

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République algérienne démocratique et populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

جامعة عين تموشنت بلحاج بوشعيب

Université d'Ain-Temouchent Belhadj Bouchaib

Faculté des sciences et technologie

Département de Génie Mécanique



**PROJET DE FIN D'ETUDES**

pour l'obtention du diplôme de master en :

**Domaine : SCIENCE ET TECHNOLOGIE**

**Filière : GENIE DES PROCEDES**

**Spécialité : GENIE DES PROCEDES DES MATERIAUX**

**Thème**

**ETUDE SUR LA PRODUCTION DE MARBRE, GRANIT ET QUARTZ ARTIFICIEL**

Présenté par :

- CHADLI DORIA
- BOUROUIS BOCHRA

Devant les jurys composés de :

Dr F.BELKHADEM.....UAT.B.B (Ain Témouchent ) Président

Dr N.CHOUAT.....UAT.B.B (Ain Témouchent) Examineur

Dr M.MERABTENE.....UAT.B.B (Ain Témouchent) Encadrant

Année Universitaire : 2024/2025

# REMERCIEMENT

---

- ❖ Nous remercions **Dieu** le tout puissant de nous avoir donné la santé et la volonté d'entamer et de terminer ce mémoire. Tout d'abord, ce travail ne serait pas aussi riche et n'aurait pas pu voir le jour sans l'aide et l'encadrement du **Dr M. Merabtene**, nous le remercions pour la qualité de son encadrement exceptionnel, pour sa patience, sa rigueur et sa disponibilité durant la préparation de notre mémoire. Sa confiance et son soutien ont été essentiels à la réalisation de ce mémoire.
- ❖ Nous remercions **Dr F. Belkhadem** d'avoir accepté de présider le jury de soutenance et **Dr N. Chouat** d'avoir accepté d'examiner notre travail, chers jurys, vous nous faites un grand honneur en acceptant de juger ce travail.
- ❖ nous remercions sincèrement **Monsieur Walid**, chef du département pour Son implication dans la réussite des étudiants.
- ❖ Nos remerciements vont également à tous nos professeurs pour leur générosité et la grande patience dont ils ont su faire preuve, malgré leurs charges académiques et professionnelles. Nous souhaitons également exprimer notre gratitude envers tous ceux qui ont joué un rôle dans la réussite de notre projet de fin d'études.
- ❖ Nos sincères remerciements vont également à l'ensemble du personnel de l'entreprise **SARL-SOFCONTRA** pour leur accueil, leur assistance technique et leur collaboration précieuse lors de stage.
- ❖ Enfin, nous dédions ce travail à nos familles, pour leur amour, leurs encouragements constants et leur soutien inestimable. Nous tenons à remercier chaleureusement, tous nos proches et tous ceux qui, de près ou de loin, nous ont apporté leurs sollicitudes pour accomplir ce travail.

Toutes et tous, on vous remercie énormément.

---

# RÉSUMÉ

## Résumé

Cette recherche porte sur l'étude de la production de surfaces en marbre, granit et quartz artificiel dans le contexte de l'entreprise SARL SOFCONTRA. Il vise à comprendre les procédés de fabrication, les matières premières utilisées, ainsi que les paramètres influençant la qualité des produits finis. Une attention particulière est accordée au système BretonTerastone, largement utilisé pour la fabrication de surfaces composites à base de quartz. L'étude intègre également une analyse physico-chimique des matières premières et des produits finis à travers des techniques comme la spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier (IRTF). Les résultats permettent de mieux cerner les propriétés des matériaux et de proposer des recommandations pour améliorer la performance industrielle et la qualité de produits fabriqués localement.

## Abstract

This Research focuses on the study of the production of artificial marble, granite, and quartz surfaces within the company SARL SOFCONTRA. It aims to understand the manufacturing processes, the raw materials used, and the factors influencing the quality of the final products. Special attention is given to the Breton Terastone system, which is widely used for the production of quartz-based composite surfaces. The study also includes physicochemical analysis of raw materials and final products using techniques such as Fourier-transform infrared spectroscopy (FTIR). The findings help better characterize the materials and provide recommendations to improve industrial performance and the quality of locally manufactured products.

## ملخص

تتناول هذه المذكرة دراسة إنتاج الأسطح المصنوعة من الرخام والجرانيت والكوارتز الصناعي في إطار شركة "س.أ.ر.ل. سوفكونترا" بهدف العمل إلى فهم عمليات التصنيع والمواد الأولية المستخدمة، والعوامل التي تؤثر على جودة المنتجات النهائية. وقد تم التركيز بشكل خاص على نظام "بريتون تيراستون" الذي يُستخدم على نطاق واسع في إنتاج الأسطح المركبة القائمة على الكوارتز. كما تضمن البحث تحليلاً فيزيائياً وكيميائياً للمواد الخام والمنتجات النهائية باستخدام تقنيات مثل التحليل بالأشعة تحت الحمراء بتحويل فورييه. تُمكن النتائج من فهم أفضل لخصائص المواد وتقديم توصيات لتحسين الأداء الصناعي وجودة المنتجات المحلية.

# SOMMAIRE

REMERCIEMENT

RESUME

SOMMAIRE

LISTE DES FIGURES

LISTE DES TABLEAUX

1. INTRODUCTION GENERALE :.....	1
1. CHAPITRE I :.....	2
GENERALITES SUR LES MATERIAUX CERAMIQUES.....	2
1. L'INTRODUCTION : .....	2
2. Les céramiques :.....	3
3. LA CLASSIFICATION DES CERAMIQUES :.....	4
3,1 Les Céramiques traditionnelles:.....	4
3.2 Les céramiques techniques: .....	5
4. L'essai de classification des céramiques : .....	7
4.1 La première tentative: .....	7
4.2 La deuxième tentative: .....	8
5. Les propriétés générales:.....	9
5.1 Les liaisons:.....	9
5.2 La microstructure: .....	10
5.3 Les propriétés physiques :.....	12
5.3.1 La Piézoélectricité : .....	12

5.3.2	La pyroélectricité :.....	14
5.3.3	La Ferroélectricité :.....	15
5.4	Les propriétés mécaniques :.....	15
5.5	Les propriétés Thermiques :.....	16
5.5.1	La température de fusion : .....	16
5.5.2	Conductibilité thermique :.....	16
5.6	Les propriétés Electriques : .....	16
5.7	Les propriétés Optiques : .....	16
5.8	Les propriétés chimiques et environnementales :.....	17
6.	Les grandes caractéristiques des céramiques : .....	17
7.	Les différentes techniques de synthèse des poudres :.....	18
7.1	La synthèse par la voie solide « Mélangeage-broyage » :.....	18
7.2	La synthèse par voie liquide ou chimique : .....	19
8.	LA CONCLUSION :.....	20
2.	Chapitre II :.....	24
	<b>PRODUCTION DE CARREAUX EN QUARTZ .....</b>	<b>24</b>
1.	La présentation de l'entreprise SARL-SOFCONTRA : .....	25
1.1	L'historique de l'entreprise : .....	25
1.2	Les informations sur la société: .....	26
1.2.1	La fiche d'identité de l'entreprise : SARL SOFCONTRA (2) : .....	26
1.2.2	Les matières premières : .....	26
1.2.3	La technologie utilisée :.....	26
1.2.4	Les moyens Matériels :.....	26

1.2.5	Les activités principales :	27
1.2.6	L'installations industrielles :	27
2.	Les machines principales utilisées :	28
2.1	Les équipements de laboratoire (Recherche et Développement ainsi que qualité) :	28
3.	Les procédés de Fabrication :	28
3.1	Les matières Premières Utilisées :	29
3.1.1	La silice et quartz :	29
3.1.2	Les polymères de Résine :	32
3.1.3	Les pigments Inorganiques :	33
3.1.4	Les additifs et Agents de Liaison.....	33
3.2	La sélection et préparation des matières premières :	34
3.2.1	La silice en forme de sable de quartz :	34
3.2.2	Les polymères résineux :	34
3.2.3	Les pigments à base de minéraux :	35
3.2.4	Les additifs et agents de liaison :	35
3.2.5	Le dosage et pesée :	35
3.3	Le mélange et homogénéisation :	35
3.3.1	Les matériels employés :	36
3.3.2	Les étapes de mélange :	36
3.3.3	Le contrôle qualité :	37
3.4	Le moulage et compactage sous vide :	37
3.4.1	Le remplissage du moule :	37

3.4.2	Le compactage par vibrations en milieu sous vide :.....	38
3.4.3	L'ajustement de l'épaisseur et finition brute :.....	39
3.4.4	La vérification de conformité instantanée : .....	39
3.5	La polymérisation (Durcissement thermique) : .....	39
3.5.1	Le concept de polymérisation :.....	39
3.5.2	La transition vers le four de cuisson (four pour polymérisation) : .....	39
3.5.3	Les détails sur les réactions chimiques :.....	40
3.5.4	Le refroidissement graduel :.....	40
3.5.5	Le contrôle qualité après cuisson :.....	41
3.6	Découpe, calibrage et polissage des dalles :.....	41
3.6.1	Le découpage des plaques brutes :.....	41
3.6.2	La calibration (ajustement de l'épaisseur) :.....	42
3.6.3	La finition de surface : .....	43
3.6.4	Le nettoyage et dessiccation : .....	43
3.7	La vérification qualité finale :.....	44
3.8	Le stockage des produits finis :.....	45
3.9	Un exemple de fabrication d'un type de quartz :.....	47
3.10	Les équipements et technologies utilisés chez Sofcontra Ain Témouchent : 49	
4.	La classification des Produits finis :.....	49
4.1	La classification selon l'aspect et la granulométrie : .....	49
4.1.1	Le quartz à texture fine (micro-grain) : .....	49
4.1.2	Le quartz à texture moyenne :.....	50

4.1.3	Le quartz à texture grossière (macro-grain) :.....	50
4.2	La classification selon la finition de surface:.....	50
4.3	La classification selon les teintes et effets visuels :.....	50
5.	Les types de produits finis :.....	51
5.1	Amalio:.....	51
5.2	Carrara:.....	51
5.3	Crema: .....	52
5.4	Mistral:.....	52
5.5	Quartz stone: .....	52
5.6	Les nouveaux développements dans les produits quartz : .....	53
6.	Le spectroscopie Infrarouge (IR) : .....	54
7.	LA CONCLUSION :.....	54
3.	CHAPITRE III : .....	58
	CARACTERISATION DES MATIERES PREMIERES .....	58
1.	L'essais sur carreaux en quartz de dimension (400×400×20).....	59
	mm <sup>3</sup> :.....	59
1.1	Les résultats des essais : .....	59
1.1.1	Les caractéristiques dimensionnelles des carreaux testés : .....	59
1.1.2	Les caractéristiques physiques: Absorption d'eau :.....	60
1.1.3	Les caractéristiques mécaniques :.....	62
1.2	Le spectre d'absorption Infrarouge de Matière première 1 :.....	63
2.	L'analyse des phases par spectrométrie infrarouge (IR) :.....	63
2.1	Le spectre d'absorption Infrarouge de Matière première 2 :.....	64

2.2	Le spectre d'absorption Infrarouge de Produit fini :.....	65
3.	LA CONCLUSION :.....	67

## LISTE DES FIGURES

<b>Figure (I- 1):</b> Microstructure typique d'une surface céramique polie qui illustre les grains monocristallins, joints de grains et pores (5).....	3
<b>Figure (I- 2):</b> Exemple des céramiques traditionnelles: (a) Les porcelaines, (b) Les poteries, (c) Les faïences, (d) Le grés. (7).....	4
<b>Figure (I- 3):</b> Micrographie de trois céramiques:a) brique réfractaire: entre les grains cristallins, il y a présence d'une phase vitreuse et de pores (photo: René Crescent); b) alumine (98% Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ) utilisée comme isolant électrique; c) alumine frittée dense à grains fins (99,7% Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ). (4).....	11
<b>Figure (I- 4):</b> Effet piézoélectrique inverse. (15) .....	13
<b>Figure (I- 5):</b> Effet piézoélectrique directe. (15).....	13
<b>Figure (I- 6):</b> Classement des classes cristallines selon leurs propriétés. (16).....	14
<b>Figure (I- 7):</b> Propriétés des matériaux céramiques. (20) .....	15
<b>Figure (I- 8):</b> (a) photographie de l'attritor (b) schéma de bol d'attritor.....	19
<b>Figure (II- 1):</b> Logo de la société de Sofcontra.....	25
<b>Figure (II- 2):</b> L'organigramme de l'entreprise SARL Sofcontra. ....	27
<b>Figure (II- 3):</b> Matières premières utilisées.....	29
<b>Figure (II- 4):</b> Quartz.....	32
<b>Figure (II- 5):</b> Le stockage des matières premières. (16).....	32
<b>Figure (II- 6):</b> les malaxeurs. ....	36

<b>Figure (II- 7):</b> La line de production. ....	37
<b>Figure (II- 8):</b> système de pressage de dalle de quartz.....	38
<b>Figure (II- 9):</b> Après le compactage.....	38
<b>Figure (II- 10):</b> Four industriel.....	40
<b>Figure (II- 11):</b> Le découpage. ....	42
<b>Figure (II- 12):</b> La calibration. ....	42
<b>Figure (II- 13):</b> Machine de polissage.....	43
<b>Figure (II- 14):</b> Le nettoyage et dessiccation. ....	44
<b>Figure (II- 15):</b> La vérification dimensionnelle. ....	45
<b>Figure (II- 16):</b> L'espace de stockage. ....	46
<b>Figure (II- 17):</b> schéma de procédés de fabrication du quartz. ....	47
<b>Figure (II- 18):</b> Matières premières utilisées dans quartz blanc pure. ....	48
<b>Figure (II- 19):</b> Mode opératoire du quartz blanc pure. ....	48
<b>Figure (III- 1):</b> Spectre d'absorption Infrarouge de Matière première 1. ....	64
<b>Figure (III- 2):</b> Spectre d'absorption Infrarouge de Matière première 2. ....	65

## LISTE DES TABLEAUX

<b>Tableau (I- 1):</b> céramiques techniques : fonction, propriétés et applications. (10).....	6
<b>Tableau (I- 2):</b> Température de fusion de quelques céramiques.....	16
<b>Tableau (II- 1):</b> Caractéristiques du quartz.....	30
<b>Tableau (II- 2):</b> Silice en forme de sable de quartz.....	34
<b>Tableau (II- 3):</b> Polymères résineux. ....	34
<b>Tableau (II- 4):</b> Pigments à base de minéraux. ....	35
<b>Tableau (II- 5):</b> Additifs et agents de liaison. ....	35
<b>Tableau (II- 6):</b> des équipements et technologies utilisés chez Sofcontra (17). ....	49
<b>Tableau (II- 7):</b> Valeurs de l'absorption d'eau totale (carreaux en quartz). ....	62
<b>Tableau (III- 1):</b> Caractéristique concernant la longueur d'arête et l'épaisseur. ....	60
<b>Tableau (III- 2):</b> Valeurs du coefficient d'absorption capillaire (carreaux en quartz).....	61
<b>Tableau (III- 3):</b> Valeurs des empreintes et exigence (carreaux quartz). ....	62
<b>Tableau (III- 4):</b> Valeurs des résistances à la flexion (carreaux en quartz).....	63

## Abréviation

**SARL** Société à Responsabilité Limitée

**IR** Infrarouge

**FTIR ou IRTF** Infrarouge à Transformée de Fourier

**DZD** Dinar algérien

**T°C** Température en degrés Celsius

**% pds** Pourcentage en poids

**UV** Ultraviolet

**mm /  $\mu\text{m}$**  Millimètre / Micromètre

**$\text{cm}^{-1}$**  Centimètre inverse

**$\text{g}/\text{cm}^3$**  Gramme par centimètre cube

**$\text{m}^2/\text{g}$**  Mètre carré par gramme

**$\text{mPa}\cdot\text{s}$**  Milli pascal-seconde (unité de viscosité)

**$\text{SiO}_2$**  Dioxyde de silicium

**$\text{Al}_2\text{O}_3$**  Alumine

**$\text{ZrO}_2$**  Zircon

**$\text{TiO}_2$**  Dioxyde de titane

**$\text{Fe}_2\text{O}_3$  /  $\text{Fe}_3\text{O}_4$**  Oxyde de fer rouge / Magnétite

**Ca** Calcium

**Na** Sodium

**BaTiO<sub>3</sub>** Titanate de baryum

**WC** Carbure de tungstène

**SiC** Carbure de silicium

**BN** Nitrure de bore

**Tf** Température de fusion

**MPa** Méga pascal (unité de contrainte ou de pression)

**CNC** Commande Numérique par Calculateur

**FIFO** First In, First Out

**MOHS** Échelle de dureté de Mohs

# INTRODUCTION GENERALE

## **1. INTRODUCTION GENERALE :**

Dans un univers en constante progression technologique et industrielle, les matériaux occupent une place prépondérante dans l'évolution des domaines cruciaux tels que la construction, l'automobile, l'électronique ou encore la biomédecine. Les matériaux céramiques, grâce à leurs caractéristiques remarquables comme la dureté, la résistance à la corrosion, aux températures élevées et leur inertie chimique, prennent une place de plus en plus stratégique parmi ces matériaux (1).

