

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Mémoire de Master

Présenté à l'Université du 08 Mai 1945 de Guelma

Faculté des Sciences et de la Technologie

Département de Génie Civil & Hydraulique

Spécialité : Génie Civil

Option : Matériaux En Génie Civil

Présenté par : LACHTER Boutheyna

KHAN Mohamed Salah

Thème :

**Kaolin DD3 de Djebel Debagh Guelma :
Caractérisation et utilisation dans la l'élaboration
d'un ciment composé.**

Sous la direction de : Pr. Benmalek ML

Septembre 2020

Remerciements

En préambule à ce mémoire, je souhaite adresser ici mes remerciements à :

Notre créateur (DIEU) pour m'avoir donné de la force à Accomplir ce travail.

Mon encadreur « Pf. Benmalek ML », pour l'implication Qu'il a pu avoir tout au long de ce projet, son suivi ses conseils et ses orientations.

Tous les membres des « Jurys », pour l'honneur qu'ils nous font en acceptant d'examiner ce mémoire et pour leur bienveillante attention

Tous les travailleurs de département de génie civil et hydraulique, université de GUELMA.

Enfin, j'adresse mes sincères remerciements à tous mes proches et amis qui m'ont toujours soutenues et encouragées au cours de la réalisation de ce mémoire.

RESUME

Le fait que l'industrie cimentière en Algérie ne produisait qu'un seul type de ciment avec un faible pourcentage d'ajouts, était une perte notable pour l'économie nationale. En effet, l'utilisation des ajouts dans la production des ciments Portland a résolu en grande partie le problème d'autosuffisance nationale, ainsi que celui de la baisse du coût énergétique. En faisant varier les pourcentages d'ajouts, on pourrait obtenir en fonction des domaines d'utilisation, différents types de ciments avec les propriétés physico-mécaniques demandées. Les ajouts minéraux sont largement utilisés dans la production des ciments à travers le monde. Du point de vue économique, ils présentent un facteur très important dans la production du ciment Portland composé (CPJ-CEMII/ A ou B), du moment que la consommation en clinker baisse en fonction du taux d'ajout utilisé.

A l'origine, cette étude avait pour but l'utilisation du Métakaolin, dérivé du kaolin (existant en grandes quantités à djebel debagh Guelma) comme une substitution partielle du clinker pour la production d'un nouveau ciment composé. Cinq compositions contenant respectivement entre 0 et 20% de poudre de Métakaolin étaient prévues pour ce travail. La poudre doit être finement broyée. Les ciments composés envisagés doivent être préparés et caractérisés d'un point de vue physique, mécanique et chimique.

Un riche programme expérimental (que nous présentons dans ce mémoire) a été élaboré et avait tout juste démarré avant que la pandémie du coronavirus ne vienne le paralyser. Les résultats préliminaires des essais réalisés et ceux envisagés seront présentés dans ce document.

Mots clés

Métakaolin - Kaolin – Substitution massive - Ciment portland composé - Caractéristiques.

ABSTRACT

The fact that the cement industry in Algeria produced only one type of cement with a low percentage of additions was a significant loss to the national economy. Indeed, the use of additions in the production of Portland cements has largely solved the problem of national self-sufficiency, as well as that of lower energy costs. By varying the percentages of additions, we could obtain, depending on the fields of use, different types of cements with the required physico-mechanical properties. Mineral additions are widely used in the production of cements around the world. From an economic point of view, they are a very important factor in the production of composite Portland cement (CPJ-CEMII / A or B), as long as the clinker consumption decreases depending on the rate of addition used.

The original aim of this study was to use Metakaolin, a kaolin derivative (existing in large quantities at Jebel Debagh Guelma) as a partial substitution for clinker for the production of a new compound cement. Five compositions containing respectively between 0 and 20% Metakaolin powder were planned for this work. The powder should be finely ground. The envisaged compound cements must be prepared and characterized from a physical, mechanical and chemical point of view.

A rich experimental program (which we present in this document) was drawn up and had only just started before the coronavirus pandemic came to paralyze it. The preliminary results of the tests performed and envisaged will be also presented in this document.

Keywords

Metakaolin - Kaolin - Mass substitution - Blended Portland cement - Characteristics.

ملخص

إن صناعة الأسمنت في الجزائر تنتج نوعاً واحداً فقط من الأسمنت مع نسبة منخفضة من الإضافات وهي بمثابة خسارة كبيرة للاقتصاد الوطني. في الواقع أدى استخدام الإضافات في إنتاج الأسمنت البورتلاندي إلى حل مشكلة الاكتفاء الذاتي الوطني، وكذلك مشكلة انخفاض تكاليف الطاقة. من خلال تغيير النسب المئوية للإضافات، يمكننا الحصول، اعتماداً على مجالات الاستخدام، على أنواع مختلفة من الأسمنت بالخصائص الفيزيائية الميكانيكية المطلوبة. تستخدم الإضافات المعدنية على نطاق واسع في إنتاج الأسمنت حول العالم. من وجهة نظر اقتصادية، فهي عامل مهم للغاية في إنتاج الأسمنت البورتلاندي المركب (-CPJ CEMII / A أو B)، طالما أن استهلاك الكلنكر ينخفض اعتماداً على معدل الإضافة المستخدمة.

كان الهدف الأصلي من هذه الدراسة هو استخدام الميكاكولين، مشتق الكاولين (الموجود بكميات كبيرة في جبل دباغ بقالمة) كبديل جزئي للكلنكر لإنتاج أسمنت مركب جديد. تم التخطيط لخمسة تركيبات تحتوي على التوالي بين 0 و 20 ٪ مسحوق ميكاكولين لهذا العمل. يجب أن يكون المسحوق ناعماً. يجب تحضير الأسمنت المركب المبرمج وتمييزه من وجهة نظر فيزيائية وميكانيكية وكميائية. bbb

تم وضع برنامج تجريبي ثري (الذي تقدمه في هذه الأطروحة) وكان قد بدأ للتو قبل أن يصل وباء فيروس كورونا إلى شلّه. سيتم تقديم النتائج الأولية للاختبارات التي تم إجراؤها والتي كانت مبرمجة للإنجاز في هذا المستند.

الكلمات الدالة

ميكاكولين -كاولين -الاستبدال الكتلي -أسمنت بورتلاندي مركب -الخصائص.

Sommaire

Remerciements

RESUME

ABSTRACT

ملخص

Sommaire

INTRODUCTION GENERALE..... 11

Chapitre I : LES CIMENTS COMPOSES ET LES ADDITIONS

I.1. Introduction..... 13

I.2. Définition d'un ciment selon la norme NA442 13

I.3. Procédés de fabrication du ciment 14

I.4. Phases du ciment..... 15

I.5. Classification des ciment 16

I.5.1. Selon leurs composition 16

I.5.2. Selon leurs résistances normales 18

I.6. Hydratation du ciment portland 18

I.7. Définition des additions minérales 19

I.7.1 Définition des caractéristiques des additions 19

I.8. Avantages des ajouts minéraux 20

1.8.1 Avantages économiques 20

1.8.2 Avantages écologiques..... 20

1.8.3 Avantages techniques 21

I.9. Bref aperçu sur l'industrie cimentaire Algérienne 21

I.9 .1. Secteur public (Groupe Industriel Des Ciments D'Algérie (GICA)) 21

I.9 .2. Secteur Privée (Groupe Lafarge-Holcim Algérie) 22

Chapitre II: GENERALITES SUR LE KAOLIN ET LE METAKAOLIN. CAS SPECIFIQUE DU KAOLIN DD3 DE GUELMA

II.1. Introduction 25

II.2. Situation géographique :..... 26

II.3. Généralités sur les kaolins 27

II.3.1. Introduction 27

II.3.2. Les argiles 28

II.3.2.1. Généralités sur l'argile..... 28

II.3.2.2. Origine..... 28

II.3.2.3. Composition minéralogique.....	29
II.3.2.4. Propriétés et rôles des minéraux argileux.....	31
II.4. Les kaolins	32
II.4.1. Quelques exemples de gisements de kaolin dans le monde.....	32
II.4.2. Les gisements de kaolin en Algérie	32
II.5. Les kaolins de djbel debagh.....	33
II.5.1. La structure	33
II.5.2. L'origine des kaolins et minéraux associés	35
II.5.2.1. Les kaolins primaires ou kaolins résiduels.....	35
II.5.2.2. Les kaolins secondaires ou sédimentaires	36
II.5.3. Morphologie du kaolin DD3 de Djebel Debbagh.....	37
II.5.4. Principaux usages industriels du kaolin.....	38
II.5.4.1 Céramiques	39
II.5.4.2. Dans les émaux	41
II.5.4.3. Réfractaires.....	42
II.5.4.4. Matériaux de construction.....	43
II.5.4.5. Papier	43
II.5.4.6. Les applications médicales et cosmétiques	43
II.5.4.6.1. Utilisations modernes pharmaceutiques	43
II.5.4.6.2. Produits de beauté.....	43
II.5.4.7. Charges.....	44
II.5.4.7.1. Papiers.....	44
II.5.4.7.2. Peintures.....	44
II.5.4.7.3. Caoutchoucs.....	44
II.5.4.7.4. Polymères	45
II.6. Le métakaoli	46
II.6.1. Structure chimique.....	46
II.6.2. Utilisation	48
II.7. conclusion	49
Chapitre III : MATERIAUX ET PROCEDES EXPERIMENTAUX. TENTATIVE D'E LABORATION D'UN CIMENT COMPOSE A BASE DE METAKAOLIN ISSU DU KAOLIN DE GUELMA	
III.1. Introduction	52
III.2. Matériaux utilisés.....	52
III.2.1. Ciment.....	52
III.2.2. Sable	54

III.2.3. Métakaolin	55
III.2.4. Eau	56
III.3. Préparation du ciment	56
III.4. Procédures expérimental	56
III.4.1. Caractérisation chimique des ciments	56
III.4.1.1. Analyse chimique par fluorescence X	56
III.4.1.2. Teneur en (CaO) libre	58
III.4.1.3. Perte au feu (PAF)	60
III.4.2. Caractérisation physique des ciments	61
III.4.2.1. Détermination de la surface spécifique par la méthode Blaine	61
III.4.2.2. Masses volumiques absolues et apparentes des ciments	62
III.4.2.3. Consistance normale des ciments	64
III.4.2.4. Prise des ciments	65
III.4.2.5. Expansion des ciments	66
III.4.2.6. Retrait libre des ciments	67
III.4.3. Caractérisation mécanique des ciments	68
III.5. Conclusions	70
Conclusion générale et perspectives d'avenir	72
Références bibliographiques	74
ANNEXES	76

Liste des Figures

Figure I.1. Procédé de fabrication du ciment	14
Figure I.2 : Micrographie de clinker montrant les quatre phases cristallines principales.	15
Figure II. 1. Carte de situation géographique de gisement de kaolin de Djebel Debbagh (extrait modifié depuis la carte de Jean Claude LAHONDERE 1987).....	26
Figure. II.2. Structure des minéraux argileux	29
Figure. II.3. Structure d'un minéral de type 1:1, cas de kaolinite.	33
Figure. II.4. Disposition des feuillets dans des grains argileux.....	34
Figure. II.5. Exemple de dépôt de kaolin résiduel.....	36
Figure. II.6. Exemple d'un dépôt de kaolin sédimentaire.	37
Figure II.7. (a) Morphologie d'une kaolinite très bien cristallisée et (b) représentation d'une plaquette de kaolinite.	37
Figure II.8. Photos MEB des kaolins DD3 et DD2 de Djebel Debbag	38
Figure II.9. Les Céramiques	41
Figure II.10. Les émaux	42
Figure II.11 Les Réfractaires.....	43
Figure.II.12. Structure chimique de Métakaolin	46
Figure II.13. Principales phases de traitement pour passer des matériaux extraits à des produits commercialisables.	50
Figure III.1. Calcination de l'argile	55
Figure III.2. Opérations de broyage manuel l'argile	55
Figure III.3. Opération de broyage 20 g de l'échantillon	57
Figure III. 4. compression de l'échantillon	57
Figure III. 5. Spectrométrie de fluorescence X	57
Figure III. 6. opération de calcul la chaux libre	59
Photo III.7. Four de calcination pour PAF	60
Figure III. 8. AppareilBlaine	61
Figure III. 9. Mesure de la masse volumique apparente des ciments.....	62
Figure III. 10. mesure de la masse volumique absolue des ciments.....	63
Figure III. 11. appareil de vicat pour calcul la Consistance normale des ciments	64
Figure III. 12. l'appareil de Vicat pour calcul Prise des ciments	65
Figure III. 13. l'appareil d'Expansion des ciments	65
Figure III. 14. Mesure du retrait libre par un rétractomètre digital	66
Figure III. 15. préparation des éprouvettes.....	67
Figure III. 16. conservation les éprouvettes	68

Figure III. 17. Machine d'essai à la traction par flexion	68
Figure III. 18. Machine d'écrasement	69

Liste des Tableaux

Tableau I. 1. Principales phases du ciment portland.	15
Tableau I.2 . Teneur des oxydants.	15
Tableau I.3. Types de ciment et composition.....	17
Tableau I. 4. Spécification mécaniques et physiques	18
Tableau I.5. Cimenteries Algériennes et l'utilisation des ajouts	22
Tableau II.1. Utilisations industrielles du kaolin (bundy 1993 et Murray 1999).	39
Tableau. II.2. Structure chimique des atomes d'aluminium et de silicium.	47
Tableau III.1. Compositions chimiques du ciment (%).....	53
Tableau III.2. Caractéristiques physico-mécaniques du ciment	53
Tableau III.3. Granulométrie du sable normalisé.....	54
Tableau III.4. Désignation et dosage des ciments élaborés	56

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

La protection de l'environnement fait partie des préoccupations majeures des chercheurs à l'heure actuelle. Les procédés de production du ciment, même s'ils se sont beaucoup améliorés vis-à-vis de l'environnement, restent tout de même polluants. Il faudrait alors réduire la production du ciment par l'utilisation d'autres matériaux moins polluants ou essayer de substituer même partiellement au ciment des matériaux locaux telle que : Le kaolin (K) qui est une argile blanche présente en abondance dans beaucoup de régions dans le monde. De petites quantités sont utilisées pour la fabrication des céramiques de haute qualité, le reste est non exploité. Le cas du kaolin de Djebel Debagh (DD3), site 3 dans la wilaya de Guelma, en Algérie, est un parfait exemple, il peut être utilisé comme addition dans le ciment pour l'élaboration des bétons et des mortiers.

Ce mémoire s'articule sur trois chapitres :

Le premier chapitre est une synthèse bibliographique relative au ciment composé, à sa fabrication et à ses caractéristiques ainsi qu'aux définitions des additions minérales. On présente ensuite les avantages des additions minérales, leurs mécanismes d'action dans les matrices cimentaires et leurs fonctions.

Dans le deuxième chapitre, on présente une synthèse sur la valorisation d'un matériau local en Algérie : Le kaolin. Nous nous concentrerons sur le kaolin de Djebel Debagh, sa situation géographique, ses usages dans l'industrie, les processus de sa transformation en poudre et les différents usages.

La partie expérimentale est donnée dans le troisième chapitre. On y trouve aussi un aperçu sur les techniques expérimentales ainsi que l'ensemble des essais réalisables que ce soit à l'état frais ou à l'état durci.

