

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE
UNIVERSITÉ CONSTANTINE 3



FACULTÉ
Génie des procédés
DEPARTEMENT
Génie chimique

N° d'ordre :
Série :

MÉMOIRE DE MASTER

**PRODUCTION ET ÉVALUATION INDUSTRIELLE DE
CARBONATE DE CALCIUM BROYÉ (GCC)**

Dirigé Par :

Dr. ZERMANE Sameh

Grade: MCA

Présentée par :

BERREHAL Ibtissem

BOUAFIA Oumnia

SAADOUN Attika Aya

Année Universitaire 2024/2025
Session : juin

TABLE DES MATIERES

Résumé

LISTE DES FIGURES

LISTE DES TABLEAUX

LÉGENDE DES SYMBOLES UTILISÉS

Introduction Générale 1

CHAPITRE 01 Approche Théorique

1.1	Structure et propriétés chimiques.....	3
1.1.1	Formule chimiques et nature de composé	3
1.1.2	Identification de la substance	3
1.1.3	Structures Cristallines (calcite, aragonite).....	3
1.1.4	Propriétés physiques et chimiques.....	4
1.1.4.1	Propriétés physiques	4
1.1.4.2	Propriétés chimiques	4
1.2	Origine et sources naturelles	5
1.2.1	Contexte géologique du carbonate de calcium	5
1.2.2	Formation des Carbonates de Calcium.....	5
1.2.2.1	Environnements de Formation des Carbonates	5
1.2.2.2	Transformations et Diagenèse	6
1.2.2.3	Importance Géologique et Cycle du Carbone.....	6
1.2.2.4	Distribution Géographique	6
1.2.3	Sources naturelles du carbonate de calcium	6
1.2.3.1	Roches calcaires : Une source majeure de CaCO ₃	7
1.2.3.2	Coquilles marines : Une source biogénique du CaCO ₃	7
1.2.4	Autres sources naturelles de CaCO ₃	8
1.3	Procédés de production du carbonate de calcium	8
1.3.1	Production naturelle du carbonate de calcium.....	8
1.3.1.1	Méthodes d'extraction	9
1.3.2	Production industrielle du carbonate de calcium.....	10
1.3.2.1	Production par réaction chimique.....	10
1.3.2.2	Précipitation et morphologies du carbonate de calcium.....	10
1.3.2.3	Avantages du PCC par rapport au CaCO ₃ naturel.....	11
1.3.2.4	Production du carbonate de calcium broyé GCC	11
1.4	Application et marché de carbonate de calcium.....	12
1.4.1	Secteur d'application	12
1.4.2	Demande et perspective économiques.....	13
1.4.2.1	Analyses du marché mondial.....	13
1.4.2.2	Perspective économiques et développements du marché.....	14
1.4.2.3	Les enjeux économiques et environnementale	14
1.4.2.4	Innovation et les futures tendances.....	16

