

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

Université Dr. Tahar Moulay SAIDA  
Faculté de Technologie  
Département de Génie des procédés



جامعة د الطاهر مولاي سعيدة  
كلية التكنولوجيا  
قسم : هندسة الطرائق

**MEMOIRE DE FIN D'ETUDE**  
**Pour l'obtention du diplôme Master**  
**En Génie des procédés**  
**Option : Génie des Procédés des Matériaux**

Présenté par :

**Asmaa NEDJAI & Khadidja Hayet KRIM**

**Etude de liants vitrifiés appliqués  
aux meules abrasives de l'unité  
ABRA-Saida.**

Devant le jury :

M <sup>me</sup> F. CHOUMANE	Maître de Conférences A	Université de Saida	Président
M <sup>r</sup> Y. AIMER	Maître de Conférences B	Université de Saida	Examineur
M <sup>me</sup> O. BELARBI	Maitre-Assistant A	Université de Saida	Rapporteur

*Promotion : 2019-2020*

# **Remerciements**

En tout premier lieu, nous remercions Allah, tout puissant, de nous avoir donné la force pour survivre, ainsi que l'audace pour dépasser toutes les difficultés surtout en cette période de pandémie.

Ce travail a été réalisé sous la direction de Mme **O.BELARBI**, Maître de conférences A, au département de génie des procédés, faculté de technologie de l'université Dr Tahar Moulay de Saida, en collaboration avec Mr. Mohammed ALLAM responsable chargé de la recherche et du développement de l'entreprise d'ABRA-Saida.

Nous sommes sensibles à l'honneur que nous a fait madame **F. CHOUMANE** en président notre jury, et à monsieur **Y. AIMER** pour avoir accepté de faire part de notre jury, merci pour avoir consacré du temps à l'examen de ce travail.

Nos vifs remerciements s'adressent à nos enseignants : Dr F. CHOUMANE, Dr. M. BOUDINAR, Dr. N. GHALI, Dr. B. GUEZZEN, Dr. M. OUAZENE, Dr. Y. AIMER, Dr. S. DAOUDI, Dr. A. BENHALIMA et Dr. M. ADJDIR. Bref à tous les enseignants qui ont participé à notre formation pendant le cycle universitaire.

Nous aimerions aussi adresser un remerciement particulier à monsieur **M. ALLAM** responsable chargé de la recherche et du développement de l'entreprise d'ABRA-Saida, qui a dirigé notre travail au sein d'ABRA-Saida, qui a toujours su se rendre disponible, patient à nos multiples questions, pour ses précieux conseils et surtout pour son soutien permanent et son encouragement.

Un grand Merci à tous les membres de l'unité ABRA-Saida pour leur contribution directe ou indirecte et pour les moyens qu'ils ont mis à notre disposition pour la réalisation de ce travail.

Nous citons particulièrement monsieur **A. AMEUR** responsable du laboratoire contrôle de qualité au sein d'ABRA-Saida pour nous avoir accordé sa confiance et sa serviabilité et pour nous avoir initié aux différents tests réalisés au cours de cette étude.

Nos sincères remerciements s'adressent également au personnel du laboratoire de contrôle de qualité de la cimenterie de Saida qui nous a accueillies et accepté de procéder aux différentes analyses en spectrométrie fluorescence X ainsi qu'à leur broyage, nous citons : Mme **F. KADI**, Mme **M. REZIG**; Mr **D. BELLIL**

Que les directions des briqueteries SARL BMSD Benadouane et Sidi Aissa EURL SOBRIS Saida trouvent ici l'expression de notre reconnaissance pour nous avoir accompagné sur les différents sites d'échantillonnage et surtout d'avoir accepté d'y prélever des échantillons. Leur contribution n'a pas été de moindre envergure.

Enfin, nous tenons à remercier du fond du cœur, tous ceux et toutes celles qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de notre présent travail.

**Merci à tous.**

# Dédicace

*Dieu tout puissant Merci d'être toujours auprès de moi.*

*Je dédie ce modeste travail,*

*A mes chers parents qui m'ont soutenu et encouragé tout au long de mes formations scolaire et universitaire.  
Car ils ont fait en sorte que je ne manque de rien durant toute ma vie. Leur amour et leur sacrifice n'ont pas d'égal.  
Que Dieu vous protège et vous accorde le bonheur, la santé et la longue vie.*

*A ma deuxième maman ma grande mère et Mes Tantes :  
Halima, Houria et Houaria.*

*A mes chers frères BAHAA, ZIZOU et mes sœurs KAOUTER,  
ISRAA.*

*A ma grande famille chacun avec son nom, et à toute personne  
qui port le nom NEDJAI.*

*Mon binôme HAYET, sa sœur MERYOUMA et sa famille.*

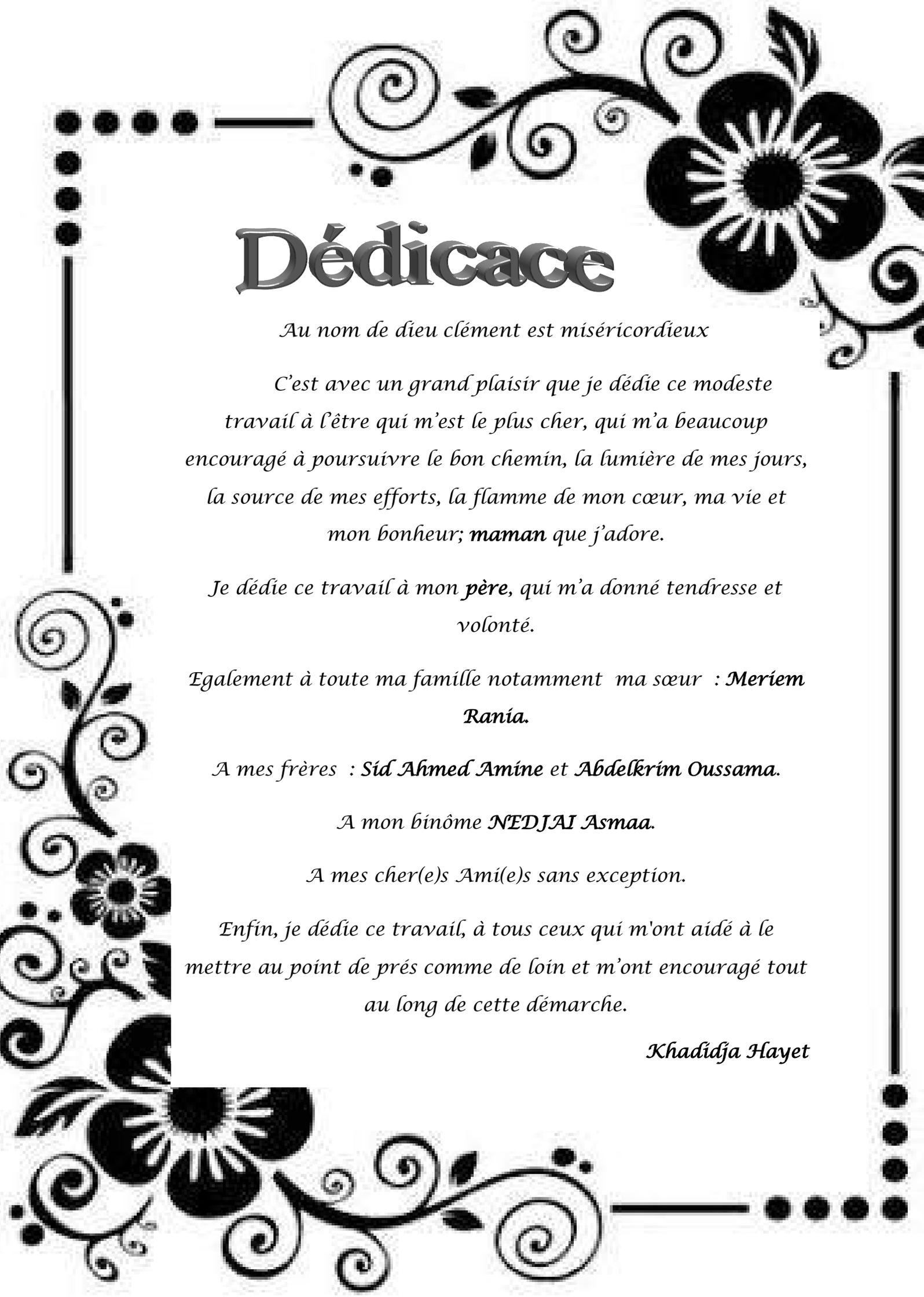
*A ma chère amie HAKIMA pour son soutien lors de la  
préparation de ce mémoire.*

*Mes amies de toujours : ASMA, AMOUNA, BAKHTA et  
KHADIDJA.*

*En souvenir de notre sincère et profonde amitié et des moments  
agréables que nous avons passés ensemble.*

*A tous ceux et celles qui sont chers à mon cœur ^\_^.*

*Asmaa.*



# Dédicace

*Au nom de dieu clément est miséricordieux*

*C'est avec un grand plaisir que je dédie ce modeste travail à l'être qui m'est le plus cher, qui m'a beaucoup encouragé à poursuivre le bon chemin, la lumière de mes jours, la source de mes efforts, la flamme de mon cœur, ma vie et mon bonheur; **maman** que j'adore.*

*Je dédie ce travail à mon **père**, qui m'a donné tendresse et volonté.*

*Egalement à toute ma famille notamment ma sœur : **Meriem Rania**.*

*A mes frères : **Sid Ahmed Amine** et **Abdelkrim Oussama**.*

*A mon binôme **NEDJAI Asmaa**.*

*A mes cher(e)s Ami(e)s sans exception.*

*Enfin, je dédie ce travail, à tous ceux qui m'ont aidé à le mettre au point de près comme de loin et m'ont encouragé tout au long de cette démarche.*

***Khadija Hayet***

## Résumé

L'objectif principal de ce travail est la caractérisation de la masse céramique de l'unité ABRA-Saida en particulier le liant vitrifié et étudier la possibilité d'utiliser des matières premières de substitution afin de réduire le coût de la meule produite sans diminuer de son efficacité.

La coulabilité de la masse céramique préparée par ABRA-Saida est excellente et peut être classée comme masse sans poussières ni fibres.

La substitution du liant vitrifié  $V_{217}$  par 50% de déchet de verre engendre une masse céramique plus dense avec une dispersibilité faible. La meule confectionnée avec ce liant vitrifié composite est moins dense que la meule référence. Le liant vitrifié composite améliore le facteur de rendement de la meule à liant vitrifié composite qui peut atteindre un facteur de 03.

La substitution totale du fritté  $S_2$  par la chamotte de Sarl Benadouane n'influe pas sur la coulabilité de la masse céramique et n'a pas altéré sa compacité. La chamotte lui confère une faible dispersibilité. La meule obtenue à partir de cette masse céramique est moins dense avec un facteur de rendement plus important évalué à 3,33.

**Mots clés** : Meule, Céramique, Grains abrasifs, Liant vitrifié, Verre, Chamotte, Déchet brique, Substitution.

## ملخص

الهدف الرئيسي من هذا العمل هو توصيف الكتلة الخزفية لوحدة ABRA-Saida ، و لا سيما الرابط المزجج و دراسة إمكانية استخدام المواد الخام البديلة من أجل تقليل تكلفة عجلة الطحن المنتجة دون تقليل كفاءتها. إن قابلية التدفق للكتلة الخزفية المحضرة بواسطة ABRA-Saida ممتازة و يمكن تصنيفها على أنها كتلة بدون غبار أو ألياف.

ينتج عن استبدال المادة اللاصقة المزجج  $V_{217}$  بنسبة 50٪ من نفايات الزجاج كتلة خزفية أكثر كثافة مع تشتت منخفض. العجلة المصنوعة من هذا الرابط المركب المزجج أقل كثافة من العجلة المرجعية. تعمل الرابطة المزججة المركبة على تحسين عامل أداء عجلة طحن الرابطة المركبة و التي يمكن أن تصل إلى عامل 03. لا يؤثر الاستبدال الكلي لمزيج التزجج  $S_2$  بطين معالج حرارياً لمؤسسة بن عدوان على قابلية التدفق لكتلة السيراميك و لم يغير من تماسكها. يعطي الطين المعالج حرارياً تشتتاً منخفضاً. تكون عجلة الطحن التي تم الحصول عليها من هذه الكتلة الخزفية أقل كثافة مع عامل كفاءة أكبر تم تقييمه عند 3,33.

**الكلمات المفتاحية:** عجلة الطحن، سيراميك، الحبوب الكاشطة، رابط مزجج، زجاج، طين معالج حرارياً، نفايات الطوب، استبدال.

## Abstract

The main objective of this work is the ABRA-Saida ceramic mass's characterization, in particular the vitrified binder. The possibility of using substitute raw materials in order to reduce the cost of the grinding wheel produced is studied without reducing its efficiency.

The flowability of the ceramic mass prepared by ABRA-Saida is excellent and can be classified as a mass without dust or fibers.

The substitution of the vitrified binder  $V_{217}$  by 50% of glass waste generates a denser ceramic mass with low dispersibility. The wheel made with this composite vitrified binder is less dense than the reference wheel. The composite vitrified bond improves the grinding wheel performance factor which can reach a factor of 03

The total substitution of the  $S_2$  frit by Benadouane fire clay doesn't affect the ceramic mass flowability and hasn't altered its compactness. Fire clay gives it low dispersibility. The grinding wheel obtained from this ceramic mass is less dense with a greater efficiency factor evaluated at 3,33.

**Keywords:** Grinding wheel, Ceramic, Abrasive grains, Vitrified binder, Glass, fire clay, Brick waste, Substitution.

# Sommaire

## Sommaire

<i>Titre</i>	<i>Page</i>
<b>Résumé</b>	<b>I</b>
<b>Sommaire</b>	<b>II</b>
<b>Liste des figures</b>	<b>VII</b>
<b>Liste des tableaux</b>	<b>X</b>
<b>Liste des abréviations</b>	<b>XIII</b>
<b>Introduction générale</b> .....	1
<b><i>Chapitre I : Revue bibliographique</i></b>	
<b>I.1.Introduction</b> .....	3
<b>I.2.Meulage</b> .....	3
<b>I.3.Meule abrasive</b> .....	3
<b>I.4.Grains abrasifs</b> .....	5
<b>I.4.1.Abrasifs naturels</b> .....	5
<b>I.4.2.Abrasifs synthétiques</b> .....	5
<b>I.4.2.1.Carbure de silicium</b> .....	5
<b>I.4.2.2.Diamant</b> .....	6
<b>I.4.2.3.Oxyde de zirconium</b> .....	6
<b>I.4.2.4.Oxyde d'aluminium synthétique</b> .....	6
<b>I.5.Liants</b> .....	7
<b>I.5.1.Liant résinoïde (bakélite)</b> .....	7
<b>I.5.2.Liants métalliques</b> .....	8
<b>I.5.3.Liant céramique ou vitrifié</b> .....	8
<b>I.5.3.1.Feldspath</b> .....	10
<b>I.5.3.2.Silice</b> .....	10
<b>I.5.3.3.Quartz</b> .....	11
<b>I.5.3.4.Frittes (verre de composition prédéfinie)</b> .....	11
<b>I.5.3.5.Kaolin</b> .....	11
<b>I.5.3.6.Argile</b> .....	11
<b>I.6.Procédé de fabrication</b> .....	12
<b><i>Chapitre II : Méthodes d'investigation</i></b>	

<b>II.1.</b> Spectrométrie de fluorescence des rayons X.....	14
<b>II.2.</b> Détermination de la perte au feu PAF.....	14
<b>II.3.</b> Détermination de la teneur en eau physisorbée.....	15
<b>II.4.</b> Analyse morphoscopique par stéréo microscope.....	15
<b>II.5.</b> Analyse granulométrique.....	16
<b>II.5.1.</b> Analyse granulométrique des grains abrasifs.....	17
<b>II.5.2.</b> Analyse granulométrique par voie humide du liant vitrifié.....	18
<b>II.6.</b> Détermination des densités.....	18
<b>II.6.1.</b> Détermination de la densité apparente "D" des grains abrasifs.....	19
<b>II.6.2.</b> Détermination de la densité apparente après tassement "D <sub>t</sub> " .....	20
<b>II.7.</b> Comportement du liant vitrifié et ses composants à la cuisson.....	21
<b>II.7.1.</b> Détermination du comportement à la fusion ou au frittage dans le creuset.....	21
<b>II.7.2.</b> Détermination du comportement de fusion ou de frittage par l'essai bouchon.....	22
<b>II.8.</b> Caractérisation de l'écoulement de matériaux granulaires.....	23
<b>II.8.1.</b> Masses volumiques.....	23
<b>II.8.1.1.</b> Masse volumique apparente " $\rho_{app}$ " .....	24
<b>II.8.1.2.</b> Masse volumique réelle " $\rho_r$ ".....	25
<b>II.8.2.</b> Détermination des Angles de Talus (Coulabilité).....	25
<b>II.8.2.1.</b> Evaluation de l'angle de mouvement ( $\alpha_m$ ) (Angle de coulabilité).....	28
<b>II.8.2.2.</b> Evaluation de l'angle de repos ( $\alpha_r$ ).....	29
<b>II.8.3.</b> Compacité "C" .....	30
<b>II.8.4.</b> Détermination de la dispersibilité.....	30
<b>II.9.</b> Confection des meules.....	31
<b>II.9.1.</b> Préparation de la masse céramique.....	31
<b>II.9.2.</b> Test Aspect visuel des meules confectionnées.....	33
<b>II.9.3.</b> Tests soniques sur la meule abrasive.....	34
<b>II.9.4.</b> Densité "d <sub>2</sub> " des meules abrasives.....	36
<b>II.9.5.</b> Facteur de rendement mécanique "R" des meules confectionnées.....	36
<b>Chapitre III : Caractérisation des matières premières</b>	
<b>III.1.</b> Présentation de l'unité ABRA-Saida.....	38
<b>III.2.</b> Caractérisation de la matière abrasive.....	39
<b>III.2.1.</b> Composition chimique des grains abrasifs.....	39

<b>III.2.2.</b> Analyse granulométrique des grains abrasifs.....	40
<b>III.2.3.</b> Analyse par stéréo microscope des grains abrasifs.....	41
<b>III.2.4.</b> Densité apparente des grains abrasifs.....	42
<b>III.2.5.</b> Conclusion.....	42
<b>III.3.</b> Caractérisation du liant vitrifié V <sub>217</sub> .....	43
<b>III.3.1.</b> Composition Chimique du liant vitrifié V <sub>217</sub> .....	44
<b>III.3.2.</b> Teneur en eau physisorbée du liant vitrifié V <sub>217</sub> .....	44
<b>III.3.3.</b> Analyse granulométrique du liant vitrifié V <sub>217</sub> .....	44
<b>III.3.4.</b> Comportement au frittage (essai creuset) du liant V <sub>217</sub> .....	45
<b>III.3.5.</b> Comportement de frittage (essai bouchon) du liant V <sub>217</sub> .....	45
<b>III.4.</b> Caractérisation des composants du liant vitrifié V <sub>217</sub> .....	45
<b>III.4.1.</b> Caractérisation des frittés S <sub>1</sub> et S <sub>2</sub> .....	45
<b>III.4.1.1.</b> Composition chimique des frittés S <sub>1</sub> et S <sub>2</sub> .....	46
<b>III.4.1.2.</b> Teneur en eau physisorbée des frittés S <sub>1</sub> et S <sub>2</sub> .....	46
<b>III.4.1.3.</b> Analyse granulométrique des frittés S <sub>1</sub> et S <sub>2</sub> .....	47
<b>III.4.1.4.</b> Analyse par stéréo microscope des frittés S <sub>1</sub> et S <sub>2</sub> .....	47
<b>III.4.1.5.</b> Densité après tassage des frittés S <sub>1</sub> et S <sub>2</sub> .....	48
<b>III.4.1.6.</b> Comportement au frittage (essai creuset) des frittés S <sub>1</sub> et S <sub>2</sub> .....	48
<b>III.4.1.7.</b> Comportement de frittage (essai bouchon) des frittés S <sub>1</sub> et S <sub>2</sub> .....	49
<b>III.4.2.</b> Caractérisation des Feldspaths Sodique S <sub>20</sub> et Argileux S <sub>22</sub> .....	50
<b>III.4.2.1.</b> Composition chimique des Feldspaths S <sub>20</sub> et S <sub>22</sub> .....	50
<b>III.4.2.2.</b> Analyse par stéréo microscope des Feldspaths S <sub>20</sub> et S <sub>22</sub> .....	51
<b>III.4.2.3.</b> Teneur en eau physisorbée des Feldspaths S <sub>20</sub> et S <sub>22</sub> .....	52
<b>III.4.2.4.</b> Analyse granulométrique des Feldspaths S <sub>20</sub> et S <sub>22</sub> .....	52
<b>III.4.2.5.</b> Densité après tassage des Feldspaths S <sub>20</sub> et S <sub>22</sub> .....	53
<b>III.4.2.6.</b> Comportement au frittage (essai creuset) des Feldspaths S <sub>20</sub> et S <sub>22</sub> .....	53
<b>III.4.2.7.</b> Comportement de fusion (essai bouchon) des Feldspaths S <sub>20</sub> et S <sub>22</sub> .....	54
<b>III.4.3.</b> Caractérisation de l'argile West Walder S <sub>30</sub> et du kaolin S <sub>40</sub> .....	55
<b>III.4.3.1.</b> Composition chimique de l'argile S <sub>30</sub> et du kaolin S <sub>40</sub> .....	55
<b>III.4.3.2.</b> Analyse par stéréo microscope de l'Argile S <sub>30</sub> et du Kaolin S <sub>40</sub> .....	55
<b>III.4.3.3.</b> Teneur en eau physisorbée de l'argile S <sub>30</sub> et du kaolin S <sub>40</sub> .....	56
<b>III.4.3.4.</b> Analyse granulométrique.....	56
<b>III.4.3.5.</b> Densité après tassage de l'argile S <sub>30</sub> et du kaolin S <sub>40</sub> .....	57

III.4.3.6.Comportement au frittage (essai creuset) de l'argile S <sub>30</sub> et du Kaolin S <sub>40</sub> .....	57
III.4.3.7.Comportement de frittage (essai bouchon) de l'argile S <sub>30</sub> et du Kaolin S <sub>40</sub> .....	58
III.5.Conclusion.....	59
<b><i>Chapitre IV : Substitution du liant vitrifié par le déchet de verre</i></b>	
IV.1.Prélèvement et traitement du verre utilisé.....	60
IV.1.1.Traitement du déchet de verre.....	60
IV.2.Caractérisation du déchet de verre.....	61
IV.2.1.Composition chimique du déchet de verre.....	61
IV.2.2.Analyse par stéréo microscope du déchet de verre.....	61
IV.2.3.Teneur en eau physisorbée du déchet de verre.....	62
IV.2.4.Analyse granulométrique.....	62
IV.2.5.Détermination de la densité après tassage.....	63
IV.3.Substitution du liant vitrifié par le déchet de verre.....	63
IV.3.1.Caractérisation de la masse céramique.....	65
IV.3.1.1.Détermination des angles de Talus.....	65
IV.3.1.2.Masses volumiques de la masse céramique et sa coulabilité.....	67
IV.3.1.3.Détermination de la compacité "C".....	68
IV.3.1.4.Détermination de la dispersibilité.....	68
IV.4.Caractérisation des meules confectionnées.....	69
IV.4.1.Aspect visuel et test sonique des meules confectionnées.....	69
IV.4.2.Densité "d <sub>2</sub> " des meules confectionnées.....	70
IV.4.3.Facteur de Rendement mécanique "R" des meules confectionnées.....	71
IV.4.4.Effet de la température de cuisson sur l'efficacité de coupe des meules confectionnées.....	72
IV.5.Conclusion.....	73
<b><i>Chapitre V : Utilisation de la chamotte de Benadouane dans la conception du liant vitrifié</i></b>	
V.1.Prélèvement et traitement de la chamotte de Benadouane.....	74
V.1.1.Traitement du déchet de brique.....	74
V.2.Caractérisation de la chamotte de Benadouane.....	75
V.2.1.Composition chimique de la chamotte de Benadouane.....	75
V.2.2.Analyse par stéréo microscope de la chamotte de Benadouane.....	75
V.2.3.Teneur en eau physisorbée de la chamotte de Benadouane.....	76

V.2.4.Analyse granulométrique de la chamotte de Benadouane.....	76
V.2.5.Densité après tassage de la chamotte de Benadouane.....	77
V.3.Substitution du fritté S <sub>2</sub> par la chamotte de Benadouane.....	77
V.3.1.Caractérisation de la masse céramique élaborée.....	77
V.3.1.1.Détermination des angles de Talus.....	77
V.3.1.2.Coulabilité de la masse céramique contenant la chamotte.....	79
V.3.1.3.Compacité "C" de la masse céramique contenant la chamotte.....	79
V.3.1.4.Dispersibilité de la masse céramique contenant la chamotte.....	80
V.4.Caractérisation des meules confectionnées.....	80
V.4.1.Aspect visuel des meules confectionnées.....	80
V.4.2.Densité "d <sub>2</sub> " des meules cuites.....	81
V.4.3.Facteur de Rendement mécanique "R" des meules confectionnées.....	82
V.4.4.Effet de la température de cuisson sur l'Efficacité de coupe des meules confectionnées.....	83
V.5.Conclusion.....	84
<b>Conclusion générale et Perspectives.....</b>	<b>85</b>
<b>Références bibliographiques.....</b>	<b>88</b>
<b>Annexe.....</b>	<b>94</b>

**Liste des figures**

<i>Figure</i>	<i>Titre</i>	<i>Page</i>
<b>Figure 01</b>	Photo meule abrasive.	04
<b>Figure 02</b>	Spécifications sur une meule abrasive.	04
<b>Figure 03</b>	Logigramme de Production « Process des Abrasifs liés ».	13
<b>Figure 04</b>	Spectromètre de Fluorescence des Rayons X (XRF) Type PANalytical ZETIUM.	14
<b>Figure 05</b>	Stéréo microscope de type ZEISS 47 50 22.	16
<b>Figure 06</b>	Verre au cobalt.	16
<b>Figure 07</b>	Tamiseur de type Testing Sieve Shaker.	17
<b>Figure 08</b>	Tamisage par voie humide.	18
<b>Figure 09</b>	Dispositif de détermination de la densité apparente des grains abrasifs.	19
<b>Figure 10</b>	Détermination de la densité apparente "D" des grains abrasifs.	20
<b>Figure 11</b>	Voluménomètre de Type JEL STAV 2003 SATAMPF.	21
<b>Figure 12</b>	Creuset en céramique utilisé.	22
<b>Figure 13</b>	Moule de pressage du bouchon.	23
<b>Figure 14</b>	Dispositif expérimental du test masse volumique apparente $\rho_{app}$ .	24
<b>Figure 15</b>	Détermination de la masse volumique réelle.	25
<b>Figure 16</b>	Détermination de l'angle de Talus.	26
<b>Figure 17</b>	Schéma simplifié des dimensions du talus.	27
<b>Figure 18</b>	Dispositif expérimental de la dispersibilité.	31
<b>Figure 19</b>	Processus de confection d'une meule céramique.	32
<b>Figure 20</b>	Préparation de la masse céramique.	33
<b>Figure 21</b>	Dimensions des meules confectionnées.	33
<b>Figure 22</b>	Presse hydraulique de type J.oberhammervorm.TH.Lang.	34

<b>Figure 23</b>	Test Aspect visuel, contrôle de la spécification et les dimensions de la meule.	35
<b>Figure 24</b>	Test sonore sur la meule abrasive.	35
<b>Figure 25</b>	Détermination du rendement R des meules abrasives lors du meulage d'une pièce métallique.	37
<b>Figure 26</b>	Différents produits de l'unité ABRA Saïda.	38
<b>Figure 27</b>	Grains abrasifs "Corindon Supérieur Blanc".	39
<b>Figure 28</b>	Matière abrasive 89A.	42
<b>Figure 29</b>	Liant vitrifié V <sub>217</sub> .	43
<b>Figure 30</b>	Comportement au frittage (essai creuset) du liant V <sub>217</sub> .	45
<b>Figure 31</b>	Frittés S <sub>1</sub> et S <sub>2</sub> .	46
<b>Figure 32</b>	Analyse par stéréo microscope des frittés S <sub>1</sub> et S <sub>2</sub> .	47
<b>Figure 33</b>	Comportement au frittage (essai creuset) des frittés S <sub>1</sub> et S <sub>2</sub> .	49
<b>Figure 34</b>	Comportement de fusion ou de frittage (essai bouchon) des frittés S <sub>1</sub> et S <sub>2</sub> .	50
<b>Figure 35</b>	Aspect des Feldspaths Sodiques S <sub>20</sub> et argileux S <sub>22</sub> .	50
<b>Figure 36</b>	Analyse par stéréo microscope des Feldspaths.	51
<b>Figure 37</b>	Comportement au frittage (essai creuset) des Feldspaths S <sub>20</sub> et S <sub>22</sub> .	54
<b>Figure 38</b>	Comportement de fusion ou de frittage (essai bouchon) des Feldspaths S <sub>20</sub> et S <sub>22</sub> .	54
<b>Figure 39</b>	Aspect de l'argile West Walder S <sub>30</sub> et du Kaolin S <sub>40</sub> .	55
<b>Figure 40</b>	Analyse par stéréo microscope de l'Argile S <sub>30</sub> et Kaolin S <sub>40</sub> .	56
<b>Figure 41</b>	Comportement au frittage (essai creuset) de l'argile S <sub>30</sub> et du Kaolin S <sub>40</sub> .	58
<b>Figure 42</b>	Comportement de fusion ou de frittage (essai bouchon) de l'argile S <sub>30</sub> et du Kaolin S <sub>40</sub> .	59
<b>Figure 43</b>	Déchets de verre coloré collecté en vrac avant traitement.	60
<b>Figure 44</b>	Déchets de verre après traitement.	61

