et assurer le mouillage et l'adhésion de l'émail sur le tesson d'autre part.

On fait ce contrôle :

- A chaque préparation de l'émail.
- Après chaque correction de l'émail.
- A chaque coulée.

- **Matériels utilisés**

- Fiole de 100ml.
- Viscosimètre LEHMAN (coupe fond) avec un orifice de diamètre de 2.6mm.
- Chronométré.

Remarque

Si la viscosité est assez importante, on ajoute quelques gouttes de silicate de sodium (pour éviter la floculation).

• Mode opératoire

On remplit la coupe fond par la barbotine d'émail en tenant compte l'orifice fermé qui ayant un diamètre calibré et pour remplir la fiole de 100ml en comptant le temps d'écoulement à l'aide d'un chronométré.

I.4.5La porosité

La porosité est l'ensemble des vides (pores) d'un matériau solide, ces vides sont remplis par des fluides (liquide ou gaz). En pourcentage la porosité varie entre 0 et 100%, qui conditionnent les capacités d'écoulement et de rétention d'un substrat.

• Matériels utilisés

- balance.
- bouilleur.
- four de production.
- raclette.
- papier abrasif.

• Procédé

- couler les barrettes dans un moule en plâtre, après démoulage ensuite les sécher pendant 21heures à température ambiante, Puis les remettre dans une étuve à 110C⁰ pendant 4heures.
- émailler les barrettes sur les 3 cotés.
- enfourner dans le four de production.
- peser les échantillons à l'état initial.
- Immerger dans l'eau bouillie pendant 15 min afin de remplacer l'aire existant dans les pores par l'eau.
- La masse de l'échantillon immergée dans l'eau est déterminée par un dynamomètre qui donne la force F en N .on trouve la masse de l'échantillon U= F/g
- retirer les échantillons d'eau, et peser sur la balance.

$$P = \frac{MH-M0}{M0} \times 100 \dots \text{(I.3) [34]}$$

Avec :

M_0 : poids initial de l'échantillon.

M_H : poids final de l'échantillon.

I.5 Analyses mécaniques

I.5.1 La résistance à la flexion

La résistance à la flexion est un essai mécanique classique. Il représente le cas d'une poutre posée sur deux appuis simples et soumise à une charge concentrée, appliquée au milieu de la poutre avec elle aussi un contact simple.

- **Matériels utilisés**

- moule en plâtre.
- raclette
- étuve.
- four de production.
- pied à coulisse.
- appareil de mesure.

- **Procédé.**

- émailler et cuire les barrettes.
- mesurer la hauteur «h», la base «b».
- placer la baratte sur deux appuis distance de $l=10\text{cm}$.
- Mettre l'appareil en marche jusqu'à la rupture de la barrette en deux, obtenu la valeur de charge «p» indiquée sur l'écran.

Pour calculer la résistance à la flexion, on utilise la formule suivante :

$$S = \frac{3 \times p \times l}{2 \times b \times h^2} \dots \dots \dots (I.4) [34]$$

Avec :

p : la charge exercée sur la barrette

h, b : la hauteur et la base de la barrette

l : la distance entre les appuis

I.6 Calcul des émaux

I.6.1 Calcul de l'acidité « A »

L'acidité c'est le rapport de la valence acide sur la valence basique.

$$\langle A \rangle = \text{valence acides} / \text{valence basiques} \dots (\text{I.5})$$

Avec:

$$\text{Valence acides} = (\% \text{ mol SiO}_2 + \% \text{ mol TiO}_2 + \% \text{ mol ZrO}_2) + 3 \cdot (\% \text{ mol B}_2\text{O}_3 + \% \text{ mol P}_2\text{O}_5).$$

$$\text{Valence basiques} = (\text{somme } \% \text{ mol RO} + \text{somme } \% \text{ mol R}_2\text{O}) + 3 \cdot (\% \text{ mol Al}_2\text{O}_3 + \% \text{ mol Fe}_2\text{O}_3).$$

La somme des $\% \text{ mol RO} = \% \text{ mol (CaO + ZnO + MgO + BaO + PbO + SrO)}$.

La somme des $\% \text{ mol R}_2\text{O} = \% \text{ mol (Na}_2\text{O + K}_2\text{O + Li}_2\text{O)}$

I.6.2 Calcul le coefficient de dilatation thermique « α »

Pour déterminer le coefficient de dilatation thermique « α », on a utilisé la formule suivante :

$$\alpha = \alpha_1 \cdot p_1 + \alpha_2 \cdot p_2 + \alpha_3 \cdot p_3 + \dots + \alpha_n \cdot p_n = \sum \alpha_i \cdot p_i \dots (\text{I.6}) \quad [35]$$

Avec :

p_i : le % molaire des différents oxydes.

α_i : qui représente un facteur propre du coefficient de dilatation thermique « α » de chaque oxyde (voir tableau IV.3)

α : représente le coefficient de dilatation thermique global.

Oxydes	Al ₂ O ₃	CaO	Fe ₂ O ₃	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	SiO ₂	TiO ₂	ZnO	ZrO ₂
$\alpha \cdot 10^{-7} \text{C}^{-1}$	-0.3	1.3	0.55	0.6	4.65	3.95	0.38	0.3	0.5	-0.6

Tableau I.3 : Facteurs propres de coefficient de dilatation thermique des différents oxydes.

I.6.3 Calcul la tension superficielle de la glaçure

C'est la force qui tend à rapprocher les molécules de la surface d'un liquide sur une longueur égale à l'unité. Elle est généralement mesurée en dyne/cm et la tension superficielle est calculée par la formule suivante :

$$G = g_1 \cdot p_1 + g_2 \cdot p_2 + g_3 \cdot p_3 + \dots + g_n \cdot p_n = \sum g_i \cdot p_i \dots (\text{I.7}) \quad [34]$$

Avec :

gi : facteurs propres de la tension superficielle des oxydes (voir tableau I.4)

pi : le pourcentage molaire des différents oxydes

Les coefficients de la tension superficielle des oxydes sont rassemblés dans le tableau suivant :

Oxydes	Al ₂ O ₃	CaO	Fe ₂ O ₃	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	SiO ₂	B ₂ O ₃	ZnO	ZrO ₂
g(dyn/cm)	1.2	0.8	0.8	0.6	1	1	1	1.25	0.5	-0.6

Tableau I.4. Facteurs propres de la tension superficielle des oxydes.

I.6.4 Détermination de la température de fusion (T_f)

A partir de la détermination de l'indice de fusibilité, on peut déterminer la température de fusion de l'émail.

1. Calcul de l'indice de fusibilité

L'indice de fusibilité est calculé par la formule suivante :

$$F = \frac{\alpha_1.n_1 + \alpha_2.n_2 + \alpha_3.n_3 + \dots + \alpha_i.n_i}{b_1.m_1 + b_2.m_2 + b_3.m_3 + \dots + b_i.n_i} \dots \dots \dots \text{(I. 8) [36]}$$

Avec :

αi : coefficient de fusibilité des oxydes fusibles (ZrO₂, SiO₂, P₂O₅, SnO₂)

bi : coefficient de fusibilité des oxydes difficilement fusible. (Al₂O₃, Na₂O

n et m : sont les teneurs pondérales des oxydes correspondants.