Chapitre I

LES CIMENTS COMPOSES ET LES ADDITIONS

I.1. Introduction

Dans ce premier chapitre, la fabrication du ciment, depuis un simple mélange de constituants réactifs et inertes, jusqu'à un matériau sous forme de poudre développant un caractère liant et ayant des propriétés mécaniques, chimiques et physiques bien spécifique est retracé. Nous suivrons ainsi pas à pas, les réactions qui se développent lors de la prise du ciment. On présentera également les différents ajouts utilisés principalement pour la confection de ciments composés, qui restent de loin, les liants les plus utilisés. Enfin, on clôturera le travail par une brève présentation de l'état actuel de l'industrie cimentaire au niveau national. [40]

I.2. Définition d'un ciment selon la norme NA442

Le ciment est un liant hydraulique, c'est-à-dire un matériau minéral finement moulu qui, gâché avec de l'eau, forme une pâte qui fait prise et durcit par suite de réactions et de processus d'hydratation et qui, après durcissement, conserve sa Résistance et sa stabilité même sous l'eau. Le ciment conforme à la norme NA442/2013, appelé ciment CEM, mélangé avec des granulats et gâché avec de l'eau de façon appropriée, doit être capable de produire un mortier ou un béton qui conserve son ouvrabilité pendant un temps suffisamment long et doit, après des périodes déterminées, atteindre des niveaux de résistance prescrits et aussi présenter une stabilité de volume à long terme. Le durcissement hydraulique du ciment CEM est principalement dû à l'hydratation des silicates de calcium, mais d'autres composés chimiques peuvent également intervenir dans le processus de durcissement, tel que, par exemple, les aluminates. Dans les ciments CEM, la somme des quantités relatives d'oxyde de calcium (CaO) et de dioxyde de silicium (SiO₂) réactifs doit représenter une proportion au moins égale à 50% en masse, lorsqu'elles sont déterminées selon la norme NA5042 équivalente à la norme NF EN 196-2. Les ciments CEM sont constitués de différents matériaux et sont de composition statistiquement homogène du fait d'une assurance qualité couvrant les processus de production et de manutention. Les ciments à faible chaleur d'hydratation «LH» (NA 442/2013). La chaleur d'hydratation du ciment, exprimée en Joule [J] par gramme de ciment est la quantité de chaleur dégagée par son hydratation. En effet, les réactions d'hydratation des ciments sont des réactions exothermiques. Dans les constructions massives, l'utilisation de ciments à faible chaleur d'hydratation réduit fortement l'échauffement de la masse de béton lors du durcissement et constitue par conséquent une précaution utile pour diminuer le retrait thermique ultérieur et le risque de fissuration engendré par ce retrait. Les ciments LH sont donc à prescrire pour les ouvrages de masse, généralement à partir de plus de 50cm d'épaisseur. Les ciments courants à

faible chaleur d'hydratation sont des ciments dont la chaleur d'hydratation ne dépasse pas la valeur caractéristique de 270J/g. Ils sont identifiés par la notation LH. Exigences de durabilité : dans de nombreuses applications, et notamment dans des conditions environnementales sévères, le choix du ciment a une influence sur la durabilité du béton, du mortier et des coulis, par exemple vis-à-vis de la résistance au gel, de la résistance à l'action de substances chimiques, et vis-à-vis de la protection des armatures. Les alcalins contenus dans le ciment ou dans d'autres constituants du béton peuvent provoquer des réactions chimiques avec certains granulats. Les exigences pertinentes sont données dans la norme NA16002 (équivalente à la norme EN 206-1). Le choix du ciment à partir de la présente norme, en particulier le choix du type et de la classe de résistance, en fonction de l'utilisation et de la classe d'exposition, doit être effectué en appliquant les normes et/ou règlements relatifs au béton ou au mortier, en vigueur sur le lieu d'utilisation. Des ciments courants à faible résistance à court terme auront une résistance à court terme plus faible que celle d'un autre ciment courant appartenant à la même classe de résistance courante et pourront nécessiter des précautions supplémentaires durant leur utilisation, telles que l'extension des temps de décoffrage et la protection contre les intempéries. [40]

I.3. Procédés de fabrication du ciment

Le ciment est obtenu par le broyage du clinker et de sulfate de calcium. Le clinker est issu de la cuisson à haute température (environ 1450°C) d'un mélange composé de 20% d'argile et de 80% de calcaire. Au besoin, le minerai de fer, la bauxite et le sable sont ajoutés à ce mélange afin d'obtenir la composition désirée. A l'issue de cette cuisson, le clinker est rapidement refroidi puis broyé avec environ 5% de sulfate de calcium et d'éventuels minéraux complémentaires pour constituer le ciment. [40]

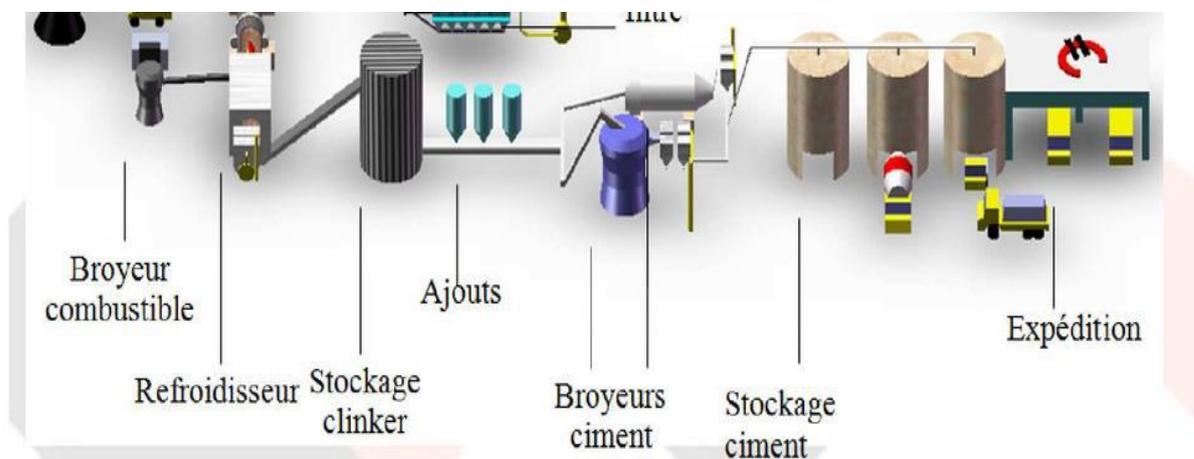


Figure I.1. Procédé de fabrication du ciment

I.4. Phases du ciment

Pour désigner les phases cimentières, on utilise en général une notation abrégée dite « Notation shorthand » ou « notation cimentière » utilisant l'initiale des oxydes à la place des symboles chimiques classiques : C pour CaO (Chaux), S pour SiO₂ (silice), A pour Al₂O₃ (alumine), M pour MgO (Oxyde de magnésium ou périclase) et F pour Fe₂O₃ (hématite). [35]

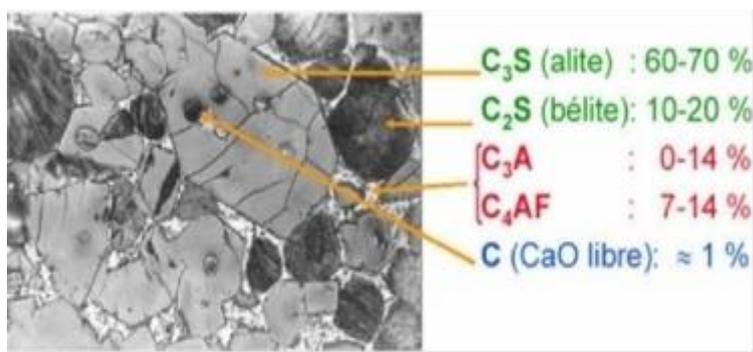


Figure I.2 : Micrographie de clinker montrant les quatre phases cristallines principales.

Tableau I. 1. Principales phases du ciment portland.

Composés	Composition	Abréviation
Silicate tricalcique	3CaO SiO ₂	C3 S
Silicate bicalcique	2CaO SiO ₂	C2S
Aluminate tricalcique	3CaO Al ₂ O ₃	C3A
Aluminoferrite tétracalcique	4CaO Al ₂ O ₃ Fe ₂ O ₃	C4AF

Ainsi les oxydants trouvés dans le ciment peuvent être (voir tableau I.2).

Tableau I.2. Teneur des oxydants.

Les oxydants	Teneur limite	Source
CaO	60 à 69	Calcaire
MgO	18 à 49	Argile
CaO _l	4 à 8	Argile
Al ₂ O ₃	1 à 8	Argile
Fe ₂ O ₃	0 à 5	Calcaire et argile
SiO ₂	0 à 2	Calcaire et argile
SO ₃	0 à 3	Calcaire et argile

I.5. Classification des ciments

Les ciments peuvent être classés en deux classes soit : en fonction de leur résistance normale à 28 jours soit en fonction de leur composition [36].

I.5.1. Selon leurs compositions

Selon la norme NF P15-301 les ciments constitués de clinker et des composants secondaires sont classés en cinq types d'où ils sont numérotés de 1 à 5 en chiffres romains dans la notation européenne, la notation française est indiquée entre parenthèses.

1. CEMI : Ciment portland artificiel « sans ajouts » (CPA).
2. CEM II : Ciment portland composé (CPJ).
3. CEM III : Ciment de haut fourneau (CHF).
4. CEM IV : Ciment pouzzolanique (CPZ).
5. CEM V : Ciment au laitier et aux cendres (CLC).

Tableau I.3. Types de ciment et composition

Ciment % en masse	Notation	K	S	D	Z	Cendres volantes		T	L	C.S
						V	W			
Portland	CPA-CEM I	95-100	-	-	-	-	-	-	-	0 - 5
Portland compose	CPJ-CEM II/A	80 - 94	6 - 20							
	CPJ-CEM II/B	65-79	21 - 35							
De haut fourneau	CHF-CEM III/A	35-64	36-65	-	-	-	-	-	-	0 - 5
	CHF-CEM III/B	20-34	66-80	-	-	-	-	-	-	0 - 5
	CLK-CEM III/C	5-19	81-95	-	-	-	-	-	-	0 - 5
Pouzolanique	CPZ-CEM IV/A	65-90	-	10 - 35		-	-	-	-	0 - 5
	CPZ-CEM IV/B	45-64	-	36-55		-	-	-	-	0 - 5
Au laitier et aux cendres	CLC-CEM V/A	40-64	18-30	-	18-30		-	-	-	0 - 5
	CLC-CEM V/B	20-39	31-50	-	31-50		-	-	-	0 - 5

I.5.2. Selon leurs résistances normales

Il y a trois classes de la résistance normale à 28 jours des sous classes sont associées à ces trois classes afin de désigner des ciments dont les résistances à jeune âge sont élevées, ces classes sont notées classe « **32,5** », classe « **42,5** », classe « **52,5** ».

Tableau I. 4. Spécifications mécaniques et physiques

Classe	Résistance à la compression (MPa)				Retrait à 28 jours (µm/m)	Début de prise (min)	Stabilité (mm)
	Au jeune âge		à 28 jours				
	2 Jours	7 Jours	Min	Max			
32,5	-	-	≥ 32.5	≤ 52.5	≤ 800	≥ 90	≤ 10
32,5R	≥ 13,5	-					
42,5	≥ 12.5	-	≥ 42.5	≤ 62.5	≤ 1000	≥ 60	
42,5R	≥ 20	-					
52,5	≥ 20	-	≥ 52.5	-	-		
52,5R	≥ 30	-					

I.6. Hydratation du ciment portland

En présence d'eau, les silicates et les aluminates de chaux forment des produits d'hydratations qui donnent avec le temps une masse ferme et dure. Un rôle important est joué par les phénomènes physiques et physico-chimiques accompagnant les réactions chimiques et qui, dans leur ensemble, aboutissent après le gâchage de ciment à la formation d'abord d'une pâte plastique et, ensuite, d'une pierre dure et résistante. Durant la période de malaxage, les différents ions libérés par les différentes phases passent en solution. La dissolution est plutôt rapide et exothermique et les deux hydrates qui réagissent rapidement germinent. La surface des particules de ciment se couvre d'une couche d'hydrates peu perméables formée de silicate de chaux hydraté (C- S - H), formé à partir des ions (Ca⁺², SO₄⁺², OH⁻) qui proviennent de la phase silicaté du clinker, et d'ettringite (trisulfoaluminate de calcium hydraté), formé par une combinaison des ions (Ca⁺², AlO₂⁻·SO₄⁺², OH⁻), qui proviennent de la phase interstitielle et des différents formes de sulfates de calcium que l'on retrouve dans les ciments.[40]

Notation des principaux hydrates formés lors de l'hydratation du ciment :

- Hydroxyde de calcium (Portlandite) : CH
- Silicates de calcium hydratés : C-S-H.
- Aluminate monocalcique hydraté : CAH₁₀
- Aluminate tricalcique hydraté : C₃AH₆
- Ettringite : C₆AS₃H₃₂

I.7. Définition des additions minérales

La norme européenne EN 206-1 (NF P18-325) définit les additions comme des «Matériaux minéraux finement divisés utilisés dans le béton et mortier afin d'améliorer certaines de ses propriétés ou pour lui conférer des propriétés particulières» [37]

I.7.1 Définition des caractéristiques des additions

La norme européenne EN 206-1 (NF P18-325) de février 2002, distingue les additions en 2 types : [37]

- Quasiment-inertes (type I)
- Caractère pouzzolanique hydraulique latent (type II)

Les additions de type I selon la norme EN 206-1

- Les additions calcaires (NF P18-508)
- Les additions siliceuses (NF P18-509)
- Les fillers (NF P18-501)

Les additions de type II selon la norme EN 206-1

- La fumée de silice (NF P18-502)
- Les cendres volantes de houille (NF P18-505)
- Le laitier vitrifié moulu de haut fourneau (NF P18-506)

I.8. Avantages des ajouts minéraux

La recherche d'un liant moins coûteux en utilisant des déchets industriels et des ressources naturelles est devenue une préoccupation majeure pour palier au déficit dans la fabrication du ciment portland. Les ajouts permettent soit d'améliorer les caractéristiques du béton ou de lui conférer des propriétés spécifiques. Les ajouts sont souvent meilleur marché que le ciment Portland et permettent d'obtenir des avantages économiques écologiques et techniques. [37]

1.8.1 Avantages économiques

Typiquement, le ciment Portland est le composant le plus coûteux d'un mélange de béton, puisqu'il est un matériau à forte intensité d'énergie. La plupart des matériaux susceptibles de remplacer le ciment dans le béton sont des sous-produits, et, à ce titre, demandent relativement moins d'énergie, sinon aucune, et sont beaucoup moins coûteux que le ciment portland. Toutefois, la distance qui sépare la source des ajouts cimentaires et l'utilisateur final et le coût élevé du transport qui en résulte risquent de l'emporter sur leurs avantages économiques potentiels. De même, le manque de stockage abordable est parfois une barrière à leur utilisation dans certains marchés. Bien qu'il soit difficile à prédire, le prix des ajouts cimentaires pourrait se comparer à celui du ciment si la demande en béton ne diminuait pas, dans ce monde que menace le CO₂. Et c'est bien le gaz carbonique qui pourrait finalement décider de la valeur de ces denrées. [37]

1.8.2 Avantages écologiques

La production d'une tonne de ciment Portland libère dans l'atmosphère une quantité quasi équivalente de gaz carbonique. De ce fait, le remplacement du ciment Portland par les ajouts cimentaires réduit d'autant les émissions de CO₂. En général, l'utilisation de cendres volantes et de fumées de silice comme ajouts cimentaires ne demande pas un traitement à forte intensité d'énergie. Le laitier, par contre, doit être granulé et sa granulation provoque l'émission d'environ 0,07 tonne de CO₂ par tonne de LGHF (laitier granulé de haut fourneau) produit. À cela, il faut ajouter les émissions de CO₂ causées par le transport des matériaux jusqu'au chantier de construction. Les études montrent que le transport (par camion et chemin de fer) d'une tonne d'ajouts cimentaires sur une distance de 1 000 Km libère environ 0,022 tonne de CO₂. Il convient donc de considérer tous les paramètres avant d'établir les avantages écologiques des ajouts cimentaires sur le ciment. [37]

1.8.3 Avantages techniques

D'abord, l'incorporation de particules très fines dans un mélange de béton permet d'améliorer sa maniabilité et de réduire le besoin en eau à une consistance donnée (sauf pour les matériaux à très grande surface active, comme les fumées de silice). Ensuite, les ajouts cimentaires améliorent généralement la résistance à la compression, l'imperméabilité et la ténacité aux attaques chimiques. Enfin, parce qu'ils permettent une moindre chaleur d'hydratation des ciments composés améliorent la résistance à la fissuration en climat chaud. [37]

1.9. Bref aperçu sur l'industrie cimentaire Algérienne

La consommation du ciment est fortement liée au développement local. En Algérie le besoin en ciment a fortement augmenté au cours de ces dernières années conséquence du programme de relance économique et des grands travaux initiés (autoroute est-ouest, des millions de logements avec les structures d'accompagnement, etc.).