<b>Figure 45</b>	Analyse par stéréo microscope du déchet de verre.	62
<b>Figure 46</b>	Cycle de cuisson de la meule confectionnée à 1200°C dans le four RIEDHAMMER GmbH.	64
<b>Figure 47</b>	Cycle de cuisson de la meule confectionnée à 1000°C et 1100°C dans le four NABERTHERM GmbH.	64
<b>Figure 48</b>	Angles de talus des masses céramiques préparées.	67
<b>Figure 49</b>	Evolution de l'aspect visuel des meules étalon et confectionnée en fonction de la température de cuisson.	70
<b>Figure 50</b>	Evolution de la Densité des meules en fonction de la température de cuisson.	71
<b>Figure 51</b>	Evolution du facteur de Rendement en fonction de la nature du liant.	72
<b>Figure 52</b>	Effet de la température de cuisson sur l'Efficacité de coupe des meules confectionnées.	73
<b>Figure 53</b>	Déchets de briques rejetés au niveau de la briqueterie de Benadouane Saida.	74
<b>Figure 54</b>	Chamotte traitée.	75
<b>Figure 55</b>	Analyse par stéréo microscope de la chamotte de Benadouane.	76
<b>Figure 56</b>	Talus des masses céramiques préparées.	78
<b>Figure 57</b>	Evolution de l'aspect visuel des meules étalon et confectionnée en fonction de la température de cuisson.	81
<b>Figure 58</b>	Evolution de la densité de la meule contenant la chamotte en fonction de la température de cuisson.	82
<b>Figure 59</b>	Evolution du Rendement en fonction de la chamotte.	82
<b>Figure 60</b>	Effet de la température de cuisson sur l'Efficacité de coupe des meules confectionnées.	83

**Liste des tableaux**

<i>Tableau</i>	<i>Titre</i>	<i>Page</i>
<b>Tableau 01</b>	Températures de fusion (frittage) des composants de liant vitrifié.	22
<b>Tableau 02</b>	Coulabilité de la poudre.	28
<b>Tableau 03</b>	Tolérances $d_2$ pour les meules à liant céramique conventionnelles.	36
<b>Tableau 04</b>	Granulométries des grains abrasifs utilisés.	39
<b>Tableau 05</b>	Composition chimique des grains abrasifs.	39
<b>Tableau 06</b>	Analyse granulométrique du corindon Supérieur Blanc F54.	40
<b>Tableau 07</b>	Analyse granulométrique du corindon Supérieur Blanc F60.	40
<b>Tableau 08</b>	Analyse granulométrique du corindon Supérieur Blanc F70.	41
<b>Tableau 09</b>	Densité apparente du corindon artificiel supérieur blanc.	42
<b>Tableau 10</b>	Composition pondérale du liant vitrifié $V_{217}$ .	43
<b>Tableau 11</b>	Composition chimique du liant vitrifié $V_{217}$ .	44
<b>Tableau 12</b>	Teneur en eau du liant $V_{217}$ .	44
<b>Tableau 13</b>	Analyse granulométrique du liant $V_{217}$ .	44
<b>Tableau 14</b>	Composition chimique des frittés $S_1$ et $S_2$ .	46
<b>Tableau 15</b>	Teneur en eau des frittés $S_1$ et $S_2$ .	46
<b>Tableau 16</b>	Analyse granulométrique des frittés $S_1$ et $S_2$ .	47
<b>Tableau 17</b>	Densité après tassage des frittés $S_1$ et $S_2$ .	48
<b>Tableau 18</b>	Composition chimique des Feldspaths Sodique $S_{20}$ et Argileux $S_{22}$ .	51
<b>Tableau 19</b>	Teneur en eau des Feldspath Sodique $S_{20}$ et argileux $S_{22}$ .	52
<b>Tableau 20</b>	Analyse granulométrique des Feldspaths Sodique $S_{20}$ et Argileux $S_{22}$ .	52
<b>Tableau 21</b>	Densité après tassage des Feldspaths Sodique $S_{20}$ et Argileux $S_{22}$ .	53
<b>Tableau 22</b>	Composition chimique de l'argile $S_{30}$ et du kaolin $S_{40}$ .	55
<b>Tableau 23</b>	Teneur en eau de l'argile $S_{30}$ et du kaolin $S_{40}$ .	56

## Liste des tableaux

---

<b>Tableau 24</b>	Analyse granulométrique de l'argile S <sub>30</sub> et du kaolin S <sub>40</sub> .	57
<b>Tableau 25</b>	Densité après tassage de l'argile S <sub>30</sub> et du kaolin S <sub>40</sub> .	57
<b>Tableau 26</b>	Composition chimique du déchet de verre.	61
<b>Tableau 27</b>	Teneur en eau du déchet de verre.	62
<b>Tableau 28</b>	Analyse granulométrique du déchet de verre.	63
<b>Tableau 29</b>	La densité après tassage de du verre.	63
<b>Tableau 30</b>	Composition des masses céramiques préparées.	65
<b>Tableau 31</b>	Mesure de l'angle de talus de la masse céramique témoin	65
<b>Tableau 32</b>	Mesure de l'angle de talus de la masse céramique contenant le liant vitrifié composite.	66
<b>Tableau 33</b>	Estimation de l'angle de mouvement et de repos de la masse céramique préparée.	66
<b>Tableau 34</b>	Masse volumique de la masse céramique.	67
<b>Tableau 35</b>	Compacité de la masse céramique.	68
<b>Tableau 36</b>	Mesure de la dispersibilité de la masse céramique au liant vitrifié composite.	68
<b>Tableau 37</b>	Densité d <sub>2</sub> des meules confectionnées.	70
<b>Tableau 38</b>	Evolution du rendement des meules produites en fonction de la température de cuisson.	72
<b>Tableau 39</b>	Composition chimique de la chamotte de Benadouane.	75
<b>Tableau 40</b>	Teneur en eau de la chamotte de Benadouane.	76
<b>Tableau 41</b>	Analyse granulométrique de la chamotte de Benadouane.	76
<b>Tableau 42</b>	Densité après tassage de la chamotte de Benadouane.	77
<b>Tableau 43</b>	Mesure de l'angle de talus de la masse céramique contenant la chamotte.	78
<b>Tableau 44</b>	Estimation de l'angle de mouvement et de repos de la masse céramique préparée.	78
<b>Tableau 45</b>	Masse volumique de la masse céramique contenant la chamotte.	79

## Liste des tableaux

---

<b>Tableau 46</b>	Compacité de la masse céramique contenant la chamotte.	79
<b>Tableau 47</b>	Mesure de la dispersibilité de la masse céramique contenant la chamotte.	80
<b>Tableau 48</b>	Densité $d_2$ des meules confectionnées.	81
<b>Tableau 49</b>	Evolution du facteur de rendement des meules contenant la chamotte en fonction de la température de cuisson.	83
<b>Tableau 50</b>	Distribution des grains abrasifs F 54, F 60 et F 70.	94
<b>Tableau 51</b>	Liste des tamis utilisés pour l'analyse granulométrique au sein de l'ABRA-Saida.	94

## Liste des abréviations

- FEPA:** Federation of European Producers of Abrasives.
- CBN:** Nitrure de Bore Cubique.
- V<sub>217</sub>:** Liant vitrifié.
- S<sub>1</sub>, S<sub>2</sub>:** Frittés.
- S<sub>20</sub>:** Feldspath sodique.
- S<sub>22</sub>:** Feldspath argileux.
- S<sub>30</sub>:** Argile West Walder.
- S<sub>40</sub>:** kaolin.
- PAF:** Perte Au Feu.
- IH:** Indice d’Hausner.
- IC:** Indice de Carr.
- $\alpha_m$ :** Angle de mouvement.
- $\alpha_r$ :** Angle de repos.
- C:** Compacité.
- Z<sub>9</sub>:** Cire.
- Z<sub>6</sub>:** Chlorothene.
- R:** Facteur de rendement mécanique des meules confectionnées.
- F54:** Corindon Supérieur Blanc de dimension [250 – 355 $\mu$ m].
- F60:** Corindon Supérieur Blanc de dimension [212 – 300 $\mu$ m].
- F70:** Corindon Supérieur Blanc de dimension [180 – 250 $\mu$ m].



Introduction  
générale



## Introduction générale

Le potentiel en ressources minérales est énorme en Algérie [01]. Ces ressources réparties à travers tout le territoire national, sont diverses et comprennent les métaux de base (cuivre, cobalt, zinc, manganèse, fer, nickel, chrome,...), les substances précieuses (or, diamant, argent,...), les substances énergétiques (uranium, palladium, radium,...) et les substances minérales industrielles (calcaire, gypse, kaolin,...). La filière de la céramique pourtant très prometteuse et qui utilise, comme matières premières, ces substances, compte parmi les secteurs les plus attrayants dans la majeure partie du pays [02]. La Wilaya de Saida ne fait pas exception à cette règle avec ces briqueteries, sa cimenterie ainsi que son entreprise de production des abrasifs agglomérés.

Seulement, l'industrie céramique compte parmi les secteurs les plus gourmands en énergie ; la majorité des produits céramiques sont obtenus par frittage (cuisson), généralement entre 900 et 1500°C. La tendance actuelle dans cette industrie est de réduire au maximum la durée et la température du frittage des produits. L'optimisation des compositions des matières premières naturelles et/ou synthétiques et celle des procédés nécessaires à la fabrication de produits aux caractéristiques d'usage satisfaisantes, sont au cœur des préoccupations des industriels et des laboratoires de recherche [03].

Parmi les unités de production dans le domaine de la céramique située à Saida, nous citons l'industrie des produits abrasifs, ABRA-Saida. La dite entreprise produit des meules abrasives, un outil de coupe utilisé pour le meulage.

Le meulage est généralement employé dans les opérations de finition et de rectification des surfaces [04].

Le produit phare de cette entreprise est la meule agglomérée classée dans la catégorie des meules abrasives à liant vitrifié. Ces outils de coupe sont utilisés dans de nombreuses opérations d'usinage de métaux et plus particulièrement pour le meulage de précision. Chaque meulier cherche à avoir la meilleure performance au meulage, c'est à dire un enlèvement de matière le plus élevé possible sans détériorer la pièce et avec une durée de vie maximale [05]. Et c'est le défi que doit soulever l'entreprise ABRA-Saida afin de performer son produit avec un cout défiant toute concurrence.

C'est dans ce contexte que s'inscrit la présente dissertation qui concerne une perspective de développement local durable et de la valorisation des ressources naturelles locales.

L'unité ABRA-Saida produit des céramiques techniques de coupe " les meules " à partir des matières provenant du territoire national et de l'importation. Ses produits trouvent une concurrence sur le marché avec des produits d'importation qui sont moins chers et plus efficaces [06].

L'objectif principal de ce travail est la caractérisation de la masse céramique en particulier le liant vitrifié produit par ABRA-Saida et de là, étudier la possibilité d'utiliser des matières premières de substitution afin de réduire le coût de la meule produite pour qu'elle soit concurrentielle sans pour autant diminuer de son efficacité.

Notre choix s'est porté sur des déchets de matériaux de construction soit les chamottes de la briqueterie de SARL BMSD Benadouane Saida, ainsi que les débris de verre que nous pouvons se procurer après tri de déchets ménagers ou chez les vitriers. Notre produit a été par la suite analysé afin de prouver son efficacité.

Cette étude est scindée en cinq chapitres :

- Le premier chapitre est consacré à une présentation sur les abrasifs, les types de liants composant une meule abrasive et son procédé de fabrication.
- Le deuxième chapitre expose les différentes méthodes expérimentales utilisées lors de notre étude.
- Le troisième chapitre est exclusivement dédié à la caractérisation des matières premières utilisées dans l'unité d'ABRA-Saida.
- La substitution du liant vitrifié par du déchet de verre afin de produire un liant vitrifié composite est abordée dans le quatrième chapitre.
- Le dernier chapitre se rapporte aux travaux de substitution de la fritte  $S_2$ , l'un des composants du liant vitrifié par la chamotte de SARL BMSD Benadouane Saida.

Et enfin, une conclusion générale qui synthétise les principaux résultats obtenus et les perspectives scientifiques appliquées offertes par cette recherche, clôturent ce travail.

# Chapitre I :

**R**evue  
bibliographique

## Chapitre I : Revue bibliographique

### I.1.Introduction :

Les céramiques sont utilisées pour fabriquer des meules, des papiers abrasifs ou des poudres à projeter. On fait intervenir des produits naturels comme la silice, le diamant, ou des produits synthétiques comme le carbure de silicium ou l'alumine. Les abrasifs sont utilisés pour les opérations de meulage, de rectification, de coupe, de polissage ou de super finition. [07]

### I.2.Meulage :

Le meulage figure parmi les opérations de parachèvement utilisées pour l'ébavurage, la mise à la cote, la rectification et la finition de pièces mécaniques. Pour les matériaux céramiques, cette technique peut être étendue à des opérations de finition pour l'élimination de défauts de surface [08].

Le meulage a pour objectif d'usiner la matière grâce à l'action abrasive de grains céramiques. Lors du meulage, chaque grain agit comme un outil de coupe, ce qui provoque la formation de copeaux. Les meules sont des matériaux poreux composés de grains abrasifs et d'un liant vitreux ou organique [05].

### I.3.Meule abrasive :

La meule est un corps composite de révolution constitué en général d'un ensemble de grains abrasifs, d'une matrice appelée liant et d'un volume d'air conférant à la meule une certaine porosité [09, 10] (Figure 01).

Les teneurs en grains abrasifs et en liant dans le mélange ont été déterminées par des essais préliminaires[11].

Dans notre étude, nous nous concentrons sur les meules vitrifiées. Ce sont des matériaux poreux (35-55% vol) constitués de grains abrasifs maintenus entre eux par un liant vitrifié [12].

Celui-ci est généralement composé d'Alumine  $Al_2O_3$ , de Silice  $SiO_2$ , d'oxydes alcalins et d'oxydes de terres rares [13].

Porté à une température comprise entre 900°C et 1300°C, le liant se vitrifie ce qui confère à la meule sa résistance mécanique [05].

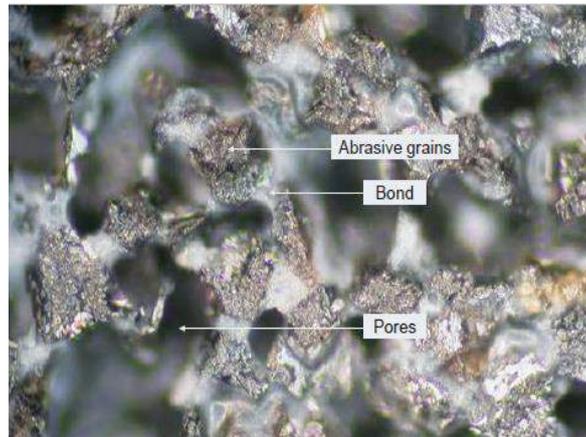


Figure 01 : Photo meule abrasive. [14]

Les meules abrasives à liant vitreux sont utilisées dans de nombreuses opérations d’usinage de métaux et plus particulièrement pour le meulage de précision [05].

La désignation des meules est régie par une nomenclature selon la norme ISO R 525.

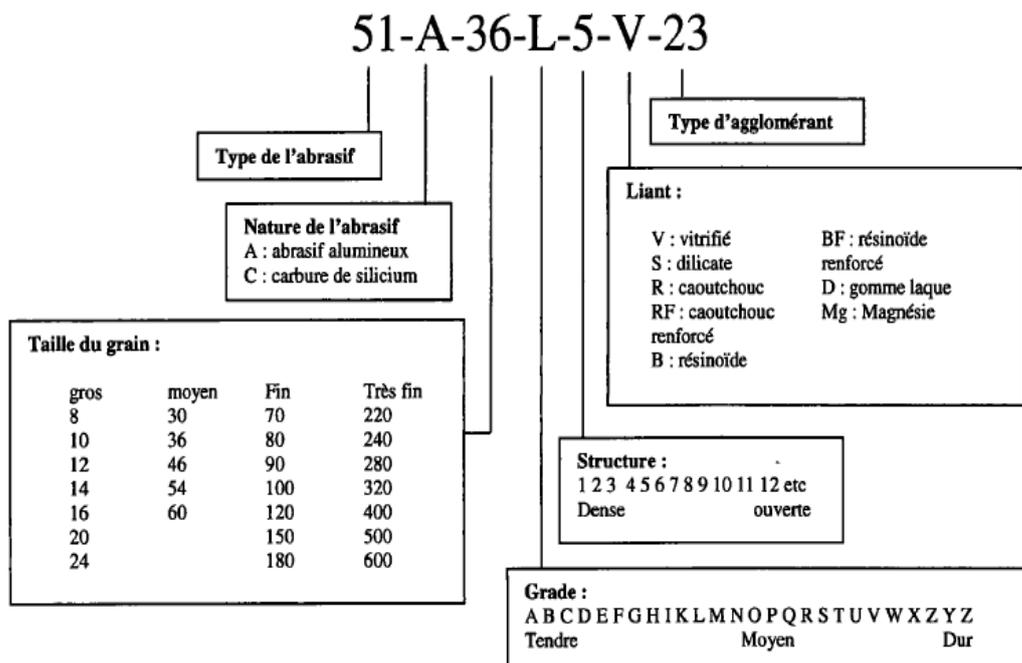


Figure 02 : Spécifications sur une meule abrasive. [09]

La figure 02 présente les spécifications que l’on doit noter sur une meule abrasive. Dans ce qui suit nous passons en revue les composants principaux de la meule abrasive.

**I.4.Grains abrasifs :**

Les grains abrasifs à l'état naturel sont le quartz, l'émeri, le grenat, le corindon. Ils ont cédé la place aux abrasifs industriels plus performants et de caractéristiques plus homogènes. Ces derniers sont composés d'oxyde d'aluminium, de carbure de silicium, de zirconium, de nitrure de bore cubique ou de diamant [15].

Un grain abrasif se définit par de nombreux paramètres. On peut citer la forme, la rugosité, la structure cristalline, la conductivité thermique et la dureté [16]. Les grains abrasifs sont solidaires d'un support : meule, bande, fil...[17].

Les grains durs qui coupent, les plus courants sont l'alumine  $Al_2O_3$  (Corindon) et le carbure de silicium. Les abrasifs extra-durs, nitrure de bore cubique (borazon) et diamant sont moins utilisés en raison de leur coût. L'alumine correspond à 80% du marché des meules [18].

Il existe plusieurs sortes de grains abrasifs que l'on peut utiliser : l'oxyde de zirconium, le carbure de silicium, l'oxyde d'aluminium. [19]

Ce sont généralement des abrasifs naturels ou artificiels. [20]

**I.4.1.Abrasifs naturels :**

Les premiers abrasifs utilisés en fabrication mécanique étaient d'origine naturelle. Les poudres d'Émeri, de Corindon et de Grenat ont été les seuls abrasifs disponibles jusqu'à l'introduction du premier produit synthétique [20].

**I.4.2.Abrasifs synthétiques :**

Les abrasifs synthétiques ont été produits depuis plus de 50 ans. Les méthodes de fabrication ont été perfectionnées durant ce temps à une telle ampleur que presque tous les abrasifs utilisés en fabrication mécanique aujourd'hui sont synthétiques [20]. Les plus largement utilisés sont les poudres d'oxyde d'aluminium. Ils varient du bronze au blanc pur en couleur, selon les impuretés résiduelles. Deux autres abrasifs synthétiques importants sont le carbure de silicium (SiC) et le carbure de bore ( $B_4C$ ) [20].

**I.4.2.1.Carbure de silicium :**

Le carbure de silicium est le plus dur et le plus aigu des matériaux employés dans les abrasifs appliqués. C'est l'abrasif idéal pour le ponçage des métaux non ferreux (aluminium, laiton, bronze, magnésium, titane, etc.), le caoutchouc, le verre, les plastiques, les bois fibreux, l'émail et les autres matériaux relativement tendres. Le carbure de silicium est

supérieur à tout autre abrasif par sa faculté de pénétration et de coupe plus rapide sous une pression légère [19].

#### **I.4.2.2.Diamant :**

Les abrasifs en diamant jouent un rôle toujours croissant dans la fabrication mécanique, et des semi-conducteurs. Ils sont utilisés sous forme de poudre comme une suspension en diamant, ou ils sont liés dans une matrice métallique ou organique pour les utiliser sous plusieurs formes d'outils en diamant [20].

#### **I.4.2.3.Oxyde de zirconium :**

Cet oxyde possède une caractéristique d'auto-affûtage unique qui lui confère une grande longévité dans les opérations à fort enlèvement de matière. Il convient bien à l'ébarbage grossier des métaux et à l'aplanissement du bois, la rupture contrôlée du grain produisant en permanence de nouveaux points d'abrasion aigus [19].

#### **I.4.2.4.Oxyde d'aluminium synthétique :**

L'oxyde d'aluminium  $Al_2O_3$  (Alumine) est l'un des oxydes qui sont extrêmement importants pour la fabrication [20].

Résistant, cet oxyde est bien adapté à l'ébarbage de matériaux de haute ductilité comme l'acier au carbone, les aciers alliés, le bronze et les bois durs. Lorsque la résistance (capacité à résister à la rupture) est la principale préoccupation, l'oxyde d'aluminium s'avère supérieur à tous les autres grains abrasifs appliqués [19]. Parmi les diverses variétés de grains d'alumine, nous pouvons citer le corindon utilisé dans cette présente étude.

La structure du corindon appartient au système rhomboédrique, groupe spatial  $R\bar{3}c$ , les paramètres du réseau à température ambiante sur une maille hexagonale sont  $a = 0,4759$  nm et  $c = 1,299$  nm, avec  $Z = 6$ . Le cristal peut être décrit comme un empilement anionique  $O_2^-$  compact hexagonal, dans lequel les deux tiers des interstices octaédriques  $Al_3^+$  sont occupés par des cations [21]. On considère que la liaison alumine est ionique pour les deux tiers et covalente pour le tiers restant des liaisons.

L'aluminium, fait de l'alumine l'un des composés dont les distances interatomiques sont les plus courtes, ce qui lui confère une dureté très élevée (9 sur l'échelle de dureté Mohs où le quartz est classé à 7), un point de fusion élevé (2050°C) et une températures d'ébullition qui s'élève à 3500°C.

**I.5.liants :**

Le liant a deux fonctions essentielles dans la conception d'une meule. La première est d'équilibrer les forces exercées par la pièce ou le copeau sur le grain actif. La seconde est de donner une certaine rigidité globale à la meule de manière à résister aux forces centrifuges mais aussi à transmettre la puissance délivrée par la broche [09].

Le problème fondamental dans le développement de tels composites, en dehors des grains abrasifs, est le choix du liant.

La formation des liaisons entre les grains abrasifs et le liant résulte de l'interaction physico-chimique au cours du procédé de traitement thermique. Une mince couche d'émail est formée entre les grains qui les lient les uns aux autres avec un système de pontage. Ce phénomène est dû à la fusion des composants du liant aux températures élevées soit dans le domaine 800 - 1200°C. Ceci dépend principalement de la composition chimique des liants [22].

Le liant peut être céramique, résinoïde, caoutchouteux ou même métallique. Le choix du liant est en fonction du type et de la taille de la meule, du procédé de fabrication, de la durée de la mise en forme de la meule et le coût des matériaux pré frittés [23].

**I.5.1.Liant résinoïde (bakélite) :**

Ce type de liant est utilisé principalement comme agglomérant des grains abrasifs fins : diamant et CBN. Le grain est enrobé dans la résine utilisée comme liant.

C'est une résine synthétique généralement à base de phénol et de formol. Une fois polymérisé, ce liant présente une excellente résistance à la force centrifuge. Il est caractérisé par un module 8 d'élasticité et de conductivité thermique supérieur à ceux des liants vitrifiés [24].

La porosité de la meule bakélite est nettement plus faible que celle des meules à liant céramique et ainsi, la structure obtenue est plus dense.

Il en résulte une force de rétention du grain importante qui est exploitée pour des travaux de tronçonnage, d'ébarbage avec des débits matière élevés. L'échauffement du liant et la pression exercée par les copeaux à l'interface meule/pièce permettent de créer une porosité et une ouverture de la meule en surface [09].

Les liants organiques ou résineux offrent une souplesse beaucoup plus élevée (le contraire de la rigidité) par rapport aux autres types, et sont capables de résister à des conditions de meulage difficiles telles que les vibrations et les forces latérales importantes. Ces caractéristiques font des liants organiques particulièrement adaptées aux applications de

---

meulage grossier à haut taux d'enlèvement de matière, telles que les opérations de conditionnement ou de coupe abrasive. Ils sont également bénéfiques pour le meulage de précision de matériaux ultra-durs tels que le diamant ou la céramique dure [25].

### **I.5.2.Liants métalliques :**

Les liants métalliques ne sont utilisés qu'avec des abrasifs extra durs, diamant ou nitrure de bore. La grande résistance du métal rend la libération de grains presque inexistante et dans ce type de meule, on compte essentiellement sur la grande dureté des grains qui allongera leur vie [18].

Les liants métalliques offrent une excellente résistance à l'usure et une excellente capacité du maintien de forme. Ces liants peuvent être des matériaux sous forme monocouches (plaques) ou multicouches qui sont caractérisées par une dureté et densité élevées.

Les éléments couramment utilisés dans les liants métalliques sont le bronze, divers alliages de cobalt et de nickel, les aciers et les carbures cémentés. Les températures de maturation varient de 500°C pour les bronzes à 1200°C pour les carbures cémentés. La cuisson s'effectue dans des atmosphères neutres ou réductrices.

En général, des liants plus souples sont utilisés avec des matériaux de travail durs et denses, tandis que les plus durs sont utilisés pour meuler des matériaux relativement doux mais abrasifs. Par exemple, les liants bronze sont couramment utilisés sur l'alumine dense, les carbures cémentés et les cristaux de quartz, tandis que les liants carbure sont souvent utilisés pour la coupe des pierres, le rainurage des autoroutes en béton et les pierres de taille [26].

### **I.5.3.Liant céramique ou vitrifié :**

Les nouvelles technologies de l'adhésion des grains abrasifs sur l'outil de coupe ont fait l'objet de peu de travaux publiés en comparaison avec d'autres branches de la science (protection juridique des nouveaux modèles). Seules quelques publications, qui ont contribué à améliorer les liants, sont disponibles [27, 28].

Le liant vitrifié est le plus utilisé. Pour un abrasif alumineux, celui-ci est proche du verre alors que le carbure de silicium s'apparente plus au grès ou à la porcelaine. Les liants céramiques peuvent être réalisés avec un volume de pores contrôlable et en diverses duretés.

Les résistances des ponts de liants sont suffisantes pour des opérations jusqu'à des vitesses de 35m/s et leur rupture sous la pression exercée lors de la coupe s'effectue dans de bonnes conditions de manière à garantir l'évacuation des grains usés et un auto-affûtage [09].

Les liants vitrifiés sont très utilisés dans l'industrie pour des applications de production en séries qui nécessitent une grande précision [29].

Les liants vitrifiés sont de même structure que la porcelaine, ils sont composés principalement de feldspath, d'argile et de silice. La teneur de ces composants dépend de l'application réalisée avec le meulage (affûtage d'outils, rectification...) et des contraintes de meulage (taux d'enlèvement de matière, échauffement...). Par contre les liants vitreux sont principalement en verre ou provenant d'un système comportant plusieurs composants issus de produits chimiques synthétiques de pureté très élevée [30, 31]. On peut distinguer des liants à basse température de fusion (température de frittage allant jusqu'à 730°C), moyenne (température de frittage jusqu'à 880°C) et température de fusion élevée (température de frittage supérieure à 900°C) [32]. Les liants vitrifiés sont chimiquement stables avec l'eau et l'agent de lubrification. Seuls les acides borique et fluorhydrique peuvent attaquer chimiquement le liant vitrifié [24].