Oxydes	Al ₂ O ₃	CaO	Fe ₂ O ₃	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	SiO ₂	B ₂ O ₃	Zn O	ZrO ₂
Coefficient de fusibilité	1.2	0.8	0.8	0.6	1	1	1	1.25	0.5	-0.6

Tableau I.5. Coefficient de fusibilité de chaque oxyde.

Après la détermination de l'indice de fusibilité, nous pouvons trouver la température voulue de chaque indice de fusibilité (voir **Tableau I.6**).

Indice de fusibilité	2	1.8	1.6	1.4	1.2	1	0.8	0.6	0.4	0.2	0.1
Température de fusion (°C)	750	753	755	758	765	778	829	905	1100	1300	1450

Tableau I.6 : Indice de fusibilité et la température de fusion de l'émail.

I.7 Formule de SEGER

I.7.1 Calcul la composition chimique de l'email

La composition chimique de l'email est basée sur la composition chimique des matières premières. Résume la composition chimique des matières premières (Voir l'annexe).

Premièrement on fait le calcul de pourcentage massique de chaque oxyde comme suit :
Pour le pourcentage massique de (Al_2O_3) de la recette N°4 on trouve :

$$\% \text{Al}_2\text{O}_3 = [(6 \cdot 41.4772) + (34 \cdot 19.5020) + (6 \cdot 0.4472) + (10 \cdot 0.1612) + (15.75 \cdot 1.0964) + (7 \cdot 0.069) + (1.25 \cdot 0) + (20 \cdot 0.2)] = 9.38$$

$$\% \text{Al}_2\text{O}_3 = 9.38$$

De la même manière le calcul se fait pour les différents oxydes et trouve les résultats suivants : voir le **Tableau I.8**.

Les oxydes	SiO_2	TiO_2	ZrO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	Na_2O	K_2O	MgO	CaO	ZnO
(% en poids)	52.342	0.076	10.363	9.38	0.143	6.221	0.223	3.305	16.582	1.249

Tableau I.8 : La composition chimique de l'email.

I.7.2 Calcul les fractions molaires

Pour calculer les fractions molaires, on utilise la formule suivante

$$F = \frac{\% \text{en poids}}{\text{Masse molaire}} \dots \dots \dots \text{(I.9)}$$

Avec :

F : Fraction molaire.

M : Masse moléculaire.

Exemple : $F(\text{Al}_2\text{O}_3) = (9.38/101.96)$

$$F ((\text{Al}_2\text{O}_3) = \mathbf{0.0919}$$

De la même méthode on fait le calcul des différents oxydes.

Selon la formule de SEGER les oxydes sont répartis comme suit :

Oxydes basiques	Oxydes acides	Oxydes amphotères
CaO= 0.2953	SiO ₂ = 0.8712	Al ₂ O ₃ = 0.0919
MgO= 0.0820	TiO ₂ = 0.0009	Fe ₂ O ₃ = 0.0008
K ₂ O= 0.0023	ZrO ₂ = 0.0841	
Na ₂ O =0.1003		
ZnO = 0.0153		
Somme = 0.4955		

D'après la condition de SEGER la somme des oxydes basiques =1, et pour la formule de SEGER uniforme on divise tous les oxyde par la somme des oxydes basiques (0.4323) et on trouve :

Oxydes basiques	Oxydes acides	Oxydes amphotères
{ CaO= 0.5962	{ SiO ₂ = 1.7569	{ Al ₂ O ₃ =0.1853
{ MgO= 0.1653	{ TiO ₂ = 0.0019	{ Fe ₂ O ₃ = 0.0017
{ K ₂ O= 0.0046	{ ZrO ₂ = 0.1699	
{ Na ₂ O =0.2022		
{ ZnO = 0.0308		
Somme = 1		

Remarque :

La formule de SEGER nous a permis de maîtriser la composition de l'émail d'une part et d'autre part la somme des oxydes basiques =1 un bon l'indicateur de la température de fusion voulue.

I.7.3Le calcul du pourcentage molaire(p)

Les oxydes	Masse moléculaire	Fraction molaires (F)	Le % molaire(p)
Al₂O₃	101.96	0.0919	5.9505
CaO	56.08	0.2956	19.1401
Fe₂O₃	159.6	0.0008	0.0518
MgO	40.3	0.0820	5.3095
K₂O	94.195	0.0023	0.1489
Na₂O	61.98	0.1003	6.4944
SiO₂	60.08	0.8712	56.4102
TiO₂	79.88	0.0009	0.0582
ZnO	81.38	0.0153	0.9906
ZrO₂	123.2	0.0841	5.4454
Somme		1.5444	100

Tableau 1.9 : Les fractions molaires et les pourcentages molaires des oxydes.

I.8La blancheur

La mesure de la blancheur a été effectuée dans laboratoire SCS d'Emilia.



Figure I.1 : L'appareille de calcule la blancheur.

I.9La brillance

La mesure de la blancheur a été effectuée dans laboratoire SCS d'Emilia.



Figure I.2 : L'appareille de calcule la brillance.

I.10Analyses chimiques

I.10.1Attaque chimique

1. Résistance des surfaces émaillées aux acides à température ambiante

Les glaçures sont responsables de la majorité des propriétés de surface finales des produits céramiques, comme la résistance à la corrosion chimique. Le produit contact avec des

solutions de réaction acide ou basique, contrôler la réactivité des glaçures avec de telles solutions. Ils sont modifient les paramètres de glaçure, tels que la couleur, la brillance ou la dureté.

Les agents chimiques utilisés dans ce travail sont :

L'acide citrique : est un acide tricarboxylique organique, présent dans la plupart des fruits en particules les agrumes tels que le citron et l'orange sa formule moléculaire est $C_6H_8O_7$.

Matériels utilisés

- Une éprouvette graduée de 100 ml.
- Des pipettes de 1 ml.
- Un torchon de coton blanc ou un lin.
- Un crayon de dureté HB.
- Des verres de montres de 40 mm de diamètre.
- Une balance précise à 0.1 g près.

Mode opératoire

- Préparation de la solution d'essai : peser 0.1g d'acide citrique cristallisé ($C_6H_8O_7, 1H_2O$) pur pour analyser et les dissoudre dans 100 ml d'eau fraîchement.
- Description de l'essai :
 - ✓ Utiliser une solution d'acide citrique fraîchement préparé (moins de 6h).
 - ✓ Déposer sur chaque éprouvette, à l'aide d'une pipette, 1ml de la solution d'acide citrique de façon à former une seule goutte sur la surface émaillée.
 - ✓ Laisser réagit pendant 15 min.
 - ✓ Recevoir cette goutte dans un verre de montre de façon à éviter l'évaporation, le verre de montre repose sur l'éprouvette par le bord rode.
 - ✓ Après le temps prescrit, enlever le verre de montre et nettoyer l'éprouvette sous un courant d'eau déminéralisée.