La production du ciment en Algérie est actuellement assurée par deux groupes. [40]

1.9 .1. Secteur public (Groupe Industriel Des Ciments D'Algérie (GICA))

A l'aube de l'indépendance, le secteur du ciment en Algérie comprenait trois (03) cimenteries, totalisant une capacité productive de l'ordre de 1,5 millions de tonnes. Depuis les années soixante-dix, la filière ciment, stratégique et indispensable au développement économique et social du pays, a bénéficié d'un grand investissement de la part des pouvoirs publics. Actuellement cette industrie totalise 12 cimenteries publiques, constituées en groupe industriel (GICA), réalisant pour l'année 2016, une production de plus de 12 millions de tonnes par an. Pour combler un déficit constant en matière de ciment, le Groupe industriel des ciments d'Algérie (GICA) projette de produire 20 Mt d'ici 2019 [14], contre 12 Mt actuellement. Aussi, à l'instar des groupes cimentiers internationaux, le groupe GICA a diversifié ses produits en se lançant dans la production des granulats et du béton prêt à l'emploi (BPE).

1.7.2. Secteur Privée (Groupe Lafarge-Holcim Algérie)

Le groupe Lafarge-Holcim, leader mondial des matériaux de construction est présent en Algérie depuis 2002. Il compte quatre cimenteries actives. La cimenterie de M'sila (5,5miT/an), la cimenterie de Mascara (3miT/an), la cimenterie de Meftah (1,5miT/an) et la cimenterie de Biskra (2,7miT/an). Il totalise un volume de production de 11,5 millions de tonnes de ciment par an. Le tableau suivant expose les capacités de production ainsi que les ajouts utilisés des cimenteries nationales.

I.9 .2. Secteur Privée (Groupe Lafarge-Holcim-Algérie)

Le groupe Lafarge-Holcim, leader mondial des matériaux de construction est présent en Algérie depuis 2002. Il compte quatre cimenteries actives. La cimenterie de M’sila (5,5miT/an), la cimenterie de Mascara (3miT/an), la cimenterie de Meftah (1,5miT/an) et la cimenterie de Biskra (2,7miT/an). Il totalise un volume de production de 11,5 millions de tonnes de ciment par an. Le tableau suivant expose les capacités de production ainsi que les ajouts utilisés des cimenteries nationales

Tableau I.5.Cimenteries Algériennes et l’utilisation des ajouts

	Entreprise	Wilaya	Commune	Capacité de production (tonnes)	Ajout utilisé	% d’ajout
Groupe industriel Des Ciments D’Algérie (GICA)	ERCE	Sétif	Ain Elkebira	1.000.000	Pouzzolane	10 à 20
		Batna	Ain touta	1.000.000	Pouzzolane	10 à 20
		Constantine	Hamma Bouziane	1.000.000	Pouzzolane	10 à 15
		Skikda	Hadjar Soud	950.000	Laitier	10 à 20
		Tebessa	Elmaa Labiadh	500.000	----	-----
	ERCC	Alger	Rais Hamidou	450.000	Poussière	5 à 10
		Blida	Meftah	1.000.000	Tuf	10 à 15
		Bouira	Sour Elghouzlane	1.000.000	Tuf-Calcaire	10
	ERCO	Ain Temouchent	Beni Saf	1.200.000	Pouzzolane	10 à 20
		Mascara	Zahana	1.200.000	Pouzzolane	10 à 20
		Saida	Hassasna	500.000	Pouzzolane	10 à 20
	ECDE	Chlef	Oued Sly	2.000.000	Calcaire	10 à 15
		Oum El Bouaghi	Sigus	2.000.000	-	-
Lafarge Algérie	ACC	M’sila	Hammam Edhlaa	4.000.000	Calcaire	10
		Mascara	Oggaz	2.000.000	Pouzzolane	15
		Biskra			-	-

La production actuelle du ciment en Algérie est d'environ de 18,9 millions de tonnes, Cette quantité est insuffisante pour répondre à la demande du marché Algérien, les besoins sont estimés à plus de 24 millions de tonnes. Cependant la modernisation de certaines usines et la

mise en route de la nouvelle cimenterie de Biskra devraient permettre l'autosuffisance à partir de 2019.

Chapitre II

GENERALITES SUR LE KAOLIN ET LE METAKAOLIN. CAS SPECIFIQUE DU KAOLIN DD3 DE GUELMA

II.1. Introduction

Les argiles sont des matières premières naturelles utilisées depuis l'antiquité dans des nombreux domaines. Ces matériaux argileux constituent souvent des mélanges naturels complexes des minéraux dont la granulométrie et les propriétés physico-chimiques sont très variables.

De nos jours, l'utilisation des argiles, notamment celles qui sont riches en SiO_2 et en Al_2O_3 , connaît un nouvel essor dans la céramique industrielle et artisanale, et la poterie... etc.

Elles sont utilisées pour l'élaboration des matériaux céramiques plus durs que la porcelaine et la faïence traditionnelle, ainsi que des couronnes dentaires à base de quartz et d'alumine.

Les briques d'aluminosilicates servent au revêtement des hauts fourneaux, des fours d'affinage et de nombreux fours de laboratoire.

La majorité des céramiques sont issues des matières premières minérales silico-alumineuses compactées et consolidées par frittage. Les critères de choix des utilisateurs sont moins liés à la composition chimique globale des matériaux argileux qu'à leurs comportements pendant les différentes étapes de la fabrication des produits céramiques.

Le frittage est l'étape essentielle au procédé de fabrication des céramiques, s'accompagne de la transformation des minéraux initiaux. Il s'agit de processus complexes, difficiles à appréhender en raison du caractère progressif et/ou transitoire de certaines transformations.

La tendance actuelle de l'industrie céramique est de réduire au minimum la durée et la température du frittage des produits. Par exemple, des cycles thermiques de 40 min sont aujourd'hui utilisés pour préparer des carreaux de sol à 1200°C . Il s'agit d'une performance technologique remarquable dans le cas des grandes pièces dont la porosité et la géométrie après cuisson doivent être bien contrôlées. L'optimisation des compositions et du procédé nécessaire à la fabrication des produits aux caractéristiques d'usage satisfaisantes, a été réalisée par une approche essentiellement empirique guidée par l'expérience [1].

Le travail présenté dans ce mémoire a pour but, l'étude et la valorisation d'ajout du Métakaolin dans le ciment.

Le premier chapitre est un aperçu bibliographique sur Le kaolin de Djebel Debbagh, les Métakaolin et leur utilisation industrielle.

II.2. Situation géographique

Djebel Debagh, notre secteur d'études situe à 35 km au Nord-Ouest de la ville de Guelma et à 8km au Nord de la ville de Hammam Debagh. Il constitue d'un massif allongé approximativement Est-Ouest sur 10Km de longueur et de 3 km de largeur.

Au Nord, il est entouré de Djebel Bou-Aslouge et de la dépression de Roknia au sud par le bassin de Hammam Debagh et des vallonnements de Mechtat la Baida, à l'ouest par le plateau de Roknia et des collines d'El Fedjoudj et du Bouzitoun à l'est.

Le gisement du kaolin de Djebel Debbagh se présente sous forme d'un vaste dôme de 3 km allongé approximativement Est-ouest sur 10 km et a une largeur maximale de 3km.et de superficie de 391 hectares.

La région étudiée est caractérisée par un phénomène karstique bien développé.

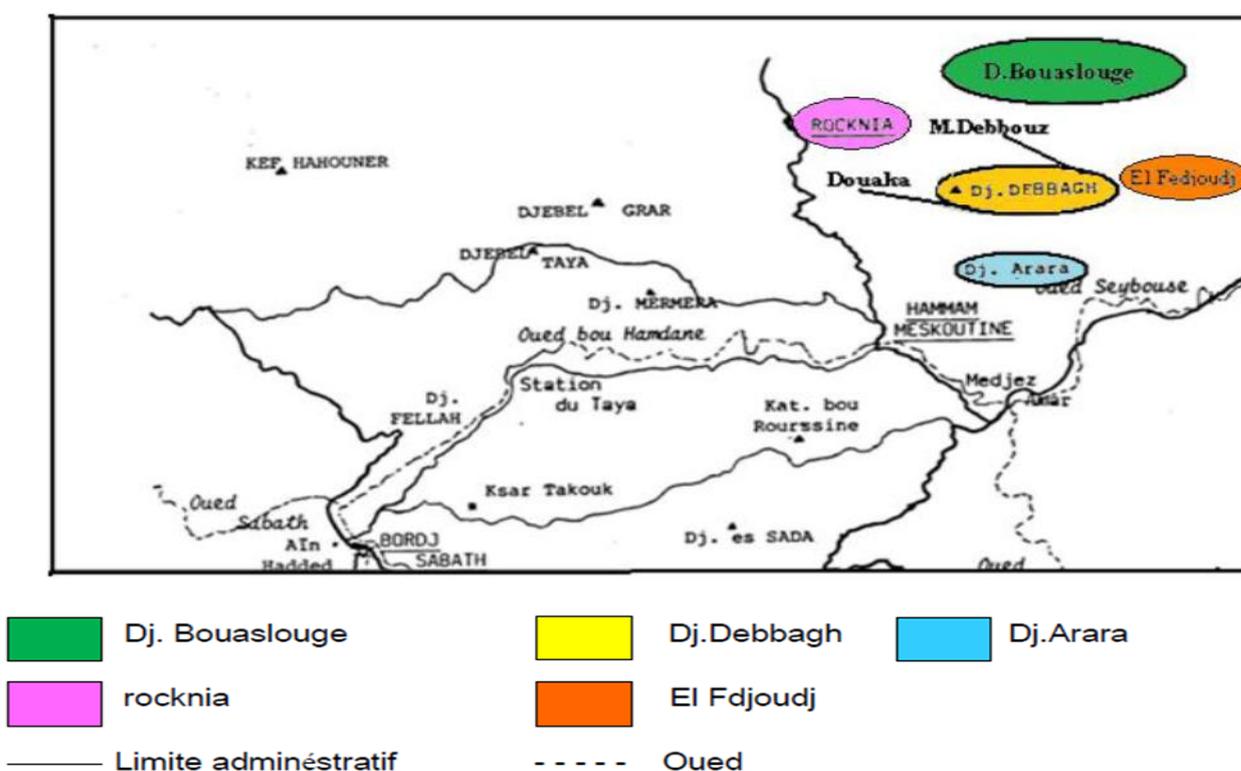


Figure II. 1. Carte de situation géographique de gisement de kaolin de Djebel Debbagh (extrait modifié depuis la carte de Jean Claude LAHONDERE 1987)

La matière première étudiée est le dérivé du kaolin de Djebel Debagh de Guelma produit par la société de SOALKA-SPA, cette dernière est composée :

- D'une unité de triage.
- D'un gisement de kaolin de plus **200 000 tonnes** de réserves

II.3. Généralités sur les kaolins

II.3.1. Introduction

Ce deuxième chapitre a pour but de présenter et de définir les argiles en général et plus particulièrement le kaolin en tant que matière argileuse. Le gisement de Djebel Debagh (Est Algérien). Le Kaolin est surtout utilisé dans l'industrie des céramiques il est caractérisé par sa blancheur et sa bonne cristallinité. C'est dans le but de valoriser ce produit et d'en multiplier ses usages que nous l'avons choisi pour cette étude.

Ce parti fait une mise en point sur les définitions des additions, les ajouts cimentaires et leurs avantages et sur la fonction des additions et leurs importances dans l'industrie cimentaire.

L'objectif de cette étude, est premièrement l'utilisation du métakaolin comme un ajout cimentaire pour Donner un mortier à haute performance. Le kaolin est utilisé aussi après transformation en Métakaolin comme activité liante dans le ciment pour améliorer la compacité de la matrice cimentaire. Cette argile est calcinée dans un four de laboratoire à une température de 850°C pendant une durée de 3 heures, après son refroidissement, l'argile calcinée est broyée. La calcination de l'argile à 850 °c permet le départ de l'eau de constitution (ladé hydroxylation) et la formation de la métakaolinite avec une structure amorphe ce qui la rend plus réactive que l'argile de départ.

II.3.2. Les argiles

II.3.2.1. Généralités sur l'argile

L'argile est une roche sédimentaire, composée pour une large part de minéraux spécifiques, silicates en général d'aluminium plus ou moins hydratés, à structure feuilletée (phyllo silicates) ou structure fibreuse (sépiolite et palygorskite) qui explique leurs qualités d'absorption et leur plasticité.

Les argiles sont formées par l'organisation en couches de tétraèdres de SiO_2 et d'octaèdres d' $\text{Al}(\text{OH})_3$. On classe les argiles en trois grandes familles selon l'épaisseur des feuillets (0, 7 ; 1 ou 1, 4 nm), qui correspondent à un nombre de couches d'oxydes tétraédriques (Si) et octaédriques (Al). Al peut être substitué par des cations Ni^{2+} , Mg^{2+} , Fe^{2+} , Fe^{3+} , Mn^{2+} qui induisent un déficit structural de charge composé par la présence de cations Na^+ , K^+ , Ca^{2+} ... hydratés dans l'espace interfoliaire.

Il en résulte des variations de la distance entre feuillets, et donc des variations dimensionnelles microscopiques de l'argile quand elle s'hydrate (dilatation ou gonflement) où s'assèche (contraction pouvant provoquer des fissures) [3].

II.3.2.2. Origine

Les minéraux argileux proviennent de l'érosion de roches silicatées en particulier de la désagrégation des minéraux composants du granite : mica et feldspath. Les minéraux argileux

Les plus communs : la kaolinite, l'halloysite, la montmorillonite l'illite, la vermiculite sont de très fines particules, elles peuvent soit resté sur place (argiles résiduelles, ex : argiles à silex, argiles de décalcification) soit être transportés sur de longues distances par les cours d'eau jusqu'au fond de la mer (ex : argiles des fonds océaniques).

En fonction des roches mères (granite, gneiss ou schistes) et du climat, les minéraux argileux résultant sont différents. En climat froid, l'altération est faible, les minéraux argileux sont identiques ou peu différents des minéraux de la roche (illite et chlorite), ils sont hérités de la roche d'origine. En climat chaud et humide, l'hydrolyse est poussée, la kaolinite se forme en milieu drainé, les smectites en milieu confiné. En climat tempéré, humide, l'altération est

modérée, il apparait des interstratifiés, des illites et des chlorites dégradés, de la vermiculite [3].

II.3.2.3. Composition minéralogique

Les argiles sont des phyllo silicates d'aluminium dont les feuillets sont constitués de couches d'octaèdres $Al(OH)_6$ et de couches de tétraèdres SiO_4 reliées par les atomes O et OH mis en commun. La distance inter-réticulaire d sépare 2 feuillets successifs.

Les substitutions d'atomes sont fréquentes dans les feuillets. L'édifice cristallin peut être désorganisé par des défauts de translation ou de rotation des feuillets : la cristallinité est alors moins bonne. Le déséquilibre au niveau des charges induit par les substitutions isomorphes est composé par l'adsorption de cations hydratés « échangeables » dans l'espace interfoliaire (capacité d'échange des argiles), responsables du gonflement des argiles dans l'eau ou dans un liquide polaire.

D'après la structure du feuillet, on distingue principalement les argiles 1/1 (1 couche Tétraédrique (CT) +1 couche octaédrique (CO)) et les argiles 2/1 (2 t CT. Pour 1 CO) [4].

