

République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



جامعة بجاية  
Tasdawit n Bgayet  
Université de Béjaïa

Université Abderrahmane Mira de Bejaia  
Faculté de Technologie  
Département des Mines et Géologie

# Mémoire de Fin d'Etude

Mémoire de Master  
Présenté par :  
Mlle Ramdani Nicette

En vue de l'obtention du Diplôme de Master en Mine et Géologie  
Option : Valorisation des ressources minérale

Thème

Caractérisation physico-chimique de gypse  
de la région de Boudjellil Bejaia

Devant le jury composé de :

M<sup>r</sup> S. Bouabdallah

Président

M<sup>me</sup> K. Kicher

Encadreur

M<sup>me</sup> T. Tahri

Examinatrice

Année Universitaire : 2020/2021

# *Remerciements*

*Au terme de ce travail, Je tiens à remercier Allah le tout-Puissant qui nous a donné tout le courage, la sagesse et la patience pour terminer ce travail.*

*Tout d'abord, nous voudrions remercier mon promoteur Mm Kicher Kahina pour son aide, sa disponibilité et ses bons conseils. Soyez assuré de ma profonde et respectueuse gratitude.*

*Je remercie sincèrement Mlle Tahri Turkia d'avoir bien voulu examiner notre travail et être parmi le jury de soutenance.*

*Egalement, je remercie Mr Bouabedallah Sofiane, d'avoir accepté de présider le jury de soutenance de mémoire de master.*

*Mes vifs remerciements pour l'ensemble des enseignants du département génie*

*des mines qui ont contribué à notre  
formation d'ingénieur.*

*Que tous ceux que nous n'avant pas  
nommé, et qui de prêt ou de loin ont  
contribué à l'élaboration de ce travail,  
trouvent ici nos sentiments de profonde  
gratitude et de reconnaissance infinie.*

# Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à tous ceux qui me  
sont chers,

Et particulièrement ma très chère mère et mon  
très cher père

Qui m'ont encouragé et soutenu en toutes  
circonstance.

A mon mari Skander que j'aime beaucoup.

A mes sœurs et mon frère Mina, Amel,  
Hanane Et Yacine qui ont

Toujours eu confiance en moi.

Mes amis Hania, Assia, Mitchi, Dalia que  
J'aime trop

A toute ma petite famille.

# Tables des matières

Liste des symboles et abréviations

Liste des figures

Liste des tableaux

**Introduction générale .....1**

## **Chapitre I**

### **Généralité sur le gypse**

I.1 Gypse.....	3
I.1.1 Définition.....	3
I.1.1.1 Le gypse naturel.....	3
I.1.1.2 Gypse de synthèse.....	4
I.2 L'anhydrite.....	6
I.2.1 L'anhydrite III ou L'anhydrite soluble.....	6
I.2.2 L'anhydrite II, dite insoluble.....	7
I.2.3 L'anhydrite I.....	7
I.3 Propriétés générales du gypse et de l'anhydrite.....	7
I.4 Caractéristique de gypse.....	8
I.4.1 Caractéristique minéralogique.....	8
I.4.2 Caractéristique chimique.....	10
I.4.3 Caractéristique optiques.....	11
I.5 Classification des cristaux de gypse.....	11
I.6 Formation et gisement de gypse.....	13
I.6.1 Présentation des solutions salines.....	14
I.6.2 Action chimique sur les pierres calcaires.....	15

I.6.3 Désagrégation et accumulation mécanique.....	15
I.7 Les modes de traitement de gypse.....	15
I.8 Domaines d'utilisation du gypse.....	16

## **Chapitre II**

### **Présentation de la plâtière de Boudjellil**

Introduction.....	17
II.1 Historique.....	17
II.2 Cadre géographique et géologique.....	19
II.2.1 Situation géographique.....	19
II.2.2 Cadre géologique.....	20
II.2.2.1 Géologie régionale.....	20
II.2.2.2 Géologie du gisement.....	20
II.2.2.3 Stratigraphie.....	20
II.2.2.4 Tectoniques.....	20
II.2.2.5 Condition hydrologique.....	21
II.2.2.6 Condition hydrogéologiques.....	21
II.3 La méthode d'exploitation.....	21
II.4 Description des installations.....	22
II.4.1 Moyens commun.....	22
II.4.2 Organisation de l'activité d'exploitation.....	24
II.4.3 Subdivision du processus de transformation du gypse.....	24
II.4.3.1 Extraction.....	24
II.4.3.2 Concassage.....	24
II.4.3.3 Traitement du gypse.....	24