Expression des résultats

Elle est schématisée sur la **figure (I.3)**

Si aucune attaque n'est visible

Tracer cinq traits parallèles sur la surface essayée à l'aide d'un crayon HB, puis essuyer la surface à l'aide de chiffon sec. Pour une bonne appréciation, il est indispensable que les traits de crayon soient prolonges de part et d'autre de la partie attaquée.

- Les traits de crayon sont effacés : l'émail est classée AA
- Les traits ne sont pas effacés, nettoyer à l'aide d'un chiffon humide.
- les traits sont effacés, l'émail est classée A.
- les traits ne sont pas effacés, l'émail est classée B.

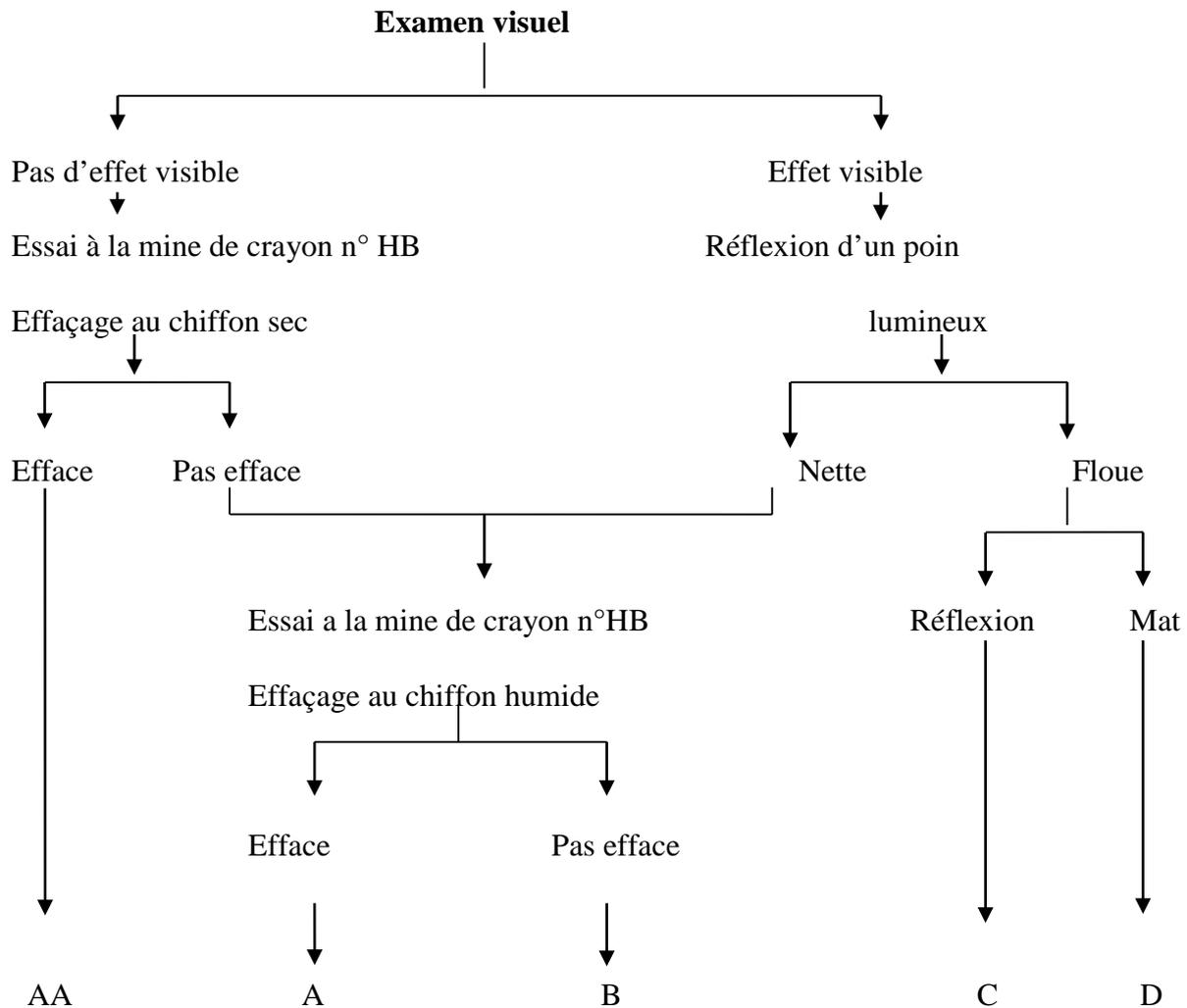


Figure. I.3 : Expression de résultats.

2. Résistance des surfaces émaillées aux agents chimiques domestiques et aux taches

Évaluer l'importance des dégradations subies par l'émail mis en contact avec certains produits chimiques ou colorants.

1. L'eau oxygénée (H₂O₂) : est surtout connue pour son utilisation en tant que désinfectant, pour nettoyer les petites plaies.

2. Solution de permanganate de potassium

Procédé

- Préparation la solution l'eau oxygénée 10ml dans 40ml l'eau distillée.
- Préparation Solution de permanganate de potassium 1g dans 100ml l'eau distillée
- Description de l'essai.
- Déposer quelques gouttes de produit cité sur différents éprouvettes.
- Placer sur chaque éprouvette un verre de montre.
- Laisser agir le produit pendant 2h.
- Retirer alors les verres. Rincer les éprouvettes avec l'eau déminéralisée.

Expression des résultats

- Pour l'eau oxygénée, évaluer l'attaque a l'aide de l'essai de la mine de crayon.
- Pour le permanganate de potassium (colorant), noter s'il y a : tâche, légère, tâche ou absence de coloration.

Chapitre II : résultats et interprétations.

Introduction

Les échantillons élaborés au cours de la réalisation de ce projet de fin d'étude sont effectués au sein de l'usine SCS d'El-Milia. Sachant que nos échantillons subissent les mêmes conditions opératoires de préparation des émaux, de cuisson que l'échantillon de l'usine.

II.1. Résultats des propriétés physiques

II.1.1 L'humidité

Les résultats de l'humidité des matières premières sont résumés dans le **Tableau II.1** :

Matière première	Humidité en %
Feldspath Na	0.30
Quartz	0.25
Kaolin RMB	2.85
Zircon	0
Dolomie	0
Oxyde de Zinc	0
Carbonate de Ca	0

Tableau II.1 : L'humidité des matières premières.

On remarque que l'humidité des matières plastiques comme les kaolins RMB est plus élevée que celle des matières non plastique comme le quartz.

On sait que les matières plastiques sont plus humides.

II.1.2 Résultats des Refus, densité, viscosité et La porosité

Les résultats expérimentaux sont donnés dans le **Tableau II.2** :

la taille des grains du calcin broyé	Recettes N°	Refus R(%)	Densité D	Viscosité η (s)	Porosité %
	Rf ₁	0.7	1795	15	0.153
63 μ m<d<80 μ m	R1	0.2	1840	10	0.035
	R2	0.1	1855	15	0.037
	R3	0.1	1745	8	0.052
	R4	0.2	1840	10	0.024
	R5	0.4	1860	8	0.036
	R6	0.1	1840	11	0.026
	R7	0.2	1845	10	0.022
	R8	0.1	1855	13	0.033
80 μ m<d<100 μ m	R9	0.6	1850	11	0.037
	R10	0.5	1855	10	0.032
	R11	0.6	1860	9	0.020
	R12	0.1	1840	11	0.034
	R13	0.4	1815	8	0.037
	R14	0.1	1830	10	0.032
	R15	0.1	1810	8	0.036
	R16	0.2	1810	9	0.033
Norme adopte de l'usine SCS		0.1-1	[1700-1800]	[10-20]	≤ 0.75

Tableau II.2 : Résultats des refus, densité et viscosité.