Le liant vitrifié possède une bonne stabilité à haute température, une bonne rigidité et une bonne capacité à supporter un niveau élevé de porosité [10]. Les abrasifs inorganiques ne contiennent souvent qu'une faible quantité d'argile [33].

Les liants vitrifiés sont composées de phase vitreuse qui se forme lorsque les argiles, les frites, les flux minéraux tels que les feldspaths et les flux chimiques tels que le borax atteignent la température de fusion lors du traitement thermique de la meule à des températures élevées [23].

Les liants vitrifiés offrent une excellente aptitude à l'affutage et un comportement de coupe libre lors du meulage de précision des matériaux ferreux tels que l'acier trempé ou les alliages à base de nickel.

Les liants vitrifiés sont généralement utilisés pour des processus de meulage à haute performance et en comparaison avec d'autres types de liants, les liants vitrifiés permettent un habillage facile tout en possédant en même temps des niveaux élevés de résistance à l'usure [34].

Contrairement aux liants résinoïdes et métalliques, la porosité de la meule vitrifiée peut être ajustée en variant la formulation et le procédé de fabrication.

Le feldspath et les argiles sont généralement utilisés comme matériaux liants dans les meules vitrifiées [35]. Les liants vitrifiés sont composées d'un mélange de quartz, de feldspath, d'argile, de minéraux borates et de frites broyées [36].

### **I.5.3.1.Feldspath**

Ce sont des minéraux constitués par des silico-aluminates de sodium de potassium et de calcium, leur action vitrifiant varie suivant la nature de l'élément fondant.

Les feldspaths les plus purs fondent à des températures diverses, généralement supérieurs à 1200°C en un verre incolore extrêmement visqueux [37]. Les feldspaths sont des minéraux essentiels dans la formulation des matières premières utilisées dans l'industrie céramique traditionnelle, notamment dans la fabrication des carreaux de sol. D'une part, ils jouent le rôle d'agent dégraissant pendant la mise en forme du tesson cru. D'autre part, du fait de leur composition chimique (richesse en oxydes alcalins tels que  $\text{Na}_2\text{O}$  et  $\text{K}_2\text{O}$ ), ils favorisent la formation d'une phase vitreuse à bas point de fusion au cours de la cuisson (rôle de fondant énergétique) [38]. Ainsi donc, la température de cuisson des pâtes argileuses se trouve sensiblement réduite par l'emploi de feldspaths. Le granite, la pegmatite, la néphéline, la syénite et l'aplite sont les principales sources de feldspath usitées dans l'industrie céramique.

### **I.5.3.2.Silice**

La silice fusionne en verre incolore à plus de 1800°C. On trouve différentes variétés de silice sous la forme de galets ou de sable. C'est l'oxyde fondamental du verre, c'est le principal formateur de verre tant par ses qualités que par son abondance et donc son prix attractif.

Il existe plusieurs formes de silice. La plus couramment employée dans le domaine des céramiques est le quartz, mais lors de l'échauffement la silice est susceptible de passer d'une forme à l'autre. Les quatre formes de silice sont : le quartz, la tridymite, la cristobalite, et la silice vitreuse [21]. La forme la plus courante étant le quartz, la cristobalite étant souvent commercialement trouvée sous le nom de silice amorphe.

### **I.5.3.3.Quartz**

Le quartz est souvent sous forme de sable, ou dans des roches en filons. Il se présente soit sous la forme de grands cristaux incolores, colorés ou fumés, soit sous la forme de cristaux microscopiques d'aspect translucide (calcédoine).

### **I.5.3.4.Frittes** (verre de composition prédéfinie)

La fritte est une composition céramique fondue et trempée pour former un verre et se présente généralement sous forme granulée. Les frittes sont des composés vitreux, insolubles dans l'eau, qui sont préparés à partir de matières cristallines fabriquées par une fusion à haute température (1500°C) suivie d'un refroidissement rapide.

### **I.5.3.5.Kaolin**

Les kaolins sont des matières premières céramiques à base de kaolinite. Cette argile blanche, douce, friable, réfractaire, contient autant d'aluminium que de silice [39]. Riche en silice et peu concentrée en sels minéraux, elle est utilisée pour la fabrication de porcelaine et de céramique. C'est une des rares argiles inerte chimiquement [40].

Leur plasticité est variable et dépend essentiellement de la forme et de la finesse des particules de kaolinite. En général, les kaolins les plus plastiques sont souvent les plus résistants en cru et sont formés de particules inférieures au micron. Les kaolins constituent l'un des composants de base des pâtes vitrifiables

### **I.5.3.6.Argile**

Les argiles sont généralement constituées de structures dont les dimensions et la forme conditionnent la plasticité en présence d'eau. En particulier, une teneur élevée en fines particules (de l'ordre du micron) est caractéristique des argiles très plastiques. Ces données caractérisent également l'aptitude au séchage (retrait et durée) ainsi que la cohésion en cru. En effet, plus grande est la proportion de fines particules, plus sont importants les temps de séchage, le retrait et la tendance à la déformation ; c'est pourquoi il est courant d'introduire des matières grossières et dégraissantes pour supprimer ces inconvénients. À la cuisson, les minéraux des argiles perdent leur eau, puis, à partir de 975°C, la silice et l'alumine peuvent former de la mullite [41].

**I.6.Procédé de fabrication :**

Notre étude est focalisée sur les abrasifs inorganiques constitués de grains abrasifs, d'agents liants et de plusieurs additifs qui sont malaxés, façonnés, séchés et cuits [42].

Lors de la fabrication des abrasifs inorganiques, on utilise également des substances auxiliaires pour obtenir les caractéristiques et les formes requises [33]. Toutefois, ces substances auxiliaires ne constituent pas des ingrédients du produit final.

Pour fabriquer des abrasifs inorganiques, il faut des agents liants temporaires pour que le mélange de grain et de liant conserve sa forme avant la cuisson. Pour ces liants temporaires, on utilise, au choix, des colles hydrosolubles, des émulsions de cire, de l'amidon transformé de type dextrine, des préparations au polyoxyéthylène, des ligno- sulfonâtes, des produits de condensation d'urée formaldéhyde transformés, des résines synthétiques etc...[33].

Les opérations de broyage et de malaxage sont incontournables dans un procédé de fabrication de pièces en céramique.

Selon les cas, ces opérations sont effectuées (Figure 03) en mélangeant la matière première (grain abrasif) avec un liant dans un malaxeur pendant 10 minutes puis le mélange est pressé au moyen d'une presse hydraulique.

Les meules bakélites mises en forme, sont cuites à l'étuve à 200°C, tandis que les meules céramiques finiront dans un four à 1200°C.

Après la cuisson, les meules sont dirigées vers le poste de finition, ensuite elles sont contrôlées rigoureusement pour finalement être commercialisées [06].

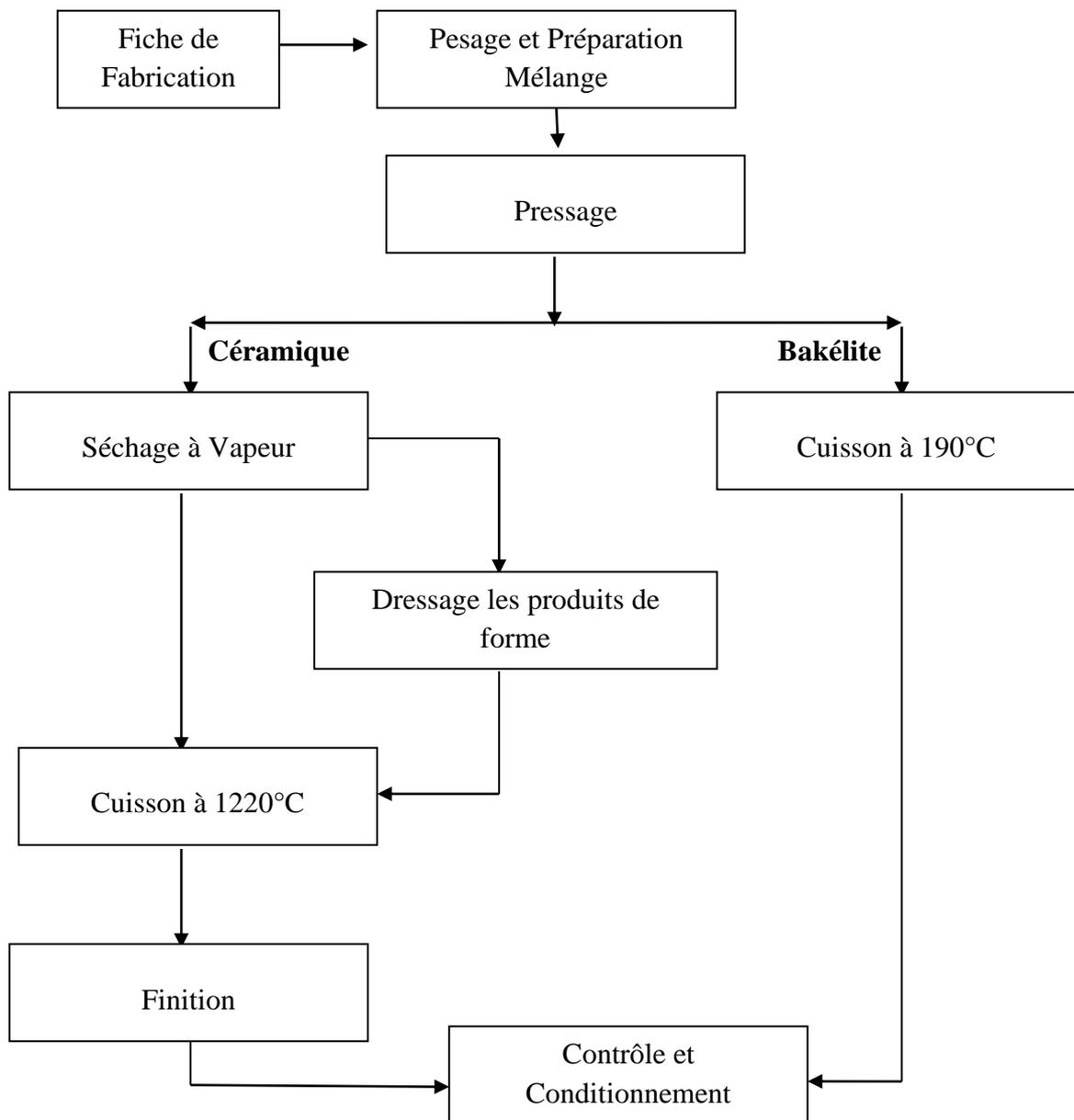


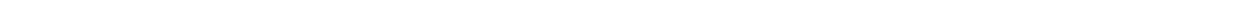
Figure 03 : Logigramme de Production « Process des Abrasifs liés ». [43]

# Chapitre II

M

éthodes

d'investigation



## Chapitre II : Méthodes d'investigation

Ce chapitre est consacré à la présentation des mesures effectuées pour caractériser la matière première ainsi que les produits élaborés avant et après cuisson. A cet effet, les méthodes expérimentales employées ainsi que les conditions d'analyses ou de mesures y sont exposées. Aussi, nous exposons dans ce chapitre les procédés d'élaboration des meules abrasives agglomérées confectionnées dans cette étude.

### II.1.Spectrométrie de fluorescence des rayons X :

Cette méthode sert à identifier et à doser tous les éléments chimiques dans leurs combinaisons les plus diverses.

L'échantillon à analyser est irradié par des rayons X de haute intensité. De ce fait les éléments contenus dans la préparation sont excités et émettent un rayonnement de fluorescence spécifique à chacun d'eux par réflexion sur un cristal analyseur. Ce rayonnement sera décomposé en raies spectrales dont l'intensité mesurée sera le reflet de l'identité et de la concentration des éléments analysés.

Le spectromètre utilisé dans notre travail est de type « PANalytical ZETIUM » (figure 04) du laboratoire de contrôle et d'analyse de la cimenterie de Saida.



**Figure 04 : Spectromètre de Fluorescence des Rayons X (XRF)  
Type PANalytical ZETIUM.**

### II.2.Détermination de la perte au feu PAF :

La perte au feu est déterminée par calcination; le gaz carbonique et l'eau sont chassés et les éléments oxydables éventuellement présents sont oxydés [44].

**Procédure :**

Dans un creuset pré-calciné, on met 1 g d'échantillon que l'on introduit au four à moufle type « CONTROLAB » pendant 30 min à 1000°C. Une fois refroidi, le creuset est pesé. La perte au feu est déterminée par l'expression suivante :

$$\text{PAF (\%)} = \frac{P_1 - P_2}{P_1} \times 100 \dots \dots \dots (1).$$

Tel que :

**P<sub>1</sub>** : masse du creuset avec 1 g de l'échantillon (g).

**P<sub>2</sub>** : masse du creuset refroidi (g).

**II.3. Détermination de la teneur en eau physisorbée:**

Une importante teneur en eau des matières premières pour liant a pour conséquence une formation de nodules, un mauvais usinage et finalement une détérioration de la qualité de la meule. Il est important d'estimer l'humidité de ces matières avant leur utilisation dans le procédé de fabrication. Pour cela, on détermine la différence de masse de la matière première avant et après séchage dans une étuve à une température de 125°C pour une durée d'une heure.

**Procédure :**

2,5 g d'échantillon de masse **m<sub>1</sub>** a été étuvé à 125°C pendant une heure puis refroidi dans un dessiccateur pendant 30 min. Enfin, la masse de l'échantillon étuvé est notée **m<sub>2</sub>**. La balance utilisée est de type « KERN pcb » de précision ± 0,01g.

La teneur en eau est exprimée comme suit :

$$\text{Teneur en eau (\%)} = \frac{m_2}{m_1} \times 100 \% \dots \dots \dots (2).$$

**II.4. Analyse morphoscopique par stéré microscope :**

L'observation au stéré microscope (figure 05) donne une image agrandie et en relief. Cette analyse permet de détecter des impuretés en comparant la couleur ou la grosseur des grains de l'échantillon avec une référence.



**Figure 05 : Stéréo microscope de type  
ZEISS 47 50 22.**

***Procédure :***

On utilise des couches fines de l'échantillon référence et de la matière à analyser, une à côté de l'autre, sur un verre au cobalt, afin de pouvoir apprécier simultanément au microscope les deux échantillons (figure 06). On a sélectionné un grossissement (x4) adapté à l'échantillon à observer.



**Figure 06: Verre au cobalt.**

Des impuretés ou de gros grains peuvent être discernés plus ou moins facilement et signalés par cette méthode.

**II.5. Analyse granulométrique :**

L'analyse granulométrique présente la répartition en pourcentage des particules solides selon leurs dimensions. Elle a été déterminée par tamisage pour les grains abrasifs

donc pour les particules de diamètre supérieur à 100  $\mu\text{m}$  et par tamisage par voie humide pour les particules les plus fines soit le liant vitrifié et ses composants.

### II.5.1. Analyse granulométrique des grains abrasifs :

L'analyse granulométrique représente un élément essentiel du contrôle des grains abrasifs. Il faut assurer que la grosseur des grains abrasifs utilisés pour la fabrication reste constante.

A l'aide de la désignation des tamis et distribution des grains et la fiche des tamis utilisés par l'unité ABRAS (Annexe I), on vérifie la granulométrie des grains.

#### *Procédure :*

On pèse 100 g des grains abrasifs que l'on met sur le tamis supérieur d'une série de 05 tamis d'ouvertures diverses disposée sur le tamiseur de type « Testing Sieve Shaker » (Figure 07) pour une durée de 05 min.

Enfin d'opération, on pèse les différents refus **P** sur les divers tamis. La balance utilisée est de type « KERN pcb » de précision  $\pm 0,01$  g.



**Figure 07 : Tamiseur de type Testing Sieve Shaker.**

Le refus est estimé comme suit:

$$\text{Refus (\%)} = (P/100\text{g}) \times 100\% \dots\dots\dots(3).$$

**P:** masse du refus (g).

### II.5.2. Analyse granulométrique par voie humide du liant vitrifié :

Le tamisage est effectué par voie humide. L'échantillon mis en suspension passe au travers du tamis à l'aide d'un jet d'eau léger (figure 08). Ainsi les agglomérats de la matière première seront bien dispersés.



**Figure 08 : Tamisage par voie humide.**

#### *Procédure :*

10 g ( $m_1$ ) d'échantillon passe au travers d'un tamis d'ouverture 74  $\mu\text{m}$ . Le refus récupéré du tamis est en suite étuvé à 125°C pendant une heure. Le refus ainsi étuvé est placé dans un dessiccateur pendant 30 min. Le refus enfin de l'opération est pesé ( $m_2$ ). La balance utilisée est de type « KERN pcb » de précision  $\pm 0,01$  g.

Le refus de tamisage R est estimé en pourcentage comme suit :

$$R (\%) = \frac{m_2}{m_1} \times 100 \dots \dots \dots (4).$$

### II.6. Détermination des densités :

Les paramètres densitométriques d'un tas de grains peuvent affecter les procédés des matériaux incluant l'écoulement, le mélange, et le compactage [45]. Le terme « densité » est utilisé en remplacement de « masse volumique ». L'utilisation de cet anglicisme est un rapprochement direct avec la littérature scientifique. Nous exposons en ce qui suit la procédure de détermination de la densité apparente libre et de la densité apparente après tassement.

### II.6.1. Détermination de la densité apparente "D" des grains abrasifs :

La densité apparente des grains abrasifs dépend de leur forme et de leur grosseur. Cette grandeur est déterminée par un dispositif de détermination du poids en vrac des grains abrasifs selon la norme FEPA. Ce dispositif de laboratoire de contrôle de qualité de l'unité ABRA-Saida (figure 09) est composé d'un entonnoir en tôle de zinc obturé par un Clapet oscillant et d'un récipient cylindrique de volume  $V_0 = 205 \text{ cm}^3$  et de masse  $M_0 = 811 \text{ g}$ .



**Figure 09 : Dispositif de détermination de la densité apparente des grains abrasifs.**

**Procédure :** (figure 10).

On remplit 75% du volume de l'entonnoir avec le grain abrasif (figure 10.a). Ensuite, on fait glisser le clapet oscillant sous l'entonnoir jusqu'à ce que le grain déborde dans le récipient cylindrique (figure 10.b). Le tas de poudre dépasse le haut du cylindre formant ainsi un cône (figure 10.c).

On arase le grain avec une règle à araser, de telle sorte d'aplatir parfaitement la surface du récipient cylindrique (figure 10.d). On pèse le récipient cylindrique ainsi rempli (figure 10.e). Soit  $M_1$ .

La densité apparente est calculée comme suit :

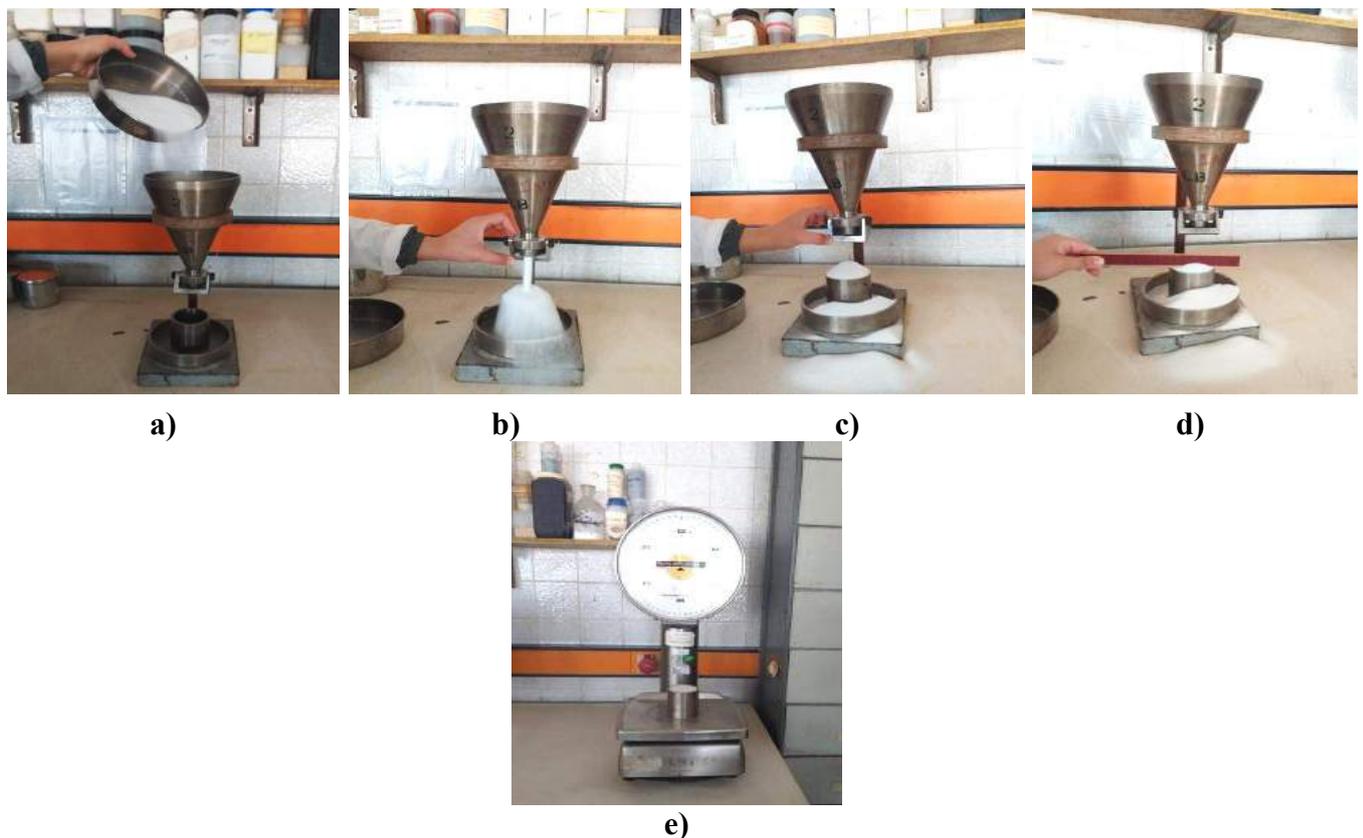
$$D = (M_1 - M_0) / (V_0) \quad (\text{g/cm}^3) \dots \dots \dots (5).$$

$M_0$  : la masse de récipient cylindrique vide (g).

$M_1$  : la masse de récipient cylindrique avec l'échantillon (g).

**II.6.2. Détermination de la densité apparente après tassement "D<sub>t</sub>" :**

La densité après tassement est mesurée dans une éprouvette graduée, après tassement sous des conditions bien déterminées (jusqu'à l'arrêt de la diminution du volume) dans un appareil spécifique : le volumétre, pour une masse bien définie de la poudre. Le quotient de la masse de la poudre (en g) sur son volume apparent (en cm<sup>3</sup>) représente la densité apparente après tassement (en g/cm<sup>3</sup>).



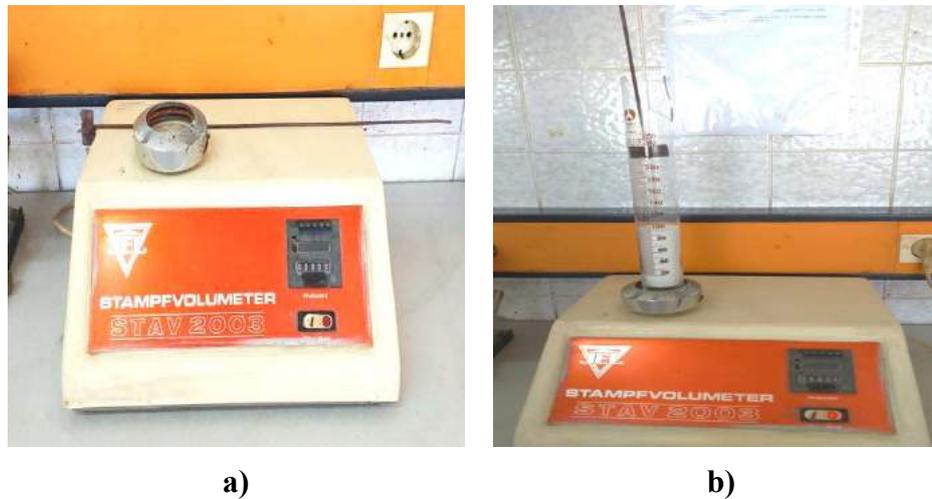
**Figure 10 : Détermination de la densité apparente "D" des grains abrasifs.**

**Procédure :**

On pèse 100 g de l'échantillon (**m**). La balance utilisée est de type « KERN pcb » de précision  $\pm 0,01$  g. La poudre est tassée dans le cylindre de mesure de capacité 250 ml, de manière à ce qu'il n'y ait pas de formation d'espaces vides et que la surface soit horizontale.

Ensuite, on serre le cylindre de mesure dans le porte-cylindre du volumétre de tassement et on tasse l'échantillon 1250 fois. Le volume est lu en ml près (**V**). Le

voluménomètre de tassement utilisé est de type "JEL STAV 2003 SATAMPF VOLUMETER" (Figure 11).



**Figure 11 :Voluménomètre Type " JEL STAV 2003 SATAMPF ".**

La densité après tassement est indiquée en  $\text{g/cm}^3$  comme suit :

$$D_t (\text{g/cm}^3) = m/V \dots\dots\dots(6).$$

## II.7.Comportement du liant vitrifié et ses composants à la cuisson :

L'objectif de ce test est d'étudier le comportement macroscopique en cours de frittage de la poudre à étudier.

Deux essais sont standardisés : selon la norme FEPA.

### II.7.1.Détermination du comportement à la fusion ou au frittage dans le creuset :

L'essai qualitatif du comportement à la fusion ou au frittage du liant et des matières premières qui le composent, est une caractéristique technologique importante pour la production de corps abrasifs céramiques.

Ce test consiste à remplir un creuset avec la matière première de liant que l'on porte à cuisson à très haute température (température de fusion).

#### **Procédure :**

On remplit un creuset en céramique de diamètre intérieur 35 mm, diamètre extérieur 40 mm et de hauteur 15 mm (figure 12) avec l'échantillon à analyser dont on égalise la surface. Le creuset est ensuite introduit dans un four à moufle pour cuisson à la température appropriée (tableau 01).



**Figure 12 : Creuset en céramique utilisé.**

**Tableau 01 : Températures de fusion (frittage) des composants de liant vitrifié. [43]**

Matière	Température (°C)
Fritté S <sub>1</sub>	950
Fritté S <sub>2</sub>	1100
Feldspath Sodique S <sub>20</sub>	1250
Feldspath Argileux S <sub>22</sub>	1350
Argile West Walder S <sub>30</sub>	1250
Kaolin S <sub>40</sub>	1250

L'aspect du corps à contrôler une fois chauffé est comparé avec un échantillon de référence standard de la matière première à analyser.

#### **II.7.2.Détermination du comportement de fusion ou de frittage par l'essai bouchon :**

Le liant vitrifié et les matières premières qui le composent, frittent ou fondent de différentes manières à haute température (tableau 01).

#### **Procédure :**

Selon la norme FEPA, 5 g de matière première est pressée dans un moule (figure 13) de dimension 15 mm de diamètre et 121 mm d'hauteur au moyen d'une presse de laboratoire.

La balance utilisée est de type « KERN pcb » de précision  $\pm 0,01$  g. On récupère ensuite la matière pressée qui prend la forme du moule, nommée « bouchon ».

On place le bouchon sur une plaque céramique que l'on cuira dans un le four à moufle pendant 1 heure. Pour chaque échantillon, un bouchon étalon composé d'une substance étalon (matière première standard) est élaboré. On met la plaque dans le four. La température de cuisson dépend de la composition de la matière première étudiée.

Après cuisson, on compare le diamètre et la hauteur du bouchon fritté (fondu) avec ceux du bouchon étalon. Enfin, on note les divergences frappantes.



a) moule de pressage monté

b) moule de pressage démantelé

**Figure 13 : Moule de pressage du bouchon.**

## II.8.Caractérisation de l'écoulement de matériaux granulaires :

Pour déterminer la coulabilité d'une poudre, il est nécessaire d'effectuer des mesures de diverses caractéristiques telles que les masses volumiques et les angles de talus caractéristiques de la poudre. Nous avons réalisé les tests les plus courants.

### II.8.1.Masses volumiques :

La connaissance de la masse volumique d'un produit humide, est une propriété importante caractérisant le comportement hydrique du produit à sécher. Cette propriété intervient dans le calcul des différentes caractéristiques du produit telles que, les indices d'écoulement.

### II.8.1.1. Masse volumique apparente " $\rho_{app}$ " :

La masse volumique apparente correspond au volume occupé par une masse connue de matériau non tassé dans une éprouvette graduée de 500 ml.

#### *Procédure :*

Pour mesurer la masse volumique apparente du matériau utilisé, nous avons pesé 500 ml de l'échantillon à l'aide d'une éprouvette graduée (figure14). La balance utilisée est de type KERN pcb, de précision  $\pm 0,01$  g.



Eprouvette vide de masse  $m_1$



Eprouvette avec échantillon de masse  $m_2$

Figure 14 : Dispositif expérimental du test masse volumique apparente "  $\rho_{app}$  ".

