



Année Universitaire : 2011-2012

**Master Sciences et Techniques GMP
Génie des Matériaux et des Procédés**

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES
Pour l'Obtention du Diplôme de Master Sciences et Techniques

**Contribution à l'amélioration du taux des carreaux
céramiques de premier choix.**

Présenté par:

Monsif Manal

Encadré par:

- Pr. Assouik Jamal. (FST Fès)
- Mr. Mahtane Mostafa. (DP de Super Cérame)

Soutenu Le 22 Juin 2012 devant le jury composé de:

- Pr. J. Assouik
- Pr. A. Boukir
- Pr. N. Idrissi Kandri
- Pr. A. El Ghazouali

Stage effectué à : Super Cérame Kenitra





2011/2012

Master Sciences et Techniques : Génie des Matériaux et des Procédés

Nom et prénom: Monsif Manal

Titre: Contribution à l'amélioration du taux de premier choix des carreaux céramiques.

Résumé

Devant l'augmentation des exigences des clients, les sociétés doivent se conformer aux différentes normes imposés par les veilles réglementaires, entre autre la norme marocaine NM ISO 13006 qui n'autorise que la commercialisation du carreau céramique premier choix et c'est le cas pour Super Cérame.

Dans ce cadre ma mission principale durant ce stage au sein de cette entreprise est la contribution à l'amélioration de ce taux, vu l'écart entre celui exigés par la norme (100%) et celui réalisé (72%). Il s'agit d'une différence de 28% qui se traduit par une perte économique importante pour la société. Cet écart est dû à plusieurs facteurs, parmi les quels, les défauts.

De ce fait, nous avons vérifié, en premier lieu, la conformité des carreaux avec la norme marocaine, qui s'intéresse aux caractéristiques dimensionnelles et aux paramètres physiques tels que la porosité, la résistance à la flexion et d'autres. Puis nous avons choisi d'étudier l'influence d'un de ces paramètres qu'est la résistance à la flexion sur la qualité du produit fini. Nous avons trouvé que ce paramètre est la cause de l'apparition du défaut fendu (qui présente 13% de l'ensemble des défauts) lorsqu'il n'est pas dans les standards. Ce qui nous a poussé à traiter ce défaut pour voir ces causes principales. Dans un deuxième temps, il fallait proposer des remèdes et des actions correctives pour maintenir ce paramètre dans les normes standards, à savoir, limiter l'apparition de ces défauts, ceci dans le but de rehausser le taux du premier choix.

Mots clés: Norme Marocaine ISO 13006, premier choix, résistance à la Flexion, défauts céramiques, fendu, actions et remèdes.





DEDICACE

A mes chers parents :

Pour la peine et les sacrifices consentis pour mon éducation. Mon amour et ma profonde reconnaissance ne sauraient être exprimés dans ce modeste travail.

A mes chers frères et sœurs :

En témoignage de leur soutien, amour et de leur affection, qu'ils trouvent ici l'expression de ma profonde gratitude.

A tous les membres de la famille :

Qu'ils trouvent ici l'expression de mon profond respect.

A tous mes amis :

Ma profonde reconnaissance ne pourrait être exprimée pour leur présence et leur soutien durant ces années d'étude.

REMERCIEMENTS



Je tiens à remercier, dans un premier temps, toute l'équipe pédagogique de la FST et les intervenants professionnels responsables de la formation Master Génie des matériaux et des procédés, pour m'avoir prodigué une formation fondamentale de très bonne qualité.

Je remercie également Mr le Pr. Assouik Jamal et Mr. Mahtane Mostafa Directeur Production au sein de Super Cérame, pour l'aide et les conseils concernant les missions évoquées dans ce rapport, qu'ils m'ont apportés tout au long de la réalisation de ce rapport.

Que les membres de jury, Mr le PR, J. Assouik, Mr le PR, A. Boukijr, Mr le Pr. N. Idrissi Kandri ainsi MR le PR, A. El Ghazouali, trouvent ici l'expression de ma profonde estime et ma gratitude pour avoir accepté de juger ce travail.

Je tiens à exprimer ma gratitude à tous ceux qui ont consacré leur temps et leur énergie afin de me faciliter le déroulement de ce stage, à savoir :

La direction de SUPER CERAM et à sa tête Mr. BENZAKOUR Fouad : Directeur Général Mr. EL AMRANI Abderrafia : Directeur général adjoint et Mr. KAMOOUSS Abderahim : Directeur technique pour m'avoir donné l'opportunité d'effectuer ce stage dans une prestigieuse unité industrielle.

Je n'oublie pas de remercier tous le personnel de SUPER CERAME pour le soutien, respect et accueil qu'ils m'ont accordés.

Enfin, je voudrais remercier toutes les personnes qui ont contribué de loin ou de près à la réalisation de ce travail.



Sommaire

Introduction	1
Partie I : Rappels bibliographiques.	2
CHAPITRE I : Présentation de la société Super Cérame	2
1. Aperçu général :	2
2. Historique :	3
3. Equipe :	4
4. Certification :	4



5. La production de super cérame :	5
6. Organigramme général:	5
CHAPITRE II: Généralité sur les céramiques	7
1. Le marché mondial de l'industrie de la céramique :	7
2. L'industrie de la céramique au Maroc :	9
CHAPITRE III : Matière première et propriété des céramiques	11
I : La matière première.	11
1. Introduction :	11
2. Définitions : (Céramique, Email, Engobe).	12
3- Matières plastiques « les argiles » :	13
4- Matières non plastiques :	17
II : propriétés des céramiques.	17
1. Les propriétés générales des céramiques :	17
2. Propriétés mécaniques :	18
3. Propriétés thermiques :	18
4. Propriétés électroniques :	19
5. Propriétés chimiques et environnementales :	19
CHAPITRE IV : Processus de fabrication	20
I. Introduction.	20
II .Processus de fabrication.	22
1. Préparation de la barbotine :	22
a. Pesage.	22
b. Broyage humide de la matière première.	23
2. Préparation de la poudre par atomisation :	23
a. Principe de l'atomisation.	24



b. Description et fonctionnement de l'atomiseur.	24
3. Pressage:	24
4. Séchage :	25
5. Emaillage :	25
6. Cuisson:	26
7. Le triage :	29
8. Contrôle qualité :	31
Partie II : Contribution à l'amélioration du taux de carreaux céramique du premier choix.....	32
I. Introduction.	33
II : Vérification de la conformité selon La Norme marocaine NM ISO 13006.	35
1-Présentation de la norme :	35
2. Vérification de la conformité au sein de super cérame :	36
a. Paramètre de porosité (NM ISO 10545-3).	36
b. Paramètre de résistance à l'abrasion NM ISO (10545-7).	38
c. Paramètre de résistance aux taches (NM ISO 10545-14).	40
d. Paramètre de résistance à la flexion (NM ISO 10545-4).	42
3. conclusion :	45
III : La résistance à la flexion.	46
1. Introduction :	46
2. Les facteurs influençant la résistance à la flexion (résistance mécanique) :	46
a. Humidité.	46
b. Pressage.	47
c. Type d'argile.	48
d. Temps du repos.	49
3. conséquences de la variation de la résistance à la flexion :	50
a. Résistance élevé.	50
b. Résistance faible.	51
IV : Défauts.	52
1. Analyse des défauts :	52
2. Cas du Fendu :	53
a. Définition.	53



b. Les Causes Par méthode de Diagramme de Causes à Effet.	53
C. Remèdes.	54



V. Actions correctives et préventives.	54
1. Introduction :	54
2. Actions sur la résistance :	55
3. Actions sur les défauts :	56
4. Actions techniques (sur la chaîne de fabrication) :	57
4. Actions humaines :	58
VI. mesure d'efficacité des actions :	58
1. La résistance :	58
2. Les défauts :	59
3. Le taux du premier choix :	59
Conclusion	60

Liste des figures



Figure1: Ynna Holding (Groupe Chaâbi).	3
Figure 2: Nombre global de collaborateurs.	4
Figure 3 : Certificats de super cérame.	5
Figure 4: Organigramme générale.	6
Figure 5: Microphotographie en MEB d'une céramique.	12
Figure 6: Structure de la kaolinite.	15
Figure 7: Structure de la montmorillonite.	15
Figure 8: Processus de fabrication des carreaux mono cuisson.	21
Figure 9: Processus de fabrication de la bi cuisson.	22
Figure 10: Les cases à terre.	23
Figure 11: Broyeur.	23
Figure 12 : L'atomiseur.	24
Figure 13 : Les presses.	25
Figure 14 : cloche de l'engobe et de l'email.	25
Figure 16 : Tambour de rotocolor.	26
Figure 15: Sérigraphie plat.	26
Figure 17 : Four à rouleaux.	27
Figure 18 : Les phases de cuisson.	29
Figure 19 : Courbe de cuisson.	29
Figure 20 : Triage manuel.	30
Figure 21 : Machine calibreuse.	30
Figure 22: Diagramme des défauts.	34
Figure 23: sigle de la norme marocaine.	35
Figure 24: Variation de la résistance en fonction de l'humidité.	47
Figure 25 : variation de la résistance du carreau cru en fonction de la pression.	48
Figure 26 : Variation de la résistance en fonction du type d'argile.	48
Figure 27: variation de la résistance en fonction du temps.	49
Figure 28 : Variation de la compactations en fonction de résistance.	50
Figure 29: variation de la porosité en fonction de la pression.	51
Figure 30: variation de la résistance de différentes argiles.	55
Figure 31: variation de la résistance avant et après actions correctives.	58
Figure 32 : Diagramme des défauts après les actions.	59
Figure 33: Variation du taux du premier choix durant les 4mois derniers.	59



Liste des tableaux

Tableau 1: Production mondiale des carreaux.....	8
Tableau 2 : Données significatives des pays de benchmarking et du Maroc pour l'année 2002.	9
Tableau 3: La composition de différentes argiles utilisées à super Cérame [4].	16
Tableau 4: Énergie de quelques liaisons.	18
Tableau 5: Température de fusion de quelques céramiques.	18
Tableau 6: Critères de classement des carreaux céramiques.	30
Tableau 7: Pourcentage de porosité pour la monocuisson.	37
Tableau 8 : Pourcentage de porosité pour la bicuisson.	37
Tableau 9 : Exigence de la norme NM ISO 10454-3 [5].....	37
Tableau 10 : Masse des carreaux et précision de mesure [5].	39
Tableau 11 : Exigence de la norme NM ISO (10545-7). [5]	40
Tableau 12 : exigence de la norme NM ISO 10545-14. [5]	41
Tableau 13 : Mode opératoire de la résistance à la flexion [5].	42
Tableau 14: La résistance à la flexion de la bicuisson.	43
Tableau 15 : la résistance à la flexion de la monocuisson.	44
Tableau 16 : Exigence de la norme NM ISO 10545-4 [5].....	45
Tableau 17 : Appellation et définition des défauts [6].	52
Tableau 18 : Origine de certains défauts et leurs remèdes.	56

Introduction :



Le procédé céramique adopté pour la fabrication des carreaux comporte plusieurs étapes allant du choix des matières premières à la validation du produit fini. Son optimisation impose la maîtrise des paramètres propres à chaque étape du processus : le choix de matières premières de bonne pureté, l'optimisation de la durée de broyage, le contrôle de la mise en forme et l'adoption d'un cycle de cuisson en relation avec la qualité souhaitée pour le produit fini.

Super Cérame est au service du marché du carrelage, multipliant les efforts pour anticiper et satisfaire les besoins des différents acteurs du secteur du BTP (***bâtiment et des travaux publics***) à travers une offre riche et adaptée de carreaux céramiques pour le revêtement sol et mur, fruit d'une modernisation continue de son processus de production qui se voit aujourd'hui aligné aux standards internationaux.

Super Cérame, a été coté de nombreux prix, qui attestent de son savoir faire, s'enorgueillit d'être la première et l'unique entreprise de céramique certifiée ISO 9001 version 2000. Ses produits sont, à leur tour, marqués du sceau de la Norme Marocaine NM ISO 13006, gage d'un produit de qualité.

Dans ce cadre, la société est mené à respecter les exigences des clients et de satisfaire leurs besoins en adaptant des méthodes de fabrication des carreaux dont les caractéristiques sont conformes aux normes et d'atteindre l'objectif proposé par ces normes qui est la fabrication de 100% de carreau du premier choix en limitant le nombre de défauts.

Mon stage à SUPER CERAME consiste à :

- ☞ Suivre les différentes étapes de production.
- ☞ Contribuer à l'amélioration du taux des carreaux céramiques de premier choix.

De ce fait le rapport sera structuré comme suit :

- La première partie comprend la présentation de la société Super Cérame ainsi que les rappels bibliographiques concernant la matière première utilisée, les propriétés des céramiques et le processus de fabrication.
- La deuxième partie sera consacrée à la vérification de la conformité des carreaux avec la norme marocaine ISO13006 qui traite plusieurs paramètres, parmi les quelles, la résistance à la flexion et voir les facteurs qui influent cette dernière ainsi les différents défauts, ensuite proposer des actions pour la maîtriser et pour limiter l'apparition de certaines défauts céramiques, tout ceci dans le cadre de « la contribution à l'amélioration du taux du premier choix ».

Partie I : Rappels bibliographiques.

CHAPITRE I : PRESENTATION DE LA SOCIETE SUPER CERAME.

1. Aperçu général :

Super Cérame est une filiale d'Ynna Holding (groupe Chaâbi) et a pour activités la conception, fabrication et la commercialisation des carreaux céramiques pour revêtement des sols et des murs aussi que des prestations associées (assistance et conseil technique).

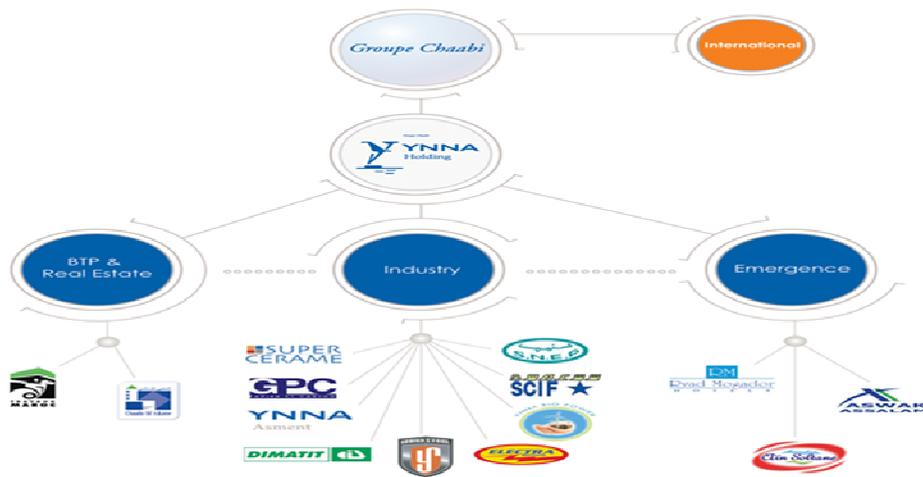


Figure1: Ynna Holding (Groupe Chaâbi).

Il possède une grande panoplie de choix de carreaux pour différentes utilisations :



- ☞ Grès porcelaine brut ou poli ;
- ☞ Carreaux émaillés en pâte blanche ;
- ☞ Carreaux émaillés en pâte rouge ;
- ☞ Faïence (essentiellement pour mur) ;
- ☞ Petits éléments en Mosaique.

Super Cérame dispose de trois grands sites de production sur Casablanca, Kenitra et Berchid et de plusieurs agences réparties dans les principales villes du Maroc (Casa, Marrakech, Agadir, Tanger, Oujda, Tanger et Kenitra) [1].

2. Historique :

- 1964 : Mr Miloud CHAABI lance le projet NECI, première unité de fabrication de carreaux de faïence au Maroc.
- 1968 : Démarrage du produit NECI (1000m²/jour)
- 1982 : La société NECI devient PROCERAME.
- 1989 : Rénovation et développement de la société PROCERAME.
- 1991 : Création de la société GROS CERAME, successeur de l'usine PROCERAME.
- 1991-1999 : une succession d'extensions de Gros Cérame [2].

3. Equipe :

Super cérame doit son succès à son équipe dirigeante et ses collaborateurs impliqués dans un processus de management par la qualité.