D'après les résultats de **Tableau II.2**, on constate :

Pour le refus

On remarque que les refus de toutes les recettes proposées sont dans les normes de l'usine et que la barbotine de l'émail est prête à l'emploi.

Pour les recettes de taille des grains du calcin ($63\mu\text{m} < d < 80\mu\text{m}$), les refus varient de 0.1 à 0.4, où la recette R5 possède le refus le plus élevé,

Pour les recettes de taille des grains du calcin ($80\mu\text{m} < d < 100\mu\text{m}$), les refus varient de 0.1-0.6, où la recette R9 et R11 possèdent les refus les plus élevés.

Pour la viscosité

Pour la taille des grains du calcin broyé ($63\mu\text{m} < d < 80\mu\text{m}$), la viscosité des recettes proposées est varié de 8 à 13 s ; sachant que la valeur de la viscosité (R2) est la plus élevée, et pour la taille des grains du calcin broyé ($80\mu\text{m} < d < 100\mu\text{m}$), la valeur de la viscosité varie de 9 à 11s où la recette R9 possède la valeur la plus élevée.

Il faut signaler que, l'oxyde qui a la plus grande influence sur la viscosité c'est la SiO_2 , et que la taille des grains a une très faible influence sur la viscosité. D'une façon générale, pour régler la viscosité, on ajoute le silicate de sodium Na_2SiO_3 afin d'assurer l'adhérence émail-tesson

Pour la densité

Concernant la densité, elle varie de 1795 à 1860, pour le cas de la taille des grains du calcin broyé ($63\mu\text{m} < d < 80\mu\text{m}$) on trouve que R5 la recette la plus dense. Par contre la densité varie dans l'intervalle [1810-1860] pour la taille des grains du calcin broyé ($80\mu\text{m} < d < 100\mu\text{m}$), et que la recette R11 est la plus dense.

Pour l'absorption

En ce qui concerne la porosité, le phénomène d'absorption est très important dans la fabrication des pièces en céramique maillée et d'après les résultats obtenus, on remarque que la porosité est varié de 0.022 à 0.037 pour le cas de $63\mu\text{m} < d < 80\mu\text{m}$ et de 0.020 à 0.037 pour le cas $80\mu\text{m} < d < 100\mu\text{m}$.

D'après les valeurs obtenues de la porosité, on remarque que :

- La porosité diminue avec la diminution de la taille des grains du calcin broyé ce qui nous donne un produit de qualité (imperméable).
- Les oxydes qui ont la plus grande influence sur l'absorption sont successivement SiO_2 , Al_2O_3 et les fondants (K_2O , Na_2O ...).

L'expérience a montré que la taille des grains du calcin influe sur la porosité ; plus gros grains majoritaires ce qui résulte la porosité augmente.

II.1 Résistance à la flexion et retrait

Les résultats de la résistance à la flexion et le retrait sont résumés dans le **Tableau II.3** :

la taille des grains du calcin broyé	N° recettes	Résistance à la flexion S (kgf/cm ²)	Retrait %
	Réf	516.48	-
63µm<d<80µm	R1	505.49	7.77
	R2	530.3	7.98
	R3	516.58	7.31
	R4	437.14	7.82
	R5	237.79	7.778
	R6	277.71	7.14
	R7	351.1	7.23
	R8	229.38	6.82
80µm<d<100µm	R9	486.13	7.684
	R10	461.23	7.38
	R11	390.78	7.39
	R12	270.5	7.26
	R13	470.46	6.98
	R14	292.2	7.33
	R15	320.2	9.22
	R16	220.4	9.57
Norme adopte de l'usine SCS		400-600	8.8-8.9

Tableau II.3 : Résistance à la flexion et le retrait.

Pour la résistance à la flexion

La résistance à la flexion des recettes est supérieure ou inférieure à celle de la norme adoptée par SCS d'El-Milia.

Pour les valeurs de la résistance à la flexion des recettes R5 jusqu'à R8, R12, R14, R15 et R16 sont inférieures par rapport à la valeur de la norme cela s'explique par des raisons suivantes :

1. L'arrivée de nouvelles matières premières de qualité différentes qui ont causé même des problèmes sur la qualité du tesson au niveau de l'usine.
2. La fermeture du four tunnel, c'est pour cela nous avons utilisé le four intermittent qui est moins fiable que le four tunnel.

Par contre la recette R2 possède la meilleure résistance à la flexion (530.3 kgf/cm^2) ou la taille des grains du calcin broyé est de $63\mu\text{m} < d < 80\mu\text{m}$.

Concernant les résultats obtenus de retrait de cuisson, on constate que les valeurs sont presque les mêmes pour toutes les recettes.

II.3 Résultats de la formule de SEGER

Les résultats obtenus selon la formule de SEGER pour toutes les recettes proposées compris l'échantillon de référence sont présentés dans le **Tableau II.4** :

	Oxyde	Rf1	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8
RO	CaO	0.4636	0,6408	0,6178	0,6381	0,5963	0,6358	0,5852	0,6217	0,5855
	MgO	0.1696	0,1745	0,1673	0,1789	0,1654	0,1829	0,1661	0,1825	0,1702
	K ₂ O	0.0063	0,0058	0,0056	0,0051	0,0047	0,0045	0,0041	0,0038	0,0036
	Na ₂ O	0.1428	0,1435	0,1753	0,1443	0,2024	0,1450	0,2155	0,1622	0,2130
	ZnO	0.0374	0,0352	0,0338	0,0333	0,0309	0,0316	0,0289	0,0295	0,0276
	Somme	1	1	1	1	1	1	1	1	1
R₂O₃	Al ₂ O ₃	0.2249	0,1687	0,2033	0,1186	0,1855	0,0735	0,1586	0,0537	0,1175
	Fe ₂ O ₃	0.0028	0,0030	0,0023	0,0029	0,0018	0,0028	0,0015	0,0024	0,0015
RO₂	SiO ₂	2.1174	2,2034	2,0078	2,1080	1,7571	2,0223	1,6038	1,8479	1,5514
	TiO ₂	0.0026	0,0019	0,0020	0,0017	0,0019	0,0015	0,0017	0,0014	0,0016
	ZrO ₂	0.2050	0,1929	0,1854	0,1826	0,1696	0,1734	0,1580	0,1616	0,1513

Tableau II.4 : Résultats de la formule de SEGER.

La formule de SEGER d'une part nous a permis de maîtriser les fractions molaires de tous les oxydes et d'autre part c'est un bon indicateur pour la température de fusion voulue.