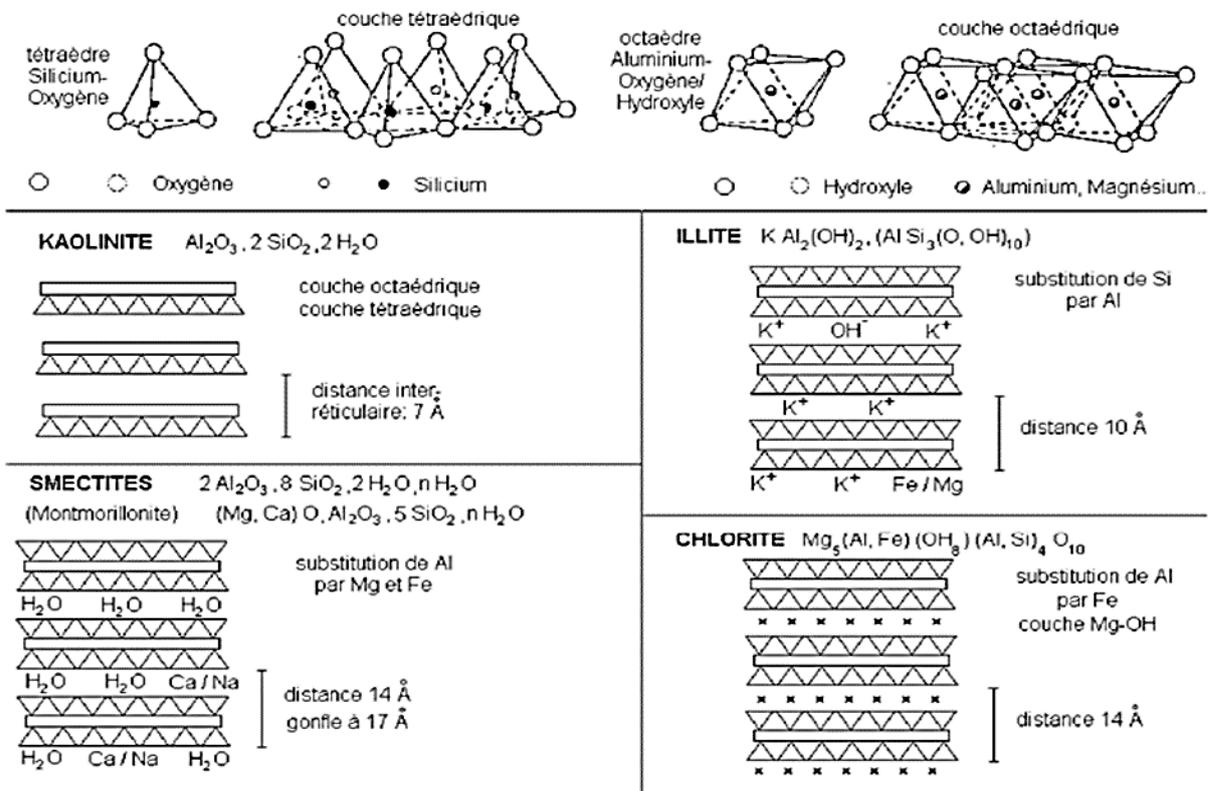


Figure. II.2. Structure des minéraux argileux [5].

a) La Kaolinite

(1/1, $d=7 \text{ \AA}$) : Le feuillet de la kaolinite est neutre : il n'y a pas de substitution dans les couches CO et CT. La kaolinite se forme dans les sols bien drainés avec un pH acide, surtout en climat subtropical et tropical. Ses cristaux souvent grands (jusqu'à $15 \mu\text{m}$).

b) Les Illites

(2/1, $d=10 \text{ \AA}$) : Association d'une CO (alumineuse) et deux CT (siliceuse). Mais il peut y avoir des substitutions (remplacement de Si par Al). Des cations (K^+) sont adsorbés dans l'espace interfoliaire afin de composer le déséquilibre des charges.

C'est le minéral ubiquiste par excellence. Sa structure est proche de la muscovite (plus d'eau moins de K^+).

c) Les Smectites (2/1, $d=14 \text{ \AA}$) :

L'empilement des feuillets est désordonné ; chaque feuillet est tourné dans son plan par rapport au précédent. Les substitutions d'atomes sont importantes. Ce désordre chimique et structural et la faible charge des feuillets facilitent leur écartement et l'adsorption de molécules variées (eau, cations, molécules organiques) dans l'espace interfoliaire qui s'écarte ($d=18 \text{ \AA}$). Les smectites, en particulier les montmorillonites, sont généralement calciques, plus rarement sodiques. Elles sont formées dans les sols mal drainés plutôt alcalins. Les feuillets de smectites peuvent s'intercaler régulièrement ou irrégulièrement avec d'autres feuillets argileux, souvent illitiques. L'ensemble forme des interstratifiés.

d) La Glauconie

Minéral vert ferrifère proche de l'illite est exclusivement formé en milieu marin peu profond.

e) Les Chlorites (2/1, $d=14 \text{ \AA}$) :

L'espace interfoliaire des chlorites est garni par une couche composée de Mg et OH. L'Aluminium est remplacé localement par le fer. Les chlorites existent en plus grands cristaux dans les roches magmatiques, elles sont également formées pendant la diagenèse des roches sédimentaires. On les retrouve en éléments détritiques dans les sols sous climat peut agressif.

La Vermiculite (2/1, $d= 12 \text{ \AA}$) :

Est fréquente dans les sols de la zone tempérée. La couche octaédrique contient du fer et du Mg. La vermiculite est proche des illites et chlorite mais montre des propriétés gonflantes.

g) Les argiles fibreuses :

Les feuillets sont discontinus et forment des rubans. Les principaux types sont la sépiolite et l'attapulгите ou paliggorskite. On les trouve dans les milieux confinés [34].

II.3.2.4. Propriétés et rôles des minéraux argileux

Les propriétés bien particulières des minéraux sont dues à leur petite taille qui génère une importante surface spécifique, à leur structure en feuillets et à la charge négative des particules à l'origine de leurs bonnes propriétés d'adsorption. Elles forment avec l'eau des solutions colloïdales qui flocculent lorsque les charges de surface des particules sont neutralisées par des ions. Ce phénomène est réversible : les particules retrouvent l'état dispersé lorsque les ions sont éliminés par rinçage. Les argiles fixent l'eau par adsorption à leur surface et augmentent de volume par gonflement. Elles constituent ainsi une réserve d'eau.

L'argile sèche développe une tension de succion importante pour l'eau, qui peut s'opposer à celle des racines des plantes.

Avec adjonction croissante d'eau, la tension de succion diminue, l'ensemble eau-argile devient plastique, puis visqueux et finalement les particules d'argile se dispersent dans l'eau en formant une solution colloïdale. L'argile imprégnée d'eau qui se dessèche rétracte et se casse par des fentes de retrait.

Les argiles confèrent au sol sa structure et ses propriétés mécaniques. Elles sont associées aux autres composants et constituent les complexes argilo- humiques (ou organominéral), leur teneur peut atteindre 50%. Elles sont généralement à l'état flocculé, généralement par l'action des ions Ca^{2+} et H^+ , ce qui donne au sol ses qualités agronomiques : bonne aération entre les agrégats, retrait modéré à la dessiccation, bonne perméabilité à l'air et l'eau. En revanche, les sols dont les argiles sont dispersées, et non flocculées, présentent des caractères défavorables à la culture : mauvais état structural, mauvaise circulation de l'air et de l'eau, retrait important à la dessiccation, forte adhérence aux outils travaillant le sol. Les mêmes inconvénients se retrouvent dans les sols saturés par l'ion sodium, comme dans les polders, leur mise en culture

exige au préalable un lessivage du sol par les eaux douces, de façon à éliminer le Na⁺ qui est remplacé par l'ion Ca⁺ fourni sous forme de sulfate (gypse) [4].

II.4. Les kaolins

Kaolin est une argile blanche, douce et plastique composée principalement de fines particules sous forme de plaquettes.

Le kaolin fait partie de notre environnement, ses utilisations sont multiples :

- Sa blancheur et sa plasticité le rendent particulièrement approprié pour un usage extensif comme charge, agent d'allongement, matière première pour la céramique et comme pigment.
- C'est également une matière première importante pour les réfractaires, et un catalyseur dans les industries du ciment et des fibres de verre [6]. La production mondiale du kaolin dépasse de 23 millions de tonnes dès 2004.

II.4.1. Quelques exemples de gisements de kaolin dans le monde

Bassin des Charente (France), Cypress Hills (Alberta, Canada). Eastend, Wood Mountain, Ravenscrag (Saskatchewan, Canada). Moose River Basin (Ontario, Canada), Shubenacadie Valley (Nova Scotia, Canada), Aiken (Caroline-du-Sud, USA), Wrens. Sandersville, Macon-Gordon, Andersonville (Georgia, USA), Eufaula (Alabama, USA).

II.4.2. Les gisements de kaolin en Algérie

Les principales régions algériennes productrices d'argiles pour céramiques fines et Réfractaires, sont les suivantes :

- Kaolin de Tamazight (El-Milia wilaya de Jijel),
- Kaolin de Djebel Debbagh (wilaya de Guelma).

La composition des roches kaoliniques est généralement la suivante : la kaolinite est le minéral principal, les autres minéraux sont l'halloysite, le quartz, la dickite, la nacrite, la diaspore, la boehmite, la gibbsite et le mica. La gangue principale est le quartz, puis le mica.

Les minéraux suivants ont été observés, limonite, goethite, feldspaths résiduels, sidérite, pyrite, ilménite, leucoxene, anatase.

Le kaolin commercialisé est un produit essentiellement constitué de kaolinite issue de l'altération des feldspaths (en général) en milieu acide, fortement lessivé.

II.5. Les kaolins de djebel debagh

II.5.1. La structure

Les kaolins font partie de la famille des argiles. Ils appartiennent au groupe des silicoalumineux phylliteux, avec la montmorillonite, les illites et micas, les Polygroslyte. La phase principale constituant le kaolin est la kaolinite

$Al_2O_3 \cdot 2 SiO_2 \cdot 2 H_2O$ ou l'halloysite $Al_2O_3 \cdot 2 SiO_2 \cdot n H_2O$ (avec $n \geq 4$).

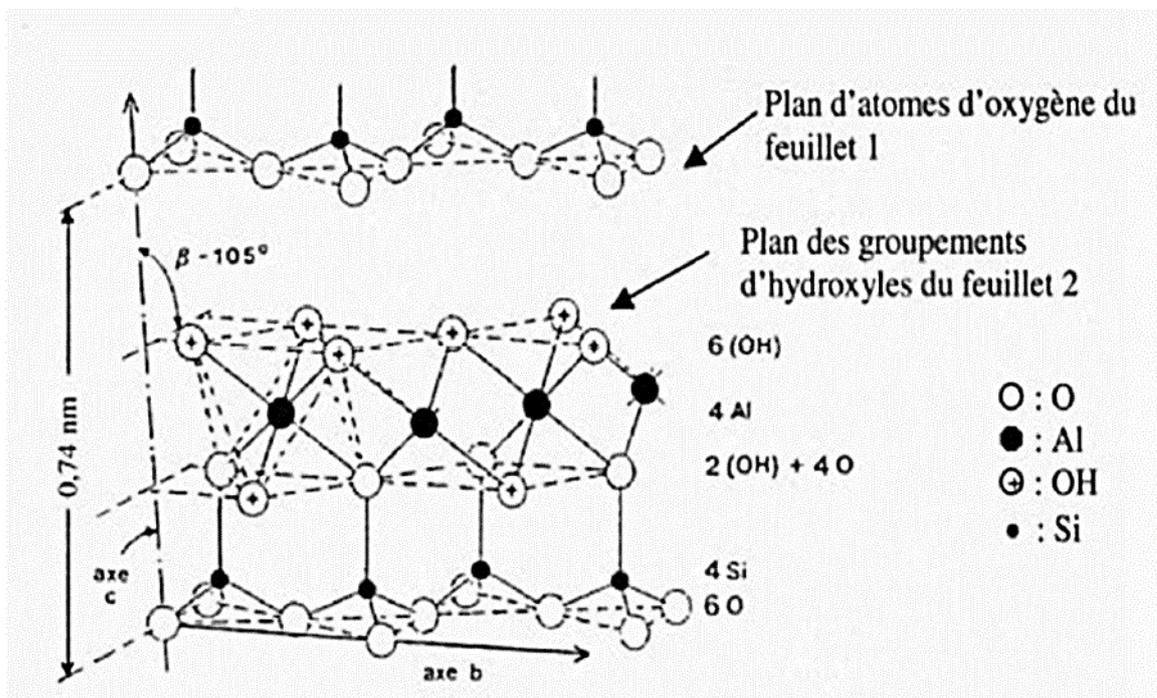


Figure. II.3. Structure d'un minéral de type 1:1, cas de kaolinite [9].

La kaolinite possède une structure assez particulière de type feuillet : dans une poudre sèche, c'est le grain qui constitue la particule élémentaire de matière solide ; il peut être caractérisé par un procédé quelconque de séparation granulométrique.

Le grain de kaolinite possède la particularité d'être constitué par un groupement Ordonné de feuillets ou agrégats, plus ou moins régulièrement empilés dans des agrégats (Figure. II.4)

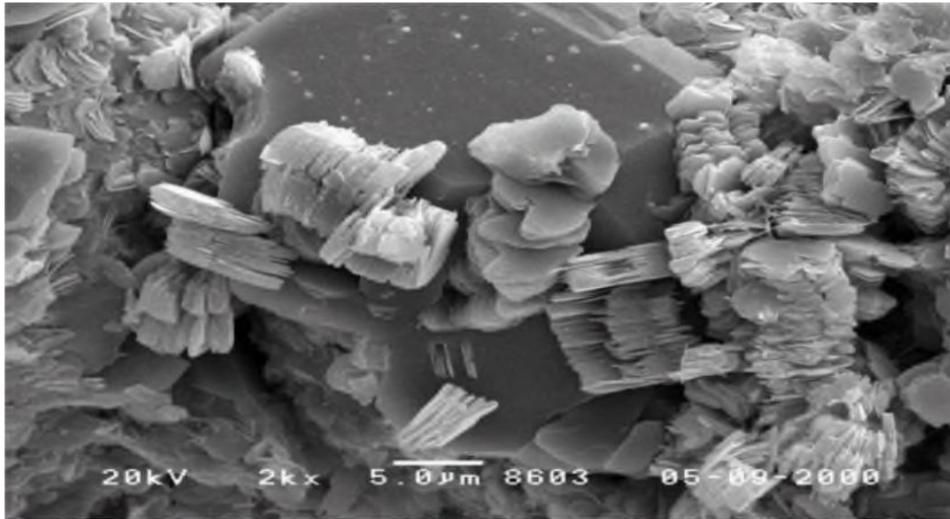


Figure. II.4. Disposition des feuillets dans des grains argileux [7].

Le feuillet est la partie élémentaire, de l'hydrosilicate d'alumine ou kaolinite d'où également l'appellation de phyllosilicate ou silicate lamellaire. Les groupements de feuillets dans des agrégats peuvent être isolés ou orientés dans le cas d'une dispersion idéale en milieu liquide.

La kaolinite à agrégats orientés possède des propriétés intéressantes, elle a en particulier une influence sur la cristallisation des phases principales pendant l'élaboration des matériaux.

La kaolinite est constituée d'une couche tétraédrique et octaédrique. La couche tétraédrique est formée par la liaison de tétraèdre SiO_4 dans un arrangement hexagonal. La base des tétraèdres est approximativement coplanaire, et leurs sommets pointent dans la même direction. Les oxygènes apicaux sont liés à des ions (OH^-) localisé par-dessus le centre des hexagones pour former la couche octaédrique. La couche octaédrique est formée par des octaèdres d' $\text{AlO}_2(\text{O}_4)^4$.

L'aluminium, est l'élément le plus courant en position octaédrique. Les couches successives tétraédriques et octaédriques sont superposées de façon à former la structure de la kaolinite.

En l'absence de défauts, la famille cristalline élémentaire, qui contient deux motifs, appartient au système triclinique, ses paramètres cristallographiques sont [10] :

$a = 0,5155 \text{ nm}$ $b = 0,8945 \text{ nm}$ $c = 0,7105 \text{ nm}$

$\alpha = 91,7^\circ$ $\beta = 104,86^\circ$ $\gamma = 89,82^\circ$

II.5.2. L'origine des kaolins et minéraux associés

II.5.2.1. Les kaolins primaires ou kaolins résiduels

La plupart des argiles et minéraux argileux proviennent de la transformation de silicates primaires ou de roches volcaniques comme le cas du kaolin de de Tamazert (Est Algérien), sous l'influence de processus physiques et chimiques impliquant les eaux de la surface de l'écorce terrestre [9]. Par exemple la formation de kaolinite à partir de feldspath Potassique peut s'écrire suivant la réaction :



Le processus ci-dessus conduit à des kaolins dits primaires, en contact direct avec la roche silico-alumineuse qui leur a donné naissance.