II.4.3.4Expédition.....	25
Conclusion.....	27

## **Chapitre III**

### **Méthode et matériel**

Introduction.....	28
III.1 Echantillonnage.....	28
III.1.1 Préparation des échantillons.....	28
III.2 Analyse chimique.....	29
III.2.1 Analyse par la fluorescence X (XRF).....	29
III.2.2 Analyse par spectrométrie d'absorption atomique (SAA).....	32
III.3 Analyse physique.....	33
III.3.1 La porosité.....	33
III.3.2 La densité.....	34
III.3.3 L'humidité.....	35
III.4 Analyse minéralogique.....	36
III.4.1 La spectrophotométrie infrarou.....	36
III.5 Calcination de gypse.....	38
III.6Analyse granulométrique.....	39
III.6.1 Tamisage.....	39
Conclusion.....	40

## Chapitre IV

### Résultat et discussions

Introduction .....	41
IV.1 Les résultats d'analyse chimique.....	41
IV.1.1 Les résultats d'analyses par fluorescence x.....	41
IV.1.2 Les résultats d'analyse par spectrométrie d'absorption atomique.....	42
IV.2 Les résultats d'analyse physique.....	42
IV.3 Analyse granulométrique.....	43
IV.4 Résultats d'analyse minéralogique .....	44
IV.4.1 Résultats obtenu par spectroscopie infrarouge.....	44
IV.4.2 Résultats obtenu par diffraction de rayon X .....	45
IV.5 Traitement de minerai par calcination.....	46
IV.5.1 calcination de gypse de boudjellil .....	46
IV.5.1 les résultats d'analyses par fluorescence X .....	48
IV.5.3 résultats d'analyse par d'absorbation atomique .....	50
Conclusion .....	53
<b>Conclusion générale.....</b>	<b>54</b>
<b>Référence bibliographie</b>	