La plupart des composants des émaux ne sont pas purs à savoir : le feldspath, le kaolin...). Il est donc important de pouvoir écrire une formule universelle (normalisée) d'émail pour bien

maitriser (corriger) leur composition (ou rapport molaires) en oxydes formateurs, fondants et stabilisants.

Les résultats obtenus de la formule de SEGER ont montré que la variation des valeurs de SiO_2 et d' Al_2O_3 sont 1.55 à 2.20 et 0.05 à 0.22 respectivement.

II.4 Résultats des propriétés thermiques de l'émail

la taille des grains du calcin broyé	N° recettes	Fusibilité « F »	Coefficient de dilatation « $\alpha \cdot 10^{-7} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ »	Tension superficielle (dyn/cm)	Rapport (S/A)
	Réf	0.2092	61.0019	363.7976	11.123
63 μm <d<80 μm	R1	0,1921	62,2463	358,7684	13,0563
	R2	0,2071	65,6109	362,9506	9,8715
	R3	0,2065	64,5995	357,5829	17,7726
	R4	0,2378	71,3589	365,9124	9,4699
	R5	0,2216	66,9049	356,4215	27,4927
	R6	0,2638	75,6989	367,1676	10,1066
	R7	0,2472	71,1494	357,6903	34,3846
	R8	0,2809	77,9177	365,8934	13,1940
80 μm <d<100 μm	R9	0.1921	62.2463	358.7684	13.0563
	R10	0.2065	65.6109	362.9506	9.8715
	R11	0.2065	64.5995	357.5829	17.7726
	R12	0.2378	71.3589	365.9124	9.4699
	R13	0.2216	66.9049	356.4215	27.4927
	R14	0.2638	75.6989	367.1676	10.1066
	R15	0.2472	71.1494	357.6903	34.3846
	R16	0.2809	77.9177	365.8934	13.3846
Norme adopte de l'usine SCS		0.17	51.97	339.19	-

Tableau II.5 : Propriétés thermiques de l'émail.

On remarque d'après les résultats du tableau que la taille des grains du calcin broyé n'a pas d'effet sur la fusibilité, le coefficient de dilatation et la tension superficielle où nous avons obtenus **exactement** les mêmes résultats pour les deux tailles $63\mu\text{m} < d < 80\mu\text{m}$ et $80\mu\text{m} < d < 100\mu\text{m}$.

Pour la Fusibilité

Concernant les calculs de l'indice de fusibilité, on constate que la majorité des valeurs de l'indice de fusibilité des recettes sont proches, ce qui s'explique la température de fusion de l'émail est presque la même.

Pour Coefficient de dilatation

En ce qui concerne le coefficient de dilatation, les deux recettes R8 et R16 possèdent un coefficient de dilatation plus élevé ce s'explique que cet échantillon contient un taux de fondants assez important dont la composition de départ Quartz=0% et calcin=40%.

L'expérience a montré que lorsque le coefficient de dilatation de l'émail et du tesson est proche donne une meilleure interaction et cohésion.

Pour la tension superficielle

Concernant la tension superficielle, on constate que la tension superficielle de toutes les recettes est très proche et les recettes R7 et R15 possèdent les valeurs les plus élevées. D'après la théorie pour avoir une couche de glaçure lisse, une surface plane et homogène, il faut que la tension superficielle soit le plus faible possible, il faut dire donc les meilleures recettes sont R5 et R13.

Pour le rapport S/A

Pour le rapport S/A, On remarque que le rapport **S/A** des recettes R2, R4 et R6 (R10, R12, R14) sont les meilleures en raison de ces rapports proche de la théorie. D'après la théorie pour avoir un émail vitrifiant il faut que le nombre de molécules d'alumine soit égale à 1/10 du nombre de molécules de silice, Des rapports des recettes R5, R7, R13 et R15 sont les plus élevés, peut-être c'est dû aux conditions de travail tel que la cuisson (four intermittent) et à la qualité des matières premières après le nouveau arrivage, ce qui influe négativement sur la qualité du produit même pour le produit l'usine.

II.5 Résultats des propriétés esthétiques

la taille des grains du calcin broyé	N° recettes	L'acidité « A »	Blancheur L(%)	La brillance
	Réf	1.38	88.2	-
63µm<d<80µm	R1	1,5827	92.0	75.4
	R2	1,3573	92.0	81.2
	R3	1,6799	88.0	67.8
	R4	1,2347	92.0	72
	R5	1,7874	87.6	76.5
	R6	1,1914	91.0	80.1
	R7	1,7208	89.8	79.2
	R8	1,2557	90.3	73.8
80µm<d<100µm	R9	1,5827	90.7	76.8
	R10	1,3573	91.2	77.3
	R11	1,6799	89.6	70.8
	R12	1,2347	91.3	92.3
	R13	1,7874	87.2	79.4
	R14	1,1914	91.3	84.6
	R15	1,7208	90.7	8
	R16	1,2557	91.2	85.8
Norme adopte de l'usine SCS		1.92	92	90

Tableau II.6 : Les propriétés esthétiques.

Pour L'acidité

- ✓ Pour L'acidité, D'après les résultats obtenus, on remarque que l'acidité des recettes varie de [1.1914-1.7874] sachant que paramètre est responsable de l'aspect d'une glaçure.

Comparons les aspects des recettes avec les valeurs de la théorie (voir **Tableau III.2**) l'aspect de la glaçure des recettes varie entre mat et brillant possible lorsque en utilisant la formule empirique.

Pour la blancheur

En ce qui concerne le taux de la blancheur, on a mesuré expérimentalement, et on constate que le degré de la blancheur est amélioré avec la diminution de la taille des grains, d'où on remarque que pour $63\mu\text{m} < d < 80\mu\text{m}$ l'intervalle du degré de la blancheur varie de [88.00 - 92.00] et les recettes R1, R2 et R4 possèdent la valeur la plus élevée (92.00), Par contre pour $80\mu\text{m} < d < 100\mu\text{m}$ l'intervalle de degré de la blancheur varient de [87.2 - 91.30] et les recettes R12 et R14 présentent la valeur la plus élevée (91.3).

Les résultats obtenus de la blancheur ont montré beaucoup de satisfaction avec la diminution de la taille des grains de calcin broyé et on constate que les deux recettes R1 et R2 possèdent la blancheur la plus élevée atteint un taux de 92.00%, dans les recettes 10% du calcin avec une taille des grains $63\mu\text{m} < d < 80\mu\text{m}$.

IL faut signaler qu'on a obtenu une blancheur assez importante pour les recettes R7, R8, R15 et R16 sachant que dans leurs compositions de départ y a un taux de calcin de 40%.

Pour la brillance

Pour la mesure de la brillance on 'a utilisé un appareil de mesure, et d'après les résultats obtenus, on constate que la brillance est meilleur pour $80\mu\text{m} < d < 100\mu\text{m}$ où l'intervalle de brillance varie de [70.8-92.3] et la recette R12 présente la brillance la plus élevée, Par contre pour $63\mu\text{m} < d < 80\mu\text{m}$ l'intervalle des brillances varie de [67.8-81.2].