La masse volumique apparente  $\rho_{app}$  est donnée comme suit :

$$\rho_{app} \text{ (g/cm}^3\text{)} = \frac{m}{V} \dots \dots \dots (7).$$

Où  $m = m_2 - m_1$

Avec :

- $m$  : la masse de l'échantillon (g).
- $m_1$  : la masse de l'éprouvette vide (g).
- $m_2$  : la masse de l'éprouvette avec l'échantillon (g).
- $V$  : le volume de la prise d'échantillon (cm<sup>3</sup>).

### II.8.1.2. Masse volumique réelle " $\rho_r$ " :

La masse volumique réelle a été mesurée en relevant l'accroissement de volume lors de l'ajout de 200 g de matériau dans 250 ml d'eau.

#### *Procédure :*

Pour mesurer la masse volumique réelle  $\rho_r$ , nous avons pesé 500 ml de l'échantillon à l'aide d'une éprouvette. La masse volumique réelle  $\rho_r$  a été mesurée en relevant l'accroissement de volume lors de l'ajout de 200 g de l'échantillon dans 250 ml d'eau (figure 15).

$$\rho_r \text{ (g/cm}^3\text{)} = \frac{200}{\Delta v} \dots\dots\dots(8).$$

Où :  $\Delta v = v_1 - v_2$ .

Avec :

- $v_1$  : volume de l'échantillon (cm<sup>3</sup>).
- $v_2$  : volume de l'échantillon avec l'eau (cm<sup>3</sup>).



**Echantillon de volume  $v_1$**



**Ajout d'eau**



**(échantillon + eau) de volume  $v_2$**

**Figure 15 : Détermination de la masse volumique réelle.**

### II.8.2. Détermination des Angles de talus : (Coulabilité)

L'angle de talus est l'angle que fait la pente du tas sous lequel s'accumule un matériau que l'on déverse. Cet angle est caractéristique du matériau en œuvre. Il contribue à la description du comportement mécanique des matériaux granulaires ou pulvérulents.

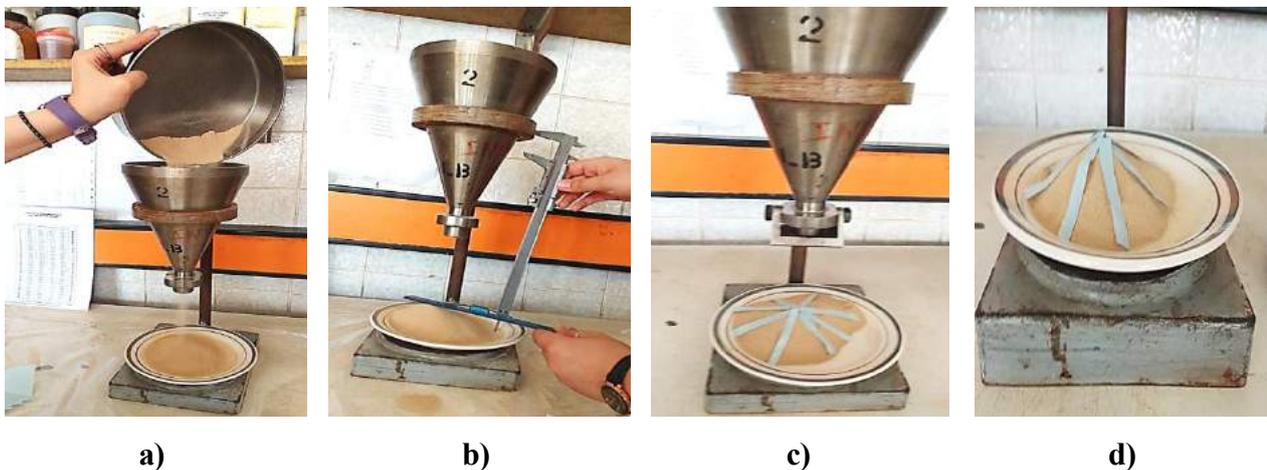
**Procédure :**

Pour réaliser les mesures d'angle de talus, un entonnoir en tôle de zinc dont l'orifice de sortie mesure 20 mm de diamètre doit être suspendu au-dessus d'un disque de réception de 120 mm de diamètre.

L'emplacement de 08 points de mesure doit être fixé afin de déterminer les angles de talus minimum et maximum.

On a placé l'orifice de 20 mm de diamètre d'un entonnoir, à 150 mm au-dessus du centre du disque de réception. Le disque de réception est une assiette en céramique de 120 mm de diamètre.

On verse 200 g de l'échantillon d'un seul coup dans l'entonnoir qui va être déversé sur le disque de réception. Un tas va se former par écoulement de l'échantillon (figure 16).



**Figure 16 : Détermination de l'angle de Talus.**

On mesure, en 08 points également répartis sur la circonférence du disque, l'angle formé entre le disque et le côté du tas formé par le matériau.

La mesure de l'angle de talus a été effectuée 03 fois. Cette opération a été réalisée afin de limiter les risques d'erreur.

L'angle de talus  $\alpha$  (figure 17) est estimé comme suit :

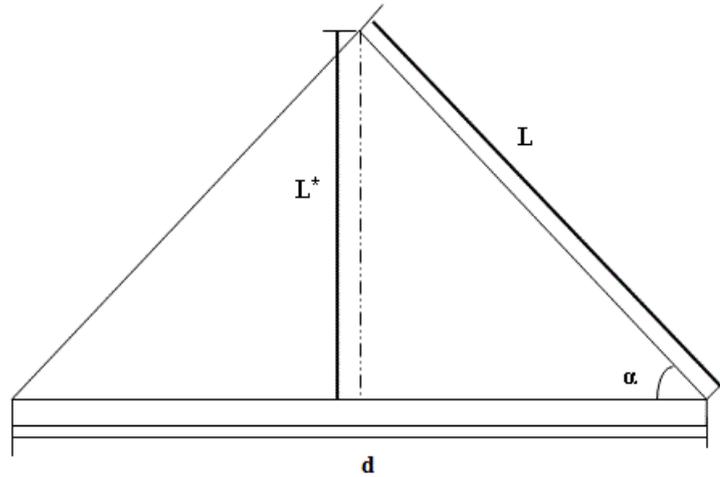


Figure 17 : Schéma simplifié des dimensions du talus.

$$\sin \alpha = \frac{L^*}{L} \dots\dots\dots(9)$$

D'où :

$$\alpha = \arcsin \alpha$$

Cette propriété peut être évaluée à l'aide de deux indices : l'indice d'Hausner [46] et l'indice de compressibilité de Carr [47].

- *L'indice d'Hausner* (IH) est déterminé par la relation suivante :

$$IH = \frac{\rho_r}{\rho_{app}} \dots\dots\dots(10).$$

- *L'indice de Carr* est évalué selon la relation suivante :

$$IC (\%) = \frac{\rho_r - \rho_{app}}{\rho_{app}} \times 100 \dots\dots\dots(11).$$

Où :

$\rho_r$  : masse volumique réelle en kg/m<sup>3</sup>.

$\rho_{app}$  : masse volumique apparente en kg/m<sup>3</sup>.

L'indice d'Hausner permet de classer la poudre en différentes catégories comme suit :

- ✓  $IH \leq 1,25$  *Sableuse ou granuleuse*

- ✓  $1,25 < IH < 1,4$  *Fusante*
- ✓  $IH \geq 1,4$  *Cohésive*

L'indice de Carr (IC) % interprète la Coulabilité de la poudre selon le tableau 02.

**Tableau 02** : Coulabilité de la poudre.

IC (%)	Coulabilité	Poudre
5à10	Excellente	Granulés, sables, poudre
10à15	Bonne	sans particules fines Ni fibres
15à25	Médiocre	Poudre avec peu de particules fines et densité élevée
25à30	Mauvaise	Poudre contenant des particules fines
30à40	Très mauvaise	Poudre cohésive
>40	Exécrable Poudre	Très cohésive

### II.8.2.1. Evaluation de l'angle de mouvement ( $\alpha_m$ ) : (Angle de coulabilité)

La coulabilité d'une poudre est son aptitude à s'écouler librement de manière régulière et constante sous forme de particules individuelles.

L'angle de mouvement est calculé comme la moyenne des valeurs maximales de chaque essai sur l'angle de talus.

#### *Procédure :*

L'angle de mouvement est la moyenne des valeurs maximales obtenues pour les 03 essais estimée comme suit :

$$\alpha_m = \frac{(\text{maxessai1}) + (\text{maxessai2}) + (\text{maxessai3})}{3} \dots\dots\dots(12).$$

### II.8.2.2. Evaluation de l'angle de repos ( $\alpha_r$ ) :

L'angle de repos forme un angle constant avec l'horizontale d'environ 30°. Cet angle révèle l'existence de forces de frottement, responsables de la pente naturelle du tas. La valeur de l'angle de repos est la moyenne des valeurs mesurées sur différents essais de l'angle de talus.

#### *Principe*

L'angle de repos dont la détermination est facile donne une bonne indication sur l'aptitude à l'écoulement. Plus l'angle de repos est faible, plus le matériau s'écoule facilement et plus il s'écoule rapidement.

L'angle de repos dépend de la vitesse d'écoulement de la poudre sur la surface, ainsi que de la hauteur d'écoulement, de la masse d'échantillon ainsi que de l'humidité de l'air environnant [48]. Une attention particulière doit être portée sur la formation du cône.

Celui-ci doit être construit de la même manière afin d'avoir des mesures comparables. De plus, ces méthodes posent des difficultés expérimentales liées à la ségrégation du matériau et à la consolidation ou à l'aération de la poudre lors de la formation du cône.

L'humidité du milieu peut impacter la coulabilité d'une poudre, par influence de la teneur en eau de cette dernière. En effet, plus le milieu est humide, plus la teneur en eau de la poudre sera élevée [48, 49]. Cet effet de l'humidité peut être favorable ou non sur la coulabilité d'une poudre:

- A faible humidité, l'écoulement peut être amélioré par effet lubrifiant de l'eau présente à la surface des particules.
- A forte humidité, la poudre peut prendre en masse, empêchant ainsi tout écoulement
- La température modifie les propriétés de la poudre [50, 49] : en particulier, une augmentation de température entraîne une diminution de la capacité d'adsorption d'eau de la poudre. Par diminution de cette capacité d'adsorption, la création de ponts liquides ainsi que la prise en masse sont limitées.

#### *Procédure :*

L'angle de repos est la moyenne des valeurs moyennes obtenues pour les 03 essais estimée comme suit :

$$\alpha_r = \frac{(moyessai1) + (moyessai2) + (moyessai3)}{3} \dots\dots\dots(13).$$

### II.8.3.Compacité " C " :

La compacité ou le taux de remplissage d'un édifice cristallin, dans le modèle des sphères dures, est le rapport du volume total des sphères d'une maille à celui de la maille qui les contient, c'est le taux d'occupation réel de l'espace.

#### *Procédure :*

A partir des valeurs de la masse volumique apparente  $\rho_{app}$  et la masse volumique réelle  $\rho_r$  obtenues, nous pouvons calculer la compacité C.

La compacité s'exprime comme suit :

$$C = \frac{\rho_{app}}{\rho_r} \dots\dots\dots(14).$$

Où

- $\rho_{app}$  : la masse volumique apparente.
- $\rho_r$  : la masse volumique réelle.

### II.8.4.Détermination de la dispersibilité:

La dispersibilité est l'aptitude de grains à se disperser à de longues distances, du fait de leur poids très faible.

#### *Procédure :*

On détermine la dispersibilité à l'aide d'un montage simple (figure 18). Il est constitué d'un cylindre fixé de 130 mm de longueur et de 50 mm de diamètre à une hauteur de 200 mm au-dessus d'un verre à montre de 120 mm de diamètre. Un échantillon de 10 grammes est laissé tomber en masse d'un seul coup au-dessus du verre à travers le cylindre. Le matériau récupéré dans le verre à montre est pesé. La dispersibilité est une mesure directe de la capacité qu'a le matériau à se fluidiser.

Le test a été reproduit 03 fois afin de vérifier la reproductibilité de la mesure.



**Figure 18 : Dispositif expérimental de la dispersibilité.**

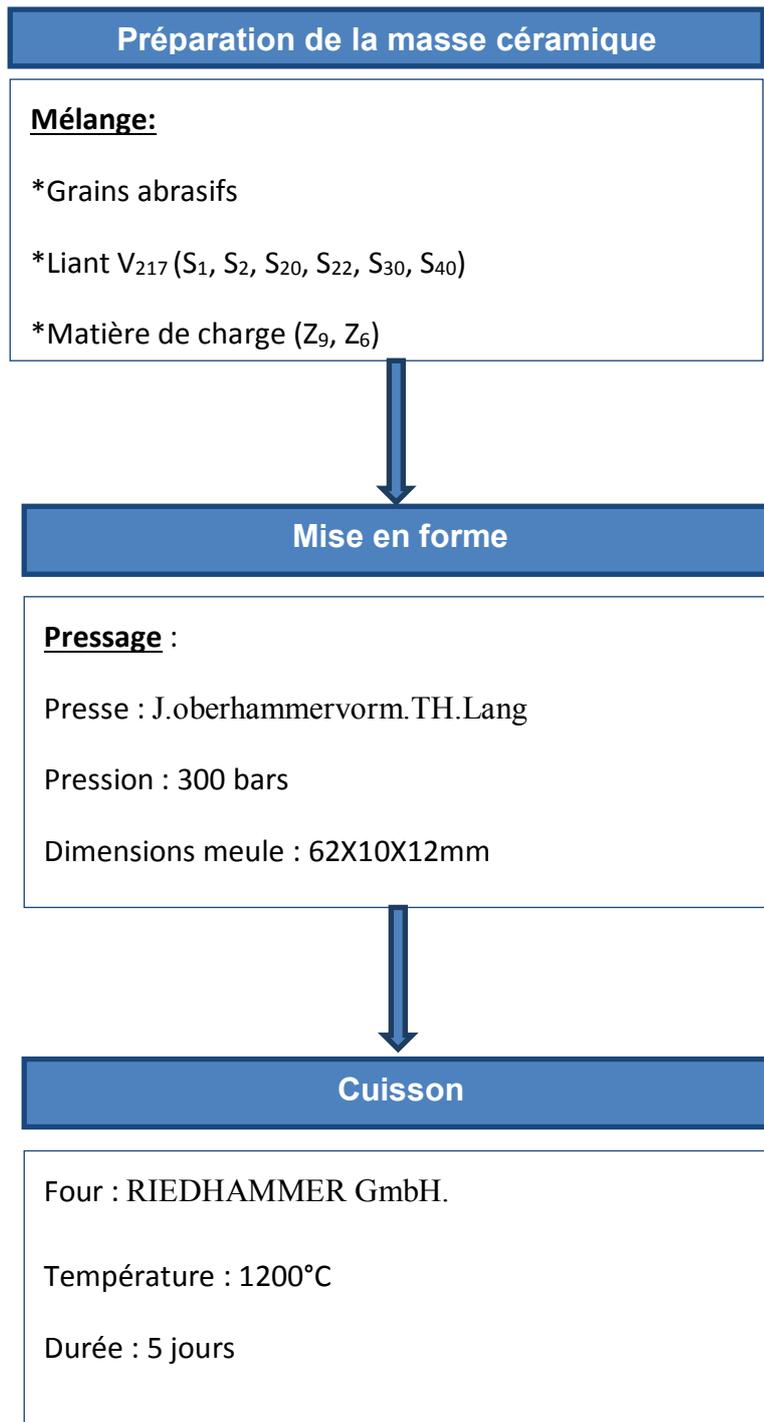
### **II.9.Confection des meules :**

Nous exposons dans la figure 19, le mode opératoire adopté pour la conception de la meule abrasive étudiée.

#### **II.9.1.Préparation de la masse céramique :**

La première étape consiste à peser et à mélanger les composants (figure 20) selon la formule de la meule **89A60M<sub>5</sub>V<sub>217</sub>**. Le mélange est composé de :

- **Grains abrasifs 89A** : pour préparer le mélange des grains 89A composé des grains corindon blanc de dimensions : F54, F60, F70.
- **Liant secondaire (matières de charge)** : Les matières de charge utilisées citées ci-dessous jouent le rôle d'agents humectants.
- *La cire WAXREX 31 E* : désignée par Z<sub>9</sub> qui n'est autre qu'une cire microcristalline fournie par Mobil Oil Austria SCHEN CHENSTUEL GASSE.
- *La Chlorothène (C<sub>2</sub>H<sub>3</sub>Cl<sub>3</sub>)* : désignée par Z<sub>6</sub> fournie par Castrol Austria GmbH

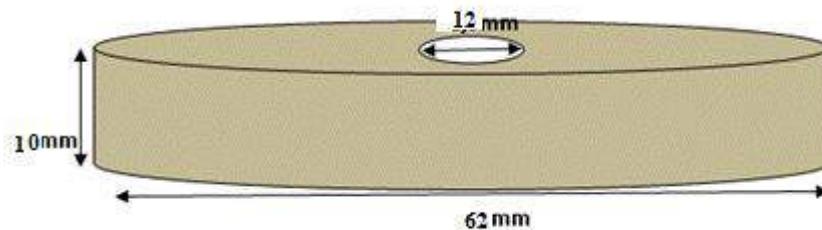


**Figure 19 : Processus de confection d'une meule céramique.**



**Figure 20 : Préparation de la masse céramique.**

Nous avons confectionné une série des meules à liant vitrifié mesurant : 62 mm de diamètre, 10 mm d'épaisseur et pourvues d'un trou de 12 mm (Figure 21).



**Figure 21 : Dimensions des meules confectionnées.**

Les matières premières après pesée ont été mélangées à la main pendant 10 minutes. Le mélange obtenu a été pressé dans un moule au moyen d'une presse hydraulique de type J.oberhammervorm.TH.Lang (figure 22). Une pression de 300 bars est appliquée pour assurer le compactage du mélange afin d'obtenir une densité appropriée.

Les meules obtenues ont été cuites dans un four à moufle suivant un procédé de cuisson bien précis.

Les procédés de mélange et de moulage ont été effectués au niveau de l'unité des abrasifs de Saida.

### **II.9.2. Test Aspect visuel des meules confectionnées :**

Ce test consiste à contrôler, sur la base de l'ordre de fabrication, que les meules à examiner sont conformes à la spécification, la forme et les dimensions indiquées (Figure 23).



**Figure 22 : Presse hydraulique de type J.oberhammervorm.TH.Lang.**

***Procédure :***

On vérifie sur les meules confectionnées la conformité de la meule selon l'étiquetage par rapport à la référence prescrite, l'existence d'inégalités sur la surface de la meule (éclaboussures, corps étrangers, trous, déformations dues à la cuisson), vérifier l'homogénéité du périmètre (pas de fentes ni de fissures et d'ébréchures 'déformations, provocation de gerçures').

**II.9.3. Tests soniques sur la meule abrasive :**

Les meules abrasives, doivent être soumises à un test sonique donnant des indications sur l'homogénéité de la meule.



**Figure 23 : Test Aspect visuel, contrôle de la spécification et les dimensions de la meule.**

***Procédure :***

Pour le test sonore, la meule est maintenue au niveau de l'alésage, ou posée librement. On frappe l'objet au moyen d'un bout de bois ou d'un manche en plastique (poignée d'une lime). Ainsi sont provoquées des vibrations propres produisant un son caractéristique de la dureté et des dimensions de la pièce.

Le genre du son, le mode de faiblir, donnent lieu à un jugement qualitatif. Cet essai sera effectué à titre de contrôle intégral si la spécification de la meule le permet. Ce test sonore demande une grande expérience. Il a été effectué en présence de l'ingénieur de contrôle de qualité de l'entreprise.



**Figure 24 : Test sonore sur la meule abrasive.**

#### II.9.4. Densité " $d_2$ " des meules abrasives :

La densité  $d_2$  est calculée comme suit :

$$d_2 = \frac{\text{Poids de la meule (sans éléments métalliques) g}}{\text{Volumedelameule(sans éléments métalliques)cm}^3} \dots \dots \dots (15).$$

La densité calculée  $d_2$  doit être comparée à la densité  $d_0$  indiquée dans l'ordre de fabrication selon tableau 03.

**Tableau 03 :** Tolérances " $d_2$ " pour les meules à liant céramique conventionnelles.

<i>Structure</i>	<i>Abrasif</i>	<i>46 à 60</i>	<i>70 à 100</i>
Inférieur à 6	Corindon	$d_0 - 0,10$	$d_0 - 0,08$

Ecart admissible par rapport à  $d_2$  valeur de consigne :  $\pm 0,03$ .

#### II.9.5. Facteur de rendement mécanique " R " des meules confectionnées :

L'efficacité d'une meule abrasive est déterminée en évaluant le rendement de l'opération de meulage d'un matériau métallique par la meule à tester (figure 25).

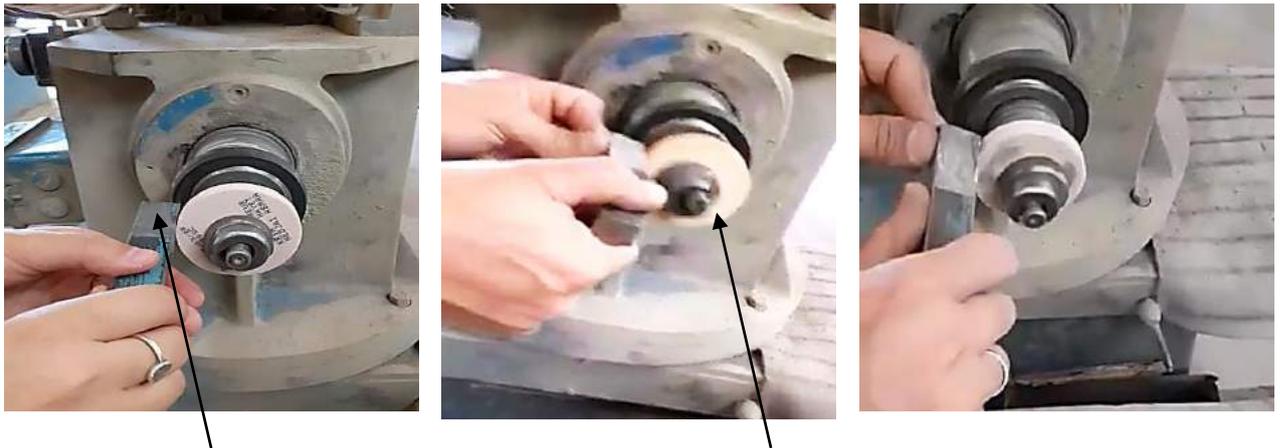
##### *Procédure :*

Après avoir pesé la meule, celle-ci est placée sur un arbre rotatif pour meulage. Un touret de meulage de type J. OBERHAMMER vorm. TH. LANG est ensuite utilisé afin de meuler un matériau métallique pré-pesé. L'opération de meulage a duré 02 minutes. Une fois écrouée, la meule ainsi que le matériau meulé sont pesés.

Le rendement est déterminé par l'expression suivante :

$$R = \frac{\text{Poids du matériau enlevé}}{\text{Perte du poids de la meule}} \dots \dots \dots (16).$$

L'efficacité de coupe des meules a été déterminée au niveau de l'atelier de production de l'unité ABRAS-Saida.



Pièce métallique en  
acier à meuler

Meule à tester

**Figure 25 : Détermination du rendement " R " des meules abrasives lors du meulage d'une pièce métallique.**

## **Chapitre III :**

# **C**aractérisation des matières premières

### Chapitre III : Caractérisation des matières premières

Dans ce chapitre, une présentation de l'unité ABRA-Saïda sera tout d'abord exposée. Ce chapitre aura comme principal objectif d'étudier les caractéristiques de la matière abrasive ainsi que le liant sans omettre ses différents composants. Dans un deuxième volet, nous nous intéressons au comportement des différentes matières premières au frittage.

Les matières premières utilisées dans ce travail nous ont été fournies par l'unité des abrasifs de Saïda. La majorité des analyses effectuées sur ces matières ont été réalisées au niveau du laboratoire contrôle de qualité de l'unité ABRA-Saïda.

#### III.1. Présentation de l'unité ABRA-Saïda :

La société de production des abrasifs ABRAS sise à la zone industrielle de Saïda est une filiale du groupe ENAVA, (Entreprise Nationale des Verres et Abrasifs) relevant du groupe industriel A.C.S (Algeria Chemical Specialities).

Elle demeure l'unique entreprise de production des abrasifs au niveau national.

Cette unité produit plusieurs types d'articles abrasifs tels que les abrasifs liés : disques bakélites et meules céramiques (figure 26. a) et les abrasifs appliqués : Papier verre (figure 26. b).



**Figures 26 : Différents produits de l'unité ABRA-Saïda.**

La production annuelle de l'unité est estimée à :

- 630 Tonnes /an de meules abrasives agglomérées à liants céramiques et meules abrasives agglomérées à liants bakélites.
- 1000 Tonnes /an d'abrasifs appliqués.

### III.2.Caractérisation de la matière abrasive :

La matière abrasive utilisée est l'oxyde d'aluminium artificiel supérieur blanc (corindon synthétique) dur et très friable (figure 27).



**Figure 27 : Grains abrasifs "Corindon Supérieur Blanc".**

Cette matière première est importée de la société IMERYS-France. Nommée selon la désignation technique 89A. Ce Corindon blanc comporte trois différentes dimensions de grains abrasifs spécifiées dans le tableau 04.

La désignation des grosseurs de grains est définie par la norme FEPA 42-F-1984.

**Tableau 04 : Granulométries des grains abrasifs utilisés.**

Spécification technique du Grain Corindon Blanc supérieur	Taille (µm)
<b>Corindon Supérieur Blanc F54</b>	250 – 355
<b>Corindon Supérieur Blanc F60</b>	212– 300
<b>Corindon Supérieur Blanc F70</b>	180 – 250

#### III.2.1.Composition chimique des grains abrasifs :

La composition chimique des grains abrasifs d'oxyde d'aluminium artificiel supérieur blanc (corindon synthétique) est donnée dans le tableau 05. Cette composition a été relevée de la fiche technique du produit.

**Tableau 05 : Composition chimique des grains abrasifs.**

Composant	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O
<b>Pourcentage (%)</b>	99,75	0,04	0,18

Nous constatons la présence en faibles proportions de l'oxyde ferrique et de l'oxyde de sodium. Les grains abrasifs présentent une pureté de 99,75%.

### III.2.2. Analyse granulométrique des grains abrasifs :

Les grains abrasifs utilisés sont un mélange de grains de différentes granulométries. Nous avons étudié la distribution granulométrique de chaque grosseur des différents grains abrasifs selon (Annexe I).

Les résultats obtenus sont regroupés dans les tableaux suivants.

**Tableau 06** : Analyse granulométrique du corindon Supérieur Blanc F54.

Dimension tamis $\mu\text{m}$ (ouverture de maille)	Refus (%)	Norme FEPA Standard [51] (%)
<b>500</b>	00	00
<b>355</b>	25	Max 30
<b>300</b>	52	Min 40
<b>250</b>	74	Min 65
<b>212</b>	75	/
<b>Bac de refus</b>	0,16	Max 03

25% des grains possèdent un diamètre supérieur à 355  $\mu\text{m}$ . Un taux de 100% présente une grosseur inférieure à 500  $\mu\text{m}$ .

L'échantillon analysé présente les limites recommandées pour une obtention des produits finis de qualité acceptable.

**Tableau 07** : Analyse granulométrique du corindon Supérieur Blanc F60.

Dimension tamis $\mu\text{m}$ (ouverture de maille)	Refus (%)	Norme FEPA Standard [51] (%)
<b>425</b>	00	00
<b>300</b>	22	Max 30
<b>250</b>	55	Min 40
<b>212</b>	62	Min 65
<b>180</b>	63	/
<b>Bac de refus</b>	0,09	Max 03

Les résultats confirment que 22 % des grains possèdent un diamètre supérieur à 300  $\mu\text{m}$ . Un taux de 100% présente une grosseur inférieure à 425  $\mu\text{m}$ .

**Tableau 08** : Analyse granulométrique du corindon Supérieur Blanc F70.

Dimension tamis $\mu\text{m}$ (ouverture de maille)	Refus (%)	Norme FEPA Standard [51] (%)
<b>355</b>	00	00
<b>250</b>	20	Max 25
<b>212</b>	63	Min 40
<b>180</b>	79	Min 65
<b>150</b>	81	/
<b>Bac de refus</b>	0,21	Max 03

Nous remarquons que la distribution granulométrique de ce grain démontre que 20% des grains possèdent un diamètre supérieur à 250  $\mu\text{m}$ . Un taux de 100% présente une grosseur inférieure à 355  $\mu\text{m}$ .