Les céramiques, qui étaient autrefois limitées à des applications traditionnelles telles que les tuiles, les briques et la poterie, bénéficient aujourd'hui d'une diversification impressionnante de leurs usages, due à l'avancement des méthodes de fabrication et de caractérisation. Ces dernières sont maintenant utilisées dans des secteurs nécessitant une technologie avancée, ce qui requiert un contrôle strict des matières premières et des procédés de production (2).

Dans le cadre algérien, de nombreuses entreprises se consacrent à la production de biens céramiques destinés à la construction. C'est dans ce contexte que se positionne l'entreprise SOFCONTRA, située à Aïn Témouchent, qui se consacre à la fabrication de briques et produits en terre cuite. Cette société applique un processus de fabrication combinant des méthodes traditionnelles et des stratégies de contrôle qualité contemporaines, ce qui en fait un objet d'étude pertinent dans le secteur du génie des matériaux.

Cette étude se structure autour de trois piliers principaux. Le premier chapitre présente un résumé global sur les matériaux céramiques, soulignant leurs propriétés, classifications et secteurs d'utilisation. La deuxième partie se focalise sur la présentation de la société SOFCONTRA et fournit une description approfondie de son processus de production. Pour conclure, le chapitre trois se concentre sur l'analyse des matières premières et des produits finis via des méthodes de caractérisation sophistiquées comme la spectroscopie infrarouge (IRTF), dans le but de saisir plus précisément la structure et la composition des matériaux employés.

L'objectif de ce mémoire est de démontrer le lien entre les caractéristiques des matières premières, les conditions de traitement et la qualité des produits finaux. Il souligne également l'importance des méthodes de caractérisation dans l'amélioration des performances des matériaux céramiques.

**1. CHAPITRE I :**

**GENERALITES SUR LES MATERIAUX  
CERAMIQUES**

## 1. L'INTRODUCTION :

Jusqu'à la première moitié du XXe siècle, la céramique était principalement perçue comme l'art de créer des poteries. Aujourd'hui, elle est redéfinie comme l'art de produire des objets inorganiques et non métalliques, impliquant un traitement thermique à haute température dans leur fabrication. Cette nouvelle définition peut prêter à débat, car elle inclut également la verrerie dans le champ de la céramique.

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

Les applications des céramiques sont extrêmement variées en raison de leurs propriétés telles que la dureté, la rigidité, la résistance à la chaleur et aux solvants chimiques, ainsi que leur fragilité.

On peut distinguer deux grandes catégories de céramiques : les céramiques « traditionnelles » et les céramiques « nouvelles ». Les céramiques traditionnelles englobent celles destinées aux industries classiques, telles que les poteries, briques, tuiles, sanitaires, porcelaines, faïences, verreries, cimenteries et sidérurgie. En revanche, les céramiques nouvelles se concentrent sur des secteurs avancés tels que l'électronique, l'armement, l'aéronautique et l'espace, le nucléaire, l'acoustique marine et sous-marine, ainsi que la mécanique et la métallurgie spécialisée, les biomatériaux et le génie chimique. (3)

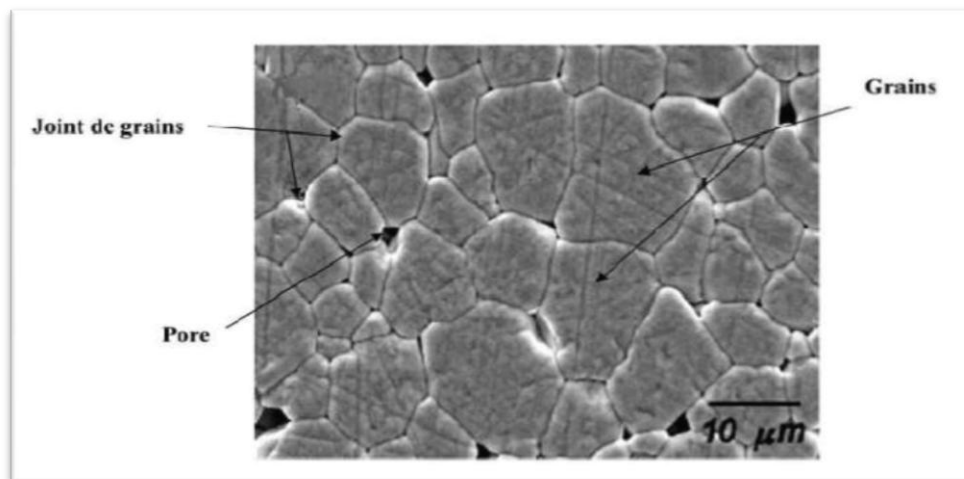
## 2. Les céramiques :

Le mot céramique (du grec *keramikos*, «argile cuite») implique la cuisson de matières premières argileuses, matières abondantes et bon marché. Les céramiques, sous forme de poterie et de briques, sont les premiers matériaux que l'Homme a fabriqués par transformation de matières premières. Ces matériaux sont essentiellement des oxydes dont la cohésion est assurée par des liaisons ioniques ou covalentes; leurs propriétés générales dépendent de ces types de liaisons et de l'architecture atomique qui en résulte.

Aujourd'hui, le terme céramique englobe une gamme de matériaux beaucoup plus vaste.

En effet, outre les céramiques traditionnelles fabriquées à partir d'argiles, on retrouve les oxydes purs (naturels et synthétiques), les verres, les carbures, nitrures et borures, les ciments et bétons, et les matériaux carbonés. Par ailleurs, les utilisations modernes des céramiques ne sont plus limitées aux domaines traditionnels de la construction et des biens de consommation, puisqu'on les emploie dans des secteurs comme ; électrotechnique, la construction mécanique, etc. (4)

La plupart des céramiques sont des matériaux poly cristallins, c'est à dire comportant un grand nombre de microcristaux bien ordonnés (grains) reliés par des zones moins ordonnées (joints de grains) comme illustré en Figure. I. 1.



**Figure (I- 1):** Microstructure typique d'une surface céramique polie qui illustre les grains monocristallins, joints de grains et pores (5).

### 3. LA CLASSIFICATION DES CERAMIQUES :

#### 3,1 Les Céramiques traditionnelles:

Elles sont issues de matières première naturelles (argile, feldspath, kaolin, quartz) et généralement mise en œuvre par coulée (barbotine). Les céramiques traditionnelles dites aluminosilicates sont présentes dans de nombreux secteurs d'activités tels que les matériaux de construction (briques, tuiles), les sanitaires, le revêtement (carrelages, Faïence), les réfractaires. Leur fabrication s'effectue à partir de matière première minérales silicatées naturelles. (6)



**Figure (I- 2):** Exemple des céramiques traditionnelles: (a) Les porcelaines, (b) Les poteries, (c) Les faïences, (d) Le grés. (7)

Les minéraux argileux constituent la matière fondamentale de la quasi-totalité des matériaux céramiques. Leurs propriétés spécifiques, dues à leur nature colloïdale en présence

d'eau permettent le façonnage des produits céramiques dont elles assurent la cohésion des pièces en cru. Les argiles à haute teneur en alumine (kaolins) permettent la fabrication des réfractaires et elles sont également utilisées pour la fabrication de céramiques fines (faïences fines, grès, sanitaires et surtout porcelaine) en apportant leur blancheur. Les argiles grésantes (type illite, montmorillonite) sont à la base des produits de faible porosité de par la présence d'alcalins, considérés comme éléments fondants, dans leur réseau. (8) Le tableau, donne les différents types de céramiques traditionnelles et leurs modes d'emplois.

### **3.2 Les céramiques techniques:**

À côté des céramiques traditionnelles très largement utilisées dans le bâtiment, on rencontre une grande variété de céramiques techniques indispensables à la réalisation d'un grand nombre d'activités technologiques dans les secteurs des plus divers: mécanique, électrotechnique et électronique, chirurgie, optique, industrie nucléaire, etc. Dans la majorité des cas, ces céramiques sont élaborées avec soin, depuis le choix et le traitement des matières premières (naturelles ou synthétiques) jusqu'aux étapes finales de fabrication, afin qu'on puisse contrôler parfaitement les microstructures ainsi que la proportion et la morphologie des phases en présence. (4)

Les céramiques modernes à haute performance sont synthétisées ; elles comprennent l'alumine ( $Al_2O_3$ ), la silice ( $SiO_2$ ), d'autres oxydes tels que  $TiO_2$ ,  $ZrO_2$ ,  $Na_2O$ ,  $Li_2O$ , les carbures WC, TiC, SiC, BC, les nitrures  $Si_3N_4$ , TiN, BN et les borures  $TiB_2$ . Comme il s'agit de composés de métaux avec les éléments plus légers N, C et O, leur densité est généralement inférieure à celle des métaux. (9)

Fonctions	Propriétés	Applications
Mécanique	Dureté Résistance à l'usure Lubrification Résistance mécanique	Outils de découpe (WC B <sub>4</sub> C) Abrasifs (SiC $\alpha$ -Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ) Lubrifiants solides Instruments de précision
Thermique	Réfractarité Isolation thermique Conductivité thermique	Revêtement de four industriel à haute température (600°C à 2000°C) Matériau des électrodes Drains thermiques.
Biologique/ Chimique	Compatibilité biologique Absorption/catalyse Résistance à la corrosion	Implants dentaires et prothèses (ZnO) Absorption (SiO <sub>2</sub> ) Catalyseur (Zéolite) Échangeur de chaleur Réacteurs chimiques
Nucléaire	Résistance aux Rayonnements Réfractarité	Combustible nucléaire (UO <sub>2</sub> ) Revêtement du combustible nucléaire Revêtement (SiC)
Optique	Fluorescence Translucidité Transmission optique	Diode électroluminescente Porcelaine translucide résistante à la chaleur Câble de communication optique
Electriques/ Magnétiques	Isolation électrique Conductivité électrique Semi-conductivité Piézoélectrique Diélectrique Magnétique	Substrat de circuit intégré Capteur Élément chauffant à résistance Filtre piézoélectrique (quartz) Élément de mémoire

**Tableau (I- 1):** céramiques techniques : fonction, propriétés et applications. (10)

## 4. L'essai de classification des céramiques :

### 4.1 La première tentative:

Dans cette tentative, la classification des céramiques est basée sur le caractère chimique (liaison, structure électronique). (11)

Les diverses céramiques connues se répartissent en 5 grandes familles ou groupes.

#### ❖ Groupe A:

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

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

#### ❖ Groupe B:

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

#### ❖ Groupe C:

Ce groupe regroupe les familles de carbures et de nitrures des métaux de transition.

Les céramiques de ce groupe ont des températures de fusion très élevées, en outre ils sont très durs et souvent utilisées comme abrasifs.

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

#### ❖ Groupe D:

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

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

#### ❖ Groupe E:

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

#### **4.2 La deuxième tentative:**

Dans cette seconde tentative, la classification des céramiques n'est plus basée sur le caractère chimique, mais sur les propriétés physiques intéressantes et utilisées cette classification éclairera un peu plus la notion vaste et vague de céramiques. (11)

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

- **Les verres :**

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

De plus, ils sont transparents et peuvent être colorés par ajouts d'impuretés (FeO pour la verte bouteille, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> pour la couleur roille).

- **Les ciments :**

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

- **Les terres cuites :**

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

- **Les réfractaires :**

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

- **Les abrasifs :**

On trouve les carbures SiC, B<sub>2</sub>C<sub>3</sub> et les oxydes Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

- **Les optoélectroniques :**

Ces matériaux transforment les impulsions électriques en signaux optiques. C'est le cas de niobate de lithium  $\text{LiNbO}_3$  monocristallin, du vanadate de lithium  $\text{LiVO}_3$  Monocristallin, ces monocristaux sont de synthèse donc très onéreux.

- **Les magnétiques :**

Ces matériaux de types ferrite  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  servent de mémoires magnétiques.

- **Les ferroélectriques :**

Ces céramiques ont une très haute constante diélectrique, ils sont du type titanate de baryum  $\text{BaTiO}_3$  pour applications piézoélectriques, ils transforment une impulsion électrique en impulsions mécaniques et réciproquement.

Notons que le quartz possède également cette propriété.

- **Les électrolytes solides :**

Ces matériaux sont des supers conducteurs ioniques. Ils ont une haute conductivité et peuvent servir de piles ou d'accumulateurs d'énergie. C'est le cas d'alumine  $\beta$  qui est en fait un aluminat de sodium  $\text{Na}_3\text{Al}_2\text{O}_3$ .

## 5. Les propriétés générales:

### 5.1 Les liaisons:

La structure cristalline des céramiques dépend principalement de la nature de leurs liaisons atomiques, qui influencent fortement leurs propriétés.

- Les céramiques, constituées de liaisons ioniques et covalentes, ne possèdent pas d'électrons libres, ce qui en fait de mauvais conducteurs électriques et thermiques.

Elles sont ainsi utilisées comme isolants et diélectriques. Certaines peuvent toutefois être semi-conductrices (Si, Ge, GaAs, SiC) et présenter des propriétés ferroélectriques ou piézoélectriques.

- La stabilité et la force de ces liaisons confèrent aux céramiques des températures de fusion très élevées, les rendant adaptées aux environnements à

haute température, comme les fours réfractaires. Leur inertie chimique les protège contre la corrosion et l'oxydation. Cependant, la stabilité varie selon le degré de caractère ionique des liaisons, expliquant par exemple la différence de fusion entre le NaCl (800 °C) et l'alumine (2050 °C).

- Les céramiques sont rigides mais fragiles en raison de la faible mobilité des dislocations dans leur structure. Elles se cassent sans déformation plastique, surtout en traction, mais résistent mieux en compression. Leur dureté les rend précieuses pour les abrasifs, les outils de coupe et les surfaces résistantes à l'usure. (4)

## 5.2 La microstructure:

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

- **Les céramiques ioniques et covalentes :**

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

- a. Les céramiques ioniques :**

Elles se composent d'un métal et d'un non-métal. Exemples :

- Chlorure de Sodium (NaCl)
- Magnésie (MgO) • Alumine (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)
- Zircon (ZrO<sub>2</sub>)

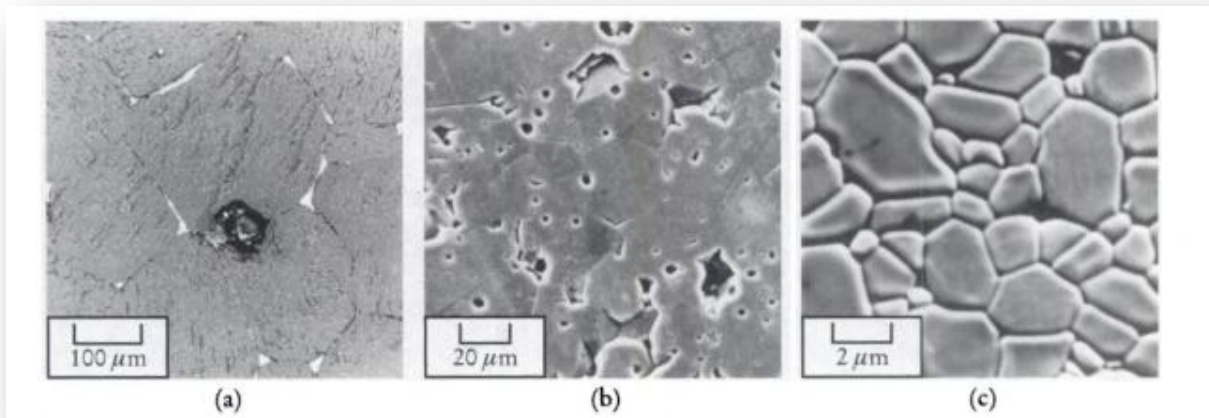
L'attraction électrostatique entre charges de polarité opposée constitue l'origine majeure de la liaison. Les ions choisissent un empilement compact pour réduire les distances entre charges de signes contraires. Cet empilement est également soumis à une règle stipulant que les charges de même signe ne doivent pas se toucher. En général, la structure de ce genre de céramique est cristalline. (12)

**b. Les céramiques covalentes :**

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

- Silice ( $\text{SiO}_2$ )
- Diamant (C)
- Silicium (Si)

La cohésion du solide est assurée par la présence de liaisons covalentes, c'est-à-dire le partage des atomes avec ses voisins. L'énergie est minimum, non par le développement d'un empilement dense comme pour les céramiques ioniques, mais par la formation de chaînes, feuillets ou réseaux. Les céramiques à liaisons covalentes sont plus fréquemment amorphes. (13)



**Figure (I- 3):** Micrographie de trois céramiques:a) brique réfractaire: entre les grains cristallins, il y a présence d'une phase vitreuse et de pores (photo: René Crescent); b) alumine (98%  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) utilisée comme isolant électrique; c) alumine frittée dense à grains fins (99,7%  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ). (4)

### 5.3 Les propriétés physiques :

#### 5.3.1 La Piézoélectricité :

La piézoélectricité est l'aptitude de certains matériaux cristallins à produire une charge électrique proportionnelle à la contrainte mécanique qui les déforme. C'est l'effet piézoélectrique direct (Figure) et ce phénomène est réversible: l'application d'un champ électrique externe provoque une déformation mécanique (effet piézoélectrique inverse) (Figure).