La répartition des collaborateurs selon leurs catégories: [1]

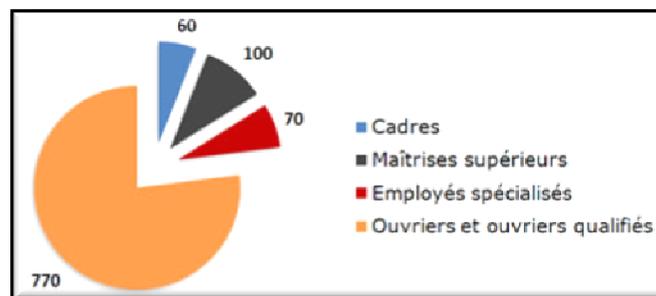


Figure 2: Nombre global de collaborateurs.

4. Certification :



Super Cérame a mis en place un système de management de la qualité qui a nécessité une vision d'ensemble qui touche tous les niveaux de l'entreprise qui se retrouvent intégrés dans un processus d'amélioration continue visant à faire évoluer les différentes règles, procédures et systèmes au sein de l'entreprise dans un seul dessein : satisfaire le client.

Aujourd'hui, Super Cérame est doublement certifiée **ISO 9001 version 2000** par l'AFAQ (Association Française pour l'Assurance Qualité) pour son système de management, et **Normes Marocaines NM ISO 13006** par le SNIMA (Service de Normalisation de l'Industrie Marocaine) pour ses produits céramiques qui répond aux exigences de qualité requis dans un carreau céramique [1].



NM ISO 13006 - Casablanca



ISO 9001 : 2000



NM ISO 13006 – Kenitra

Figure 3 : Certificats de super cérame.

5. La production de super cérame :

A super cérame, on rencontre en général deux types de produits qui sont différents par leur formule, leurs procédés de fabrication et par leurs utilisations.

❁ *Produit de mur.*

Il s'utilise en pose murale intérieure ou extérieure. L'émaillage s'effectue sur les carreaux ayant déjà subi une 1^{ère} cuisson. Ces carreaux sont donc cuits deux fois d'où le nom de « **Bi**



cuisson » donné au procédé de fabrication de ce produit, ou la **Mono Poreuse** qui a un procédé de mono cuisson.

❖ *Produit de sol.*

Il s'utilise pour le revêtement du sol, sa fabrication s'effectue en une seule cuisson puisque l'émaillage s'effectue directement sur les carreaux séchés, d'où le nom « **Mono cuisson** » donné au procédé de fabrication de ce produit,

6. Organigramme général:

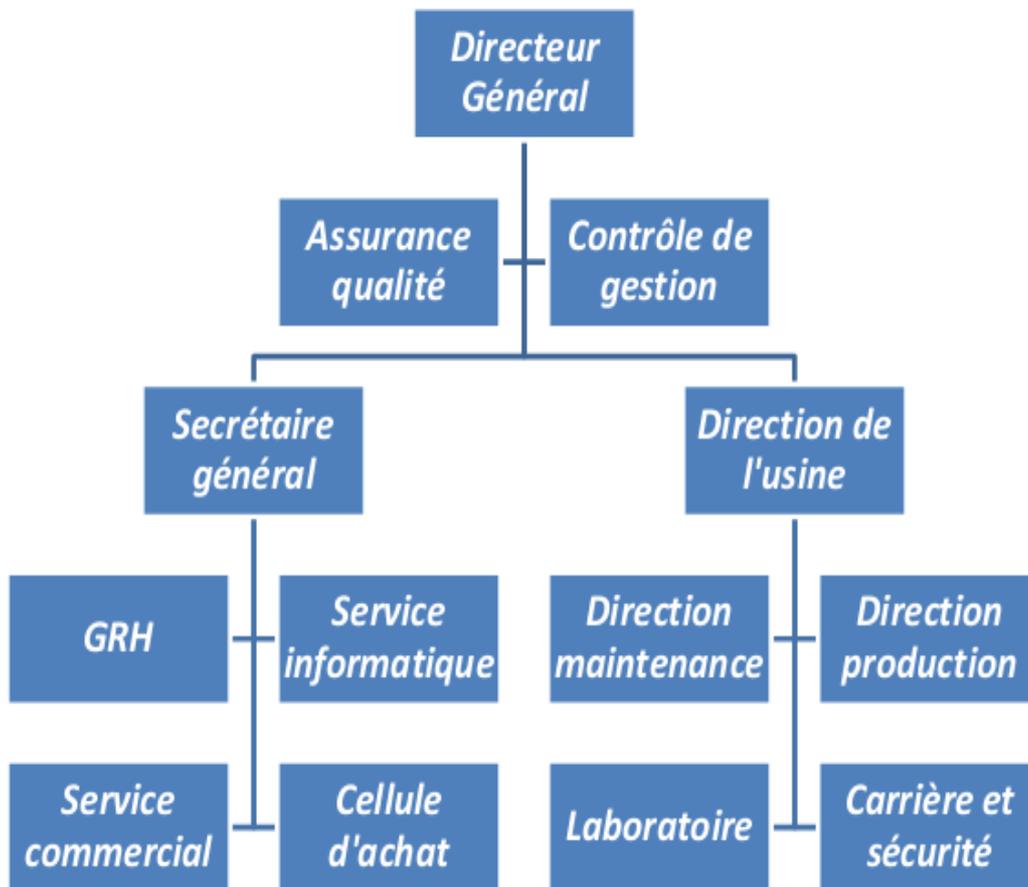


Figure 4: Organigramme générale.



CHAPITRE II: Généralité sur les céramiques

I. L'industrie céramique.

1. Le marché mondial de l'industrie de la céramique :

L'industrie mondiale de fabrication de carreaux et des sanitaires connaît, durant ces dernières années, une croissance remarquable qui s'explique notamment par les éléments suivants :

- ☞ Une abondance et un accès facile aux matières premières et intrants ;



- Des technologies de plus en plus simples et de plus en plus fiables ;
- Une croissance démographique et une évolution des niveaux de vie de la population mondiale stimulant la demande ;
- Un accroissement des conditions hygiéniques au sein des foyers.

Dans l'industrie céramique, les caractéristiques techniques et qualitatives des produits sont fixées par des normes universellement acceptées et demeurent à la base de toute opération d'import-export.

Les principaux paramètres d'appréciation de la qualité des produits céramiques sont : la dimension, l'épaisseur, les caractéristiques des émaux, la nature d'utilisation, la qualité de la pose et l'entretien.

La production céramique concerne essentiellement la fabrication de carreaux, de sanitaires et d'articles en faïence à usage domestique.

L'essentiel de la transformation industrielle mondiale dans le domaine de la céramique est réalisé sur les deux premières applications :

- La fabrication des carreaux ;
- La fabrication des sanitaires.

Tableau 1: Production mondiale des carreaux.

Années	1998	1999	2000	2001	2002
Production en millions de m ²	4 395	4 646	4 889	5 083	5 280

La production mondiale s'élève en 2002 à 5 280 millions de m², soit 142 fois la production du Maroc. Elle progresse en moyenne à 4.5% par an et a enregistré en cinq ans une progression de 20%. Le secteur des carreaux est relativement automatisé. Il compte plusieurs pays producteurs qui eux même abritent plusieurs industries de tailles plus ou moins distinctes, mais souvent de taille mondiale pour les cinq premiers producteurs à l'échelle internationale. Ceci à l'inverse du secteur des sanitaires, qui témoigne de mouvements de concentration transcontinentaux, réduisant le nombre de producteurs mondiaux à une dizaine.



Le tableau 2 résume l'étude benchmarking des modèles d'industries et les facteurs qui en déterminent le succès du pays étudié : Turquie, Espagne, Egypte, Tunisie et Italie.

Tableau 2 : Données significatives des pays de benchmarking et du Maroc pour l'année 2002.

	Egypte	Espagne	Tunisie	Turquie	Italie	Maroc
Production de carreaux (en millions de m²)	100	651	30	150	606	37
Sociétés significatives	12	265	7	26	250	14
Consommation m²/habitant/an	1.61	7.5	1.66	1.45	3.11	1.3
Vente à l'export en %	15-20	53	40-50	40	71	N.S
Stockage en mois de production €/m²	1	4	1	1	5	-
Coûts de monocuisson €/m²	1.5	4.5	2.2	2.2	7.3	3.7
Pris de vente moyen €/m²	2.4	5.38	3.2	3.06	8.52	6.3
Coût de l'énergie thermique 1m³ gaz naturel équivalent	0.02	0.2	0.09	0.18	0.206	0.88
Coût d'un ouvrier non spécialisé par an en €	2200	32000	3500	6600	35000	2500
Pièces sanitaires (en millions)	6.5	8	1.5	7	9.6	2.5

2. L'industrie de la céramique au Maroc :

L'industrie céramique au Maroc s'articule autour de trois principaux pôles de fabrication créateurs de richesses :

- ☞ La production des carreaux destinés aux sols et murs ;
- ☞ La production des articles de sanitaires utilisés pour les salles de bains ;
- ☞ La fabrication d'objets en céramique pour l'utilisation domestique.

En somme, le secteur de la transformation céramique au Maroc est récent. Il a bénéficié de la construction de la réorganisation du marché de l'immobilier insufflé par le programme des 200 000 logements et consolidée par des incitations fiscales dans le cadre d'une convention conclue entre l'état et les principales sociétés de promotion immobilières opérant sur le territoire marocain.

Le Maroc occupait en 2002 au niveau mondial les places suivantes :



- ☞ Production carreaux : 23^{ème} position avec 37 millions de m², ce qui correspond à 0.7% de la production mondiale ;
- ☞ Production sanitaire : avec 2.5 millions de pièce, 0.9% de la production mondiale était réalisée au Maroc.

A l'heure actuelle, le potentiel mondial de la production céramique (carreaux et sanitaires) est supérieur à la consommation (8-10%) mais la tendance positive de croissance est quant à elle consolidée et très prometteuse comme le démontre l'évolution de la branche sur le long terme. **Plus de 20 000 emplois directs et indirects, des investissements de l'ordre de 2,5 milliards de dirhams. L'industrie marocaine de la céramique est, en général, une activité à capitaux marocains.** Secteur à forts capitaux marocains, l'industrie de la céramique est à la croisée des chemins. D'après l'Association des producteurs (APIC), les importations massives en provenance de certains pays mettent en danger les 20 000 emplois directs et indirects générés par le secteur.

Par filière, le plus gros employeur est l'activité carreaux, avec, en 2003, plus de 80% des salariés du secteur et une production de 30 millions de mètres carrés, soit autant que la consommation marocaine (33 millions de mètres carrés). Les 21 unités que compte la filière, disposent d'une capacité installée de 40 millions de mètres carrés. Cette branche génère aussi plus des 2/3 des revenus du secteur et plus de 90% des investissements du secteur.

Dans la céramique, les leaders ont pour nom Super Cérame, filiale d'Ynna Holding, Union Cérame, Facemag, Cocema, Grocer, Facérame, Ceramica Ouadras. La plupart de ces grandes entreprises ont participé à l'enquête réalisée par le ministère du Commerce extérieur. Les opérateurs font face à une augmentation massive des importations, de l'ordre de 120% entre 2002 et 2004. Ce qui est suffisant selon les producteurs pour que l'Etat active les dispositions de la loi 13-89 promulguée par le dahir n° 1-91-201 du 9 novembre 1992. Ce texte stipule que lorsque les importations causent un préjudice à l'industrie nationale, l'Etat a le droit de mettre en place des mesures de sauvegarde. Sur le plan réglementaire, depuis novembre 2004, l'industrie de la céramique est soumise aux normes marocaines.



CHAPITRE III :

Matière première et propriété des céramiques

I : La matière première.

1. Introduction :

Les carreaux céramiques ou dalles céramiques sont des plaques plates peu épaisses fabriquées avec de l'argile, de la silice, des fondants, des colorants et d'autres matières premières. Ils sont utilisés généralement comme dallages de sols et carrelages de murs et façades. Les carreaux céramiques, utilisées pour dallage ou carrelage, sont des plaques de céramique imperméables qui, normalement, sont composées d'un support d'argile et d'un recouvrement vernissé : l'émail céramique.

La composition des carreaux et produits sanitaires fait appel à des matières premières plastiques et non plastiques, essentiellement d'origine naturelle comme les argiles, feldspaths, kaolins, silice :

- Argile ou terre : mélange plastique et apte à prendre la forme désirée.
- Quartz : se solidifie et constitue en quelque sorte la charpente du carreau.
- Feldspath : se vitrifie sous l'influence de la chaleur et donne la résistance et le liant.
- Kaolin : adjuvant donnant plus de qualité au support et à la réception des émaux fins.

2.Définitions : (Céramique, Email, Engobe).

✿Céramique.

Sont des matériaux inorganiques, composés d'oxydes, de carbures, de nitrures et de borures. Les céramiques présentent des liaisons chimiques fortes de nature ionique ou covalente. Elles sont mises en forme à partir d'une poudre de granulométrie adaptée qui est agglomérée. Dans une deuxième étape, la densification et la consolidation de cet agglomérat sont obtenues par un traitement thermique appelé frittage. A la différence des verres, les céramiques, en tous cas dans les matériaux les plus anciens, sont constituée de deux phases distinctes : une phase vitreuse, la matrice (désordonnée) et une phase cristalline dispersée(ordonnée) [3].

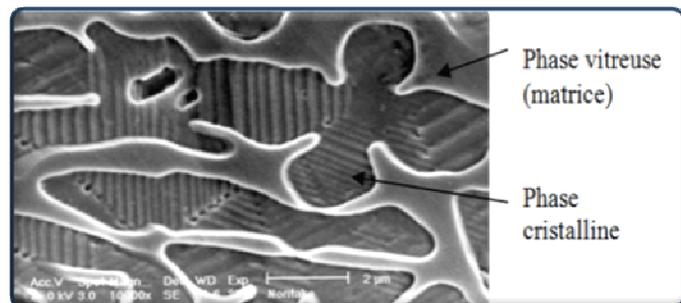


Figure 5: Microphotographie en MEB d'une céramique.

Il faut, tout de même, distinguer deux types de matériaux :

- les céramiques traditionnelles (silico-alumineux), qui sont issues de matières premières naturelles (argile, feldspath, kaolin, quartz) et généralement mises en oeuvre par coulée (barbotine),
- les céramiques techniques (associations métal-métalloïde), 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 électrofusion (les oxydes sont coulés directement dans un moule) [3].

✿ Email.



L'émail est une substance vitreuse composée, notamment, de silice, de feldspath, de kaolin et d'oxydes métalliques. Ce mélange, proche d'une terre ou d'une pâte, se vitrifie sous l'action de la température, lors de la cuisson.

Matière vitreuse, transparente ou opaque, dont on recouvre certaines matières pour les protéger, leur donner de l'éclat ou les colorer d'une façon inaltérable [3].

✿ *Engobe.*

C'est un revêtement mince à base d'argile délayée (colorée ou non) appliqué sur une pièce céramique pour modifier sa couleur naturelle, pour lui donner un aspect lisse ou pour obtenir une couche de base aux propriétés physico-chimiques spécifiques réagissant avec l'émail.

Un engobe se différencie d'un émail par sa teneur en argile. En effet, on a tendance à croire que les engobes ne produisent pas de surfaces vitrifiées mais cela ne représente pas la réalité car certains engobes vitrifient sans problème.

La grande différence est que l'engobe contient beaucoup plus d'argile dans sa composition qu'un émail [3].

3-Matières plastiques « les argiles » :

Elles constituent une part importante dans l'élaboration des produits céramiques. Procurent aux pâtes la plasticité et leur cohésion en cru, et permettent le façonnage et la manutention du produit et donnent aux produits façonnés une résistance mécanique le long de la chaîne de fabrication.

Le mot argile désigne deux notions dans le jargon géologique : une particule et un minéral.

- Particule : C'est une particule dont la dimension est inférieure à 4 micromètre et c'est quelle que soit sa nature minéralogique.
- Minéral : L'argile est un minéral (plus exactement une famille de minéraux) de la famille des silicates, plus précisément des phyllosilicates (silicates en feuillets). Leur structure est identifiable par étude aux rayons X ; elle se caractérise par la superposition de feuillets, ou espace interfoliaire, et où se placent divers cations comme K^+ , Na^+ , Ca^{2+} . L'argile est généralement issue de l'altération par l'eau des autres silicates (Sauf le quartz). C'est pour cette



raison qu'on le trouve systématiquement dans les sols et formations superficielles. Minéral détritique ultrafin, on le trouve aussi très fréquemment dans les roches sédimentaires. Mélangé à un autre minéral comme la calcite, il formera de la marne [3].

