

République Algérienne Démocratique et populaire
Ministère de l'Enseignements Supérieur et de La Recherche Scientifique

Université Mohammed Seddik BenYahia-Jijel



Faculté des sciences et de technologies

Département de génie des procédés

Mémoire de Fin d'Etudes pour l'obtention du Diplôme en Master

Spécialité : Génie des Procédés

Option: Génie des Matériaux

Thème:

**Elaboration d'une pâte céramique
fusible**

Présenté par:

Benatmane Aissam

Bousseder Tarek

Encadreur :

Kamel Atamnia

Année : 2018/2019

Remerciements

La Louange est à Allâh, le Seigneur des mondes. Et que la prière et le salut soient sur celui qu'Allâh a envoyé en miséricorde pour l'univers, ainsi que sur sa famille, ses compagnons et ses frères jusqu'au Jour de la Rétribution.

Nous voulons remercier tout d'abord Allâh, le tout puissant qui nous a donné la force, la volonté et le courage pour accomplir ce modeste travail.

Nous tenons à formuler notre gratitude et notre profonde reconnaissance à l'égard de notre encadreur M. Kamel Atamnia : qui a supervisé ce travail de recherche. Son soutien, sa disponibilité, sa patience, ainsi que ses conseils judicieux tant lors de nos recherches que lors de la rédaction de ce mémoire.

*Nous adressons également nos remerciements, à tous **nos enseignants**, qui nous ont donné les bases de la science, sans oublier d'exprimer nos remerciements au **Chef de Département** de génie des procédés.*

Nous remercions tous les responsables de la société de céramique sanitaire d'EL-MILIA JIJEL de nous avoir aidé et facilité la tâche durant notre stage

*Nos remerciements aux **membres du jury** qui nous ont fait l'honneur d'accepter de lire et de juger ce mémoire.*

*Nous remercions l'ensemble des **collègues et amis** qui nous ont aidés, sans oublier toute personne ayant participé de près ou de loin à l'élaboration de ce modeste travail*

DEDICACES

Je désire dédier les fruits de ce modeste travail

A celle qui est dans mon cœur, qui a veillé pour notre confort et qui a sacrifié beaucoup pour notre réussite :

Ma chère Mère AKILA ZIGHEM.

A celui qui m'a toujours appris comment réfléchir avant d'agir, à celui qui m'a

soutenu tout au long de ma vie scolaire et universitaire, à celui qui n'a jamais épargné un effort pour mon bien :

Mon cher Père BELKACEM

A mes chères sœurs et frères

A toutes la famille BENATMANE el la famille BOUSSEDER

A mes oncles et mes tantes

A mes chères amis qui m'ont accompagné tout au long de ce parcours universitaire :

Mon binôme Tarek

A tous les collègues de ma promotion.

A tous mes professeurs du primaire au supérieur.

Et à tous ceux qui me sont chères.

A ma bien aimée L'ALGERIE

AISSAM

Dédicace

Avec un grand plaisir je dédie ce travail

Ma mère.

A la mémoire de mon père

A ma femme et mes enfants

A mon cher frère, a mes sœurs

A Toute la famille.

A Tous Mes Collègues.

Tarek

Table des matières

LISTE DES ABREVIATIONS	
LISTE DES FIGURES	
LISTE DES TABLEAUX	
INTRODUCTION GENERALE.....	1

CHAPITRE I: SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

Introduction	2
I.1 Présentation de la SCS d'El Milia	2
I.1.1. La Création de l'entreprise.....	2
I.1.2. La situation géographique.....	3
I.1.3. L'historique de l'entreprise.....	4
I.1.4. La gamme des produits fabriqués par SCSEM	5
I.1.5. L'organisation de SCSEM	6
I.1.6. La répartition d'effectifs	7
I.2. Généralités sur les céramiques.....	7
I.2.1. Historique des céramiques	7
I.2.2. Définition de la céramique.....	8
I.2.3. Processus de fabrication des céramiques sanitaires	9
I.2.3.1. Atelier de modelage	9
I.2.3.2. Atelier de la barbotine.....	9
A) Préparation du mélange de la barbotine	10
a) Broyage du quartz	10
b) Délayage d'argile.....	10
c) Le mélange de la barbotine	10
d) Le tamisage du mélange.....	10
e) L'homogénéisation de mélange de la barbotine.....	10
f) La maturation de la barbotine	11
g) Le stockage de la barbotine.....	11
I.2.3.3. Atelier de coulage	11
A) Définition de coulage (moule en plâtre)	11
B) L'opération de coulage.....	12
a) Assemblage du moule	12

Table des matières

b) Coulage des pièces	12
c) Vidage des pièces	12
d) Démoulage des pièces	12
e) Finissage des pièces	12
I.2.3.4. Atelier d'émaillage.....	13
A) Définition de l'émail	13
B) Préparation des émaux	13
C) Préparation de bain d'émail.....	13
I.2.3.5. Atelier de cuisson.....	13
A) Les réactions chimiques dans le four	14
a) Zone de préchauffages	15
b) Zone de cuisson.....	15
c) Zone de refroidissement.....	16
I.3. Les défauts dans les céramiques	16
Conclusion.....	18

CHAPITRE II: MATERIELS ET METHODES

Introduction	19
II.1. Définition de la pâte de réparation	19
II.2. L'intérêt de la pâte de réparation	19
II.3. Les matières premières de la pâte de réparation.....	19
II.3.1. Matières premières plastiques	19
II.3.1.1. Les argiles.....	20
II.3.1.2. Les kaolins	21
II.3.1.3. Propriété des matières premières argileuses	22
II.3.1.4. Propriétés physiques et mécaniques des matières plastiques	22
II.3.2. Matière première non plastique	22
II.3.2.1. Les dégraissants	22
a)Le quartz.....	23
b) La chamotte.....	24
II.3.2.2. Les Fondants.....	24
a) Les feldspaths.....	24
b) Oxyde de zinc	25
II.3.3 : Les groupes des oxydes dans la pâte de réparation	26
a) La silice (SiO ₂)	26

Table des matières

b) L'alumine (Al_2O_3	27
c) L'oxyde de sodium et de potassium (K_2O , Na_2O	27
d) L'oxyde de calcium (CaO	27
e) L'oxyde de magnésium (MgO	27
f) L'oxyde de titanium (TiO_2)	27
g) L'oxyde de zirconium (ZrO_2	28
II.4. L'élaboration de la pâte de réparation	28
II.4.1. Le mode opératoire de la pâte de réparation.....	29
II.5. La classification de la pâte de réparation.....	30
II.5.1. La pâte vitrifiée.....	30
II.5.2. La pâte non vitrifiée.....	30
II.6. La température de fusion de la pâte de réparation	30
II.7. Les moyens d'investigation	30
II.7.1. Le contrôle de différents paramètres de la pâte de réparation	31
II.7.1.1. L'Humidité	31
a) l'appareillage.....	31
b) Protocole expérimental	31
II.7.1.2. Détermination de la plasticité d'une pâte	32
a) L'appareillage	32
b) Protocole expérimentale.....	33
II.7.1.3. Le coefficient de dilatation thermique.....	34
II.7.1.4. La tension superficielle.....	35
II.7.1.5. Le coefficient de fusibilité.....	35
II.8. Les analyses de caractérisation.....	36
Conclusion.....	36

CHAPITRE III: RESULTATS ET DISCUSSIONS

Introduction	37
III.1. L'analyse chimique des matières premières destinées à la fabrication de la pâte de réparation	37
III.1.1. Matières premières plastiques	37
III.1.2. Matières premières non plastiques	38
III.2. Discussions des résultats.	38
III.2.1 La quantité de matières utilisée	39
III.2.2 Détermination de la composition chimique de chaque dosage	39

Table des matières

III.2.3. Calcule de la composition chimique de chaque dosage	39
III.2.3.1. Le dosage N° 1	39
III.2.3.2. Le dosage N°2	42
III.2.3.3. Le dosage N°3	43
III.2.3.4. Le dosage N°4	44
III.2.3.5. Le dosage N°5	44
III.2.3.6. Le dosage N°6	45
III.2.3.7. Le dosage N°7	46
III.2.3.8. Le dosage N°8	46
III.3. Discussions des résultats	47
III.4. Calcul de l'humidité (H %)	48
III.4.1. Calcul de l'humidité des différentes matières premières	48
III.4.2. Interprétation des résultats.....	49
III.5. Calcule des masses nécessaires en matières premières utilisées pour la préparation de la pâte de réparation	49
a) Le dosage N° 1	49
b) Le dosage N° 2.....	50
c) Le dosage N° 3.....	50
d) Le dosage N° 4.....	50
e) Le dosage N° 5.....	51
f) Le dosage N° 6	51
g) Le dosage N° 7.....	51
h) Le dosage N° 8.....	52
III.6 Détermination de refus et densité	52
III.7 Le test de plasticité	52
a) Le dosage N° 1	53
b) Le dosage N° 2.....	53
c) Le dosage N° 3.....	54
d) Le dosage N° 4.....	54
e) Le dosage N° 5.....	55
f) Le dosage N° 6	55
g) Le dosage N° 7.....	56
h) Le dosage N° 8.....	56
III.7.1. Discussions des résultats	66

Table des matières

III.8. Calcul du coefficient de dilatation thermique	66
III.8.1. Discussions des résultats	69
III.9. Calcul de la tension superficielle	69
III.9.1. Discussions des résultats	70
III.10. Calcul du coefficient de fusibilité (K)	70
III.10.1. Discussions des résultats	71
III.11. Estimation de la température de fusion	71
III.12. Le test de fusibilité	72
III.12.1. Mesure des dimensions des connes de fusibilité	73
III.12.2. Discussions des résultats	77
III.12.3. Conclusion	77
CONCLUSION GENERALE	78
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	
ANNEXES	

LISTE DES TABLEAUX

CHAPITRE I: SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE

Tableau I.1: Les différentes phases de réalisation du projet de SNMC.....	4
Tableau I.2: Présentation d'effectifs par catégorie socioprofessionnelle.....	7
Tableau I.3: La composition du mélange de l'email opaque.....	13
Tableau I.4: Les principaux défauts rencontrés dans les céramiques.....	16

CHAPITRE II: MATÉRIELS ET MÉTHODES

Tableau II.1: Quelques types d'argile.....	21
Tableau II.2: Quelques matières dégraissantes utilisées dans la pâte céramique.....	26
Tableau II.3: Domaine de la plasticité en fonction de pourcentage d'eau.....	32
Tableau II.4: Les facteurs propres de la dilatation thermiques de chaque oxyde.....	34
Tableau II.5 : Les facteurs propres de la tension superficielle de chaque oxyde.....	35
Tableau II.6: Les coefficients de fusibilité de chaque oxyde.....	36

CHAPITRE III: RESULTATS ET DISCUSSIONS

Tableau III.1: L'analyse chimique des matières premières plastiques destinées à la préparation de la pâte de réparation.....	37
Tableau III.2: L'analyse chimique des matières premières non plastiques destinée à la préparation de la pâte de réparation.....	38
Tableau III.3 : matières de départ.....	39
Tableau III.4.a: La teneur des oxydes dans l'Argile Hycast.....	40
Tableau III.4.b: La teneur des oxydes dans le Kaolin parKaolin.....	40
Tableau III.4.c : La teneur des oxydes dans le Kaolin RMD.....	41
Tableau III.4.d: La teneur des oxydes dans le Feldspath sodique.....	41
Tableau III.4.e: La teneur des oxydes dans le Feldspath potassique.....	41
Tableau III.4.f: La teneur des oxydes dans le quartz El ourchen.....	41
Tableau III.4.g: La teneur des oxydes dans Oxyde de zin.....	42
Tableau III.5: La composition chimique du dosage N°1.....	42
Tableau III.6: La composition chimique du dosage N°2.....	43
Tableau III.7: La composition chimique de dosage N°3.....	43
Tableau III.8: La composition chimique du dosage N°4.....	44
Tableau III.9: La composition chimique du dosage N°5.....	45

LISTE DES TABLEAUX

Tableau III.10: La composition chimique du dosage N°6	45
Tableau III.11: La composition chimique du dosage N°7	46
Tableau III.12: La composition chimique du dosage N°8	47
Tableau III.13: La variation de la masse de l'Argile brune en fonction du temps.....	48
Tableau III.14: L'humidité des matières premières de la pâte de réparation	48
Tableau III.15: la masse des matières premières de la pâte de réparation du dosage N°1	49
Tableau III.16: Les masses des matières premières utilisées dans le dosage N°2	50
Tableau III.17: Les masses des matières premières utilisées dans le dosage N°3	50
Tableau III.18: Les masses des matières premières utilisées dans le dosage N°4	50
Tableau III.19: Les masses des matières premières utilisées dans le dosage N°5	51
Tableau III.20: Les masses des matières premières utilisées dans le dosage N°6	51
Tableau III.21: Les masses des matières premières utilisées dans le dosage N°7	51
Tableau III.22: Les masses des matières premières utilisées dans le dosage N°8	52
Tableau III.23 : le refus de chaque dosage	52
Tableau III.24 : densité se chaque dosage	52
Tableau III.25: les mesures de test de plasticité du dosage N°1	53
Tableau III.26: Les mesures de test de plasticité du dosage N°2.....	53
Tableau III.27: Les mesures de test de plasticité du dosage N°3.....	54
Tableau III.28: Les mesures de test de plasticité du dosage N°4.....	54
Tableau III.29: Les mesures de test de plasticité du dosage N°5.....	55
Tableau III.30: Les mesures de test de plasticité du dosage N°6.....	55
Tableau III.31: Les mesures de test de plasticité du dosage N°7.....	56
Tableau III.32: Les mesures de test de plasticité du dosage N°8.....	56
Tableau III.33: Les résultats de plasticité du huit (8) dosages.....	57
Tableau III. 34: Le nombre de mole de chaque oxydes.....	67
Tableau III.35: Le pourcentage molaire de chaque oxyde.....	68
Tableau III.36: Le coefficient de dilatation thermique de huit (8) dosages	69
Tableau III.37: La tension superficielle de chaque dosage.....	70
Tableau III.38: La fusibilité des chaque dosages.....	70
Tableau III.39: La relation entre la fusibilité (K) et la température de fusion (T°C) (référence de comparaison).....	71
Tableau III.40: Les dimensions des cônes de fusibilité de chaque dosage	73

LISTE DES FIGURES

CHAPITRE I: SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE

Figure I.1: Vue de face de L'entreprise.....	2
Figure I.2: La situation géographique de SCS d'El Milia.....	3
Figure I.3: La gamme des produits fabriqués par la SCS d' El Milia	5
Figure I.4: Certification de système de management.....	6
Figure I.5: Four tunnel.	15

CHAPITRE II: MATÉRIELS ET MÉTHODES

Figure II.1: poudre d'argile hycast (à gauche) ;poudre d'argile brune (à droite)	20
Figure II.2: Poudre de kaolin(parkolin) (à gauche) ; Poudre de DMR niloak (à droite).....	21
Figure II.3: Poudre de quartz	23
Figure II.4: poudre de feldspath sodique(à gauche) ;poudre de feldspath potassique (à gauche)	25
Figure II.5 : Poudre d'Oxyde de zinc	26
Figure II.6: Les différentes étapes de la préparation d'une pâte de réparation	28
Figure II.7: Cuve, Etuve, Balance	31
Figure II.8: L'appareil PFEFFERKORN de plasticité.....	32
Figure II.9. Schéma du plasticimètre Pfefferkorn.....	33

CHAPITRE III: RESULTATS ET DISCUSSIONS

Figure III.1: La courbe de plasticité de dosage N°1.	58
Figure III.2: La courbe de plasticité de dosage N°2.	59
Figure III.3: La courbe de plasticité de dosage N°3.	60
Figure III.4: La courbe de plasticité de dosage N°4.	61
Figure III.5: La courbe de plasticité de dosage N°5.....	62
Figure III.6: La courbe de plasticité de dosage N°6.....	63
Figure III.7: La courbe de plasticité de dosage N°7.....	64
Figure III.8: La courbe de plasticité de dosage N°8.....	65
Figure III.9: Les échantillons avant cuisson.	72
Figure III.10: Les échantillons après cuisson.	72
Figure III.11: Les pièces avant et après la réparation du dosage N°1 au dosage N°4.....	74
Figure III.12: Les pièces avant et après la réparation du dosage N°5au dosage N° 8.....	75

CHAPITRE I: SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE

ASTM: American Society for Testing and Materials.

ECE: Entreprise de Céramique Est à Constantine.

ECO: Entreprise de Céramique Ouest à Tlemcen.

EPE: Entreprise Publique Economique.

GIL: Groupe des Industries Locales.

Ha: Hectare.

ISO: International Organization for Standardization.

Kaolin KT2: Kaolin traité 2.

Kaolin RMD: Kaolin remblend.

MP: Matières premières.

SCS: Société Céramique Sanitaire.

SMQ: Système de Management de la Qualité.

SNMC: Société Nationale des Matériaux de Construction.

Spa: Société par action.

CHAPITRE II: MATÉRIELS ET MÉTHODES

DRX: Diffraction des rayons X.

H: Humidité.

Wp: Limite de plasticité.

CHAPITRE III: RESULTATS ET DISCUSSIONS

C.E.T.I.M: Centre d'Etude et de Services Technologiques de l'Industrie des Matériaux de Construction.

C: Carbone.

D.O: Dosage des oxydes.

P.A.F: Perte au feu.

P: Le poids.

Pm: Pourcentage molaire.

PR: La pâte de réparation.

Introduction générale

Une céramique est un produit composé essentiellement de matériau non-métallique et non organique et très intéressant dans le domaine de la technologie. Elle est obtenue par cuisson d'une terre argileuse qui peut être émaillée ou vitrifiée en surface extérieure pour donner de la faïence ou bien la porcelaine...etc.

En Algérie, il existe de nombreuses entreprises destinées à la fabrication de céramique sanitaire, parmi ces entreprises on trouve la société de céramique sanitaire d'EL MILIA JIJEL (SCS).

L'industrie céramique actuelle rencontre beaucoup de défauts dans les produits céramiques l'un de ces derniers sont les fissures et les fentes qui obligent l'employeur de jeter ces produits fissurés et les considérer comme des déchets et des décharges inutiles, mais cela a une influence négative sur plusieurs côtés.

Notre étude s'intéresse à la proposition d'une pâte de réparation et de la considérer comme une solution pour ce problème de défauts.

L'objectif de notre travail est d'élaborer une pâte de réparation pour les céramiques sanitaires qui permet de remédier à ces défauts (les pores et les fissures), cette dernière est constituée d'un mélange de l'email et de la pâte destiné à la fabrication du tesson a des différents pourcentages, elle joue un rôle très important dans la protection de l'environnement et à l'économie ,Ce manuscrit se divise en trois (03) chapitres;

Chapitre I : présente l'entreprise SCS El-Milia Jijel depuis sa naissance dans le domaine des céramiques sanitaires et le processus de fabrication passant par les différents ateliers, à partir des matières premières jusqu'à l'obtention du produit fini.

Chapitre II : comprends deux parties :

- **La première partie :**

Présentation de la pâte de réparation ; définition, but, classification, les matières premières (MP) et la méthode de l'élaboration.

- **La deuxième partie :**

Les méthodes de caractérisations qui permettent de déterminer les propriétés physique et chimiques et la composition chimique et minéralogique telle que : la plasticité, l'humiditéetc.

Chapitre III : quant à lui est consacré à la présentation des résultats expérimentaux obtenus des analyses physico-chimiques et minéralogiques comme la plasticité, la fusibilitéetc.

Nous terminons notre travail par une conclusion générale et quelques points de vue.

Chapitre I
Synthèse
Bibliographique

Introduction :

La vocation de la société céramique sanitaire El-Milia est la fabrication, avec les caractéristiques techniques requises, et la vente, des articles de céramique sanitaire destinés aux entrepreneurs de bâtiment et revendeurs d'une part, et pour les besoins des particuliers d'autre part [1].

Dans ce chapitre, nous nous proposons de donner des rappels bibliographiques concernant les céramiques sanitaires, leurs processus de fabrication ainsi que les différents défauts qu'elles rencontrent.

I. 1. Présentation de la SCS d'El Milia**I. 1. 1. La création de l'entreprise**

La société céramique sanitaire El-Milia a été Créée en 1975, de forme juridique : EPE/Spa au capitale de 208 000 000,00 DA et actuellement Filiale du groupe GIL (groupe des industries local).



Figure I.1 : Vue de face de l'entreprise.

Son siège est établi à El-Milia wilaya de Jijel dans la zone d'activité route de Constantine, nord d'El-Milia, ses effectifs sont d'environ 431 personnes tout grade et spécialité confondus, elle est implantée sur une superficie totale de 09 H a 68 A 70, Ca répartie comme suit :

- Superficie ,couverte : 29 666 m²;
- Superficie, bâtiment de production : 25 920 m² [1].