La piézoélectricité ne peut se manifester, ni pour des corps conducteurs, ni pour des corps à haut degré de symétrie et on a démontré que l'absence de centre de symétrie dans la maille élémentaire étant nécessaire à l'apparition de ce phénomène. (14)

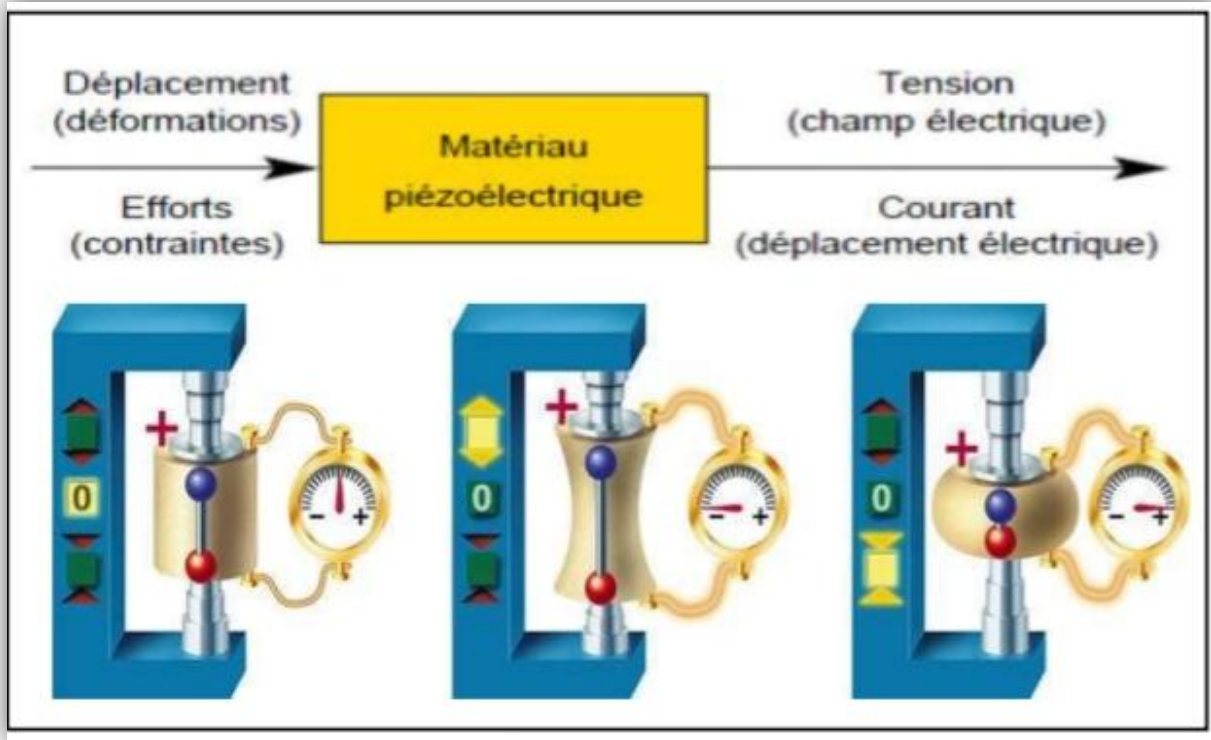


Figure (I- 5): Effet piézoélectrique directe. (15)

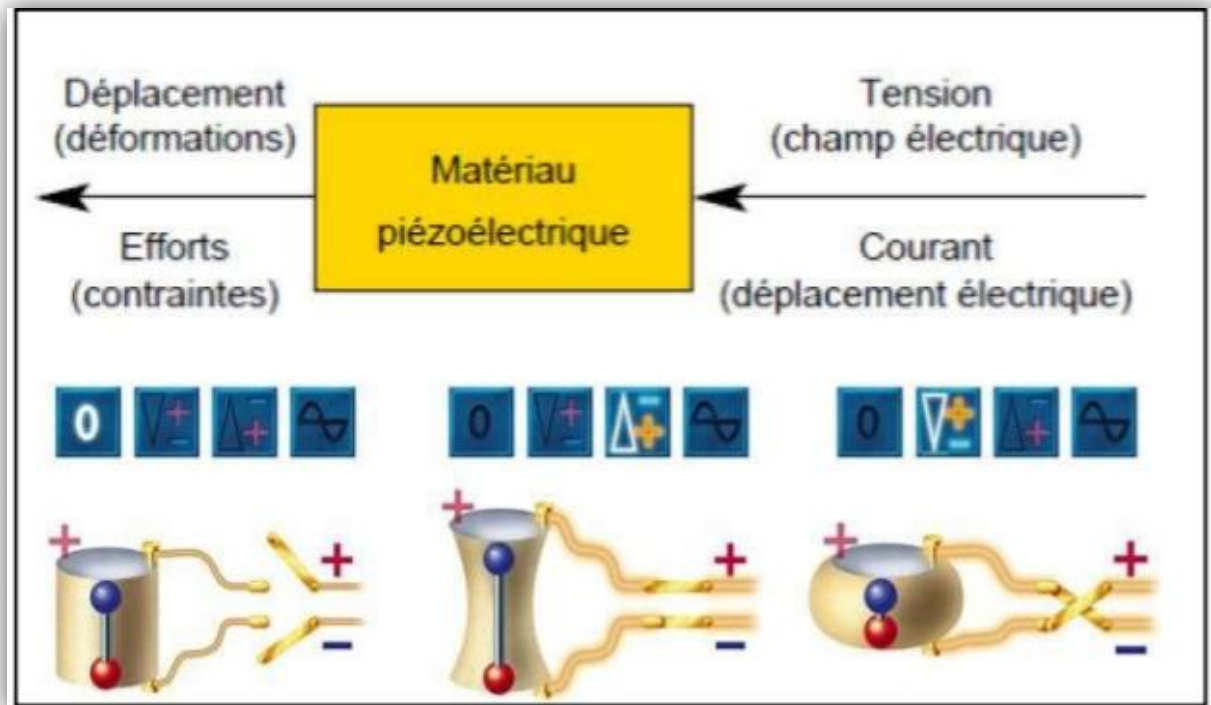
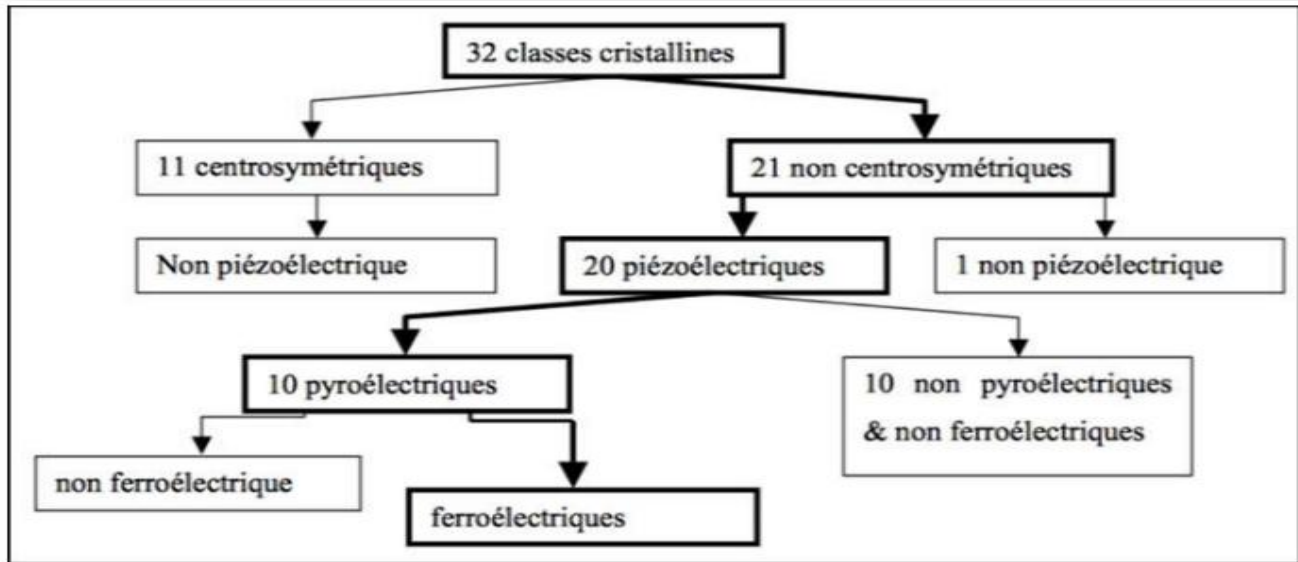


Figure (I- 4): Effet piézoélectrique inverse. (15)

Sur les 32 classes cristallines, 21 présentent ces caractéristiques (non Centro-symétrique) et 20 classes cristallines sont piézoélectriques, parmi ces 20 classes, 10 présentent une polarisation spontanée en l'absence d'un champ extérieur, elles sont dites pyroélectrique est polaires en raison de la variation de la polarisation spontanée avec la température (Figure).



**Figure (I- 6):** Classement des classes cristallines selon leurs propriétés. (16)

### 5.3.2 La pyroélectricité :

L'effet pyroélectrique, nommé par J.P. Glusker, est le développement des charges électriques sur les surfaces de certains cristaux non Centro symétriques et optiquement actives qui possède un axe polaire dans leurs réponses à un changement de température. Les matériaux pyroélectrique sont polaires car ils présentent une polarisation spontanée. L'intensité de cette polarisation est directement dépendante de la température, selon une loi monotone qui stipule que tout changement de la température du cristal entraîne l'apparition ou la disparition des charges électriques sur les faces du cristal, perpendiculaires à l'axe polaire et donne donc naissance à un courant mesurable dans un circuit extérieur. (17)

### 5.3.3 La Ferroélectricité :

La Ferroélectricité forme un sous-groupe de la pyroélectricité comme la montre la (Figure). La direction de polarisation d'un cristal ferroélectrique varie en fonction du champ électrique extérieur. Elle peut être simplement réorientée voire même s'inverser si le champ est suffisamment intense. (18) Un matériau ferroélectrique ne présente propriétés piézoélectriques avant polarisation mais une fois polarisé, il devient alors piézoélectrique.

### 5.4 Les propriétés mécaniques :

Le pouvoir des matériaux de résister à la compression, à la traction, aux chocs, L'enfoncement des corps étrangers, ainsi qu'à tout résultant de l'application d'une force. Elles présentent un module d'élasticité très élevé et des déformations élastiques extrêmement restreintes. On peut supposer, avec une très bonne approximation, que leur comportement es élastique jusqu'à la rupture (19) Comme les masses volumiques céramiques sont faibles, leurs modules spécifiques E (raideur spécifiques) très élevés les rendent très attractives  $E_{\text{céramiques}} > E_{\text{métaux}} > E_{\text{polymère}}$

De plus les liaisons ioniques et les liaisons covalentes sont très cohésives :

n outre, les céramiques sont constituées d'atomes légers (C, O, Si, Al) et présente un structure cristalline souvent non compacte :  $\rho_{\text{métaux}} < \rho_{\text{céramiques}} < \rho_{\text{polymères}}$

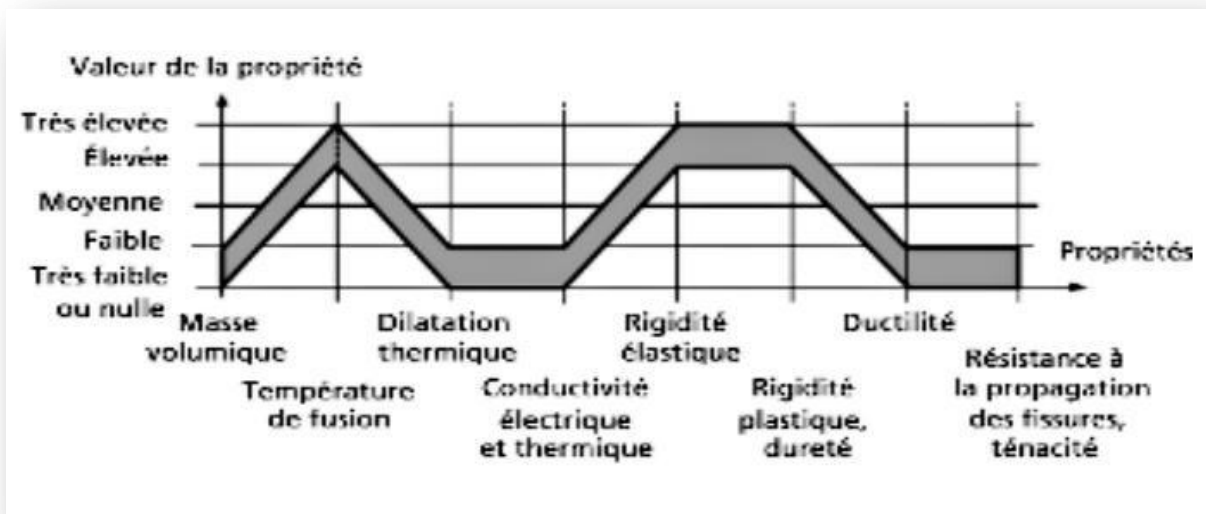


Figure (I- 7): Propriétés des matériaux céramiques. (20)

## 5.5 Les propriétés Thermiques :

### 5.5.1 La 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 (Tf) de quelques céramiques. (21)

Matériaux	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaO	TiN	SiO <sub>2</sub>
Tf °C	2070	2640	2625	2950	1700

**Tableau (I- 2):** Température de fusion de quelques céramiques.

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. (21)

## 5.6 Les propriétés Electriques :

Les céramiques sont d'excellents isolants électriques et peuvent servir de support à des éléments de circuits électrique. Ce sont elles, en particulier, qui constituent les isolateurs des lignes à haute tension. Dans certaines conditions, comme des températures extrêmement basses, certaines céramiques deviennent supraconductrices. (22)

## 5.7 Les propriétés Optiques :

Au delà des propriétés optiques, c'est l'impression visuelle qui compte. Celle-ci résulte de la combinaison de nombreux facteurs relatifs aux propriétés optiques de la surface, des différentes phases et des différentes couches, de la couleur et du spectre de la lumière incidente. Les rendus des diverses céramiques vont de l'opaque au transparent, avec des

luminosités variables, des effets de fluorescence, d'opalescence, avec des couleurs et des saturations différentes. Tout ceci est obtenu en jouant sur la composition, la nature chimique, la taille, la quantité et l'indice de réfraction des charges cristallines et des pigments répartis dans la phase vitreuse. (23)

### **5.8 Les propriétés chimiques et environnementales :**

Les céramiques présentent généralement une très grande inertie chimique et résistent bien aux attaques aux substances agressives, à l'oxydation aux agressions climatiques. Ce caractère de matériaux neutres et inertes fait qu'elles ne présentent pas de danger pour l'homme et pour la nature. On les utilise d'ailleurs largement pour les équipements sanitaires, médicaux ou alimentaires. On appelle inertie chimique la capacité à résister aux attaques chimiques. Les céramiques oxydes étant déjà oxydées, elles résistent beaucoup mieux aux effets corrosifs que certains métaux. (22)

## **6. Les grandes caractéristiques des céramiques :**

Les matériaux céramiques présentent une caractéristique essentielle par rapport à d'autres matériaux : les atomes ou constituants de leur réseau cristallin sont en général très solidement liés entre eux par des liaisons fortes. Dans la majorité des céramiques oxydes ( $Al_2O_3$ ,  $ZrO_2$ ,  $UO_2$ ,  $TiO_2$ ), les liaisons sont du type ionique. Les cations métalliques cèdent leurs électrons aux anions d'oxygène. Il n'y a pas à priori d'électrons disponibles jusqu'à des températures élevées pour la conductibilité électronique.

