

**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

<b>1.1</b>	<b>Structure et propriétés chimiques.....</b>	<b>3</b>
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
<b>1.2</b>	<b>Origine et sources naturelles .....</b>	<b>5</b>
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 $\text{CaCO}_3$ .....	7
	1.2.3.2    Coquilles marines : Une source biogénique du $\text{CaCO}_3$ .....	7
1.2.4	Autres sources naturelles de $\text{CaCO}_3$ .....	8
<b>1.3</b>	<b>Procédés de production du carbonate de calcium.....</b>	<b>8</b>
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 $\text{CaCO}_3$ naturel.....	11
	1.3.2.4    Production du carbonate de calcium broyé GCC .....	11
<b>1.4</b>	<b>Application et marché de carbonate de calcium.....</b>	<b>12</b>
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

<b>2.1</b>	<b>Présentation générale de la carrière d'El Khroub .....</b>	<b>17</b>
<b>2.1.1</b>	Historique et organisation de l'Entreprise Nationale des Granulats (ENG).....	17
2.1.2	Présentation de la carrière géante d'El Khroub .....	18
<b>2.2</b>	<b>Cadre géographique et géologique de la zone d'étude .....</b>	<b>19</b>
2.2.1	Situation géographique générale .....	19
<b>2.3</b>	<b>État actuel des travaux miniers à la carrière d'El Khroub .....</b>	<b>20</b>
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
<b>2.4</b>	<b>Processus de Production des Granulats dans la Carrière ENG El Khroub</b>	<b>22</b>
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
<b>2.5</b>	<b>Suivi et contrôle de qualité de granulats .....</b>	<b>27</b>
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
<b>2.6</b>	<b>Processus de Production du Carbonate de Calcium par Voie Sèche –</b>	
<b>Procédé de Broyage (GCC).....</b>	<b>37</b>	
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
<b>2.7 Analyses de Laboratoire .....</b>	<b>46</b>
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

<b>3.1 Analyse des dispositifs fondamentaux .....</b>	<b>58</b>
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 .....

3.2.1 Le broyeur .....	59
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 ]: .....	61
3.2.2 Sécheur rotatif à brûleur (dit "Bature") .....	62
3.2.3 Séparateur à rotor dynamique (classification à sec) .....	65
3.2.3.1 Calcul d'un séparateur à rotor dynamique .....	65

### Conclusion générale..... 68

### Bibliographie.....

## Résumé

Au croisement entre géologie, chimie industrielle et ingénierie des matériaux, ce mémoire explore l'univers du carbonate de calcium ( $\text{CaCO}_3$ ), 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  $\text{CaCO}_3$  : 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

## Résumé

Au croisement entre géologie, chimie industrielle et ingénierie des matériaux, ce mémoire explore l'univers du carbonate de calcium ( $\text{CaCO}_3$ ), 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  $\text{CaCO}_3$  : 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 والكيمايا الصناعية وهندسة المواد، تستكشف هذه الأطروحة عالم كربونات الكالسيوم ( $\text{CaCO}_3$ )، 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 ريلولوجي أو منظم لدرجة الحموضة أو مثبت بصري.

يعتمد هذا العمل على الانغماس التقني داخل الشركة الوطنية للحجبيات (ENG)، وحدة الخروب، لتوثيق الدورة الصناعية الكاملة لـ  $\text{CaCO}_3$  : الاستخراج، والسحق، والطحن، والتصنيف، ومراقبة الجودة. ويمتد التحليل إلى تحديد حجم الجسيمات عن طريق حبيبات 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 وتحكماً.

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