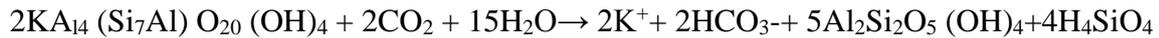
La kaolinisation des minéraux silico - alumineux suppose un lessivage total des éléments alcalins et alcalino-terreux (K, Na, Ca), du fer et le départ d'une partie de la silice ; on estime à environ 30 % la diminution de volume liée à ces lessivages. Deux fluides peuvent être à l'origine des phénomènes de kaolinisation :

- Les eaux de surface (ou météoriques), en milieu tropical (< 40 °C).
- Les fluides hydrothermaux de température inférieure à 300°C (au-delà la kaolinite n'est pas stable) qui donnent lieu à un lessivage supergène ou hypogène.

Certaines substances, une fois dissoutes dans l'eau, augmentent le caractère acide de celle-ci, accélérant ainsi la décomposition des minéraux primaires. Helgeson et Mackenziel ont montré que la dissolution du gaz carbonique atmosphérique peut, lors de l'hydrolyse, tripler les vitesses de décomposition des feldspaths potassiques et donc la formation de la kaolinite.

Ce processus géochimique naturel conduit directement à la formation de la kaolinite suivant la réaction : $2\text{KAlSi}_3\text{O}_8 + 2\text{CO}_2 + 11\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{K}^+ + 2\text{HCO}_3^- + \text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4 + 4\text{HSiO}_4$

Si le drainage de ces roches par l'eau est abondant, ce processus géochimique naturel conduit directement à la formation de la kaolinite.



D'après Helgeson et Mackenzie¹, dans les mêmes conditions d'hydrolyse, la formation de kaolinite est dix fois plus rapide à partir de l'albite que des feldspaths potassiques et donc la formation de la Kaolinite.

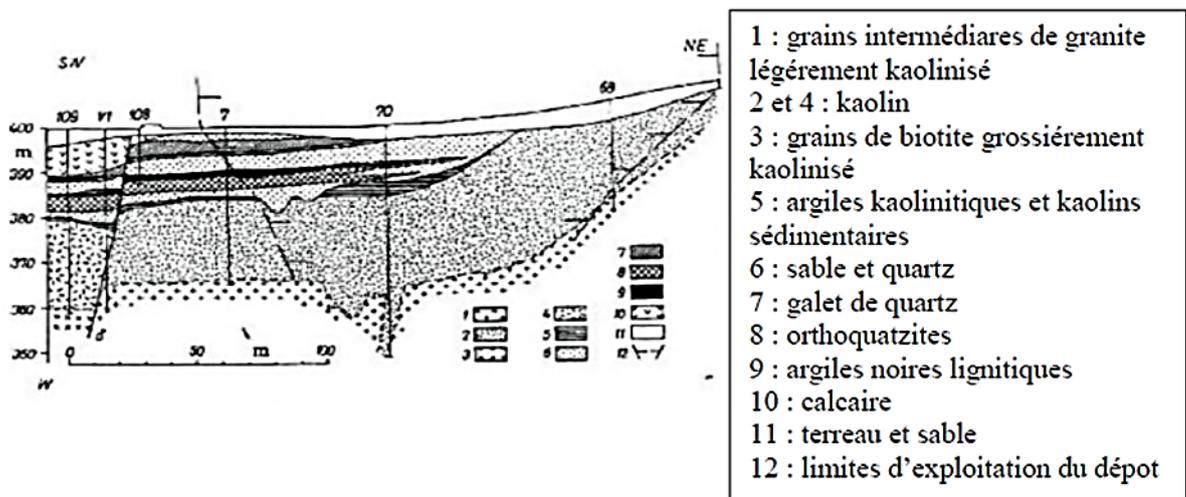


Figure. II.5. Exemple de dépôt de kaolin résiduel [11]

II.5.2.2. Les kaolins secondaires ou sédimentaires

Les kaolins secondaires (Le cas du kaolin de djebel Debagh, est algérien), peuvent être entraînés par les eaux de ruissellement. Ils se mélangent alors au sable et se déposent dans des fosses. Ils constituent alors des kaolins dits secondaires ou sédimentaires.

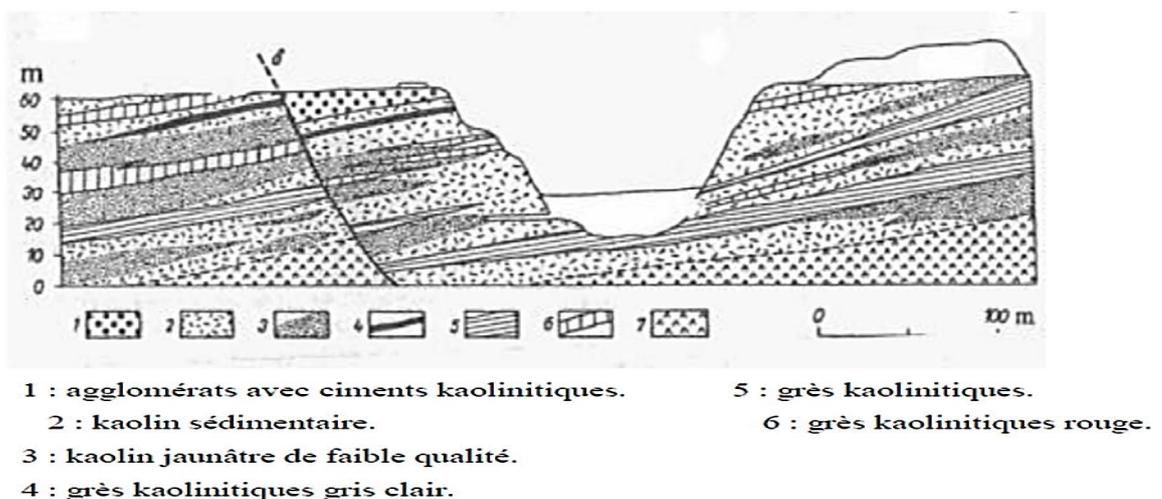


Figure. II.6. Exemple d'un dépôt de kaolin sédimentaire [11].

II.5.3.Morphologie du kaolin DD3 de Djebel Debagh

La morphologie des cristaux est généralement assez régulière. Ceux-ci se présentent sous la forme de plaquette hexagonale (Figure II.7.a), parfois allongées ou réduites à de simples losanges, délimités par les faces basales (001) et les faces latérales (110), (110) et (020) (Figure II.7.b).

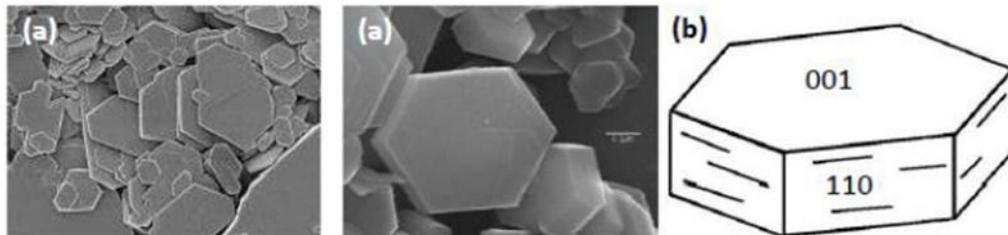


Figure II.7. (a) Morphologie d'une kaolinite très bien cristallisée et (b) représentation d'une plaquette de kaolinite.

Un exemple de deux types de kaolins : le premier nommé DD3 et le second DD2. Leurs morphologies ont été observées à l'aide d'un microscope électronique à balayage (MEB). Les kaolins de Djebel Debagh DD3 et DD2 sont des kaolins bruts destinés à l'industrie céramique dans le domaine des réfractaires (DD3) et de la porcelaine (DD2), leurs observations au MEB sont présentées sur la Figure II.8 [9].

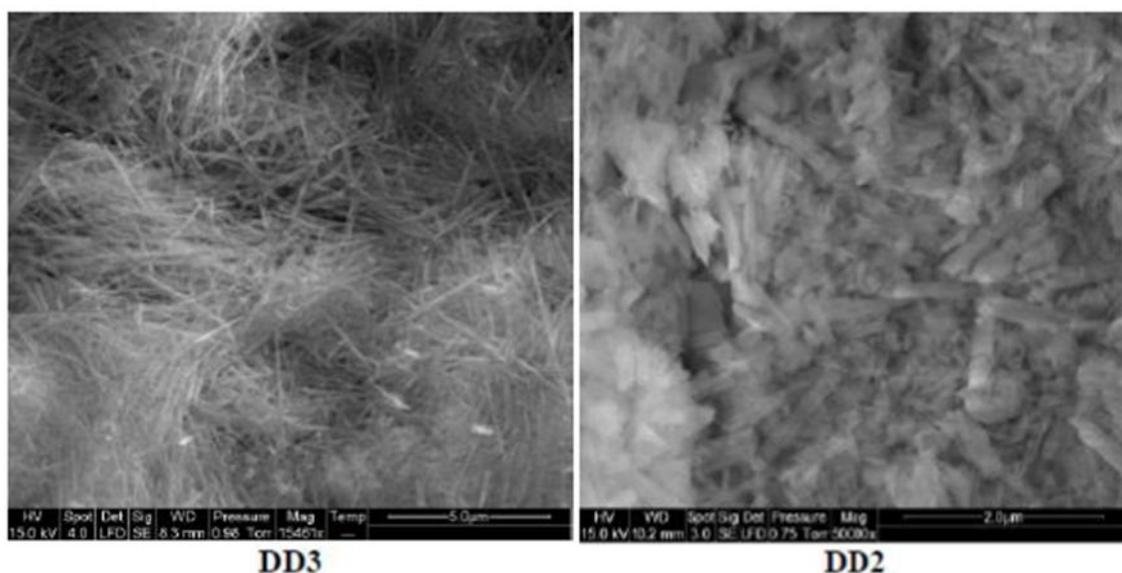


Figure II.8. Photos MEB des kaolins DD3 et DD2 de Djebel Debbag

Les kaolins DD2 et DD3 sont composés simultanément de kaolinite et d'halloysite (sous forme de baguette), le DD3 comprend beaucoup plus d'halloysite [9].

II.5.4.Principaux usages industriels du kaolin

Dans les diverses utilisations du kaolin, chaque utilisateur se concentre sur certaines propriétés. Les propriétés souhaitées et les niveaux d'exigence varient d'une industrie à une autre ; le comportement rhéologique est très important pour l'industrie de céramique.

Le quartz n'est pas le bienvenu dans le kaolin destiné à l'industrie du papier, tandis que sa présence empêche la déformation de la céramique pendant la cuisson (Rahimi et Matin 1989).

Une bonne connaissance de la relation entre les propriétés et les rôles des composants du kaolin industriel est indispensable pour la commercialisation du produit.

Parce qu'il est chimiquement inerte avec une gamme de pH de 4 à 9, que sa couleur est blanche ou proche au naturel et après cuisson, qu'il a un bon pouvoir couvrant qu'il est doux et non-abrasif, que ses particules sont très fines, qu'il est plastique avec l'eau, réfractaire, qu'il a une faible conductivité thermique et électrique, qu'il est hydrophile et se disperse aisément dans l'eau, que son coût est faible, le kaolin a de très nombreux usages.

Quelques-uns sont présentés dans le Tableau II.1 [9].

Tableau II.1. Utilisations industrielles du kaolin (bundy 1993 et Murray 1999).

Rôle	Utilisation
Couchage	Couchage de papier, peinture, encre.
Charge	Charge minérale de papier, caoutchouc, plastiques, polymères, adhésifs, textiles, linoléum.
Matière première	Catalyseurs, fibre de verre, ciment, industrie du bâtiment, céramique, plâtre, filtre, émaux, fonderie, production des composés chimiques d'aluminium, production de zéolite.
Diluant, adsorbant ou transporteur	Polissage, engrais, insecticide, détergent, produits pharmaceutiques, produits de beauté, tannerie de cuirs.

II.5.4.1 Céramiques

Les argiles sont les matériaux les plus consommés et aussi les plus anciens dans l'industrie de la céramique. Les propriétés importantes du kaolin dans l'industrie céramique peuvent être présentées sous deux classes :

1) les propriétés intrinsèques sont la composition minéralogique, la composition chimique et la distribution granulométrique (surface spécifique et CEC). Dans la composition chimique les facteurs suivant méritent d'être mentionnés : éléments traces, soufre, carbone organique, chlore, fluor, et sels solubles. La quantification de la composition minéralogique se fait par le calcul basé sur l'analyse chimique et la connaissance minéralogique qualitative.

2) Le comportement au délitage, le refus sur tamis, la teneur en eau (l'humidité et la perte au feu), comportement à la défloculation, demande en flocculant et la concentration critique, la Courbe de défloculation, le comportement au coulage (test de filtration), la cohésion en cru, la plasticité le comportement au séchage et à la cuisson sont des propriétés technologiques intervenant lors de la mise en forme d'un produit céramique. La densité, porosité, le retrait, le module de rupture, la déformation pyroplastique, la blancheur, la coloration et le comportement dilatométrique sont les paramètres technologiques du comportement à la cuisson d'un produit céramique (Vouillemet1998).

La mesure de tous ces paramètres pour chaque échantillon d'un gisement de kaolin, n'est pas possible. Une bonne connaissance de la relation entre la composition de l'argile (minéralogique) et ces propriétés est indispensable.

Les spécifications techniques recherchées pour la fabrication des céramiques fines sont les suivantes (fiche technique SIM, Argiles pour céramiques fines et réfractaires).

- 1) Teneur en kaolinite prédominante ;
- 2) Eléments colorants non souhaités (argiles cuisant blanc) : $Fe_2O_3 < 2\%$, $TiO_2 < 2\%$;
- 3) La présence de quartz peut être souhaitable, sauf pour le réfractaire ;
- 4) Présence de feldspaths, micas/illites et calcite à des teneurs $< 25\%$, souhaitée au contraire pour les produits grésés (argiles grésantes) ;

5) Présence de smectites (teneur < 5 %), d'halloysite et de matière organique souhaitée (amélioration de la plasticité) ;

6) Présence de gypse et de sels solubles prohibée.

La teneur en alumine, la pureté chimique et la couleur à la cuisson, sont les atouts principaux des produits céramiques (Delineau 1994). Les matériaux argileux sont caractérisés par la présence d'une proportion importante de particules fines de phyllosilicates de taille < 2 μm



Figure II.9. Les Céramiques

II.5.4.2. Dans les émaux

Le kaolin joue un rôle prépondérant dans les émaux, il peut remplacer l'apport en alumine et en silice quand ils font défaut, il joue un grand rôle dans la suspension des barbotines d'émail du fait de la finesse et de la forme de ces grains ($< 2\mu\text{m}$) [13]. L'utilisation du kaolin dans les émaux doit néanmoins être limitée à cause de son retrait lors de la cuisson [19] qui risque de causer des défauts sur les glaçures. Un traitement physique et chimique du kaolin avant son utilisation dans la barbotine d'émail est nécessaire pour éliminer une partie des impuretés telles que l'hématite, la pyrite, le mica, la muscovite et une partie du quartz. Les kaolins riches en titane, présentant le moins d'impuretés colorantes tel que le fer de structure et cuisant blanc (en général les ballclays) sont les plus demandés dans l'industrie céramique en général et plus dans les émaux car ils augmentent l'opacité, la blancheur et l'éclat de l'émail [14].



Figure II.10. Les émaux

II.5.4.3. Réfractaires

Les matériaux réfractaires sont utilisés dans les processus de production qui impliquent un contact avec des substances corrosives à haute température.

Les matériaux réfractaires doivent être inertes avec les substances avec lesquelles ils sont en contact, ils doivent être résistants mécaniquement et stables thermiquement ($T_{\text{fusion}} > 1500^{\circ}\text{C}$).

Les principales utilisations de l'argile réfractaire concernent la fabrication de briques réfractaires, de chamottes (argile cuite utilisée comme «dégraissant » dans les produits céramiques) et de divers ustensiles accessoires, tels que des creusets, les nacelles, cornues, et pot de verrerie, utilisés dans les industries métallurgies [15,16]. Le quartz, la perte au feu, les composés du fer et les alcalin sont des minéraux qui jouent des rôles négatifs sur les propriétés des produits réfractaires.