NB: (Ha= Hectare= 10 000m², A= Are= 100m², Ca= 01m²)

I. 1. 2. La situation géographique

La société est située dans le chef-lieu de la Daïra d'El-Milia qui relève de la wilaya de Jijel, au Nord Est algérien [1].



Figure I. 2 : La situation géographique de SCS d'El Milia.

Le site géographique de la société a donné des atouts et des avantages commerciaux, très intéressants dont :

- ✓ La position en bordure des routes nationales N° 43 et N 27 ;
- ✓ La zone industrielle régionale de Bellara à 02 Km ;
- ✓ Aéroport de Jijel à 45 Km;
- ✓ Aéroport de Constantine à 80 Km ;
- ✓ Port de Djendjen-Jijel à 40 Km ;
- ✓ Port de Skikda à 95 Km ;
- ✓ Port de Bejaia à 150 Km ;
- ✓ Port d'Annaba à 230 Km ;
- ✓ Port d'Alger à 390 Km.

I.1. 3.L'historique de l'entreprise

De 1969 à 1974 : Construction d'une unité de production de céramique sanitaire de la Société National des Matériaux de Construction SNMC.

La réalisation du projet de cette unité est passée dans le temps par différentes phases : Une réalisation initiale puis une extension du projet, le tableau ci-dessous résume ces différentes phases.

Tableau I. 1: Les différentes phases de réalisation du projet de SNMC.

Phases	Initiale	Extension
Lancement des appels d'offres	1968	Juin 1972
Signature des contrats	Octobre 1969	Janvier 1973
Ouverture des chantiers	Février 1971	Juin 1972
Réception des équipements	Février 1973	Mars 1973
Essais techniques	Octobre 1974	/
Mise en production	01 juillet 1975	/
Réception provisoire	18 aout 1976	/

En 1982 : La SNMC est restructurée en plusieurs entreprises indépendantes. Deux groups industriels régionaux de céramique sont créé :

- ECO- Entreprise de Céramique Ouest à Tlemcen.
- ECE- Entreprise de Céramique Est à Constantine.

L'unité d'El-Milia est rattachée à l'ECE.

En 1998 : L'unité d'El-Milia devient une filiale (autonome) et prend pour nom « Société Céramique Sanitaire d'El-Milia» (SCSEM par abréviation).

En 2014 : La société céramique sanitaire d'El-Milia est devenue filiale du groupe GIL (Groupe des Industries Local) [1].

I. 1. 4. La gamme des produits fabriqués par SCSEM

La mission de la société céramique sanitaire El-Milia est la fabrication, avec les caractéristiques techniques requises, et la commercialisation, des articles en céramique sanitaire (VITREOUS CHINA) destinés pour l'équipement des salles de bain et des cuisines.

Les figures suivantes regroupent la gamme des produits fabriqués par la SCS d'El Milia.



Figure I. 3: La gamme des produits fabriqués par la SCS d' El Milia.

Et cela avec une capacité de production≈ 460 000 pièces/an.

I.1. 5. L'organisation de SCSEM

Le SMQ (système de management de la qualité) s'applique l'ensemble des produits et services et à l'organisation des directions, des départements, des services et de toutes les sections des 14 administrations et les ateliers de production de SCS El-Milia.

L'entreprise a procédé à la certification de son système de management de la qualité selon la norme ISO 9001/2000 en 2004, renouvelée le : 11 Juin 2015 selon la norme ISO 9001/2008, auprès de l'organisme certificateur INTERTEK (N° Certificat : 0027955- 00) [1].



Figure I. 4 : Certification de système de management

En se basant sur des normes techniques internationales, la Société de Céramique Sanitaire d'El Milia fabrique ses articles en Vitreous China tout en exploitant un staff technique très compétent.

La société dispose d'un laboratoire chargé de

- ✓ Suivre et contrôler la qualité à tous les niveaux du processus de fabrication;
- ✓ Etudes et recherches pour l'amélioration de la pâte céramique ;
- ✓ Etude de la composition d'émaux et choix de matières.

Les ateliers de production sont les suivants :

- ✓ Atelier de préparation des matières premières et barbotine ;
- ✓ Atelier modelage (préparation et fabrication des moules) ;
- ✓ Atelier coulage (couler les pièces en utilisant les moules et la barbotine) ;
- ✓ Atelier émaillage (préparation d'émaux et émailler les pièce) ;
- ✓ Atelier cuisson (avec un four réfractaire et intermittent) ;
- ✓ Atelier choix et contrôle (trilage des pièces selon le model, la couleur et le choix) [1].

Les structures de direction et de soutien :

- ✓ La direction generale ;
- ✓ Département des ressources humaines ;

- ✓ Département de comptabilité et finances ;
- ✓ Département d'approvisionnement et commercial ;
- ✓ Département technique [1].

I.1. 6. La repartition d'effectifs

Il y a environ quatre ans, l'effectif de l'entreprise est de quatre cent trente et un (431) [1] employés, répartis comme suit :

Tableau I. 2: Présentation d'effectifs par catégorie socioprofessionnelle [1].

	Cadres	Maitrise	Exécution	Total
Nombre	32	90	308	431
Taux %	7.5	21	71.5	100

I. 2. Généralités sur les céramiques

I. 2. 1. Historique des céramiques

Il n'y a jamais eu l'âge de la céramique durant l'histoire de l'humanité, c'est pourtant une méthode de fabrication qui a des millénaires d'existence et elle ne s'est jamais démodée. La céramique connaît actuellement un spectaculaire renouveau qui fait d'elle l'un des secteurs clefs de l'industrie de pointe. Les premières fabrications céramiques remontent à la fin de l'époque néolithique (vases, jarres et coupes...).

La fabrication des objets, c'est-à-dire leur mise en forme à partir d'une argile plastique se fit d'abord entièrement à la main en partant d'un boudin de terre.

Pour confectionner un récipient rond, il apparaît plus efficace de faire tourner le bloc d'argile, d'où l'invention du tour de potier à l'époque des premières dynasties des pharaons d'Égypte, il y a quelques 5000 ans.

Le façonnage par coulage apparaît dans les dernières années du XVIII^e siècle; cette technique consiste à verser de la pâte à l'état fluide dans un moule en plâtre présentant en creux la forme de la pièce à obtenir. Au contact du plâtre, l'eau est absorbée par capillarité ; il se produit alors une filtration et la pâte se dépose sur la paroi absorbante en épousant toutes les sinuosités du plâtre. La fabrication des assiettes et des plats se fait aujourd'hui en série grâce au calibrage mécanique.

On trouve les premiers fours clos dès 4 000 ans avant J.C, la cuisson y est plus élevée et régulière que dans les foyers à feu découvert.

La poterie cesse d'être simplement utilitaire pour devenir un art en Afrique Noire et en

Amérique Précolombienne. Au cours des trois derniers millénaires avant notre ère, sur les rives de la Mer Egée et dans le bassin oriental de la Méditerranée, les civilisations crétoises et mycéniennes produisent une magnifique poterie à décors géométrique, végétal ou animal [2].

Les Etrusques créent aux environs du VIII^{ème} siècle avant J.C. une poterie rouge et décorée qui sera exportée vers tout le monde romain. Au Moyen-Age, l'art de la poterie, devenu universel, ne cesse de gagner en finesse. Mais il faut attendre le XVI^{ème} siècle et Bernard Palissy pour que s'enrichisse considérablement la gamme colorée des poteries.

La Porcelaine, en revanche, reste longtemps l'apanage de l'Extrême-Orient, dès le V^{ème} siècle, l'époque T'ang (618-907). Jusqu'à la fin du XVII^{ème} siècle, c'est un article de luxe, une marchandise exotique que pour les amateurs européens importent à grands frais. Pour les potiers européens, ce fût un casse-tête-chinois. A la fin du XVI^{ème} siècle, les Italiens obtiennent à partir de la terre pâle de Vicence une céramique blanchâtre et légèrement translucide, désignée sous le nom de "Porcelaine de Médicis".[2].

Au début du XVIII^{ème} siècle, Friderich Böttger, au service d'Auguste II le Fort, découvre enfin le secret de cet "or blanc", le Kaolin, cette argile blanche et friable résulte de l'altération du feldspath des granits.

Le Grès commence en Europe vers la fin du Moyen-Age et connaît un grand essor à partir du XVI^{ème} siècle. N'oublions pas l'anglais Josiah Wedgwood (1730 - 1795) qui révolutionna la céramique par ses innovations techniques et passa de l'artisanat au monde industriel [2].

I. 2. 2. Définition de la céramique

Le mot céramique vient du grec est Kéramos qui signifie argile. La société américaine ASTM (American Society for Testing and Materials) définit une céramique comme: un article ayant un corps vitrifié ou non, de structure cristalline ou partiellement cristalline, ou de verre, dont le corps est formé de substances essentiellement inorganiques et non métalliques, et qui est formé par une masse en fusion qui se solidifie en se refroidissant, ou qui est formé et porté à maturité, en même temps ou ultérieurement, par l'action de la chaleur

La céramique fait partie des arts du feu comme le travail du verre ou des métaux. Elle désigne l'ensemble des objets fabriqués en terre et qui ont subi une cuisson provoquant un changement irréversible de la matière (on passe de quelque chose de modelable à quelque chose de solide). Selon la qualité de la terre utilisée, selon la cuisson pratiquée ou encore selon le type de décoration, la céramique prendra le nom de faïence, de grès, de porcelaine, de biscuit ou encore de sigillée [2].

I. 2.3. Processus de fabrication des céramiques sanitaires

Les étapes de fabrication des céramiques sanitaire passent par plusieurs étapes à savoir:

I. 2.3.1. Atelier de modelage

Le travail dans l'atelier modelage comprend 4 opérations fondamentales :

- ✓ Fabrication du modèle.
- ✓ Fabrication du premier moule.
- ✓ Fabrication du moule mère.
- ✓ Fabrication du moule [1].

I. 2.3.2. Atelier de la barbotine

La barbotine est une suspension de l'argile et du quartz mélangé avec d'autres matières tel que le feldspath potassique et sodique, kaolin, silicate de soude, carbonate de soude...etc. et de l'eau [1].

A) Préparation du mélange de la barbotine

Préparation quotidienne du mélange, en fonction de la production du coulage. En principe deux préparations de 16 tonne des matières premières nouvelles par jour [1].

Contrôle de la barbotine doit être régulier dans le temps, de manière à ce qu'on respecte les exigences ci-dessous :

- ✓ Exactitude des passages des matières premières nouvelles et de la quantité d'eaux et d'additifs;
- ✓ Respect des temps de dissolution et de permanence dans les cuves;
- ✓ Contrôle soigné et contenue les caractéristiques soit en préparation soit en utilisation, fait toujours au même temps et de la même manière de la part du laboratoire;
- ✓ Les contrôles à faire sont principalement:
 - i. La densité;
 - ii. La viscosité

Les contrôles de ' i ' et ' ii ' se font comme suit :

- Disposition d'une quantité de la barbotine;
- Versement de l'échantillon dans un entonnoir fermé, cet échantillon sera systématiquement vidé dans un erlenmeyer de 100 ml;
- Le temps de remplissage de l'erlenmeyer sera mesuré à l'aide d'un chronomètre, ce temps désigne la valeur de la viscosité;
- L'obtention de la densité à partir d'un tableau qui indique les valeurs de cette Dernière correspondante à la viscosité [1]. (**Annexe A. 1**)

a) Broyage du quartz

La préparation, sur la base de la « fiche de pesée » consiste à mesurer le volume d'eau nécessaire à l'aide d'un compteur à eau pesé une quantité déterminée de kaolin de tamazert, (Kaolin KT2) puis pesé le quartz et le verser dans le moulin.

Régler le compteur et mettre en marche le broyeur jusqu'à l'obtention d'un résidu de 6 %, la préparation déverse le jus de quartz des deux moulins dans une des quatre cuves et enregistrer l'opération sur le registre de pesée de quartz [1].

b) Délayage d'argile

Le délayage d'argile, c'est la dissolution de l'argile par l'ajout de silicate de soude, carbonate de soude et de l'eau.

Sur la base de la fiche de pesée, la préparation commence par la diversion d'un volume d'eau bien précis dans un turbo-délayeur, ensuite on verse respectivement une quantité nécessaire de carbonate de soude et de silicate de soude, et on laisse le mélange se délayer pendant 1 à 2 heures. La solution d'argile obtenue dans le turbo-délayeur est tamisée dans une cuve, le préparateur enregistre l'opération sur le registre de pesée.

Le tamisage de jus d'argile : la préparation de procédé de tamisage de l'argile délayée au travers les vibrations qui ont une densité de 2500 mailles /cm [1].

c) Le mélange de la barbotine

La préparation de mélange se fait par l'ajout de quantités précises de kaolin (Remblend, LPC et Tamazert) et de feldspath (sodique et potassique) dans la cuve de dissolution ou a été déversé le jus d'argile et le jus de quartz.

La totalité des matières et soumise à l'agitation pendant une durée dans l'intervalle de [18-20] heures, le préparateur enregistre l'opération sur le « registre de pesée » [1].

d) Le tamisage du mélange

Le préparateur traverse le mélange aux cuves d'homogénéisation par voie de tamisage à l'aide d'un vibro-tamis de densité de 930 mailles /cm².

e) L'homogénéisation de mélange de la barbotine

Le préparateur procède au transfert de la barbotine fraîche et de vidage déjà tamisé, mélangé à travers le vibro-tamis de 930 mailles/cm². Dans les cuves d'homogénéisation l'agitation et continue dans l'intervalle de (18-24) heures, le préparateur enregistre l'opération sur le registre de contrôle et de correction.

le préparateur procède au tamisage de la barbotine homogénéisée à travers le vibro-tamis de 930 mailles /cm², pour la transférer aux cuves de dépôts [1].

f) La maturation de la barbotine

La barbotine homogénéisée et tamisée est transvasée dans les dépôts, laissé sous une agitation lente pendant une durée de l'intervalle [18- 24] heures, le préparateur enregistre l'opération sur le registre de contrôle et de correction [1].

g) Le stockage de la barbotine

Le préparateur procède au transfert de la barbotine vers les cuves de stockages afin de l'utiliser ultérieurement dans l'atelier de coulage [1].

I. 2. 3.3. Atelier de coulage**A) Définition de coulage (moule en plâtre)**

C'est une opération qui consiste à mettre une pièce en forme. En remplissant un moule poreux d'une pâte liquide appelée barbotine. Au contact de la surface du moule, la succion de celui-ci sur le liquide suspensif entraîne le dépôt des particules céramiques. L'épaisseur de la matière déposée augmente avec le temps de séchage jusqu'à la disparition totale du liquide.

Dans le cas du coulage à ciel ouvert, un re vidage de la barbotine en excès est effectué lorsque l'épaisseur désirée de la pièce est atteinte [1].

Dans le cas du coulage entre deux plâtres, le remplissage du moule est assuré par une nourrice. L'intégralité de la barbotine sèche à l'intérieur du moule pour former une pâte homogène [1].

Le remplissage du moule doit être lent et constant jusqu'à ce que l'entonnoir de remplissage soit bien rempli. Quand cela est possible le coulage doit être toujours pratiqué de bas en haut. Le remplissage est plus régulier et évite un risque d'inclusion d'air. Une attention particulière doit être prise à propos des points de rencontre ou la barbotine arrive des deux voies. En relation avec la forme et la configuration de la pièce et avec les caractéristiques de la barbotine ces points peuvent devenir délicats (points faibles) alors il sera nécessaire de changer les points ou les points d'alimentation ainsi que la position du moule sur le blanc [1].

Avant de commencer le coulage, il est nécessaire de déboucher chaque tuyau et faire couler autant de barbotine qu'il est nécessaire pour être certain que le tuyau est débouché complètement c'est-à-dire que la barbotine coule normalement et sans arrêt, sinon cela pourra conduire à un coulage irrégulier avec possibilités d'inconvénient successifs de divers genres [1].

B) Collage

Assemblage du moule, collage proprement-dit, Extraction de la pièce obtenu et le finissage de celle-ci les notices de travail de caractère général sont égaux pour toutes les pièces .pour chacune des pièces on indiquera après les détails et les notices particulières [1].

L'opération de coulage regroupe les étapes suivantes :

a) Assemblage du moule

Le moule doit être nettoyé et assemblé au dernier moment. Juste avant l'opération de coulage. Pour prolonger autant que possible le séchage et pour une majeure assurance de nettoyage [1].

b) Collage des pièces

Le collage des pièces doit se faire suivant les règles indiquées, si ces dernières ne sont pas vérifiées, on rencontre les défauts suivants :

- Tache de collage à l'intérieur des bassins ou bien sûr les pièces en générale par point de coulage erroné. Le défaut est souvent aussi évident à l'état cuit que la pièce ne peut pas être commerciale.
- Concentration d'air causant des bulles et des vides sur des parties fonctionnelles de la pièce

c) Vidage des pièces

On ne doit ni l'anticiper ni le retarder. Il faut le faire au moment juste suivant le temps de formation d'épaisseur et en tenant compte du moule et du temps employé pour le coulage.

d) Démoulage des pièces

Outre les notices normales déjà données, on recommande :

- De nettoyer la plaque pour éviter de salir avec des déchets ou d'autre corps étrangers, la pièce a bien abimer la surface que autrement n'aurait pas besoin de retouches.
- Remplacer exactement la plaque et la mettre à l'étau bien pour éviter des coups et des déformations à la pièce pendant l'opération de rotation [1].

e) Finissage des pièces

C'est une opération qui permet de rendre la surface des pièces lisse, il doit tenir compte de consistance de la pièce et par conséquent doit être fait, le plus tard possible.

Le deuxième finissage (à faire le jour suivant celui de coulage) est également bien expliqué au point, la remarque qu'on peut faire est d'éviter toutes les opérations inutiles et d'effectuer :

- L'ébarbage à l'aide de curette droite ou recourbée de 0,15 mm ;
- Eponger la pièce par des éponges synthétique souple [1].

I. 2. 3.4. Atelier d'émaillage

A) Définition de l'émail

Terme général désignant un revêtement vitreux (non-cristallin) obtenu par fusion d'une composition céramique sur un support céramique ou non [1].

Les glaçures appelées aussi émail est un enduit vitrifiable posé sur la surface d'un tesson céramique à fin de le rendre imperméable et par conséquent augmenter sa qualité esthétique [1].

L'émail est une poudre fusible, composée de différents minéraux (silice, feldspath, kaolin, argile et oxydes métalliques), vitrifiable et plus ou moins opaque (fritte), peut avoir différentes couleurs [1].

Les dimensions de la couche de glaçures est de 0,15 à 0,50 mm, l'action de recouvrir le tesson par l'émail s'appelle émaillage [1].

B) Préparation des émaux

La composition indicative de l'émail est suivante, pour chaque moulin, on charge les quantités suivantes [1] :

Tableau I. 3: La composition du mélange de l'émail opaque [1].

Matières premières (MP)	Humidité(%)	Quantités (Kg)	Pourcentage (%)
Feldspath Na	0,25	351	29,20
Quartz	0,25	371	30,87
Carbonate de calcium	/	130	10,82
Dolomie	/	95	7,90
Zircon	/	130	10,82
Oxyde de zinc	/	30	2,50
Kaolin RMD	5,3	95	7,90

C) Préparation de bain d'émail

Chaque réservoir peut contenir 300 kg d'émail auquel on ajoute environ 3 kg de solution d'adhésif (la colle) pour l'émail transparent et 5 kg pour l'émail opaque [1].

I. 2. 3.5. Atelier de cuisson

La cuisson est l'opération finale des produites céramiques. Pendant cette opération, les transformations physiques des matières premières et le produit acquit son aspect définitif.

Le but de la cuisson est de provoquer par chaleur certaines réactions chimiques et transformation physique des matières premières et de l'émail, certains facteurs importants

influent d'une façon directe sur ces différentes transformations à savoir la température de cuisson, le temps et la nature de l'atmosphère gazeuse du four, car les constituants de la pâte céramique, non seulement, réagissent, entre eux mais également avec le contact du gaz [3].

L'atmosphère gazeuse du four doit être oxydante. Pour la cuisson des pièces céramiques, l'unité d'EL Milia utilise des fours tunnel [3].

Le matériau à cuire est chargé sur les chariots (partie inférieure métallique et supérieure en réfractaire) poussés dans le four en glissant sur rail, parcourant le tunnel en avançant progressivement, cuisant au fur et à mesure par les phases de préchauffage, de cuisson et de refroidissement de façon que le produit traité sorte du four pratiquement froid et dans des conditions qui permettent de le manier assez tôt [1].

A) Les réactions chimiques dans le four

C'est l'opération décisive des produits céramiques et réfractaires puisque leurs qualités en dépendent considérablement. La cuisson d'une pâte réfractaire conduit à des différentes transformations cristallines au sein de mélange constitutif [1].

Les principaux facteurs qui influent sur la cuisson sont :

- ✓ La température.
- ✓ L'atmosphère du four.
- ✓ La durée de cuisson.