CHAPITRE 02 Production et évaluation du carbonate de calcium et des granulats

2.1	Présentation générale de la carrière d'El Khroub	17
2.1.1	Historique et organisation de l'Entreprise Nationale des Granulats (ENG).....	17
2.1.2	Présentation de la carrière géante d'El Khroub	18
2.2	Cadre géographique et géologique de la zone d'étude	19
2.2.1	Situation géographique générale	19
2.3	État actuel des travaux miniers à la carrière d'El Khroub	20
2.3.1	Travaux d'ouverture	20
2.3.2	Méthode d'exploitation	20
2.3.3	Travaux de forage et de minage	21
2.3.4	Sélection et valorisation des matériaux	22
2.4	Processus de Production des Granulats dans la Carrière ENG El Khroub	22
2.4.1	Cadre général de la production des granulats	22
2.4.2	Traitement primaire du calcaire.....	22
2.4.2.1	Premier crible – Séparation des gros blocs (>140 mm)	22
2.4.2.2	Deuxième crible – Séparation des fines (<35 mm)	23
2.4.2.3	Fraction intermédiaire (entre 35 mm et 140 mm).....	23
2.4.2.4	Stockage final (Stock pile)	23
2.4.3	Traitement secondaire du calcaire	24
2.4.3.1	Réception de la matière première	24
2.4.3.2	Criblage primaire	24
2.4.3.3	Concassage secondaire	25
2.4.3.4	Formation du mélange 0/80 mm.....	25
2.4.3.5	Criblage final	25
2.4.3.6	Criblage supplémentaire des fines.....	25
2.4.3.7	Stockage et chargement	26
2.4.4	Classification des produits finis.....	26
2.4.4.1	Classes granulaires des produits	26
2.5	Suivi et contrôle de qualité de granulats	27
2.5.1	Propriétés géométriques des granulats	27
2.5.1.1	Analyse granulométrique par tamisage (EN 933-1)	27
2.5.2	Propriétés physiques des granulats	32
2.5.2.1	Essai au bleu de méthylène : qualification des fines (EN 933-9) :	32
2.5.3	Analyses chimiques sur granulats.	34
2.5.3.1	Essai des chlorures solubles dans l'eau – Méthode de Volhard	34
2.6	Processus de Production du Carbonate de Calcium par Voie Sèche – Procédé de Broyage (GCC).....	37
2.6.1	Introduction de la matière première	37
2.6.1.1	Réception et préparation initiale.....	37
2.6.1.2	Extraction et criblage granulométrique	37
2.6.1.3	Broyage primaire et transport	38
2.6.1.4	Importance pour l'étape secondaire.....	38
2.6.2	Alimentation de la Station Secondaire de Traitement du Carbonate de Calcium	38
2.6.3	Processus d'Alimentation et de Traitement du Carbonate de Calcium	40
2.6.3.1	Alimentation et Prétraitement.....	40

2.6.3.2	Séparation Granulométrique.....	41
2.6.3.3	Atelier de Broyage Ultra-Fin.....	42
2.6.4	Conditionnement	44
2.6.5	Caractéristiques principales.....	44
2.6.5.1	La blancheur	45
2.6.5.2	Coupure et d50	45
2.6.6	Contraintes de la maîtrise de production dans l'usine de carbonate de calcium	45
2.6.7	Le contrôle de la qualité produit.....	45
2.7	Analyses de Laboratoire	46
2.7.1	Granulométrie du Carbonate de Calcium (Coupure et d50).....	46
2.7.1.1	Définition de granularité.....	46
2.7.1.2	La granulométrie:	46
2.7.1.3	L'indice de réfraction	47
2.7.1.4	Mode opératoire.....	49
2.7.1.5	Critères d'acceptation	49
	1. Produits ultra-fins	49
	2. Produits standards.....	50
2.7.2	Interprétation du graphe.....	52
2.7.2.1	Lecture	52
2.7.2.2	Observation :	52
2.7.3	Conclusion technique	53
2.7.4	Couleur (Blancheur)	53
2.7.4.1	Introduction	53
2.7.4.2	Systèmes Colorimétriques	53
a.	Système XYZ (CIE 1931)	54
b.	Système Yxy.....	54
c.	Système CIE Lab* (1976)	54
d.	Système LCH°	55
e.	Système Hunter Lab	55
2.7.5	L'Espace Couleur CIE Lab*	56
	Exemple de Rapport – Produit UF15 :	57

CHAPITRE 03 Dimensionnement

Introduction : Évaluation technico-énergétique des équipements de production..... 58

3.1 Analyse des dispositifs fondamentaux 58

3.1.1 Le broyeur à marteaux..... 58

3.1.2 Le sécheur rotatif à brûleur..... 58

3.1.3 Séparateur à rotor dynamique..... 58

3.2 Calculs 59

3.2.1 Le broyeur

3.2.1.1 Application sur les lois énergétiques de la fragmentation..... 60

3.2.1.2 Force centrifuge exercée par les marteaux F [34]:

3.2.2 Sécheur rotatif à brûleur (dit "Bature")

3.2.3 Séparateur à rotor dynamique (classification à sec)

3.2.3.1 Calcul d'un séparateur à rotor dynamique

Conclusion générale..... 68

Bibliographie.....