Il en découle des particularités remarquables générales dues à ce type de liaison : température de fusion élevée, inertie chimique, barrière thermique, grande dureté accompagnée malheureusement de son corollaire : une grande fragilité.

On trouve une partie de ces particularités dans les céramiques de type carbures, nitrures borures et jusque dans certains composés du carbone : les liaisons entre atomes sont fortes de type covalent, les électrons des constituants étant mis en commun pour assurer cette liaison.

Les forces inter-atomiques sont moins élevées que dans les liaisons ioniques, mais on retrouve les principales caractéristiques : une température de fusion élevée, l'inertie chimique et, en général, une grande dureté. Par contre, les caractéristiques d'isolation thermique et de

non conductibilité électrique peuvent être moins marquées (en particulier pour certains carbones) (24).

## **7. Les différentes techniques de synthèse des poudres :**

Les différentes techniques d'élaboration des poudres peuvent être classées en deux catégories:

- La synthèse par la méthode solide,
- La synthèse par la méthode liquide ou chimique.

### **7.1 La synthèse par la voie solide « Mélangeage-broyage » :**

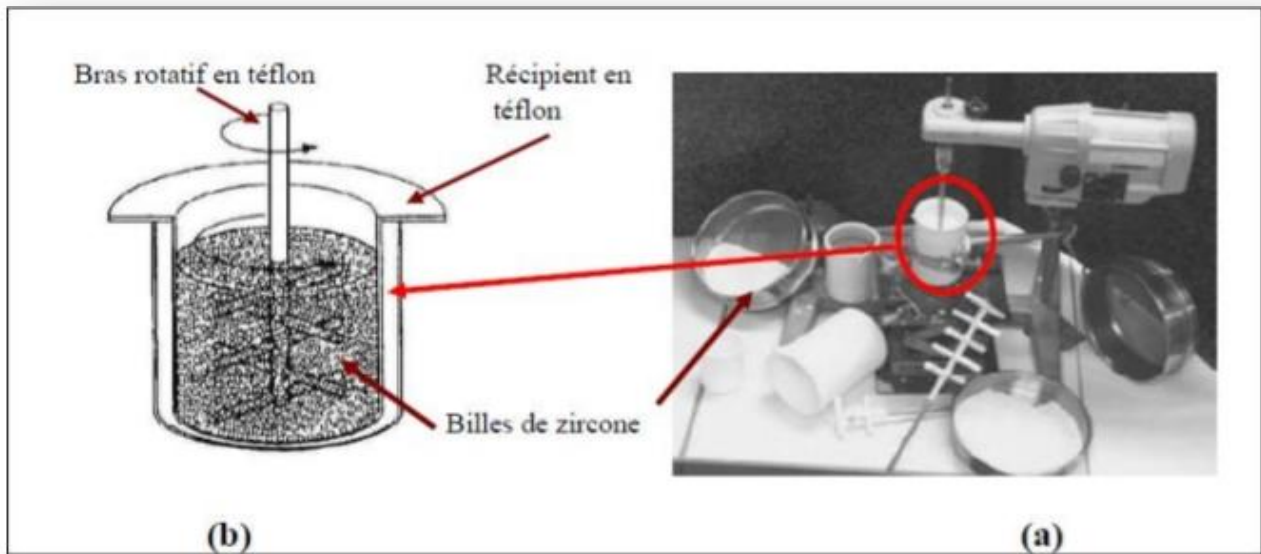
L'opération de mélange permet l'homogénéisation de la préparation. Elle combine une désagglomération puis un mélange intime des constituants. Le broyage permet d'affiner la gaussienne de répartition de la taille des grains et de la déplacer vers une taille moyenne plus petite de l'ordre du micron. Une taille réduite de grains et une surface spécifique élevée sont recommandées si l'on veut avoir une grande réactivité et une densification élevée du produit.

En effet, lorsque l'action mécanique divise une particule en deux par exemple, il y a création de nouvelles surfaces, ce qui augmente la surface de contact et donc de réaction au cours du frittage. (25)

En revanche, si le matériau final doit être poreux, il est souhaitable d'avoir une taille de grain élevée et une surface spécifique faible.

Comme dans la plupart des broyages effectués aux laboratoires, l'attrition est la technique la plus utilisée. L'appareil utilisé est un attritor (Fig). Il se compose d'un moteur électrique entraînant la rotation d'une tige verticale comportant plusieurs axes perpendiculaires.

Cette tige, recouverte de téflon pour éviter toute pollution métallique, tourne à l'intérieur d'un récipient en téflon également.



**Figure (I- 8):** (a) photographie de l'attritor (b) schéma de bol d'attritor

De toutes les méthodes présentées, la synthèse par la voie solide sera utilisée pour préparer toutes les compositions de  $\text{CaTiO}_3$  pure et substituées. (26)

## 7.2 La synthèse par voie liquide ou chimique :

La synthèse par voie liquide ou chimique est très développée ces dernières années. Son intérêt est d'obtenir des produits très homogènes. Les techniques diffèrent principalement par la façon de réaliser :

- Le mélange de précurseur à décomposer
- l'élimination du solvant avant ou pendant la calcination

Parmi les procédés les plus courants citons la synthèse par la Co précipitation, la synthèse hydrothermale et la synthèse sol-gel.

## **8. LA CONCLUSION :**

Au cours de ce premier chapitre, nous avons étudié la diversité des matériaux céramiques, en différenciant nettement les céramiques traditionnelles des céramiques techniques. La diversité et la complexité de ces matériaux se reflètent dans leur classification ainsi que dans leurs caractéristiques physiques, mécaniques, thermiques, électriques et chimiques. Ces caractéristiques, qui proviennent principalement de liaisons atomiques fortes (ioniques ou covalentes), confèrent aux céramiques une performance remarquable dans divers secteurs industriels.

De plus, nous avons discuté des diverses méthodes de production de poudres céramiques, qui représentent une phase essentielle pour la création de matériaux dotés de propriétés précises. Ces connaissances sont essentielles pour saisir et améliorer les méthodes de fabrication des céramiques, en particulier dans le contexte de notre recherche sur l'affinement du quartz, thème principal de ce mémoire.

Ainsi, ce chapitre sert de fondement théorique crucial pour comprendre les éléments plus pratiques abordés dans les chapitres ultérieurs.

**Référence bibliographique:**

1. **Callister, W. D.** *Materials Science and Engineering: An Introduction*. s.l. : John Wiley & Sons, 2007.
2. **Richerson, D. W.** s.l. *Modern Ceramic Engineering: Properties, Processing, and Use in Design*. s.l. : CRC Press, 2006.
3. **S. K. Mishra, D. Pandey, A. P. Singh.** Effect of phase coexistence at morphotropic phase boundary on the properties of Pb (Zr x Ti1- x) O3 ceramics. s.l. : Applied physics letters, 1996. pp. 1707–1709. Vol. 69. 12.
4. **Baïlon, Jean-Paul, and Dorlot, Jean-Marie.** *Des matériaux*. Canada : Presses internationales polytechnique , 2000.
5. **J. PHALIPPOU.** *Verres: aspects théoriques* . s.l. : Techniques de l'ingénieur. Sciences fondamentales, 2001. pp. AF3600–1. Vol. 7.
6. **B. Hassina.** Effet de la température sur les performances des céramiques contenant la bentonite, Thèse de doctorat : Génie des procédés. Faculté des sciences de l'ingénieur université M'hamed Bougra-Boumerdes : s.n., 2014/2015.
7. **J.M Haussonne, C Carry , P Bowen, J Barton.,.** *Traité des Matériaux : Tome 16, Céramiques et verres : principes et techniques d'élaboration*. presse polytechnique et universitaire romandes : s.n., 2005.
8. **L Galtier, L Lecrivain, P Rocher, et M Vouillement.,.** Approvisionnement de la France en minéraux industriels. BRGM, OMP, SFC,. 1992.
9. **T. Fisher.** *Materials science for engineering students*. s.l. : Elsevier Science , 2018.
10. **J. S. Reed.** *Principles of Ceramics Processing*. s.l. : US: John Wiley & Sons, Inc, 1995.
11. **M. MOKHTARI Mohamed, M. BESSAD Oussama.,.** *Fabrication et controle de qualité de carreaux ceramiques de l'entreprise SARL-TOUGRES-CERAMIC*. Universite saad dahleb - Blida 1 : s.n., 2020-2021.

12. **Lalmi Khier.** étude par diffraction des rayons X de matériaux à base de kaolin de KT2 et DD. université Mentouri-contantine : mémoire de magister.
13. **Hernot François.** l'argile, son utilisation a l'officine, thèse pour le diplôme d'étude de docteur en pharmacie. université Angers : s.n., 2016.
14. **M. ABBA.** Synthèse, caractérisation et étude Des propriétés Piézo-électriques des céramiques de type PZT:  $Pb_{1-y}La_y [Zr_xTi_{1-(x+z)}(Mo_{1/3}In_{2/3})_{1-y/4}O_3]$  », PhD Thesis. Université Mohamed Khider-Biskra : s.n., 2013.
15. **H. Menasra.** Influence de la température de frittage sur les propriétés structurales, diélectriques et piézoélectriques dans le système ternaire:  $Pb_{0.95}(La_{1-z}, Bi_z)_{0.05} [(Zr_{0.6}, Ti_{0.4})_{0.95}(Mn_{1/3}, Sb_{2/3})_{0.05}]O_3$  », PhD Thesis. Université Mohamed Khider Biskra : s.n., 2015.
16. **A. Hajjaji.** Caractérisation multi échelle et lois de comportement dans les matériaux ferroélectriques , PhD thèse. INSA de Lyon : s.n., 2007.
17. **L. Wu, C.-C. Wei, T.-S. Wu, et H.-C. Liu.,** *Piezoelectric properties of modified PZT ceramics.* 1983. p. 2813. Vol. 16.
18. **A. Benayad.** Matériaux monocristallins à forte activité piézoélectrique: élaboration, caractérisation et application . INSA de Lyon : s.n., 2005.
19. **E.R. Kipkoech, F. Azough, R. Freer, C. Leach, S.P. Thomposon, C. C. Tang.,** *Structural study of  $Ca_{0.7}Nd_{0.3}Ti_{0.7}Al_{0.3}O_3$  dielectric ceramics using synchrotron X-ray diffraction .* Eur. Ceram Soc 23 : s.n., 2003. pp. 2677–2682.
20. **M. Dupeux.** *Aide-mémoire de science des matériaux.* Paris: Dunod : s.n., 2013. p. 388.
21. **Saidani, Nabil.** Rapport de fin d'étudei (E.S.T. Fes).
22. **NGOH, Francis Etutu.,** Heavy Metals Adsorption by Fiber Ash. 2006.
23. **DEJOU, J.** *Les céramiques.* Société Francophone de Biomatériaux Dentaires. : s.n., 2009-2010.
24. **Christian Janot, Bernhard Ilchner.,** *Traité des matériaux N°19: Matériaux émergents.* Ed Presse polytechniques et universitaires Romandes : s.n., 2001.

25. **K.D. Madal, L. Behera, K. Ismail,** Electrical conduction and dielectric behavior of the  $Gd_{1-x}Ca_xCoO_3$  system synthesized by the chemical route ( $x=0.10, 0.20, 0.30$ ) Alloys Comp 352[1-2]. 2003. pp. 309–314.

26. **N.J. Shaw.** Densification and Coarsening during Solid-State Sintering of Ceramics – a Review of the Models. s.l. : Powder Metallurgy International, 21, 1989. pp. 16-29.

## **2. Chapitre II :**

### **PRODUCTION DE CARREAUX EN QUARTZ**

## 1. La présentation de l'entreprise SARL-SOFCONTRA :

### 1.1 L'historique de l'entreprise :



**Figure (II- 1):** Logo de la société de Sofcontra

Sofcontra a été créée en 2000, l'activité de l'entreprise est entièrement dédiée à la production de dalles et de carreaux de marbre; granit ainsi que du quartz synthétique avec des dimensions personnalisées.

Depuis sa création, Sofcontra s'appuie uniquement sur le système breton Terastone, son procédé a fait preuve d'une telle efficacité et d'un tel rendement par son approche technologique, aboutissant ainsi à des produits d'une qualité unique. Sofcontra a une forte couverture du marché puisqu'il opère à travers l'Algérie dans 35 districts. Bechar et Adrar situés dans le sud du pays prennent la tête.

Le plus grand atout de Sofcontra est son personnel qui a acquis au fil des ans une expérience considérable dans cette activité et qui respecte pleinement les principes de professionnalisme.

Sofcontra a fait ses preuves à travers l'exportation de divers produits vers des pays industriels à forte économie comme l'Australie. Nous sommes également fiers d'être en partenariat avec les États-Unis et le Canada.

La demande du marché étant croissante, nous envisageons d'implanter une nouvelle unité de production dans le quartier d'Aïn Témouchent. Cette dernière sera à 80,00% dédiée à l'exportation dont la production concerne uniquement des plaques en Quartz synthétique (1).

## 1.2 Les informations sur la société:

### 1.2.1 La fiche d'identité de l'entreprise : SARL SOFCONTRA (2) :

- **Raison sociale** : SARL SOFCONTRA
- **Forme juridique** : Société à Responsabilité Limitée (SARL)
- **Date de création** : 12 décembre 2000
- **Capital social** : 81, 000,000.00 DZD
- **Adresse** : Zone Industrielle Aïn Témouchent, Route de Chabat El-Ham, Portes 103–104–105, Aïn Témouchent, Algérie

### 1.2.2 Les matières premières :

Les principales matières premières utilisées sont le marbre, le granit et le quartz synthétique. Ces matériaux sont soigneusement sélectionnés pour garantir une qualité optimale des produits finis.

### 1.2.3 La technologie utilisée :

Depuis sa création, Sofcontra s'appuie uniquement sur le système breton Terastone, son procédé a fait preuve d'une telle efficacité et d'un tel rendement par son approche technologique, aboutissant ainsi à des produits d'une qualité unique.

Sofcontra a su intégrer des processus industriels optimisés. Cette technologie permet:

- Une homogénéité exceptionnelle des plaques produites ;
- Une réduction significative des défauts (bulles, fissures) ;
- Une automatisation partielle des processus, garantissant la constance de la qualité.

### 1.2.4 Les moyens Matériels :

L'entreprise **SARL SOFCONTRA**, dans le cadre de son activité de transformation de matériaux céramiques et composites tels que le quartz, le marbre et le granit, dispose d'un parc matériel industriel performant, structuré autour des processus de fabrication, de contrôle qualité, de manutention et de logistique. Ces moyens matériels sont répartis sur ses deux sites de production (Remchi et Aïn Témouchent). (3)

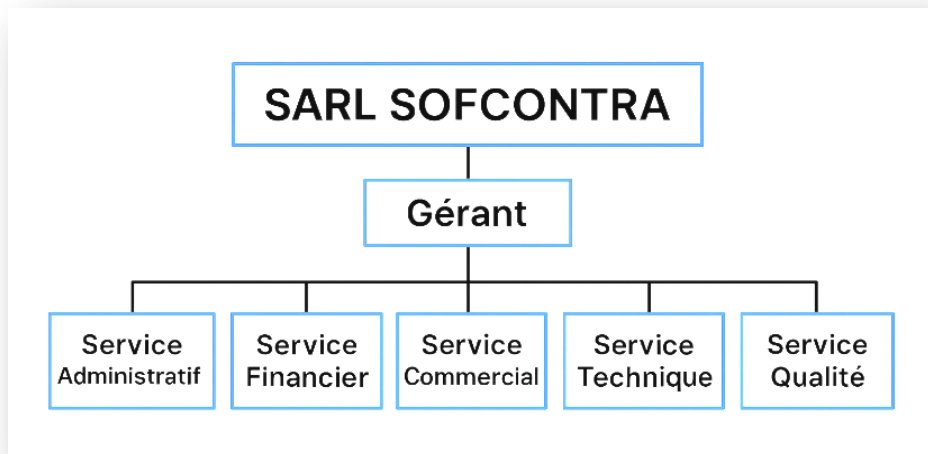
### 1.2.5 Les activités principales :

Sofcontra se spécialise dans la fabrication et la commercialisation de produits issus de la pierre naturelle et du quartz synthétique. Ses principaux produits sont:

- **Les dalles de marbre** destinées à l'aménagement intérieur et extérieur ;
- **Les carreaux de sol** pour les applications résidentielles et industrielles ;
- **Le granit** utilisé dans les cuisines, escaliers et façades ;
- **Le quartz artificiel**, matériau moderne, résistant et décoratif.