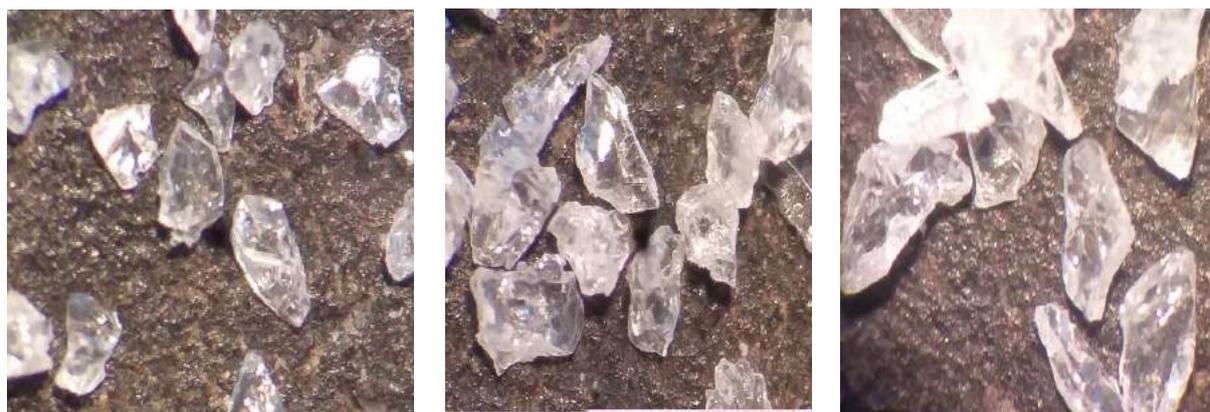
Ces résultats correspondent aux exigences technologiques qui reposent souvent sur la granulométrie. La distribution granulométrique répond à la norme FEPA Standard.

### III.2.3. Analyse par stéréomicroscope des grains abrasifs :

Le Corindon Supérieur Blanc 89A se présente en grains de forme et grosseur variée répartis sur 03 fractions (F54, F60 et F70).

L'étude morphoscopique des différentes fractions du 89A (Figure 28) révèle des grains de corindon sous forme cristalline translucide, avec un éclat vitreux. Observé sous la loupe, le corindon se présente en grains plus ou moins rhomboédrique. Un léger changement de dimensions de certains grains par rapport à d'autres est observé dans la même fraction. Les grains ont souvent des arêtes anguleuses et sont transparents et opalescents.

Certains grains de la fraction moyenne F60 sont fragmentés et craquelés (Figure 28). La fraction grosse F54 comporte certains grains ayant des bords un peu rongés (figure 28).



F70 (180 – 250 µm).

F60 (212 – 300 µm).

F54 (250 – 355 µm).

Figure 28 : Matière abrasive 89A.

### III.2.4. Densité apparente des grains abrasifs :

La densité apparente des grains abrasifs est exposée dans le tableau 09.

**Tableau 09** : Densité apparente du corindon artificiel supérieur blanc.

Grains abrasifs	Corindon Supérieur Blanc F54 (250 – 355 µm)	Corindon Supérieur Blanc F60 (212 – 300 µm)	Corindon Supérieur Blanc F70 (180 – 250 µm)
Densité apparente (g/cm <sup>3</sup> )	1,81	1,77	1,64
Norme FEPA Standard [52] (g/cm <sup>3</sup> )	1,69 – 1,92	1,64 – 1,87	1,58 – 1,81

La densité apparente du corindon blanc supérieur est dans la fourchette des valeurs imposées par la norme FEPA quelque soit la grosseur du grain. La densité du corindon blanc supérieur est variable selon la granulométrie.

Plus la dimension du grain du corindon est élevée, plus la densité est importante.

### III.2.5. Conclusion :

L'unité ABRA-Saida utilise plusieurs types de grains abrasifs tous issus de l'importation. Ce sont surtout des produits synthétisés de très grande pureté. Lors de notre présente étude, nous avons utilisé pour la conception des meules le Corindon artificiel supérieur blanc.

Les grains abrasifs sont des particules très dures qui ont le pouvoir d'enlever de la matière qui est soit coupée ou arrachée.

Nous avons déterminé au niveau du laboratoire d'analyse de l'unité, les propriétés physico- chimiques des différents grains du corindon blanc supérieur, utilisés comme grains abrasifs. Il apparaît notamment que le produit utilisé répond aux caractéristiques physiques tracées par les normes standards de la FEPA et mentionnées sur son étiquetage.

### III.3.Caractérisation du liant vitrifié V<sub>217</sub>. :

Le liant utilisé dans la conception des meules est constitué d'une combinaison de frittés désignés par S<sub>1</sub> et S<sub>2</sub>, le reste étant du feldspath sodique S<sub>20</sub> et argileux S<sub>22</sub> et d'un mélange argileux constitué d'une argile dite West Walder S<sub>30</sub> et de kaolin S<sub>40</sub>. Une granulométrie estimée à 74 µm doit être respectée. Cette composition de liant vitrifié est désignée commercialement par V<sub>217</sub> (figure 29).



**Figure 29 : Liant vitrifié V<sub>217</sub>.**

La composition pondérale de 1kg de liant vitrifié V<sub>217</sub> utilisée par ABRA-Saida est présentée dans le tableau 10.

**Tableau 10 : Composition pondérale du liant vitrifié V<sub>217</sub>.**

Composant	Fritté S <sub>1</sub>	Fritté S <sub>2</sub>	Feldspath Sodique S <sub>20</sub>	Feldspath Argileux S <sub>22</sub>	Argile WestWalder S <sub>30</sub>	Kaolin S <sub>40</sub>
<b>Poids en Kg</b>	0,4468	0,0326	0,0588	0,2976	0,0392	0,1250

### III.3.1.Composition Chimique du liant vitrifié V<sub>217</sub> :

La composition chimique du liant V<sub>217</sub> est donnée dans le tableau 11.

**Tableau 11** : Composition chimique du liant vitrifié V<sub>217</sub>.

Composant	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	K <sub>2</sub> O	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	PAF
Pourcentage (%)	51,56	17,39	14,83	1,86	1,60	0,29	12,47

A partir des résultats obtenus, nous pouvons constater que le liant V<sub>217</sub> est essentiellement composé de silice (51,56%). Le taux d'oxyde ferrique est évalué à 1,60%, Les proportions en chaux et en alumine ne dépassent pas 18%. La perte au feu est de 12,47%.

### III.3.2.Teneur en eau physisorbée du liant vitrifié V<sub>217</sub> :

Le tableau 12 présente la teneur en eau du liant V<sub>217</sub>.

**Tableau 12** : Teneur en eau du liant V<sub>217</sub>.

Désignation du liant	Teneur en eau physisorbée (%)
Liant V <sub>217</sub>	0,72

La teneur en eau d liant V<sub>217</sub> est faible estimée à 0,72%.

### III.3.3.Analyse granulométrique du liant vitrifié V<sub>217</sub> :

L'analyse granulométrique du liant V<sub>217</sub> est résumée dans le tableau 13.

**Tableau 13** : Analyse granulométrique du liant V<sub>217</sub>.

Désignation du liant	Refus du tamis d'ouverture 74 μm (%)
Liant V <sub>217</sub>	7

Nous remarquons que le liant V<sub>217</sub> présente une granulométrie qui est inférieure à 74 μm.

### III.3.4. Comportement au frittage (essai creuset) du liant V<sub>217</sub> :

Le frittage du liant préparé met en évidence la diminution de la hauteur de la matière dans le creuset. La couleur du liant fritté est légèrement plus foncée que le standard utilisé (figure 30). Ces résultats permettent d'avancer la présence d'un même mécanisme de densification ou la même succession de mécanismes pendant le frittage.



**Echantillon Liant V<sub>217</sub>**

**Echantillon standard V<sub>217</sub>**

**Figure 30 : Comportement au frittage (essai creuset) du liant V<sub>217</sub>.**

### III.3.5. Comportement de frittage (essai bouchon) du liant V<sub>217</sub> :

Nous avons obtenu après frittage des échantillons d'environ 31 mm de diamètre et 13 mm d'hauteur.

Nous observons que les bouchons d'échantillon après frittage ont le même diamètre que l'échantillon standard soit 30 mm. Nous notons qu'il n'y a pas une déformation qui peut être causée par un gonflement.

## III.4. Caractérisation des composants du liant vitrifié V<sub>217</sub> :

Dans ce qui suit, nous exposons l'origine de chaque composant du liant vitrifié ainsi que leur caractérisation.

### III.4.1. Caractérisation des frittés S<sub>1</sub> et S<sub>2</sub> :

Les frittés S<sub>1</sub> et S<sub>2</sub> sont des argiles cuites ramenées de la Faïencerie RYM COLOR de Biskra (sud-est Algérien) (figure 31).

Figure 31 : Frittés S<sub>1</sub> et S<sub>2</sub>.

#### III.4.1.1. Composition chimique des frittés S<sub>1</sub> et S<sub>2</sub> :

La composition chimique des frittés S<sub>1</sub> et S<sub>2</sub> est donnée dans le tableau 14.

**Tableau 14** : Composition chimique des frittés S<sub>1</sub> et S<sub>2</sub>.

Composition chimique (%)	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	SO <sub>3</sub>	PAF
<b>Fritté S<sub>1</sub></b>	45,24	35,83	0,26	0,16	1,14	0,60	0,16	0,04	0,08
<b>Fritté S<sub>2</sub></b>	70,77	17,29	0,11	0,23	4,02	1,24	0,34	0,03	0,05

La composition chimique des frittés présentée dans le tableau 09, montre que le fritté S<sub>2</sub> contient la quantité la plus importante de silice (70,77%) contrairement au fritté S<sub>1</sub> qui contient plus d'alumine (35,83%). Les deux frittés contiennent également en faibles proportions l'oxyde de potassium, l'oxyde de fer, l'oxyde de magnésium et l'oxyde de calcium. En plus de ces éléments mineurs, nous constatons la présence d'un peu de trioxyde de soufre.

#### III.4.1.2. Teneur en eau physisorbée des frittés S<sub>1</sub> et S<sub>2</sub> :

Le tableau 15 présente la teneur en eau des frittés S<sub>1</sub> et S<sub>2</sub>.

**Tableau 15** : Teneur en eau des frittés S<sub>1</sub> et S<sub>2</sub>.

Désignation du Fritté	Teneur en eau (%)	Norme FEPA Standard [53] (%)
<b>Fritté S1</b>	0,19	Max 0,2
<b>Fritté S2</b>	0,33	Max 0,2

Nous remarquons que la teneur en eau du fritté  $S_1$  est conforme alors que celle du fritté  $S_2$  est élevée.

#### III.4.1.3. Analyse granulométrique des frittés $S_1$ et $S_2$ :

L'analyse granulométrique des frittés  $S_1$  et  $S_2$  figure sur le tableau 16. Nous remarquons que les frittés  $S_1$  et  $S_2$  présentent une granulométrie qui est inférieure à  $74 \mu\text{m}$  répondant à la norme en vigueur.

**Tableau 16** : Analyse granulométrique des frittés  $S_1$  et  $S_2$ .

Désignation du Fritté	Refus du tamis d'ouverture $74 \mu\text{m}$ (%)	Norme FEPA Standard [54] (%)
Fritté $S_1$	4,00	Max 5
Fritté $S_2$	0,75	Max 7

#### III.4.1.4. Analyse par stéréo microscope des frittés $S_1$ et $S_2$ :

Macroscopiquement le fritté  $S_1$  ainsi que le fritté  $S_2$  apparaissent sous le stéréo microscope, dans des tons de couleur blanc mat avec un éclat opaque. Observé sous la loupe, le fritté  $S_1$  se présente en grains plus ou moins collés d'où la difficulté d'observer la morphologie du grain par loupe binoculaire



**Figure 32** : Analyse par stéréo microscope des frittés  $S_1$  et  $S_2$ .

Le fritté S<sub>2</sub> est constitué de grains qui apparaissent sous la loupe binoculaire en grains de couleur blanche opaque,

#### III.4.1.5. Densité après tassage des frittés S<sub>1</sub> et S<sub>2</sub> :

Le tableau 17 donne la densité après tassage des frittés S<sub>1</sub> et S<sub>2</sub>.

**Tableau 17** : Densité après tassage des frittés S<sub>1</sub> et S<sub>2</sub>.

Désignation du Fritté	Densité après tassage (g/cm <sup>3</sup> )	Norme FEPA Standard [55] (g/cm <sup>3</sup> )
<b>Fritté S<sub>1</sub></b>	1,25	1,15 – 1,35
<b>Fritté S<sub>2</sub></b>	1,08	1,0 – 1,35

Les frittés S<sub>1</sub> sont plus ou moins denses (moins poreux) que les frittés S<sub>2</sub>. Les valeurs obtenues répondent à la norme en vigueur.

#### III.4.1.6. Comportement au frittage (essai creuset) des frittés S<sub>1</sub> et S<sub>2</sub> :

Nous obtenons après cuisson du fritté S<sub>1</sub>, un échantillon de hauteur 13,2 mm alors que pour le fritté S<sub>2</sub>, nous enregistrons une hauteur de 14,1 mm. Les deux frittés présentent une couleur blanche vitreuse homogène en tout point. Comparé aux échantillons standards (figure 33) nous pouvons avancer que les échantillons étudiés ont le même comportement au frittage que les témoins vu que nous notons la même hauteur et la même couleur obtenues après cuisson.



**fritté S<sub>1</sub>**



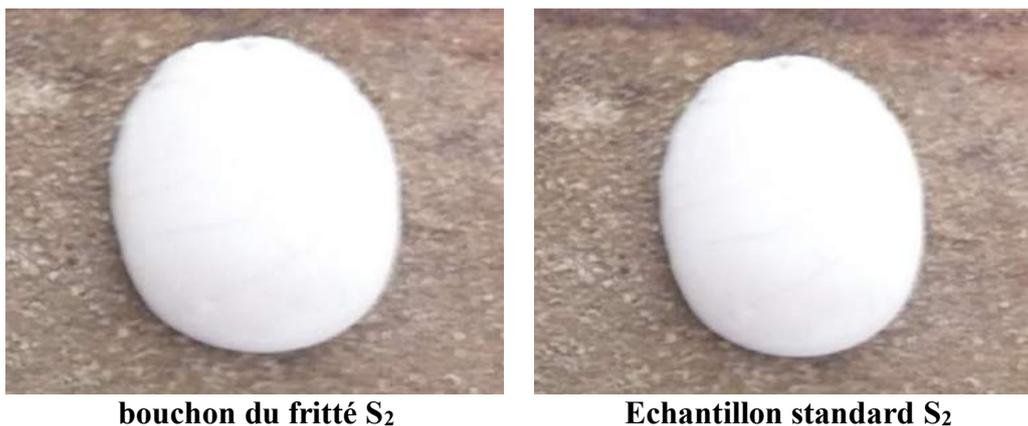
**Echantillon standard S<sub>1</sub>**

**fritté S<sub>2</sub>****Echantillon standard S<sub>2</sub>****Figure 33 : Comportement au frittage (essai creuset) des frittés S<sub>1</sub> et S<sub>2</sub>.**

#### III.4.1.7. Comportement de frittage (essai bouchon) des frittés S<sub>1</sub> et S<sub>2</sub> :

Nous observons que les bouchons d'échantillon Fritté S<sub>1</sub> formés après frittage ont le même diamètre de 35 mm que l'échantillon standard. Aussi, nous constatons que les bouchons d'échantillon Fritté S<sub>2</sub> formés après frittage ont le même comportement que l'échantillon standard en formant un bouchon de 33 mm de diamètre. Aucune anomalie lors de la fusion n'est détectée (figure 34).

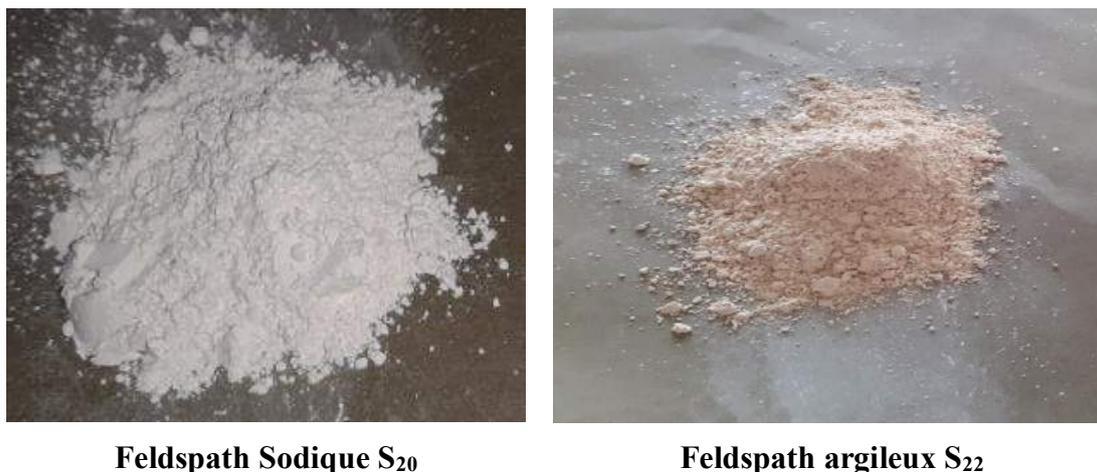
**bouchon du fritté S<sub>1</sub>****Echantillon standard S<sub>1</sub>**



**Figure 34 : Comportement de fusion ou de frittage (essai bouchon) des frittés S<sub>1</sub> et S<sub>2</sub>.**

#### **III.4.2. Caractérisation des Feldspaths Sodique S<sub>20</sub> et Argileux S<sub>22</sub> :**

Les Feldspaths sodiques S<sub>20</sub> et argileux S<sub>22</sub> proviennent de la société "ENOF" sis à Ain Barbar- Annaba (figure 35).



**Figure 35 : Aspect des Feldspaths Sodiques S<sub>20</sub> et argileux S<sub>22</sub>.**

##### **III.4.2.1. Composition chimique des Feldspaths S<sub>20</sub> et S<sub>22</sub> :**

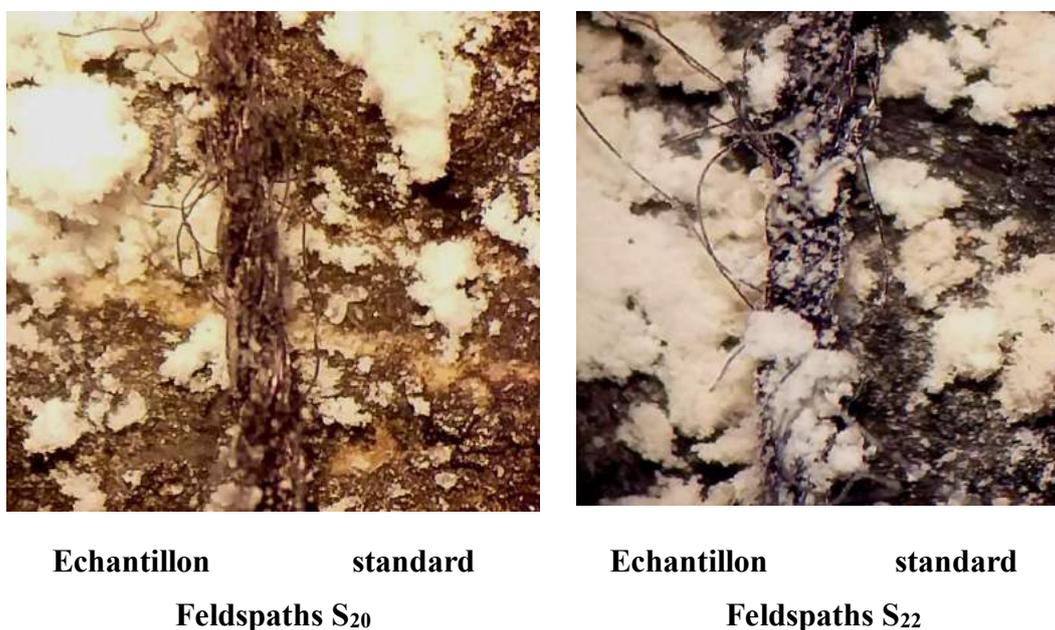
La composition chimique du Feldspath Sodique S<sub>20</sub> et du feldspath argileux S<sub>22</sub> est reportée dans le tableau 18.

**Tableau 18** : Composition chimique des Feldspaths Sodique S<sub>20</sub> et Argileux S<sub>22</sub>.

Composition chimique (%)	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	SO <sub>3</sub>	PAF
<b>Feldspaths Sodique S<sub>20</sub></b>	69,80	19,64	0,79	7,75	0,30	0,16	0,27	0,01	0,70
<b>Feldspaths argileux S<sub>22</sub></b>	71,85	17,03	0,08	0,14	4,45	1,31	0,31	0,01	2,28

Nous observons que les Feldspaths Sodiques S<sub>20</sub> et argileux S<sub>22</sub>, comportent des quantités importantes d'alcalis le feldspath sodique est plus riche en oxyde de sodium, tandis que le feldspath argileux est plus riche en oxyde de potassium. Les deux types de Feldspaths contiennent également une même proportion de silice. Nous constatons la présence de l'oxyde ferrique dans le feldspath argileux en taux plus élevé que dans le feldspath sodique. Enfin, nous remarquons que le taux de perte au feu PAF du Feldspaths argileux S<sub>22</sub> est élevé par rapport au Feldspaths Sodique S<sub>20</sub>.

#### III.4.2.2. Analyse par stéréo microscope des Feldspaths S<sub>20</sub> et S<sub>22</sub> :

**Figure 36** : Analyse par stéréo microscope des Feldspaths.

L'étude morphoscopique des feldspaths révèle des grains, la plupart de couleur blanchâtre dans le cas du Feldspaths Sodique S<sub>20</sub> et mate pour le Feldspaths argileux S<sub>22</sub>.

Observés sous la loupe les grains feldspaths se présentent collés en un seul amalgame. Les grains sont si fins qu'il est impossible de distinguer autre chose que la couleur de la matière.

#### III.4.2.3. Teneur en eau physisorbée des Feldspaths S<sub>20</sub> et S<sub>22</sub> :

La teneur en eau du Feldspath Sodique S<sub>20</sub> et du feldspath argileux S<sub>22</sub> est exposée dans le tableau 19.

**Tableau 19** : Teneur en eau des Feldspath Sodique S<sub>20</sub> et argileux S<sub>22</sub>.

Désignation des Feldspaths	Teneur en eau physisorbée (%)	Norme FEPA Standard [53] (%)
<b>Feldspath Sodique S<sub>20</sub></b>	0,35	Max 0,5
<b>Feldspath Argileux S<sub>22</sub></b>	0,88	Max 2

Nous remarquons que les résultats de la teneur en eau des Feldspath Sodique S<sub>20</sub> et argileux S<sub>22</sub> pour liant V<sub>217</sub> sont conformes à la norme.

#### III.4.2.4. Analyse granulométrique des Feldspaths S<sub>20</sub> et S<sub>22</sub>

La granulométrie des Feldspath Sodique S<sub>20</sub> et argileux S<sub>22</sub> est donnée dans le tableau 20 en fonction du refus du tamis d'ouverture 74 µm selon la norme standard FEPA.

**Tableau 20** : Analyse granulométrique des Feldspaths Sodique S<sub>20</sub> et Argileux S<sub>22</sub>.

Désignation des Feldspaths	Refus de tamis d'ouverture 74 µm (%)	Norme FEPA Standard [54] (%)
<b>Feldspath sodique S<sub>20</sub></b>	2,6	Max 4
<b>Feldspath argileux S<sub>22</sub></b>	4,6	Max 7

Nous remarquons que la distribution granulométrique des Feldspaths Sodique S<sub>20</sub> et Argileux S<sub>22</sub> démontre que les dimensions de 95% des grains sont inférieures à 74 µm.

### III.4.2.5. Densité après tassage des Feldspaths S<sub>20</sub> et S<sub>22</sub> :

La densité après tassage des Feldspaths Sodique S<sub>20</sub> et argileux S<sub>22</sub> est donnée dans le tableau 21.

**Tableau 21** : Densité après tassage des Feldspaths Sodique S<sub>20</sub> et Argileux S<sub>22</sub>.

Désignation des Feldspaths	densité après tassage (g/cm <sup>3</sup> )	Norme FEPA Standard [55] (g/cm <sup>3</sup> )
<b>Feldspath sodique S<sub>20</sub></b>	1,20	1,35 – 1,46
<b>Feldspath argileux S<sub>22</sub></b>	1,42	1,1 – 1,3

Nous remarquons que la densité après tassage du Feldspath argileux S<sub>22</sub> obtenue est de l'ordre de 1,42 g/cm<sup>3</sup>, valeur supérieure à celle exigée par la norme. Alors que le feldspath sodique S<sub>20</sub> présente une valeur au-dessous de celle exigée par la norme.

### III.4.2.6. Comportement au frittage (essai creuset) des Feldspaths S<sub>20</sub> et S<sub>22</sub>

Le fritté S<sub>20</sub> obtenu a une hauteur mesurée de 13 mm très proche de celle enregistrée pour l'échantillon standard soit 12,9 mm. L'échantillon analysé après frittage présente une couleur blanche idem pour l'échantillon standard. Alors qu'une hauteur de 14,1 mm est enregistrée pour le fritté S<sub>22</sub> égale à celle de l'échantillon standard et qui présente aussi la même couleur marron (figure 37).



**Feldspath sodique S<sub>20</sub>**



**Echantillon standard S<sub>20</sub>**

**Feldspath argileux S<sub>22</sub>****Echantillon standard S<sub>22</sub>****Figure 37 : Comportement au frittage (essai creuset) des Feldspaths S<sub>20</sub> et S<sub>22</sub>.****III.4.2.7. Comportement de fusion (essai bouchon) des Feldspaths S<sub>20</sub> et S<sub>22</sub> :**

Les bouchons du Feldspaths S<sub>20</sub> et celui de l'échantillon standard ont le même diamètre évalué à 20 mm. Le même constat a été fait pour les bouchons du Feldspaths S<sub>22</sub> échantillon et standard avec un diamètre évalué à 15 mm (figure 38).

**Bouchon du Feldspath sodique S<sub>20</sub>****Echantillon standard S<sub>20</sub>****Bouchon du Feldspath argileux S<sub>22</sub>****Echantillon standard S<sub>22</sub>****Figure 38 : Comportement de fusion ou de frittage (essai bouchon) des Feldspaths S<sub>20</sub> et S<sub>22</sub>.**

### III.4.3. Caractérisation de l'argile West Walder S<sub>30</sub> et du kaolin S<sub>40</sub> :

L'argile West Walder S<sub>30</sub> (figure 39.a) est importée de la société ARNO WIRGERT d'Allemagne. Alors que le kaolin S<sub>40</sub> (figure 39.b) est approvisionné par la société ENOF sis à ELMILIA- Jijel.

a) Argile West Walder S<sub>30</sub>b) Kaolin S<sub>40</sub>

Figure 39: Aspect de L'argile West Walder S<sub>30</sub> et du Kaolin S<sub>40</sub>.

#### III.4.3.1. Composition chimique de l'argile S<sub>30</sub> et du kaolin S<sub>40</sub> :

La composition chimique de l'argile West Walder S<sub>30</sub> ainsi que celle du kaolin S<sub>40</sub> est donnée dans le tableau 22.

Tableau 22 : Composition chimique de l'argile S<sub>30</sub> et du kaolin S<sub>40</sub>.

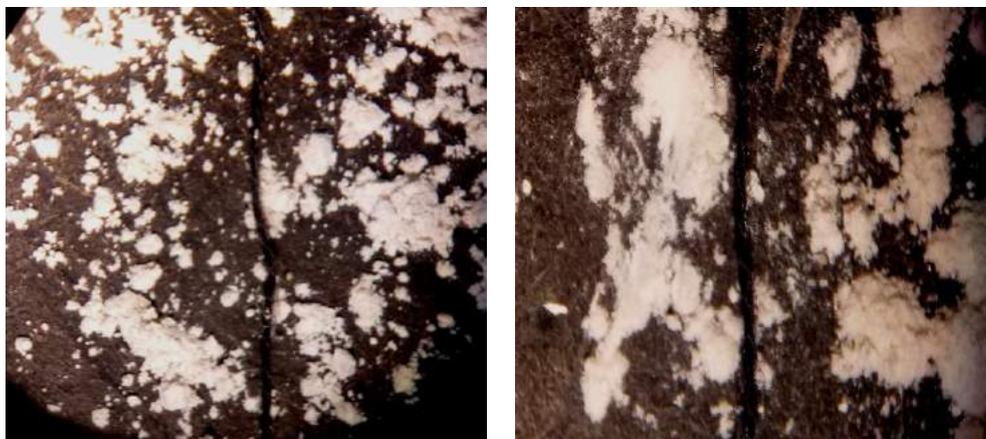
Composition chimique (%)	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	SO <sub>3</sub>	PAF	Si/Al
Argile S <sub>30</sub>	63,99	22,70	0,27	0,20	1,76	0,92	0,46	0,09	8,18	2,81
kaolin S <sub>40</sub>	53,45	42,77	0,34	0,02	1,39	0,78	0,20	0,03	12,2	1,24

Le Kaolin se distingue par sa forte teneur en Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (42,77 %). Il possède la plus forte perte au feu (12,2%). Ce taux de perte au feu se rapproche de celui de la kaolinite pure [44].