✦ *Structure des minéraux argileux.*

Les divers types de minéraux argileux résultent de différents agencements des feuillets tétraédriques et octaédriques. On a ainsi le feuillet élémentaire type A : (groupe de la kaolinite) donné par la combinaison d'un feuillet tétraédriques avec une couche octaédrique.

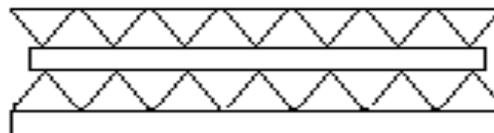


Le feuillet type B : (groupe

Talc, Montmorillonites, Micas) est donné par la combinaison d'une couche octaédrique placée entre deux couches tétraédriques.



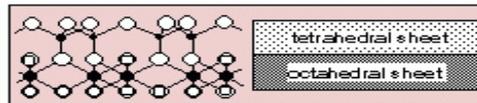
Dans le type C : (groupe de Chlorites) donné par des unités du type B où s'intercale une autre couche octaédrique.



Au sens géographique, les argiles sont des sédiments qui se sont formés par la décomposition des roches métamorphiques, sous l'influence d'agents réducteurs. Les minéraux (hydrosilicates d'aluminium) prédominant dans les argiles sont : [4]

☞ Kaolinite : Ce sont des argiles blanches, friables et réfractaires; minéraux non gonflants (augmentation de volume en présence de l'eau) ; leur point de fusion dépasse 1800°C, ils sont de faible plasticité. Le kaolin a la formule structural théorique suivante: $\text{Si}_2\text{Al}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ [3].

kaolinite



- silicate example: **kaolinite**: $Al_2Si_2O_5(OH)_4$
 - ♦ composed of sequences of T (silica) and O (gibbsite) sheets
 - ♦ thus called a 1:1 clay mineral

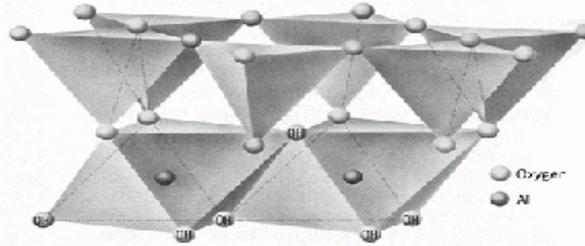


Figure 6: Structure de la kaolinite.

☞ Montmorillonite : C'est un minéral de formule chimique $Si_{12}O_{30}Al_5MgNa(OH)_6$, appelé aussi terre de sommier utilisée comme détachant ou bentonite employée en génie civil en raison de ses propriétés colloïdales elle est très importante pour la céramique, elle est caractérisée par sa grande plasticité [3].

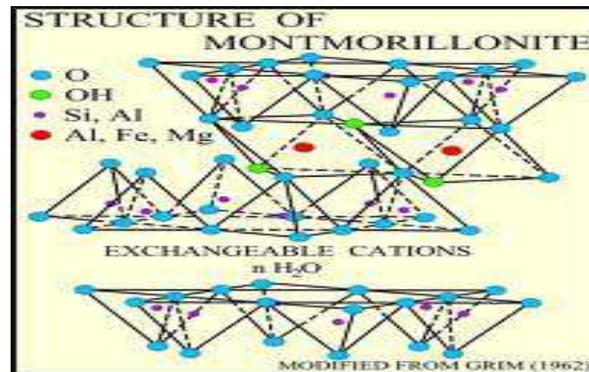


Figure 7: Structure de la montmorillonite.

- ☞ Illite : ayant une structure semblable à celle de montmorillonite, il y a remplacement de silice par l'alumine [3].
- ☞ Les feldspaths : ce sont des minéraux composés de silice en excédent, ils constituent jusqu'à 70% en masse des roches granitiques et 10% en masse des roches basaltiques ; les trois principaux feldspaths associés aux minéraux argileux sont: l'albite($NaAlSi_3O_8$), la microcline ($KAl_2Si_2O_8$), l'anorthite($CaAl_2Si_2O_8$) [3].



Le quartz est un minéral du groupe de silicates ; libéré par les roches ignées(roches devenant de magma), particulièrement les granites; composé de dioxyde de silicium de formule SiO_2 (silice) avec des traces de Al; Li; B; Fe; Mg; Ca; Ti; Rb; Na; OH [3].

Les argiles utilisées au niveau de Super Cérame Kenitra sont :

Tableau 3: La composition de différentes argiles utilisées à super Cérame [4].

B8 Rouge casa:

composé	SiO_2	Al_2O_3	K_2O	MgO	TiO_2	Na_2O	P_2O_5	CaO	Cl
Conc. %	54.7	25.1	2.59	1.56	1.14	0.736	0.275	0.271	0.0782
	Fe_2O_3	MnO	ZrO_2	NiO	ZnO	Rb_2O	Nb		
	7.28	0.0395	0.0264	0.0259	0.0235	0.0168	<<<		

B5 Noir :

composé	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	K_2O	MgO	TiO_2	Na_2O	P_2O_5	CaO
Conc. %	53.4	26.4	5.83	2.55	1.47	1.19	0.596	0.365	0.331
	MnO	Cl	NiO	ZrO_2	SrO	Rb_2O	Y_2O_3		
	0.0915	0.073	0.0278	0.0276	0.0178	0.0177	0.00268		

ATM mélange :

Composé	SiO_2	CaO	Al_2O_3	Fe_2O_3	K_2O	MgO	P_2O_5	Na_2O	ZrO_2
Conc. %	61.3	10.7	7.83	4.13	1.35	1.11	0.577	0.511	0.091
	Cl	SO_3	NiO	SrO	TiO_2				
	0.053	0.0344	0.0236	0.0165	0.01				

Argile AK :

Composé	SiO_2	Al_2O_3	K_2O	Fe_2O_3	MgO	TiO_2	Na_2O	BaO	P_2O_5



Conc. %	70.9	17.1	3.99	2.87	0.901	0.806	0.198	0.169	0.1
	Cs ₂ O	CaO	MnO	ZrO ₂	Rb ₂ O	SrO	Y ₂ O ₃		
	0.0937	0.0634	0.0454	0.0408	0.019	0.006	0.00391		

ATM zone 1 :

composé	SiO ₂	CaO	Al ₂ O ₃	MgO	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	Na ₂ O	SO ₃	P ₂ O ₅
Conc. %	43.7	18.1	8.02	2.97	2.87	1.42	0.561	0.504	0.213
	BaO	SrO	ZrO ₂	Rb ₂ O	TiO ₂	Y			
	0.197	0.0446	0.0283	0.023	0.01	<<<<			

Masse bi cuisson Kenitra :

Composé	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	MgO	Na ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅
Conc. %	54.1	17.4	5.72	5.57	1.97	1.49	0.732	0.452	0.32
	BaO	MnO	SO ₃	ZrO ₂	Au	SrO	Rb ₂ O		
	0.0897	0.074	0.0496	0.0287	0.0287	0.016	0.0138		

✿ Relation entre propriétés et caractéristiques des argiles.

La kaolinite peut être subdivisée en kaolinite à structure bien ordonnée et kaolinite à structure désordonnée. Les argiles contenant la kaolinite à structure désordonnée et à petits cristaux sont plus plastiques, ont une résistance mécanique plus élevée en cru et un pouvoir d'échange des cations plus grand par rapport aux argiles contenant de la kaolinite à structure ordonnée. L'illite est, au contraire, un minéral argileux à structure micacée.

4-Matières non plastiques :



Ce sont les matières premières les plus importantes pour la fabrication de produits en céramique, elles sont utilisées à divers degrés de pureté et de granulométrie. On distingue les matières premières dégraissantes et les matières premières fondantes [3].

✦ *Les matières premières dégraissantes.*

Ces matières ont pour rôle la diminution du retrait due à la plasticité trop excessive de l'argile. On les distingue aussi par le terme << dégraissants >>, elles ont, en outre, pour but d'améliorer certaines propriétés lors de la cuisson, telles que les changements de point de fusion, de l'aspect et de la densité [3].

✦ *Les matières premières fondantes.*

Ce type de matières non plastiques a une action plus ou moins vitrifiant sur la pâte, action qui se révèle au cours de la cuisson à partir de certaines températures, ces matières sont des fondants qui, en général assurent l'augmentation de l'intervalle de frittage et la diminution de température de cuisson [3].

II : propriétés des céramiques.

1. Les propriétés générales des céramiques :

✦ Liaisons chimiques.

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

Tableau 4: Énergie de quelques liaisons.

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

La différenciation structurale se fait essentiellement par diffraction aux rayons X, les autres analyses possibles telles que chimiques, thermiques différentielles, microscopie électronique, ne servant qu'à déterminer la composition chimique des différents argiles [4].

2. Propriétés mécaniques :



Les objets en céramique sont habituellement assez peu denses, très durs et dotés d'une bonne résistance mécanique, même à des températures très élevées. D'une manière générale, leur résistance à la compression est bien supérieure à leur résistance à la traction, ce qui est une des caractéristiques des matériaux fragiles. En fait, c'est la présence de petites imperfections ou d'impuretés qui leur confèrent ce comportement ; les céramiques très pures peuvent souvent supporter des chocs mécaniques relativement violents [2].

3. Propriétés thermiques :

Température de fusion.

Les céramiques possèdent une température de fusion très élevée qui peut dépasser 2000°C à cause de ses liaisons chimiques qui sont fortes. Le tableau montre quelques valeurs de température de fusion (T_f) de quelques céramiques [2].

Tableau 5: Température de fusion de quelques céramiques.

Matériaux	Al_2O_3	MgO	CaO	TiN	SiO_2
T_f °C	2070	2640	2625	2950	1700

Conductibilité thermique.

En général, les céramiques sont considérées comme des isolants thermiques à cause de l'absence totale des électrons libres et la nature des liaisons chimiques, la conductibilité dépend de la composition chimique, de l'état d'agrégation et de la température ; elle dépend aussi considérablement de la forme, de la grosseur, de l'orientation et de la répartition des pores. Dans les substances vitreuses la conductibilité thermique croît avec la température mais dans les corps cristallins au contraire elle est inversement proportionnelle à la température [2].

4. Propriétés électroniques :

Les céramiques contiennent trois catégories des matériaux, isolants, semi-conducteurs et autres conducteurs mais en général la plupart des céramiques sont des isolants et leurs conductivités sont faibles par rapport aux métaux à cause de la nature des liaisons et l'absence des électrons libres [2].

5. Propriétés chimiques et environnementales :



Les céramiques présentent généralement une très grande inertie chimique et résistent bien aux attaques des 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 [2].

CHAPITRE IV : PROCESSUS DE FABRICATION

I. Introduction.

Le procédé céramique adopté pour la fabrication des carreaux comporte plusieurs étapes allant du choix des matières premières à la validation du produit fini. Son optimisation impose la maîtrise des paramètres propres à chaque étape du processus : le choix de matières premières de bonne pureté, l'optimisation de la durée de broyage, le contrôle de la mise en forme (barbotines, atomisation, compactage et séchage) et l'adoption d'un cycle de cuisson en relation avec la qualité souhaitée pour le produit fini...

Il y a deux types de carreaux céramiques fabriqués par super cérame :

- Carreaux mono cuisson.
- Carreaux bi cuisson / mono poreuse.

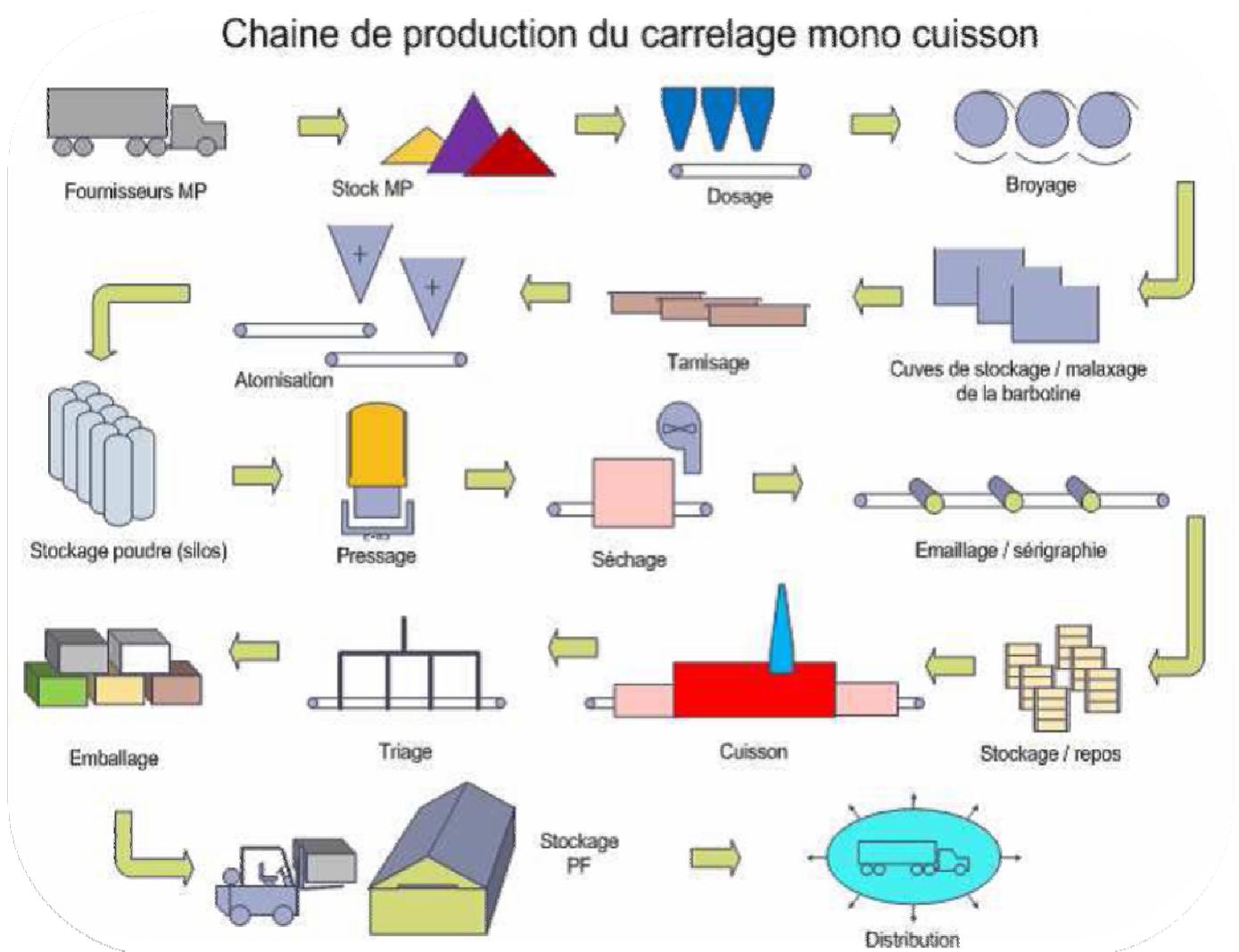


Figure 8: Processus de fabrication des carreaux mono cuisson.