La durée de cuisson d'un chariot est de 21 h et chaque 30 min, on enfourne et on défourne un chariot. Il existe plusieurs types de four dans l'industrie céramique et réfractaire, mais le plus adapté est le four tunnel qui comporte trois zones principales: zone de préchauffage, zone de cuisson et la zone de refroidissement [1].

Cette opération s'effectue dans un four tunnel comportant 42 chambres successives dont le premier reste vide. Il est divisé en trois zones:



Figure I. 5 : four tunnel.

[Photo prise le 02/05/2019, à l'usine de céramique sanitaire d'El MILIA JIJEL]

a) Zone de préchauffages

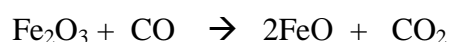
De 40 C° à 950 C°, elle se divise en deux phases

- Préchauffages primaire : qui permettent d'éliminer l'eau hygroscopique qui n'a pas été évaporée totalement lors du séchage.
- Préchauffages secondaire : qui permettent le départ d'eau de constitution provoque une modification de l'édifice cristallin lors de séchage [1].

b) Zone de cuisson

De 950 °C à 1300 °C, elle se divise en deux phases :

- Zone oxydante : qui permet la décomposition des différents oxydes contenu dans la matière, l'oxydation se fait dans une atmosphère oxydante avec un excès d'air ou d'oxygène.
- Zone réductrice : qui permet la réduction de l'oxyde ferrique (Fe₂O₃) contenu dans la matière première en oxyde de fer (FeO). La réduction se fait dans une atmosphère réductrice en utilisant comme agent de réduction le CO avec un déficit d'air selon la réaction suivante :



Dans cette zone réductrice le feu est réducteur, lorsque les gazes du four contiennent un excès de combustible (CH₄,.....), c'est-à-dire lorsqu'il y a un manque d'O₂ ou d'air pour brûler totalement les gazes combustible [1].

c) Zone de refroidissement

De 1300 °C à 72 °C : dans cette zone, la température diminue jusqu'à 72 °C afin d'avoir la solidité des pièces [1].

I. 3. Les défauts dans les céramiques

Les céramiques contiennent des défauts de fabrication comme les pores et les fissures dues à leur mode de mise en œuvre, des fissures dues aux contraintes thermiques et à l'abrasion.

Même si elles ne contiennent pas des fissures au départ, les écarts des modules d'élasticité entre les différentes phases feront les apparaître lors de la mise en service.

La plupart de ces défauts ont une taille de l'ordre de la taille des particules en poudre à partir de laquelle la céramique a été fabriquée. Si la taille des défauts les plus longue, elle peut être détectée et écartée, la résistance moyenne des pièces utilisée s'en trouvera augmentée [3].

Le tableau suivant représente quelques défauts rencontrés dans les céramiques.

Tableau I. 4: Les principaux défauts rencontrés dans les céramiques [1].

Défauts	Apparences	Causes
Bour soufflures Grésset porcelaine.	Formation d'une bulle à l'intérieur de la pâte.	Expansion de la pâte produite sous la pression de gaz venant d'une masse partielle en fusion : a) Surcuisson. b) Carbone. c) Pâte trop fusible.
Cratères.	Cratère dans-là pièce en biscuit.	Présence d'impuretés dans l'argile ou l'émail: a) Particules de plâtre. b) Sulfates ou carbone dans la pâte.
Fentes	Fentes au biscuit.	a) Séchage trop rapide ou incomplet de l'argile. b) Argile pas assez plastique. c) Outil de calibrage. d) Finition de la pâte trop poussée. e) Cuisson trop rapide jusqu'à 300 °C et refroidissement trop rapide à partir de 600 °C.
Manque	Email se retire en	a) Trace de doigts.

d'email.	petits ilots sur la pièce.	<ul style="list-style-type: none"> b) Huile ou graisse, poussière sur le biscuit. c) Fente de la couche d'email avant cuisson. d) L'épaisseur d'email.
Tressillage.	Fines fentes à la surface de l'email.	<ul style="list-style-type: none"> a) Désaccord de dilatation entre la pâte et l'email. b) L'email appliqué trop épais. c) Cuisson insuffisante de la pâte ou de l'email.
Dévitrication.	Aspect mat et laiteux de l'email.	<ul style="list-style-type: none"> a) précipitation lors du refroidissement de l'email. b) Petits cristaux à la surface de l'email. c) Précipité laiteux (Borate-Calcium).
Ecaillage.	Soulèvement de plaques d'email	<ul style="list-style-type: none"> a) Chauffage ou refroidissement trop rapide de la pâte à 225 °C et 575 °C. b) Pâte trop riche en silice. c) Variation importante de l'épaisseur de la pâte d) Surcuisson de la Pâte. e) Email sous une compression excessive. f) Migration de sels solubles à la surface de la pâte au séchage ou à la cuisson. g) Désaccord de dilatation entre la pâte et l'email.
Pinhole	Trous d'épingles Dans l'email après cuisson.	<p>Formation de gaz à partir de la pâte ou de l'email durant la cuisson.</p> <ul style="list-style-type: none"> a) Augmenter la cuisson de la pâte. b) Les sels solubles dans la pâte (sulfates). c) Application trop épaisse et surcuisson des couleurs sous l'email. d) Excès de la craie dans l'email. e) Cuisson insuffisante de l'email. <p>Surcuisson de l'email qui se volatilise.</p>

Conclusion

Les matériaux céramiques sont obtenus à partir des masses d'argiles soumises au façonnage et à la cuisson ultérieures. Souvent, une opération technologique a lieu consiste dans le séchage des éléments façonnées, appelés éléments crus qui subit une étape qui s'appelle émaillage jusqu'à l'obtention du produit fini. Ces dernières, rencontrent plusieurs défauts, parmi ces défauts, on trouve les fentes et les fissures. Pour cela, on propose d'élaborer une pâte pour résoudre ce problème qui est présenté dans le chapitre II.

Chapitre II
Matériels et Méthodes

Introduction

Les fissures et les fentes rencontrées dans l'industrie de céramique représentent de nombreux problèmes, pour cela, nous nous intéressons à l'élaboration d'une pâte de réparation pour y remédier à ces défauts. Dans ce chapitre, nous présentons la pâte de réparation; la définition, le but, les matières premières, la méthode d'élaboration, et les moyens d'investigations...etc.

II. 1. Définition de la pâte de réparation

La pâte de réparation est une pâte utilisée pour la réparation des produits céramiques qui ont des défauts de cuisson à la sortie des fours, par des matières premières identiques à celles de la pâte destinées à la fabrication de tesson. Cette réparation aura lieu à chaud dans un four intermittent. Elle doit avoir une coloration semblable à celle de la pièce originale et une température de réparation inférieure à celle de la cuisson [4].

II. 2. L'intérêt de la pâte de réparation

La pâte de réparation est utilisée pour remédier les défauts (les fissures et les fentes) dans les pièces céramiques après cuisson. Elle permet la diminution des rebuts, donc elle joue un rôle économique très important ainsi que la protection de l'environnement, la réduction de coût et l'amélioration de la qualité [4].

II. 3. Les matières premières de la pâte de réparation

En chimie industrielle ; les matières premières constituent des données de toute première importance. Aucune substance utile ne peut être en effet produite si l'on ne dispose pas des matières premières nécessaires pour la fabriquer [5].

La pâte de réparation de céramique est une masse composée d'une phase plastique et d'une phase dite dégraissante. La phase plastique est constituée par un mélange d'argiles et de kaolins, qui confèrent la plasticité à la pâte. Ils participent ainsi au développement de la phase vitreuse au cours du traitement thermique. Les kaolins améliorent le comportement au coulage et augmentent la blancheur du produit céramique [6].

Quant à la phase dégraissante, elle comprend les feldspaths (sodiques et potassiques) et la silice dont la granulométrie bien définie qui ; lors du traitement thermique, elle vont être à l'origine de la formation de la phase vitreuse. Une fraction importante de la silice confère un comportement dilatométrique (la dilatation de l'email sur la pâte de tesson) de la pâte en accord avec la couche d'email [6].

II. 3.1. Matières premières plastiques

Elles sont toutes matières susceptibles d'acquérir une déformation permanente sous l'action des forces agissant dans des conditions convenables [7].

Les matières plastiques utilisées dans l'industrie céramique sont : les argiles et les kaolins.

Le mélange d'argile et d'eau donne une pâte plastique qui provoque des déformations importantes sans rupture avec conservation de la forme acquise lorsque l'effort cesse.

Son aptitude à la déformation avant la rupture (malléabilité) est donc très grande, elle est capable de former avec des matériaux non-plastiques des pâtes ayant une certaine malléabilité. Pratiquement, la plasticité avec la tenue en feu est la propriété de l'argile la plus importante [4].

II.3.1. 1. Les argiles

Le terme argile désigne à la fois un ensemble des minéraux silicatés en feuillets de la famille des phyllosilicates, et la roche qui les contient majoritairement [8].

L'argile est une matière fondamentale pour l'industrie sanitaire [9], elle est formée par la dégradation des trois (03) types des roches (magmatique, sédimentaire et métamorphique) due à des phénomènes d'érosion et d'altération chimique sous l'action des agents atmosphériques [10].

L'introduction de l'argile dans une pâte sert à : augmenter la plasticité, faciliter le façonnage et améliorer la résistance mécanique qui contribue à la vitrification de la pâte durant la cuisson. Le rôle principal de l'argile est le contrôle du comportement rhéologique de la pâte (comportement de la matière qui s'écoule en fonction de sa plasticité, de son élasticité et de sa viscosité), son retrait en cru et sa couleur [9].



Figure II .1 : Poudre d' argile hycast (à gauche) ; Poudre d'argile brune (à droite).

II.3.1. 2. Les kaolins

Le nom kaolin provient du chinois Gaoling, le kaolin perd son eau de cristallisation entre 500 et 700 °C. Il est constitué de kaolinite ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) ; qui forme la partie cristalline du kaolin et de certaines argiles, la kaolinite est extraite par un procédé physique (séparation granulométrique par sédimentation) relativement peu coûteux.

Les kaolins sont plus purs que la plupart des argiles, ils sont utilisés dans la fabrication de la pâte céramique [9], et possèdent la propriété de rester blanc après cuisson, de supporter une haute température [10], d'augmenter l'opacité, la blancheur et l'éclat de la pâte [11].

Parmi les kaolins utilisés pour la préparation de la pâte de réparation, on cite : kaolin Remblend (RMD), kaolin Tamazert (KT2) , kaolin par kaolin...etc.

Le tableau suivant donne quelques matières plastiques ainsi que leurs formules chimiques.



Figure II.2: Poudre de kaolin (parkolin) (à gauche) ; Poudre de DMR niloak (à droite).

Tableau II.1: Quelques types d'argile [9].

Dénomination	Formule chimique
Kaolinite	$2\text{SiO}_2 \text{ Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
Halloysite (argile)	$2\text{SiO}_2 \text{ Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O} + n\text{H}_2\text{O}$
Montmorillonite (argile)	$3\text{SiO}_2 \text{ Al}_2\text{O}_3 (\text{Mg}, \text{Ca}, \text{Na}, \text{K})$
Illite (argile)	$3 \text{ ou } 4 \text{ SiO}_2 \text{ Al}_2\text{O}_3 (\text{Fe}, \text{Mg}, \text{K}, \text{Na}) \text{ H}_2\text{O} \cdot n\text{H}_2\text{O}$

II. 3.1. 3. Propriété des matières premières argileuses

Ceux sont des aluminosilicates hydratés, représentés par les grandes familles des argiles et des kaolins, formant les plastifiants qui confèrent à la pâte crue sa plasticité en raison de leurs structures lamellaires et des propriétés physico-chimiques de leurs particules.

L'augmentation de la teneur en matières argileuses augmente le coefficient de dilatation et diminue la résistance au choc thermique [12].

II. 3.1. 4. Propriétés physiques et mécaniques des matières plastiques

Les matières premières plastiques sont caractérisées par une très faible conductibilité thermique et sonore, ce qui leur confère un double rôle d'isolant particulièrement précieux dans les applications [7].

En revanche, leur dilatation thermique est assez élevée et peut atteindre cinq fois celle des métaux. Elles résistent assez bien aux attaques des produits chimiques courants et aux liquides moyennement acides en particulier ; leur densité variée de 0,9 à 1,5.

Ces caractéristiques mécaniques peuvent donc se comparer avec les plastiques en première approximation, à certains bois du point de vue des efforts à supporter. Mais il est indispensable de noter l'influence prépondérante de la chaleur sur ces caractéristiques [7].

II. 3.2. Matière première non plastique

De façon plus usuelle, on les dénomme dégraissants. Suivant la morphologie et la taille de leurs particules, elles modifient les propriétés physiques et chimiques des argiles et diminuent la plasticité tout en rendant le matériau moins sensible au séchage.

Les matières premières non plastiques peuvent être divisées en deux classes : les fondants et les dégraissants [12].

II. 3.2. 1. Les dégraissants

La plasticité peut devenir gênante lorsqu'elle est excessive, il est indispensable de mélanger à l'argile des matières inertes qui par l'absence de retrait diminuent celui de masse auxquelles elles sont incorporées, en même temps que leur dispersion dans cette masse crée une sorte de squelette qui la rend poreuse ce qui facilite l'évaporation de l'eau [13].

Ont les noms matières dégraissantes ou matières antiplastiques (le sable, chamotte). Le rôle de dégraissant est :

- ✓ la diminution de la plasticité de la pâte
- ✓ la réduction de retrait de séchage et la facilité de façonnage de la pâte [13].
- ✓ l'augmentation de la porosité de la pâte [14].

Parmi ces dégraissants, on cite : le sable et la chamotte.

a) Le quartz :

Le quartz (la silice) est formé chimiquement par le bioxyde de silicium. C'est le minéral le plus répondu de l'écorce terrestre, il se trouve dans la nature sous forme de roche meuble (sable et verre quartzeux, cristal de roche), ou comme composant de roche polyminirale , mais il rentre également dans la composition d'un nombre élevé de composés naturels ou artificiels. Ainsi, il est un composé essentiel des kaolins, des micas, des feldspaths à l'état naturels et il est aussi un constituant de base des matériaux naturels transformés par cuisson pour donner les minéraux réfractaires [15].

La densité du quartz est de 2650 kg/m³ sa dureté est 7 Mohs (d'après l'échelle de mohs), sa résistance à la compression est d'environ 650 à 1100 Mpa. Le quartz est stable aux actions des acides sauf l'acide fluorhydrique et se distingue par une haute résistance aux intempéries, son rôle est de :

- ✓ Réduire le retrait de séchage et de faciliter le façonnage de la pâte.
- ✓ Diminuer la plasticité de la pâte.
- ✓ Rendre les argiles moins collantes, on ajoutant du quartz (sable siliceux) pour améliorer la texture de la pâte.
- ✓ Le quartz présente un caractère vitrifiant [15].



Figure II. 3: Poudre de quartz

b) La chamotte

La chamotte est une argile cuite à des hautes températures (1000-1400 °C) en dépendance du type d'argile. Elle est composée de silice (SiO_2 :44%) , d'alumine (Al_2O_3 :48 %) , d'oxyde de fer (Fe_2O_3 :1%) , et d'oxyde de Titane (TiO_2 :1 %) et divers composants pour le reste.

La chamotte est un ajout interne ne possédant pas d'inconvénient tel que le sable quartzueux qui présente une forte dilatation. Elle est issue d'un traitement thermique à haute température de certains types d'argiles [16], cette température est généralement comprise entre 1100 et 1300 [17].

C'est un grès déjà cuit, provenant généralement de résidus de production recyclés. La chamotte est moulue et tamisée en fonction des différentes tailles granulaires de ses composants. Elle est ajoutée à l'argile avec un pourcentage bien défini pour conférer les caractéristiques suivantes aux produits cuits [16]:

- ❖ Depuis l'extrusion jusqu'à la cuisson : stabilité formelle, limitation du retrait, amélioration du séchage.
- ❖ Au cours du processus de cuisson : stabilité [16].

II. 3.2. 2. Les Fondants

Les fondants sont essentiellement des alcalino-terreux, ils ne peuvent jouer leur rôle que lorsque la température à laquelle ils se combinent aux autres éléments est atteinte, au-dessous de cette température, ils n'agissent que comme des dégraissants [9].

Ces matières en général assurent l'augmentation de l'intervalle de frittage et la diminution de la température de cuisson. La fonction principale du fondant, c'est de former une phase vitreuse. De cette façon, la cohésion en cuit et la densification sont facilitées et la température de cuisson sera réduite.

Les meilleurs fondants sont ceux qui permettent de baisser le point de fusion sans baisser le point de vitrification. Les fondants sont très nombreux, mais en pratique, on utilise généralement les alcalins (K_2O , Na_2O et Li_2O) pour la préparation de la pâte, parmi ces fondants on peut citer : [17]

a) Les feldspaths

Ce sont des minéraux constitués par des silico-aluminates de sodium de potassium et de calcium. Les feldspaths les plus purs cuisent blanc et fondent à des températures diverses, généralement supérieures à 1200 °C en un verre incolore extrêmement visqueux [17].

- Feldspath potassique (orthose) : $6 \text{SiO}_2\text{Al}_2\text{O}_3 \text{K}_2\text{O}$ (1re famille de feldspath).
- Feldspath sodique (Albite) : $6 \text{SiO}_2\text{Al}_2\text{O}_3 \text{Na}_2\text{O}$ (2^e famille de feldspath).
- Couleur : variable, incolore, blanc, rose, vert, bleu, marron.

Ce pigment ZnO sert dans l'industrie céramique à la préparation des émaux grâce à sa propriété d'excellent brillant [20].



Figure II. 5: Poudre d'Oxyde de zinc.

Le tableau suivant représente quelques dégraissants utilisés dans la pâte céramique.

Tableau II. 2 : quelques matières dégraissantes utilisées dans la pâte céramique [9].

Dénomination	Formule chimique
Quartz	SiO_2
Feldspath	$6\text{SiO}_2 \text{ Al}_2\text{O}_3 \text{ Na}_2\text{O}$ (albite)
	$6\text{SiO}_2 \text{ Al}_2\text{O}_3 \text{ K}_2\text{O}$ (orthose)
	$2\text{SiO}_2 \text{ Al}_2\text{O}_3 \text{ Ca}_2\text{O}$ (anorthite)

II. 3.3 : Les groupes des oxydes dans la pâte de réparation :

De manière générale on trouve plusieurs oxydes dans la pâte céramique comme : SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , TiO_3 , CaO , MgO , K_2O , Na_2O , ZnO , PbO , CuO , CdO , Zr_2O .

Les principaux oxydes utilisés sont : CaO , MgO , K_2O , Na_2O , SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , TiO_3 , ZrO_3 [21].

a) La silice (SiO_2) :

Trouvée abondamment dans la nature sous forme de sable (quartz), on utilise habituellement le sable tirant plus de 99 % de SiO_2 avec un taux d'impuretés gênantes inférieurs à 0.2 %, les sables plus purs dits « sable de fontaine bleue », ne contiennent que 0.01 % à 0.02 % d'oxyde de fer, son rôle :

-améliorer la blancheur des produits.

-augmenter la résistance mécanique par combinaison avec Al_2O_3 [21].

b) L'alumine (Al_2O_3): (qui agit comme formateur en association avec la silice)

Existe couramment dans la nature dans les roches éruptives (silico-aluminates complexe) ; la bauxite est de l'aluminite hydratée impure. L'alumine est généralement introduite sous forme :

-augmenter la viscosité et la température de la cuisson.

-améliore la résistance à la cristallisation ainsi que la blancheur.

c) L'oxyde de sodium et de potassium (K_2O , Na_2O) :

Sont les « fondants » nécessaires pour abaisser de plusieurs degrés de températures d'élaboration et de vitrification de la silice ; ils sont introduits sous forme de carbonate sulfates nitrates fournis par l'industrie. Les compositions sont essentiellement à base de carbonate de sodium, une partie de Na_2O étant introduites sous forme de sulfate qui se décompose à une température plus élevée.

d) L'oxyde de calcium (CaO):

Elle est introduite sous forme de carbonate de calcium par les craies, les calcaires et les marbres, ou associée à la magnésien MgO dans la dolomie ; son rôle : augmente la blancheur et la température de fusion de l'émail. [21]

e) L'oxyde de magnésium (MgO): (est un composé remarquable)

C'est un réfractaire bon conducteur de la chaleur et bon isolante électrique, c'est après un traitement préalable (par complexe : calcination) qu'il est obtenu, la fusion ou le frittage stabilisation ses propriétés. L'oxyde magnésium est très peu soluble dans l'eau, mais présente un caractère alcalin facilite son attaque en milieu acide, l'oxyde de magnésium s'hydrate au contact de l'humidité atmosphérique ; la cinétique dépendant de sa morphologie. [22].

f) L'oxyde de titanium (TiO_2) :

Il est présenté dans les argiles sous forme de rutile (TiO_2) ou d'ilménite (Fe_2O_3 , TiO_2), il exalte la coloration due sels de fer. L'oxyde de titanium du système quadratique stable à la haute température et haute pression a éclat admontin plus ou moins métallique brun rouge, jaune, noire. il monte une macle dite en genou et se présente en cristaux aciculaires dans les biotites dans les feldspaths dans le quartz et un plus grand cristal dans les roches fortement métamorphiques (granulites, éclogites). [23]

g) L'oxyde de zirconium (ZrO_2) :

Les composés de zirconium présentent une excellente stabilité à la température, et peuvent supporter des cuissons prolonges sans inconvénients. la cuisson doit se réaliser dans une atmosphère d'oxyde, car l'atmosphère réductrice fait noircir l'émail [24].