#### III.4.3.2. Analyse par stéréo microscope de l'Argile S<sub>30</sub> et du Kaolin S<sub>40</sub> :

Les résultats des observations au microscope de l'argile S<sub>30</sub> et du Kaolin S<sub>40</sub> montrent que les grains que renferment les argiles ont une couleur blanchâtre. Observées sous la loupe, les argiles se présentent en grains plus ou moins collés et opaques, Idem pour le Kaolin S<sub>40</sub>

(figure 40). Nous ne pouvons pas séparer un grain du tas pour voir sa morphologie au moyen de la loupe binoculaire. Seulement, nous pouvons avancer que la couleur blanchâtre en tout point de l'échantillon sous la loupe est observée de la même manière sur le témoin.



Echantillon standard

Argile S<sub>30</sub>

Echantillon standard

Kaolin S<sub>40</sub>

Figure 40 : Analyse par stéréo microscope de l'Argile S<sub>30</sub> et Kaolin S<sub>40</sub>.

#### III.4.3.3. Teneur en eau physisorbée de l'argile S<sub>30</sub> et du kaolin S<sub>40</sub> :

Les résultats de la teneur en eau sont résumés dans le tableau 23.

Tableau 23 : Teneur en eau de l'argile S<sub>30</sub> et du kaolin S<sub>40</sub>.

Désignation des argiles	Teneur en Eau physisorbée (%)	Norme FEPA Standard [53] (%)
Argile S <sub>30</sub>	1,51	Max 5
Kaolin S <sub>40</sub>	0,10	Max 5

Les teneurs en eau physisorbée de l'argile S<sub>30</sub> et du kaolin S<sub>40</sub> sont conformes à la norme FEPA.

#### III.4.3.4. Analyse granulométrique :

Les résultats de l'analyse granulométrique de l'argile S<sub>30</sub> et du kaolin S<sub>40</sub> sont résumés dans le tableau 24.

**Tableau 24** : Analyse granulométrique de l'argile S<sub>30</sub> et du kaolin S<sub>40</sub>.

Désignation des argiles	Refus de tamis d'ouverture 74 µm (%)	Norme FEPA Standard [54] (%)
<b>Argile S<sub>30</sub></b>	3,2	Max 6
<b>Kaolin S<sub>40</sub></b>	0,4	Max 4

La distribution granulométrique de l'argile S<sub>30</sub> et du kaolin S<sub>40</sub> démontre que les dimensions des grains sont inférieures à 74 µm. Le Kaolin renferme les particules les plus fines.

#### III.4.3.5. Densité après tassage de l'argile S<sub>30</sub> et du kaolin S<sub>40</sub> :

Le tableau 25 regroupe les densités après tassage de l'argile West Walder S<sub>30</sub> et du kaolin S<sub>40</sub>.

Les densités sont proches les unes des autres et sont très petites. Ces faibles densités sont certainement dues à la présence de matières organiques, de beaucoup plus faible densité.

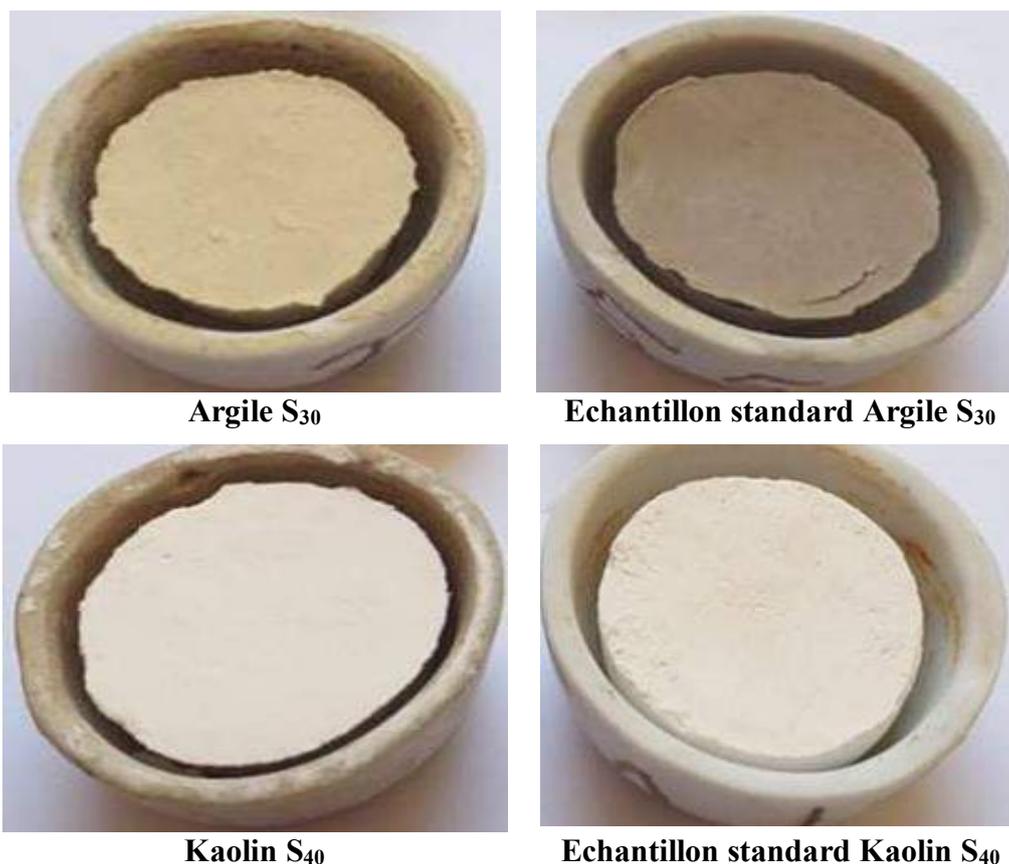
**Tableau 25** : Densité après tassage de l'argile S<sub>30</sub> et du kaolin S<sub>40</sub>.

Désignation des argiles	Densité après tassage (g/cm <sup>3</sup> )	Norme FEPA Standard [55] (g/cm <sup>3</sup> )
<b>Argile S<sub>30</sub></b>	0,86	0,9 - 1,2
<b>Kaolin S<sub>40</sub></b>	0,74	0,6 - 0,75

La valeur de la masse volumique tassée du kaolin est en accord avec les données de la norme en vigueur ainsi que celle de l'argile à quelques unités près.

#### III.4.3.6. Comportement au frittage (essai creuset) de l'argile S<sub>30</sub> et du Kaolin S<sub>40</sub> :

Nous notons que l'argile S<sub>30</sub> à tester fritté présente une hauteur de 13,9 mm et prend une couleur beige telle que l'échantillon standard fritté de 14 mm. Le Kaolin S<sub>40</sub> fritté présente une hauteur de 13,6 mm et prend une couleur blanche telle que l'échantillon standard fritté de 13,8 mm de hauteur (figure 41).



**Figure 41 : Comportement au frittage (essai creuset) de l'Argile S<sub>30</sub> et du Kaolin S<sub>40</sub>.**

#### **III.4.3.7. Comportement de frittage (essai bouchon) de l'argile S<sub>30</sub> et du Kaolin S<sub>40</sub> :**

Nous avons comparé le diamètre de densification de l'argile S<sub>30</sub> évalué à 13,7 mm, à celui du témoin (13,7 mm) et nous avons trouvé que le comportement au frittage de l'échantillon est équivalent à celui du témoin. Aussi la densification du kaolin S<sub>40</sub> (16 mm de hauteur) est conforme au comportement au frittage de l'échantillon standard (15,9 mm de hauteur) (figure 42).



**Bouchon du Kaolin S<sub>40</sub>****Echantillon standard Kaolin S<sub>40</sub>**

**Figure 42 : Comportement de fusion ou de frittage (essai bouchon) de l'argile S<sub>30</sub> et du Kaolin S<sub>40</sub>.**

### **III.5.Conclusion :**

Les différentes caractérisations physiques effectuées sur le liant vitrifié préparé confirment bien les données du fournisseur. À l'exception du Fritté S<sub>2</sub> ainsi que les Feldspaths Sodique S<sub>20</sub> et Argileux S<sub>22</sub> dont la mesure a donné une valeur différente de celle donnée par le fournisseur.

Le liant préparé renferme 51,56% de silice et 17,39% d'alumine. Un taux de 1,60% d'oxyde ferrique est enregistré.

Le liant préparé répond bien aux exigences d'une poudre utilisée dans la fabrication de pièces céramiques, étant caractérisée par une distribution de taille de particules fines. Cependant, un taux d'eau [45%-55%] de la poudre peut entraîner la formation d'agglomérats. D'où la nécessité de bien conserver la poudre et de réussir à casser les agglomérats qui pourraient être formés. Le comportement du liant préparé au frittage est analogue à l'échantillon référence.

Le liant vitrifié se distingue donc par l'homogénéité de son empilement.

En revanche, aucune autre information ne peut être soutirée de l'analyse par microscope binoculaire des composants du liant vitrifié à part la couleur du produit qui peut nous renseigner sur la présence d'éventuelles impuretés.

## Chapitre IV :

**S** Ubstitution du liant  
vitrifié par le déchet de  
verre

## **Chapitre IV: Substitution du liant vitrifié par le déchet de verre**

Ce chapitre est consacré à la caractérisation du verre comme liant vitrifié dans la conception d'une meule abrasive. Le liant vitreux est formé à partir de déchets de verre multiples : sodo-calciques et colorés. En premier lieu, nous avons procédé à la caractérisation du verre comme liant vitrifié et en deuxième partie, nous avons caractérisé les meules abrasives confectionnés à partir de ce liant vitreux composite.

### **IV.1.Prélèvement et traitement du verre utilisé :**

Le déchet verre est collecté au niveau d'un vitrier dans la ville de Saida. C'est un mélange de déchets de verre provenant de tout horizon. Il est de nature sodo-calcique et coloré, collecté en vrac sous forme de débris plus ou moins gros (figure 43).



**Figure 43 : Déchets de verre coloré collecté en vrac avant traitement.**

#### **IV.1.1.Traitement du déchet de verre :**

Le déchet de verre collecté est lavé à l'eau courante du robinet puis séché dans l'étuve à 180°C pendant 15 minutes.

Le verre lavé et séché est concassé grossièrement puis broyé au moyen d'un broyeur planétaire à billes de type pulvérisant jusqu'à obtenir une granulométrie de 74  $\mu\text{m}$  (figure 44).



**Figure 44 : Déchet de verre après traitement.**

#### **IV.2.Caractérisation du déchet de verre :**

Nous avons caractérisé le déchet de verre traité comme liant vitrifié afin d'étudier la possibilité de l'utiliser comme matière vitreuse dans la conception des meules abrasives.

##### **IV.2.1.Composition chimique du déchet de verre :**

La composition chimique du déchet de verre coloré est donnée dans le tableau 26.

**Tableau 26:** Composition chimique du déchet de verre.

Composant	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	K <sub>2</sub> O	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO
<b>Pourcentage(%)</b>	61,93	4,66	17,47	1,79	1,01	0,87

La composition chimique du déchet de verre montre que le verre utilisé contient une quantité importante de silice (61,93%). Nous notons la présence d'un taux de 17,47% de chaux et de 4,66% d'alumine. Une quantité d'oxyde de fer est détectée évaluée à 1,01% proche à celle contenue dans le liant préparé par ABRA-Saida.

##### **IV.2.2.Analyse par stéréo microscope du déchet de verre :**

Le verre apparaît sous le stéréo microscope, dans des tons de couleur blanc mat. Observés sous la loupe, les grains de verre sont collés, nous ne pouvons pas isoler un grain vu qu'il est très fin (Figure 45).



**Figure 45 : Analyse par stéréomicroscope du déchet de verre.**

#### IV.2.3. Teneur en eau physisorbée du déchet de verre :

Le tableau 27 présente la teneur en eau physisorbée du déchet de verre.

**Tableau 27:** Teneur en eau du déchet de verre.

Matière	Teneur en eau physisorbée(%)
Déchet de verre	0,77
Liant V <sub>217</sub>	0,72

La teneur en eau physisorbée du déchet de verre est similaire à celle du liant V<sub>217</sub> préparé par ABRA-Saida (0,72%).

La détermination du pourcentage d'eau physisorbée à la surface des particules peut être cause de formation de bulles lors de la cuisson de la masse céramique causée par le piégeage des vapeurs d'eau dans la matrice minérale lors de la cuisson. La surface de ces bulles formées peut être lieu d'un phénomène d'adsorption de la vapeur d'eau lors de la trempe. Cette hypothèse est aussi valable pour une matrice vitreuse [56].

#### IV.2.4. Analyse granulométrique :

La granulométrie du déchet de verre a été déterminée selon le refus du tamis

74  $\mu\text{m}$  (tableau 28).

**Tableau 28** : Analyse granulométrique du déchet de verre.

Matière	Refus (%) du tamis diamètre d'ouverture 74 $\mu\text{m}$ .
Déchet de verre	6,8
Liant V <sub>217</sub>	7,0

Nous notons que la proportion des grains de déchet de verre de dimension 74  $\mu\text{m}$  est similaire à celle du liant V<sub>217</sub> utilisé par ABRA-Saida. Il faut savoir que la granulométrie est un facteur influençant sur la compaction lors de la mise en forme et la cuisson de la masse céramique.

#### IV.2.5.Détermination de la densité après tassage :

La densité après tassage est indiquée en  $\text{g/cm}^3$  selon le tableau 29.

**Tableau 29** : La densité après tassage du verre.

Matière	densité après tassage ( $\text{g/cm}^3$ )
Déchet de verre	1,21

La densité après tassage du déchet verre est proche de celle du fritté S<sub>1</sub> (1,25  $\text{g/cm}^3$ ). Cette densité est corrélée à la finesse des poudres et aux dimensions des grains.

#### IV.3.Substitution du liant vitrifié par le déchet de verre :

Nous avons confectionné des meules en remplaçant 50% du liant vitrifié V<sub>217</sub> par le déchet de verre traité. Nous obtenons un liant vitrifié composite. La meule confectionnée a été cuite à différentes température de cuisson : 1000°C, 1100°C et 1200°C. Nous avons utilisé deux fours : un four type NABERTHERM GmbH de laboratoire pour la cuisson aux températures 1000°C et 1100°C et le four de cuisson du procès ABRA-Saida pour la température 1200°C. Le cycle de cuisson est détaillé dans les figures 46 et 47.

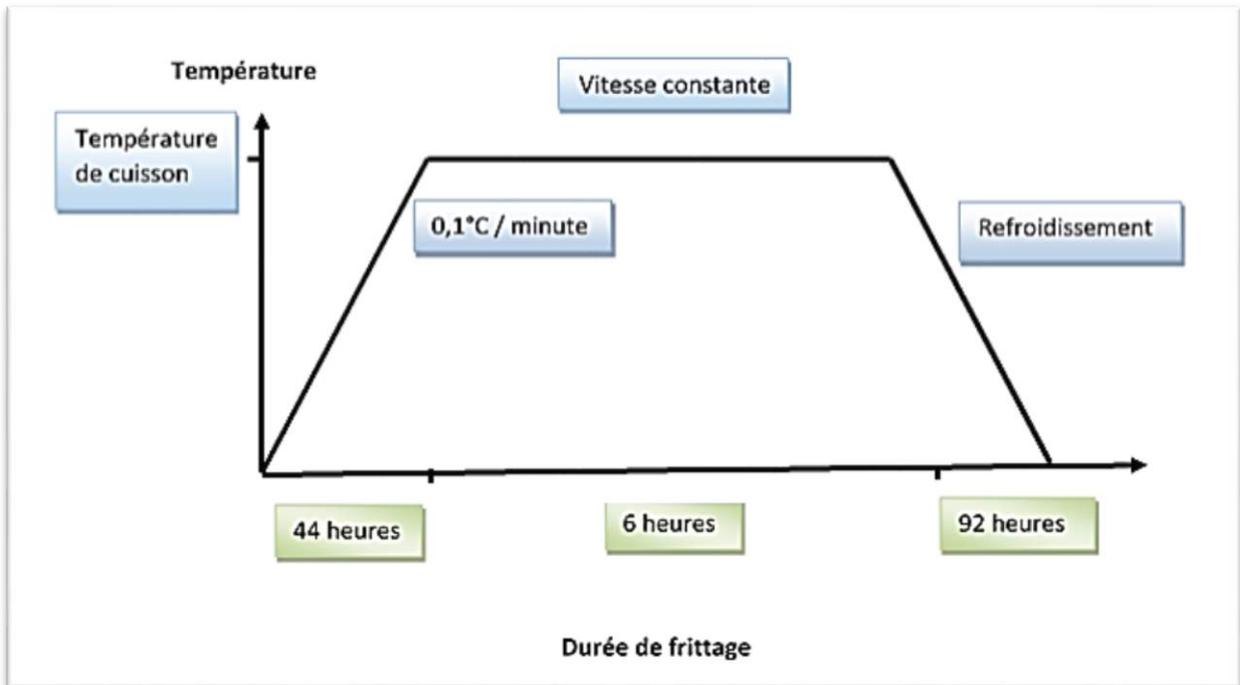


Figure 46 : Cycle de cuisson de la meule confectionnée à 1200°C dans le four RIEDHAMMER GmbH.

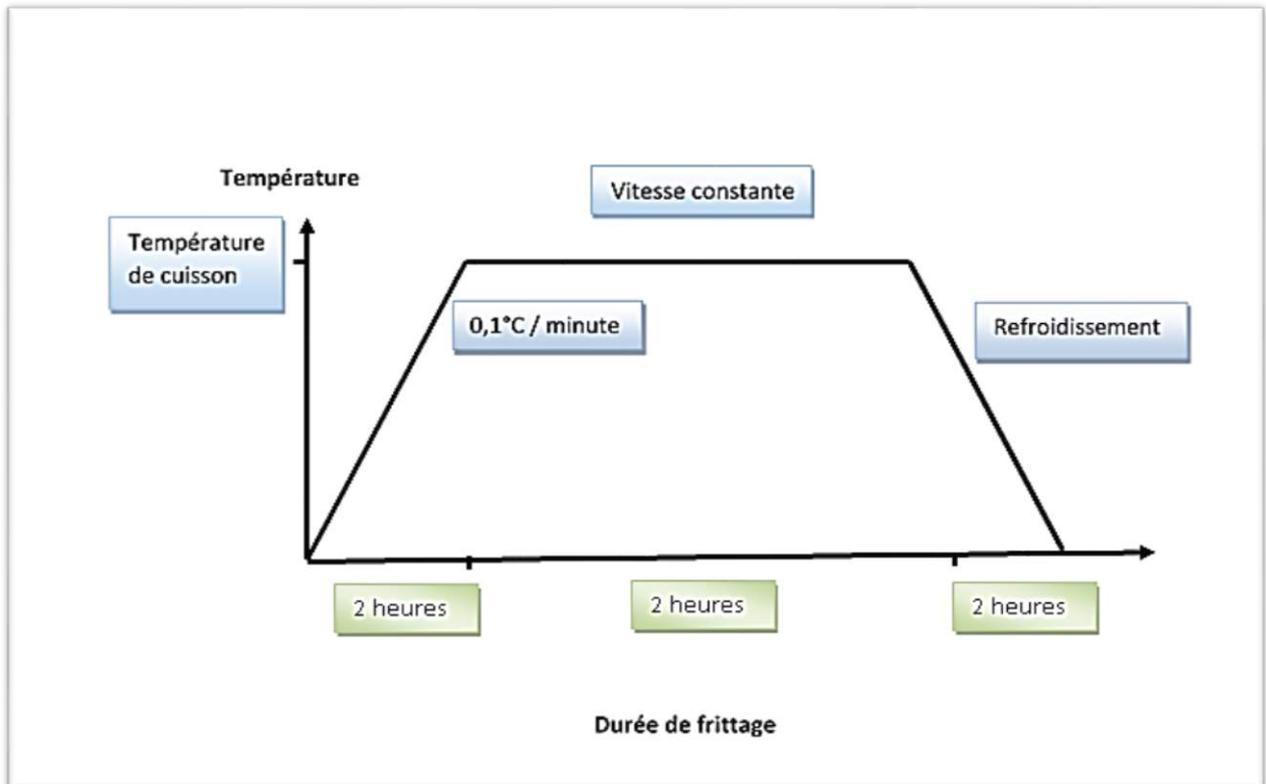


Figure 47 : Cycle de cuisson de la meule confectionnée à 1000°C et 1100°C dans le four NABERTHERM GmbH.

La composition de la masse céramique est donnée dans le tableau 30.

**Tableau 30** : Composition des masses céramiques préparées.

Taux de substitution %	Composition (g)						
	Corindon			V <sub>217</sub>	Déchet en verre	Cire (Z <sub>9</sub> )	Chlorothène (Z <sub>6</sub> )
	54	60	70				
<b>0</b>	17,714	18,496	17,714	9,724	0	2,448	1,904
<b>50</b>	17,714	18,496	17,714	4,86	4,86	2,448	1,904

### IV.3.1. Caractérisation de la masse céramique :

La masse céramique préparée pour la mise en forme des meules a été caractérisée en premier. Les essais réalisés ne sont pas effectués au niveau de l'entreprise ABRAS. Ces investigations s'inscrivent dans le cadre d'une étude fondamentale afin de comprendre le comportement des matériaux granulaires, qui est dominé par les interactions particules/particules.

#### IV.3.1.1. Détermination des angles de Talus :

Pour déterminer la coulabilité d'une poudre, nous avons déterminé les angles de talus. Les résultats obtenus sont exposés dans les tableaux 31 et 32.

**Tableau 31** : Mesure de l'angle de talus de la masse céramique témoin.

		1	2	3	4	5	6	7	8	Moy	Max
<b>Masse céramique témoin</b>	<b>Essai 1</b>	22,95	22,95	24,14	19,69	19,45	20,91	20,60	18,90	<b>18,73</b>	<b>24,14</b>
	<b>Essai 2</b>	20,91	19,87	19,69	27,00	30	25,34	30	23,89	<b>24,58</b>	<b>30</b>
	<b>Essai 3</b>	13,29	48,59	17,81	25,34	24,58	41,75	27,45	48,59	<b>30,96</b>	<b>48,59</b>

**Tableau 32** : Mesure de l'angle de talus de la masse céramique contenant le liant vitrifié composite.

		1	2	3	4	5	6	7	8	Moy	Max
<b>Masse céramique avec verre</b>	<b>Essai 1</b>	36,01	37,95	36,01	32,20	33,71	30,00	37,30	40,16	<b>35,41</b>	<b>40,16</b>
	<b>Essai 2</b>	30	37,95	48,93	53,13	46,63	37,95	36,01	30,39	<b>40,08</b>	<b>53,13</b>
	<b>Essai 3</b>	24,07	24,39	20,79	28,03	26,29	28,03	32,41	26,29	<b>26,28</b>	<b>32,41</b>

La figure 48 expose l'aspect des tas formés lors de l'écoulement de la masse céramique.

Après calcul, l'angle de mouvement et de repos ont été estimés selon le tableau 33.

**Tableau 33** : Estimation de l'angle de mouvement et de repos de la masse céramique préparée.

Paramètres d'écoulement Angles de Talus(°)	Masse céramique témoin	Masse céramique contenant du verre
<b>Angle de mouvement <math>\alpha_m</math></b>	34,24	41,9
<b>Angle de repos <math>\alpha_r</math></b>	24,75	33,92

Les différents angles que peuvent former les poudres : angle statique (angle de mouvement  $\alpha_m$ ) et angle dynamique (angle de repos  $\alpha_r$ ) varient selon la façon de verser la poudre et de là, la valeur de l'angle de la surface libre du tas formé [57].

**Masse céramique témoin.**



**Masse céramique contenant du verre.**

**Figure 48 : Angles de talus des masses céramiques préparées.**

Ainsi, selon la classification de Carr [58], la coulabilité des masses céramiques préparées est excellente, ce qui permet d'avoir une cohésion faible entre particules ( $25^\circ < \alpha_r < 35^\circ$ ).

#### **IV.3.1.2. Masses volumiques de la masse céramique et sa coulabilité :**

Les résultats de la masse volumique de la masse céramique obtenus sont présentés dans le tableau 34.

A partir de ces résultats, nous pouvons estimer la compressibilité de la masse céramique qui désigne l'aptitude d'un matériau à diminuer de volume sous l'effet d'une sollicitation [47]. La compressibilité est déterminée à partir de la perte des masses volumiques mesurées.

L'indice de compressibilité IC est évalué à 13,81%. Nous pouvons donc avancer que la coulabilité de la masse céramique témoin est bonne et est classée selon une masse sans poussières ni fibres.

**Tableau 34 : Masse volumique de la masse céramique.**

Masse céramique	Masse volumique Apparente(g/cm <sup>3</sup> )	Masse volumique Réelle(g/cm <sup>3</sup> )	IC (%)	IH
<b>Témoin</b>	1,52	1,73	<b>13,81</b>	<b>1,138</b>
<b>Contenant Liant vitrifié composite</b>	1,41	1,74	<b>23,4</b>	<b>1,23</b>

Par contre la masse céramique avec liant vitrifié composite, l'IC est de 23,4%, qualifiant ainsi la masse céramique comme poudre médiocre avec densité élevée.

Les poudres développent un volume de vide important qui conduit à une densité élevée et lors de la compaction, l'eau à son tour est expulsée provoquant l'augmentation encore plus du vide, ce qui pousse à la densification du produit.

#### IV.3.1.3. Détermination de la compacité " C " :

Les valeurs obtenues de la compacité sont reportées dans le tableau 35.

**Tableau 35** : Compacité de la masse céramique.

Masse céramique	Compacité
<b>Témoin</b>	0,87
<b>Contenant liant vitrifié composite</b>	0,81

La compacité est proportionnelle à la masse volumique apparente, elle conditionnera la broyabilité, donc la granulométrie des produits entrant dans le four.

#### IV.3.1.4. Détermination de la dispersibilité :

Les résultats obtenus sont exposés dans le tableau 36.

**Tableau 36** : Mesure de la dispersibilité de la masse céramique au liant vitrifié composite.

N° essai	Dispersibilité		
	Essai 01	Essai 02	Essai 03
<b>Témoin</b>	0,007	0,013	0,01
<b>Masse céramique contenant le liant vitrifié composite</b>	0,002	0,017	0,007

La dispersibilité est une mesure directe de la capacité qu'a le matériau à se fluidiser. Le matériau perdu s'est dispersé pendant la chute. Une bonne dispersion de la poudre est toujours indispensable. Le non reproductibilité des trois essais, peut s'expliquer comme suit :

Les forces de friction existantes entre ces poudres et la paroi du cylindre sont suffisamment importantes pour empêcher le bon glissement des particules le long de la paroi.

La validité de ces mesures est donc discutable. La valeur de dispersibilité est très faible. Ceci concorde avec les observations que nous avons faites soit la poudre ne se dispersait pas beaucoup pendant la chute. Au contraire, la masse céramique s'éclaboussait dans le plateau de collecte mais ne rebondissait pas à l'extérieur du disque.

#### **IV.4.Caractérisation des meules confectionnées :**

Nous avons suivi les essais effectués quotidiennement à ABRA-Saida pour le contrôle de l'efficacité de leur produit.

##### **IV.4.1.Aspect visuel et test sonique des meules confectionnées :**

Les meules confectionnées (Figure 49) à partir du liant vitrifié composite ne présentent aucune fissuration ou déformations sur leur surface.

La couleur des meules diffère selon la température de cuisson. Nous constatons que la meule confectionnée avec liant vitrifié composite a une couleur blanchâtre quelque soit l'évolution de la température de cuisson. Alors que la couleur de la meule témoin change en fonction de la température de cuisson. Ceci peut s'expliquer par la transition d'état de la matière d'une structure cristalline à une autre, seulement la meule à liant vitrifié composite englobe du verre qui développe une phase vitreuse opaque blanche.

Le test sonique effectué sur meules confectionnées n'a révélé aucun son anormal. Ce qui prouve que les pièces ne présentent aucune fissuration. Ce test a été effectué par le responsable laboratoire qualité d'ABRA-Saida.

IV.4.2. Densité  $d_2$  des meules confectionnées :

La densité  $d_2$  des meules confectionnées est donnée dans le tableau 37.