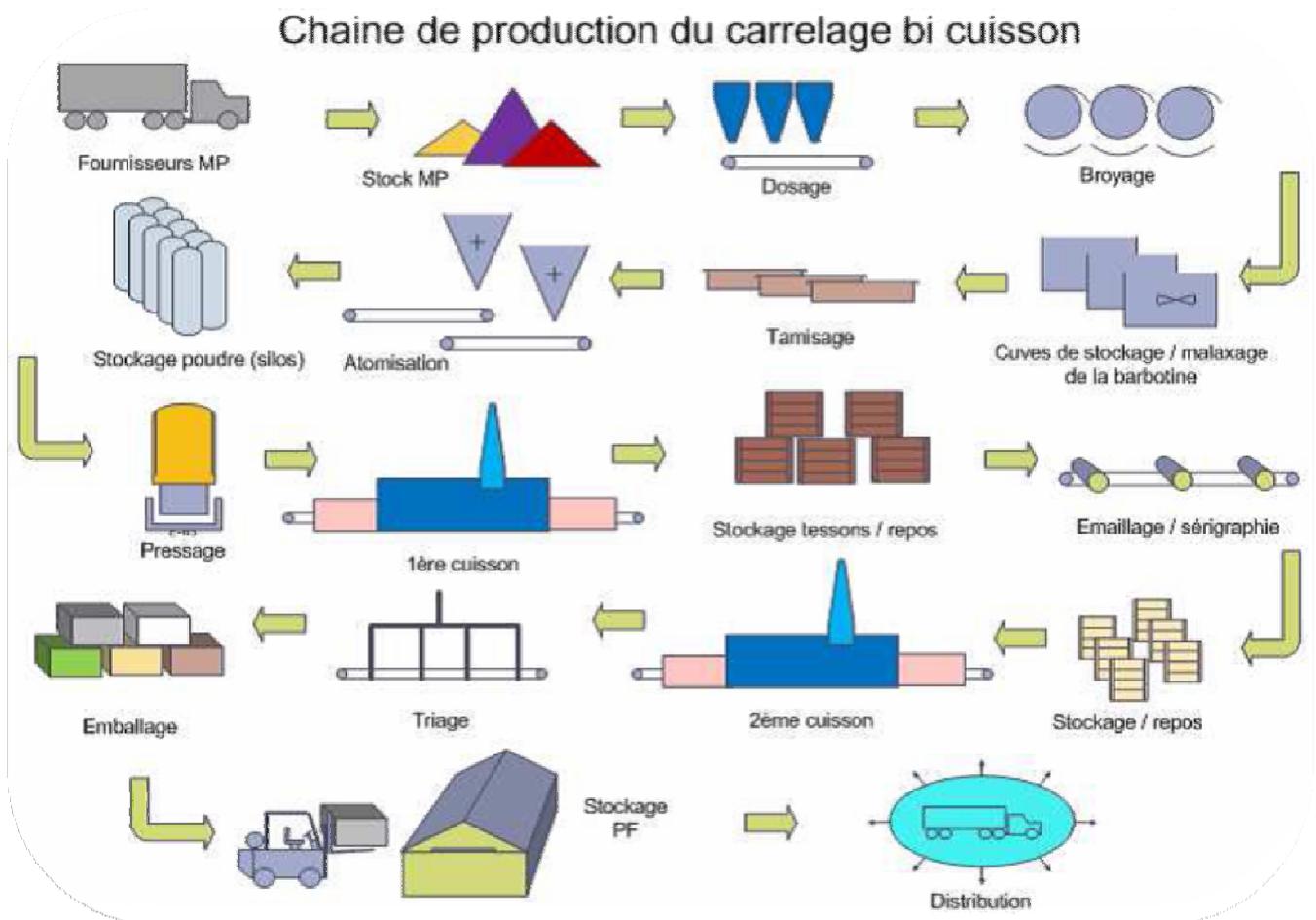


Figure 9: Processus de fabrication de la bi cuisson.

II .Processus de fabrication.

Le procédé de fabrication des carreaux céramiques se résume sur la figure ci-dessus:

1. Préparation de la barbotine :

a. Pesage.

Pour la préparation de la barbotine, deux types de matières premières sont utilisés. La matière première qui sert à préparer les carreaux mono cuisson et celle pour élaborer les carreaux bi cuisson/ mono poreuse.

Les principales matières premières utilisées dans la fabrication de la céramique sont :

-L'argile ou terre : mélange plastique.

-Quartz: se solidifie et constitue en quelque sorte la charpente des carreaux et augmente le coefficient de dilatation par l'apport de silice SiO_2 .

- Sable: se vitrifie sous l'influence de la chaleur, donne la résistance par le rôle du liant et diminue la porosité.
- La chaux : présente un grand pourcentage de CO_2 , augmente le taux d'absorption et bloque le retrait.



Figure 10: Les cases à terre.

b. Broyage humide de la matière première.

Les mélanges de matières premières passent dans un broyeur qui les réduira en suspension argileuse, et en grains plus ou moins fins selon les caractéristiques du produit traitant.

Les broyeurs sont remplis de billes d'alumine servant comme corps broyant. Le remplissage de billes d'alumine se fait de telle sorte que le niveau plein de ces broyeurs soit de 45%, puis on ajoute les matières à broyer avec les quantités adéquates d'eau et de dé-floculant.

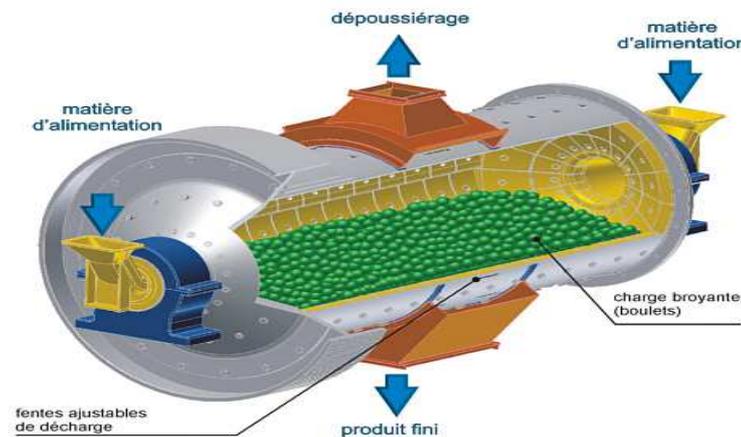


Figure 11: Broyeur.



Après broyage, la barbotine est tamisée par des tamis à différents diamètres, puis stockée dans des cuves qui sont munis d'agitateurs tournant de façon continue pour que la barbotine reste homogène et pour qu'elle soit prête pour l'étape qui suit.

2. Préparation de la poudre par atomisation :

a. Principe de l'atomisation.

L'atomisation est un processus qui permet la transformation de la barbotine en une poudre homogène ; elle se fait par la pulvérisation de la barbotine dans une chambre à l'aide des buses. La suspension argileuse est séchée par l'air chaud donnant une poudre.

b. Description et fonctionnement de l'atomiseur.

Après broyage, la barbotine stockée dans des cuves intermédiaires est transportée par des pompes pour la pousser vers la chambre d'atomisation en utilisant des pompes à piston à haute pression ajustable. A l'extrémité des buses, la barbotine est nébulisée en fines particules et tombe dans un contre courant d'air chaud. De cette manière, le séchage est immédiat.

Les particules sont acheminées vers les silos de stockage à l'aide des bandes transporteuses.



Figure 12 : L'atomiseur.

3. Pressage:

Le pressage est la méthode de façonnage des carreaux céramiques la plus utilisée. Il est réalisé en deux temps :

- ☞ Première pressage : permet de chasser l'air existant entre les grains.
- ☞ Deuxième pressage : permet le "compactage" finale du carreau.

La poudre atomisée est envoyée aux presses à l'aide des bandes transporteuses, mettant en communication la charge des trémies avec le système de distribution de la poudre.

Donc, on peut dire que la poudre acheminée du silo, à l'aide des bondes, sert à remplir les trémies. La distribution de la poudre se fait à l'aide d'un chariot.

Le chariot distribue la première fois la poudre lors du passe aller, la deuxième fois lors du passage retour ; il racle l'excédent et rend la surface de la poudre dans l'empreinte creuse du moule plane.



Figure 13 : Les presses.

4. Séchage :

Les carreaux pressés sont en suites séchés à 180 °C dans un séchoir. Ce traitement permet d'augmenter la résistance des carreaux à la flexion pour qu'ils puissent résister à la sérigraphie, et d'enlever l'eau d'humidité des carreaux pour permettre une meilleure adhérence avec l'email.

5. Emaillage :

L'émaillage est l'ensemble des étapes qui permettent au carreau d'avoir son apparence finale. Ces étapes peuvent être énumérées comme suit :

- ☞ L'arrosage : il a pour rôle de détecter les trous sur le carreau, de baisser sa température et de le préparer à l'engobage.
- ☞ L'engobage à la cloche: qui a pour rôle d'éliminer les défauts de surface tels que les cratères et les fissures...
- ☞ L'émaillage : cette opération a pour objet de déterminer l'apparence du carreau. les modèles existants sont le mat, la cristallines et le blanc.



Figure 14 : cloche de l'engobe et de l'email.

- ☞ La sérigraphie à plat : le carreau peut contenir une ou plusieurs couleurs, et chaque couleur est imprimée par le biais de la sérigraphie.

La sérigraphie à plat se fait via un écran installé dans un chariot. Celui-ci a la fonction d'étaler la couleur et ensuite effectuer la pression sur le carreau.



Figure 15: Sérigraphie plat.

- ☞ La sérigraphie rotative : cette technique est pertinente dans la mesure où elle assure :
 - * Une économie de temps (passage plus rapide).
 - * Une meilleure impression des couleurs.

- * Une meilleure durabilité du polymère, qui peut atteindre facilement 50 000m²



Figure 16 : Tambour de rotocolor.

- ☞ La colle : elle colle la sérigraphie sur le carreau avant de passer à la sérigraphie suivante.
- ☞ L'engobe à rouleau: il permet de nettoyer la partie inférieure du carreau, et d'éviter son collage sur les rouleaux du four.

6. Cuisson:

La cuisson se fait dans un four à rouleaux, qui est constitué des zones suivantes :

- ✓ Zone de séchoir.
- ✓ Zone de préchauffe.
- ✓ Zone de cuisson où la température est trop élevée, de l'ordre de 1160°C.
- ✓ Zone de refroidissement: où la température commence à diminuer progressivement en utilisant le soufflage et l'aspiration de l'air.

Les zones sont séparées par des moufles dans la partie supérieure du four et par les murs de séparation dans la partie inférieure. Cette séparation a pour but d'inhiber le transfert de la chaleur entre les zones. Lors de l'aspiration de la chaleur, ces obstacles permettent de garder la température dans la zone de la cuisson.

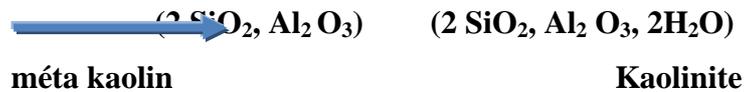
Les zones de préchauffage et de cuisson contiennent des brûleurs sur les deux parties inférieures et supérieures et sur les deux cotés latéraux du four. Ces brûleurs sont alimentés en propane et en air. La température des zones est appréciée par des thermocouples, thermorégulateur et le servomoteur qui sont en relation entre eux. Le servomoteur règle le débit du gaz et de l'air.



Figure 17 : Four à rouleaux.

On peut dire qu'au cours de la cuisson, les carreaux subissent les effets suivants :

- ☞ Jusqu'à 200°C environ, il s'effectue l'évacuation de l'eau résiduelle de séchage.
- ☞ Elimination des matières organiques présentes dans les argiles par combustion.
- ☞ Les acides humiques brûlent facilement entre 400°C et 500°C.
- ☞ Transformation des silicates après déshydratation : cas de la kaolinite après départ de l'eau entre 500°C et 800°C.

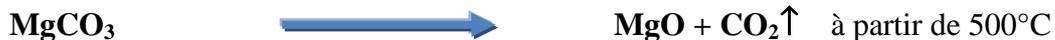


- ☞ Transformations allotropiques : Transformation du quartz à 573°C



- ☞ Décompositions des carbonates :

- Carbonate de magnésium



- Carbonate de calcium



- Le méta kaolin se transforme entre 800°C et 950°C en Mullite et silice Amorphe.



- ☞ **La cuisson :**

Pour résoudre le problème de la formation des pores au sein des carreaux, la température doit être maintenue entre 1000°C et 1900°C pour la bi cuisson et entre 1120°C et 1180°C pour la monocuisson. Dans le cas de cette dernière, il apparaît une phase liquide visqueuse plus au moins



importante permettant de coller les granulats du carreau poreux les uns aux autres. Ce phénomène entraîne une diminution de la porosité sous l'action de la chaleur : c'est le phénomène de frittage.

Dans le cas de la bicuisson, l'excès de carbonate favorise la formation de phase cristalline à l'origine de la consolidation de tesson.

☞ Refroidissement :

Le refroidissement doit atteindre son maximum et il s'effectue selon trois étapes.

🚦 Refroidissement rapide.

Cette étape consiste à figer certaines structures cristallines selon une texture appropriée et elle s'accompagne d'un :

- Refroidissement rapide direct par injection de l'air frais directement sur les carreaux.
- Refroidissement rapide indirect qui consiste à un échange de chaleur entre la zone de refroidissement et l'air frais à travers des canaux traversant la zone.

🚦 Aspiration contrôlée.

Elle assure un refroidissement lent et progressif qui permet l'évolution des transformations allotropiques réversibles du quartz au voisinage de 573°C tout en évitant les cassures par choc thermique des carreaux.

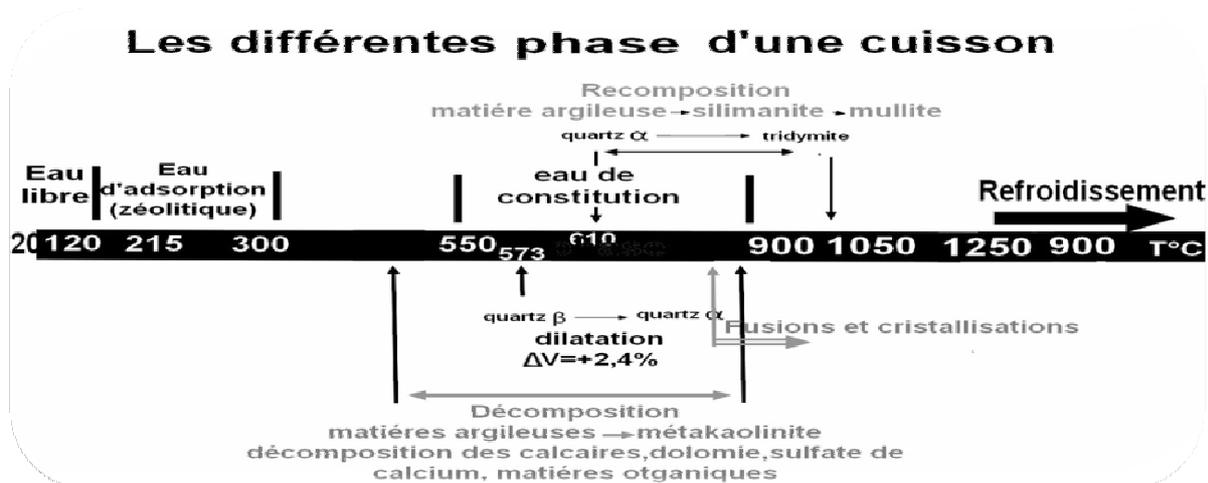


Figure 18 : Les phases de cuisson.

Economique	Au milieu	Défaut mineur
Solde	A gauche	Visuel très clair
Double solde	Sur les bords	Défaut majeur

Une autre étape de contrôle est le contrôle par la machine calibreuse en vue de détecter les défauts liés aux caractéristiques dimensionnelles du carreau telles que :

- La planéité : défaut de bombage (convexité, concavité, effet de trapèze,...) ;
- Le calibre : pour remédier au problème d'écart dimensionnel après cuisson.

La sélection n'est réalisée que pour le premier choix. Les autres ont des calibres mélangés.



Figure 21 : Machine calibreuse.

8. Contrôle qualité :

✿ Contrôles au PDM (préparation des masses).

- Formule monocuisson et bicuisson
- % CaCO_3
- Humidité
- Granulométrie
- Contrôle barbotine : densité, viscosité, refus

✿ Contrôle presses.

- Humidité masse
- Dimension carreaux
- Epaisseur
- Densité apparente

✿ Cuisson : fours biscuit.

- Dimension
- Résistance à la flexion



- Porosité
- Perte au feu

✿ Cuisson : fours émail.

- Dimension
- Résistance à la flexion
- Porosité
- Retrait
- Perte au feu

✿ Contrôle lignes d'émaillage.

- Colorant : densité
- Emaux : densité, viscosité, grammage

Partie II :
Amélioration du taux de premier choix
des carreaux céramiques.



I. Introduction.

Face à une concurrence de plus en plus forte et à des clients de plus en plus exigeants, la qualité est de plus en plus essentielle pour toute entreprise qui propose des biens et/ou des services sur un marché.

De nos jours l'impact de la qualité s'est profondément élargi, puisqu'elle ne touche pas seulement le produit, mais aussi les procédés de fabrication, les équipements, les hommes, l'organisation et toutes les procédures de travail au sein de la structure.