II.4. L'élaboration de la pâte de réparation

La préparation de la pâte de réparation nécessite les matières premières (argile, kaolin, quartz, feldspath...). Ces matières premières subissent plusieurs procédés industriels avant d'être mis en œuvre dans leur utilisation finale (concassage, broyage, tamisage, dosage...etc).

Les différents composants sont mélangés dans la cuve de préparation avec les agents de défloculation qui sont incorporés à la suspension pour assurer sa stabilité. À la fin de cette étape, la suspension qui sort du broyeur s'appelle *barbotine*. Cette dernière est pressée dans des filtres presses pour extraire l'excès d'eau [25].

Le schéma suivant représente le procédé de préparation de la pâte de réparation.

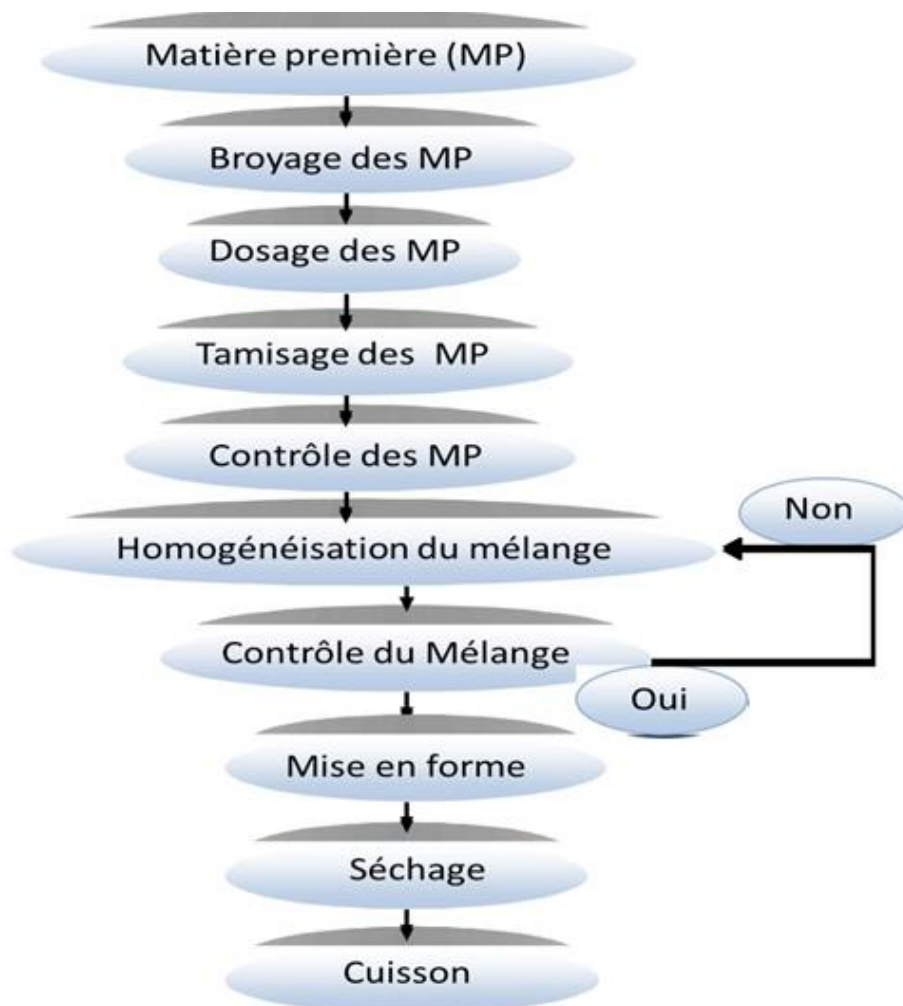


Figure II. 6 : Les différentes étapes de la préparation d'une pâte de réparation.

La pâte de réparation représente un mélange entre les matières premières plastiques, et non plastiques selon le mode opératoire cité ci-après.

II. 4.1. Le mode opératoire de la pâte de réparation

Après le calcul de l'humidité de chaque matière première.

- ❖ On pèse la quantité nécessaire de chaque matière première (quartz, argile ...).
- ❖ On utilise un broyeur à galets ; (**Annexe B. 1**)
- ❖ On met les matières premières (l'argile hycaste, le quartz, les kaolins, les feldpaths) et 500 ml d'eau.
- ❖ On ferme la jarre pour entamer un broyage d'une durée de 2 heures. (**Annexe B. 2**)
- ❖ Ensuite on les mélange pendant 2 h pour les homogénéiser et les broyer;
- ❖ On pèse 100g du mélange final, ce dernier subit un tamisage humide sur un tamis avec une maille d'ouverture de 63 μm . ce tamisage pour but d'avoir une granulométrie adéquate;

-Si le refus est inférieur à 1 %, la granulométrie est adéquate ; sinon on continue le broyage jusqu'à l'obtention de la valeur précédente;

- ❖ On met une quantité de mélange dans l'étuve à 110 °C pour une durée de 24
- ❖ Après on la broie et on prépare des cônes de fusibilité de chaque dosage pour l'examen visuel de la fusion, le moule conique en cuivre possède les dimensions suivantes :

la hauteur = 40 mm

le diamètre = 45 mm (**Annexe B. 3**)

- ❖ On introduit les échantillons coniques dans le four tunnel à température maximale de 1200 °C.
- ❖ On verse le reste de mélange dans des moules en plâtre. (**Annexe B. 4**)

Après on obtient la pâte de réparation, on garde une quantité pour le test de la plasticité et l'autre pour la réparation des pièces.

- ❖ On récupère les cônes pour avoir une idée sur la fusibilité de chaque dosage.
- ❖ On réalise un concassage et un tamisage de ces cônes (poudre) pour l'opération d'analyse par DRX, fluorescence X et infrarouge (malheureusement, on ne peut pas faire ces analyses).

-A la fin on est prêt pour faire un test de réparation sur quelques pièces de l'usine pour avoir une idée sur leur efficacité de réparation.

II. 5. La classification de la pâte de réparation

La pâte de réparation peut être classée en deux catégories.

- ✓ Pâtes vitrifiées.
- ✓ Pâtes non vitrifiées.

II. 5.1. La pâte vitrifiée

Dans ce type de pâte, la température de cuisson est plus élevée. La teneur en fondant est plus important et cela agit comme élément fusible et provoque le passage de la silice à la forme vitreuse d'autant plus facilement qu'elle est plus finement broyée. La taille des grains de quartz a un rôle décisif dans le processus de la vitrification et constitue la mesure de la réactivité de silice présente dans la pâte [4].

II. 5.2. La pâte non vitrifiée

La forme lamellaire des grains conduit à leur orientation facile sous les effets mécaniques du façonnage. Cette forme donne lieu à une structure anisotrope, il résulte pour le tesson des différences de retrait et de résistance mécanique. Cette dernière est susceptible de varier selon la forme des grains arrondis ou anguleuses. Les formes anguleuses ne permettent pas une transmission isotrope de la pression. Celle-ci pouvant être différente d'un point à un autre de la masse de la pâte [4].

D'une façon générale, les formes anguleuses conduisent à des pâtes moins poreuses et plus compactes que les formes arrondies, il est souvent utile dans les pâtes aux chamottes de choisir un mélange de ces deux types de grains [4].

II. 6. La température de fusion de la pâte de réparation

La température de fusion de la pâte de réparation dépend du coefficient de dilatation thermique, de la tension superficielle lors de cuisson et la teneur en fondants. Elle est inversement proportionnelle à ces trois paramètres [3].

II. 7. Les moyens d'investigation

Les moyens d'investigations ont pour but de déterminer les propriétés physiques et chimiques, la composition chimique, le coefficient de dilatation thermique et l'humidité des matières premières ou des matériaux [3].

II. 7.1. Le contrôle de différents paramètres de la pâte de réparation

Ces paramètres sont les moyens et les méthodes par lesquelles on peut caractériser notre matériau, nous pouvons citer :

II. 7.1. 1. L'Humidité

L'humidité est la quantité d'eau ou la teneur en eau retenue physiquement par adhérence aux particules des matières premières, cette teneur en eau partira progressivement sans modifier l'édifice cristallin on l'appelle aussi (eau d'adsorption) ou (eau hygroscopique) la mesure de ce paramètre est pratiquée avant le dosage de différents constituants d'une pâte céramique, le but de cette mesure est de faire un dosage exact [3].

L'humidité est calculée selon la formule suivante :

$$H(\%) = \left(\frac{M_h - M_s}{M_h} \right) \times 100 [3]$$

Où: **H** : le taux d'humidité.

Ms : la masse de l'échantillon sec ;

Mh : la masse de l'échantillon humide ;

a) L'appareillage :

Une balance, une étuve et des capsules.



Figure II. 7: Cuve, Etuve, Balance.

b) Protocole expérimental :

- On pèse une masse d'échantillon humide (M_h) dans une capsule, on met la capsule et son contenu dans l'étuve à 110°C pendant 30 min, ensuite on la retire et on la pèse.
- On répète cette opération jusqu'à ce que la masse devient constante, cette dernière représente la masse de l'échantillon sèche, on la note (M_s).

II. 7.2.1. Détermination de la plasticité d'une pâte

Par définition, la plasticité est la limite qui caractérise la transition entre un état plastique et un état solide. La détermination de ce paramètre sera expliquée dans la partie pratique [3].

Ce paramètre est déterminé en calculant la tangente de la fraction $F(\%H_2O) = \frac{H_0}{H_1}$. La valeur de la tangente qui représente la limite de plasticité WP sera ensuite comparée au tableau ci-dessous, qui nous donne le domaine de la plasticité selon la fonction précédente.

Tableau II. 3 : Domaine de la plasticité en fonction de pourcentage d'eau [3].

Domaine de la plasticité	% H ₂ O
Basse plasticité	<22
Basse-moyenne plasticité	22-26
Plasticité moyenne	26-30
Moyenne-haute plasticité	30-34
Haute plasticité	≥34

a) L'appareillage:

- Une balance;
- Une étuve;
- L'appareil: PFEFFERKORN(plastification)



Figure II. 8 : L'appareil PFEFFERKORN de plasticité.

Cette appareil nommé plasticimètre Pfefferkorn a été conçu et construit avec les caractéristiques suivantes: [26].

- Masse d'impact: $m = 1\ 180\ g$.
- Hauteur de chute: 168 mm.
- Échelle: Lecture en mm.

- a: Flexomètre
 b: pénétromètre
 d: plaque de support de masse ou: épingle

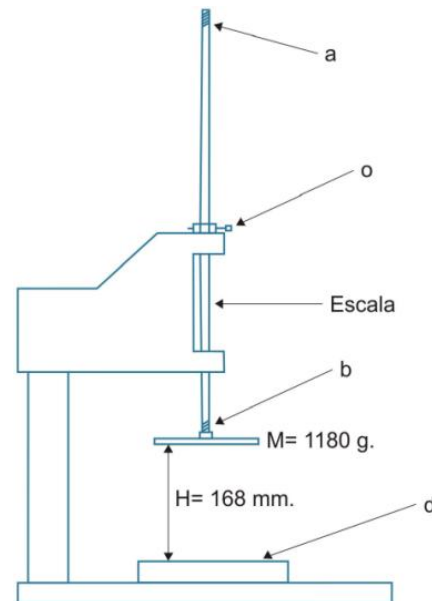


Figure II. 9. Schéma du Le plasticimètre de Pfefferkorn [26].

a) Protocole expérimentale :

On prend séparément trois échantillons de chaque dosage de différentes humidités (sèche, semi humide, humide), on introduit chaque échantillon dans un moule cylindrique spécifique à l'appareil de plasticité (PFEFFERKORN) et après démoulage, on mesure la hauteur de l'échantillon cylindrique (H0).

On applique une compression par l'appareil sur l'échantillon cylindrique de hauteur(H0) pour obtenir la deuxième hauteur après compression (H1);

Le test est répété 3 fois pour chaque échantillon pour avoir un rapport moyen de (H0/H1);

On pèse l'échantillon obtenu pour avoir son poids avant séchage (P0), il est ensuite séché à l'air libre pendant 24h puis dans l'étuve à 110°C pendant 24h;

Après séchage, l'échantillon est pesé une autre fois pour savoir son poids après séchage (P1).

La moyenne(M):
$$M = \frac{\sum H0/H1}{3}$$

Avec: H0 : hauteur initiale de l'échantillon cylindrique ;

H1 : hauteur finale de l'échantillon cylindrique.

L'humidité (H%):
$$M = \frac{P0-P1}{P0} \times 100$$

Avec: P0 : poids de l'échantillon avant séchage ;

P1 : poids de l'échantillon après séchage.

La moyenne de l'humidité :
$$M = \frac{\sum Hi\%}{3}$$

II. 7.1.3. Le coefficient de dilatation thermique

Il caractérise la capacité d'allongement des dimensions de la matière pour une augmentation de la température donnée.

Lorsque les températures de fusion des différents dosages sont inconnues, donc on fait le calcul de coefficient de dilatation thermique pour avoir une idée sur la température de fusion de dosages [3].

Les calculs s'effectuent de la façon suivante :

$$\alpha = \alpha_1 P_1 + \alpha_2 P_2 + \dots + \alpha_n P_n = \sum \alpha_i P_i [3]$$

Avec: α_i : représente un facteur propre de chaque oxyde ;

P_i : le pourcentage molaire des différents oxydes ;

α : représente le coefficient de dilatation thermique [3].

Les facteurs propres de chaque oxyde sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau II. 4: Les facteurs propres de la dilatation thermique de chaque oxyde [3].

Oxyde	Coefficient (α) $10^{-7}^{\circ}\text{C}^{-1}$
SiO ₂	0,38
Al ₂ O ₃	-0,30
Fe ₂ O ₃	0,55
TiO ₂	0,30
CaO	1,30
MgO	0,60
K ₂ O	4,65
Na ₂ O	3,95
ZnO	0,50
PbO	1,00
CuO	0,30
CdO	1,15
ZrO ₂	-0,60

II.7.1.4. La Tension superficielle

La tension superficielle de la pâte au cours de la fusion est la force qui tend à empêcher un liquide de s'étaler sur une surface plane sous l'effet de la gravité et la viscosité [3]. C'est pourquoi les liquides qui ont une tension élevée s'étalent difficilement sur cette surface, ils les moulent mal. Si la pâte fondue présente une tension élevée et par conséquent une importante viscosité, elle adhère mal au tesson et fond généralement pour former des ilots et des gouttes et non pas pour former une surface plane et homogène.

Ce défaut peut disparaître en augmentant la température de cuisson, la tension superficielle diminue quand la température augmente. Plus la tension superficielle de la pâte est faible, plus sa surface régulière et lisse.

La tension superficielle est calculée selon la formule suivante :

$$G = gP_1 + g_2P_2 + \dots + gP_n = \sum g_iP_i [3]$$

Avec: g_i : les facteurs propres des oxydes.

P_i : le pourcentage molaire.

Le tableau ci-dessous représente les facteurs propres de chaque oxyde.

Tableau II. 5 : les facteurs propres de la tension superficielle de chaque oxyde [3].

Oxyde	Al ₂ O ₃	CaO	Fe ₂ O ₃	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	SiO ₂	TiO ₂	ZnO	ZrO ₂
g(dyne/cm)	5,8	5,1	4,3	5,2	0,1	2,9	2,9	0,0	4,5	3,5

II. 7.1.5. Le coefficient de fusibilité

La fusibilité est l'aptitude d'une pâte céramique de passer à l'état liquide sous l'effet de la température. Elle peut donner des informations sur la température de fusion [3].

Le coefficient de fusibilité K est calculé selon la formule suivante :

$$K = \frac{a_1n_1 + a_2n_2 + \dots + a_n n_n}{b_1m_1 + b_2m_2 + \dots + b_n m_n}$$

Avec: a_i : coefficient de fusibilité des oxydes fusibles (CaO , Na₂O, Fe₂O₃ ,MgO).

b_i : coefficient de fusibilité des oxydes difficilement fusibles (SiO₂, Al₂O₃, ZrO₂,

n et m : teneurs pondérales des oxydes correspondants.

Le tableau ci-dessous représente les coefficients de fusibilité de chaque oxyde.

Tableau II. 6: Les coefficients de fusibilité de chaque oxyde [3].

Oxydes	Coefficient de fusibilité
SiO ₂	1
Al ₂ O ₃	1,2
Fe ₂ O ₃	0,8
CaO	0,8
MgO	0,6
K ₂ O	1
Na ₂ O	1
P ₂ O ₃	1,25
ZrO ₂	1,2
ZnO	1

II. 8. Les Analyses de caractérisation

Nous avons essayé de faire une analyse de caractérisation, qui est : la diffraction des rayons X(DRX), cette dernière représentée l'analyse minéralogique des matériaux cristallisés. Elle s'applique sur des poudres ou des échantillons massifs, et sert à la détermination de la nature des phases minérales et à leurs quantifications.

Conclusion

Les objectifs visés à l'origine de cette manipulation portaient sur la mise en œuvre d'un procédé chimique qui pourrait être appliqué dans l'industrie de céramique. Ce procédé consiste à l'élaboration et la caractérisation d'une pâte de réparation pour la céramique sanitaire. Le programme de recherche comportait trois étapes qu'on peut résumer comme suit:

La présentation de la pâte de réparation te La détermination des moyens et des méthodes par lesquels on peut caractériser notre pâte ; ensuite Le mode d'application pour la réparation des pièces sanitaires.

La réalisation de ce programme a conduit à divers résultats dont les principaux peuvent être résumés dans le chapitre III

Chapitre III
Partie expérimentale

Introduction :

On passe par le stade des analyses afin de connaître les caractéristiques physico-chimiques et minéralogiques de notre pâte de réparation.

Le but de ce chapitre est d'interpréter les résultats des analyses que nous avons obtenues sur les matières premières (Argile hycast, kaolin. Feldspath ...etc.) et la pâte de réparation avant et après cuisson afin de vérifier est ce que la pâte préparée permet de résoudre le problème des fissures dans les pièces de céramiques sanitaires.

Par comparaison les résultats des tests et des analyses réalisés sur les échantillons des huit formulations. On va mettre l'accent sur celle qui offre la meilleure pâte de réparation.

III. 1. L'analyse chimique des matières premières destinées à la fabrication de la pâte de réparation

Les analyses chimiques des matières premières sont effectuées par la fluorescence des rayons x au niveau de laboratoire de « Centre d'Etude et de Services Technologiques de l'Industrie des Matériaux de Construction» à Boumerdes-Algérie, selon la demande de SCS d'El Milia.

On a additionné l'argile brune au tableau des matières plastique qu'on a apporté de Constantine laboratoire industriel pour étudier et analyser les faits sur notre pâte de travail. Ces pourcentages sont mentionnés aux deux tableaux suivants qui représentent ces analyses :

III. 1.1. Matières premières plastiques

Tableau III. : L'analyse chimique des matières premières plastiques destinées à la préparation de la pâte de réparation

MP D.O(%poids)	Argile Hycast	Kaolin RMD	Kaolin niloakrap	Argile enurb
SiO₂	53	48	49	55,13
Al₂O₃	30	36,5	36	15,38
Fe₂O₃	1,2	1,01	1,1	7,39
TiO₂	1,0	0,05	2,3	/
CaO	0,2	0,07	0,06	6,43
MgO	0,3	0,0	0,29	0,83
K₂O	2,0	2,0	2,3	/
Na₂O	0,2	0,1	0,15	11,4
P₂O₃	/	/	/	/
P.A.F	12,2	12,0	11,62	10,44
C	2,2	/	/	/

III. 1.2. Matières premières non plastiques

Tableau III.2: L'analyse chimique des matières premières non plastiques destinée à la préparation de la pâte de réparation.