Résumé

Au croisement entre géologie, chimie industrielle et ingénierie des matériaux, ce mémoire explore l'univers du carbonate de calcium (CaCO_3), un minéral à la fois banal par son abondance et stratégique par ses usages. De la roche brute extraite des carrières aux poudres ultrafines utilisées dans les peintures, plastiques ou formulations pharmaceutiques, ce composé traverse l'industrie moderne en tant que charge, agent rhéologique, régulateur de pH ou stabilisant optique.

Ce travail s'appuie sur une immersion technique au sein de l'Entreprise Nationale des Granulats (ENG), unité d'El Khroub, pour documenter l'ensemble du cycle industriel du CaCO_3 : extraction, concassage, broyage, classification, et contrôle qualité. L'analyse s'étend à la caractérisation granulométrique par diffraction laser, à la blancheur colorimétrique, ainsi qu'aux impuretés critiques telles que les chlorures et les matières organiques.

La contribution majeure de ce mémoire réside dans l'intégration d'une approche numérique et analytique : des modèles de calculs de dimensionnement, des algorithmes de suivi qualité, et une réflexion sur l'automatisation du contrôle permettent de transformer les données de laboratoire en outils de décision industriels. À travers cette démarche, le carbonate de calcium devient non seulement un objet d'étude, mais un vecteur d'innovation pour une production minérale plus performante, durable et maîtrisée.

Les Mots Clés : Carbonate de calcium/granulats/méthodes d'analyse mpd/ Broyeurs /tamiseurs

خلاصة

في تقاطع الجيولوجيا والكيمياء الصناعية وهندسة المواد، تستكشف هذه الأطروحة عالم كربونات الكالسيوم (CaCO_3)، وهو معدن شائع الوفرة واستراتيجي في استخداماته. من الصخور الخام المستخرجة من المحاجر إلى المساحيق فائقة الدقة المستخدمة في الدهانات أو البلاستيك أو المستحضرات الصيدلانية، يعبر هذا المركب الصناعة الحديثة كحشو أو عامل ريولوجي أو منظم لدرجة الحموضة أو مثبت بصري.

يعتمد هذا العمل على الانغماس التقني داخل الشركة الوطنية للحبيبات (ENG)، وحدة الخروب، لتوثيق الدورة الصناعية الكاملة لـ CaCO_3 الاستخراج، والسحق، والطحن، والتصنيف، ومراقبة الجودة. ويمتد التحليل إلى تحديد حجم الجسيمات عن طريق حيود الليزر، والبياض اللوني، وكذلك الشوائب الحرجة مثل الكلوريدات والمواد العضوية. تتمثل المساهمة الرئيسية لهذه الأطروحة في دمج النهج العددي والتحليلي: نماذج حساب الحجم، وخوارزميات مراقبة الجودة، والتفكير في أتمتة التحكم تجعل من الممكن تحويل بيانات المختبر إلى أدوات صنع القرار الصناعي. ومن خلال هذا النهج، لا يصبح كربونات الكالسيوم مجرد موضوع للدراسة فحسب، بل يصبح أيضًا ناقلاً للابتكار من أجل إنتاج معدني أكثر كفاءة واستدامة وتحكمًا.

الكلمات المفتاحية: كربونات الكالسيوم/الركام/طرق تحليل MPD/المطاحن/الغربالات

At the intersection of geology, industrial chemistry, and materials engineering, this thesis explores the world of calcium carbonate (CaCO_3), a mineral both commonplace in its abundance and strategic in its uses. From raw rock extracted from quarries to ultrafine powders used in paints, plastics, and pharmaceutical formulations, this compound permeates modern industry as a filler, rheological agent, pH regulator, and optical stabilizer.

This work draws on a technical immersion within the National Aggregate Company (ENG), El Khroub unit, to document the entire industrial cycle of CaCO_3 : extraction, crushing, grinding, classification, and quality control. The analysis extends to particle size characterization by laser diffraction, colorimetric whiteness, as well as critical impurities such as chlorides and organic matter. The major contribution of this thesis lies in the integration of a numerical and analytical approach: sizing calculation models, quality monitoring algorithms, and a reflection on control automation allow the transformation of laboratory data into industrial decision-making tools. Through this approach, calcium carbonate becomes not only an object of study, but a vector of innovation for more efficient, sustainable and controlled mineral production.

Keywords: Calcium carbonate/aggregates/MPD analysis methods/mills/screen