Chaque pilote du processus respecte les objectifs de la politique qualité de l'entreprise tracée par la direction générale et qui est comme suit :

- Satisfaction du client :
 - ⊗ Honorer le délai de livraison relatif à la quantité du premier choix demandée (le client ne demande généralement que le premier choix).
 - ⊗ Livrer un produit d'une bonne qualité intrinsèque (la fabrication continue d'un taux du premier choix minimise l'infiltration du produit non conforme).
- Rentabilité économique :
 - ⊗ Le carreau fabriqué, quelque soit son choix a le même prix de revient.
 - ⊗ Sachant que la différence de prix de vente entre le premier et le deuxième choix atteint parfois 10%, l'entreprise a l'intérêt à éviter la production des choix déclassés. (Eviter le 2^{émé}, le 3^{émé} et le 4^{émé} choix).
- L'amélioration continue :
 - ⊗ Pour faire face à l'exigence accrue des clients confrontés à une panoplie de type de carreaux local et importé, la société est tenue d'améliorer continuellement son système de travail, ses méthodes de gestion ainsi que son parc machine pour mieux répondre à la qualité implicite et explicite de ses clients.
- Veille réglementaire :



- La société doit se conformer aux exigences imposées par différentes normes, entre autres NM ISO 13006 qui n'autorise que la commercialisation d'un carreau exempt de défauts (premier choix) ; de ce fait, les carreaux déclassés présentent un fardeau normatif et économique pour l'entreprise qui doit faire de son mieux pour améliorer le pourcentage vendable du premier choix.

Suite à une étude statistique, on a pu suivre l'évolution de la production durant l'année 2011. Ainsi on a constaté que le taux du premier choix ne dépasse pas 72%, or l'objectif de la direction générale est d'atteindre 85%, sachant que la norme marocaine exige une production de 100% premier choix.

Cette écart est dû à plusieurs facteurs allant de la matière première (argile, nombre d'applications, cycle de cuisson, ...) jusqu'au produit fini (triage).

Parmi les causes de la diminution du taux de premier choix on trouve les défauts de surface, d'applications et mécaniques sans oublier la casse des carreaux durant la production due à la faible résistance ; cette dernière influence aussi sur la qualité du produit fini puisqu'elle est la source principale de l'apparition de certains défauts tels que le fendu, le cratère et d'autres ; d'où la non-conformité avec la norme marocaine et la faible production des carreaux céramiques de premier choix.

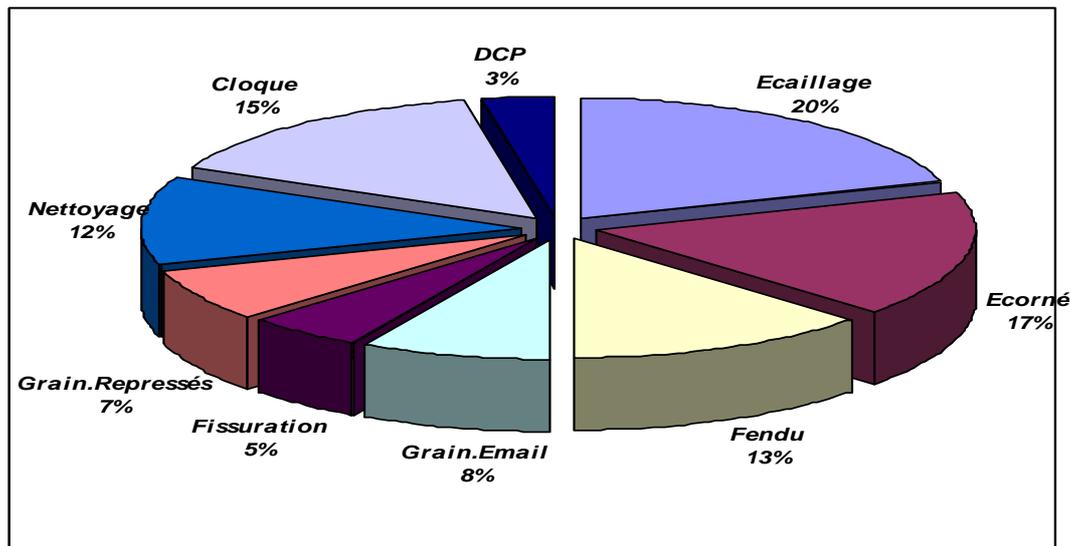


Figure 22: Diagramme des défauts.

Pour traiter cette problématique, il est nécessaire de voir tout d'abord la conformité du carreau céramique avec la norme marocaine NM ISO 13006 qui s'intéresse surtout aux propriétés



mécaniques, puisque nous voulons voir l'influence de la variation de la résistance à la flexion sur le taux du premier choix et traiter le défaut du fendu.

Puis, la nécessité de mettre en place des actions sur tout le procédé dans le cadre de rehausser le taux du premier choix et de diminuer cet écart, tout en respectant à priori l'environnement et en diminuant le coût.

II : Vérification de la conformité selon La Norme marocaine NM ISO 13006.

1-Présentation de la norme :

La norme marocaine NM ISO 13006 s'applique sur les carreaux et dalles céramiques pour sols et murs de 1er choix, désignés ci-après par « carreaux céramiques ».

La présente norme marocaine définit les taches du prescripteur, du producteur et de l'utilisateur. En pratique, il peut se faire que plusieurs entités spécifient des exigences à différents stades de la conception et de la construction. Par exemple le client, le concepteur, l'entrepreneur, le sous-traitant responsable. Chacun est responsable de transmettre les exigences spécifiées en même temps que les exigences complémentaires, au maillon suivant de la chaîne jusqu'au producteur. Au sens de cette norme, la compilation finale est désignée par le terme " spécification ".

Le Ministre de l'Industrie, du Commerce et des Nouvelles Technologies, en vue de mettre en place le système de certification pour les carreaux et dalles céramiques pour sols et murs conformément aux normes marocaines correspondantes, informe les producteurs et les utilisateurs de ces produits ainsi que toutes les parties concernées de ce qui suit :

- 🌀 **ARTICLE 1 : Normes applicables.**
- 🌀 **ARTICLE 2 : Fonctionnement du Comité Technique.**
- 🌀 **ARTICLE 3 : Désignation des vérificateurs et laboratoires d'essais.**
- 🌀 **ARTICLE 4 : Instruction de la demande.**
- 🌀 **ARTICLE 5 : Autocontrôle.**
- 🌀 **ARTICLE 6 : Suivi des fabricants titulaires de la marque NM.**
- 🌀 **ARTICLE 7 : Dispositions particulières concernant le marquage.**

Le certificat relatif au droit d'usage de la marque de conformité aux normes marocaines est matérialisé par le sigle :

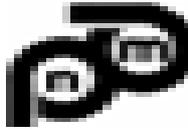


Figure 23: sigle de la norme marocaine.

Le produit concerné est jugé conforme si toutes les règles sont respectées et si l'échantillon satisfait aux essais prévus par les normes ci-dessus, dans les conditions prévues, en vérifiant à priori :

- ☞ Les caractéristiques dimensionnelles et aspect de surface ;
- ☞ L'absorption d'eau ;
- ☞ La résistance à la flexion ;
- ☞ La résistance à l'abrasion de surface.

Les essais de conformité aux normes marocaines sont effectués au sein du laboratoire d'essais désigné par l'organisme certificateur sur proposition du comité technique, selon des critères bien définis.

Le rapport de vérification et les résultats d'essais sont transmis au SNIMA (Le Service de Normalisation Industrielle Marocaine) qui les communique au comité technique [5].

2. Vérification de la conformité au sein de super cérame :

a. Paramètre de porosité (NM ISO 10545-3).

La présente partie de l'ISO 10545 prescrit les méthodes utilisées pour la détermination de l'absorption d'eau et la porosité des carreaux céramiques.

* *Définition.*

La porosité est l'ensemble des interstices (le vide) d'une roche ou d'un autre matériau pouvant contenir des fluides (liquide ou gaz). Elle caractérise la compacité du produit céramique et influe sur ses propriétés physiques (mécaniques) et chimiques, aussi bien qu'elle aide les technologues en question du choix des paramètres technologiques de fabrication (granulométrie des matières premières, température de cuisson).



La porosité est aussi une valeur numérique qui caractérise ces interstices ; c'est le rapport du volume des vides du matériau divisé par le volume total [3].

❁ *Mode opératoire.*

Le laboratoire de contrôle qualité à Super Cérame utilise la méthode par ébullition.

Le calcul du pourcentage d'eau dans la masse, a été faite de la manière suivante :

- On place les carreaux en position verticale, sans contact entre eux, dans l'appareil chauffant rempli d'eau, de façon que le niveau d'eau au dessus et en dessous des carreaux soit de 5 cm.
- Maintenir le niveau d'eau au dessus des carreaux à 5 cm pendant toute la durée de l'essai.
- Porter l'eau à l'ébullition et la maintenir en ébullition pendant 2h.
- Retirer ensuite la source de chaleur et laisser refroidir les carreaux jusqu'à température ambiante tout en les maintenant complètement immergés, pendant 4h plus ou moins 14 min.
- Mouiller la peau de chamois et l'essorer à la main. La placer sur une surface plane et sécher légèrement chaque face de chacun des carreaux tour à tour. Tamponner les surfaces à relief avec la peau de chamois.
- Immédiatement après cette opération, peser chaque carreau et noter les résultats avec la même précision que celle utilisés pour les masses sèches.
- Les résultats trouvés sont les suivants : [5]

❖ **Groupes BIIa.**

Tableau 7: Pourcentage de porosité pour la monocuisson.

Carreaux	E en %
1	5.84
2	5.12
3	5.34
4	5.45
5	5.80

E : Le pourcentage d'eau dans la masse.

❖ **Groupes BIII.**

Tableau 8 : Pourcentage de porosité pour la bicuisson.

Carreaux	E en %
----------	--------



1	15.2
2	14.8
3	14.5
4	13.9
5	15.5

✿ *Exigence de la norme NM ISO 10454-3.*

Tableau 9 : Exigence de la norme NM ISO 10454-3 [5].

Groupes	Détermination	Exigences de la norme NM ISO 13006	Essai
BIIa	Absorption d'eau en %	3% < E < 6% Maximum individuel 6.5%	ISO 1055-3
BIII		E > 10%	

✿ *Commentaire.*

Selon le groupe auquel appartient le carreau céramique, la norme NM ISO 10545-3 exige le niveau d'absorption d'eau.

Donc pour un carreau appartenant au groupe BIIa, le niveau d'absorption d'eau doit être compris entre 3% et 6%, et pour un carreau appartenant au groupe BIII, ce dernier doit être supérieur à 10%.

En comparant les résultats de l'essai effectué au niveau de ce paramètre, on constate que nos résultats sont conformes aux exigences de la norme NM ISO 13006.

b. Paramètre de résistance à l'abrasion NM ISO (10545-7).

La présente partie de l'ISO 10545 prescrit une méthode pour la détermination de la résistance à l'abrasion de surface pour tous les carreaux céramiques émaillés.

✿ *Définition.*

Abrasion : c'est l'usure de l'émail

Le test d'abrasion est un test très important dans la norme NM ISO 13006, il est effectué à l'aide d'un abrasimètre. C'est un test d'abrasion de surface et non profonde, la fréquence de ce test



décrit dans la norme est de 3 mois. Ce test nous permet d'estimer la durée de vie de l'émail des carreaux céramiques de différents aspects (foncé, claire ou medium).

A cet effet, le laboratoire de la société Super Cérame dispose d'un abrasimètre à double tranche pour faire cet essai. En même temps, il envoie des échantillons au laboratoire externe accrédité pour s'assurer de la conformité des résultats et avoir un certificat de conformité aux exigences de la norme NM ISO 13006 qui va être présenté à l'auditeur dans le cas de besoin.

Le classement des carreaux céramiques suivant leur utilisation, soit à l'intérieur des maisons soit dans les halles à grande surface, soit dans les laboratoires montre la grande importance du test d'abrasion et aide la clientèle à procéder aux choix des carreaux à utiliser [3].

✿ *Mode opératoire.*

- Onze éprouvettes sont nécessaires. En outre, huit éprouvettes sont nécessaires pour l'évaluation visuelle.
- Maintenir la surface émaillée de chaque éprouvette à l'aide d'un support métallique fixé sur le dispositif d'abrasion.
- Introduire la charge abrasive dans le support situé sur la face supérieure.
- Fixer le nombre de tours à l'avance qui est de 100, 150, 600, 1500, 2100, 6000 et 12000 tours pour chaque stade de l'essai.
- Retirer une éprouvette après chaque stade d'abrasion et poursuivre l'essai jusqu'à observation d'un défaut.
- Classification des résultats : Les éprouvettes doivent être classées d'après le tableau suivant : [5]

Tableau 10 : Masse des carreaux et précision de mesure [5].

Stade d'abrasion, Défaut visible à (tours)	Classe
100	0
150	1
600	2
750, 1500	3
2100, 6000, 12000	4
>12000	5

✿ *Essai réalisé.*



En cas de doute sur la validité des résultats, il convient de faire appel à l'étalonnage du dispositif d'abrasion pour avoir une idée claire sur la durée de vie de l'émail et le lieu d'utilisation du carreau céramique.

De ce fait, nous avons réalisé un essai d'abrasion au laboratoire qualité de Super Cérame sur un carreau céramique de format 41*41 après l'avoir cassé en différents morceaux de taille égale.

On a maintenu la surface de chaque éprouvette à l'aide d'un support métallique fixé sur le dispositif d'abrasion, puis nous avons introduit la charge abrasive dans le support situé sur la face supérieure, ensuite nous avons fixé le nombre de tours à l'avance qui est de 100, 150, 1500, 2100, 6000, et 12000 tours pour chaque stade de l'essai. Finalement, après avoir retiré une éprouvette après chaque stade d'essai nous avons remarqué que le défaut sur le niveau de l'émail n'apparaît qu'à partir de 12000 tours. Donc le carreau qui a subi l'essai appartient à la classe 5.

✿ *Exigences de la norme.*

❖ **Groupe BIIa**

Tableau 11 : Exigence de la norme NM ISO (10545-7). [5]

Propriétés physiques	Exigences	Essai
- Résistance à l'abrasion de surface des carreaux émaillés destinés aux revêtements de sol.	-Consigner la classe d'abrasion et le nombre de cycles subis avant défaillance	ISO 10545-7

❖ **Groupe BIII**

Concernant les carreaux de mur du groupe BIII, ils ne nécessitent pas le contrôle de l'abrasion car il n'y a pas un frottement direct qui touche la belle partie du carreau (l'émail) [5].

✿ *Commentaire.*

La norme évoque qu'il faut soumettre le carreau à l'essai à l'aide du dispositif d'abrasion afin de spécifier la classe à laquelle appartient.

D'après l'essai qu'on a réalisé, on a constaté que le carreau céramique qui a subi l'essai appartient à la classe 5 ; donc le défaut ne peut être visible qu'après 12000 tours ; ce qui montre que le carreau est résistant.



Les résultats de l'essai au niveau de l'abrasion de surface montrent que l'essai réalisé au niveau de ce paramètre est conforme aux exigences de la norme NM ISO 13006.

c. Paramètre de résistance aux taches (NM ISO 10545-14).

La présente partie de l'ISO 10545 prescrit une méthode pour la détermination de la résistance aux taches de belle face des céramiques.

✿ Définition.

La tâchabilité vient du mot tache : c'est l'absorption d'un liquide ou d'un colorant liquide qui apparaît sous forme de tache à la belle surface de carreau, ce phénomène est dû principalement à l'application et à la cuisson de l'engobe.

Ce test de contrôle est effectué chaque fois qu'il y a un changement des matières dans l'engobe ou modification du cycle de cuisson. On se base sur le bleu de méthylène (colorant bleu) qui a un pouvoir absorbant très élevé, qui, après 2h, la tache apparaît si le carreau présente des non-conformités. L'utilisation des céramiques au lieu domestique ou à l'extérieur tient compte de ce contrôle qui est très précieux et qui peut même bloquer l'importation non réglementaire des carreaux afin de se protéger contre la concurrence [3].

✿ Mode opératoire.

➤ Application de l'agent tachant :

- Laisser tomber 3 à 4 gouttes du liquide de bleu de méthylène, qui est un colorant bleu sur la surface d'essai.
- Etaler la perle appliquée sur surface plus ou moins circulaire.
- Laisser l'agent tachant en place pendant 2h.