MP D.O(%poids)	Feldspath sodique	Feldspath potassique	Oxyde de zinc	quartz El Ourchen
SiO₂	69,0	69	/	96,50
Al₂O₃	18	16,5	/	1,03
Fe₂O₃	0,15	0,12	0,03	0,24
TiO₂	0,35	0,04	/	0,11
CaO	0,75	0,5	/	0,3
MgO	0,10	/	/	0,05
K₂O	0,25	10,2	/	0,59
Na₂O	10	2,0	/	0,06
P₂O₃	0,2	/	/	/
ZnO	/	/	99,6	/
P.A.F	0.32	≤ 0,5	10	0,9

III. 2.1. La quantité de matières utilisées

Comme notre travail basé sur une pâte argileuse constituée de matières plastiques et non plastiques ,on a choisi les matières suivantes :

Plastiques : argile hycast ,le kaolin (parkaolin) et kaolin RMD

Non plastiques : feldspath sodique, feldspath potassique, Quartz et l'Oxyde de Zinc, ces masse sont présenté sur ce tableau.

Tableau III.3 : matières de départ

MP	Argile hycast	Kaolin (parkaolin)	Kaolin RMD	Feldspath sodique	Feldspath potassique	Quartz	Oxyde de Zinc	TOTAL
Masse(g)	169.714	32 ,278	53 ,593	1451,297	65,774	188,390	69,022	2030.070

III. 2.2 . Détermination de la composition chimique de chaque dosage

Nous avons pensé à faire deux procédés :

Le premier :

Diminuer graduellement les matières premières plastique .De dosage N° 1 au dosage N° 4, jusqu'à ça disparition, on remplaçant à chaque fois par des mêmes masses de l'argile brune sans toucher à la masse globale de la pâte. À savoir que les matières non plastiques restent constantes.

Le deuxième :

On additionne graduellement des masses précise de l'argile brune aux matières non plastiques de dosage N° 5 au dosage N° 8.Sans oublire que les matières plastiques est éliminé totalement de la pâte dès le début de dosage N° 5.donc masse globale change et augment suivent additionnement successive de masse d'argile brune.

III. 2.3. Calcule de la composition chimique de chaque dosage

Avant tout, dès le début d'élaboration et caractérisation d'une pâte argileuse on procède à bien déterminer la composition chimique des matières premières à voir une grande connaissance aux quantités des masses mise on jeu.

III. 2.3.1. Le dosage N° 1

La recette du dosage N°1 : constituée des matières premières suivantes

Composition chimique d'argile hycast dans le mélange :

Pour l'argile hycast :

2030,07g (masse total) —————> 100%

169.714 g(d'argile hycast)—————> X

X = 8,36%

De la même manière on détermine le pourcentage massique de chaque matière première.

Dans le dosage 1

- Argile hycast: 8,36 %;
- Kaolin(parkaolin): 1,59 %;
- Kaolin RMD: 2,64 %;
- Feldspath sodique : 71,49 %;
- Feldspath potassique: 3,24 %;
- Quartz: 9,28 %;
- Oxyde de Zinc :3,4 %;
- **Calcul des teneurs des oxydes pour le dosage N° 1**

Pour l'argile hycast

Dans : 100 g (d'argile hycast) \longrightarrow 53 g de (SiO₂)
 8,36 g (d'argile hycast) \longrightarrow m(SiO₂)
 m (SiO₂) = 4,43 g

De la même manière, on calcule la teneur des autres oxydes dans chaque matière première et les résultats obtenus sont représentés dans les tableaux suivants :

Tableau III. 4. a : La teneur des oxydes dans l'Argile hycast.

D.O	SiO ₂	Al ₂ O ₃	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O
masse(g)	4,43	2,51	0,08	0,10	0,02	0,03	0,17	0,02

P.A.F	C	P ₂ O ₃	ZnO	TOT
1,02	0,19	/	/	8,56

Tableau III. 4. b : La teneur des oxydes dans le Kaolin (parkaolin).

D.O	SiO ₂	Al ₂ O ₃	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O
masse(g)	0,78	0,28	0,01	/	/	/	/	/

P.A.F	C	P ₂ O ₃	ZnO	TOT
/	/	/	/	1.07

Tableau III. 4. c : La teneur des oxydes dans le Kaolin RMD.

D.O	SiO ₂	Al ₂ O ₃	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O
masse(g)	1,27	0,96	/	0,02	/	0,01	0,05	/

P.A.F	C	P ₂ O ₃	ZnO	TOT
0,32	/	/	/	2.63

Tableau III. 4. d : La teneur des oxydes dans le Feldspath sodique.

D.O	SiO ₂	Al ₂ O ₃	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O
masse(g)	49,33	12,73	0,22	0,07	0,54	0,07	0,18	7,22

P.A.F	C	P ₂ O ₃	ZnO	TOT
0,23	/	0,14	/	70.73

Tableau III. 4. e : La teneur des oxydes dans le Feldspath potassique.

D.O	SiO ₂	Al ₂ O ₃	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O
masse(g)	2,24	0,54	/	/	0,02	/	0,35	0,08

P.A.F	C	P ₂ O ₃	ZnO	TOT
0,02	/	/	/	3.25

Tableau III. 4. f : La teneur des oxydes dans le quartz El ourchen.

D.O	SiO ₂	Al ₂ O ₃	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O
(masse(g))	8,96	0,10	0,01	0,02	0,03	/	0,05	/

P.A.F	C	P ₂ O ₃	ZnO	TOT
0,08	/	/	/	9.25

Tableau III. 4. g : La teneur des oxydes dans Oxyde de zinc.

D.O	SiO ₂	Al ₂ O ₃	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O
masse(g)	/	/	/	/	/	/	/	/

P.A.F	C	P ₂ O ₃	ZnO	TOT
/	/	/	3,40	3.40

La teneur totale : de la silice dans le dosage N° 1 sera la somme des teneurs de la silice dans chaque matière première.

$$m(\text{SiO}_2) = m\text{SiO}_2(\text{l'Argile hycast}) + m\text{SiO}_2(\text{Kaolin (parkaolin)}) + m\text{SiO}_2(\text{Kaolin RMD}) + m\text{SiO}_2(\text{Feldspath (sodique)})$$

$$+ m\text{SiO}_2(\text{Feldspath (potassique)}) + m\text{SiO}_2(\text{quartz El ourchen}) + m\text{SiO}_2(\text{Oxyde de zinc})$$

$$m(\text{SiO}_2) = (4,4308 + 0,7791 + 1,2672 + 49,3281 + 2,2356 + 8,9552 + 0,00)$$

$$m(\text{SiO}_2) = 67,00\text{g.}$$

De la même manière, on calcule la teneur totale de chaque oxyde

Tableau III. 5 : La composition chimique du dosage N° 1.

D.O	SiO ₂	Al ₂ O ₃	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O
(masse(g))	67,00	17,12	0,32	0,22	0,60	0,11	0,79	7,32

P.A.F	C	P ₂ O ₃	ZnO	TOT
1,67	0,18	0,14	3,40	100

III. 2.3.2. Le dosage N° 2

On va éliminer une masse de m=90 g des matières première suivantes :

Argile hycast, Kaolin (parkaolin), Kaolin RMD respectivement a 30 g par chacune, et on le remplace par une même masse d'Argile brune. Remarque : masse totale:2030,07 g

La recette de Le dosage N° 2 : constituée des matières premières suivantes (% massique)

- Argile hycast: 06,88 %;
- kaolin (parkaolin): 00,11 %;
- Kaolin RMD: 01,16 %;

- Feldspath sodique : 71,49 %;
- Feldspath potassique : 03,24;
- Quartz: 9.28 %;
- Oxyde de Zinc: 03,40 %;
- Argile brune : 04,43 %;

Tableau III. 6 : La composition chimique du dosage N° 2.

D.O	SiO ₂	Al ₂ O ₃	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O
masse(g)	67,23	16,36	0,31	0,51	0,89	0,13	0,72	7,32

P.A.F	C	P ₂ O ₃	ZnO	TOT
1,64	0,15	0,14	3,91	100

III. 2.3.3. Le dosage N° 3

On va éliminer une masse de m=120 g des matières première suivantes :

Argile hycast, Kaolin (parkaolin), Kaolin RMD respectivement à 40 g par chacun et, on le remplace par une même masse d'Argile brune .

La recette de Le dosage N° 3 : constituée des matières premières suivantes (% massique)

- Argile hycast: 02,25 %;
- Kaolin(parkaolin): 00 %;
- Kaolin RMD: 00 %;
- Feldspath sodique: 71,49 %;
- Feldspath potassique: 03,24 %;
- Quartz : 9.280 %;
- Oxyde de Zinc: 03,40 %;
- Argile brune: 10,34 %;

Tableau III. 7 : La composition chimique de dosage N° 3.

D.O	SiO ₂	Al ₂ O ₃	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O
masse(g)	67,41	15,63	0,26	0,89	1,28	0,17	0,62	7,31

P.A.F	C	P ₂ O ₃	ZnO	TOT
1,68	0,05	0,14	4,58	100

III. 2.3.4. Le dosage N° 4

On va éliminer la masse qui reste de la matière première suivante :

Argile hycast, et on le remplace par une même masse d'Argile brune

La recette de Le dosage N° 4 : constituée des matières premières suivantes (% massique)

- Argile hycast: 00 % ;
- Kaolin(parkaolin): 00 % ;
- Kaolin RMD: 00 % ;
- Feldspath sodique : 71,49 % ;
- Feldspath potassique : 03,24 % ;
- Quartz: 9.28% ;
- Oxyde de Zinc:03,40 % ;
- Argile brune :12.59 % ;

Tableau III. 8 : La composition chimique du dosage N° 4.

D.O	SiO ₂	Al ₂ O ₃	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O
masse(g)	67,46	15,30	0,23	1,03	1,43	0,18	0,58	7,30

P.A.F	C	P ₂ O ₃	ZnO	TOT
1,64	0,00	0,14	4,84	100

III. 2.3.5. Le dosage N° 5

On va additionner une masse de m=150 g d'argile brune, le total de masse des matières premières, va changé de 2020,07 g à 2180,07 g.

Remarque: (Argile hycast, Kaolin (parkaolin), Kaolin RMD) sont nul

La recette de Le dosage N° 5 : constituée des matières premières suivantes(% massique)

- Argile hycast: 00 %;
- kaolin (parkaolin): 00 %;
- Kaolin RMD: 00 %;
- Feldspath sodique: 66.57 %;
- Feldspath potassique: 03,02 %;
- Quartz: 08,64 %;
- Oxyde de Zinc:03,16 %;
- Argile brune : 18,60 %;

Tableau III. 9 : La composition chimique du dosage N° 5.

D.O	SiO ₂	Al ₂ O ₃	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O
masse(g)	66,61	15,31	0,22	1,47	1,79	0,23	0,54	6,80

P.A.F	C	P ₂ O ₃	ZnO	TOT
2,25	0,00	0,13	5,29	100

III. 2.3.6. Le dosage N° 6

On va additionner une masse de m= 150 g de argile brune. Le total de masse des matières premier va changer de 2180,07 g a 2330.07 g

La recette du dosage N° 6: constituée des matières premières suivantes (% massique)

- Argile hycast: 00 %;
- kaolin (parkaolin): 00 %;
- Kaolin RMD: 00 %;
- Feldspath sodique : 62,28 %;
- Feldspath potassique : 02,82 %;
- Quartz: 08,08 %;
- Oxyde de Zinc: 02,96 %;
- Argile brune : 23,84 %;

Tableau III. 10 : La composition chimique du dosage N° 6.

D.O	SiO ₂	Al ₂ O ₃	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O
masse(g)	65,88	15,31	0,20	1,85	2,11	0,26	0,50	6,36

P.A.F	C	P ₂ O ₃	ZnO	TOT
2,78	0,00	0,12	5,68	100

III. 2.3.7. Le dosage N° 7

On va additionner une masse de $m = 300$ g de l'argile brune. Le total de masse des matières première va changer de 2330,07 g à 2530,07 g

La recette de Le dosage N°7: constituée des matières premières suivantes (% massique)

- Argile hycast: 00 %;
- kaolin (parkaolin): 00 %;
- Kaolin RMD: 00 %;
- Feldspath sodique: 57,36 %;
- Feldspath potassique : 02,60 %;
- Quartz: 07,45 %;
- Oxyde de Zinc: 02,73 %;
- Argile brune : 29,86 %;

Tableau III. 11 : La composition chimique du dosage N° 7.

D.O	SiO ₂	Al ₂ O ₃	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O
masse(g)	65,02	15,32	0,19	2,29	2,4	0,31	0,46	5,86

P.A.F	C	P ₂ O ₃	ZnO	TOT
3,38	0,00	0,11	6,13	100

III. 2.3.8. Le dosage N° 8

On va additionner une masse de $m = 300$ g de argile brune .Le total de masse des matières première va changer de 2530,07 g à 2830,07 g.

La recette de Le dosage N° 8 : constituée des matières premières suivantes :

- Argile hycast: 00 %;
- kaolin (Parkaolin): 00 %;
- Kaolin RMD: 00 %;
- Feldspath sodique: 51,28 %;
- Feldspath potassique: 02,32 %;
- Quartz: 06,66 %;
- Oxyde de Zinc: 02,44 %;
- Argile brune : 37,30 %;

Tableau III. 12 : La composition chimique du dosage N° 8.

D.O	SiO ₂	Al ₂ O ₃	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O
masse(g)	63,97	15,32	0,17	2,83	2,93	0,36	0,41	5,24

P.A.F	C	P ₂ O ₃	ZnO	TOT
4,13	0,00	0,10	6,69	100

III. 3. Discussions des résultats

Par comparaison entre les compositions chimiques des huit (8) dosages, on remarque que :

La silice est l'élément chimique le plus réparti dans tous les dosages, mais ces quantités ont augmenté légèrement du dosage N° 1 au dosage N° 4 dont les valeurs respectives sont 67,00 % - 67,46 % et cela est lié à notre composition de l'argile brune en SiO₂ (55,13 %), par rapport à l'argile hycast en SiO₂ (53 %) de notre départ (voir les ingrédients de dosages premier).

Par contre ; de dosage N° 5 au dosage N° 8 une diminution dont la valeur de 66,61 % a 63,97 %, et cela lié à la diminution de quantité massique de quartz par rapport à la quantité de la masse globale de (2030,07 g, a ,2830.07 g).

Une diminution continue de l'alumine du dosage N° 1 au dosage N° 4 dont les valeurs respectives sont 17,12 % et 15,30 %. Cela revient de l'addition de la quantité de l'argile brune pauvre en Al₂O₃.

Tandis qu'à partir du dosage N° 5 jusqu'au dosage N° 8, une stabilisation de taux de l'alumine ; expliquant l'addition continue de l'argile en masse.

Une augmentation de l'élément ZnO, de dosage N° 1 au dosage N° 8 ; expliquant que la pâte brune est riche en Zno.

Le quartz : une stabilisation dans dosage N° 1 au dosage N° 4 , une diminution de dosage N° 5 au dosage N° 8 se traduit par rapport au masse globale de notre pâte argileuse.

la perte de feu diminue : cela explique que notre pate est riche en Na₂O.

III. 4. Calcul de l'humidité (H %)

III. 4.1. Calcul de l'humidité des différentes matières premières

On met une quantité de 200 g de chaque matière dans l'étuve à 110 °C pendant 30 min jusqu'à l'obtention d'une masse fixe. Le taux d'humidité est calculé par la formule suivante :

$$H(\%) = \frac{M_h - M_s}{M_h} \times 100 \quad [3].$$

Avec : **H(%)**: l'humidité

M_h : La masse de l'échantillon humide (200 g).

M_s : La masse de l'échantillon sèche.

Exemple d'application numérique pour l'Argile brune :

Après chaque 20min, on pèse la masse jusqu'à l'obtention d'une masse fixe

Tableau III. 13 : La variation de la masse de l'Argile brune en fonction du temps.

t (min)	0	30	120	240
m(g)	200	187.3	165.1	165.1

Avec :

t : Le temps de séchage (minute).

m : La masse de l'échantillon (g).

$$H(\%) = \frac{200 - 165.1}{200} \times 100$$

$$H (\%) = 17,45 \%$$

De la même manière on continue le calcul de l'humidité des autres matières premières.

Les résultats obtenus sont représentés dans le tableau ci-dessous :

Tableau III. 14 : L'humidité des matières premières de la pâte de réparation.

Matières Premières	H (%)
Argile hycast	9,65
Kaolin(parkaolin)	16,35
Kaolin RMD	4,40
Feldspath sodique	2,45
Feldspath potassique	2,60
quartz el ourchen	18,3
Oxyde de zinc	0
Argil brune	17,45

III. 4.2. Interprétation des résultats

Si on fait une comparaison entre humidité des matières premières on remarque que l'argile brune a le taux plus élevée ; donc ont une grande aptitude d'absorption d'eau, vu à sa structure microscopique à l'échelle atomique.

III. 5. Calcule des masses nécessaires en matières premières utilisées pour la préparation de la pâte de réparation

Pour avoir un dosage exact, nous avons calculé la masse de chaque matière première par la relation suivante :

$$P = \frac{mT \times (\%)MP}{100 - H(\%)} [3].$$

P : est la masse de chaque matière première :

MP : matières premières (%)

mT :mase total de matières premières

H : humidité

Exemple d'application numérique pour l'argile hycast :

$$P = \frac{2030,07 \times 8,36}{100 - 9,65}$$

$$P = 187,84 \text{ g}$$

De la même manière on calcule les masses des autres matières premières.

Les résultats obtenus sont représentés dans le tableau ci-dessous.

a) Le dosage N° 1

Tableau III. 15 : la masse des matières premières de la pâte de réparation du dosage N° 1.

Matières Premières	P(g)
Argile hycast	87,84
Kaolin (parkaolin)	38,59
Kaolin RMD	56,06
Feldspath sodique	1487,75
Feldspath potassique	67,53
quartz el ourchen	189,24
Oxyde de zinc	69,02
Argile brune	0,00

b) Le dosage N° 2**Tableau III. 16 :** Les masses des matières premières utilisées dans le dosage N° 2.

Matières Premières	P(g)
Argile hycast	15 4,59
Kaolin(parkaolin)	2,72
Kaolin RMD	24,68
Feldspath sodique	1487,75
Feldspath potassique	67,53
quartz el ourchen	189,24
Oxyde de zinc	69,02
Argile brune	108,2290

c) Le dosage N° 3**Tableau III. 17 :** Les masses des matières premières utilisées dans le dosage N°3.

Matières Premières	P(g)
Argile hycast	50,44
Kaolin (parkaolin)	0
Kaolin RMD	0
Feldspath sodique	1487,75
Feldspath potassique	67,53
Quartz el ourchen	189,24
Oxyde de zinc	69,02
Argil Brune	252,54

d) Le dosage N° 4**Tableau III. 18 :** Les masses des matières premières utilisées dans le dosage N°4.

Matières Premières	P(g)
Argile hycast	0
Kaolin(parkaolin)	0
Kaolin RMD	0
Feldspath sodique	1487,7468
Feldspath potassique	67,5300
quartz el ourchen	189,2426
Oxyde de zinc	69,0223
Argil Brune	307,3792

e) Le dosage N° 5**Tableau III. 19 :** Les masses des matières premières utilisées dans le dosage N° 5.

Matières Premières	P(g)
Argile hycast	0
Kaolin(parkaolin)	0
Kaolin RMD	0
Feldspath sodique	1487,75
Feldspath potassique	67,53
quartz el ourchen	189,23
Oxyde de zinc	69,00
Argil Brune	487,74

f) Le dosage N° 6**Tableau III. 20 :** Les masses des matières premières utilisées dans le dosage N° 6.

Matières Premières	P(g)
Argile hycast	0
Kaolin(parkaolin)	0
Kaolin RMD	0
Feldspath sodique	1487,73
Feldspath potassique	67,51
quartz el ourchen	189,24
Oxyde de zinc	67,51
Argil Brune	668,14

g) Le dosage N°7**Tableau III. 21 :** Les masses des matières premières utilisées dans le dosage N°7.

Matières Premières	P(g)
Argile hycast	0
Kaolin(parkaolin)	0
Kaolin RMD	0
Feldspath sodique	1487,72
Feldspath potassique	67,51
quartz el ourchen	189,24
Oxyde de zinc	69,00
Argil Brune	908,66

h) Le dosage N° 8**Tableau III. 22 :** Les masses des matières premières utilisées dans le dosage N° 8.

Matières Premières	P(g)
Argile hycast	0
Kaolin(parkaolin)	0
Kaolin RMD	0
Feldspath sodique	1487,74
Feldspath potassique	67,53
quartz el ourchen	189,22
Oxyde de zinc	69,00
Argil brune	1269,46

III. 6. Détermination de refus et densité

Ces mesures ont été effectuées au niveau de laboratoire de la céramique sanitaire d'El-Milia.