Figure II.11. Les Réfractaires

II.5.4.4. Matériaux de construction

Le kaolin est employé dans l'industrie du bâtiment ou dans la fabrication de ciment [13]. Les kaolins calcinés à basse température, ou métakaolins, présentent des caractéristiques pouzzolaniques très élevées, qui en font d'excellents additifs pour les mortiers et bétons à base de ciment Portland. Le kaolin, en tant que source d'alumine, en remplacement des argiles communes, riches en fer, permet d'éviter la présence de fer pour la production de ciment blanc. Les métakaolins intéressent particulièrement les utilisateurs de ciments blancs, ainsi que les fabricants de mortiers et de bétons techniques.

II.5.4.5. Papier

Le plus grand utilisateur du kaolin est l'industrie papetière où il est employé comme matériau de remplissage charge et dans la feuille et comme couchage à sa surface. Les propriétés qui sont importantes pour le couchage du papier sont la dispersion, la rhéologie, l'éclat, la blancheur, l'indice de réfraction, la douceur, l'adhésivité, la résistance de la pellicule à la rupture, la réceptivité à l'encre, qui conditionnent la qualité d'impression. Seuls quelques kaolins dans le monde peuvent être employés pour le couchage du papier en raison de conditions rigoureuses sur la viscosité et la blancheur [12].

II.5.4.6. Les applications médicales et cosmétiques

Le kaolin a une longue tradition d'utilisation dans des applications médicales et cosmétiques. Ces marchés exigent les niveaux les plus élevés de pureté et des spécifications de produit qui, naturellement, ont un coût assez considérable [17].

II.5.4.6.1. Utilisations modernes pharmaceutiques

Dans le secteur pharmaceutique, le kaolin est employé comme diluant et complément dans des médicaments et cataplasmes, comme par exemple en mélange avec de la morphine.

II.5.4.6.2. Produits de beauté

L'utilisation principale pour le kaolin en produits de beauté est le fond de teint. Les fonds de teint sont un mélange de la poudre teintée et parfumée employée pour améliorer l'aspect de peau.

La quantité du kaolin dans un fond de teint peut varier de 3 % dans une poudre lâche à 10 % dans un gâteau serré, ou la formulation lourde.

Le kaolin est concurrencé par le carbonate de calcium précipité (PCC) comme base dans les produits de beauté, mais le kaolin est encore considéré comme de loin supérieur dans cette application.

Le kaolin est également utilisé dans la formulation de rouge à lèvres.

II.5.4.7. Charges

La kaolinite est hydrophile, elle se disperse aisément dans l'eau avec l'addition d'un peu de dispersant chimique pour inverser la charge des bordures dues aux liens cassés.

II.5.4.7.1. Papiers

Les spécifications pour les kaolins de qualité " charge" pour l'industrie du papier.

II.5.4.7.2. Peintures

Le kaolin est utilisé en peinture en raison de son inertie chimique, de son opacité et de son pouvoir suspensif qui permet d'améliorer les propriétés d'écoulement et de thixotropie.

Il intervient souvent comme adjuvant des pigments blancs du dioxyde de titane, pour abaisser les coûts.

La granulométrie joue sur le type de peinture, le kaolin grossier est utilisé pour produire les peintures mates, et les kaolins fins sont utilisés pour les peintures brillantes. Les spécifications sont régies en France par la norme NF T31.101 (juin 1987), NF EN ISO 3262-8 (Décembre 1999) pour le kaolin naturel et NF EN ISO 3262-9 (Octobre 1998) pour le kaolin calciné utilisé comme matières de charge pour peintures [12].

II.5.4.7.3. Caoutchoucs

Le kaolin améliore la résistance mécanique, la résistance à l'abrasion et la rigidité des produits. Les spécifications sont précisées dans la norme NF T45008 d'octobre 1986. L'étude [18] montre que la qualité cristallochimique de la charge influence fortement la qualité des caoutchoucs chargés.

Ils mentionnent de très bonnes corrélations entre le PH et tous les paramètres d'utilisation : plus le pH est élevé, meilleures sont les propriétés mécaniques des caoutchoucs chargés.

Dans cette industrie, on parle de kaolin dur (75 à 80 % < 2 µm) qui tend à augmenter la résistance à la traction au déchirement et à l'abrasion.

Le kaolin mou (20 à 45 % < 2 µm) diminue l'élasticité, mais accroît sa stabilité dimensionnelle et améliore l'état de surfaces des extrudés. La consommation de kaolin dans le caoutchouc voisine les 1.3 Mt par an.

En 1976, on a utilisé en moyenne 129 kg de kaolin pour produire chaque tonne de caoutchouc.

Ce taux d'utilisation a diminué à 76 Kg/tonne 1993, mais l'augmentation de la production du caoutchouc maintient le marché du kaolin dans ce secteur.

II.5.4.7.4. Polymères

L'utilisation du kaolin dans les polymères permet d'obtenir des surfaces plus lisses, une meilleure stabilité dimensionnelle et une meilleure résistance aux agents chimiques.

Dans la fabrication de PVC, le kaolin agit comme agent de renforcement car il augmente la durabilité du plastique. [20] ont travaillé sur l'utilisation du kaolin organo-modifié dans le polypropylène.

Les résultats indiquent que du kaolin organo-modifié peut être exfolié dans le polypropylène, L'utilisation du kaolin organo-modifié dans les polymères permet d'obtenir des propriétés renforcées, pour des taux de charge beaucoup plus faibles.

Le remplacement d'une partie de la charge des polymères par des nano kaolin peut entrer autre améliorer la propriété des retardateurs de flamme [12].

II.6. Le métakaolin

II.6.1. Structure chimique

Les métakaolins, obtenus après conversion du kaolin vers 580°C, présentent une structure cristalline différente de celui-ci. La métakaolinite est la phase la plus réactive de la série de transformation thermique de la kaolinite [21]. Certains auteurs se sont attachés à décrire la structure cristallographique et chimique de la métakaolinite et d'autres ont proposé des modèles de structure. G.W.BRINDLEY, et al ont suggéré une structure (Figure.II.14) à Partir de leur observation en diffraction des rayons X : Ils démontrent la subsistance d'un certain ordre structural dans la métakaolinite [22].

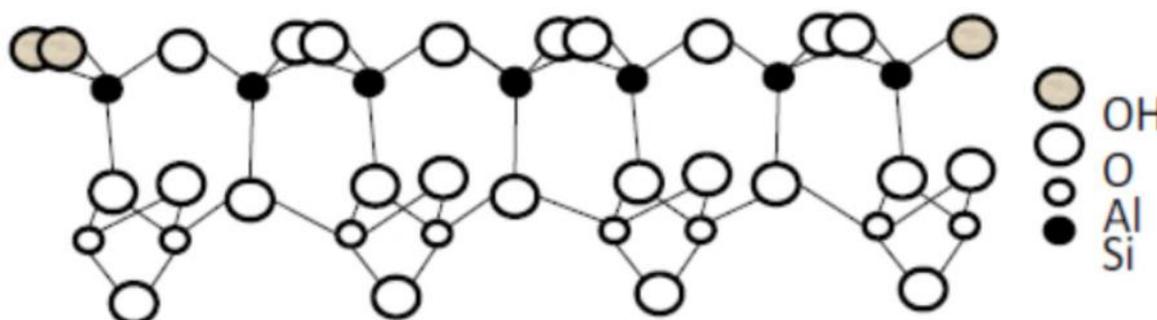
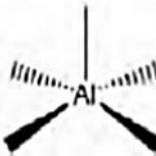
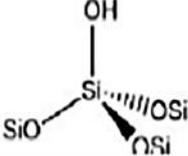
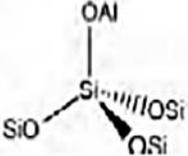
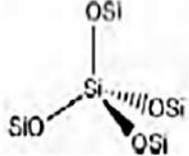


Figure.II.12. Structure chimique de Métakaolin [23].

Grâce à la spectroscopie RMN-MAS (Magic-Angle-Spinning) [24], on peut suivre l'évolution des structures cristallines de la kaolinite ainsi que le développement des réactions chimiques en quantifiant les différences d'intensités des résonances spécifiques des noyaux et la quantité des différentes populations d'espèces chimiques. Toutes ces informations sont utilisées dans le but d'obtenir une compréhension des transformations minéralogiques pouvant avoir lieu dans les structures chimiques soumises à différents types de traitement comme par exemple la calcination. Plusieurs auteurs ont ainsi démontré, que l'atome d'aluminium est présent dans la métakaolinite sous forme d'un mélange d'atomes de coordinations 4, 5 et 6 et que l'atome de silicium se trouvait soit sous forme de silice amorphe (site Q4) soit constituant une structure mixte SiO_4 reliant les tétraèdres à 1 ou 2 atomes d'aluminium (site Q4(1Al)). Quelques atomes de silicium possédaient encore une liaison hydroxyle (site Q3), [25].

Le tableau II.2 regroupe toutes les structures des atomes de silicium et d'aluminium, observées dans les aluminosilicates [26].

Tableau. II.2. Structure chimique des atomes d'aluminium et de silicium.

Dénomination	Al _v	Al _v	Al _{iv}
Structure			
Dénomination	Q ³	Q ⁴ (1Al)	Q ⁴
Structure			

R.M.T. SANCHEZ et al. Présent que le déhydroxylation d'une kaolinite entre 500°C et 750°C entraîne le changement de coordination des atomes d'aluminium de la couche octaédrique. Les atomes classent en trois structures différentes : 4, 5 et 6 coordonnés en proportions respectives 30%, 60% et 10%. Sous changement structural est accompagné par la destruction du réseau de la kaolinite lors de déhydroxylation.

La majorité des travaux récents utilisent la RMN avec rotation à l'angle magique, appliquée aux noyaux ²⁷Al et ²⁹Si [27].

K.J.D. MACKENSIE et al. Remarquent une forte réduction du signal ²⁷Al attribué aux atomes d'aluminium de coordination 6, signe d'une grande distorsion de ces sites, ainsi que trois environnements différents pour les atomes d'aluminium qui sont interprétés ainsi :

Un site octaédriques et deux sites tétraédriques différenciés par la présence ou non d'un hydroxyle en 1 des sommets [28].

J.ROCHA et al. Nous donnent pas une structure bien définit pour la métakaolinite mais décrivent cette phase comme une organisation de régions de natures et de structures différentes comprenant des atomes d'aluminium de coordination 5 repartis de façon aléatoire dans le réseau cristallin et se comportant comme des défauts de structures [29].

La structure de la métakaolinite est composée de plusieurs zones distinctes :

- Des régions amorphes ségréguées de silice ET l'alumine,
 - Des régions mixtes de SiO₄, structure reliant les tétraèdres à un 1 ou 2 atome l'aluminium est possédant encore quelques liaisons hydroxyles,
 - Des traces de kaolinite mère,
 - Des régions où les atomes de silicium comportent des groupements hydroxyles.
- Plus récemment A.DEEPACK et al. Ont démontré grâce à l'utilisation de la RMN avec rotation à l'angle magique, appliquée au noyau ²⁷Al que l'atome d'aluminium est présent dans la métakaolinite sous forme d'un mélange d'atome de coordination 4, 5 et 6 [30].

II.6.2. Utilisation

Le Métakaolin est une pouzzolane de synthèse et sa première utilisation, antérieure à 1962, concerne le béton de barrage de Jupia Dam au Brésil [31].

L'introduction de matériaux à propriétés pouzzolaniques comme le métakaolin, en remplacement d'un pourcentage du ciment Portland dans les mortiers et bétons peut être envisagée car ces pouzzolanes sont utilisées pour réagir avec la Portlandite pour produire des hydrates de nature proche de ceux du ciment. La réglementation ASTM 618-71 sur le ciment indique qu'une pouzzolane est un matériau siliceux ou Silico-alumineux, ne possédant pas ou peu de propriétés liantes en lui-même, mais qui, lorsqu'il est finement broyé et en présence d'eau, peut réagir chimiquement avec l'hydroxyde de calcium (Ca(OH)₂) à température et pression ordinaire pour former un liant.

Les pouzzolanes sont classées en deux groupes : naturelles et artificielles. Les pouzzolanes naturelles proviennent surtout des roches volcaniques dans lesquelles le

Constituant amorphes est le verre produit lors du refroidissement suivant la fusion.

Les pouzzolanes artificielles les plus couramment utilisées sont les cendre volantes de centrales thermiques, les fumées de silice, la bauxite calcinée, les cendres de balles de riz et des latérites calcinées [32]. Des travaux [MIELENZ, RR.G, et al. (1950)], [MEASSN, M. (1978)], [AMBROISE, J., (1984)] ont montré que les argiles calcinées étaient des pouzzolanes de synthèse réactives [33].

II.7. conclusion

Les kaolins sont des silicates plus au moins hydratés, structurellement constitués par un agencement de tétraèdres de silice et d'octaèdres d'alumine. Ils sont issus de la transformation sous l'influence de processus physiques et chimiques de silicates primaires. La kaolinite qui existe dans les kaolins peut être bien, moyennement ou mal cristallisée. Elle présente peu de substitution cationique.

Les minéraux associés sont le quartz, les micas (muscovite), l'halloysite et les feldspaths potassiques, et des impuretés minérales telles que l'oxy-hydroxyde de fer, les oxydes de titane et l'oxyde de manganèse. Lors de la cuisson la structure en feuillets de la kaolinite s'effondre par déshydroxylation pour conduire à la métakaolinite caractérisée par une organisation à très courte distance.

Les phases amorphes peuvent faire l'objet d'une réorganisation structurale à plus haute température, analogue à celle observée pour la métakaolinite vers 980 °C comme elle conduit généralement à la formation de mullite au-dessus de 1000 °C. Celle-ci est favorisée par la présence d'ions Fe^{3+} sur la surface des plaquettes.

Dans ce parti on a essayé d'identifier le kaolin de Dejebel Debagh (Algérie) à l'état naturel et après cuisson.

La valorisation du kaolin soit dans la matrice cimentaire ou dans la matrice sableuse nécessite de bien connaître ses caractéristiques physico-chimique et micro structurale.

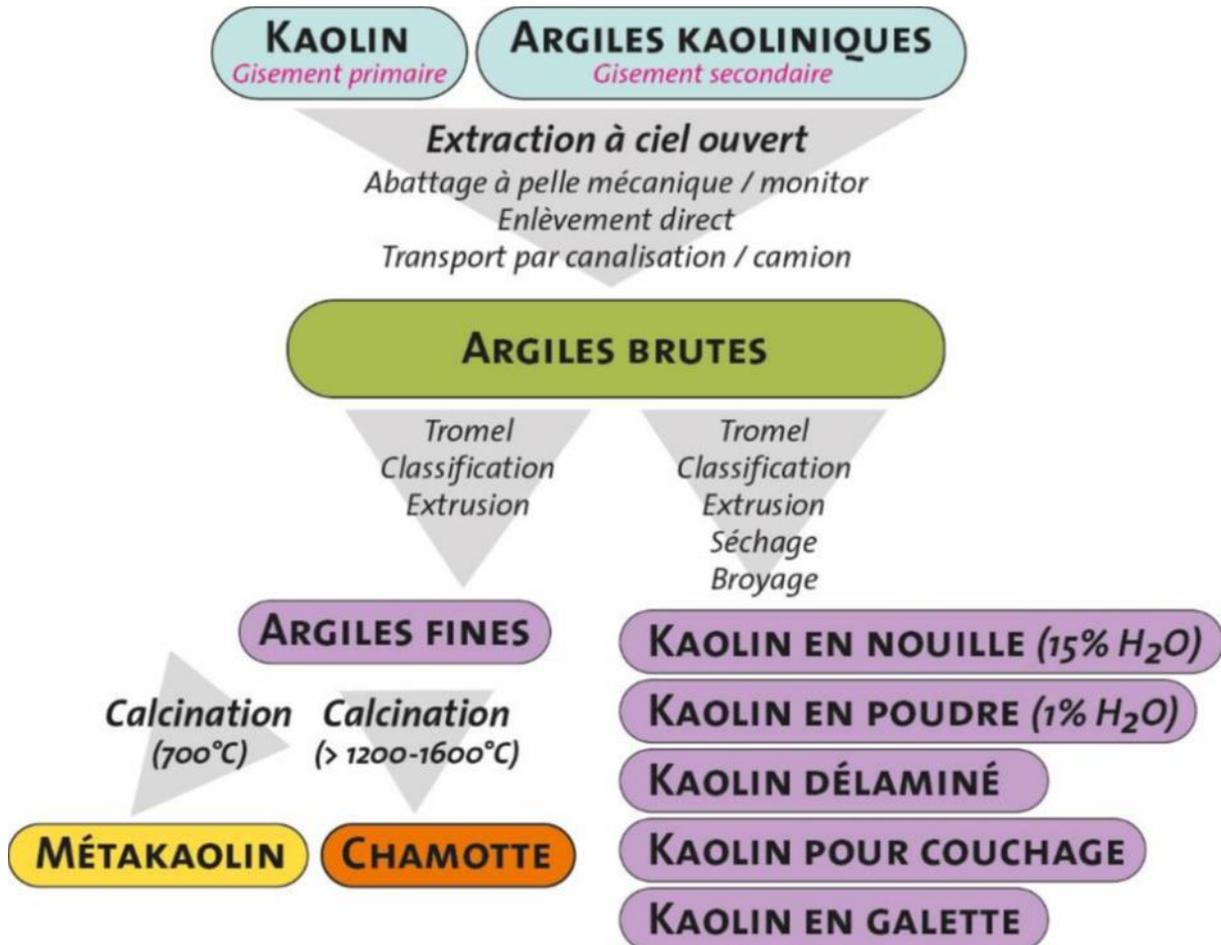


Figure II.13. Principales phases de traitement pour passer des matériaux extraits à des produits commercialisables.