Les résultats obtenus de la brillance ont montrée beaucoup de satisfaction avec l'augmentation de la taille des grains du calcin broyé et on constate que la recette R12 possède la brillance la plus élevée (92.3%) pour $80\mu\text{m} < d < 100\mu\text{m}$, Sachant qu'elle a un pourcentage de 20% du calcin et 6% de quartz.

Nous devons signaler que la recette R12 présente les valeurs les plus satisfaisantes : à savoir la blancheur et la brillance :

- ✓ R12 (91.3% blancheur et 92.3% brillance)

Sachant que dans sa composition de départ contient 20% de calcin.

Il faut signaler aussi qu'on a obtenu des valeurs intéressantes de la blancheur et de la brillance pour la recette R16 (91.2% blancheur ,85.8% brillance), sachant que dans sa composition de départ on trouve un taux de calcin 40%.

Les résultats mesurables de différentes propriétés sur les glaçures et le tesson sont présentés dans tableau (voir l'annexe).

II.6 Résultats des propriétés chimiques

II.6.1 Résistance des surfaces émaillées avec des acides à température ambiante

Les résultats de la résistance chimique des surfaces émaillées avec l'acide citrique sont présentés dans le **Tableau II.7** :

la taille des grains du calcin broyé	N° recette	Les tâches	Changement de couleur et de la brillance	Classe d'émail
	Réf1	Aucun	Aucun	AA
63µm<d<80µm	R1	Aucun	Aucun	AA
	R2	Aucun	Aucun	AA
	R3	Aucun	Aucun	AA
	R4	Aucun	Aucun	AA
	R5	Aucun	Aucun	AA
	R6	Aucun	Aucun	AA
	R7	Aucun	Aucun	A
	R8	Aucun	Aucun	AA
80µm<d<100µm	R9	Aucun	Aucun	AA
	R10	Aucun	Aucun	AA
	R11	Aucun	Aucun	AA
	R12	Aucun	Aucun	AA
	R13	Aucun	Aucun	AA
	R14	Aucun	Aucun	AA
	R15	Aucun	Aucun	A
	R16	Aucun	Aucun	AA

Tableau II.7 : Résistance des surfaces émaillées avec l'acide citrique.

Les résultats de la résistance chimique des surfaces émaillés avec l'acide citrique montrent visuellement ni tache ni changement de couleur donc on estime que le test est positif.

II.6.2 Résistance des surfaces émaillées aux agents chimiques domestiques et aux taches

1. Résistance des surfaces émaillées avec permanganate de potassium

Les résultats de la résistance chimique des surfaces émaillées avec permanganate de potassium sont présentés dans le **Tableau II.8** :

la taille des grains du calcin broyé	N° recette	Les tâches	Changement de couleur et de la brillance
63μm<d<80μm	R1	Très légère	Aucun
	R2	Légère	Aucun
	R3	Légère	Aucun
	R4	Légère	Aucun
	R5	Légère	Aucun
	R6	Légère	Aucun
	R7	Légère	Aucun
	R8	Très légère	Aucun
80μm<d<100μm	R9	Légère	Aucun
	R10	Légère	Aucun
	R11	Légère	Aucun
	R12	Légère	Aucun
	R13	Légère	Aucun
	R14	Légère	Aucun
	R15	Légère	Aucun
	R16	Légère	Aucun

Tableau II.8 : Résistance des surfaces émaillées avec permanganate de potassium.

Les résultats de la résistance chimique des surfaces émaillées avec permanganate de potassium montrent que le teste est positif et que la résistance des surfaces est mieux avec la taille des graines des calcins broyé plus petites.

2. Résistance des surfaces émaillées avec l'eau oxygénée

Les résultats de résistance des surfaces émaillées avec l'eau oxygénée sont résumés dans le **Tableau II.9** :

la taille des grains du calcin broyé	N° recette	Les tâches	Changement de couleur et de la brillance	Classe d'émail
	Réf1	Aucun	Aucun	AA
63µm<d<80µm	R1	Aucun	Aucun	AA
	R2	Aucun	Aucun	AA
	R3	Aucun	Aucun	AA
	R4	Aucun	Aucun	AA
	R5	Aucun	Aucun	A
	R6	Aucun	Aucun	AA
	R7	Aucun	Aucun	A
	R8	Aucun	Aucun	AA
80µm<d<100µm	R9	Aucun	Aucun	AA
	R10	Aucun	Aucun	AA
	R11	Aucun	Aucun	AA
	R12	Aucun	Aucun	AA
	R13	Aucun	Aucun	AA
	R14	Aucun	Aucun	AA
	R15	Aucun	Aucun	A
	R16	Aucun	Aucun	AA

Tableau II.9 : Résistance des surfaces émaillées avec l'eau oxygénée.

Les résultats de la résistance chimique des surfaces émaillés avec l'eau oxygénée montrent aussi visuellement ni tache ni changement de couleur donc le test est positif.

Conclusion générale

Conclusion générale

L'objectif de notre travail est l'étude de l'influence de la quantité et de la granulométrie du calcin d'AFRICAVER sur les propriétés (esthétique, thermique, physique) de l'email et (physique, mécanique) pour la céramique sanitaire.

La taille des grains ainsi que leur répartition granulométrique ont un impact direct sur les propriétés physiques et esthétiques des glaçures.

L'étude effectuée nous a permis de tirer les conclusions suivantes :

- La diminution de la taille des grains a une influence positive sur les propriétés physiques (refus, densité, porosité) et sur les propriétés mécaniques la résistance à la flexion, aussi sur les propriétés esthétiques la blancheur et la brillance.
- la recette R2 possède les meilleures caractéristique mécanique (résistance à flexion) avec la taille des grains de calcin broyé $63\mu\text{m} < d < 80\mu\text{m}$ c'est-à-dire la plus petite taille avec un taux de calcin de 10%.
- la recette R12 et R8 possède les meilleures caractéristique esthétique (Blancheur 91.3%, Brillance 92.3%) où le taux du calcin atteint 40%.
- Nous devons signaler qu'on a obtenu des caractéristiques très intéressantes (Blancheur 91.3%, Brillance 92.3%) concernant la recette R12 et R8 où le taux du calcin atteint 40%.
- Les résultats des propriétés physiques et chimiques de toutes les recettes respectent les normes adoptées par l'usine de SCS.

Perspectives

Notre objectif a été réalisé avec succès. Afin de faire une étude plus approfondie nous proposons :

- La suite d'une étude granulométrique du calcin avec plusieurs intervalle de la taille des grains de préférable inférieur $63\mu\text{m}$ car dans notre étude nous avons rencontré plusieurs contraintes concernant le broyage du calcin
- Une étude thermique sur l'interaction tesson –email utilisant ATD/TG ou DSC/TG
- Une étude spectroscopique à savoir : IRTF, RAMAN
- Une étude morphologique utilisant le MEB.