### 1.2.6 L'installations industrielles :

- **Salles de production climatisées** : Pour assurer un environnement stable pour la résine et le moulage.
- **Zone de stockage des matières premières** : Compartimentée pour les charges minérales (quartz, sable, marbre), la résine, les colorants et les additifs.
- **Laboratoire de formulation** : Équipé pour le contrôle de la granulométrie, de la viscosité de la résine, et du taux d'humidité des matières premières.



**Figure (II- 2):** L'organigramme de l'entreprise SARL Sofcontra.

## 2. Les machines principales utilisées :

- **Mélangeur sous vide** : Permet d'homogénéiser le quartz avec la résine et les additifs sans incorporation d'air.
- **Table vibrante sous vide** : Pour le compactage du mélange dans les moules.
- **Four de polymérisation** : utilisé pour durcir les plaques de quartz à une température soigneusement régulée (habituellement entre 85 et 100 °C).
- **Ligne de découpe automatique** : Sciage des plaques selon des dimensions standardisées ou personnalisées.
- **Polisseuse automatique à têtes multiples** : Pour obtenir un fini lisse et brillant.

### 2.1 Les équipements de laboratoire (Recherche et Développement ainsi que qualité) :

- **Granulomètre laser** : Utilisé pour mesurer la taille des particules des charges minérales.
- **Balance analytique de précision**
- **Viscosimètre Brookfield** : Pour mesurer la viscosité des résines.
- **Moulin de broyage** : Employé lors de l'étape expérimentale pour modifier la taille des particules du quartz en fonction des formules.
- **Étuve** : Pour la détermination de l'humidité résiduelle dans les échantillons.

## 3. Les procédés de Fabrication :

- ❖ **Préparation des matières premières** : Choix et concassage des agrégats (quartz, marbre, granit)
- ❖ **Mélange** : Fusion des agrégats avec des résines polymères et des pigments
- ❖ **Moulage sous vide** : Remplissage des moules avec le mélange et mise en œuvre d'une pression sous vide.
- ❖ **Durcissement** : Polymérisation intégrale des résines à température régulée

- ❖ **Finition** : Polissage, calibrage et découpage des surfaces suivant les exigences du client.

### 3.1 Les matières Premières Utilisées :

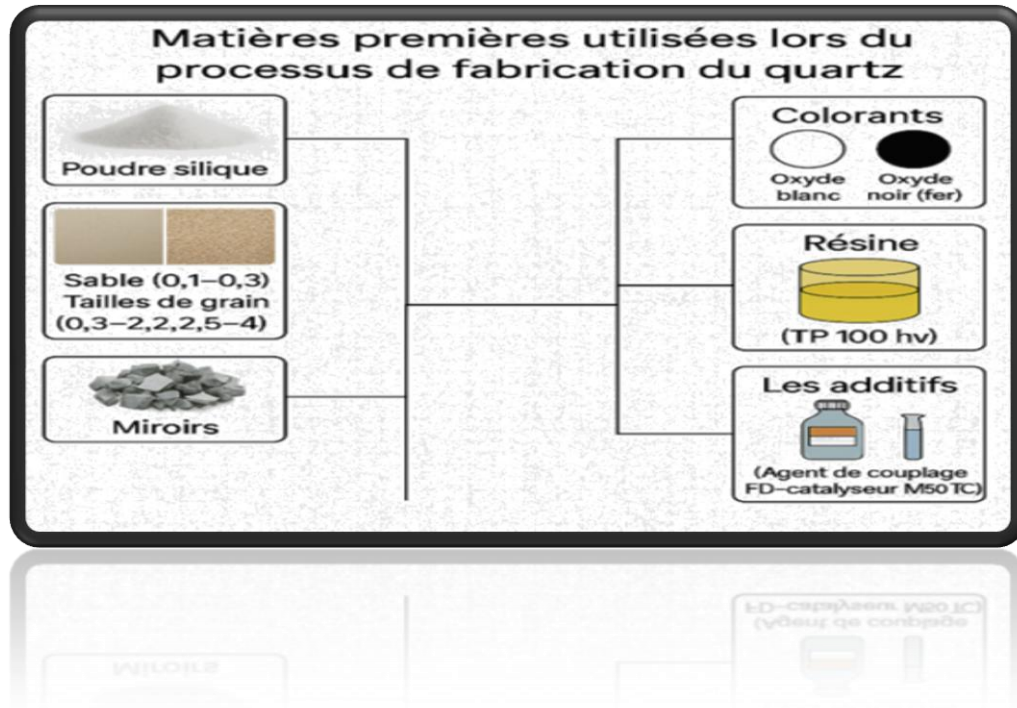


Figure (II- 3): Matières premières utilisées.

#### 3.1.1 La silice et quartz :

**Silice micronisée en poudre** : silice amorphe ou broyée inférieure à  $75 \mu\text{m}$ , utilisée comme charge fine afin d'accroître la densité et la résistance chimique.

**Sable de quartz 0,1 – 0,3 mm** : fraction très fine, essentielle pour remplir les espaces vides entre les grains plus grands et diminuer la porosité.

**Quartz calibré** : quatre plages de granulométrie (0,3 – 0,7 mm ; 0,7 – 1,2 mm ; 1,2 – 2,5 mm ; 2,5 – 4 mm) garantissent une gradation continue selon la courbe de Fuller, nécessaire pour produire une dalle dense et mécaniquement solide.

- **Formule chimique et classification du quartz :**

Le quartz est un minéral dont la composition chimique se résume au dioxyde de silicium, avec pour formule chimique  $\text{SiO}_2$ . On le classe parmi les tectosilicates, une subdivision des silicates, où chaque tétraèdre  $\text{SiO}_4$  partage ses quatre sommets avec les tétraèdres alentours (4).

Dureté	Les quartz ont une dureté de 7 sur l'échelle de Mohs. Cela signifie qu'ils sont capables de rayer le verre et ne peuvent être rayés que par des minéraux plus durs. (5)
Densité	La densité du quartz est d'environ $2,65 \text{ g/cm}^3$ ce qui, comparé avec d'autres minéraux silicatés, est assez faible.
Couleur	D'une manière générale, le quartz pur est soit incolore soit blanc. Cependant, il a d'autres nuances en fonction des impuretés : rose (quartz rose), violet (améthyste), gris à noir (quartz fumé) et jaune (citrine). (4)
Éclat et transparence	Le quartz quadrilatéral brille d'un éclat vitreux, avec une transparence allant du verre à semi-transparent. (6)
Cassure et clivage	Le quartz a en général une cassure conchoïdale qui est reconnue parmi les minéraux amorphes ou très durs, par ailleurs, il ne montre pas de clivage. (5)

**Tableau (II- 1):** Caractéristiques du quartz.

- **La fonction du quartz dans les compositions céramiques :**

Dans les compositions céramiques, le quartz ( $\text{SiO}_2$ ) occupe une place cruciale à divers niveaux. En premier lieu, il joue le rôle d'un stabilisateur dimensionnel, diminuant le rétrécissement lors du séchage et de la cuisson grâce à ses propriétés inertes et sa capacité à résister à la fusion (7). Par ailleurs, lors du frittage, il participe à la résistance mécanique à haute température en se transformant partiellement en phases cristallines telles que la cristobalite ou la tridymite (8). Le quartz contribue également à la régulation de la vitrification, en préservant la structure du produit et en empêchant une déformation excessive durant le processus de cuisson (9). Finalement, le quartz aide à renforcer la résistance chimique des produits terminés, spécialement dans le cas de céramiques techniques ou sanitaires exposées à des conditions hostiles (10).

- **Influence de la dimension des particules sur les caractéristiques des céramiques :**

- ✚ **Densification :** La densification pendant le frittage est fortement influencée par la taille des particules. L'augmentation de la surface spécifique due à la présence de particules plus fines favorise la diffusion des matériaux et autorise une densification à une température inférieure. (11)
- ✚ **Caractéristiques mécaniques :** Les céramiques à grains fins (provenant de particules fines) ont généralement une résistance mécanique supérieure, telle que la dureté et la ténacité à la rupture, du fait que l'avancement des fissures est freiné. (12)
- ✚ **Comportement thermique :** La diminution de la conductivité thermique due à la réduction de la taille des grains est due aux interfaces grain-grain qui dispersent les phonons. Ceci est bénéfique dans les céramiques qui isolent thermiquement. (13)
- ✚ **Caractéristiques optiques :** Les céramiques transparentes (par exemple : alumine transparente) peuvent être obtenues grâce aux particules fines, car elles diminuent la dispersion de la lumière causée par les imperfections et les pores. (14)
- ✚ **Réactivité chimique :** La diminution de la taille des particules accroît la réactivité en raison de l'augmentation de la surface spécifique, ce qui stimule les réactions chimiques (par exemple : frittage réactif ou synthèse en phase solide). (8)
- ✚ **Stabilité au niveau de la microstructure :** À l'échelle nanométrique, les céramiques peuvent subir une croissance anormale des grains pendant le processus de frittage, ce qui

peut modifier leurs caractéristiques finales. Il est donc essentiel d'avoir un contrôle précis de la taille des particules. (15)



**Figure (II- 4):** Quartz.



**Figure (II- 5):** Le stockage des matières premières. (16)

### 3.1.2 Les polymères de Résine :

- Ils servent d'agent de liaison pour garder les particules de quartz unies.
- L'emploi de résines haut de gamme garantit la pérennité et la robustesse des dalles.

- Résine polyester durcissable à chaud (TP 100 HV)
- Viscosité moyenne (350–450 mPa·s à 25 °C) convenant aux processus en vide.
- Assure l'union entre les charges minérales et donne la cohésion finale suite à la polymérisation.

### 3.1.3 Les pigments Inorganiques :

- Incorporés pour donner à la surface des dalles leurs divers coloris et motifs.
- L'emploi de pigments résistants aux UV assure la pérennité des couleurs au fil du temps.
- Débris vitreux (miroirs) réutilisés :
- Morceaux de miroirs flottants recouverts d'une fine pellicule métallique, minutieusement nettoyés puis réduits en morceaux de 3 à 10 mm.
- Offrant un effet décoratif de « miroir scintillant », ces éléments améliorent la réluctance des dalles.

#### ➤ Colorants inorganiques:

- Dioxyde de titane ( $\text{TiO}_2$ ) : agent opacifiant blanc et source de luminance.
- Oxyde de fer noir ( $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{FeO}\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) : couleur anthracite intense.
- Carbone amorphe (noir de fumée) : teinte noire à gris très sombre. En fonction de la chromaticité désirée, la dose habituelle oscille entre 0,1 % et 2 % pds.

### 3.1.4 Les additifs et Agents de Liaison

- Incorporation d'additifs afin de renforcer les caractéristiques mécaniques et la résistance aux taches.
- Recours à des agents de couplage pour améliorer l'adhérence entre la résine et le quartz.

### 3.2 La sélection et préparation des matières premières :

La première phase de production des plaques de quartz artificiel chez Sofcontra est essentielle pour assurer la qualité, la durabilité et l'apparence du produit fini. Elle implique la sélection, le dosage et la préparation méticuleuse des matières premières suivantes (1)

#### 3.2.1 La silice en forme de sable de quartz :

Rôle	Représente entre 85 % et 95 % de la composition des dalles.
Origine	Sable de pureté élevée, fréquemment tiré de carrières locales (zone ouest algérienne) ou importé si besoin.
Normes de choix	Teneur élevée en dioxyde de silicium ( $\text{SiO}_2$ ), Granulométrie exacte (finesse appropriée au type de dalle désiré), Non présence d'impuretés métalliques ou organiques.
Préparation préalable	Nettoyage et séchage, Filtrage pour standardiser la dimension des grains.

**Tableau (II- 2):** Silice en forme de sable de quartz.

#### 3.2.2 Les polymères résineux :

Rôle	Servent de liaison entre les particules de quartz. Elles garantissent la solidité et l'unité du matériau.
Type utilisé	Résines époxy de haute résistance ou résines polyester insaturées.
Exigence	Capacité efficace de polymérisation à haute température, Résilience face aux produits chimiques et aux rayons UV.

**Tableau (II- 3):** Polymères résineux.

### 3.2.3 Les pigments à base de minéraux :

Rôle	Fournir la couleur et les effets décoratifs (aspect de marbre, uni, moucheté...).
Genre	Pigments minéraux inorganiques, qui résistent à la chaleur et à la lumière. Dosage exact pour garantir la constance de la couleur d'une dalle à l'autre.

**Tableau (II- 4):** Pigments à base de minéraux.

### 3.2.4 Les additifs et agents de liaison :

Agent de liaison (par exemple : silane)	Renforce l'adhésion entre le quartz (minéral) et la résine (organique).
Additifs fonctionnels	Agents qui luttent contre les rayons UV, Agents ayant des propriétés antibactériennes, Catalyseurs destinés à stimuler le processus de polymérisation, Réducteurs de bulles pour prévenir la porosité.

**Tableau (II- 5):** Additifs et agents de liaison.

### 3.2.5 Le dosage et pesée :

Chaque ingrédient est automatiquement mesuré et dosé en conformité avec une formule rigoureusement établie.

## 3.3 Le mélange et homogénéisation :

Une fois que les matières premières ont été choisies et préparées, la prochaine phase dans le processus de production des dalles en quartz synthétique est celle du mélange. Cette étape est cruciale pour assurer une répartition homogène des composants et maintenir les caractéristiques mécaniques et esthétiques du produit fini.

**But de la phase:**

- Produire un mélange uniforme de quartz, de résine, de pigments et d'additifs.
- Assurer que chaque dalle présente une composition et un aspect identiques.
- Préparez la pâte de quartz synthétique pour le processus de moulage sous vide.

**3.3.1 Les matériels employés :**

- Automates de mixage industriels et malaxeurs sous vide
- Systèmes automatisés de pesée. (3)

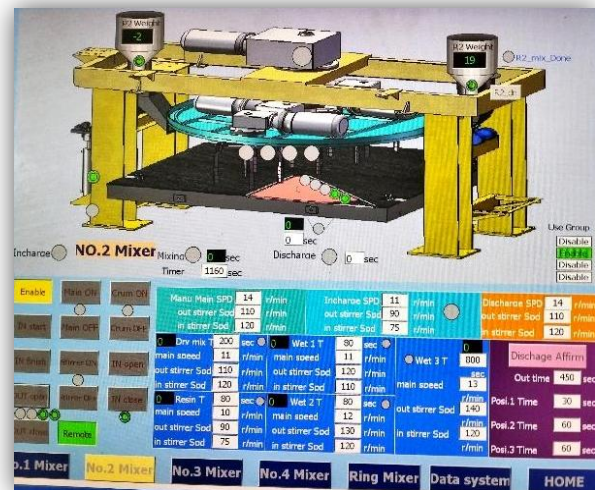


Figure (II- 6): les malaxeurs.

**3.3.2 Les étapes de mélange :****a. Chargement des matières premières :**

Chaque composant (quartz, résine, pigments, additifs) est introduit dans le malaxeur selon la formule.

**b. Pré-mélange à sec :**

Le quartz et les pigments sont mélangés sans résine pour bien répartir la couleur.

**c. Mélange humide :**

Ajout progressif de la résine pour enrober chaque grain de quartz.

Mélange jusqu'à obtention d'une pâte dense et homogène.

#### d. Mélange sous vide :

Application du vide pour éliminer l'air, éviter les bulles, et augmenter la densité.

### 3.3.3 Le contrôle qualité :

Échantillons testés pour la texture, la couleur, la densité, et l'absence de bulles.

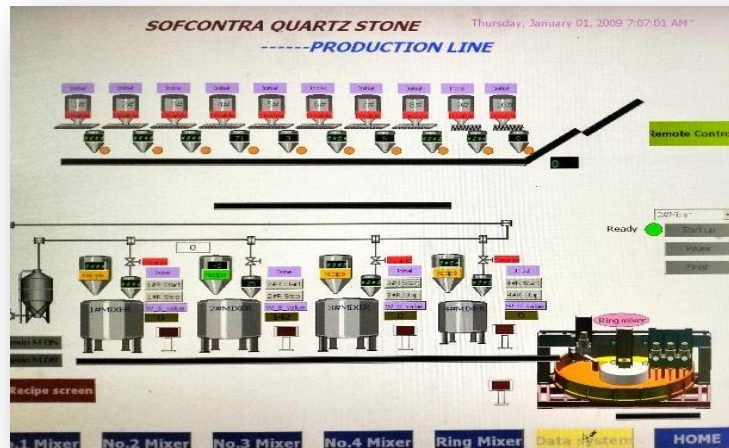


Figure (II- 7): La line de production.