Chapitre III

MATERIAUX ET PROCEDES EXPERIMENTAUX. TENTATIVE D'E LABORATION D'UN CIMENT COMPOSE A BASE DE METAKAOLIN ISSU DU KAOLIN DE GUELMA

III.1. Introduction

Ce chapitre est destiné à la caractérisation des échantillons de matières premières prélevées. Ces matériaux seront utilisés principalement pour la fabrication du nouveau ciment composé au niveau du laboratoire de génie civil et hydraulique de et laboratoire de mécanique l'université 08 mai 1945 Guelma.

Il est important de maîtriser l'ensemble des propriétés intrinsèques des matières premières (granulométrie, composition chimique et minéralogique, etc.). En effet, la connaissance des propriétés et des spécificités de ces matériaux est essentielle pour l'identification de potentielles performances comptabilisées dans la confection des nouveaux produits ou des produits existants améliorés, comme les ciments composés. Les principaux essais de caractérisation physico-chimique mécaniques ont été effectués sur les échantillons, selon les recommandations et les normes Algériennes et internationales. Ceci a permis de les identifier.

Détails tous les essais réalisés au cours de la présente recherche, l'ensemble des matériaux utilisés ainsi que les résultats de leur caractérisation en les comparants aux différentes valeurs imposées par les normes en vigueur.

III.2. Matériaux utilisés

III.2.1.Ciment

Un ciment Portland de type CEMI 42.5 a été utilisé dans tous les mélanges. Ce ciment de couleur grise, provient de cimenterie de Biskra. Il est composé majoritairement du clinker avec une faible proportion du gypse. Les compositions chimique et minéralogique, ainsi que

Les propriétés physico-mécaniques du ciment sont présentées dans les tableaux III.1 et III.2.

La composition chimique du ciment(%) est donnée dans le tableau III.1 et ses caractéristiques physico-mécaniques sont représentées dans le tableau III.2

Tableau III.1. Compositions chimiques du ciment (%)

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	K ₂ O	Na ₂ O	LOL	chloride
18.58	4.59	3.5	61.95	2.72	2.60	0.59	0.23	2.95	0.04

Perte au feu	0.3-1.0
La chaux libre (CaO)	0.5-2.0
Teneur en sulfates (SO ₃)	1.2-2.2
Teneur en oxyde de magnésium(MgO)	1.7-2.8
Teneur en chlorures (CL ⁻)	0.02-0.07

Composition potentielle du clinker (selon Bogue) %	valeur
C3S	58-68
C2S	5.0-15
C3A	5.1-7.2
C4AF	10-15

Tableau III.2. Caractéristiques physico-mécaniques du ciment

Surface spécifique (cm ² /g)	Consistance Normale (%)	Temps de prise		Retrait 28 j (um/m)	Résistance traction 28 j (MPa)	Résistance compression 28 j (MPa)
		Début (min)	Fin (min)			
3610	25.8-26.4	150-190	220-250	0.25-1	4,67	52 ,11

II.2.2.Sable

Nous avons utilisé sable normalisé au niveau de laboratoire de université de 8 mai 1945 Guelma

Sable normalisé CEN certifie conforme EN 196-1

Sable normalisé CEN EN 196-1, de nature siliceuse, à grains arrondis, dont la teneur en silice est égale à 98%. Il est délivré en fractions mélangées en sacs plastiques d'un contenu de 1350

g \pm 5 g.

L'analyse granulométrique

La composition granulométrique, déterminée par tamisage,

Tableau III.3.Granulométrie du sable normalisé

Les tamis (mm)	masse (g)	%
0.063	43	3,2
0.125	251	18.5
0.250	89	6.6
0.5	470	34.8
1	492	36.6
2	/	/

Nous avons prendre le sable de silice avec 98.34% teneur en silice et respecté la granulitique du sable normalisé CEN EN 196-1 après nous avons créé des sacs à 1350 g.

III.2.3. Métakaolin

Le Métakaolin est obtenu par calcination de l'argile à 850°C pendant 3 heures puis broyage (broyeur manuel). Il est ensuite tamisé pour obtenir une poudre dans le tamis de 100 µm. Ces opérations ont été réalisées au laboratoire de mécanique de l'université du 8 mai 1945 de Guelma.



Figure III.1. Calcination de l'argile



Figure III.2. Opérations de broyage manuel de l'argile

III.2.4. Eau

L'eau utilisée pour la confection des mortiers est l'eau potable du robinet.

III.3. Préparation du ciment

La préparation des nouveaux ciments est effectuée par un broyage et un tamisage (tamis 100 μ m) le Métakaolin. Après dosage et homogénéisation, nous avons envisagé d'élaborer 5 échantillons de ciments composés de 0 à 20%. Le Tableau III.4 regroupe les ciments élaborés et la teneur de chaque constituant.

Tableau III.4. Désignation et dosage des ciments élaborés

Ciment	C0	C5	C10	C15	C20
CPA-CEM1%	100	95	90	85	80
MK%	0	5	10	15	20

Dosage	C0	C5	C10	C15	C20
Clinker(g)	3000	2850	2700	2550	2400
MK(g)	0	150	300	450	600

III.4.Procedures expérimentales

III.4.1.Caractérisation chimique des ciments

III.4.1.1. Analyse chimique par fluorescence X

Elle a été réalisée par spectrométrie de fluorescence X. Cette technique est basée sur l'analyse du spectre émis par un échantillon excité par une source primaire de rayons X. Ce spectre dit de fluorescence est caractéristique des éléments atomiques qui composent l'échantillon. C'est une technique d'analyse élémentaire non-destructive de l'échantillon. Sa sensibilité peut atteindre la ppm (1 partie par million= 10⁻⁴ %) [41]. Cette méthode permet la détermination de la composition élémentaire de l'échantillon de manière qualitative et Quantitative, La technique d'analyse comprend deux parties [42] :

- Une source d'excitation provoquant l'émission d'un spectre de rayon X caractéristique de la composition de l'objet.
- Un détecteur et un analyseur de rayonnement identifiant et quantifiant les intensités des raies composant le spectre.

❖ **Mode opératoire**

1. Broyage 20 g de l'échantillon pendant 2 minute
2. Mettre les matériaux dans une pacti et comprisse par 150 Par
3. Mettre le pacti dans spectrométrie de fluorescence X
4. Après 2 minute prendre le résultat

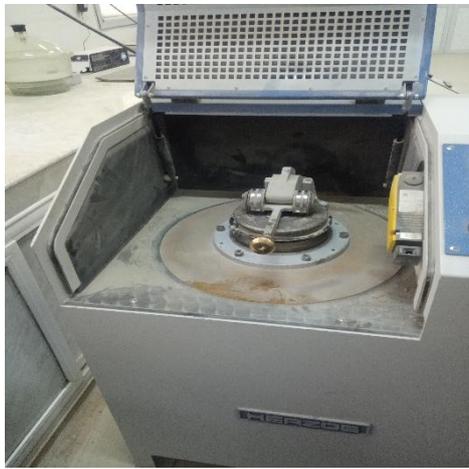


Figure III.3. Opération de broyage 20 g de l'échantillon



Figure III. 4. compression de l'échantillon



Figure III. 5. Spectrométrie de fluorescence X

III.4.1.2. Teneur en (CaO) libre

La teneur en chaux libre dans le clinker et les ciments élaborés est déterminée conformément à la norme NA2187 [40].

❖ Mode opératoire

- Peser 1 g de l'échantillon
- Mettre l'échantillon dans un pycnomètre et en a jouté 40 ml d'alc-glycérol
- mettre tout au-dessus d'un radiateur électrique Jusqu'à ébullition
- après ébullition en a jouté progressivement l'acétate ($C_2H_3O_2^-$) avec chauffage jusqu'à avoir la coulure rose
- la quantité de l'acétate utilisé ce de le pourcentage de la chaux libre



Figure III. 6. opération de calcul la chaux libre

III.4.1.3. Perte au feu (PAF)

La perte au feu est la perte de masse qui résulte de l'échauffement d'un matériau. Dans notre cas, la température d'échauffement était de 1000°C durant 1 heure. La perte au feu est donc simplement la différence de masse de l'échantillon avant et après calcination exprimée en pourcentage, selon le protocole de la norme NA442.



Photo III.7. Four de calcination pour PAF

III.4.2. Caractérisation physique des ciments

III.4.2.1. Détermination de la surface spécifique par la méthode du Blaine

La surface spécifique est le rapport de la surface de solide en contact avec le milieu extérieur à la masse. La méthode Blaine permet de calculer la surface spécifique d'une poudre selon la norme EN 196-6. Le principe consiste à mesurer le temps de passage d'une certaine quantité d'air à travers un lit de poudre d'une hauteur connue



Figure III. 8. Appareil de Blaine

III.4.2.2. Masses volumiques absolues et apparentes des ciments

Les masses volumiques sont mesurées sur poudre de ciment anhydre conformément à la norme NA2595.

Masses Volumiques apparentes

❖ Définition de La masse volumique apparente

La masse volumique apparente d'un matériau est la masse volumique d'un mètre cube du matériau pris en tas, comprenant à la fois des vides perméables et imperméables de la particule ainsi que les vides entre particules.

❖ Mode opératoire

- Placer l'entonnoir au-dessus de la mesure de 1 litre.
- Fermer l'opercule.
- Verser environ 200g de liant sur la passoire et la faire descendre dans l'entonnoir à l'aide de la spatule.
- Ouvrir l'opercule, le liant tombe dans la mesure. Refermer l'opercule.
- Recommencer avec de nouvelles quantités du liant, jusqu'à ce que le bol déborde.
- Araser à la règle et peser le contenu. Soit M.
- La masse volumique apparente est : ($V = 1$ litre)

$$P_{app} = M/V$$



Figure III. 9. Mesure de la masse volumique apparente des ciments

○ **Définition La masse volumique absolue**

La masse volumique absolue est mesurée à l'aide densimètre Le Chatelier de 250 ml de volume en utilisant le benzène comme solution inerte.

❖ **Mode opération**

- Remplir l'appareil de Toluène jusqu'à un volume voisin du zéro soit V_1
- Peser le tout soit M_1
- Introduire environ 60 g de ciment jusqu'à ce que le liquide soit dans la partie utile de la graduation supérieure.
- Bien chasser les bulles d'air, noter V_2
- Peser soit M_2
- Après 24 h voir les résultats
- La masse spécifique est donnée par :

$$\rho_s = (M_2 - M_1) / (V_1 - V_2)$$



Figure III. 10. mesure de la masse volumique absolue des ciments

III.4.2.3.Consistance normale des ciments

La consistance normalisée d'une pâte de ciment caractérise sa plus au moins grande fluidité. Pour pouvoir étudier l'évolution de la consistance en fonction des différents paramètres il faut pouvoir partir d'une même consistance qui soit la même pour toutes les pâtes étudiées. Elle est nécessaire pour déterminer les temps de début et fin de prise ainsi que l'essai de stabilité. La variation de la consistance normale est déterminée conformément à la norme NA229 à l'aide de l'appareil de Vicat qui se compose d'un moule tronconique de 40mm de hauteur et d'une tige coulissante équipée à son extrémité par une sonde d'un diamètre $\varnothing = 10\text{mm}$. La partie coulissante a une masse de 300g (y compris la sonde amovible). Après avoir préparé la pâte pure de ciment, elle placée dans le moule. Lorsque la sonde s'arrête à une distance $d=6\pm 1\text{mm}$ de la plaque de base plane, la consistance est considérée comme consistance normale. [40]



Figure III. 11. appareil de Vicat pour calcul la Consistance normale des ciments

III.4.2.4. Prise des ciments

Dans son principe, le temps de début de prise correspond à peu près au moment où la pâte cesse d'être mouillable et commence à se comporter comme un solide mécaniquement résistant. La fin de prise correspond à la transformation régulière et progressive de la pâte de ciment en un bloc rigide. L'essai du temps de début et de fin de prise est réalisé suivant la norme NA230 grâce à l'appareil de Vicat, dans une enceinte dont la température est maintenue à $24 \pm 3^\circ\text{C}$. L'on mesure l'enfoncement d'une aiguille de diamètre $\varnothing = 1,13\text{mm}$, fixée à la partie mobile de l'appareil de Vicat, dans une pate pure de ciment maintenue dans un moule tronconique de 40mm de hauteur. Lorsque l'aiguille s'arrête à une distance $d = 4 \pm 1\text{mm}$ de la plaque de base plane, le temps de début de prise est enregistré. La fin de prise correspond au moment où l'aiguille ne s'enfonce plus dans l'anneau c'est-à dire une transformation régulière et progressive de la pâte de ciment en un bloc rigide. [40]



Figure III. 12. l'appareil de Vicat pour calcul Prise des ciments

III.4.2.5. Expansion des ciments

Les essais d'expansion, à froid ou à chaud, ont pour but de déterminer la stabilité aux expansifs des liants hydrauliques ; ils sont effectués sur une pâte de consistance normale de ciment selon la norme NA232. Le ciment est coulé dans un moule cylindrique formé par une feuille de laiton enroulée, et fendue suivant une génératrice, l'expansion de l'éprouvette provoque l'ouverture de la fente ; deux aiguilles soudées à la feuille de laiton amplifient l'ouverture, et permettent une mesure commode de l'expansion. [40]



Figure III. 13. l'appareil d'Expansion des ciments

III.4.2.6. Retrait libre des ciments

Tous les mélanges de mortiers normalisés (la composition du mortier nécessaire à la réalisation des 3 éprouvettes que comporte un moule est la suivante : Liant : 450g, Eau déminéralisée : 225g et sable normalisé : 1350g (conforme à la norme EN 196-1) ont été gâchés dans un malaxeur de mortier à axe vertical d'une capacité de 5 litres. Le retrait a été mesuré sur des éprouvettes de forme prismatique (40.40.160) mm³ selon la norme NA440, exposées après vingt-quatre heures à une hygrométrie relative de 50% et à une température de 20°C jusqu'à l'échéance déterminée (28 jours). Les déformations ont été mesurées à l'aide d'un rétractomètre digital à haute sensibilité. [40]



Figure III. 14. Mesure du retrait libre par un rétractomètre digital

III.4.3. Caractérisation mécanique des ciments

Les résistances à la compression et à la flexion ont été déterminées sur des éprouvettes de forme prismatiques (40.40.160) mm³ confectionnées sur mortier normal, conformément à la norme NA234.