Les résultats son présente dans le tableau qui suit :

Tableau III. 23 : le refus de chaque dosage

D.O	1	2	3	4	5	6	7	8
refus	0,4	0,5	0,6	0,6	0,5	0,6	0,6	0,5

Tableau III. 24 : densité se chaque dosage

D.O	1	2	3	4	5	6	7	8
Densité	1,875	1,865	1,855	1,735	1,865	1,770	1,670	1,506

III. 7. Le test de plasticité

Les résultats obtenus sont résumés dans les tableaux suivants :

NB : H_0 , H_1 sont respectivement la hauteur initial et finale ;

P_0 , P_1 sont respectivement le poids avant et après le séchage (dans l'étuve à 110 °C pendant 24 heures).

a) Le dosage N° 1 :

Tableau III. 25 : les mesures de test de plasticité du dosage N° 1.

Hauteur(H) et masses (P) L'état de la matière	H₀ (mm)	H₁ (mm)	P₀(g)	P₁ (g)
Humide	40	8,5	92,26	59,49
	39	13	74,29	61,25
	39,5	8,5	71,49	58,86
Semi humide	29,5	16,5	71,87	59,26
	26	18	68,95	56,82
	33	19	71,98	59,25
Sèche	39,50	31	70,74	58,31
	37	30,50	69,48	59,26
	34,50	27,50	65,64	54,90

b) Le dosage N° 2

Tableau III. 26 : les mesures de test de plasticité du dosage N° 2.

Hauteur(H) et masses (P) L'état de la matière	H₀ (mm)	H₁ (mm)	P₀(g)	P₁ (g)
Humide	39	8	65,95	52,92
	39	9	68,36	54,87
	38	8	66,42	53,36
Semi humide	36,5	11	60,95	49,91
	40	13	66,78	56,62
	40	16,5	63,37	54,72
Sèche	37	28,5	65,89	55,18
	37	26	68,43	57,09
	38	27,5	66,29	55,47

c) Le dosage N° 3

Tableau III. 27 : Les mesures de test de plasticité du dosage N° 3.

Hauteur(H) et masses (P) L'état de la matière	H0 (mm)	H1 (mm)	P0(g)	P1 (g)
Humide	38	9	69,73	56,68
	38	10,5	68,62	55,94
	36	11	69,82	56,97
Semi humide	36,5	13	69,87	57,44
	39	14	70,76	58,13
	38	14,5	69,68	57,17
Sèche	40	26	68,89	57,32
	40	25,5	68,83	57,24
	39	29	61,51	51,23

d) Le dosage N° 4

Tableau III. 28 : Les mesures de test de plasticité du dosage N° 4.

Hauteur(H) et masses (P) L'état de la matière	H₀ (mm)	H₁ (mm)	P₀(g)	P₁ (g)
Humide	37	7,5	64,83	52,05
	37	6	63,49	50,92
	38	7,5	67,38	54,12
Semi humide	40	10	66,59	53,89
	38,5	10,5	68,56	55,06
	38	8,5	61,50	49,66
Sèche	40	22	61,42	50,67
	40	25	70,64	58,18
	40	26	71,13	58,55

e) Le dosage N° 5

Tableau III.29 : Les mesures de test de plasticité du dosage N° 5.

Hauteur(H) et masses (P) L'état de la matière	H₀ (mm)	H₁ (mm)	P₀(g)	P₁ (g)
Humide	38	8,5	66,54	52,04
	39	9	63,08	49,39
	40	10	67,57	53,12
Semi humide	38,5	9	65,44	51,12
	40	12	66,81	52,50
	40	11	66,99	52,71
Sèche	39	24	68,53	56,83
	40	24,5	68,66	56,99
	39	24	68,97	55,51

f) Le dosage N° 6

Tableau III. 30 : Les mesures de test de plasticité du dosage N° 6.

Hauteur(H) et masses (P) L'état de la matière	H₀ (mm)	H₁ (mm)	P₀(g)	P₁ (g)
Humide	38	12,5	69,96	54,62
	42	9	65,88	50,53
	39	10	70,41	54,12
Semi humide	38,5	11,5	70,55	55,02
	37	14	62,12	48,19
	39	16	69	53,65
Sèche	38,5	18	70,21	55,15
	38,5	21	69,46	54,74
	39	22,5	72,20	57,07

g) Le dosage N° 7

Tableau III. 31 : Les mesures de test de plasticité du dosage N° 7.

Hauteur(H) et masses (P) L'état de la matière	H₀ (mm)	H₁ (mm)	P₀(g)	P₁ (g)
Humide	40	6	66,20	49,70
	40	5	65,07	47,94
	39	5,5	64,41	48,36
Semi humide	40	14	71,32	55,28
	40	13	66,65	51,66
	39	12	67,5	52,03
Sèche	40	20	64,53	50,75
	40	22,5	66,05	52,07
	40	21,5	70,51	55,57

h) Le dosage N° 8

Tableau III. 32 : Les mesures de test de plasticité du dosage N° 8.

Hauteur(H) et masses (P) L'état de la matière	H₀ (mm)	H₁ (mm)	P₀(g)	P₁ (g)
Humide	40	5,5	66,00	48,46
	39	6	66,50	48,47
	39	5	64,88	49,14
Semi humide	40	14	71,05	52,00
	40	14	66,02	52,21
	40	14	68,80	53,00
Sèche	40	22	65,50	51,00
	40	19	66,51	52,85
	39	20	70,61	55,06

La réalisation des courbes de plasticité repose sur la détermination du rapport H_0/H_1 , le traçage de la courbe est donné par l'intersection des valeurs de $M(H_0/H_1)$ et du pourcentage de $M(H_2O)$.

Exemple d'application numérique pour le dosage N°1 à l'état humide :

$$M(H_0/H_1) = ((40/85) + (39/13) + (39,5/8,5) / 3) \\ = 4,12 \%$$

$$M((P_0-P_1)/P_0)*100 = ((92,26-59,49)/92,26)100 + ((74,29-61,25)/74,29)100 + \\ ((71,49-458,86)/71,49)100) / 3 \\ = (35,52 + 17,55 + 17,67) / 3$$

$$M((P_0-P_1)/P_0)*100 = M(\%H_2O) = 23,58 \%$$

Le tableau suivant représente la moyenne des résultats de la plasticité de chaque dosage :

Tableau III. 33 : Les résultats de plasticité du huit (8) dosages.

Hauteur(H) et masses (P)	M (H_0/H_1)			M (% H_2O)		
	Sèche	Semi humide	Humide	Sèche	Semi humide	Humide
Dosage N° 1	1,25	1,66	4,12	16,21	17,61	23,58
Dosage N° 2	1,37	2,94	4,67	16,38	15,66	19,72
Dosage N° 3	1,48	2,74	3,70	16,78	17,84	18,53
Dosage N° 4	1,65	4,05	5,39	17,61	19,34	19,73
Dosage N° 5	1,63	3,75	4,27	17,86	21,54	21,63
Dosage N° 6	1,90	2,64	3,87	21,20	22,23	22,79
Dosage N° 7	1,88	3,06	7,25	21,24	22,63	25,39
Dosage N° 8	1,96	2,82	7,19	21,31	23,97	25,41

A partir du tableau ci-dessus on trace les graphes suivants :

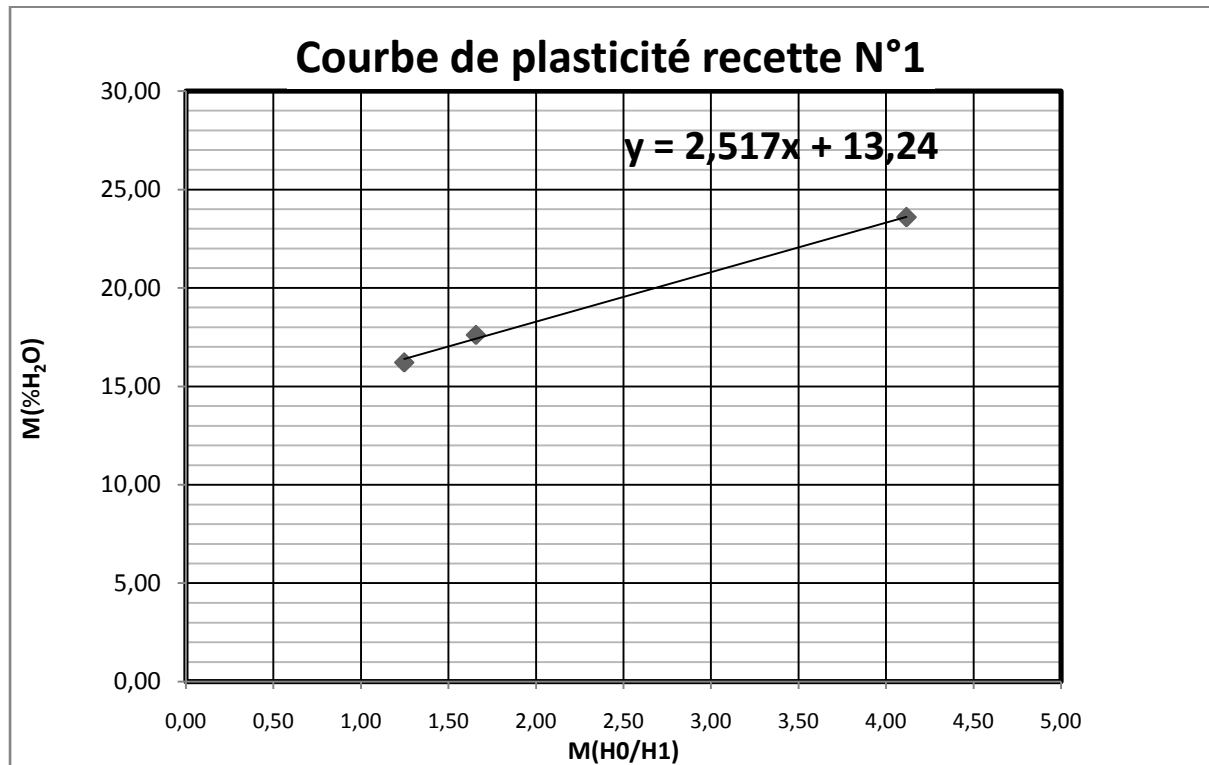


Figure III.1 : La courbe de plasticité du dosage N° 1.

D'après La courbe on calcule le domaine de plasticité on suivant ces étapes (les mêmes étapes pour les dosages qui suit).

Résoudre l'équation affine :

$$Y = \alpha X + \beta \dots\dots\dots(1)$$

x_1, x_0 : Nbr de **M(H0/H1)**

y_1, y_0 : Nbr de **M(%H₂O)**

$$\alpha = \frac{y_1 - y_0}{x_1 - x_0} \dots\dots\dots(2)$$

$$\beta = y_0 - (x_0 \cdot \alpha) \dots\dots\dots(3)$$

$X = 3,25$: coefficient de correction.....(4)

Fin : (2) et (3) et(4) remplace dans (1).

Pour dosage 1

$$\alpha = \frac{23,58 - 16,21}{4,12 - 1,25} \dots\dots \alpha = 2,567$$

$$\beta = 16,21 - (1,25 \times 2,567) \dots \beta = 13,00$$

$$Y = 2,567X + 13,00$$

$$H \% = 21,34 \%$$

Donc: **H %** = 21,34 % appartient au domaine de «basse plasticité». (<22).(Voir **Tableau II.3**)

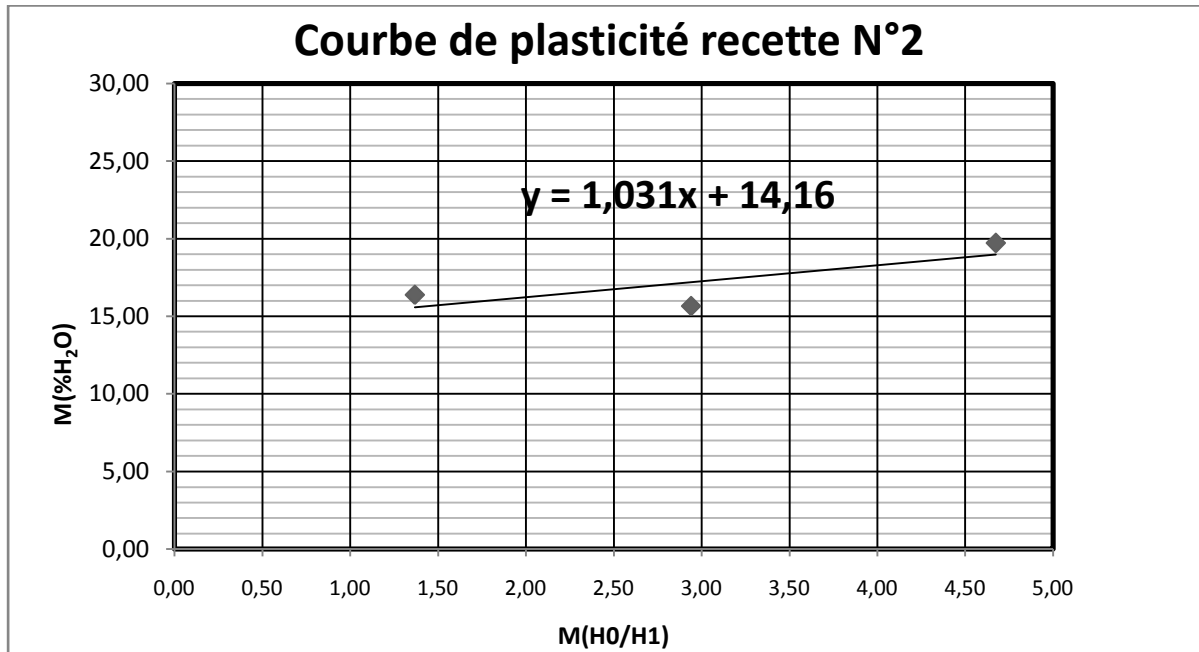


Figure III.2 : La courbe de plasticité du dosage N° 2.

Pour dosage 2

D'après cette courbe on calcule le domaine de plasticité,

on a :

$$Y = 1,012x + 14,99 \dots\dots\dots (1).$$

$$x = 3,25 \text{ (coefficient de correction)} \dots\dots\dots (2).$$

D'après (1) et (2), nous avons **H** % = 18.28 %.

Donc :

H % = 18.28 % appartient au domaine de «basse plasticité » (<22),(Voir **Tableau II.3**)

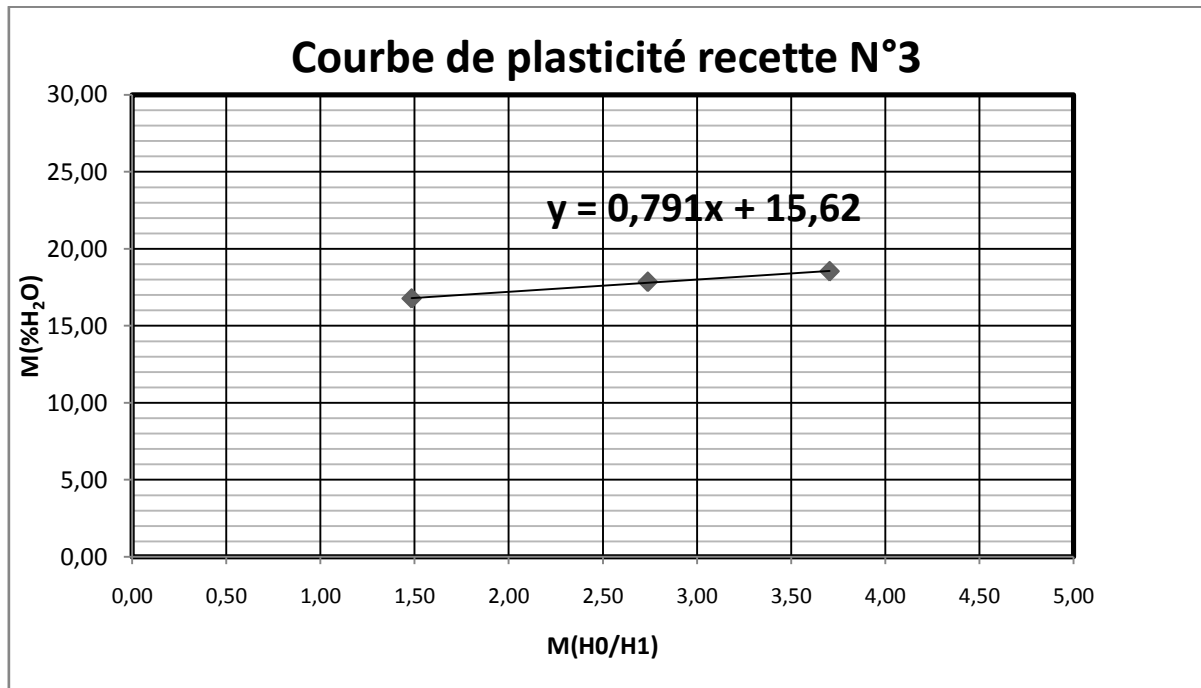


Figure III. 3 : La courbe de plasticité du dosage N° 3.

Pour dosage 3

D'après cette courbe on calcule le domaine de plasticité :

On a :

$$Y = 0,791x + 15,62 \dots\dots\dots (1).$$

$$x = 3,25 \text{ (coefficient de correction)} \dots\dots\dots (2).$$

D'après (1) et (2), nous avons **H** % = 18,20 %.

Donc :

H % = 19,20 % appartient au domaine de «basse plasticité » (<22),(Voir **Tableau II.3**)

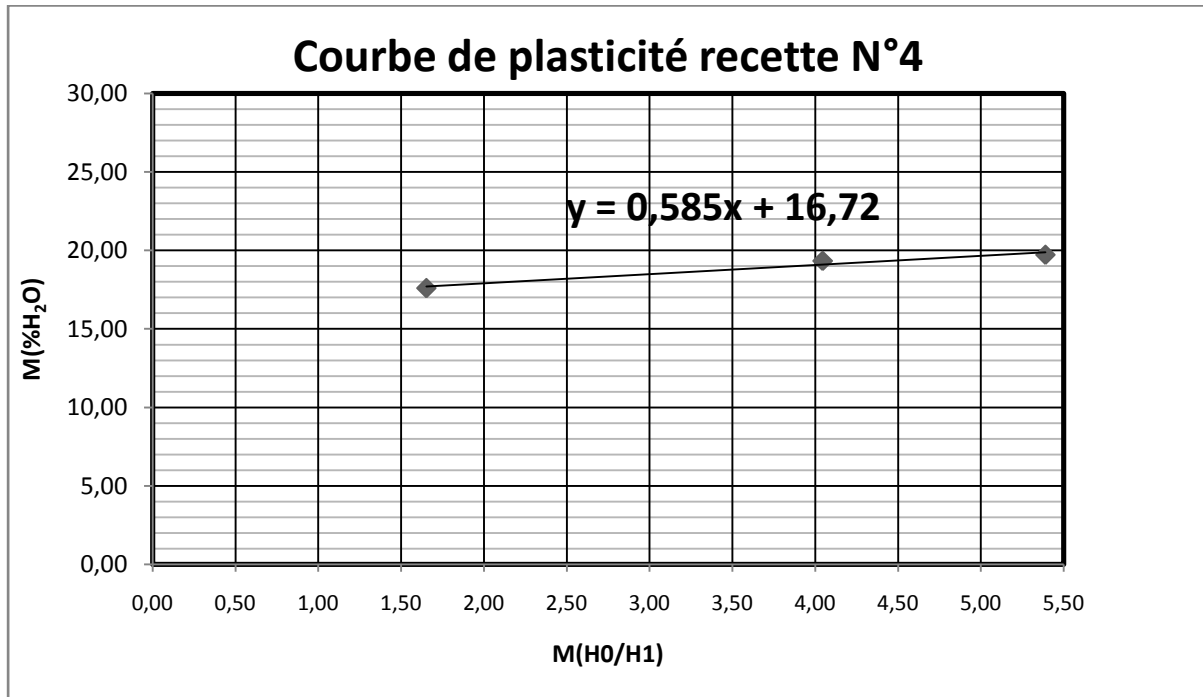


Figure III.4 : La courbe de plasticité du dosage N° 4.

Pour dosage 4

D'après cette courbe on calcule le domaine de plasticité :

On a :

$$Y = 0,585x + 16,72 \dots\dots\dots (1).$$

$$x = 3,25 \text{ (coefficient de correction)} \dots\dots\dots (2).$$

D'après (1) et (2), nous avons **H** % = 20,56 %.