Annexe

Les résultats mesurables des propriétés de tesson et glaçure.

la taille des grains du calcin broyé	recette	Feldspath	Quartz	calcin	autres	Pour l'émail					Pour le tesson	
						Refus R(%)	Densité D	Viscosité η (pa.s)	brillance	Blancheur L(%)	Résistance à la flexion S (kgf/cm ²)	Porosité %
63μm<d<80μm	R1	24	26	10	40	0.2	1840	10	75.4	92.0	505.49	0.035
	R2	34	16	10	40	0.1	1855	15	81.2	92.0	530.3	0.037
	R3	14	26	20	40	0.1	1745	8	67.8	88.0	516.58	0.052
	R4	34	6	20	40	0.2	1840	10	72	92.0	437.14	0.024
	R5	4	26	30	40	0.4	1860	8	76.5	87.6	237.79	0.036
	R6	30	0	30	40	0.1	1840	11	80.1	91.0	277.71	0.026
	R7	0	20	40	40	0.2	1845	10	79.2	89.8	351.1	0.022
	R8	20	0	40	40	0.1	1855	13	73.8	90.3	229.38	0.033
	Réf	34	26	0	40	0.7	1795	15	-	88.2	516.48	0.153
80μm<d<100μm	R9	24	26	10	40	0.6	1850	11	76.8	90.7	486.13	0.037
	R10	34	16	10	40	0.5	1855	10	77.3	91.2	461.23	0.032
	R11	14	26	20	40	0.6	1860	9	70.8	89.6	390.78	0.020
	R12	34	6	20	40	0.1	1840	11	92.3	91.3	270.5	0.034
	R13	4	26	30	40	0.4	1815	8	79.4	87.2	470.46	0.037
	R14	30	0	30	40	0.1	1830	10	84.6	91.3	292.2	0.032
	R15	0	20	40	40	0.1	1810	8	8	90.7	320.2	0.036
	R16	20	0	40	40	0.2	1810	9	85.8	91.2	220.4	0.033

Résume la composition chimique des matières premières

Oxydes	Al ₂ O ₃	CaO	Fe ₂ O ₃	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	SiO ₂	TiO ₂	ZnO	BaO	Cr ₂ O ₃	SO ₃	PbO	P ₂ O ₅	Somme
Kaolin RMB	41.4772	0.0795	1.1477	0.3409	2.2727	0.1136	54.5454	0.0227	0	0	0	0	0	0	100
Feldspath Na	19.5029	1.3001	0.0350	0.0500	0.2000	10.6015	68.0102	0.1000	0	0	0	0	0	0.2003	100
Quartz	0.4472	0.7951	0.3975	0.1292	0.1987	0.0894	97.902	0.0397	0	0	0	0	0	0	100
Carbonate De Ca	0.1612	99.677	0.0358	0.0179	0	0	0.1075	0	0	0	0	0	0	0	100
Zircon	1.0964	0	0.0697	0	0	0	32.8947	0.1495	0	65.789	0	0	0	0	100
Dolomie	0.0690	60.3415	0.0652	39.102	0	0	0.3837	0.0383	0	0	0	0	0	0	100
Oxyde de zinc	0	0	0.0040	0	0	0	0	0	99.995	0	0	0	0	0	100
Calcin	0.2	9.48	0.096	2.607	0.034	13.026	74.24	0.062	0	0.009	0.032	0.004	0.18	0	100

Proposition des recettes

Ce tableau est définie un taille de $80\mu\text{m} < d < 100\mu\text{m}$ (8 recettes) :

Matières Premières (%en poids)	Kaolin RMB	Feldspath Na	Quartz Bir El- Ather	Carbonte de Ca	Zircon	Dolomie	Oxyde de Zinc	Calcin (AFRICAVER)
Recette (R) Réf 1	6	34	26	10	15.75	7	1.25	-
R 9	6	24	26	10	15.75	7	1.25	10
R 10	6	34	16	10	15.75	7	1.25	10
R 11	6	14	26	10	15.75	7	1.25	20
R 12	6	34	6	10	15.75	7	1.25	20
R 13	6	4	26	10	15.75	7	1.25	30
R 14	6	30	0	10	15.75	7	1.25	30
R 15	6	0	20	10	15.75	7	1.25	40
R 16	6	20	0	10	15.75	7	1.25	40

La résistance à la flexion

Recette N°	Base (B) mm	Hauteur(H) Mm	Force (P) kg	S (kgf/cm ²)
R1	21.73	21.21	321	505.49
	21.16	20.50	292.6	
	20.96	20.62	320.8	
R2	19.92	20.08	294	530.3
	21.08	20.83	298	
	21.57	21.62	371.8	
R3	21.21	21.58	310	516.58
	20.67	20.58	286.7	
	20.14	20.08	318.2	
R4	22.54	20.72	247.2	437.14
	21.30	21.22	326.7	
	21.13	21.20	264.6	
R5	21.13	20.50	177.1	237.79
	23.05	21.21	106.8	
	22.67	21.36	179.7	
R6	21.36	20.28	181	277.71
	23.26	20.91	174.1	
	21.08	20.54	159.1	
R7	21.38	21.21	231.7	351.1
	21.61	20.24	179.8	
	21.13	20.02	218.8	
R8	23.56	22.11	172.1	229.38
	26.39	21.43	186.9	
	23.16	21.30	163	
R9	21.56	21.03	273.7	486.13
	21.77	20.98	340.9	
	21.98	20.33	299.3	
R10	21.08	20.72	248.6	461.23
	20.45	19.96	243.3	
	21.20	20.75	318.7	
R11	19.81	19.70	211.2	390.78
	21.14	21.78	237.3	
	20.73	20.32	231.3	
R12	20.56	20.65	113.8	270.5
	23.15	21.28	196.9	
	23.13	20.85	165.6	
R13	21.10	20.32	278.3	460.46
	20.08	20.60	244.3	
	20.98	20.66	281.9	
R14	22.02	20.56	178.5	292.2
	21.98	21.69	172.3	
	23.83	21.51	163.5	
R15	20.55	20.67	192.5	320.2
	22.06	21.05	253.5	
	20.95	21.64	255.6	
R16	21.74	22.57	179.1	220.4
	20.88	21.42	180.2	

La porosité

Recette	Masse initial(g)	M1	M2	M3	Masse final	Porosité %
R1	22.684	22.689	22.690	22.692	22.692	0.035
R2	15.804	15.809	15.810	15.810	15.810	0.037
R3	15.170	15.176	15.177	15.178	15.178	0.052
R4	32.271	32.277	32.278	32.279	32.279	0.024
R5	27.592	27.60	27.601	27.602	27.602	0.036
R6	26.882	26.888	26.889	26.889	26.889	0.026
R7	26.744	26.749	27.750	26.750	27.750	0.022
R8	14.847	14.850	14.851	14.852	14.852	0.033
R9	19.811	19.881	19.813	19.885	19.885	0.037
R10	15.363	15.363	15.365	15.366	15.366	0.032
R11	19.207	19.209	19.2010	19.212	19.212	0.020
R12	22.609	24.610	24.611	24.611	24.611	0.034
R13	22.471	22.471	22.474	22.475	22.475	0.037
R14	24.792	22.792	24.794	24.796	24.796	0.032
R15	19.356	19.360	19.362	19.366	19.366	0.036
R16	15.010	15.010	15.012	15.014	15.014	0.032

Appareillages

Matériels utilisés



Etuve



Jarre à billes



Jarre tourne à rouleaux



Balance technique



Chronomètre



Viscosimètre LEHMAN



Capsule



Appareil de mesure la résistance à la flexion



L'appareille de calcule la blancheur



L'appareille de calcule la brillance



Tamis

Bibliographie

Référence

[1] : Fabrication des céramiques. Août 2007, commission européenne.