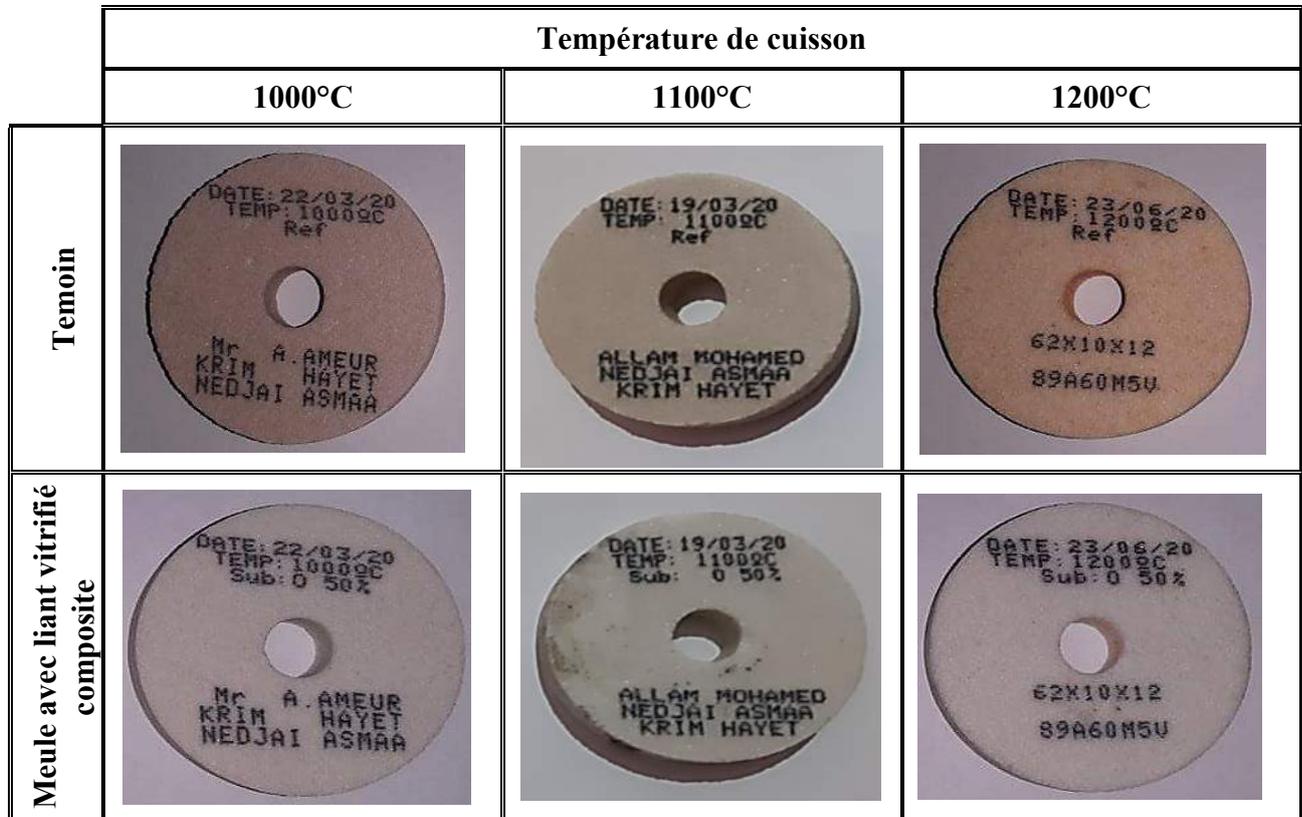


Figure 49 : Evolution de l'aspect visuel des meules étalon et confectionnée en fonction de la température de cuisson.

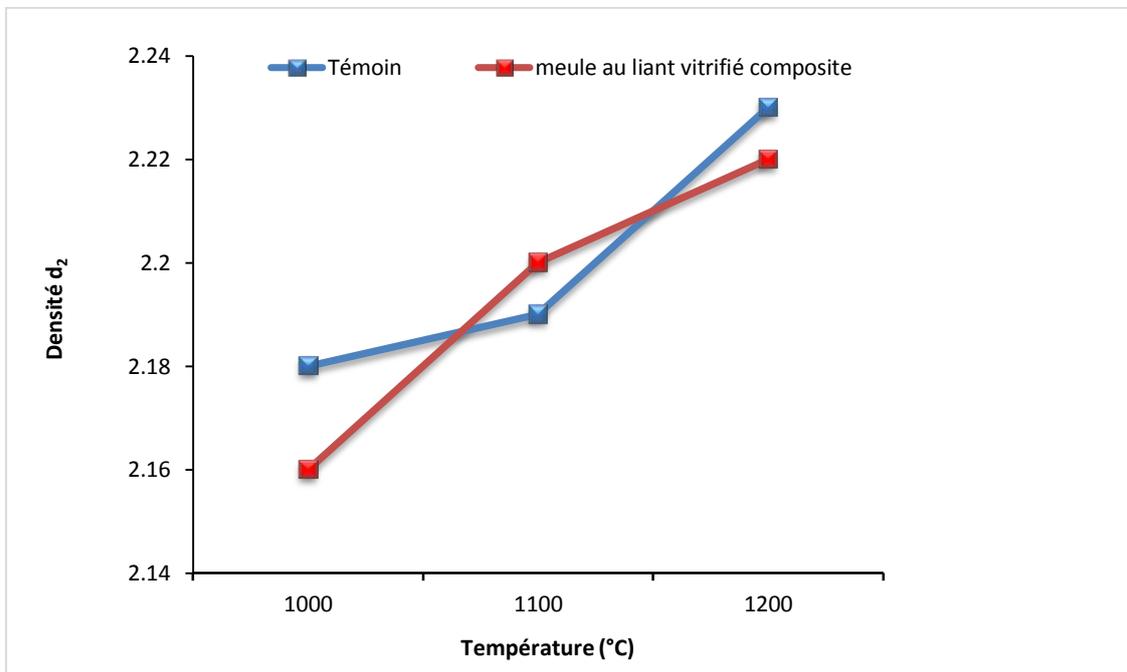
Tableau 37 : Densité  $d_2$  des meules confectionnées.

Température de cuisson (°C)	Taux de substitution par le déchet verre (%)	Densité $d_2$
1000	0	2,18
	50	2,16
1100	0	2,19
	50	2,20
1200	0	2,23
	50	2,22

A partir des résultats obtenus, nous constatons que la densité des meules confectionnées est conforme à la norme imposée. La densité est comprise entre 2,16 et 2,22.

La densité de la meule témoin cuite à 1200°C peut être atteinte à 1100°C avec un taux de substitution de 50% du liant vitrifié en verre.

L'augmentation de la température de cuisson permet au verre introduit de combler la rugosité des grains et donc d'assurer une meilleure cohésion entre les grains et le verre. La mouillabilité des verres avec les abrasifs dépend de la température de transition vitreuse.



**Figure 50 : Evolution de la Densité des meules en fonction de la température de cuisson.**

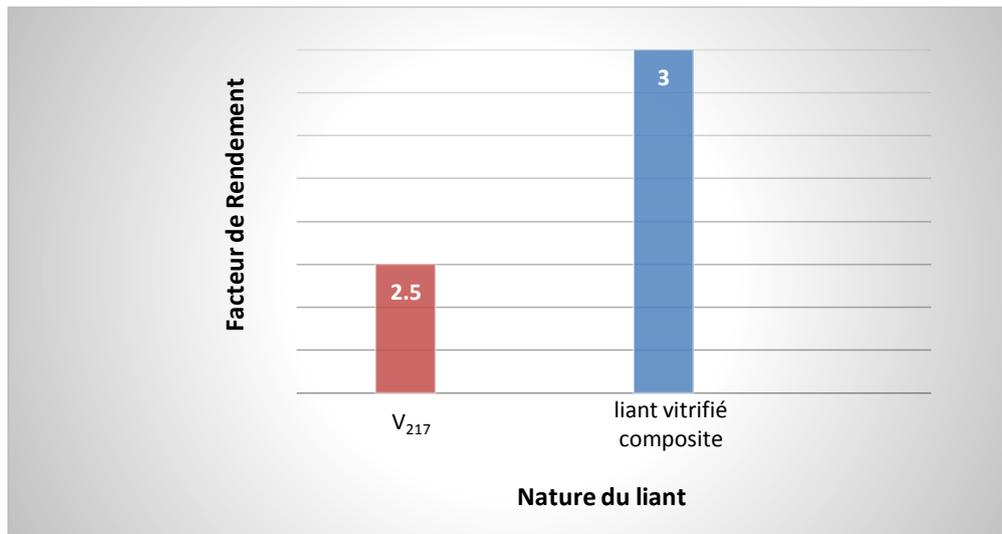
Nous constatons que la meule à liant vitrifié composite est moins dense que la meule référence (figure 50). La densité augmente au fur et à mesure que la température de cuisson est plus élevée.

Le verre devenu liquide provoque l'apparition de la force capillaire. Cette force va permettre un réarrangement des grains. Les grains vont se rapprocher les uns des autres, un retrait se produit qui permet la diminution de la densité.

#### **IV.4.3.Facteur de Rendement mécanique "R" des meules confectionnées :**

Après avoir produit des meules de conception différente du procédé traditionnel, nous devons tester l'efficacité de nos outils de coupe et cela en mesurant leur facteur de rendement.

La figure 51 représente les résultats du facteur de rendement des meules cuites à 1200°C.



**Figure 51 : Evolution du facteur de Rendement en fonction de la nature du liant.**

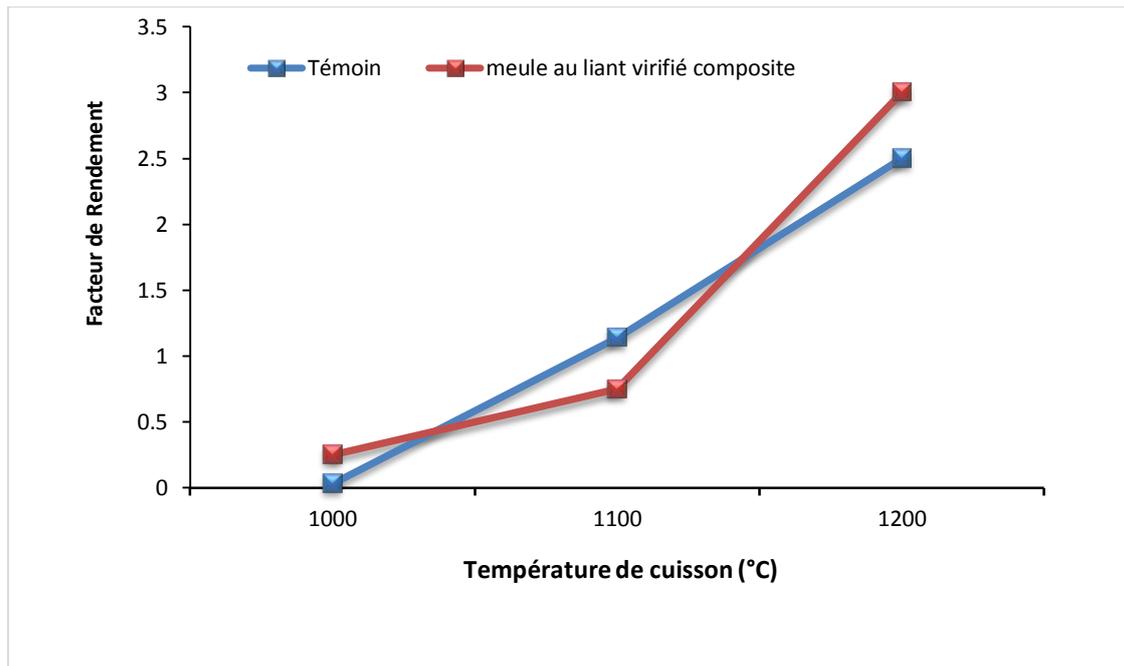
Nous constatons que le nouveau liant composite améliore le facteur de rendement des meules confectionnées.

#### IV.4.4.Effet de la température de cuisson sur l'efficacité de coupe des meules confectionnées :

Nous avons étudié le facteur de rendement des meules cuites aux différentes températures désignées afin de juger leur efficacité. Les résultats sont donnés dans le tableau 38.

**Tableau 38 :** Evolution du rendement des meules produites en fonction de la température de cuisson.

Température de cuisson (°C)	Taux de substitution du liant vitrifié (%)	Perte du poids de la meule (g)	Poids du matériau enlevé (g)	Facteur de Rendement
1000	0	0,10	0,03	0,30
	50	0,12	0,03	0,25
1100	0	0,07	0,08	1,14
	50	0,08	0,06	0,75
1200	0	0,40	0,10	2,50
	50	0,05	0,15	3,00



**Figure 52: Effet de la température de cuisson sur l'Efficacité de coupe des meules confectionnées.**

Nous observons que plus la phase vitreuse est présente dans la composition du liant, plus nous obtenons un facteur de rendement très élevé. Aussi, plus la température de cuisson est élevée, plus ce facteur est important.

Le liant vitrifié composite améliore le facteur de rendement de la meule qui peut atteindre un facteur de 03.

#### **IV.5. Conclusion**

Le but de cette partie était de confectionner des meules en introduisant le déchet verre dans la composition du liant vitrifié. Les différentes caractérisations physiques effectuées sur la masse céramique comportant du verre confirment que son comportement est proche de celui de la masse céramique au liant  $V_{217}$  préparée par ABRAS-Saida. Cette poudre est caractérisée par une densité élevée et une coulabilité différente de celle comportant seulement le liant vitrifié, bien que la dispersibilité est à peu près la même.

L'introduction du déchet verre comme liant vitrifié a contribué dans la diminution de la densité des meules.

Le liant vitrifié enrichi en verre permet d'obtenir un facteur de rendement élevé.

# **Chapitre V :**

**U**tilisation de la  
chamotte de  
Benadouane dans la  
conception du liant  
vitrifié

## Chapitre V : Utilisation de la chamotte de Benadouane dans la conception du liant vitrifié

Le quatrième chapitre a permis de montrer que le liant vitrifié composite améliore les caractéristiques mécaniques de la meule abrasive. Ce présent chapitre a pour objectif d'exposer la possibilité de remplacer le fritté S<sub>2</sub>, l'un des composants du liant vitrifié V<sub>217</sub> par de la chamotte récupérée de la briqueterie de Benadouane qui est située à 10 km de l'entreprise ABRA-Saida. La caractérisation de cette chamotte qui n'est autre que les débris de briques rejetés par la briqueterie, a été effectuée en premier lieu. La deuxième partie correspond à l'étude de la coulabilité de la masse céramique élaborée avec le liant vitrifié synthétisé. La dernière partie est consacrée à la présentation des propriétés et du comportement mécanique à température ambiante des meules vitrifiées confectionnées.

### V.1. Prélèvement et traitement de la chamotte de Benadouane :

La chamotte qui n'est autre que les débris de briques est collectée au niveau de la briqueterie de Benadouane (figure 53) située à côté de la route nationale N°92 à 10 km de l'entreprise ABRA-Saida le 02/02/2020.



Aire de stockage



Débris de briques prélevés

Figure 53 : Débris de briques rejetés au niveau de la briqueterie de Benadouane Saida.

#### V.1.1. Traitement du déchet de brique :

La chamotte collectée en vrac est concassée grossièrement puis broyée (figure 54) au moyen d'un broyeur planétaire à billes de type pulvérisent Jusqu'à l'obtention d'une granulométrie de 74  $\mu$ m. La poudre obtenue a une couleur rouge brique.



**Figure 54 : Chamotte traitée.**

## **V.2.Caractérisation de la chamotte de Benadouane:**

La caractérisation de la chamotte traitée a été effectuée afin d'étudier la possibilité de l'utiliser comme substitut au fritté S<sub>2</sub> dans la composition du liant vitrifié V<sub>217</sub>.

### **V.2.1.Composition chimique de la chamotte de Benadouane:**

La composition chimique de la chamotte est donnée dans le tableau 39.

**Tableau 39 :** Composition chimique de la chamotte de Benadouane.

Composant	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	SO <sub>3</sub>
<b>Pourcentage</b> <b>(%)</b>	68,06	15,77	1,97	0,55	2,59	6,61	2,31	0,30

La composition chimique de la chamotte présentée dans le tableau 39 montre que la chamotte est riche en silice (68,06%) et contient de l'alumine (15,77%). Nous notons également la présence en faibles proportions l'oxyde de potassium (2,59%), l'oxyde de fer (6,61%), l'oxyde de magnésium (2,31%) et l'oxyde de calcium (1,97%). Cette composition est proche de celle du fritté S<sub>2</sub>.

### **V.2.2.Analyse par stéréo microscope de la chamotte de Benadouane :**

La chamotte apparaît sous le stéréo microscope, dans des tons de couleur rouge brique. Observée sous la loupe, les grains de la chamotte sont collés (Figure 55).



**Figure 55 : Analyse par stéréo microscope de la chamotte de Benadouane.**

Ce test révèle une granulométrie très fine et l'impossibilité d'isoler un grain pour étudier sa morphologie.

#### **V.2.3. Teneur en eau physisorbée de la chamotte de Benadouane:**

Le tableau 40 présente la teneur en eau physisorbée du déchet de brique.

**Tableau 40 :** Teneur en eau de la chamotte de Benadouane.

Matière	Teneur en eau physisorbée (%)
<b>Chamotte Benadouane</b>	0,35

La teneur en eau physisorbée de la chamotte est analogue à celle du fritté S<sub>2</sub> utilisé par ABRA-Saida dans la conception du liant V<sub>217</sub> (0,33%).

#### **V.2.4. Analyse granulométrique de la chamotte de Benadouane :**

La granulométrie de la chamotte a été déterminée selon le refus du tamis 74 µm (tableau 41).

**Tableau 41 :** Analyse granulométrique de la chamotte de Benadouane.

matière	Refus (%) du tamis diamètre d'ouverture 74 µm
<b>Chamotte Benadouane</b>	0,77

Nous remarquons que la chamotte présente une granulométrie proche du fritté S<sub>2</sub> (0,75%).

#### **V.2.5.Densité après tassage de la chamotte de Benadouane:**

La densité après tassage est indiquée en g/cm<sup>3</sup> selon le tableau 42.

**Tableau 42** : Densité après tassage de la chamotte de Benadouane.

matière	densité après tassage (g/cm <sup>3</sup> )
<b>Chamotte Benadouane</b>	1,21

La chamotte est plus dense (moins poreuse) que le fritté S<sub>2</sub> (1,08 g/cm<sup>3</sup>).

#### **V.3.Substitution du fritté S<sub>2</sub> par la chamotte de Benadouane :**

La masse céramique est préparée en substituant la totalité du fritté S<sub>2</sub> par la chamotte de Benadouane

##### **V.3.1.Caractérisation de la masse céramique élaborée:**

La masse céramique préparée pour la mise en forme des meules a été caractérisée en premier. Les essais réalisés ne sont pas effectués au niveau de l'entreprise ABRAS. Ces investigations s'inscrivent dans le cadre d'une étude fondamentale afin de comprendre le comportement des matériaux granulaires, qui est dominé par les interactions particules/particules.

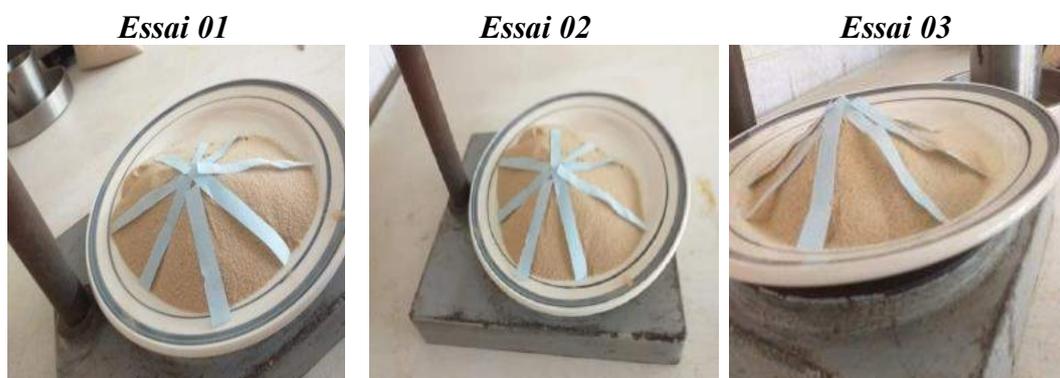
##### **V.3.1.1.Détermination des angles de Talus :**

Pour déterminer la coulabilité d'une poudre, nous avons déterminé les angles de talus. Les différents angles de talus estimés après 03 essais à partir de 08 points répartis sur le talus de la masse céramique comportant la chamotte de Benadouane, sont regroupés dans le tableau 43 :

**Tableau 43:** Mesure de l'angle de talus de la masse céramique contenant la chamotte.

		1	2	3	4	5	6	7	8	Moy	Max
<b>Masse céramique avec chamotte</b>	<b>Essai 1</b>	48,07	22,83	25,21	24,39	38,68	41,81	32,45	34,95	<b>33,54</b>	<b>48,07</b>
	<b>Essai 2</b>	27,71	22,95	31,53	35,16	22,95	35,16	32,61	38,17	<b>30,78</b>	<b>38,17</b>
	<b>Essai 3</b>	30,86	32,41	25,84	26,16	39,34	44,26	41,14	32,41	<b>34,05</b>	<b>44,26</b>

La figure 56 expose l'aspect des tas formés lors de l'écoulement de la masse céramique élaborée avec la chamotte de Benadouane



**Talus Masse céramique élaborée avec la chamotte.**

**Figure 56 : Talus des masses céramiques préparées.**

Après calculs, l'angle de mouvement et de repos ont été estimé selon le tableau 44.

**Tableau 44 :** Estimation de l'angle de mouvement et de repos de la masse céramique préparée.

Paramètres d'écoulement Angles de Talus(°)	Masse céramique témoin	Masse céramique contenant la chamotte
<b>Angle de mouvement <math>\alpha_m</math></b>	34,24	43,5
<b>Angle de repos <math>\alpha_r</math></b>	24,75	32,79

Les différents angles : angle statique (angle de mouvement  $\alpha_m$ ) et angle dynamique (angle de repos  $\alpha_r$ ) varient selon la composition du liant vitrifié.

Ainsi, selon la classification de Carr [58], la coulabilité des masses céramiques préparées est excellente, ce qui permet d'avoir une cohésion faible entre particules ( $25^\circ < \alpha_r < 35^\circ$ ).

### V.3.1.2. Coulabilité de la masse céramique contenant la chamotte :

Les valeurs de la masse volumique de la masse céramique obtenues sont présentées dans le tableau 45.

**Tableau 45 :** Masse volumique de la masse céramique contenant la chamotte.

Masse céramique	Masse volumique Apparente (g/cm <sup>3</sup> )	Masse volumique Réelle (g/cm <sup>3</sup> )	IC (%)	IH
<b>Témoin</b>	1,52	1,73	<b>13,81</b>	<b>1,138</b>
<b>Contenant la chamotte</b>	1,46	1,66	<b>13,69</b>	<b>1,13</b>

La masse céramique contenant la chamotte est plus au moins légère par rapport au témoin.

L'indice de compressibilité est évalué à 13,69%, pareil à celui du témoin. Nous pouvons donc avancer que la coulabilité de la masse céramique témoin avec la masse céramique de la chamotte sont bonnes et sont classées selon une masse sans poussières ni fibres.

### V.3.1.3. Compacité " C " de la masse céramique contenant la chamotte:

Les valeurs de la compacité sont reportées dans le tableau 46.

**Tableau 46 :** Compacité de la masse céramique contenant la chamotte.

Masse céramique	Compacité
<b>Témoin</b>	0,87
<b>Contenant la chamotte</b>	0,87

La masse céramique comportant la chamotte au lieu du fritté S<sub>2</sub> adopte le même comportement que celui de la masse céramique témoin. Nous pouvons avancer que l'utilisation de la chamotte de Benadouane au lieu du fritté S<sub>2</sub> dans l'élaboration du liant vitrifié V<sub>217</sub> n'a pas altéré la compacité de la poudre granuleuse.

#### V.3.1.4. Dispersibilité de la masse céramique contenant la chamotte :

Les résultats obtenus sont exposés dans le tableau 47.

**Tableau 47** : Mesure de la dispersibilité de la masse céramique contenant la chamotte.

N° essai	Dispersibilité		
	Essai 01	Essai 02	Essai 03
Témoin	0,007	0,013	0,01
Masse céramique contenant la chamotte	0,015	0,025	0,017

Nous notons que la dispersibilité de la poudre céramique élaborée est faible. L'écoulement de la poudre est fluide sans que les particules ne se dispersent. Ce constat peut être lisible en examinant le talus formé par la poudre (figure 56).

#### V.4. Caractérisation des meules confectionnées :

Les meules après cuisson ont été sujettes de plusieurs tests afin de juger leur efficacité.

##### V.4.1. Aspect visuel des meules confectionnées :

Les meules confectionnées à partir de la masse céramique comportant la chamotte ne présentent aucune fissuration ou déformations sur leur surface (Figure 57).

La couleur des meules confectionnées avec la chamotte ne diffère pas des meules témoin sauf une certaine différence de nuance est observée sur la meule obtenue après cuisson à 1100°C.

Le test sonique effectué sur meules confectionnées n'a révélé aucun son anormal. Ce qui prouve que les pièces ne présentent aucune fissuration. Ce test a été assuré comme pour les meules conçues avec le liant vitrifié composite par le responsable laboratoire qualité d'ABRA-Saida qui est plus qualifié que nous.

V.4.2. Densité  $d_2$  des meules cuites :

La densité  $d_2$  des meules cuites est donnée dans le tableau 48.

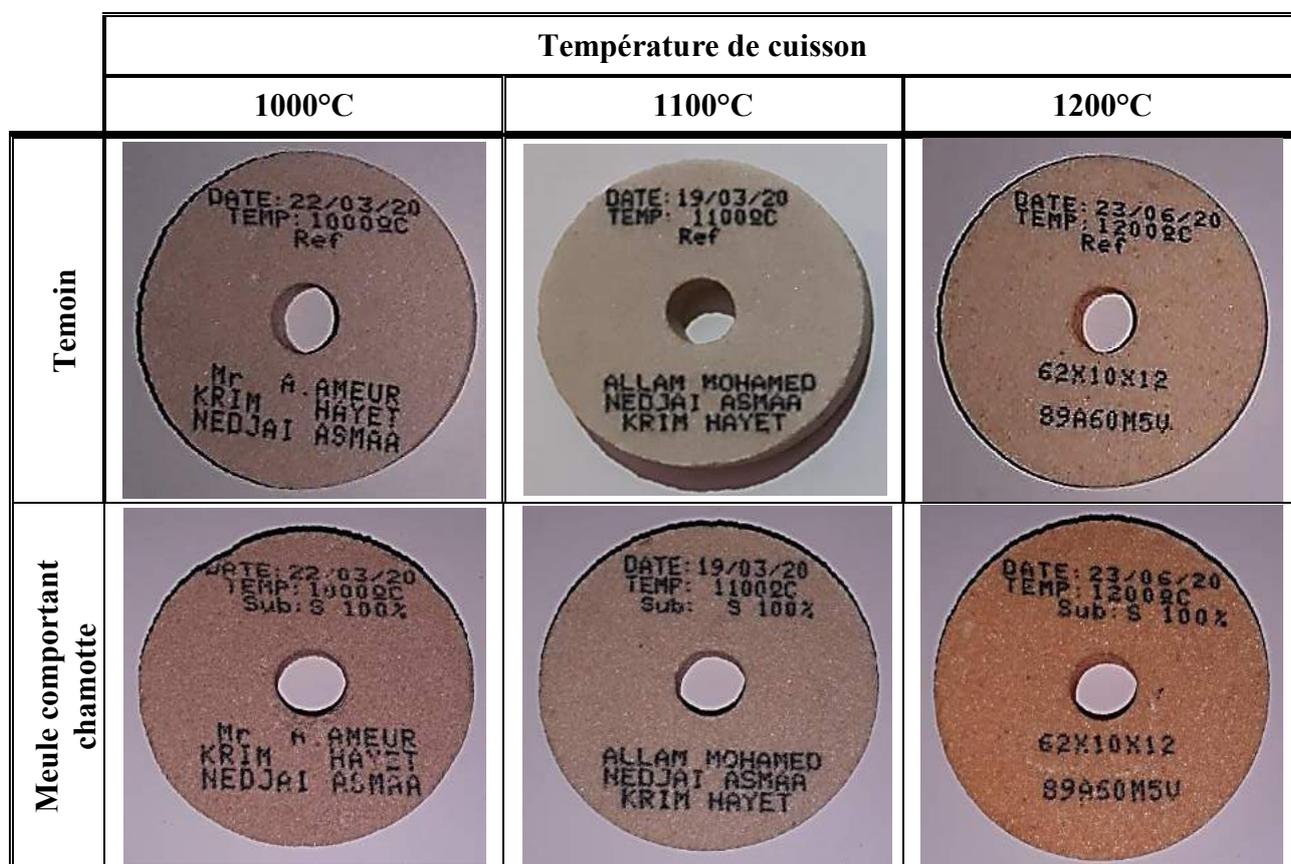
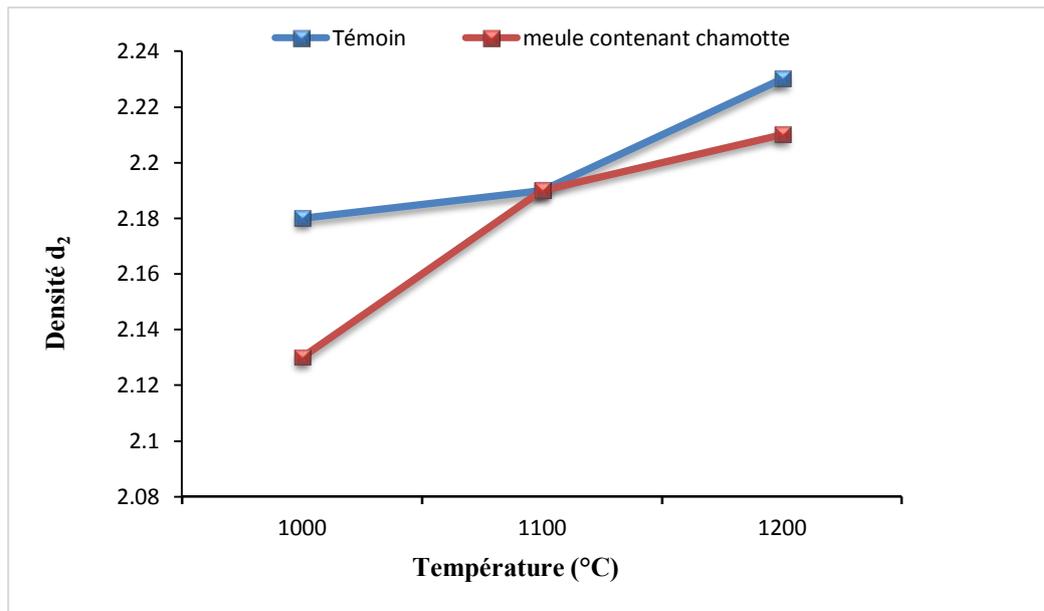


Figure 57 : Evolution de l'aspect visuel des meules étalon et confectionnée en fonction de la température de cuisson.