Donc :

H % = 20,56 % appartient au domaine de « basse plasticité » (<22), (Voir **Tableau II.3**)

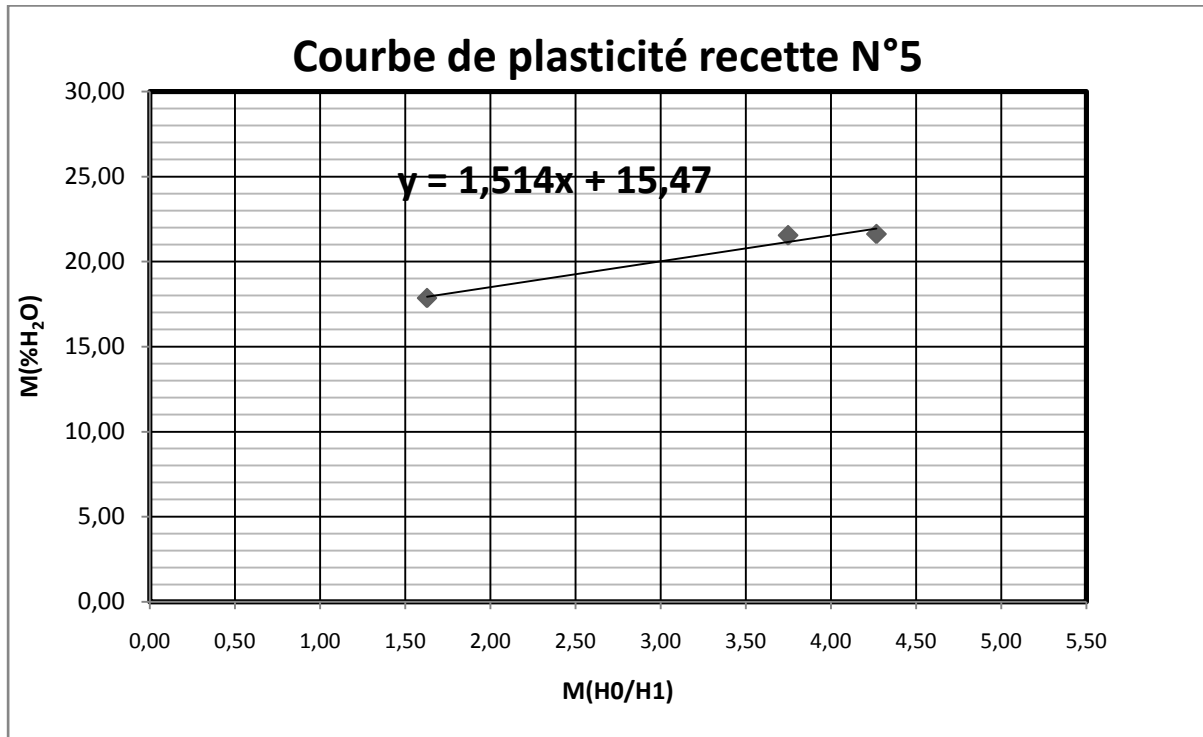


Figure III.5: La courbe de plasticité du dosage N° 5.

Pour dosage 5

D'après cette courbe on calcule le domaine de plasticité :

On a :

$$Y = 1,514x + 15,47 \dots \dots \dots (1).$$

$$x = 3,25 \text{ (coefficient de correction)} \dots \dots \dots (2).$$

D'après (1) et (2), nous avons **H** % = 20,24 %.

Donc :

H % = 20,24 % appartient au domaine de « basse plasticité » (<22),(Voir **Tableau II.3**)

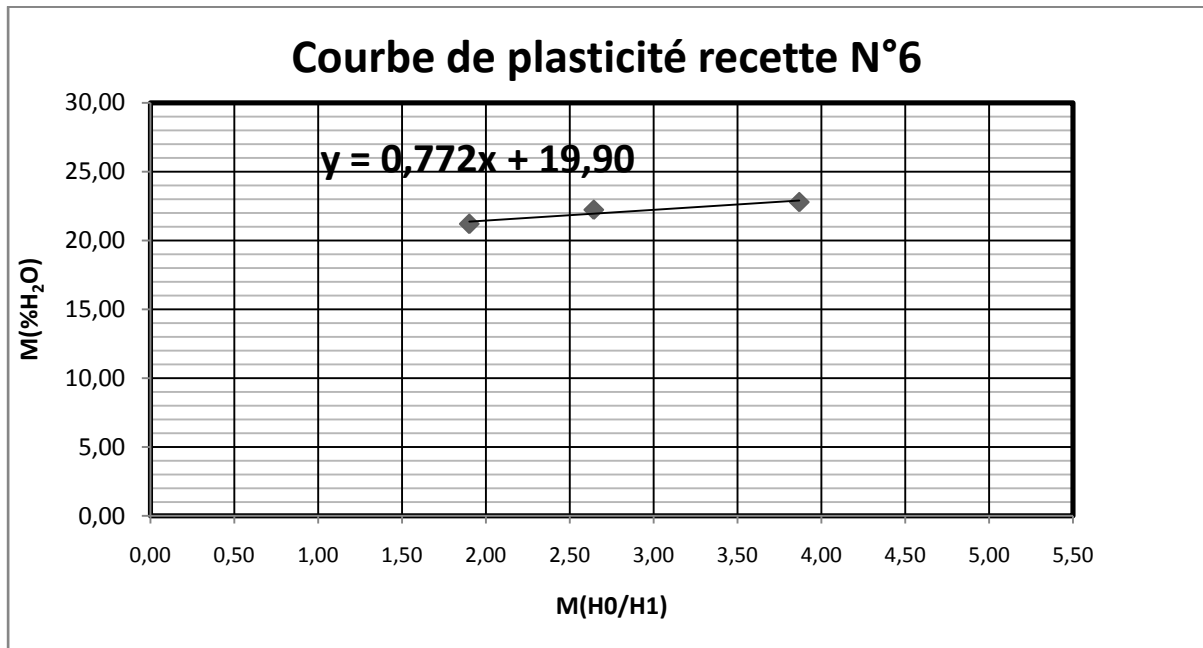


Figure III.6 : La courbe de plasticité du dosage N° 6.

Pour dosage 6

D'après cette courbe on calcule le domaine de plasticité :

On a :

$$Y = 0,772x + 19,90 \dots\dots\dots (1).$$

$$x = 3,25 \text{ (coefficient de correction)} \dots\dots\dots (2).$$

D'après (1) et (2), nous avons **H** % = 22,42 %.

Donc :

H % = 22,42 % appartient au domaine de «Basse-moyenne plasticité » (22-26)

(Voir **Tableau II.3**)

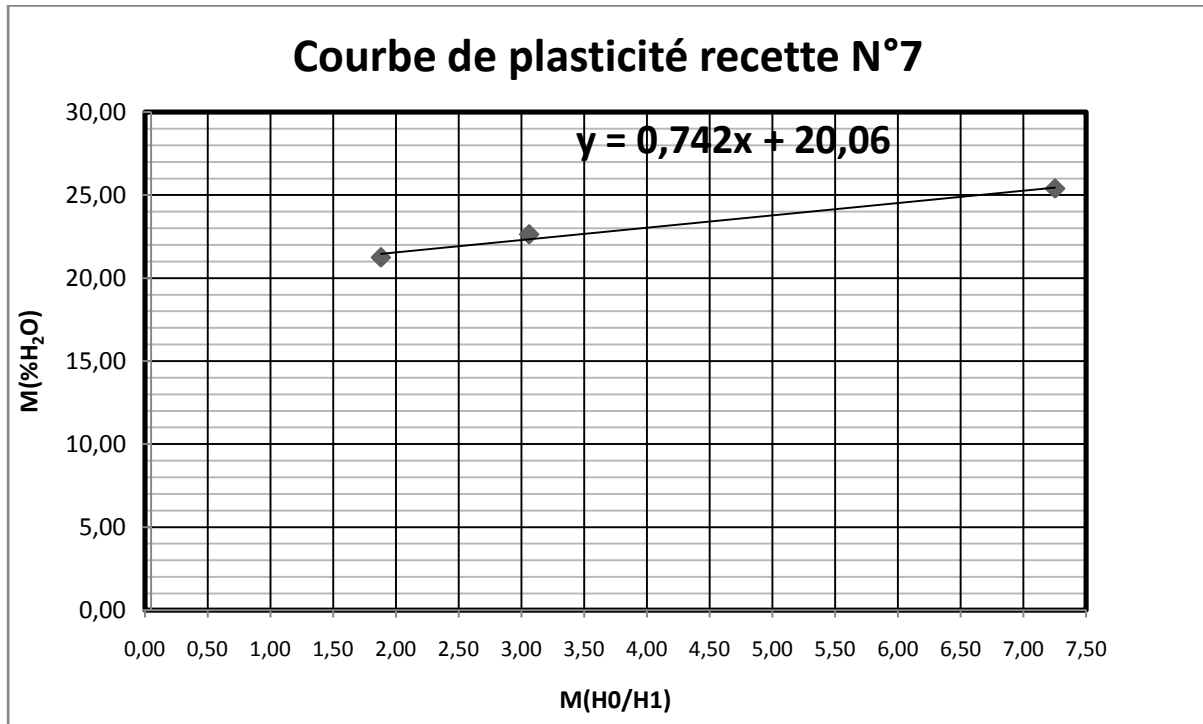


Figure III.7 : La courbe de plasticité du dosage N° 7.

Pour dosage 7

D'après cette courbe on calcule le domaine de plasticité :

On a :

$$Y = 0,742x + 20,06 \dots\dots\dots (1).$$

$$x = 3,25 \text{ (coefficient de correction)} \dots\dots\dots (2).$$

D'après (1) et (2), nous avons **H** % = 22,4814 %.

Donc : **H** % = 22,48 % appartient au domaine de « Basse-moyenne plasticité » (22-26)

(Voir **Tableau II.3**)

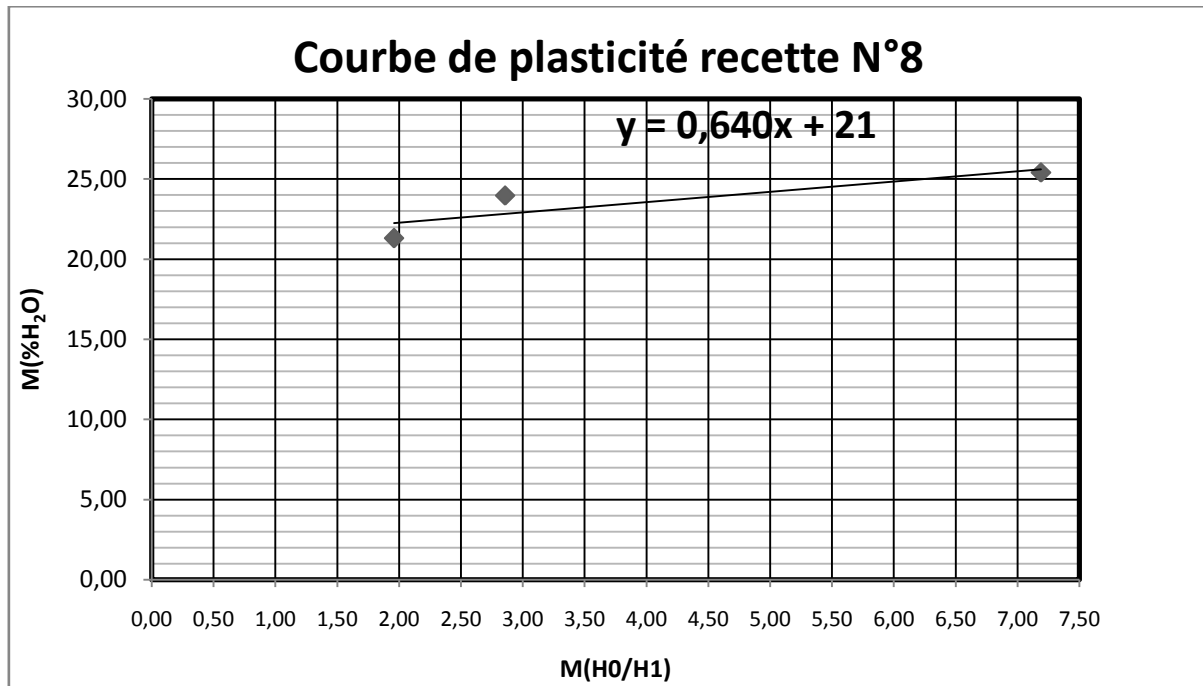


Figure III.8 : La courbe de plasticité du dosage N° 8.

Pour dosage 8

D'après cette courbe on calcule le domaine de plasticité :

On a :

$$Y = 0,640x + 21,00 \dots \dots \dots (1).$$

$$x = 3,25 \text{ (coefficient de correction)} \dots \dots \dots (2).$$

D'après (1) et (2), nous avons **H** % = 23,08 %.

Donc :

H % = 23,08% appartient au domaine de « Basse-moyenne plasticité » (22-26).

(Voir **Tableau II.3**)

III.7.1. Discussions des résultats

A partir de ces résultats obtenus on remarque que, malgré l'augmentation continue de la plasticité mais on reste toujours dans le domaine de basse plasticité donc on peut dire que notre pate de travail convient pour la réparation et non pas pour élaboration des pièces de forme compliquée

III. 8. Calcul du coefficient de dilatation thermique

Les calculs s'effectuent de la façon suivante:

$$\alpha = \alpha_1 P_1 + \alpha_2 P_2 + \dots + \alpha_n P_n = \sum \alpha_i P_i [3].$$

α_i : représente un facteur propre pour chaque oxyde.

P_i : le pourcentage molaire des différents oxydes.

α : représente le coefficient de dilatation thermique.

a) Le dosage N° 1

On calcule le nombre de mole de chaque oxyde par l'équation :

$$n = \frac{m}{M}$$

Avec : n : le nombre de mole.

m : la masse de l'oxyde dans chaque dosage.

M : la masse molaire de l'oxyde.

Exemple d'application numérique pour la silice (SiO_2)

$$\text{SiO}_2 = \frac{67.00}{60} = 1.1156 \text{ mol}$$

De la même manière, on calcule le nombre de mole pour chaque oxyde et les résultats obtenus sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau III. 34 : Le nombre de mole de chaque oxydes.

L'oxyde	Le nombre de mole (mol)
SiO₂	1.1156
Al₂O₃	0,1679
TiO₂	0,0040
Fe₂O₃	0,0014
CaO	0,0107
MgO	0,0027
K₂O	0,0084
Na₂O	0,1182
C	0.0150
P₂O₃	0,0013
ZnO	0,0418
Total	1,4900

Le nombre de mole totale est : 1, 49 mol.

Le calcul du pourcentage molaire (pm) du dosage N°1 :

Exemple d'application numérique pour la silice (SiO₂) :

On a: 1, 49 mol \longrightarrow 100 %.

1.1156 mol \longrightarrow pm(SiO₂).

Donc:

pm(SiO₂) = 74,87 %.

De la même manière, on calcule le pourcentage molaire pour chaque oxyde et les résultats obtenus sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau III .35 : Le pourcentage molaire de chaque oxyde.

L'oxyde	Le pourcentage molaire (%)
SiO ₂	74,87
Al ₂ O ₃	11,27
TiO ₂	0,27
Fe ₂ O ₃	0,10
CaO	0,72
MgO	0,19
K ₂ O	0,57
Na ₂ O	7,94
C	1,01
P ₂ O ₃	0,09
ZnO	2,81
Total	100

Le coefficient de dilatation thermique du **dosage N°1** sera :

$$\alpha = \alpha(\text{SiO}_2) \times P(\text{SiO}_2) + \alpha(\text{Al}_2\text{O}_3) \times P(\text{Al}_2\text{O}_3) + \alpha(\text{Fe}_2\text{O}_3) \times P(\text{Fe}_2\text{O}_3) + \alpha(\text{TiO}_2) \times P(\text{TiO}_2) + \alpha(\text{CaO}) \times P(\text{CaO}) + \alpha(\text{MgO}) \times P(\text{MgO}) + \alpha(\text{K}_2\text{O}) \times P(\text{K}_2\text{O}) + \alpha(\text{Na}_2\text{O}) \times P(\text{Na}_2\text{O}) + \alpha(\text{ZnO}) \times P(\text{ZnO}).$$

$$\alpha = (0,38 \times 74,8700) + ((-0,30) \times 11,2684) + (0,55 \times 0,0939) + (0,30 \times 0,2684) + (1,30 \times 0,7181) + (0,60 \times 0,1812) + (4,65 \times 0,5637) + (3,95 \times 7,9328) + (0,5 \times 2,8053).$$

$$\alpha = 55,78.10^{-7} \text{°C}^{-1}.$$

De la même manière on fait les calculs pour les autres dosages, les résultats obtenus sont représentés dans le tableau ci-dessous

Tableau III .36 : Le coefficient de dilatation thermique des huit (8) dosages.

Dosage N°	1	2	3	4
$\alpha (10^{-7}(\text{°C}^{-1}))$	55,78	56,31	57,02	57,27

Dosage N°	5	6	7	8
$\alpha (10^{-7}(\text{°C}^{-1}))$	56,36	55,44	54,45	53,20

III.8.1 Discussions des résultats :

A partir des calculs obtenus :

Dans le dosage N° 1 au dosage N° 4, nous avons remplacé le kaolin riche en alumine par l'argile qui est pauvre en alumine, augmentation du coefficient de dilatation est dû à la diminution de taux de l'alumine.

Dans le dosage N° 5 au dosage N° 8, la diminution de coefficient de dilatation est due à l'augmentation de taux de (CaO, Fe₂O₃,) ces deux oxydes possèdent des bas coefficients de dilatation thermiques propres.

III.9. Calcul de la tension superficielle :

Le calcul de la tension superficielle de la pâte est effectué selon l'équation suivante

$$G = g_1P_1 + g_2P_2 + g_3P_3 + \dots + g_nP_n = \sum g_iP_i. [3].$$

P_i : le pourcentage molaire (nous avons déjà calculé précédent).

g_i : les facteurs propres des oxydes.

La tension superficielle (G) du dosage N°1 sera :

$$G = g(\text{SiO}_2) \times P(\text{SiO}_2) + g(\text{Al}_2\text{O}_3) \times P(\text{Al}_2\text{O}_3) + g(\text{Fe}_2\text{O}_3) \times P(\text{Fe}_2\text{O}_3) + g(\text{TiO}_2) \times P(\text{TiO}_2) + g(\text{CaO}) \times P(\text{CaO}) + g(\text{MgO}) \times P(\text{MgO}) + g(\text{K}_2\text{O}) \times P(\text{K}_2\text{O}) + g(\text{Na}_2\text{O}) \times P(\text{Na}_2\text{O}) + g(\text{P}_2\text{O}_3) \times P(\text{P}_2\text{O}_3) + g(\text{ZnO}) \times P(\text{ZnO}).$$

$$G = (2,9 \times 74,8700) + (5,8 \times 11,2684) + (4,3 \times 0,0939) + (0 \times 0,2684) + (5,1 \times 0,7181) + (5,2 \times 0,1812) + (0,1 \times 0,5637) + (2,9 \times 7,9328) + (0 \times 0,0872) + (4,5 \times 2,8053).$$

$$G = 323,17322 \text{ dyne/cm.}$$

De la même manière on calcule la tension superficielle pour les autres dosages, les résultats obtenus sont représentés dans le tableau suivant.

Tableau III .37 : La tension superficielle de chaque dosage.

Dosage N°	1	2	3	4
G (dyne/cm)	323,1732	323,3867	324.2537	324,5236

Dosage N°	5	6	7	8
G (dyne/cm)	326,8015	328,8107	331,1257	334,0252

III .9.1. Discussions des résultats

De dosage N°1 au dosage N°4 ; on remarque une léger augmentation de tension superficielle, du a l'augmentation des éléments: CaO et Fe₂O₃ ; qui en un facteur propre élevé (5,1 et 4.3).

De dosage N°5 au dosage N°8 ; on remarque une augmentation élevé de tension superficielle, du au taux élevé du l'élément Al₂O₃, qui a le facteur propre le plus élevé(5,8).

III .10. Calcul du coefficient de fusibilité (K) :

Pour déterminer le coefficient de fusibilité (K) on applique la formule suivante :

$$K = \frac{a_1n_1+a_2n_2+\dots+a_in_i}{b_1m_1+b_2m_2+\dots+b_im_i} \cdot [3].$$

ai: coefficient de fusibilité des oxydes fusible (CaO, Na₂O, Fe₂O₃, MgO)

bi: coefficient de fusibilité des oxydes difficilement fusible (SiO₂, Al₂O₃, ZnO,P₂O₃).

n, m : teneur pondérale des oxydes correspondants.

Le coefficient de fusibilité du dosage N°1 sera :

$$K = \frac{(0,6 \times 0,8) + (7,32 \times 1) + (0,22 \times 0,8) + (0,11 \times 0,6)}{(67 \times 1) + (17,12 \times 1,2) + (3,40 \times 1) + (0,14 \times 1,25)}$$

K = 0,10.

De la même manière on calcule le coefficient de fusibilité (K) pour les autres dosages

Tableau III .38 : La fusibilité des chaque dosages.

Dosages N°	1	2	3	4
(K)	0,10	0.11	0.11	0.12

Dosages N°	5	6	7	8
(K)	0,12	0.12	0.12	0.13

III .10.1. Discussions des résultats

On remarque que le coefficient de fusibilité augmente du dosage N° 1 au dosage N° 8, cela confirme la diminution de la température de fusion à cause de l'augmentation du taux des oxydes facilement fusibles (CaO, Na₂O, Fe₂O₃, MgO).

À partir des résultats obtenus et le tableau ci-dessus on peut estimer la température de fusion de chaque dosage.