Le ciment et le sable normalisé sont gâches avec l'eau dont le rapport (E/C = 0,5). Le malaxage du mortier a été réalisé dans un malaxeur à axe vertical d'une capacité de 5 litres selon les prescriptions de la norme NA234. Après moulage, les éprouvettes ont été compactées à l'aide d'une table à chocs. Les moules contenant les échantillons sont ensuite couvertes de film en plastique et placées dans la chambre humide à une température de $20 \pm 1^\circ\text{C}$. Après 24 heures, les échantillons sont démoulés et conservés dans une atmosphère saturée dans la chambre humide pendant respectivement 2, 28 jours. A l'âge d'essai, les éprouvettes sont soumises à l'écrasement par flexion en suite, les demi-éprouvettes obtenues sont soumises à l'essai de résistance à la compression. On signalera toutefois que la valeur obtenue pour chaque échantillon ciment est une moyenne de 3 essais. [40]



Figure III. 15. préparation des éprouvettes



Figure III. 16. conservation les éprouvettes



Figure III. 17. Machine d'essai à la traction par flexion



Figure III. 18. Machine d'écrasement

III.5. Conclusions

Nous avons exposé dans ce chapitre, les matières premières utilisées pour la fabrication du nouveau liant, ainsi que l'ensemble des procédures expérimentales effectuées.

Par ailleurs, les différents essais d'identification, qui ont été conduits conformément aux différentes normes Algériennes ont permis de déterminer les propriétés de chacune de ces matières premières, qui sont utilisées principalement dans l'industrie du ciment. En effet, la connaissance des caractéristiques de la matière première permet de bien comprendre leur comportement lors de la production du ciment. Ce travail est essentiel pour le développement et l'amélioration des performances du nouveau produit, conformément aux normes et aux exigences du développement durable.

**CONCLUSION GENERALE ET
PERSPECTIVES D'AVENIR**

CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES D'AVENIR

Ce travail nous a permis de découvrir les additions minérales et leurs avantages dans la fabrication des ciments composés (ou ciments CPJ). Toutes les variétés d'additions classiques (normalisées) ont été étudiées : additions calcaires, siliceuses, fillers, fumée de silice, cendres volantes, laitier de hauts fourneaux ... Leurs avantages économiques et écologiques ont été mis en relief.

Les kaolins, qui sont des argiles blanches, ont différentes utilisations : dans la fabrication des céramiques, des émaux, des réfractaires, dans le domaine médical et pharmaceutique, produits de beauté etc ... Il a été montré par ailleurs, qu'ils peuvent être utilisés dans le domaine des matériaux de construction. Ils sont traités thermiquement à de basses températures et le produit obtenu (le Métakaolin) présente des caractéristiques pouzzolaniques élevées. Son utilisation dans la fabrication des ciments blancs est particulièrement appréciée et avantageuse.

En Algérie, il existe deux principaux gisements de Kaolin :

- Gisement de Tamazight (El Milia, wilaya de Jijel)
- Gisement de Djebel Debagh (wilaya de Guelma)

Ils sont exploités pour la fabrication des céramiques fines et des réfractaires. Aucun usage dans le domaine des matériaux de construction n'a été envisagé jusqu'à présent. Pour cette raison, nous avons choisi de l'utiliser comme addition dans l'élaboration d'un ciment composé.

Le Kaolin a été calciné à une température de 850°C au laboratoire de mécanique de l'université du 8 mai 1945 de Guelma, il a été ensuite broyé manuellement et tamisé dans un tamis de 100µm d'ouverture des mailles.

Diverses compositions ont été envisagées pour une étude expérimentale qui n'a malheureusement pas abouti pour les raisons sanitaires de la pandémie du coronavirus. Tous les essais programmés dans ce but sont décrits dans ce mémoire.

Pour les perspectives d'avenir, il serait très intéressant de compléter le programme expérimental entamé et décrit dans ce mémoire puis d'envisager d'autres taux de substitution du clinker par le Métakaolin préparé dans ce travail afin d'élargir le champ de cette recherche.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Références bibliographiques

- [1]. Belamri Zehira " Élaboration et caractérisation polycristallisation à base de kaolin DD et KT2", Mémoire de Magister, Université Mentouri Constantine ; 2008.
- [2]. Bessa A- Badreddine., "Etude de la contribution des additions minérales aux propriétés physiques, mécaniques et de durabilité des mortiers ", Thèse de doctorat, Université de Cergy Pontoise, France, 2004.
- [3]. Drissa Samake."Traitement des eaux usées de tanneries à l'aide de matériaux à base d'argile" Thèse de doctorat Université Joseph-Fourier - Grenoble I, France ; 2008.
- [4]. Caillère, et al. " La composition minéralogique, la capacité d'échange cationique CEC " ; 1982.
- [5]. Manceau M. et al, " La composition minéralogique, la capacité d'échange cationique " ; 1998.
- [6]. Audit environnementale SOALKA / SPA – Société Algérienne de Kaolin, Société Par Action - EL Milia 2014.
- [7]. Mohamed kaneshloo, "Caractérisation, estimation et valorisation de gisements d'argiles kaoliniques du bassin des Charentes" Thèse de doctorat École Nationale Supérieure des Mines de paris, France ; 2007.
- [8]. Khadrouche Dalel et Djidjilli Lamia, "Étude physico-chimique et spectroscopie d'une argile kaolinitique Tamazert", Mémoire de Magister, Université de Jijel ; 2004.
- [9].Nedjmi Bouzidi, "Influence des impuretés des kaolins sur les propriétés des produits de cuisson". Thèse de doctorat en co-tutelle. Université de Bejaia et l'École Nationale des Mine de Saint-Étienne, 2012.
- [10]. R. Wyckoff, Crystal Structures 2nd ed. Intersciences 1964; New York, Vol. 1.
- [11]. N.S Soro "Influence des ions fer sur les transformations thermiques de la kaolinite", thèse de Doctorat, GEMH, ENSCI Limoges ; 2003.
- [12]. Bormans P., "ceramics are more than clay alone". Cambridge international science publishing, 2004.
- [13]. Eppler A.R. "Glazes and glass coatings»; The American Ceramic Society. Published, 2000.

- [14]. Kolli M. "Elaboration and characterization of a refractory based on Algerian kaolin", *Ceramics international* N° 33, 2007, pp 1435–1443.
- [15]. Pasquet J.F, "Le kaolin, mémento roches et minéraux industriels", Chapitre I. Généralités sur les argiles, les kaolins et leurs applications industrielles 33, BRGM, 1988.
- [16]. Helgeson H.C, Garrels R.M, Mackenzie F.T. " Evaluation of irreversible reactions in geochemical processes involving mineral and aqueous solutions: II applications *Geochim. Cosmochim.*". *Acta*, 33, 1969. 455-481
- [17]. Cases J.M, Cunin P, Grillet Y., Poinson C, Yvon J., "Methodes of analysing morphology of kaolinites : relations between crystallographic and morphological properties " *Clay Minerals*, Vol.21, 1986, pp. 55-68.
- [18]. Rosenthal E." *Pottery and Ceramics*", Penguin Books, Middiesex, U. K., 1949.
- [19]. Meinhold R.H, Atakul H, Davies T.W, Slade R.T.C, " Flash calcinations of kaolinite: kinetics of isothermal dehydroxylation of partially dehydroxylated: flash calcines and flash calcinations itself" *Journal of materials chemistry*, vol. 2, 1992, p913-921.
- [20]. Murat, M, et al "Infrared absorption spectroscopy applied to the characterisation of the amorphisation state of metakaolinite. *C. R. Acad. Sc*". 1982.
- [21]. G.W.Brindley, et al "The comparison between alkali-activated slag (Si+ Ca) and metakaolin (Si+Al) cements" p 249-254; 1959.
- [22]. Brindley ET Nakahira "The kaolinite-mullite reaction series: IV, The coordination of Aluminum, *J. Am. Ceram. Soc.* 44»; 1959.
- [23]. Fitzgerald, J, J.J. Fitzgerald, A.I. Hamza, "of the reaction between H₂SO₄ and metakaolin»; 1998.
- [24]. Mackenzie, KJD., et al. , Rocha, J., et al. 1990, Deepack, A., et al. 1997.
- [25]. Lippman, E. ; et al 1980, Lippman, E., et al. 1981, Fitzgerald, J., 1998.
- [26]. R.M.T. Sanchez et al. "Crystallization of spinel phase from metakaoline: The nonisothermal thermodynamic CRH study»; 1999.
- [27]. J.D. Mackenzie et al. "Influence of metakaolinization temperature on the formation of zeolite 4a from kaolin»; 1985.

- [28]. Rocha et al. "Monitoring hydration in lime-metakaolin composites using electrochemical impedance spectroscopy and nuclear magnetic resonance spectroscopy»; 1990.
- [29]. Deepack et al. "Prediction of compressive strength of concretes containing metakaolin and silice fume by artificial neural networks»; 1997.
- [30]. Pera, J. "Metakaolin and calcined clays as pozzolans for concrete"; Cement and Concrete Composites 23:441-454. 2001.
- [31]. Messi A. Propriétés des ciments pouzzolaniques élaborés à partir de latérites actives thermiquement. Thèse. Lyon: INSA de Lyon, 1988, 256p.
- [32]. J.Ambroise, M.Murat and J.Péra. "Hydration reaction and hardening of calcined clays and related minerals" V.
- [33]. Merrouche Nora et Lahmar Abbou Fatiha "Étude théorique et expérimentale des kaolins (Étude par DFT) ". Université Abderrahmane Mira – Bejaia ; 2015
- [34]. Jacquese André Hertig, "Etude d'impact sur l'environnement", page 173, 174,176, édition 2006.
- [35]. Mémoire préparé par Mr.BOUALI Khaled en vue de l'obtention du diplôme de magister en filière génie de matériaux.
- [36]. Harbi Radhia "Propriétés physico-mécaniques et durabilité des Mortiers avec additions minérales" Thèse de doctorat soutenu en 2018 à l'université du 8 mai 45 de Guelma.
- [37]C.A Jouenne. "Traité de ceramiques et materiaux minéraux", Edition Septima. Paris 1984.
- [38] R. Tertian. F. Claisse "Principles of Quantitative X-Ray Fluorescence Analysis", By Heyden. London, Philadelphie ; 1982.
- [39] Nigri Ghania "Nouvelle élaboration d'un liant hydraulique ", Thèse de doctorat soutenu en 2018 à l'université du 8 mai 45 de Guelma.
- [40] C.A Jouenne. "Traité de ceramiques et materiaux minéraux", Edition Septima. Paris; 1984.
- [41] R. Tertian. F. Claisse "Principles of Quantitative X-Ray Fluorescence Analysis", By Heyden.London, Philadelphie; 1982.

ANNEXES

Annexe A :



شركة ذات أسهم البسكريّة للإسمنت

S.P.A BISKRIA CIMENT

ش.د.ا. - رأس مالها الاجتماعي : 4 284.000.000 DA
 Société par actions au capital social de : 4 284.000.000 DA

N° Identification Fiscale : 000907024283698 - N° Article d'imposition : 07030013436 - N° Registre de Commerce : 07/00-0242836 B 09

Fiche d'analyse

Product : CEM I 42.5R
 Date : 08/09/2019

SiO ₂	18.58	%
Al ₂ O ₃	4.59	%
Fe ₂ O ₃	3.5	%
CaO	61.95	%
MgO	2.72	%
SO ₃	2.60	%
K ₂ O	0.59	%
Na ₂ O	0.23	%
LOI	2.95	%
Chloride	0.04	%

Refus	4.3	%
SSB (cm ³ /g)	3610	cm ² /g
R 2j	25.24	Mpa
R 28j	52.11	Mpa

SPA BISKRIA CIMENT
 DIRECTEUR PERFORMANCE
 BATECHE AHMED

SPA BISKRIA CIMENT Siège sociale : DJAR BELAHRACHE BRANIS WILAYA DE BISKRA (Algérie)
 ☎ : +213 (0) 33 62 74 62 Fax: +213 (0) 33 62 73 92 MOBILE ☎ : +213 (0) 560 960 470 Email ✉ : biskria.spa@gmail.com



SPA BISKRIA CIMENT

FICHE TECHNIQUE

CLINKER

Ciment non pulvérisé

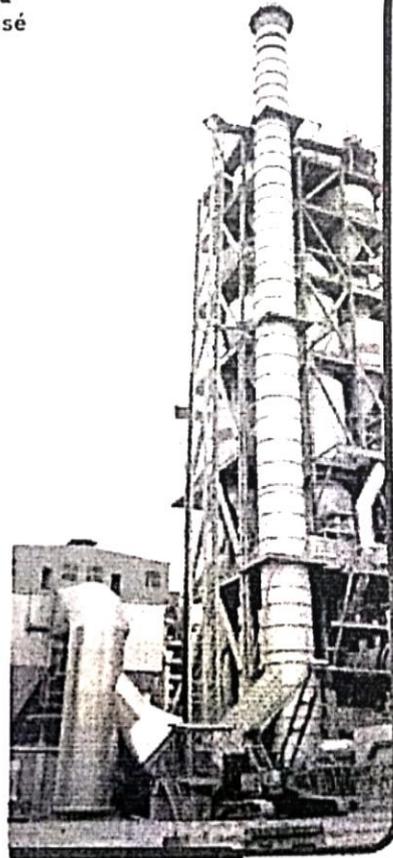


Clinker Portland : un constituant majeur destiné à la production des ciments courants
Grâce à son expertise, la SPA BISKRIA CIMENT vous garantit un Clinker Portland hautement réactif.

Q CARACTÉRISTIQUES TECHNIQUES

Analyses chimiques	valeur
Perte au feu	0.3 - 1.0
La chaux libre (LOI)	0.5 - 2.0
Teneur en Sulfates (SO ₃)	1.2 - 2.2
Teneur en Oxyde de Magnésium (MgO)	1.7 - 2.8
Teneur en Chlorures (Cl ⁻)	0.02 - 0.07

Composition Potentielle du Clinker (Selon Bogue) (%)	valeur
C ₃ S	58 - 68
C ₂ S	5.0 - 15
C ₃ A	5.1 - 7.2
C ₄ AF	10 - 15



SPA BISKRIA CIMENT
Adresse : Djar Belahrache
Branis, Biskra Algerie

Tel : +213 (0) 560 753 424
Fax : +213 (0) 33 62 73 92
contact@biskriaciment-dz.com
www.biskriaciment-dz.com



I.I.C. Istituto Italiano per il Calcestruzzo



Date: 15/06/2018

REFERENCE : ESSAIS DE LABORATOIRE EN MORTER NORMALISEE – BISKRIA CIMENT Algeria

N°	DATE ESSAI	Type de ciment	Description	R e/c	Dos Adjuvant	Blain (cm ³ /g)	Flow (mm)	TEMPS DE PRISE (h)		TEMPS DE QUVRABILITE (mm)			Resistance à la compression / à la flexion [MPa]															
								INIZIO	FINE	0' =	30' =	45' =	60' =	90' =	f _c	f _l												
834	06.06.2018	II/A-L	BISKRIA CIMENT	0,5	-	-	82	3,38	4,36	0' =	30' =	45' =	60' =	90' =	4,67	20,12	33,60	44,79	289g	609g	909g	289g	609g	909g	289g	609g	909g	
42,5R		NOTE: Sans Adjuvant																										

Selon la norme EN 197-1:2011 CEM 42,5 R
 Selon la norme EN 197-1:2011 CEM 52,5 R
 Inizio ≥ 60min
 Inizio ≥ 45min
 ≥ 20 MPa
 ≥ 30 MPa
 ≥ 42,5 ≤ 62,5 MPa
 ≥ 52,5 MPa

Istituto Italiano per il Calcestruzzo s.r.l.
 Via Sironi 21 - 20134 Milano (MI)
 Tel. 02/2 9165116 - Fax 02/2 9165136 - Email ic@ic.it
 Part IVA 055 19420962

Annexe B :

Résidence Ennadjah tour A N° 34 B.M.R 16013Alger

Tel : 021 54 11 80 / Mob : 0770 93 02 31 (34 , 35) Fax : 021 54 15 80 E-Mail : composium@live.fr
Capital social de 20 000 000 DA. RC 0018518B02 -CIF 00016579002053 - NIS 0001 1657 04747 37

FICHE TECHNIQUE M/P- PR

Elément chimique	Teneur en %
SiO ₂	98,34
Al ₂ O ₃	0,97
Fe ₂ O ₃	0,152
CaO	0,21
MgO	0,077
K ₂ O	0,10
Na ₂ O	0,10
TiO ₂	
Cr ₂ O ₃	
MnO	
SO ₃	
P.F	0,38

Distribution granulométrique :vibration à cec masse sèche Ms =304.4g