### 3.4 Le moulage et compactage sous vide :

**Objectif :** Donner à la pâte homogène (mélangée à l'étape 2) la forme et la densité finale souhaitées pour produire des dalles solides, uniformes et esthétiques.

#### 3.4.1 Le remplissage du moule :

- Le quartz synthétique est versé dans des moules plats, soit en inox, soit en matières composites.
- Les moules sont élaborés en se basant sur des dimensions standard : habituellement 3050 mm x 1440 mm pour Sofcontra.
- Le remplissage s'effectue par déversement maîtrisé ou à l'aide d'une machine de dosage automatique.

### 3.4.2 Le compactage par vibrations en milieu sous vide :

- Après avoir été placée dans le moule, la pâte est densifiée par vibration mécanique en raison de la pression d'un vide d'air (pouvant atteindre -90 kPa).

Le vide facilite:

- L'élimination des bulles d'air emprisonnées dans la pâte.
- L'augmentation de la densité de la dalle (diminution de la porosité).
- L'amélioration du collage entre les grains de quartz et la résine (17).



**Figure (II- 8):** système de pressage de dalle de quartz.



**Figure (II- 9):** Après le compactage.

### 3.4.3 L'ajustement de l'épaisseur et finition brute :

- L'ajustement de l'épaisseur se fait automatiquement par le biais d'un mécanisme à base de cales ou de réglages hydrauliques.
- Sofcontra fabrique généralement des dalles de 13 mm, 20 mm ou 30 mm d'épaisseur.
- Après le processus de compactage, la dalle est encore souple (non polymérisée).

### 3.4.4 La vérification de conformité instantanée :

- Une vérification visuelle et mécanique est effectuée :
  - Uniformité de la surface,
  - Égalité du plan,
  - Non-présence de bulles apparentes sur la surface.
  - Les dalles qui ne respectent pas les normes sont immédiatement recyclées.

## 3.5 La polymérisation (Durcissement thermique) :

**Objectif :** Faire durcir la résine contenue dans la dalle en quartz synthétique grâce à la chaleur, pour fixer définitivement sa forme, sa solidité et sa structure chimique.

### 3.5.1 Le concept de polymérisation :

- La polymérisation est un processus chimique où la résine liquide (typiquement du polyester insaturé) se transforme en solide grâce à l'application de la chaleur.
- Ce processus est définitif : une fois polymérisée, la dalle ne peut être altérée.

### 3.5.2 La transition vers le four de cuisson (four pour polymérisation) :

- Les dalles moulées sont placées dans un four à bande transporteuse ou à enceinte fermée.
- Température mise en œuvre : approximativement entre 85 et 100 °C.

- Durée : entre 30 et 60 minutes, en fonction de l'épaisseur de la dalle (13, 20 ou 30 mm).



**Figure (II- 10):** Four industriel.

### **3.5.3 Les détails sur les réactions chimiques :**

- L'activation des catalyseurs (par exemple, le peroxyde de méthyle) ajoutés à la résine pendant le mélange est déclenchée par la chaleur.
- La formation des chaînes de polymères permet la solidification de la plaque sur toute son épaisseur.
- La plaque acquiert une résistance aux impacts, une imperméabilité et une stabilité thermique.

### **3.5.4 Le refroidissement graduel :**

- Après polymérisation, la dalle est retirée du four.
- Elle traverse une zone de refroidissement à température ambiante pour prévenir les chocs thermiques.
- Ce processus prend approximativement 30 minutes.

### 3.5.5 Le contrôle qualité après cuisson :

Contrôle de :

- Dureté (essai de résistance aux éraflures).
- Planéité.
- Intégrité de la structure (absence de fissures causées par un refroidissement insuffisant). (18)

Importance de cette étape :

- Si la polymérisation n'est pas complète, la dalle risque d'être fragile, poreuse ou instable.
- Un bon processus de cuisson produit une dalle rigide, pérenne, résistante à l'humidité et aux substances chimiques, qui est prête pour les phases de calibrage et polissage.

## 3.6 Découpe, calibrage et polissage des dalles :

**Objectif :** Obtenir des dalles précises, planes et esthétiques, prêtes pour la commercialisation ou la transformation (plans de travail, revêtements muraux, etc.).

### 3.6.1 Le découpage des plaques brutes :

- Suite au processus de polymérisation et de refroidissement, les dalles sont démoulées et dirigées vers une ligne de coupe automatisée.
- Les bords irréguliers sont coupés par des scies à pont ou à disque diamanté.
- Les dalles sont taillées en fonction de la dimension standard du marché ou en réponse à des requêtes personnalisées (sur commande).



**Figure (II- 11):** Le découpage.

### 3.6.2 La calibration (ajustement de l'épaisseur) :

- Cette procédure vise à ajuster l'épaisseur de la dalle afin d'assurer une uniformité parfaite.
- Effectuée à l'aide de ponceuses à têtes rotatives ou de calibreuses automatiques.
- Selon les gammes, Sofcontra ajuste l'épaisseur de ses dalles à 13 mm, 20 mm ou 30 mm.



**Figure (II- 12):** La calibration.

### 3.6.3 La finition de surface :

- Phase essentielle pour conférer à la dalle un fini brillant, satiné ou mat, en fonction du design.
- Le processus de polissage est réalisé par une abrasion graduelle, en utilisant des disques en diamant et des pâtes abrasives dont le grain devient de plus en plus fin. (19)

Sur sa chaîne de production, Sofcontra emploie entre 8 et 12 têtes de polissage.



**Figure (II- 13):** Machine de polissage.

### 3.6.4 Le nettoyage et dessiccation :

- Les dalles sont nettoyées avec de l'eau pure pour retirer les restes de polissage,
- Puis séchées à l'air chaud avant leur emballage.



**Figure (II- 14):** Le nettoyage et dessiccation.

### 3.7 La vérification qualité finale :

#### But de cette phase :

- Garantir que chaque produit fourni adhère aux standards techniques de Sofcontra et de sa clientèle.
- Maintenir l'intégrité des produits avant qu'ils ne soient utilisés sur le site de construction ou remis en vente.

Avant d'être emballée, chaque dalle passe par un contrôle intégral (20) :

#### a. Vérifications dimensionnelles :

- Évaluation de la longueur, largeur et épaisseur à l'aide de gages ou d'instruments automatiques.
- Planéité et tolérance dimensionnelle ( $\pm 0,3$  mm),

#### b. Vérifications mécaniques :

- Essai de compression effectué sur un échantillon de la production journalière (appareil de compression).
- Contrôle de la résistance à l'abrasion et à la saturation en eau conformément aux standards algériens et européens.

**c. Vérifications visuelles :**

Qualité du poli (absence de marques ou taches),

Consistance de la couleur et de la texture,

Pas de fissures ni d'anomalies internes (examen visuel et percussion).

**d. Vérification d'identité :**

- Chaque lot est marqué avec un code de suivi (date, machine, opérateur, etc.).



**Figure (II- 15):** La vérification dimensionnelle.

**3.8 Le stockage des produits finis :**

Une fois validés, les produits sont acheminés vers l'espace de stockage.

**a. Conditions de conservation :**

- Éviter l'exposition à l'humidité directe et aux impacts.
- Les produits sont disposés sur des palettes en plastique ou en bois, avec séparation par des intercalaires si besoin.
- Suivi des lots en respectant la méthode FIFO (First In, First Out).

**b. Prêt à l'envoi :**

- Les articles approuvés sont emballés sous film plastique et étiquetés.

- Entrepasés temporairement dans une zone de logistique, en attendant d'être expédiés aux clients (projets publics, entreprises privées, distributeurs, etc.).



**Figure (II- 16):** L'espace de stockage.

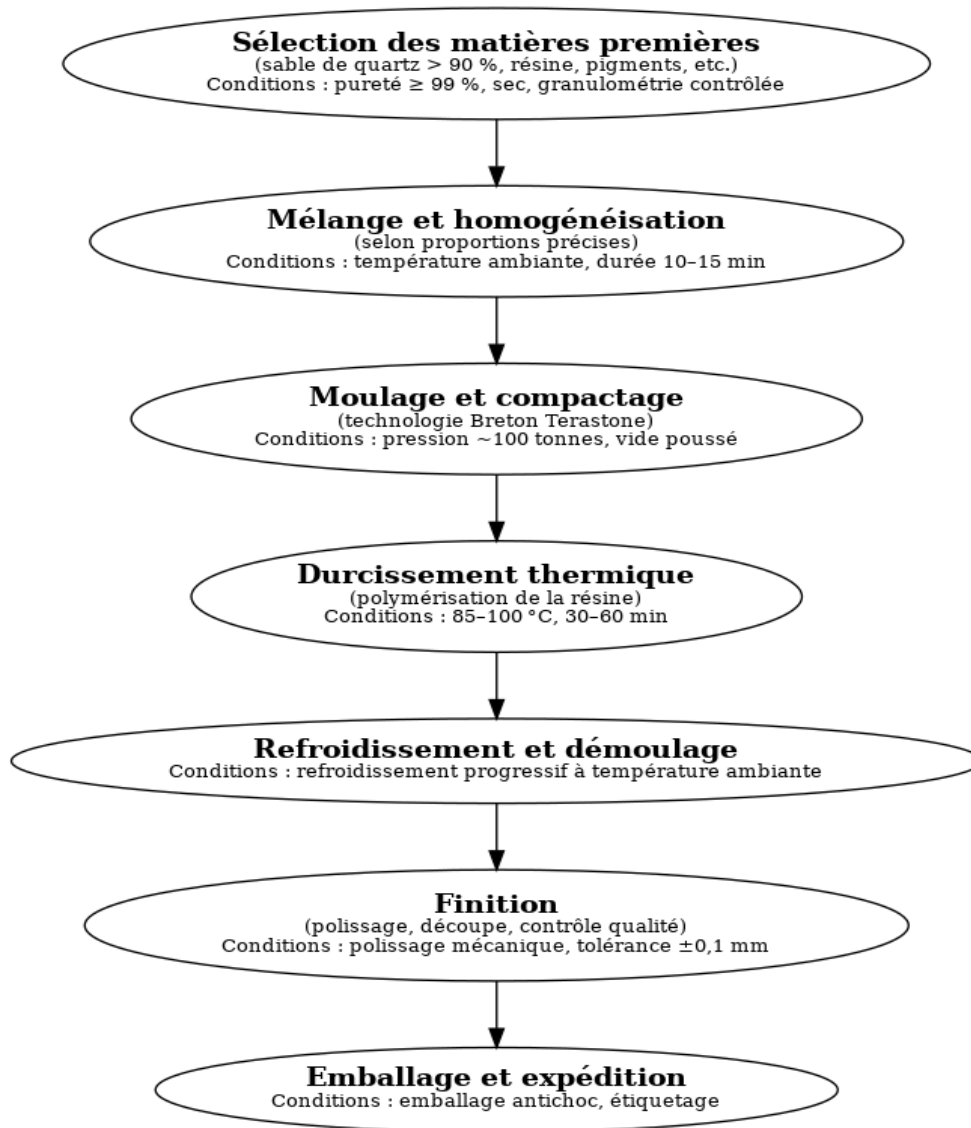


Figure (II- 17): schéma de procédés de fabrication du quartz.

### 3.9 Un exemple de fabrication d'un type de quartz :

❖ Quartz blanc pure



Figure (II- 18): Matières premières utilisées dans quartz blanc pure.

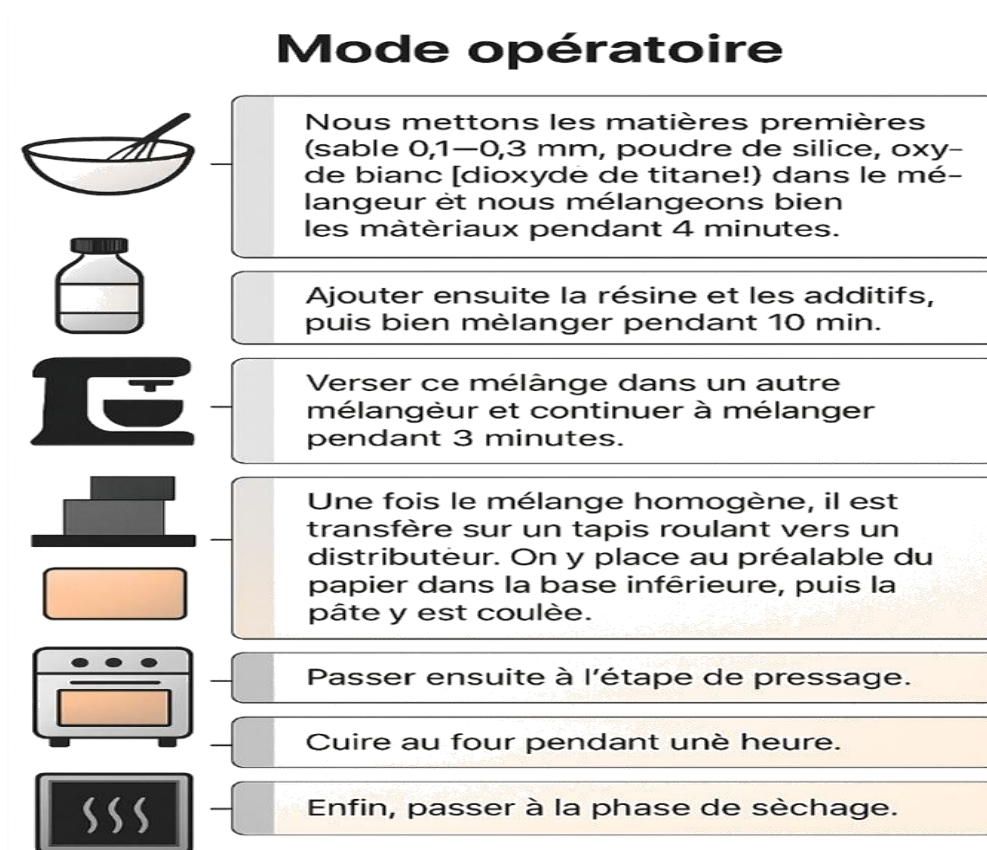


Figure (II- 19): Mode opératoire du quartz blanc pure.

### 3.10 Les équipements et technologies utilisés chez Sofcontra Aïn

Témouchent :

Équipement	Technologie utilisée	Fonction principale	Remarque
Mélangeur industriel	Mélange sous vide dosage automatisé	Préparer un mélange homogène de quartz et résine	Utilisation de Pales à rotation lente dans cuve fermée
Presse vibrante sous vide	Compactage par vibration + vide d'air	Former des dalles compactes sans bulles d'air	Permet un remplissage uniforme et dense des moules
Four de polymérisation	Tunnel thermique à température contrôlée	Durcir la dalle par polymérisation thermique	Améliore la résistance mécanique finale
Scie à pont / calibreuse	Disques diamantés, découpe CNC	Découper et calibrer les produits aux dimensions finales	Tolérance de découpe : $\pm 1$ mm
Polisseuse automatique	Têtes abrasives multiples avec refroidissement	Donner la finition brillante ou satinée	Refroidissement à eau, réduction de la surchauffe
Bancs de contrôle qualité	Essai de compression, bancs numériques	Contrôler la résistance, dimensions et aspect	Chaque lot est tracé numériquement
Système de manutention	Chariots élévateurs, palettisation automatique	Assurer le transport interne et le stockage sécurisé	Réduction des risques de casse ou choc durant le transport

**Tableau (II- 6):** des équipements et technologies utilisés chez Sofcontra (17).

## 4. La classification des Produits finis :

Les plaques de quartz sont classées selon plusieurs critères (3) :

### 4.1 La classification selon l'aspect et la granulométrie :

#### 4.1.1 Le quartz à texture fine (micro-grain) :

Ce type de quartz, qui contient principalement de la poudre de silice et du sable très fin ( $\leq 0,3$  mm), offre un résultat homogène et uniforme.

**Application :** surfaces de travail, revêtements muraux de qualité supérieure.

#### 4.1.2 Le quartz à texture moyenne :

Ce genre présente un équilibre entre texture naturelle et uniformité en comportant des granulats de quartz de tailles variées (0,3 à 1,2 mm). Il reproduit fréquemment l'apparence de la pierre naturelle telle que le granit ou le marbre.