[2] : Philippe Clément, titre détermination des propriétés mécaniques de céramiques poreuses par essai micro indentation instrumentée sphériques. École doctorale de matériaux de Lyon , 2013.

[3] : les céramiques industrielles, propriétés, mise en forme et application, Meface de Jean-Francois Boumard.

[4] : Jean. Marie. Hausonne, Paule bowen, James L-Barton, titre céramiques et verres ; Claude Paule carry presse polytechnique et universitaires romandes.

[5]: Boussak.H. titre effet de la température sur les performances des céramiques cotenant la barbotine de Meghnia. These de doctorates, genies des procedes. University Mohamed bougara –boumerdes 2015.

[6] : Jean. Marie. Hausonne, titre céramiques pour l'électronique et l'électrotechnique.

[7]: djellali brahim, titre elaboration et caractérisation d'une céramiques dieléctrique a base de palygorskite. These de matière, physico -chimie des matériaux. Universite Mohamed bougara boumerdes.

[8]: Marthe Tatiana Dialta, titre matière premiere argileuses du Senegal, caractéristiques et applications aux produit céramique de grande diffusion, university Limoges, 2016 français.

[9] : Nedjima Bouzidi, titre influence des impuretés des kaolins sur les propriétés des produits de cuisson, école nationale supérieure des Mines de Saint –Etienne et l'université de Bejaia, Génies des procédés

[10] : Lalmi Khier, titre étude par diffraction des rayons X de matériaux à base de kaolin de KT_2 et DD, mémoire de magister ; université Mentouri-contantine.

[11] : Hernot François, titre, l'argile, son utilisation a l'officine, thèse pour le diplôme d'étude de docteur en pharmacie, université Angers 2016.

[12] : Mr, Safi Brahim, titre procédé et mise en forme des matériaux : les produits céramiques, universite de Boumerdes.

[13] : Ahmed Lahjouji , perfectionnement des algorithmes génétiques combinatoires des problèmes d'optimisation combinatoire, these de doctorat , université de Moulay Ismail,2018.

[14] : G.Aliprand, Materiaux refractaires et céramiques techniques , élément de céramique, Editions SEPIMA Paris Réimpres dec 1989.

[15] : Mr –Safi Brahim, titre procédés et mise en forme des matériaux : les produits céramique, université de boumerdes.

- [16] : DERIEMONT. Y, "Emaillage des métaux", Techniques de l'Ingénieur, M 514, 1996.]
- [17] : Maxime. H , Etude des matériaux de reconstruction prothétique odontologique en salive artificielle , Thèse de doctorat, université de Lorraine, 2012.
- [18] : B.Benmostefa : Etude des propriétés de la glaçure de produit sanitaire de l'unité Ghazaouet ; Rapport de stage institut national de matériaux de construction PNMC Boumerdes. 1994.
- [19] : Haussonne. J.M. , C.Carry, P.Bowen, J.Barton ; traité des matériaux.
- [20] : Danial de Montmollin ; pratique des émaux de grés.
- [21] : Smart. C , Méthode d'émaillage.
- [22] ; A.A. Appen chemistry of glass, khimiya, Leningrad, 1974.
- [23] : Essakli. C , Ider. A , développement et caractérisation de nouvelles pâtes de porcelain pour appareils sanitaires au Maroc, université Hassan 1^{er} –settat, 2014.
- [24] : Jacques, Datcharry. Compréhension et maîtrise des glaçures des fourneaux et des cuissons aux températures des grés (1280°C). Décembre , 2003.
- [25] : Boudeghdegh. K., Diella V, Bernasconi A, Roula A, Amirouche Y, Composition effects on the whiteness and physical-mechanical properties of traditional sanitary-ware glaze; journal of the European ceramic society 35(2015)3735-3741.
- [26] : L.Frindin. Cours .S.MI : IUT de Chambéry ; verres et céramiques.
- [27] : documentation de céramique sanitaire d'El-milia.
- [28] : Evellyne, Daraque-C erretti, Erie. Felder. Adhésion et adhérences.
- [29] : Documentation J.Huel : Section céramique-L.T.Leonard de VINCI 06633 ANTIBES-2002.
- [30] : Internet : <http://perso.orange.fr/smart2000> : tession-superficielle email.htm.
- [31] : DERIEMONT. Y, "Emaillage des métaux", Techniques de l'Ingénieur, M 514, 1996.
- [32] : Orliac, technologie céramique, 2015, 392.
- [33] : Aguib .R , Laggoun H, Etude de l'influence de zircon et d'oxyde de zinc sur les comportements physico-chimiques et esthétiques de l'émail de la céramique sanitaire d'El Milia, mémoire de master, université de Jijel, 2013.
- [34] : Taylor J.R, Bull .A.C, Ceramic Glaze Technology. Pergamon Press: Oxford; 1986.
- [35] : Norsker. H, Dnisch. J, Glazes-For the self-reliant potter, 1993.
- [36] : Wolf E, Matther , «émaux et glaçures céramiques», plus de 1100 formules, deuxième édition 2010.

Résumé

Notre projet de fin d'étude (PFE) consiste à étudier l'influence de la granulométrie des déchets en verre (calcin d'AFRICAVER) sur les propriétés physico-chimique et esthétiques (blancheur et brillance) de l'émail de la céramique sanitaire.

L'objectif principale vise à introduire le verre recyclé (calcin d'AFRICAVER, Taher) avec des différentes tailles dans la formulation des glaçures, afin d'améliorer les comportements physico-chimiques, mécaniques et esthétiques des pièces en céramique sanitaire.

Le développement de l'utilisation des émaux de haute qualité entraîne des travaux de recherche plus approfondies notamment le choix de la matière première et la formulation pondérale doivent répondre à des critères particuliers. L'aspect principal de cette étude concerne la manière dont les formulations avec le verre recyclé correctement coulées selon la mise en œuvre recommandée, se transforment lors de traitement thermique en termes de phases final.

Les échantillons obtenus ont été élaborés au niveau de l'usine SCS d'EL-Milia dans les mêmes conditions opératoires de l'usine sachant que la cuisson est effectuée dans un four industrielle à une température de 1250° C. Dans notre étude on a utilisé les moyens d'investigation suivants : instruments de mesure à calcul ; pour la blancheur, la brillance et la résistance à la flexionetc.

Notre étude nous a permis d'améliorer les propriétés esthétiques (blancheur -brillance), les propriétés physiques et chimiques de l'industrie céramique sanitaire avec intégration du calcin jusqu'à 40% on varie la taille des grains.

Mots clés : Recyclage du verre, blancheur, brillance, propriétés physico-chimique, mécaniques. Emaux, céramique sanitaire