➤ Tentative de suppression des tâches :

- Soumettre les éprouvettes successivement à différents modes opératoires de nettoyage A, B, C et D.
- Après chaque mode opératoire de nettoyage, sécher les éprouvettes dans l'étuve et les soumettre à un examen visuel.

➤ Classification des résultats.



- La classification du mode opératoire décrit plus haut, a pour conséquence une répartition des carreaux céramiques en cinq classes.
- La classe 5 correspond à la classe de carreaux pour lesquels il est plus facile de retirer un colorant particulier.
- La classe 1 correspond à la classe de carreaux pour lesquels il est impossible de retirer un colorant particulier avec aucun des modes opératoire et /ou la belle face a été abîmée de façon irréversible [5].

✿ *Exigences de la norme NM ISO 10545-14.*

❖ **Groupe BIIa et groupe BIII**

Tableau 12 : exigence de la norme NM ISO 10545-14. [5]

Propriétés chimiques	Exigences	Essai
Résistance aux produits tâchant		
a) Carreaux émaillés	Minimum classe 3	ISO 10545-14

✿ *Commentaire.*

Ce tableau évoque les exigences de la norme NM ISO 10545-14 concernant le paramètre de résistance aux tâches. Pour un carreau émaillé il est exigé que ce dernier doit appartenir au minimum à la classe 3. En d'autres termes le carreau qui subit l'essai doit être nettoyé soit après le mode opératoire A, soit après le mode opératoire B, soit après le mode opératoire C.

Dans notre cas le carreau émaillé a été nettoyé après le mode opératoire A. Il appartient alors à la classe 4. Donc, l'essai réalisé au niveau de la tâchabilité montre que notre résultat est conforme aux exigences de la norme NM ISO 13006.

d. Paramètre de résistance à la flexion (NM ISO 10545-4).

La présente partie de l'ISO 10545 prescrit une méthode pour la détermination de la résistance à la flexion et de la force de rupture pour tous les carreaux céramiques.

✿ *Définition.*



La résistance à la flexion est une grandeur exprimée en newtons par millimètre carré qui définit la résistance mécanique du carreau céramique. Ce test est effectué à l'aide d'un flexiomètre étalonné. Il représente un moyen de contrôle très important dans la norme NM ISO 13006.

La société Super cérame via le laboratoire de contrôle suit quotidiennement ce paramètre et surveille les caractéristiques mécaniques du carreau céramique soit le carreau de sol ou le carreau de mur. Ces caractéristiques sont exigées par la norme NM ISO 13006 décrit dans le circulaire de la norme. Pour s'assurer de la conformité des valeurs du contrôle interne de la société Super Cérame envoie des échantillons au laboratoire externe accrédité afin de comparé les résultats interne et externe ; les résultats du laboratoire externe sont sanctionnés par un rapport (contrôle et essai) décrivant les valeurs trouvés par rapport aux valeurs exigé par la norme [3].

✿ *Mode opératoire.*

Tableau 13 : Mode opératoire de la résistance à la flexion [5].

Etapes	Description	Méthodes
Prélèvement	-07 carreaux (D>48cm) D : dimension des côtés	- De préférence après triage et du même calibre. - Les carreaux ayant une longueur supérieure à 300 mm peuvent être fractionnés.
Préparation Brossage	- Elimination des particules adhérentes.	- Par brossage, étuve et balance électronique.
Refroidissement	- Refroidissement dans l'étuve à l'arrêt.	
Résistance à la flexion	- Placement correcte des carreaux. - Placer le carreau sur les rouleaux d'appui (la face émaillée tournée vers le haut) de manière à ce que la distance entre les rouleaux d'appui et les extrémités du carreau soit de 1cm. - Pour les carreaux rectangulaires, le côté le plus	



	long est perpendiculaire au couteau d'appui.	
Cassure du carreau	<ul style="list-style-type: none">- Placer le carreau à égale distance des rouleaux d'appui.- Appliquer la charge jusqu'à la rupture du carreau.	<ul style="list-style-type: none">- Utiliser un pied à coulisse.- Rentrer l'épaisseur minimale trouvée au niveau de la cassure.
Exploitation des données	<ul style="list-style-type: none">-Prélever l'épaisseur minimale à l'endroit de la rupture.-Calculer la force de rupture S (en N).-Recalculer la résistance à la flexion R en N/mm².	-Moyenne des résultats (rapport d'enregistrement)

❁ *Essais réalisés.*

❖ **Groupe BIII (Carreaux bi cuisson)**

On a effectué le calcul de la résistance à la flexion sur un échantillon composé de 7 carreaux de format 25*40 et on a trouvé les résultats suivants :

Tableau 14: La résistance à la flexion de la bicuisson.

Carreaux	Dimension moyenne (mm)	Epaisseur minimal	Force de rupture(N)	Résistance à la flexion (N/mm ²)
1	251.4	7.5	780	19.21
2	251.4	7.5	810	19.25
3	251.6	7.5	840	18.30
4	251.4	7.5	820	19.17
5	251.4	7.5	790	19.45
6	251.3	7.5	760	20.06
7	251.4	7.5	830	18.90

❖ **Groupe BIIa (carreaux monocuisson)**



On a effectué un prélèvement d'un échantillon de carreaux du groupe BIIa composé de 7 carreaux de format 35*35 afin de calculer la résistance à la flexion, et on a trouvé les résultats suivants :

Tableau 15 : la résistance à la flexion de la monocuisson.

Carreaux	Dimension moyenne (mm)	Epaisseur minimal	Force de rupture(N)	Résistance à la flexion (N/mm ²)
1	354.8	7.6	1173	33.17
2	354.4	7.9	1184.4	29.17
3	353.4	7.7	1169	34.27
4	353.5	8	1187.3	32.34
5	353.1	7.9	1157.8	32.67
6	353.2	7.8	1191.2	31.81
7	253.2	7.9	1171.5	30.64

➤ **Remarque :**

La force de rupture se calcule en divisant la charge de rupture à une constante relative au format du carreau céramique. Pour le format 25*40 la constante est égale à 1.5 ; pour le cas du format 35*35 la constante est égale à 0.9.

✿ *Exigence de la norme.*

Tableau 16 : Exigence de la norme NM ISO 10545-4 [5].

Groupes	Propriété physique	Exigence	Essai
BIIa 3%<E<6%	<u>Résistance à la rupture en N</u>		<u>ISO 10545-4</u>
	a) épaisseur > 7.5 mm	Minimum 1000	



	b) épaisseur < 7.5mm	Minimum 600	
	<u>Résistance à la flexion en N/mm²</u> Non applicable aux carreaux ayant une résistance à la rupture > 3000N	Minimum 22	
BII E>10%	<u>Résistance à la rupture en N</u>	Minimum 600	<u>ISO 10545-4</u>
	<u>Résistance à la flexion en N/mm²</u>	Minimum 12	

✿ *Commentaire.*

Selon les spécifications de la norme NM ISO 10545-4 en ce qui concerne le paramètre de la résistance à la flexion, on constate que les exigences de la norme diffèrent selon le groupe du carreau, donc pour un carreau appartenant au groupe BIIa où la porosité est comprise entre 3% et 6%, la résistance à la flexion est d'un minimum de 22 N/mm².

Concernant le groupe BIII où la porosité est supérieure à 10%, la résistance à la flexion doit être à un minimum de 12N/mm².

En comparant les résultats de nos essais sur le terrain au niveau de la résistance à la flexion avec les spécifications adaptées par la norme, on constate que ces résultats au niveau de ce paramètre sont conformes aux exigences de la norme NM ISO 13006.

3. conclusion :

D'après les essais réalisés au niveau de ces paramètres, on constate que la société Super Cérame produit ces carreaux céramiques en prenant en considération toutes les spécifications et les exigences de la norme NM ISO 13006 ainsi que tous ces modes opératoires.

Dans le but d'offrir aux clients des produits céramiques de bonne qualité, Super Cérame procède à l'élaboration de ces essais au niveau interne, dans son laboratoire de contrôle, et au niveau externe, dans un laboratoire accrédité. Tout cela dans le seul but de répondre aux exigences de la norme ainsi qu'à ceux de ses clients.

Les résultats trouvés doivent être notés avec précision dans un rapport nommé plan de surveillance ; ce dernier est conservé comme une preuve des essais réalisés au niveau interne, car il va être contrôlé avec précision lors de la visite des auditeurs ou des agents de vérification qui font des contrôles deux fois par an sous convocation du SNIMA.



III : La résistance à la flexion.

1. Introduction :

Les céramiques sont peu résistantes à la traction et à la flexion et très résistantes en compression. Leur caractéristique principale est la rupture dite *fragile*, c'est à dire sans déformation plastique. On sait que la fracture d'une céramique se fait par propagation d'une fissure à partir d'un défaut initial. Depuis les années 80, la plupart des évolutions du matériau se sont traduites par une amélioration de propriétés mécaniques.

La présente étude consiste à déterminer, par ordre d'importance, l'impact de chaque paramètre physique et chimique sur les fluctuations de la résistance.

2. Les facteurs influençant la résistance à la flexion (résistance mécanique) :

Durant les différentes étapes de la production, la résistance d'un carreau céramique reste une propriété très importante vue les contraintes que subit le carreau tout au long sa trajectoire vers le stockage. Donc, sa protection est assurée par cette propriété qui doit être dans les standards pour éviter tout type d'anomalies.

Pour cela, il faut prendre en considération les facteurs suivants :

a. Humidité.

Le premier contrôle que subit la matière première est le taux d'humidité. Ce paramètre est très important dans le procédé de fabrication des carreaux céramiques.

Après préparation de la barbotine, on procède à un séchage par atomisation. La masse obtenue est soumise à un contrôle de densité et d'humidité avant d'être stockée dans des silos ; donc, ce paramètre doit être contrôlé avec une grande précision vue son importance aussi dans l'étape qui suit « le pressage » (plus la masse est humide, plus on diminue la pression et inversement). Donc, il influe directement la résistance du carreau, comme le montre la figure suivante :

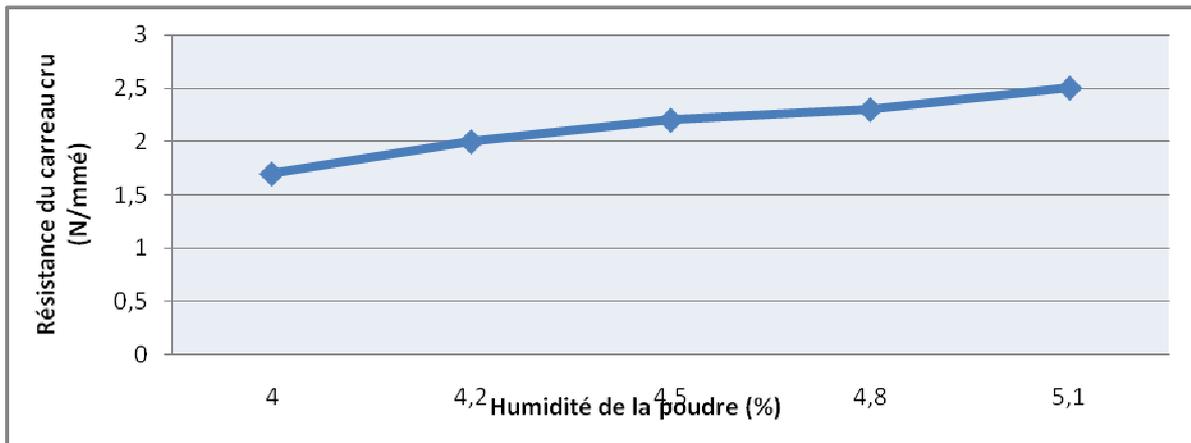


Figure 24: Variation de la résistance en fonction de l'humidité.

Nous constatons que les valeurs mesurées de la résistance du carreau crû à l'entrée des lignes d'émaillage augmentent au fur et à mesure avec la teneur en eau de la masse atomisée :

- Plus la masse est sèche, plus le carreau est fragile.
- Plus la masse est humide, plus le carreau est résistant

b. Pressage.

Pour mettre en évidence l'impact du pressage sur la résistance du produit fini, une étude a été menée sur des carreaux qu'on a pressés sous différentes pressions dans les conditions les plus stables. Un tel mode opératoire s'impose dans le but de neutraliser d'autres variables d'état, tels que : l'humidité et de la granulométrie de la poudre.

✿ Essai.

- On a pris des carreaux pressés d'une même masse, cette dernière ayant une humidité et granulométrie constante.
- Pour chaque carreau on change la pression, d'une manière à prendre des valeurs inférieures et supérieures de la normale (170 Bar).
- Puis on les récupère à la sortie du séchoir.
- Mesure de la résistance.

✿ Résultats.

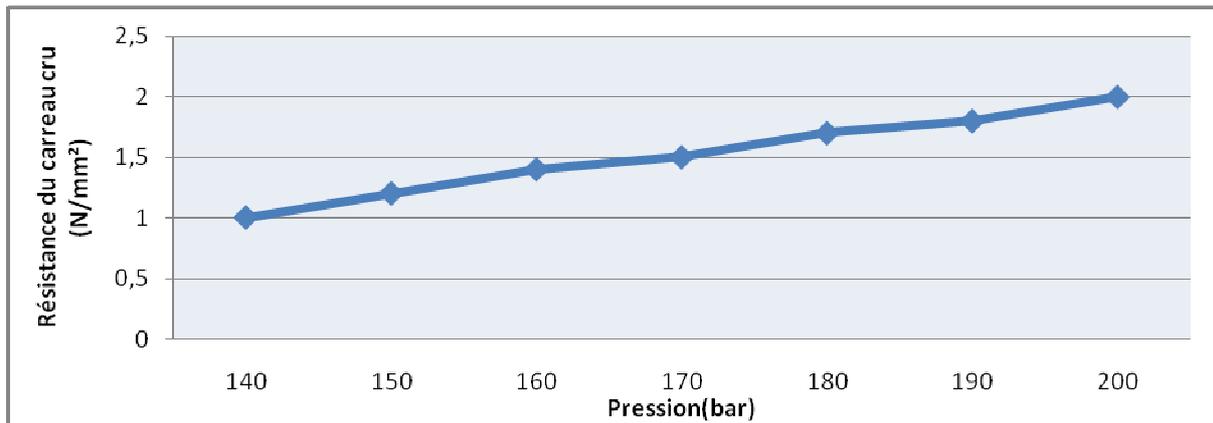


Figure 25 : variation de la résistance du carreau cru en fonction de la pression.

• Analyse des résultats.

La force subie par les carreaux céramiques permet de compresser davantage les différentes particules qui constituent la masse. Cette cohésion confère au carreau la possibilité de surmonter sereinement les différentes étapes depuis la sortie du séchoir jusqu'à l'entrée du four.

b. Type d'argile.

• Essai.

La variation de la résistance dépend aussi du type d'argile utilisé. Pour cela, on a pris deux argiles différentes et on a mesuré leurs résistances en variant aussi le pressage, sachant qu'ils ont la même humidité et la même granulométrie.

Ainsi, on a obtenu les résultats suivants :

• Résultats.

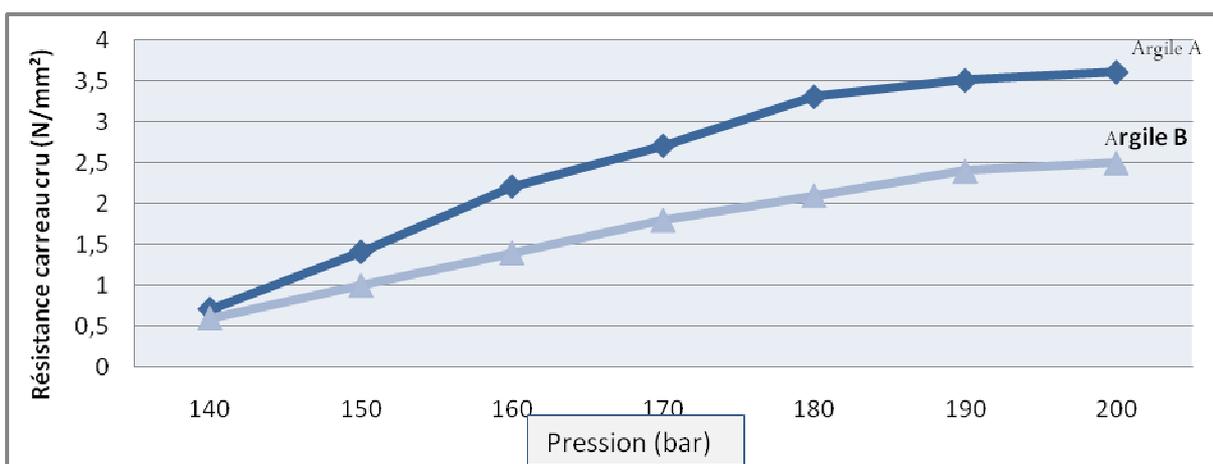


Figure 26 : Variation de la résistance en fonction du type d'argile.