Tableau 48 : Densité  $d_2$  des meules confectionnées.

Température de cuisson (°C)	Densité $d_2$ de la meule cuite	
	Contenant chamotte	Témoin
1000	2,13	2,18
1100	2,20	2,19
1200	2,21	2,23

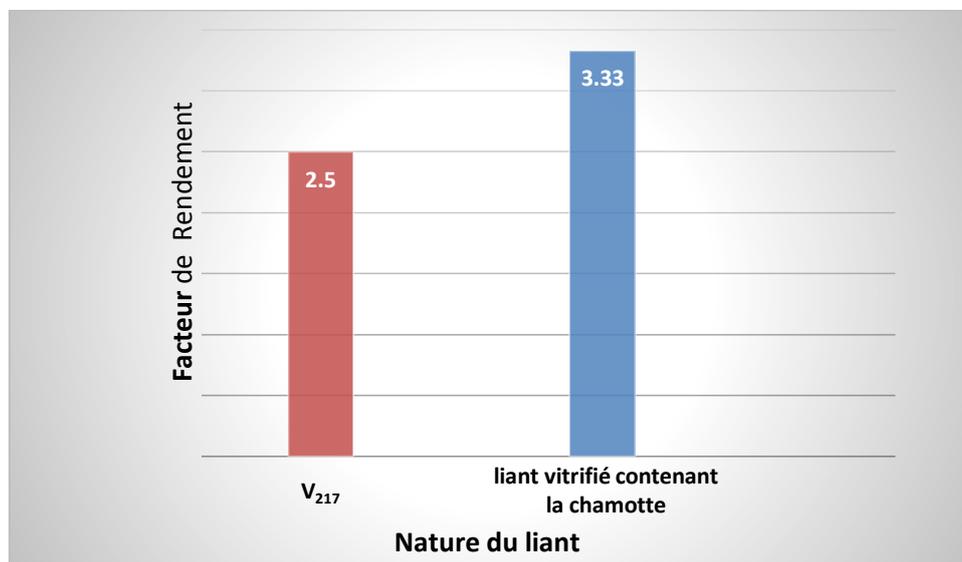
Nous constatons que la meule contenant la chamotte est moins dense que la meule référence. La densité de celle-ci est plus importante au fur et à mesure que la température de cuisson augmente.



**Figure 58 : Evolution de la densité de la meule contenant la chamotte en fonction de la température de cuisson.**

#### V.4.3. Facteur de Rendement mécanique "R" des meules confectionnées :

L'efficacité de nos outils de coupe a été testée en déterminant le facteur de rendement. La figure 59 représente les résultats du facteur de rendement des meules cuites à 1200°C.



**Figure 59 : Evolution du Facteur de Rendement en fonction de la chamotte.**

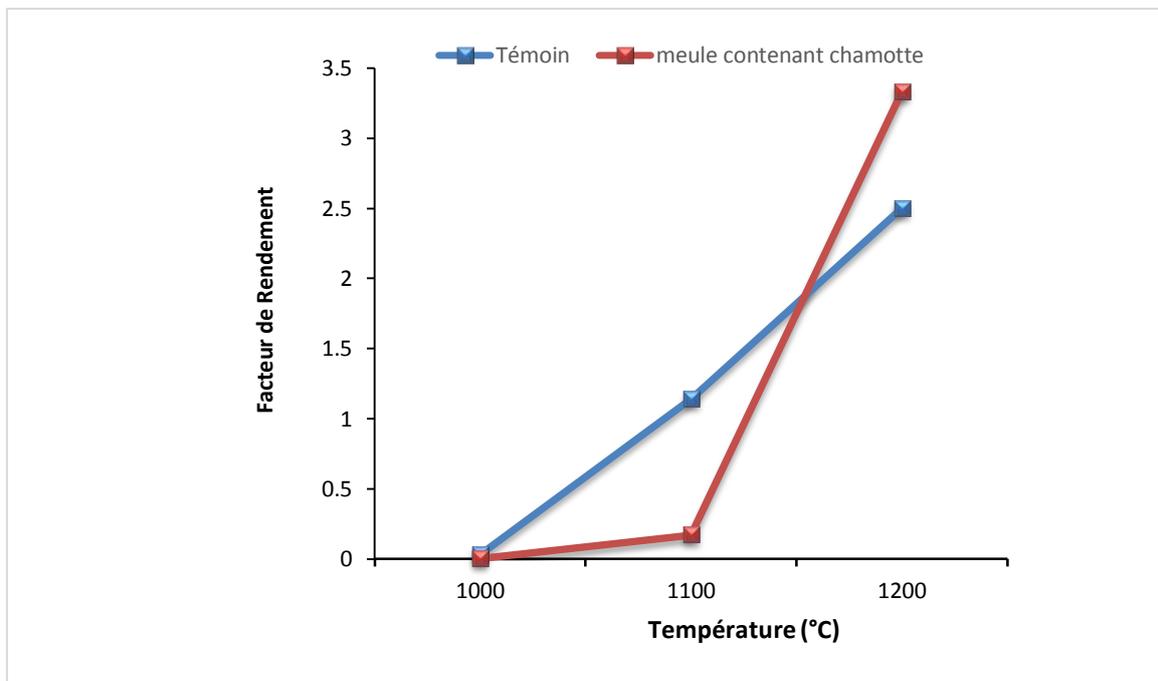
Nous constatons que le facteur de rendement est plus prometteur que celui du témoin. Lors de l'introduction de la chamotte au lieu du fritté S<sub>2</sub>, le facteur de rendement est plus prometteur que celui du témoin.

**V.4.4.Effet de la température de cuisson sur l’Efficacité de coupe des meules confectionnées :**

Nous avons réduit la température de cuisson après avoir introduit la chamotte dans la composition du liant. Les facteurs de rendement des meules produites sont donnés dans le tableau 49.

**Tableau 49 :** Evolution du facteur de rendement des meules contenant la chamotte en fonction de la température de cuisson.

Température de cuisson (°C)	Meule	Perte de poids de la meule (g)	Poids du matériau enlevé (g)	Facteur de Rendement
1000	<i>Témoin</i>	0,10	0,03	0,300
	<i>Contenant chamotte</i>	0,12	0,03	0,002
1100	<i>Témoin</i>	0,07	0,08	1,14
	<i>Contenant chamotte</i>	0,08	0,06	0,17
1200	<i>Témoin</i>	0,40	0,10	2,50
	<i>Contenant chamotte</i>	0,05	0,15	3,33



**Figure 60 :** Effet de la température de cuisson sur l’Efficacité de coupe des meules confectionnées.

Plus la chamotte est présente dans la composition du liant, plus nous obtenons un facteur de rendement très élevé. Aussi, plus la température de cuisson est élevée, plus le facteur de rendement est élevé. L'efficacité de la coupe est optimale en utilisant des meules contenant la chamotte et cuites à 1200°C

### **V.5.Conclusion**

La composition de la chamotte de Benadouane est identique à celle du fritté S<sub>2</sub>. Ce matériau est le produit de cuisson d'une argile à 1200°C. Il constitue en soi un fritté.

La distribution en taille des grains de chamotte correspond à la granulométrie du fritté S<sub>2</sub>. Cela induit la même cohésion de la poudre. Cette constante se traduit par une coulabilité et une compacité qui ne sont pas influencées par l'introduction de la chamotte dans la conception du liant vitrifié V<sub>217</sub>.

La température d'élaboration modifie la compacité du compact. Les meules contenant la chamotte ont une compacité plus faible que les meules témoin car ces compacts ont une densité apparente élevée. Les meules contenant la chamotte élaborées subissent un retrait plus faible que les meules témoin.

A température ambiante, le facteur de rendement des meules est amélioré par la substitution du fritté S<sub>2</sub> par de la chamotte de Benadouane. Les propriétés mécaniques dépendent de la compacité initiale de la poudre céramique. Cette propriété n'a pas été influencé par la nouvelle conception du liant vitrifié V<sub>217</sub>. Le facteur de rendement est meilleur à température de cuisson élevée. A cette température, la chamotte a pu jouer son rôle de dégraissant améliorant ainsi la mouillabilité des grains abrasifs avec le liant vitrifié V<sub>217</sub>.

# C

onclusion  
générale et  
perspectives

## Conclusion générale et Perspectives

L'unité ABRA-Saida produit annuellement 320 Tonnes /an de meules abrasives agglomérées.

Ce sont des matériaux granuleux cohésifs. La cohésion est assurée par un liant céramique vitrifié noté techniquement V<sub>217</sub>. Ce liant est une masse céramique constitué d'une combinaison de frites, feldspaths et argiles. La totalité de ces matières premières utilisées ne sont pas localisées dans la Wilaya de Saida.

La caractérisation des composants du liant vitrifié a montré la conformité de ces derniers selon la fiche technique du fournisseur à l'exception du Fritté S<sub>2</sub> ainsi que les Feldspaths Sodique S<sub>20</sub> et Argileux S<sub>22</sub> dont la mesure de densité après tassage de S<sub>20</sub> (1,20 g/cm<sup>3</sup>) et S<sub>22</sub> (1,42 g/cm<sup>3</sup>) a donné une valeur différente de celle mentionnée par le fournisseur. La teneur en eau S<sub>2</sub> (0,33%) dépasse le seuil toléré (max 0,2%).

Le liant préparé renferme 51,56% de silice et 17,39% d'alumine. Un taux de 1,60% d'oxyde ferrique est enregistré.

Aussi les différents tests effectués sur le liant soit la masse céramique répond bien aux exigences d'une poudre utilisée dans la fabrication de pièces céramiques, étant caractérisée par une distribution de taille de particules fines et un taux d'eau physisorbée faible mais nous devons s'assurer des conditions de stockage pour éviter un taux d'humidité plus élevé.

Aucune autre information ne peut être soutirée de l'analyse par microscope binoculaire des composants du liant vitrifié à part la couleur du produit qui peut nous renseigner sur la possibilité de présence d'impuretés.

Les propriétés physico- chimiques des différents grains du corindon blanc supérieur, utilisés comme grains abrasifs répondent aux caractéristiques physiques tracées par les normes standards de la FEPA et mentionnées sur son étiquetage

Les connaissances scientifiques acquises sur la composition et le comportement de la masse céramique du liant vitrifié V<sub>217</sub> permet de justifier le choix des matériaux de substitution choisis dans cette étude. La phase vitreuse formée lors du frittage du liant permet la cohésion de l'édifice granulaire de la meule. Ainsi l'utilisation du déchet verre comme matériau de substitution du V<sub>217</sub> a été exploré.

La composition chimique du déchet est qualitativement semblable à celle du liant vitrifié (silice, alumine, oxyde de fer).

Les différentes caractérisations physiques effectuées sur la masse céramique comportant du verre confirment que son comportement est proche de celui de la masse céramique au liant  $V_{217}$  préparée par ABRA-Saida. Cette poudre est caractérisée par une densité élevée et une coulabilité différente de celle comportant seulement le liant vitrifié, bien que la dispersibilité est à peu près la même.

L'introduction du déchet verre comme liant vitrifié a contribué dans la diminution de la densité des meules. Nous obtenons un liant vitrifié composite enrichi en verre qui permet d'obtenir un facteur de rendement élevé. Ainsi une meule ayant une efficacité de coupe élevée, peu couteuse par rapport à la meule commercialisée, a pu être élaborée.

D'autre part, après avoir bien étudié la coulabilité de la masse céramique préparée par ABRA-Saida ainsi que sa granulométrie, nous nous sommes penchées sur la possibilité de substituer l'un des composants du liant vitrifié  $V_{217}$  : les frittés par une matière locale. Effectivement, vu que la Wilaya de Saida possède un secteur industriel dédié aux matériaux de construction, il n'est pas à écarter la possibilité de produire des frittés par l'une des briqueteries de la wilaya.

Après une étude préliminaire sur les chamottes des deux briqueteries de la Wilaya : Sidi Aissa et Benadouane, notre choix s'est porté sur la chamotte de la briqueterie Benadouane dont la composition est proche à celle du fritté  $S_2$ .

La composition de la chamotte de Benadouane est identique à celle du fritté  $S_2$  (68,06%  $SiO_2$ , 15,77%  $Al_2O_3$ , 6,61%  $Fe_2O_3$ ). Ce matériau est le produit de cuisson d'une argile à 1200°C. Il constitue en soi un fritté.

La distribution en taille des grains de chamotte correspond à la granulométrie du fritté  $S_2$ . Cela induit la même cohésion de la poudre. L'introduction de la chamotte dans la conception du liant vitrifié  $V_{217}$  n'a pas influencé le comportement physique de la masse céramique en termes d'écoulement et de compacité.

Par contre, la température d'élaboration modifie la compacité du compact. Les meules contenant la chamotte ont une compacité plus faible que les meules témoin car ces compacts ont une densité apparente élevée. Les meules contenant la chamotte subissent un retrait plus faible que les meules témoin.

A température ambiante, le facteur de rendement des meules est amélioré par la substitution du fritté  $S_2$  par de la chamotte de Benadouane. Le facteur de rendement est

meilleur à température de cuisson élevée. A cette température, la chamotte a pu jouer son rôle de dégraissant améliorant ainsi la mouillabilité des grains abrasifs avec le liant vitrifié V<sub>217</sub>.

Les résultats de cette étude sont très prometteurs et pouvaient être encore plus si les conditions de travail l'auraient permise avec l'avènement de la crise sanitaire COVID 19.

Il était intéressant de voir l'évolution des propriétés physiques de la masse céramique en fonction du taux de substitution du liant vitrifié par le déchet de verre.

L'élaboration d'un fritté ayant les mêmes caractéristiques que le fritté S<sub>1</sub> aurait pu émerger si nous avions eu le temps de poursuivre nos investigations.

La caractérisation physique des meules confectionnées : retrait, taux d'absorption, deux critères est à recommander. Ceux-ci nous auraient éclairé sur la porosité de la meule et delà sur la structure compacte obtenue en fonction de la température de cuisson

Nous aurions aussi pu effectuer la cuisson à 1200°C dans le four de laboratoire mais le temps et les circonstances sanitaires ont joué contre nos ambitions.

Enfin pour conclure, ce modeste travail a montré qu'il est possible de confectionner un liant vitrifié ou vitreux dont les composants peuvent être en grande partie locale. Il suffit seulement d'un travail de recherche plus poussé. Nos investigations ne sont que le premier pas d'une collaboration entreprise – université pour la prospérité de l'entreprise.

**R**

**éférences**

**bibliographiques**

---

## Références Bibliographiques

- [01] Mourad Saouli, « L'Algérie met le cap sur l'exploitation de ses ressources minérales », Publié sur le site d'Arab news le 23 août 2020 consulté le 26/08/2020.
- [02] Ouramdane Mehenni, « Céramique : Production de 120 millions de mètres carrés en 2018 » Publié sur le site <https://www.algerie-eco.com> le 22 janvier 2019 consulté le 26/08/2020.
- [03] Lin, T., Liu, S., Ji, Z., Shao, H., & Hao, J. (2020). Vitrified bond diamond grinding wheel prepared by gel casting with 3D printing molds. *Diamond and Related Materials*.
- [04] Li, W. (2016). *Identification des paramètres modaux de systèmes mécaniques non stationnaires : application à un robot flexible de meulage* (Doctoral dissertation, École de technologie supérieure).
- [05] Xolin, E. (2005). *Etude des propriétés physiques et mécaniques de matériaux granulaires cohésifs : applications aux meules abrasives à liant vitreux* (Doctoral dissertation, INSA de Lyon).
- [06] Belgacem Abdelkrim et Kouidri Sofiane. (2012). *Valorisation des calcins soda-calcique et coloré dans l'industrie des abrasifs*. Mémoire d'ingénieur d'état en chimie industrielle. Option : Génie de l'environnement, Université Dr Moulay Tahar-Saida.
- [07] BOUSSAK, H. A. (2015). Effet de la température sur les performances des céramiques contenant la bentonite de Maghnia. *thèse de doctorat en Génie des Procédés. Option : Polymères et composites*, Université M'Hamed Bougara, Boumerdes.
- [08] Bléhaut, H., Chicot, D., Lesage, J., & Flahaut, P. (2004). Conséquences d'un meulage sur l'intégrité de surface d'un acier inoxydable austénitique. Centre de Recherche, École des Mines de Douai. Laboratoire de Mécanique de Lille, UMR CNRS 8107, Villeneuve d'Ascq. *La revue de Métallurgie*.
- [09] Lefebvre A. (2005). *Etude Expérimentale Et Analytique Pour La Caractérisation Des Echanges Thermiques Locaux Et Globaux A L'interface Meule-Pièce En Rectification. Thèse de doctorat en Sciences de l'Ingénieur. Option : Mécanique –Productive, Université de Metz, France.*

- [10] Marinescu, I. D., Hitchiner, M. P., Uhlmann, E., Rowe, W. B., & Inasaki, I. (2006). Handbook of machining with grinding wheels. CRC Press.
- [11] Mohamed BENTOUMI, Djamel BOUZID, Isabel HERVAS, Alain IOST. (2015). Étude comparative par indentation des caractéristiques mécaniques de verres sodo-calcique et vitrocéramique rodés et polis par des grains abrasifs liés - Matériaux et Techniques - Vol. 103, n°6, p.1-14.
- [12] TSYV'YAN A. M. (2002). Selection of the binder composition for abrasive electrocorundum instruments. Glass and Ceramics. vol.59, n°1-2, pp.30-33.
- [13] JACKSON M. J., MILLS B. (2000). Materials selection applied to vitrified alumina & CBN grinding wheels. Journal of Materials Processing Technology. vol.108, n°114-124.
- [14] Masayuki Yamamoto. (2018). Technology course, structure of grindingwheel structure and concentration. Noritaketechical journal.
- [15] François GOOSSENS. (2015). Modélisation du processus de polissage Identification des effets et des phénoménologies induits par l'usinage abrasif. *Thèse de doctorat en sciences physiques et de l'ingénieur. Option : Mécanique*, Université de bordeaux, France.
- [16] Boudebza Hicham et Tessada Yacine. (2019). Fabrication de dispositif de prise d'outil sur la meule Au hall de technologie. *Mémoire de Master. Filière : Génie Mécanique*, Université Abderrahmane Mira, Bejaia.
- [17] Élie COBO. (2019). Étude d'un procédé d'amincissement abrasif pour la fabrication de cellules solaires minces triple-jonctions III-V/Ge. *Mémoire de maîtrise. Spécialité : génie électrique*, Université de Sherbrooke, Sherbrooke (Québec),Canada.
- [18] Jean François DEBONGNIE. (2006). USINAGE. Editions du CEFAL asbl. Boulevard Frère-Orban 31 4000 Liège, Belgique.
- [19] Lucie BODDAERT-OME, Ashley DOWNER-WPI, Emeline POMART-PCE. (2013-2014). Optimisation de l'impact énergétique et environnemental d'un processus industriel de fabrication de matériels abrasifs. Worcester polytechnic institute Digital WPI. Interactive qualifying projects (All years).

- [20] HAMDI Amine. (2011). Superfinition des surfaces par le procédé de toilage. *Mémoire de Magister en optique et mécanique de précision. Option : Mécanique appliquée*, Université Ferhat Abbas, Sétif, Algérie.
- [21] Kingery W.D. (ed.) (1984), "Structure and properties of MgO and Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Ceramics", *The Am. Ceram. Soc.*
- [22] Herman, D., Markul, J. (2004). Influence of microstructures of binder and abrasive grain on selected operational properties of ceramic grinding wheels made of alumina. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 44(5), 511-522
- [23] Jackson, M. J., & Mills, B. (2000). Materials selection applied to vitrified alumina & CBN grinding wheels. *Journal of Materials Processing Technology*, 108(1), 114-124.
- [24] Oussama BEN TANFOUS. (2017). Développement d'une nouvelle méthode de profilage d'outil de meulage assisté par robot. *Mémoire présenté à l'école de technologie supérieure comme exigence partielle à l'obtention de la maîtrise avec mémoire en génie mécanique, école de technologie supérieure, université du Québec, Montréal.*
- [25] Satoshi Isogimi. (2017). Grinding wheel basics *Mechanical engineering* 65(4) 32
- [26] Menard, J. C., & Thibault, N. W. (2000). Abrasives. *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry*.
- [27] Clark, T. J., & Reed, J. S. (1986). A novel technique for producing a glass-ceramic bond in alumina abrasives. *American Ceramic Society Bulletin*, 65(11), 1506-1512.
- [28] Herman, D. (1997). Glass and glass-ceramic binders for abrasive grains of fused and sintered alumina type SG into abrasive tools. *Key engineering materials*, 2180-2183.
- [29] Thuot, D., Liu, Z., Champliand, H., Beaudry, J., Richard, P.-L., & Blain, M. (2013). Remote robotic underwater grinding system and modeling for rectification of hydroelectric structures. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 29(1), 86-95.
- [30] Staniewicz-Brudnik B., Plichta J, Nadolny K., Pluta J. (2006). The study of CBN grinding wheels grinding efficiency within creased porosity of micro grains of spherical corundum. *Archive of Production Engineering and Automation*, Vol. 26, No. 2, PoznanUniversity of Technology

- [31] Wang Y. et al (2011). Influence of zinc particles on oxidation resistance of diamond / boro silicate glass compositions Diffusion and Defect Data PTB: Solid State Phenomena 175, 8-12.
- [32] Staniewicz-Brudnik, B., Bączek, E., & Skrabalak, G. (2015). The new generation of diamond wheels with vitrified (ceramic) bonds. Sintering Techniques of Materials. Thandalam, Chennai, India: INTECH. Aruna chalam Lakshmanan Savee tha Engineering College, 53-76.
- [33] Commission Européenne de l'Environnement, BREF « Fabrication des céramiques ». (2007). Accès sur le site : [https://aida.ineris.fr/sites/default/files/directive\\_ied/cer\\_bref\\_1206\\_VF\\_0.pdf](https://aida.ineris.fr/sites/default/files/directive_ied/cer_bref_1206_VF_0.pdf) en version française (téléchargé le 03/02/2020).
- [34] Jackson, M. J., Barlow N, Hon K K B (2001) Computer aided design of high-performance grinding tools. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B. J. Eng. Manuf. 215: 583–588
- [35] Jamrozik, A., Klapiszewski, Ł., Strzemiecka, B., Voelkel, A., & Jesionowski, T. (2018). Additives for Abrasive Materials. In Abrasive Technology-Characteristics and Applications. Intech Open.
- [36] Jackson, M. J., Mills, B., & Hitchiner, M. P. (2003). Controlled wear of vitrified abrasive materials for precision grinding applications. Sadhana, 28(5), 897-914.
- [37] L. Tucci, E. Esposito, C. Rastelli, E. Palmonari and Rambaldi, « Use of soda-lime scrap glass as a fluxing agent in a porcelain stoneware tile mix», J. Eur. Ceram. Soc. 24, pp. 83–92 (2004).
- [38] A. AribAb. Sarhiri, R. Moussa, T. Remmal, M. Gomina(2007), Caractéristiques structurales et mécaniques de céramiques à base d'argiles : influence de la source de feldspath, C. R. Chimie 10
- [39] D. Merabet, H. Belkacemi. (2003). Caractérisation minéralogique et chimique du kaolin de Tamazert (Algérie), Annales de Chimie Science des Matériaux (Vol. 28, No. 5, pp. 61-83).

- [40] Hernot Francois. (2016). L'argile, son utilisation a l'officine. *Thèse de Docteur en Pharmacie*, Faculté de santé, université d'Angers, France.
- [41] Jürgen G. Heinrich, Cynthia M. (2014). Gomes, Introduction to Ceramics Processing, Clausthal University of Technology, Germany.
- [42] Federal Environment agency Umwelt Bundes Amt « UBA». (2004). Production of inorganic bonded abrasives, Germany.
- [43] Document interne de l'entreprise Abra-Saida.
- [44] Norme Algérienne NA 235.
- [45] De Jong, J. A. H., Hoffmann, A. C., & Finkers, H. J. (1999). Properly determine powder flowability to maximize plant output. *Chemical Engineering Progress*, 25, 34.
- [43] Document interne de l'entreprise Abras- Saida.
- [46] Hausner, H. H. (1967). *Friction conditions in a mass of metal powder*. Polytechnic Inst. of Brooklyn. Univ. of California, Los Angeles.
- [47] Carr, R. L. (1965). Evaluating flow properties of solids. *Chem. Eng.*, 18, 163-168.
- [48] Santomaso A, Lazzaro P, Canu P. Powder flowability and density ratios: the impact of granules packing. *Chem Eng Sci* 58(13) 2003.
- [49] Teunou E, Fitzpatrick JJ. Effect of relative humidity and temperature on food powder flowability. *J. Food Eng.* 42(2) 1999.
- [50] Ganesan V, Rosentrater K A, Muthu kumarappan K. Flowability and handling characteristics of bulk solids and powders— are view with implications for DDGS. *Biosyst. Eng.* 101(4) 2008.
- [51] ISO 8486 JAV1996.
- [52] ISO 91136 JAV2004.
- [53] NFEN 14346 MARS 2007.
- [54] NFP 18-560 OCT 1972.

[55] ISO 787 NOV 1981.

[56] Devineau, K. (2002). *Déstabilisation haute température de poudres granitiques : évolution des propriétés minéralogiques et physiques* (Doctoral dissertation, Institut National Polytechnique de Lorraine-INPL).

[57] Brown, R. L., & Richards, J. C. (2016). *Principles of powder mechanics: essays on the packing and flow of powders and bulksolids* (Vol. 10). Elsevier.

[58] Carr, R. L. (1976). Powder and Granule Properties and Granule Properties and Mechanism. Di dalam: Marchello, JM And A. Gomezplata (eds). *Gass Solid Handling in The Processing Industries*. Marchell Dekker. Inc, New York.

**A**nnexe

## Annexe : Désignation des tamis et distribution des grains F54, F60 et F70.

Tableau 50 : Distribution des grains abrasifs F 54, F 60 et F 70.

N° grain	ouverture tamis contrôle 1 (µm)	Refus Q1 (%)	ouverture tamis contrôle 2 (µm)	Refus max Q2 (%)	ouverture tamis contrôle 3 (µm)	Refus max Q3 (%)	ouverture tamis contrôle 4 (µm)	Refus min Q3+Q4 (%)	ouverture Tamis contrôle 5 (µm)	Refus min Q3+Q4+Q5 (%)	ΔQ max (%)
F54	500	0	355	30	300	40	250	65	212	/	3
F60	425		300		250		212		180		
F70	355		250	212	180		150				

Q3+Q4 : le contenant du tamis 3+ le contenant du tamis 4 (mesure de la masse)

Q3+Q4+Q5 : le contenant du tamis 3+ le contenant du tamis 4+ le contenant du tamis 5 (mesure de la masse)

/ : N'est pas déterminé.

Tableau 51 : Liste des tamis utilisés pour l'analyse granulométrique au sein de l'ABRA-Saida.

Ouverture maille (µm)	Tamis N°
500	35
425	40
355	45
300	50
250	60
212	70
180	80
150	100