**Applications :** conception de cuisines, surfaces pour salles de bains, escaliers intérieurs.

#### 4.1.3 Le quartz à texture grossière (macro-grain) :

Incorpore des particules de quartz de plus grande taille (1,2 – 4 mm), offrant un aspect décoratif avec des grains perceptibles.

**Applications :** comptoirs commerciaux, décorations murales, ameublement architectural.

### 4.2 La classification selon la finition de surface :

- a. **Poli (finition brillante) :** Surface extrêmement lisse avec un effet miroir. Parfait pour des environnements esthétiques et aisément nettoyables.
- b. **Mat ou satiné :** Moins éclatant, aspect plus discret et raffiné.
- c. **Brossé/structuré :** Surface irrégulière, employée dans les zones où l'on recherche une adhérence (sols, extérieurs).

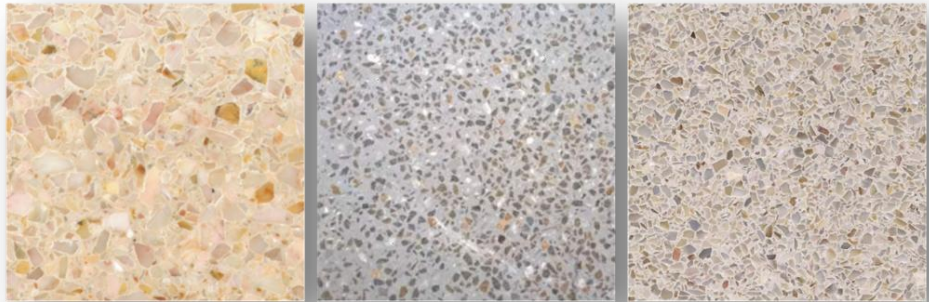
### 4.3 La classification selon les teintes et effets visuels :

- a. **Quartz monochrome :** Unicolore (ex. : blanc pur, noir intense).
- b. **Quartz moucheté :** Présence d'inclusions de différentes dimensions pour un aspect naturel de la pierre.
- c. **Veines de quartz :** Simule le marbre à l'aide de veinures colorées ou blanches (style Calacatta, Carrara).

- d. **Quartz scintillant (sparkle)** : Comprend des morceaux de miroir ou de verre pour un aspect éclatant.

## 5. Les types de produits finis :

### 5.1 Amalio:

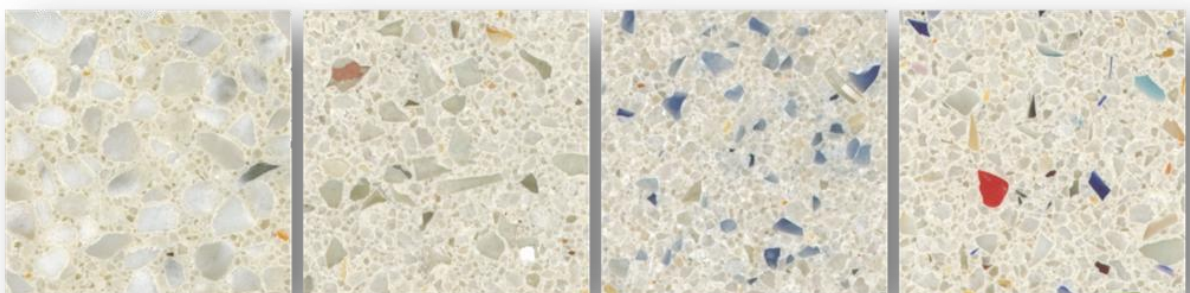


Amalio Nature (Natural)

Amalio Gros grain (Large Grain Amalio)

Amalio Blanc PG (Amalio White with small grain)

### 5.2 Carrara:



Carrara Nature (Natural)

Carrara Mirroir (Mirror)

Carrara Azur (Azure)

Carrara Multicolore (Varicolored)

### 5.3 Crema:



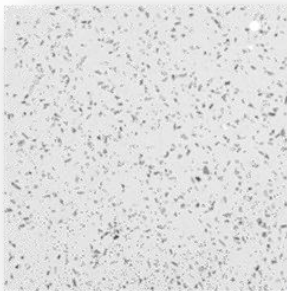
Crema

### 5.4 Mistral:

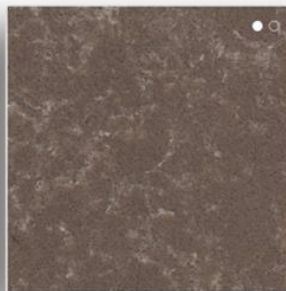


Mistral Gris (Gray)

### 5.5 Quartz stone:



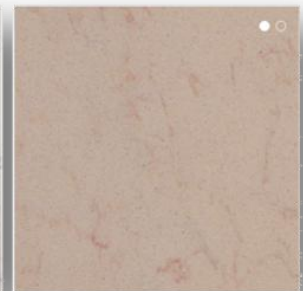
Quartz Blanc Mirror (White Mirror Quartz)



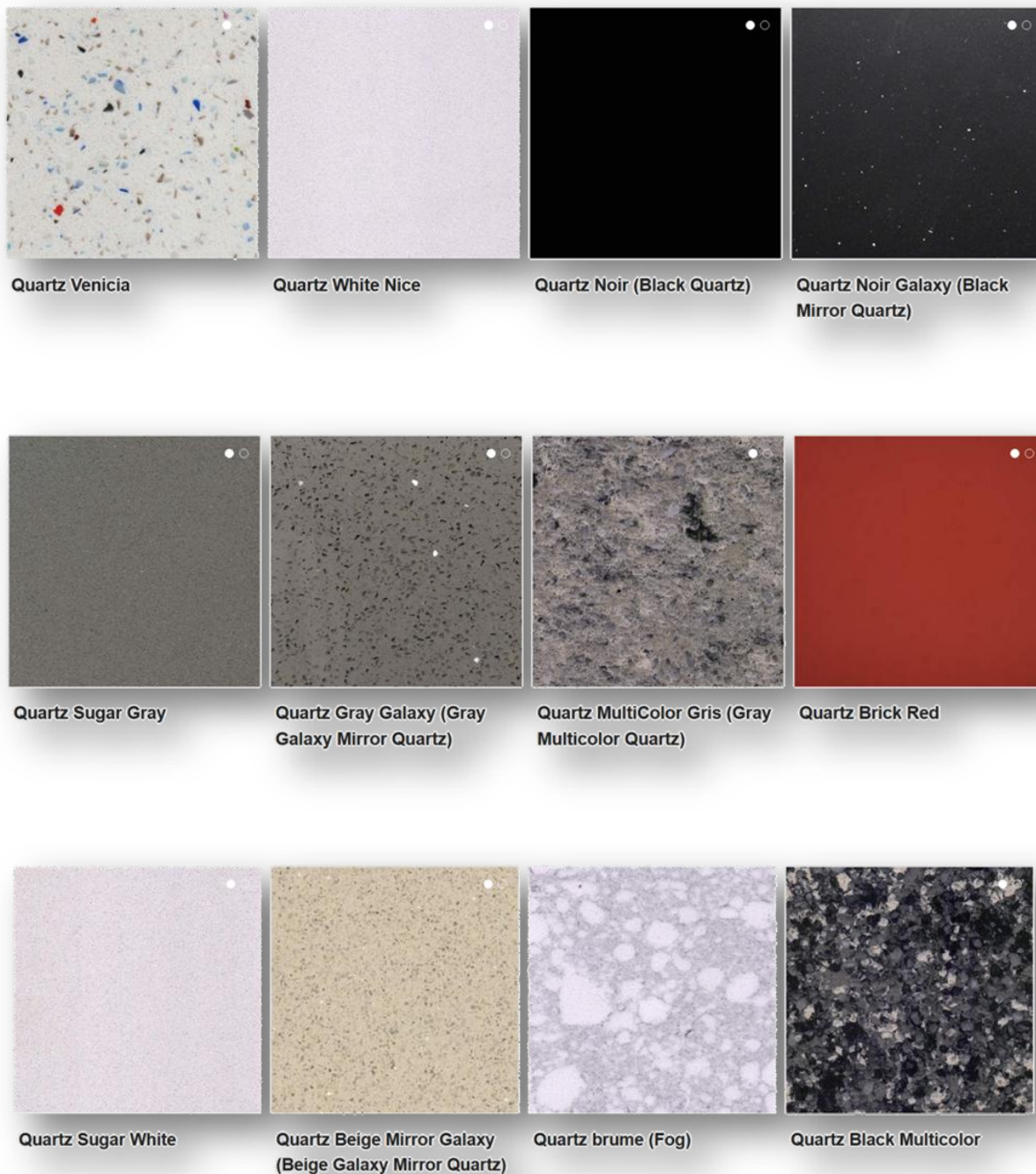
Quartz Nice Carrara



Quartz Blanc Carrara



Quartz Ivory Cream



## 5.6 Les nouveaux développements dans les produits quartz :

L'industrie du Quartz Stone progresse rapidement vers des matériaux plus durables et performants :

- **Quartz antibactérien** : incorpore des substances antimicrobiennes dans la résine, il est employé dans les hôpitaux et les laboratoires.

- **Quartz recyclé** : emploi de verre, miroirs ou céramiques réutilisées.
- **Quartz transparent** : pour un éclairage décoratif en arrière-plan.
- **Quartz ultra-fin** : épaisseurs  $\leq 10$  mm pour des usages en design.

## 6. Le spectroscopie Infrarouge (IR) :

La technique d'analyse spectroscopique infrarouge (IR) est couramment employée pour identifier et caractériser les matériaux, qu'ils soient de nature organique ou inorganique. Elle est fondée sur l'interaction entre la matière et les ondes électromagnétiques dans la partie infrarouge du spectre lumineux, généralement située entre 4000 et 400  $\text{cm}^{-1}$ . (22)

Quand les molécules sont soumises à un rayonnement infrarouge, certaines longueurs d'onde précises sont absorbées, entraînant des vibrations moléculaires typiques des liaisons chimiques contenues dans l'échantillon. Par conséquent, chaque composé présente un spectre infrarouge distinct, généralement assimilé à une « empreinte digitale », qui permet une détermination exacte des groupes fonctionnels et une analyse de la pureté ou de la composition des échantillons. (23)

Dans le secteur de la construction, plus précisément dans la fabrication de marbre, granit et quartz synthétique, la spectroscopie infrarouge s'avère être un instrument essentiel pour vérifier la qualité des matières premières et des articles finis. Elle offre, entre autres, la possibilité de contrôler l'existence de certaines phases minérales, de reconnaître des impuretés

## 7. LA CONCLUSION :

ou d'apprécier le niveau de polymérisation des résines employées dans les composites. (24)

Ce chapitre a présenté la société SARL SOFCONTRA et a détaillé le processus complet de production des carreaux en quartz. Cette étude nous a permis de noter que SOFCONTRA utilise une technologie de pointe (le système Breton Terastone), qui comprend des phases industrielles minutieusement vérifiées : depuis le choix des matières premières jusqu'à la finition finale des dalles. L'entreprise intègre de manière efficace des critères esthétiques, mécaniques et qualitatifs, en se basant sur une structure moderne.

Cette recherche souligne aussi l'importance de la sélection des matières premières, du contrôle des processus industriels et de l'intégration technologique pour la qualité du produit fini. Cette base technique est indispensable pour traiter, dans la prochaine section, la description et l'appréciation des caractéristiques des carreaux fabriqués.

**Référence Bibliographique**

1. **ahmed, Achour.** Sofcontra, une entreprise qui propose des solutions sur mesure conçues de manière personnalisée dans le domaine de la fabrication de dalles de marbre. s.l. : Dzair Tube, 2023.
2. Societe-Algerie . Fiche d'identité commerciale de la SARL Sofcontra. [Online]
3. SARL SOSCONTRA. *Presentation* . [Online] 2017.
4. **Klein, C., & Dutrow, B.** The Manual of Mineral Science (23rd ed.). Wiley. 2007.
5. mindat.org and the Hudson Institute of Mineralogy . 1993.
6. **al., Deer et.** An Introduction to the Rock-Forming Minerals. 1992.
7. **Singer, F. & Singer, S.** Industrial Ceramics, Chapman & Hall. 1963.
8. **Kingery, W. D., Bowen, H. K., & Uhlmann, D. R.** *Introduction to Ceramics, 2nd Ed., Wiley-Interscience.* 1976.
9. **Barsoum, M. W.** Fundamentals of Ceramics, Taylor & Francis. 2003.
10. **Hoffmann, M. J. & Rodel, J.** *Ceramic Materials: Science and Engineering.* s.l. : Journal of the European Ceramic Society, 2001.
11. **Rahaman, M. N.** *Ceramic Processing and Sintering.* s.l. : RC Press, 2003.
12. **Chiang, Y.-M., Birnie, D. P., & Kingery, W. D.** Physical Ceramics: Principles for Ceramic Science and Engineering. Wiley. 1997.
13. **Zhang, T., et al.** *Thermal conductivity of nanostructured ceramic materials.* s.l. : Journal of Materials Science, 2010. pp. 2921–2935. Vol. 45(11).
14. **Deville, S., et al.** Transparent polycrystalline ceramics: Recent progress and challenges. 2009. pp. 232–238. Vol. 44(2).
15. **Mayo, M. J.** *Processing of nanocrystalline ceramics from ultrafine particles.* . s.l. : International Materials Reviews, 1996. pp. 85–115. Vol. 41(3).

16. **M. MOKHTARI Mohamed, M. BESSAD Oussama.** *Fabrication et controle de qualité de carreaux ceramiques de l'entreprise SARL-TOUGRES-CERAMIC* . Universite saad dahleb - Blida 1 : s.n., 2020-2021.
17. **Breton SpA, (constructeur de machines pour quartz).** *Technologie de compactage sous vide*. [Online]
18. **Ahmed, Achour.** Dzair Tube – Sofcontra, acteur du marbre technique en Algérie. [Online]
19. **Dzair Tube – Sofcontra.** entreprise algérienne spécialisée dans les dalles en quartz. [Online]
20. **Sofcontra.net.** Charte qualité de l'entreprise . [Online] 2017.
21. CNERIB, ( Centre National d'etudes et de Recherche Integrees du Batiment ). *Fiche technique de quartz stone de SARL Sofcontra*.
22. **Stuart, B. H.** Infrared spectroscopy: fundamentals and applications. s.l. : John Wiley & Sons., 2004.
23. **Smith, B. C.** Fundamentals of Fourier transform infrared spectroscopy. s.l. : CRC press., 2011.
24. **Griffiths, P. R., & De Haseth, J. A.** *Fourier Transform Infrared Spectrometry* John Wiley & Sons. Inc. s.l. : Hoboken, New Jersey., 2007.

### **3. CHAPITRE III :**

#### **CARACTERISATION DES MATIERES PREMIERES**

Dans ce chapitre, nous présentons les méthodes expérimentales ainsi que les résultats obtenus lors de la caractérisation des carreaux en quartz produits par l'entreprise SOFCONTRA. L'objectif principal est d'évaluer leurs propriétés physiques, mécaniques et chimiques afin de vérifier leur conformité aux normes de qualité exigées. Pour cela, plusieurs essais ont été réalisés, notamment des tests dimensionnels, des mesures d'absorption d'eau, des tests de résistance mécanique ainsi que des analyses spectroscopiques infrarouges (IR). Ces analyses permettent de mieux comprendre la structure interne et la composition chimique des matières premières et des produits finis. Ce chapitre met ainsi en évidence l'influence des paramètres de fabrication sur la qualité du produit final.

## 1. L'essais sur carreaux en quartz de dimension (400×400×20)

**mm<sup>3</sup> :**

Les essais d'identification ont porté sur :

- ✓ Les caractéristiques dimensionnelles.
- ✓ Le coefficient d'absorption d'eau.
- ✓ L'usure.
- ✓ La résistance à la flexion.

### 1.1 Les résultats des essais :

#### 1.1.1 Les caractéristiques dimensionnelles des carreaux testés :

Les mesures ont été effectuées à l'aide d'un pied à coulisse de 1/200 de mm de précision (41).

N° échantillon	Longueur mesurée $I_m$ (mm)	Epaisseur mesurée $e_m$ (mm)
1	400.12	20.66
	400.18	

	400.12	
	400.17	
2	400.18	20.54
	400.15	
	400.15	
	400.15	
3	400.13	20.60
	400.12	
	400.16	
	400.13	
4	400.15	20.54
	400.14	
	400.19	
	400.14	
Moy.	400.15	20.61

**Tableau (III- 1):** Caractéristique concernant la longueur d'arête et l'épaisseur.

### 1.1.2 Les caractéristiques physiques: Absorption d'eau :

L'absorption d'eau est supposée acceptable lorsque les deux exigences suivantes sont satisfaisantes:

- le coefficient d'absorption capillaire de chaque échantillon testé ne doit pas être supérieur à  $0.4 \text{ gr} / \text{cm}^2$
- l'absorption d'eau de chaque échantillon testé ne doit pas être supérieure à 8%.