✿ *Analyse des résultats.*

- Le graphe nous montre, pour l'argile B, que la valeur de la résistance ne peut pas s'améliorer au-delà d'un pressage de 190 bar, c'est-à-dire qu'on ne peut pas atteindre des valeurs escomptées de la dureté du carreau.
- La courbe A permet de lire que la résistance obtenue s'améliore par rapport à l'argile B. Toutefois, nous constatons l'apparition de certains défauts qui affecte la qualité du produit fini tels que les trous sur la surface du carreau, ce qui nous a obligé à réduire les cycles de cuisson.

C. Temps du repos.

✿ *Essai.*

Un carreau crû sortant du séchoir subit les opérations suivantes :

- Arrosage
- Engobage (à une teneur d'eau d'environ 27%)
- Emailage (à une teneur d'eau d'environ 27%)
- Colle (humide)
- Coloration (humide)

Après ces opérations, le carreau prend un temps de repos avant qu'il n'entre au four dans le but d'assurer le stock en cas d'arrêt des lignes pour éviter tout problème durant la cuisson (le vide au four). Durant ce temps, la résistance du carreau cru sera sans doute modifiée. Pour cette raison, on a pris des carreaux après différentes durées pour mesurer leurs résistances.

✿ *Résultats.*

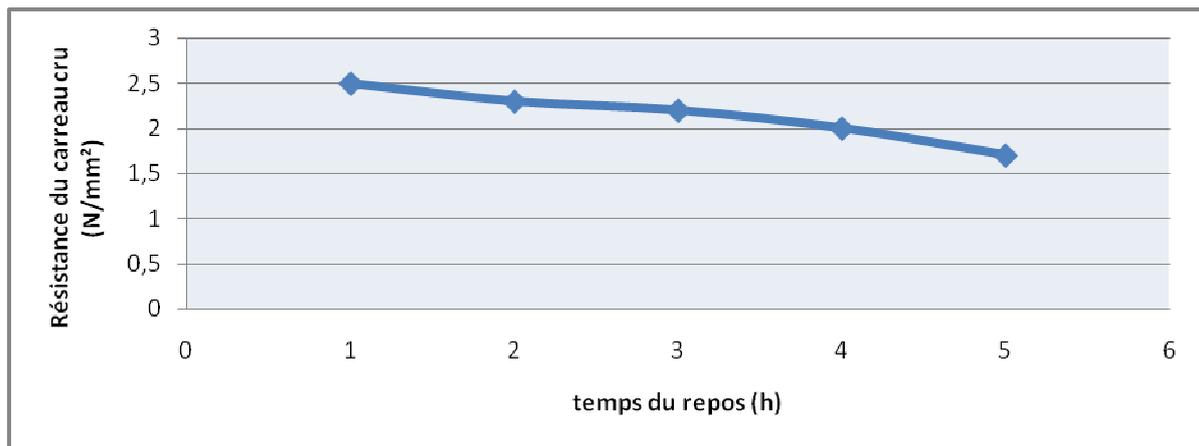


Figure 27: variation de la résistance en fonction du temps.



✿ *Analyse des résultats.*

La consistance du carreau durant son parcours devient de plus en plus amoindrie s'aggravant ainsi en fonction du temps de repos qui favorise la destruction des liaisons de ses particules. Nous remarquons qu'un temps de repos dépassant 5 heures provoque une perte de plus de 50% de la valeur initiale de sa résistance. C'est pour cette raison que les procédés de production prévoient, d'une part, la préparation d'un carreau crû résistant et d'autre par d'éviter un temps de repos susceptible d'affaiblir la dureté.

3. conséquences de la variation de la résistance à la flexion :

La résistance à la flexion influe sur d'autres propriétés de la céramique, soit dans le cas où elle est élevée soit dans le cas où elle est basse.

a. Résistance élevé.

✿ *Essai.*

On a préparé des carreaux crus dont le pressage varie d'une manière croissante pour avoir une résistance qui varie aussi de la même manière, puis on mesure leurs compactations et leurs porosités.

✿ *Résultats.*

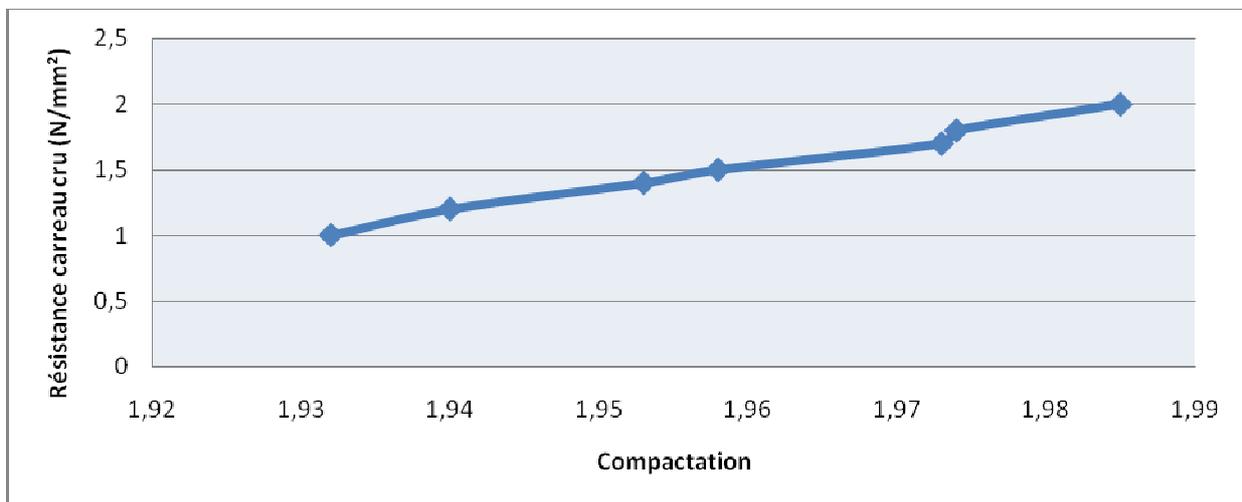


Figure 28 : Variation de la compactations en fonction de résistance.

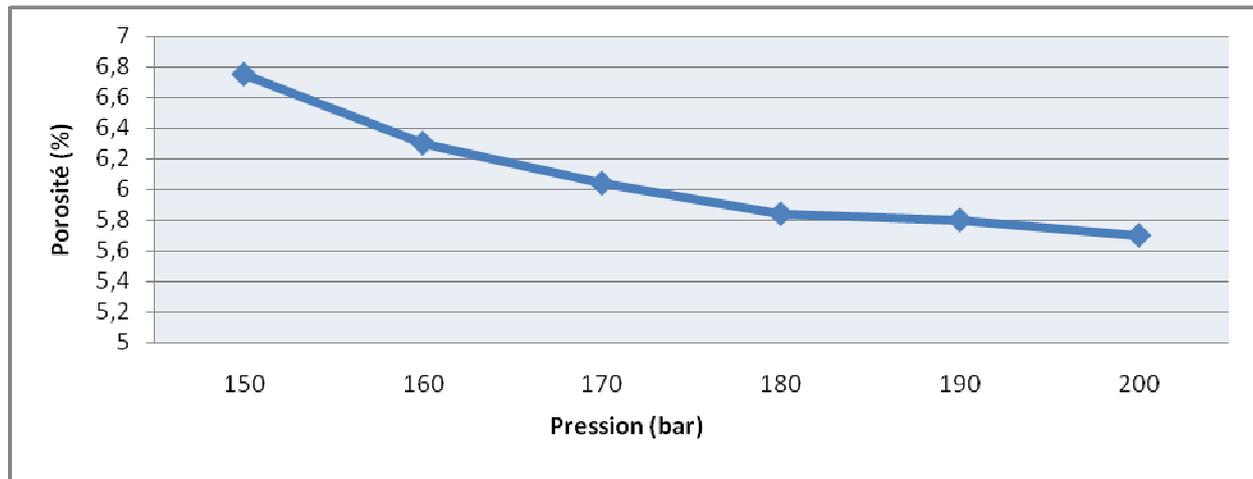


Figure 29: variation de la porosité en fonction de la pression.

• Analyse des résultats.

Les présentes courbes montrent que l'augmentation de la résistance modifie d'autres paramètres, ce qui peut être la cause de l'apparition de certains défauts.

- ∞ Pour le premier cas, on observe que la compactation croît avec la résistance, et l'augmentation de ce paramètre est la source du cœur noir, du cratère et des trous.
- ∞ Pour le deuxième cas, on observe que plus on augmente la pression plus la porosité diminue.

b. Résistance faible.

L'expérience a montré que sur un carreau moins résistant, on aura un taux élevé de carreaux cassés (la casse augmente). Il y a apparition du défaut fendu et des fissurations. De ce fait, on cible à traiter un produit qui résiste aux différents chocs. On entend par un carreau résistant celui dont les valeurs dépassent 1.8 N/m^2 .

IV : Défauts.

1. Analyse des défauts :

Un défaut céramique est une anomalie que l'on observe sur le carreau à la fin du procédé de sa fabrication.

Les défauts possèdent des noms selon la norme marocaine ainsi que des appellations industrielles au niveau de la société SUPER CERAME.

Au niveau des carreaux céramiques, on rencontre plusieurs types de défauts à savoir :



Tableau 17 : Appellation et définition des défauts [6].

Définition des défauts	Equivalent & appellation super cérame
Fente : Toute rupture se produisant dans la masse du carreau visible sur le dessus et / ou le dessous	Fendu, Fissure
Tressillage : Rupture de l'émail sous la forme de craquelures irrégulières.	Tressillage
Manque d'émail : Parties de face d'un carreau émaillé ne possédant pas d'émail	Retire, Problème de pose, Manque d'émail
Moutonne : Affaissement non désiré à la surface d'un carreau ou d'un émail.	Irrégularité de surface, Peau d'orange, Cuvettes
Piqûre : Minuscule trou à la surface d'un carreau émaillé.	Pin hole, Cratères (trous)
Dévitricification de l'émail : Cristallisation non désirée de l'émail apparente à l'œil nu	Incuit, Surcuit
Points et tâches : Toute zone visuellement différente du reste de la surface du carreau.	Points noirs, Gouttes, Taches, Grain de tesson, Grain d'émail, Trait d'émail
Défaut sous l'émail : Tout défaut apparent recouvert par l'émail	Les repressés, Défauts de collage des presses
Défaut de décoration : Tout défaut apparent dans la décoration.	Défauts de sérigraphie et d'application nettoyage, décalage
Eclat : Fragment se détachant des bords, des coins ou de surface d'un carreau	Écailler (bord), Ecorné (coin)
Cloque : Petite bulle de surface, éclatée ou non, due à l'expulsion de gaz durant la cuisson.	Cloque, Bulles
Bord rugueux : Toute irrégularité non désirée le long du bord du carreau	Epauféré, Ebréché
Bavure : Accumulation importante et inhabituelle d'émail le long du bord du carreau	Défauts d'ébarbage

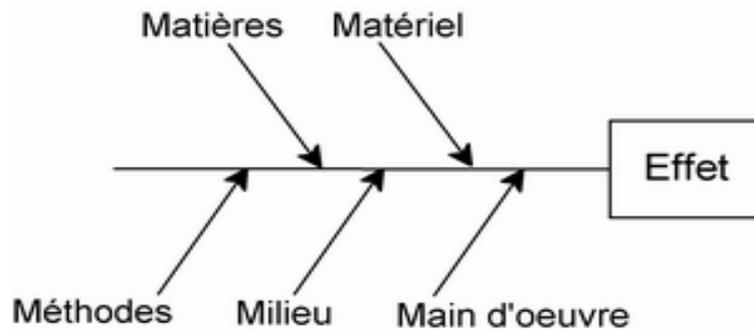
2. Cas du Fendu :

a. Définition.

Fente : Toute rupture se produisant dans la masse du carreau visible sur le dessus et/ou sur le dessous. (Appellation super cérame : Fendu, Fissure).



b. Les Causes Par méthode de Diagramme de Causes à Effet.



❖ **Main d'œuvre :**

- Mauvais réglage des paramètres d'atomisation ; provoque la variation de l'humidité.
- Manque de réactivité quant au réglage de la pression.

❖ **Machine :**

- Fluctuation de la pression du gaz ou de celle de la pulvérisation de la barbotine.
- Toute vibration sur la ligne, chocs entre carreaux ou défautuosité des machines telles que les rouleaux ou les tapis.
- Tambours rotocolor présentent des défauts rotatifs.

❖ **Milieu :**

- Baisse de température pendant la nuit.
- Présence du courant d'air sur le carreau.

} Provoque la fragilité du carreau.

❖ **Méthode :**

- Exploitation d'une barbotine non reposée (variation de la densité), influe sur l'humidité de la masse atomisée.
- Carreau émaillé reposé plus de 5 heures, donne un carreau plus fragile (absorption d'un certain pourcentage d'eau que contiennent l'email et l'engobe).

❖ **Matière première :**

- Exploitation des argiles non homogènes.

C. Remèdes.

❖ **Main d'œuvre :**

- Maîtrise des paramètres de température, de pression et de dépression, ainsi que le suivi de la mesure des valeurs de l'humidité de poudre.
- Doublé de vigilance et changer les valeurs de pression selon l'humidité de la poudre.

❖ **Machine :**



- Contrôle renforcé de la qualité des tambours rotocolor.
- Installer un stabilisateur de pression et contrôler systématiquement les circuits du gaz et de la barbotine.

❖ **Milieu :**

- Isoler les lignes d'émaillage pour éviter l'entrée du courant d'air
- Augmenter la température du carreau à la sortie du séchoir et baisser la quantité d'eau d'arrosage

❖ **Méthode :**

- Prévoir un temps de repos de la barbotine avant exploitation
- Eviter le repos du carreau crû qui est à l'origine de la chute de la résistance

❖ **Matière première :**

- Procéder à l'homogénéisation des argiles.

V. Actions correctives et préventives.

1. Introduction :

La différence entre l'objectif de la direction générale, de la norme marocaine et celui réalisé se traduit par une grande perte « rentabilité » pour la société. Autrement dit, l'écart entre l'exigence de la norme marocaine et celui réalisé est de 28%, et sachant que la production journalière de super cérame est :

SCK: 28000m²/j

SCC: 15000m²/j

SCB: 24000m²/j

Donc, le total est de 67000m²/j, ce qui veut dire une surface qui peut revêtir la distance séparant Fès de Meknès en supposant que sa largeur est de 1 m, mais dans le cas de cet écart, on a une perte de 28% qui n'est pas du premier choix (18760m²) sans oublier que chaque mètre coûte 5dh d'où une perte de 33768000 DH/an

De ce fait, la direction Super Cérame est menée à limiter le taux des défauts présent sur son produit par des actions correctives pour les différents problèmes dans le but de minimiser la perte causée par ces problèmes et sans doute atteindre son objectif et celui exigé par la norme NM ISO13006. Tout ceci dans le cadre de respecter la politique qualité de la société.

2. Actions sur la résistance :

Une humidité de poudre qui ne varie pas est indispensable pour stabiliser les conditions de pressage. Il est à préciser que, si la valeur de la teneur en eau change, et les forces de pressage restent constantes, le carreau subit des compactations différentes, causant ainsi un affaiblissement des valeurs de résistance.

Si le pressage est réglé à une valeur P1 correspondant à une humidité H1, cela donne une compactation C1 qui mène à une résistance R1. Toutefois, une valeur d'humidité H2 inférieure à H1



subissant le même pressage P1 conduit à une résistance R1' inférieure à R2, d'où le risque du défaut fendu ou d'une probable casse du carreau lors de son passage sur les lignes d'émaillage.