A partir du tableau suivant on peut estimer la température de fusion

III .11. Estimation de la température de fusion

Tableau III .39: La relation entre la fusibilité (K)et la température de fusion (T°C) (référence de comparaison).

La fusibilité (K)	La température de fusion T°C	K		T°C		K		T°C	
		K	T°C	K	T°C	K	T°C	K	T°C
2	750	1,5	756	1	778	0,5	1025		
1,90	751	1,4	758	0,9	800	0,4	1100		
1,80	753	1,3	759	0,8	829	0,3	1200		
1,70	754	1,2	765	0,7	861	0,2	1300		
1,6	755	1,1	771	0,6	905	0,1	1400		

Alors la température de fusion de chaque dosage est : Dosage N° 1 = 1400°C.

Dosage N° 2 et N° 3 ≈ 1390 °C.

Dosage N° 4 et N° 5 et N° 6 et N° 7 ≈ 1380 °C.

Dosage N° 8 = 1370 °C.

III .12. Le test de fusibilité

Les figures ci-dessous représentant les échantillons avant cuisson. Ils sont tout de même dimension et hauteur 40 mm et diamètre 45 mm. et après cuisson.



Figure III .9 : les échantillons avant cuisson



Figure III .10 : Les échantillons après cuisson

Remarque :

Après cuisson ;

- On observe au dosage N°1 une couleur blanche ; à cause de l'effet du kaolin sur la pâte.
- Dans le reste des Dosages ; on observe une faible apparition de couleur brun, de plus en plus, elle se termine fort au dosage N° 8, cela est dû au taux d'additionnement de l'argile brune qui est riche en Fe_2O_3 . on observe aussi des piques à la surface de la pâte. avec un petit gonflement suite à l'augmentation de CaO .
- Une anomalie sur la surface de la pâte a cause de diminution de SiO_2 .

III .12.1. Mesure des dimensions des connes de fusibilité

Ces dimensions sont mesurées à l'aide d'un pied à coulisse. Pour mesurer les diamètres irréguliers après cuisson, nous avons effectué plusieurs mesures fin d'avoir une valeur moyenne de diamètre.

Dans le tableau, ci-dessous, on donne les dimensions des cônes de fusibilité avant et après la cuisson.

Tableau III .40 : Les dimensions des cônes de fusibilité de chaque dosage.

N° de dosage Dosage Dimension (mm)	N° 1	N° 2	N° 3	N° 4
Hauteur avant la cuisson	40,00	40,00	40,00	40,00
Hauteur après la cuisson	18,09	13,04	10,55	9,91
Diamètre avant la cuisson	44,00	44,00	40,00	44,00
Diamètre après la cuisson	40,03	40,37	48,95	48,98

N° de dosage Dosage Dimension (mm)	N° 5	N° 6	N° 7	N° 8
Hauteur avant la cuisson	40,00	40,00	40,00	40,00
Hauteur après la cuisson	11,70	9,86	10,82	10,72
Diamètre avant la cuisson	44,00	44,00	44,00	44,00
Diamètre après la cuisson	46,61	48,38	44,73	44,45

Remarque :

Après la cuisson :

la diminution des hauteurs des cônes de fusibilité se traduit par la bonne fusion, l'augmentation du taux des fondants confirme la diminution de la température de fusion. A savoir que le pourcentage de la somme des oxydes fusible de premier dosage est 0,93 % et Pour le dernier dosage est 6,12 %.

Après élaboration des échantillons ; des essais de réparation ont été exécutés sur des pièces fissurées fournées par l'usine. Les images des pièces avant et après réparation sont Représentées sur les figures qui suivent.

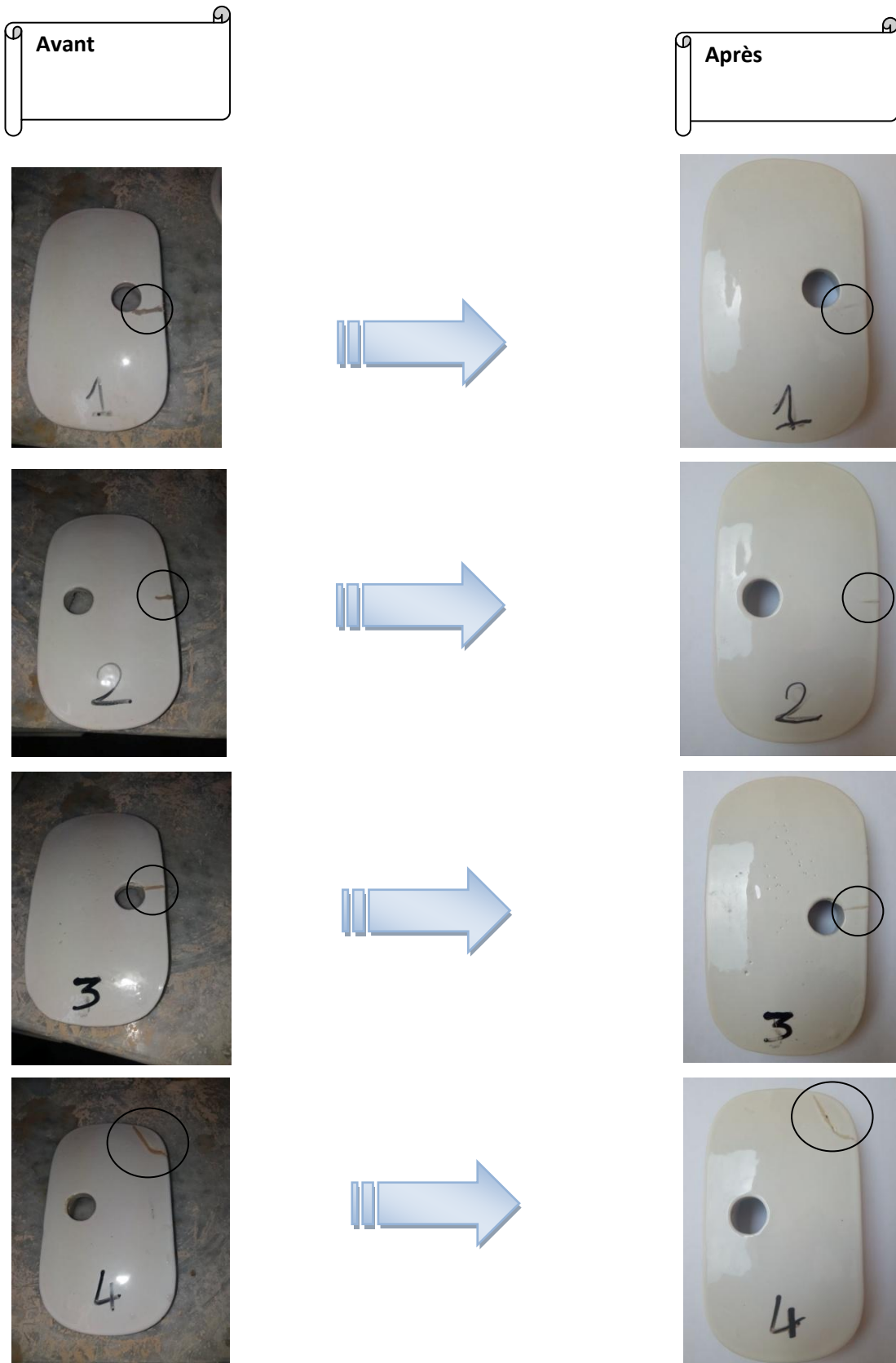


Figure III .11: Les pièces avant et après la réparation du dosage N° 1 au dosage N° 4.

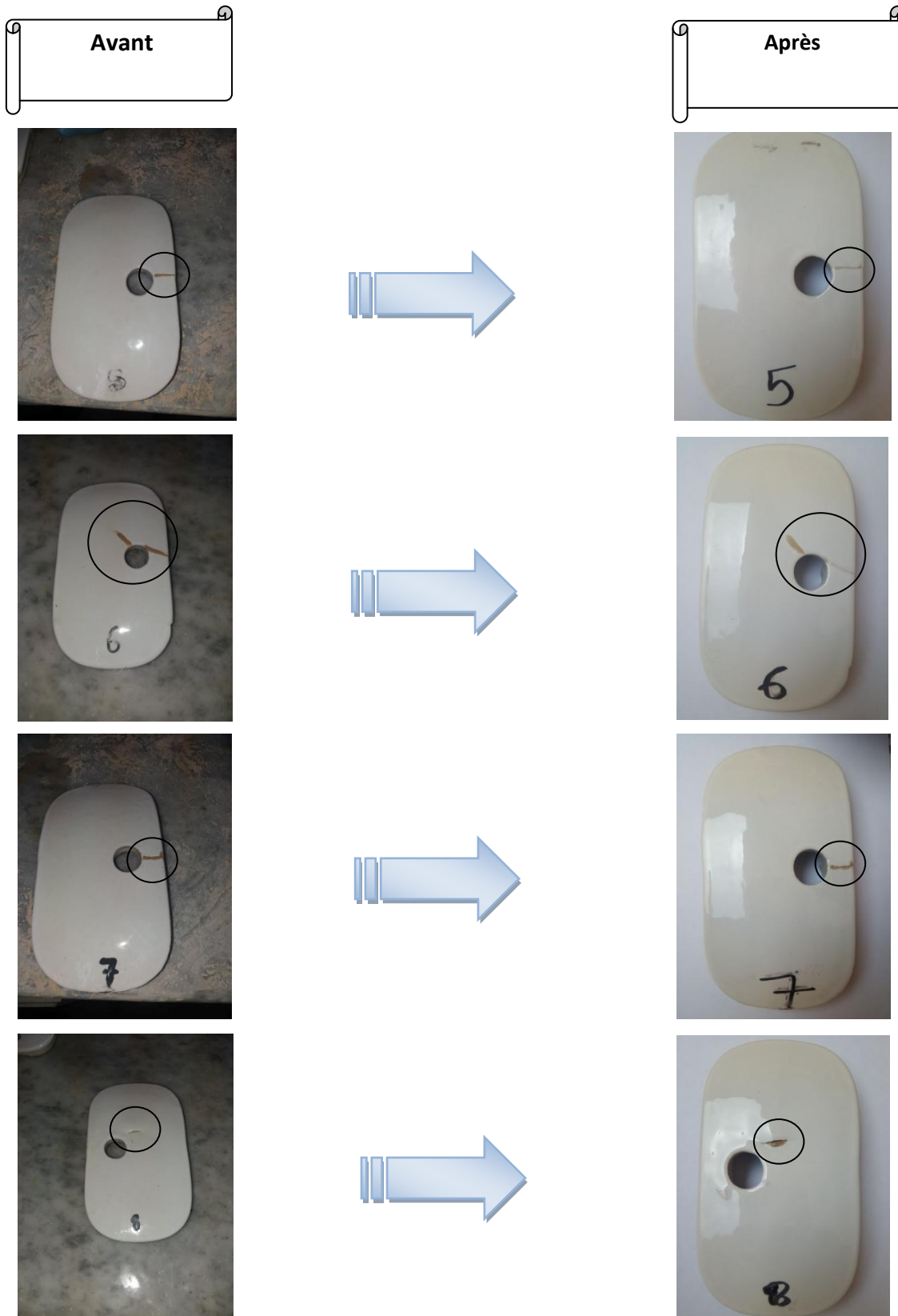


Figure III .12 : Les pièces avant et après la réparation du dosage N° 5au dosage N° 8.

III .12.2. Discussions des résultants

D'après les résultats que nous avons obtenus on peut noter ce qui suit :

- Pour le premier dosage, présente des avantages en termes de forme, d'homogénéité et de couleur
- Le dosage N° 2 et le dosage N° 3, On observe une apparition légère de petite bulle d'air et une elbiaf couleur brune.
- On ce qui concerne le dosage N° 4 jusqu'au dernier dosage, on remarque l'augmentation du gradient brune en référence à la présence de grandes quantités de Fe_2O_3 dans l'argile brune utilisée.
- L'émergence de bulles de l'air à la surface de la pâte est due à la forte proportion de la CaO. En revanche, ils ont de bonnes propriétés dilatation, et de la tension superficielle élevée.

III .12 3. Conclusion

Au terme de cette partie relative à la caractérisation des échantillons crus et cuits a 1200 C° il ressort que :

- Les calcules premiers de dilatation nous donne une estimation de échantillon le plus favorable et s'étale bien à la profondeur des fissures des pièces sanitaire, et le remède totalement.
- La tension superficielle nous donne une idée sur la composition chimique et de la pâte a étudier, a savoir les effets de la variation des matières première.
- Le test de fusibilité nous donne une idée claire sur la diminution de la température (T) de fusion. et montre que le dosage le plus adéquat correspond au cône qui a le Plus grand diamètre et la plus petite hauteur.
- Le test de plasticité qu'on a fait a permis d'élaborer notre pâte de réparation, et de voir l'effet ce que ca donne si on varier la quantité de Al_2O_3 , noté que l'argile brune qui est pauvre avec cet élément chimique.

Conclusion générale

Conclusion générale

Le stage que nous avons effectué à l'unité industrielle de céramique sanitaire d'El-Milia Jijel nous a permis d'approfondir notre connaissance sur la recherche et l'élaboration des pâtes argileuses, sans oublier les mesures et les procédés de fabrication d'un produit céramique sanitaire et de connaître le monde qui se trouve derrière la porte de l'entreprise.

Nous avons élaboré plusieurs pâtes de réparation avec différentes quantités, nos Échantillons sont tous des mélanges des matières premières de l'usine à différents pourcentage (Argile hycast : 5.2%, Quartz : 26.4...etc).

A partir de la composition euqimihc de départ dosage N° 1 au dosage N° 4, nous avons diminué graduellement les matières premières plastiques, jusqu'à sa disparition en remplaçant à chaque fois par la même masse de l'argile brune.

On additionne graduellement des masses précises de l'argile brune, aux matières non plastique de dosage N°5 au dosage N°8. Pour on déduire si l'argile brune est compatible ou non pour une pâte de réparation.

Le calcul de coefficient de dilatation thermique, la tension superficielle et le coefficient de fusibilité, on a aidé à bien connaître la pâte de réparation la plus adéquate.

A partir des essais que nous avons fait sur les pièces de céramique sanitaire, et après cuisson, on a constaté que :

La meilleure composition chimique pour une réparation bien c'est dosage N° 1 et dosage N° 2 et dosage N° 3. ; Car ils nous m'entre un aspect plus homogène.

Aussi De dosage N° 4 jusqu'au dosage N° 8 ; donne un mauvais aspect homogénéité, Couleur brune qui est différente de la pièce à réparer du gonflement suite au taux élevé de Fe_2O_3 et CaO. Implique de faible propriété physique et chimique.

On a observé l'effet de la diminution de SiO_2 ; donne une anomalie sur la surface de la pâte.

On a aussi atteint notre but de connaître le rôle important de la plasticité dans l'élaboration des pâtes argileuses.

On a pu constaté ; que si on trouve une argile brune faible au taux de CaO et Fe_2O_3 , elle peut donner un bon résultat pour notre pâte de réparation.

Notre souhait à terme est que cette démarche expérimentale et scientifique, appliquée à Des matières premières d'utilisation courante, contribue au développement durable de notre Pays. Cette préoccupation est toujours restée au cœur de notre activité de recherche sur la Valorisation des matériaux locaux.

Références
Bibliographiques

Références bibliographiques

- [1] Document d'unité, « Présentation de l'entreprise de SCS El Milia », 2014.
- [2] cours Dr.k.boudeghdegh « technologie des matériaux »univ-jijel.
- [3] Michel-Dupeux, « Aide mémoire-science des matériaux ». Édition Dunod, 2003.
- [4] F. Mathieu, « Cristallographie géométrique ». Edition. Cépaduès 2004.
- [5] Robert. Perrin et Jean Pierre sharff, « Chimie industriel ». Dunod, 2ème édition, Paris, 2002.
- [6] Henrile Doussal. Marcel Vouillement, « Technique de l'ingénieur » ; C940, 2001.
- [7] G. Toutlemonde , « Matériaux de construction pratique des travaux ». Edition Eyrolles, Paris, 1962.
- [8] E. Gamiz, M. Melgosa, M.Sanchez-Maranon, J.M. Martin-Garcia, R.Delgado. «Relationships between chemico-mineralogical composition and color properties in selected natural and calcined Spanish kaolins » Applied Clay Science. 28, 269– 282. 2005.
- [9] J. M. Dorlote, « Des matériaux ». Edition E.P. Montréal, 2001.
- [10] R. Bourgeois. H. Chauvel. J. Kessler, « Génie des matériaux ». Edition, Casteilla, Paris, 2002.
- [11] A.R. Eppler. « Glazes and glass coatings ».The American Ceramic Society.Published 2000.
- [12] H. Boyer. M. Nerbert. V. Philipe, « Construction électrique ». Troisième édition, France, 1985.
- [13] J. A. Jeunne, « Traité de céramique et matériaux minéraux ». Edition Septima Paris, 1990.
- [14] W. Harnissi. S. Chabbat, « Mémoire d'ingénieur ». Université de Jijel, 2005.
- [15] N. Aklouche, « Préparation et étude des composés cordiérite et anorthite ». Thèse de doctorat de l'université Mentouri Constantine, (2009).
- [16] H. Hurray, « Traditionnal and new applications for kaolin, smectite and polygoskite: a general overview ». Journal, appl-clay sci, vol 17, 207-221 (2000).
- [17] A. I. Avgustinik, « Ceramics (2nd ed.) ». Stroiizdat, Leningrad, [in Russian] (1975).
- [18] O. Bouras, « Propriétés absorbante d'argile pontées organophiles : synthèse et caractérisation ». Thèse de doctorat de l'université de Limoges, (2003).
- [19] U. Ozgur et al, « A comprehensivereview of ZnOmaterials and devices », (103 pages) J. Appl. Phys. 98 (2005) 041301
- [20] C. Klingshirn, « ZnO: Material, Physics and Applications », (21 pages) ChemPhysChem 8 (2007) 782.
- [21] J.zerzycki : « les verres et letat vitreux ».mason,paris,1982.

Références bibliographiques

- [22] J.a.jeuene : « traité de céramique et matériaux » :éditionseptima paris ;1990.
- [23] Alain-Foucault et j-francois raout : « déctionnaire de géologie » ;paris ;1930.
- [24] Saidanisihem : « élaboration et l'étude des blancheurs d'un émail de céramique sanitaire d'elmilia,mémoire d'ingénieur,promotion 2006.
- [25] Y vetteDeriemont, « Technique de l'ingénieur » ; M-1514, 2001.
- [26] E michel.G.garcia, «k ed ortemicitsalpnu ed onesider nrokreffep,» Tesis para obtener el titulo de ingeniero en diseno,universidad tecnologica de la mexiteca, Huajuapan de León Oaxaca. Agosto2007.

Annexe

ANNEXE



Annexe A. 1 : Aperçu (la densité)



Annexe B. 1 : Broyeur à galets

ANNEXE



Annexe B. 2 : La Jarre



Annexe B. 3 : Le Moule conique



Annexe B. 4 : Le Moule en plâtre

Résumé

Dans le secteur des industries céramiques, il existe des nombreux défauts qui influent négativement sur l'environnement et l'économie des entreprises. Parmi ces défauts nous avons les fentes et les fissures qui se trouvent dans les pièces sanitaires, pour cela nous proposons d'élaborer une pâte de réparation qui permet d'y remédier à ces défauts. Les Huit Formulations de pâtes de réparation ont été préparées avec différents dosages.

Nous avons diminué graduellement les matières premières plastiques on les remplaçant par notre argile brune, d'une part et d'autre part on a additionné graduellement des masses précise de la même argile en matières non plastique. Selon les calculs des différentes technique telle que (La plasticité. Le Coefficient de dilatation thermique, le Coefficient de fusibilité) ,On résulte que notre argile brune donne un effet sap acceptable pour la réparation notamment lorsque ces taux de CaO et Fe_2O_3 sont élevés .Parce que ces derniers donnent des couleurs des boursouffures différents a celles de les pièces originales.

Mots –clés : Céramique, Fissure, Pâte de réparation.

Abstract

In the sector of ceramic industries, there are many flaws that influence. Negatively on the environment and the business economy. Among these faults we have the cracks and fissures that are in the sanitary rooms, for that we We propose to elaborate a repair paste which makes it possible to remedy these defects. Eight Repair paste formulations were prepared with different dosages.

we have gradually decreased the plastic raw materials, replacing them with our brown clay, on the one hand, and on the other hand we have gradually added masses of the same clay in non-plastic materials. According to the calculations of the different characterization techniques such as (Plasticity, Coefficient of Thermal Expansion, Coefficient of Fusibility), It follows that our brown clay gives an unacceptable effect for the repair especially when these levels of CaO and Fe_2O_3 are high. Because they give colors of blisters different from those of the original pieces.

Keywords: Ceramic, Crack, Repair paste.