Le coefficient d'absorption capillaire  $W_{24h}$  ( $\text{g} / \text{cm}^2$ ) est exprimé par la relation:

$$W_{24h} = (m_{h, 24} - m_{d, s}) / S$$

Avec:

- $m_{h, 24}$  : masse de l'éprouvette après succion d'eau par capillarité pendant 24 h au travers de la surface d'essai S (gr):
- $m_{d, s}$  : masse, à l'état sec de l'éprouvette scellée sur cotes (gr):
- S: surface de succion de l'éprouvette (cm<sup>2</sup>), S dans notre cas égale à 100 cm<sup>2</sup>.

N° échantillon	$m_{h, 24}$ (gr)	$m_d$ (gr)	S (cm <sup>2</sup> )	$W_{24h}$ (g/cm <sup>2</sup> )	Exigence (gr/cm <sup>2</sup> )
1	447.0	446.7	100	0.003	≤ 0.4
2	452.8	452.1		0.007	
3	451.9	451.4		0.005	
			Moy.	0.005	

**Tableau (III- 2):** Valeurs du coefficient d'absorption capillaire (carreaux en quartz).

L'absorption d'eau totale est donnée par la formule suivante :

$$W_{m, a} = ((m_{h, c} - m_{d, s}) / m_{d, s}) \times 100$$

Avec:

- $m_{h, c}$ : masse de l'éprouvette saturée d'eau (gr):
- $m_{d, s}$ : masse à l'état sec de l'éprouvette scellée sur cotes (gr).

N° échantillon	$m_{h,c}$ (gr)	$m_d$ (gr)	$W_{m,a}$ (%)	Exigence (gr/cm <sup>2</sup> )
1	447.7	446.7	0.22	≤ 8
2	452.9	452.1	0.18	
3	453.4	451.4	0.44	
		Moy.	0.28	

**Tableau (II- 7):** Valeurs de l'absorption d'eau totale (carreaux en quartz).

### 1.1.3 Les caractéristiques mécaniques :

#### A. Résistance à l'abrasion :

L'essai consiste à provoquer par abrasion à la poudre d'aluminium, l'empreinte dans la couche d'usure de la tranche d'un disque tournant et à mesurer la longueur de l'empreinte produite. Le tableau regroupe les résultats obtenus.

N° échantillon	Empreinte (mm)	Exigence (mm)
1	15	≤ 25
2	15	
3	15	
Moy.	15	

**Tableau (III- 3):** Valeurs des empreintes et exigence (carreaux quartz).

#### B. Résistance à la rupture par flexion :

La résistance à la rupture par flexion est effectuée sur une bande de 200 mm de largeur par la longueur du carreau. Elle est exprimée par la relation:

$$T = (3 P L) / (2 b t^2)$$

Avec:

- T: contrainte de rupture en MPa;
- P: charge de rupture en N;
- L: longueur entre appui en mm ;
- b: largeur de l'éprouvette en mm;
- t: épaisseur de l'éprouvette en mm.

N° échantillon	t (mm)	b (mm)	L (mm)	P (N)	T (MPa)	Exigence (MPa)
1	20.45	200	266	6710	32.0	≥4
2	20.54	200	266	6690	31.6	
3	20.66	200	266	7180	33.6	
4	20.60	200	266	7570	35.9	
Moy.					33.2	≥5

**Tableau (III- 4):** Valeurs des résistances à la flexion (carreaux en quartz).

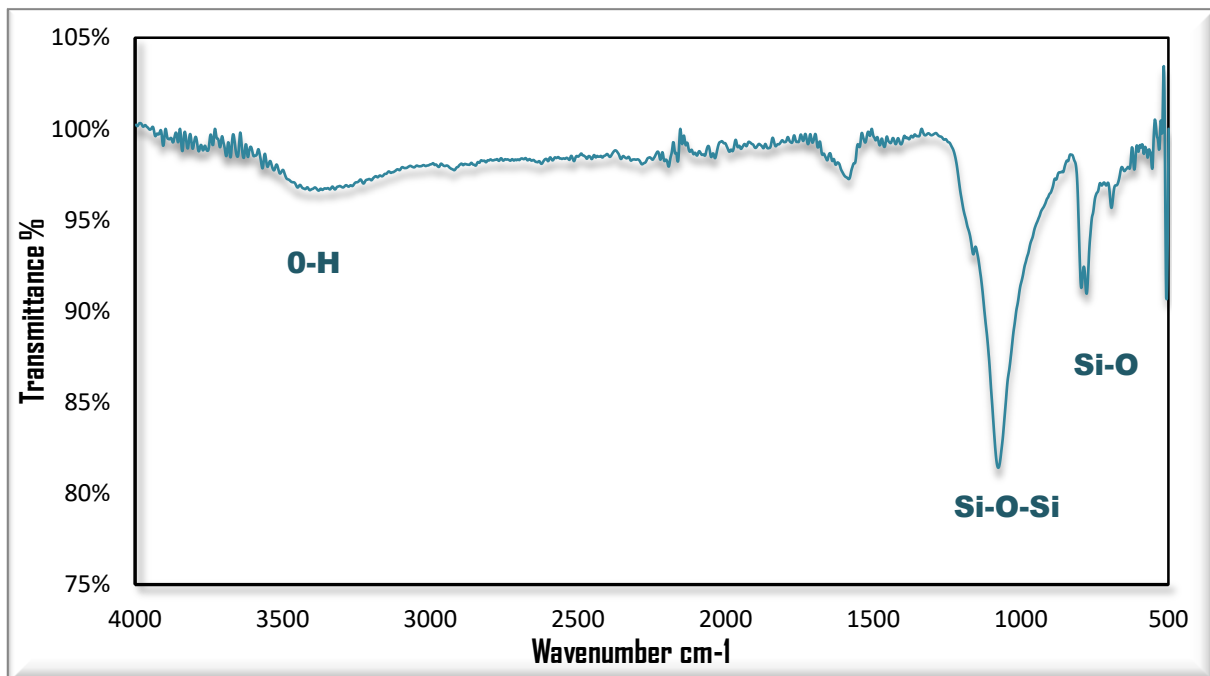
## 2. L'analyse des phases par spectrométrie infrarouge (IR) :

### 1.2 Le spectre d'absorption Infrarouge de Matière première 1 :

Le spectre infrarouge du (MP1) présente plusieurs bandes caractéristiques :

- Aux alentours de  $1100-1000 \text{ cm}^{-1}$  : une bande intense et large correspondant à la vibration d'élongation Si–O–Si, typique du quartz (silice cristalline).

- Vers  $800\text{ cm}^{-1}$  et  $470\text{ cm}^{-1}$  : ces pics secondaires sont attribués respectivement aux modes de flexion et de déformation du réseau Si–O–Si, confirmant la structure cristalline ordonnée du quartz.
- Absence de bandes significatives entre  $3000$  et  $3500\text{ cm}^{-1}$  : cela indique une faible teneur en eau ou hydroxyles, montrant que la matière première est relativement pure et bien cristallisée
- Le spectre est caractéristique d'un quartz naturel de bonne qualité, sans impuretés majeures organiques ou phases amorphes détectables dans la plage mesurée.



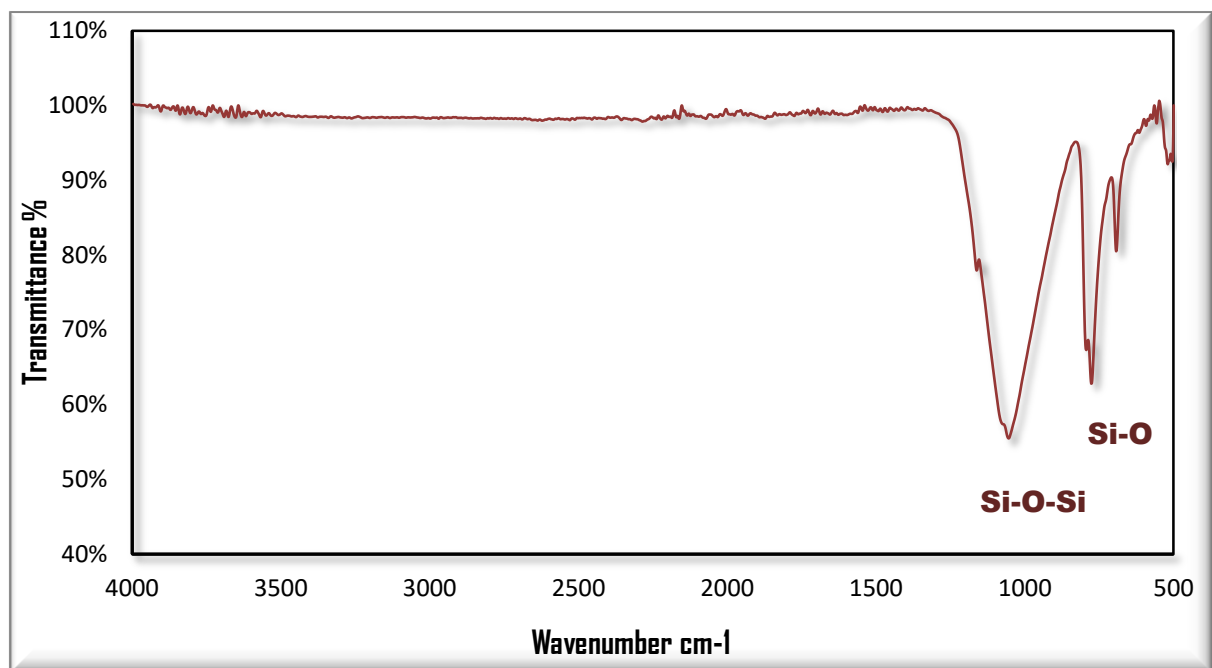
**Figure (III- 1):** Spectre d'absorption Infrarouge de Matière première 1.

### 2.1 Le spectre d'absorption Infrarouge de Matière première 2 :

- Le spectre infrarouge du (MP2) montre des caractéristiques très similaires à celles de MP1, mais avec des pics plus nets et mieux définis :

- Une bande forte autour de  $1100\text{--}1000\text{ cm}^{-1}$  : typique de la vibration d'élongation Si–O–Si.
  - Des pics clairs à environ  $800\text{ cm}^{-1}$  et  $470\text{ cm}^{-1}$  : caractéristiques des vibrations de flexion et de déformation de la silice cristalline.
  - La ligne de base reste stable et aucune absorption notable n'est observée au-delà de  $2000\text{ cm}^{-1}$ , ce qui confirme l'absence de contaminants organiques ou d'humidité significative.
- ✓ Le spectre confirme également la nature quasi pure et cristalline du quartz utilisé. La bonne définition des pics peut indiquer une granulométrie homogène ou une cristallinité légèrement meilleure que MP1.

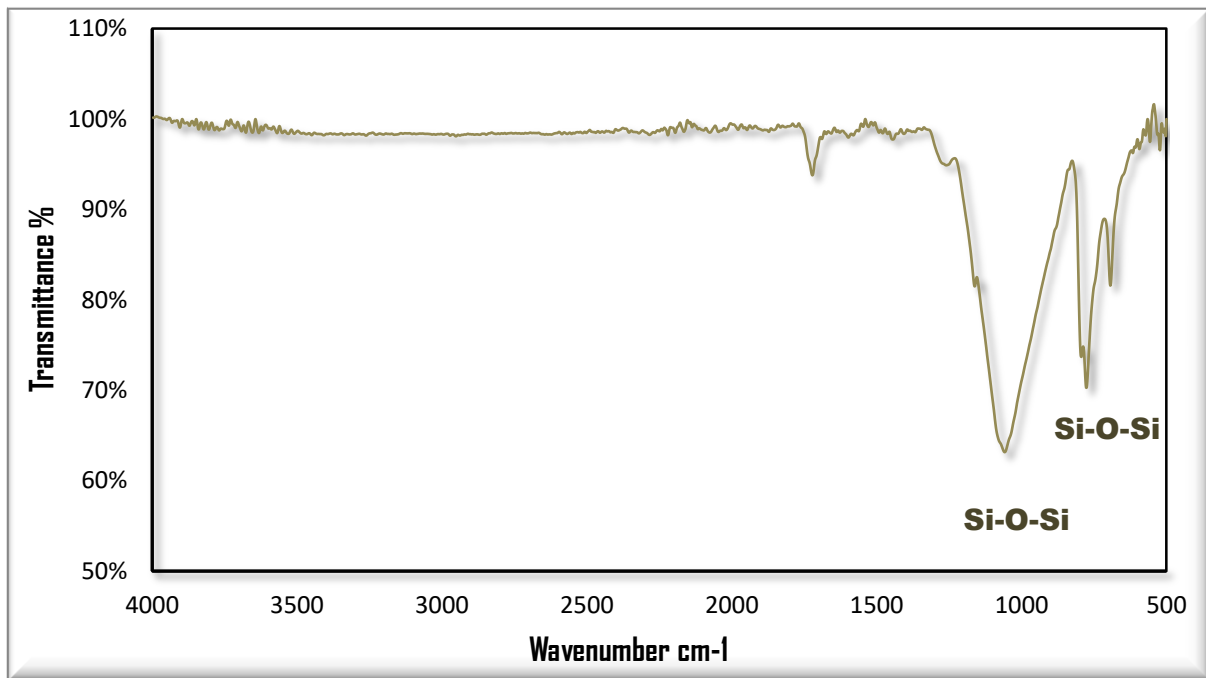
## 2.2 Le spectre d'absorption Infrarouge de Produit fini :



**Figure (III- 2):** Spectre d'absorption Infrarouge de Matière première 2.

Le spectre infrarouge du produit fini fabriqué par Sofcontra révèle les points suivants :

- Bande principale autour de  $1100\text{--}1000\text{ cm}^{-1}$  : Cette bande intense est typique de la vibration d'élongation Si–O–Si, confirmant que le réseau siliceux du quartz est toujours présent et conserve sa structure dans le produit final.
- Pics supplémentaires autour de  $800\text{ cm}^{-1}$  et  $470\text{ cm}^{-1}$  : Ceux-ci indiquent, comme pour les matières premières, les vibrations de flexion et de déformation du quartz, montrant que la matrice minérale n'a pas subi de transformation destructrice durant le procédé.
- Présence possible d'une légère absorption autour de  $2900\text{--}3000\text{ cm}^{-1}$  (faible intensité) : Cette zone pourrait traduire la présence de liaisons C–H, suggérant l'incorporation de résines organiques polymérisées utilisées comme liant pour l'agglomérat de quartz.
- Stabilité de la ligne de base dans la zone  $3000\text{--}3500\text{ cm}^{-1}$  : L'absence de pics prononcés confirme une faible teneur en eau libre et hydroxyles, indiquant un bon séchage et une polymérisation efficace de la résine.
- Le spectre infrarouge du produit fini montre une bonne conservation de la structure cristalline du quartz tout en révélant la présence discrète de la résine polymère utilisée pour lier les grains de quartz. Cela témoigne d'une bonne qualité de fabrication : la résine n'affecte pas la signature cristalline du matériau minéral tout en assurant la cohésion de l'agglomérat.



**Figure (III-3):** Spectre d'absorption Infrarouge de Produit fini.

### 3. LA CONCLUSION :

Au terme de ce travail, il apparaît clairement que l'étude approfondie de la production de marbre, granit et quartz artificiel au sein de l'entreprise SOFCONTRA a permis de mettre en évidence l'importance cruciale de la maîtrise des matières premières et des procédés technologiques pour garantir la qualité des produits finis.

L'analyse détaillée des étapes de fabrication, des contrôles de qualité ainsi que des résultats de caractérisation a confirmé que l'entreprise adopte des technologies modernes et des méthodes rigoureuses, notamment grâce à l'utilisation du système Breton Terastone. Cela lui permet de répondre aux exigences esthétiques, mécaniques et normatives du marché national et international.

Cette étude a également mis en lumière l'importance des techniques d'analyse, comme la spectroscopie infrarouge, qui permettent de valider la conformité des produits et d'optimiser les paramètres de fabrication. Ces outils scientifiques constituent une base essentielle pour garantir un produit fiable et performant.

En conclusion, cette étude ouvre la voie à de nouvelles perspectives pour améliorer encore la compétitivité de l'entreprise SOFCONTRA, notamment à travers le développement de produits innovants, l'adoption de pratiques plus respectueuses de l'environnement et l'investissement dans la recherche et le développement.