Il est à noter que, le technicien de presse mesure la valeur de l'humidité de la masse atomisée durant chaque heure, et dans le cas de la fluctuation, il ne s'en rend compte qu'après avoir effectué la mesure suivante. De ce fait, une maîtrise des valeurs de l'humidité de la poudre a l'avantage d'épargner à la production toutes interventions de correction tardives.

Pour cela, il faut :

- ⊗ Homogénéiser les argiles pour obtenir une résistance dans les standards tout en ayant une production élevée avec moins de défauts :

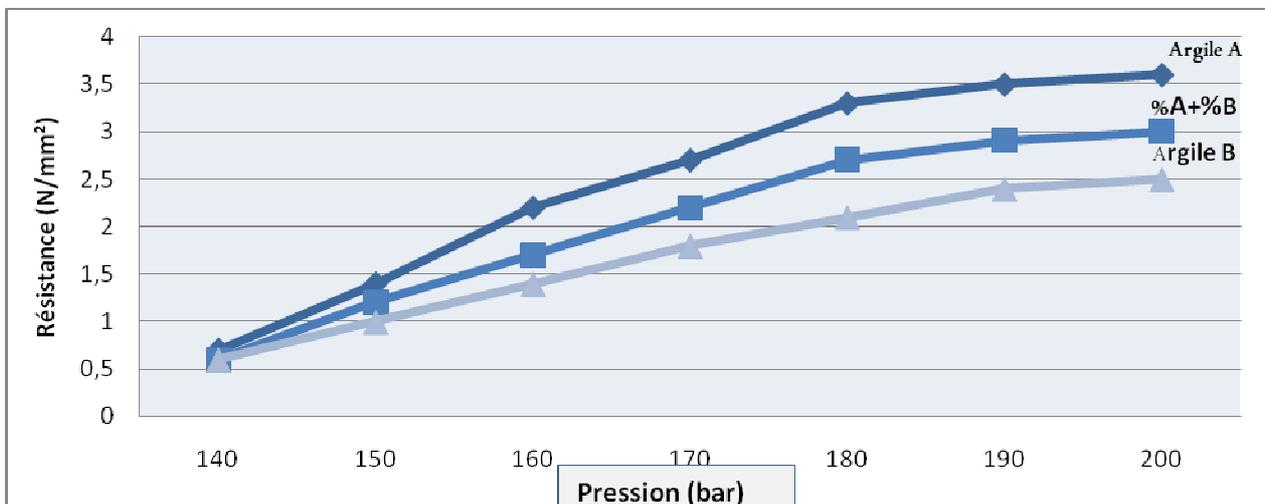


Figure 30: variation de la résistance de différentes argiles.

La Direction de Super Cérame s'est engagée d'exploiter un autre type d'argiles permettant d'avoir un carreau plus résistant avec le même pressage

A cet effet, on a prévu un mélange optimal des deux argiles pour conférer au carreau une meilleure résistance en évitant l'apparition à postériori, des défauts de surface :

- ⊗ Stabiliser la teneur en eau de la barbotine pour qu'il n'y ait pas une fluctuation de l'humidité de la masse lors de son atomisation.
- ⊗ Laisser reposer la barbotine une durée suffisante pour éviter l'hétérogénéité.
- ⊗ Ne pas laisser trop reposer la masse pour éviter une perte excessive de la teneur en eau.
- ⊗ Bien maîtriser le temps de repos des carreaux emmaillés :



Il a été démontré que les valeurs de la résistance du carreau crû diminuent avec le temps de repos causant ainsi l'apparition du défaut fendu lors de l'entrée du carreau au four suite à des vibrations des rouleaux de transfert. On note que la solution y correspondant est de minimiser le nombre de chariots à reposer avant leur enfournement. Il est donc demandé aux techniciens d'émaillage à arrêter les lignes jusqu'à épuisement du stock pour éviter un repos excessif du carreau crû émaillé.

3. Actions sur les défauts :



Tableau 18 : Origine de certains défauts et leurs remèdes.

Défaut	Origine	remède
Cratère	Présence de matière organique dans les argiles	- Acquisition d'une argile à un taux minimum de matière organique - Réduction du cycle de cuisson (augmenter le temps de séjour au four)
	Pressage excessif	- Réduction des valeurs de pressage - Réduction du cycle de cuisson
	Cycle de four rapide	- Réduction du cycle de cuisson
Trous	Température excessive de cuisson	- Réduction de la température de cuisson
	Manque d'arrosage ou arrosage excessif	- Ajuster l'arrosage
Cloques	Présence de corps étranger	- Veillez à une vidange systématique
	Présence de particule trop humide	Bien renforcer les tamis poudre
Fendu (carreau crû)	Carreau crû fragile	- Augmenter la résistance du carreau crû
	Vibration à partir de la sortie des presses jusqu'à l'entrée four	- Veiller à l'entretien des organes mécaniques et électriques de la chaîne de transmission de carreau crû
	Présence de choc entre les carreaux crûs	- Veiller à l'entretien des organes mécaniques et électriques de la chaîne de transmission de carreau crû
Nettoyage	Problème d'application des engobes, des émaux, colles, colorant etc.	- Faciliter la conception des décors - Sensibiliser le personnel des lignes d'émaillage pour doubler de vigilance
Ecornures	Carreau crû fragile	- Augmenter la résistance
	Utilisation des poinçons usés	- Changement systématique des poinçons lors de l'atteinte du seuil de consommation ou dès de la présence des défauts
Retire	Faible indice de plasticité des émaux	- Ajuster les indices de plasticité
	Incompatibilité entre l'émail et l'engobe	- Assurer la compatibilité
	Bord aigu du tesson	Prévoir un bord arrondi

4. Actions techniques (sur la chaîne de fabrication) :



Consciente de la veille technologique, la société Super cérame, à l'instar des grandes entreprises, opte continuellement pour améliorer son parc machine. De ce fait, elle installe des unités modernes et remplace celles qui se sont avérées moins rentables et ce pour maintenir sa position de leader sur le marché marocain de l'industrie céramique. Toutefois, ces actions devraient être validées suite à une étude technique qui prend en considération certains paramètres livrés par les différents départements de la société, tels que la Direction Industrielle, la Direction de production le service de maintenance, le service du laboratoire, et la Direction de la gestion des carrières etc.

2003 : Installation de la nouvelle unité SCK8 d'une capacité de 8000 m²

2006 : Installation d'une nouvelle unité SCK9 d'une capacité de 8000 m²

2007 : Démantèlement d'une ancienne unité (SCK5)

2009 : Démantèlement d'une ancienne unité (SCK2)

2012 : Démantèlement en cours de l'unité (SCK6)

4. Actions humaines :

La société ne cesse de motiver son personnel qui présente le potentiel indispensable pour le maintien de son amélioration continue.

Super cérame opte pour des actions de motivations relatives à des primes de production et de qualité mensuels et annuels et qui ont donné une grande satisfaction.

V. mesure d'efficacité des actions :

1. La résistance :

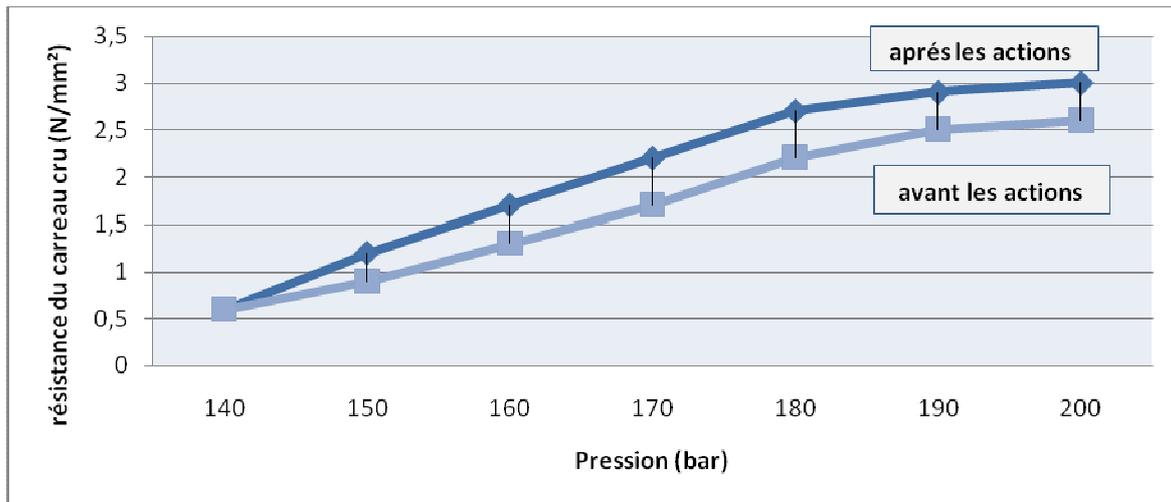


Figure 31: variation de la résistance avant et après actions correctives.

Ce graphe démontre notamment que le pressage s'est amélioré (à une certaine limite) après l'application des actions proposées, et on observe clairement la différence avec les conditions initiales.

Et de cette manière, en maintenant la résistance à la flexion des carreaux crûs dans les standards, on évitera l'apparition de plusieurs défauts y compris le fendu, et de là l'augmentation du taux du premier choix.

NB. Un carreau trop pressé pourrait engendrer des défauts de surface !

2. Les défauts :

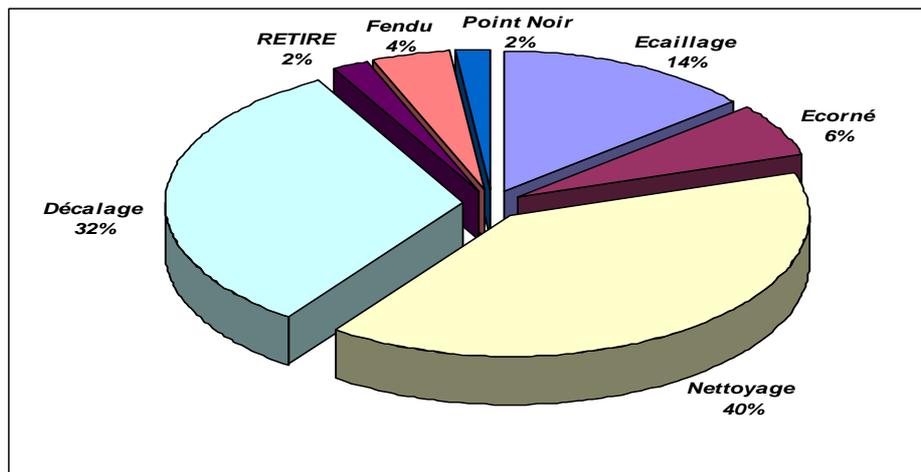


Figure 32 : Diagramme des défauts après les actions.



La figure-31-représentative de cette étude statistique montre que le pourcentage de la majorité des défauts ont diminué y compris le fendu, avec une prédominance du défaut de nettoyage.

On peut donc conclure que les actions menées pour limiter les défauts ont montré leurs efficacités comme le montre la présente la figure.

3. Le taux du premier choix :

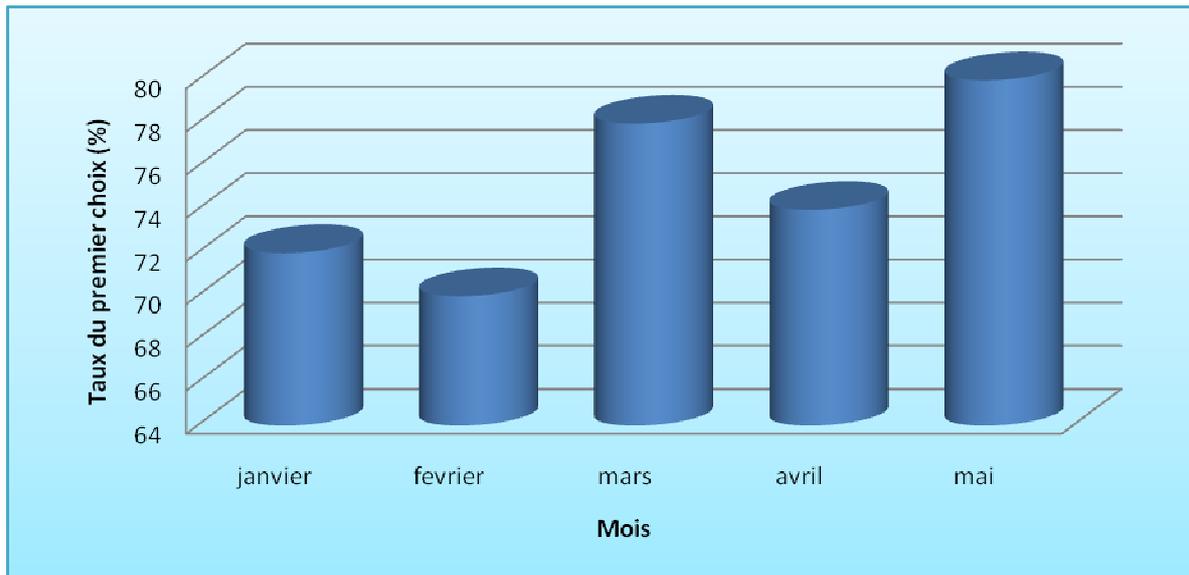


Figure 33: Variation du taux du premier choix durant les 4mois derniers.

Toutes les actions menées à propos de l'amélioration des valeurs de la résistance du carreau crû ont donné satisfaction et permis l'élimination, en grande partie, du défaut fendu. En effet, et pour mesurer l'efficacité des efforts déployés par les techniciens de Super Cérame, l'historique nous montre une tendance positive du taux du premier choix à l'unité SCK9 pour les deux derniers mois (Mars et Mai). Après ces résultats, le Directeur de Production est tenu d'établir un rapport détaillé sur les différentes étapes entretenues afin de les généraliser sur les autres unités, tout en préparant un dossier pour les audits AFAK allant de l'analyse du défaut jusqu'à la mesure de l'efficacité des actions correctives et préventives.



Conclusion

Comme dans tout procédé, les efforts déployés par la société Super Cérame dans le but de maximiser la qualité de ses produits ne sont pas exempts d'anomalies. Malgré ces efforts, il n'en demeure pas moins que les défauts persistent.

Par ailleurs, nous avons essayé de proposer des remèdes pour faire face à certains défauts. Signalons que les efforts mis en place par Super Cérame lui permettent d'atteindre un taux de produit de premier choix qui avoisine les 84 %.

Nous ne prétendons pas avoir abouti, au terme de ce stage, à une étude exhaustive sur les défauts.

Durant cette période de stage au sein de Super Cérame, nous avons pu établir de bonnes relations et des belles rencontres avec différentes catégories de personnel de la société.

J'ai pu mettre en considération de belles et prestigieuses valeurs telles que : la conscience professionnelle, le respect de soi même et des autres, le sens de la responsabilité, la concertation, la



collaboration, l'assiduité, l'esprit d'équipe et de recherche et une grande facilité d'intégration dont l'humeur et la sincérité ne font qu'un.

Ce stage m'a permis :

- ④ De relier l'aspect théorique à l'aspect pratique pour mieux exploiter les connaissances que j'ai acquises, dans le domaine des matériaux en général, et celui des céramiques en particulier.
- ④ Par ailleurs, Si nous avions eu plus de temps durant ce stage, nous aurions pu aborder d'autres points pour mieux appréhender les défauts, nous aurions pu étudier expérimentalement l'impact des variations de la température au niveau du four, la proportion de défloculants et leur influence sur la qualité des carreaux obtenus et bien d'autres facteurs.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ④ [1] : WWW.super.cerame.ma
- ④ [2] : **Rapport de fin d'étude de l'étudiant Nabil Saidani (E.S.T. Fes)**
- ④ [3] : <http://fr.wikipedia.org/wiki/C%C3%A9ramique>
<http://www.expcarrelage.com/expo/scripts/trucs/pdf/FT%20-%20Norme%20UNE-EN.pdf>
<http://www.cvm.qc.ca/geoffrio/index/materiau/cours11/cours11.html>
http://www.sf2m.asso.fr/formations/ENIT_Tarbes.htm
- ④ [4] : **Rapport de fin d'étude de Rahmaoui Simohamed (Master GMP à la F.S.T. Fes)**
- ④ [5] : **La norme Marocaine NM ISO 13006**
- ④ [6] : **Documents de Super Cérame**