## Liste des abréviations

**UTM** : transverse universelle de Mercator

**BGRM** : Bureau de recherches géologiques de minières

**Ha** : Hectare

**APMC** : Algérienne de production de matériaux de construction

**SPA** : Société Par Action

**KVA** : kilovoltampère

**g /cm<sup>3</sup>** : gramme/ centimètre cube

**t/h** : tonne/heure

**t** : Tonne

**Tr /min** : tours/minute

**kw/h** : kilowattheure

**%** : pourcentage

**$\alpha$**  : Semi-hydrates

**$\beta$**  : Semi-hydrates

**°C** : Degré Celsius

**Pb** : Plomb

**P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>** : Oxyde de phosphore, anhydride phosphorique

**s** : Seconde

**SiO<sub>2</sub>** : Dioxyde de silicium

**SO<sub>2</sub>** : Dioxyde de soufre, anhydride sulfureux

**T** : Température

**TiO<sub>2</sub>** : Dioxyde de titane

**TV** : Tout venant

**Zn** : Zinc

**Kg** : Kilogramme

**KOH** : Hydroxyde de potassium

**K<sub>2</sub>O** : Oxyde de potassium

**L** : Litre

**$\Lambda$**  : Conductivité thermique

**$\text{Al}_2\text{O}_3$**  :Oxyde d'aluminium, l'alumine

**$\text{BaCl}_2$**  : Chlorure de baryum

**$\text{CaO}$**  : Oxyde de calcium "chaux vive"

**$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$**  :Gypse

**$\text{CaSO}_4$**  : Anhydrite

**cm** : Centimètre

**mm** :millimètre

**$\text{CO}_2$**  : Dioxyde de carbone, gaz carbonique ou anhydride carbonique

**dyn** : Dyne, 1 dyne=  $10^{-5}$  newton

**E** : Quantité d'eau

**EDTA** : Ethylène Diamine Tétra-Acétique, acide éthylène-diamine tétra-acétique

**Ech** : Echantillon

**g** : Gramme

**h** : Heure

**HCl** : Acide chlorhydrique

**$\text{H}_2\text{SO}_4$**  :Acide sulfurique

**J** : Joule

**J/Kg** : Joule par kilogramme

**K** :Degré Kelvin

# Liste des figures

## CHAPITRE I

<b>Figure I.1</b> : Morphologie cristal de gypse.....	4
<b>Figure I.2</b> : schéma explicatif des différents noms selon le degré d'hydratation du sulfate de calcium [4].....	5
<b>Figure I.3</b> : Différences aspects de cristallisation de gypse.....	5
<b>Figure I.4</b> : schématique de la maille élémentaire du réseau cristallin Monoclinique du gypse .....	8
<b>Figure I.5</b> : Structure cristalline du gypse.....	9
<b>Figure I.6</b> : Variation de la solubilité de gypse en fonction de la température.....	10
<b>Figure I.7</b> : Différentes formes des cristaux de gypse.....	12
<b>Figure I.8</b> : Formation de gypse .....	13

## CHAPITRE II

<b>Figure II.1</b> : l'unité de traitement.....	18
<b>Figure II.2</b> : site d'extraction le gypse.....	18
<b>Figure II.3</b> : Localisation de l'unité de plâtre TALA-EL-BIR (Google Earth).....	19
<b>Figure II.5</b> : schéma de production du produit fini (plâtre) Boudjellil.....	24

## CHAPITRE III

<b>Figure III.1</b> : classement des gradins de gisement de boudjellil.....	26
<b>Figure III.2</b> : Schéma de préparation mécanique des échantillons du gypse pour analyse.....	27
<b>Figure III.3</b> : La presse de la pastille .....	29
<b>Figure III.4</b> : La pastille préparée avec le gypse .....	29
<b>Figure III.5</b> : spectromètre FX.....	29

<b>Figure III.6</b> : spectromètre d'absorption atomique.....	30
<b>Figure III.7</b> : Le volumétre.....	32
<b>Figure III.8</b> : Les étapes de préparation les lames minces.....	36
<b>Figure III.9</b> : Principe de la diffraction des rayons X.....	37
<b>Figure III.10</b> : Appareillage de diffraction des rayons X.....	38
<b>Figure III.11</b> : Tamiseuse en électro-vibrante .....	39

## CHAPITRE IV

<b>Figure IV.1</b> : Courbe granulométrique des passants et des refus en fonction du diamètre moyen...44	
<b>Figure IV.2</b> : Spectre d'analyse par IR du gypse.....	45
<b>Figure IV.3</b> : Diffractogramme l'échantillon de tout venant.....	46
<b>Figure IV .4</b> : Représentation de perte au poids en fonction de la température.....	47
<b>Figure IV.5</b> : Evaluation des teneurs en CaO en fonction de la température.....	48
<b>Figure IV.6</b> : Evaluation des teneurs de SO <sub>3</sub> en fonction de la température.....	49
<b>Figure IV.7</b> : Diffractogramme de l'échantillon du gypse calciné à 150°C.....	51
<b>Figure IV.8</b> : Diffractogramme de l'échantillon du gypse calciné à 200°C.....	52
<b>Figure IV.9</b> : Diffractogramme de l'échantillon du gypse calciné à 500°C.....	53
<b>Figure IV.10</b> : Diffractogramme de l'échantillon du gypse calciné à 800°C.....	54

## **Liste des tableaux**

### **Chapitre I**

<b>Tableau I.1</b> : Propriétés du gypse et de l'anhydrite .....	7
--	---

### **Chapitre II**

<b>Tableau II.1</b> : Coordonnées du périmètre d'exploitation en UTM.....	19
---	----

<b>Tableau II.2</b> : matériel d'exploitation de gypse.....	22
---	----

### **Chapitre IV**

<b>Tableau IV.1</b> : Composition chimique (%massique) de premier gradin de gypse de boudjellil .....	41
---	----

<b>Tableau IV.2</b> : Analyse spectrale des échantillons de gypse (TV).....	42
---	----

<b>Tableau IV.3</b> : Propriétés physique de gypse.....	42
---	----

<b>Tableau IV.4</b> : Les résultats de tamisage de gypse.....	43
---	----

<b>Tableau IV.5</b> : Calcination du gypse à différentes température.....	44
---	----

<b>Tableau IV.6</b> : Composition chimique (%massique) de gypse de boudjellil.....	48
--	----

<b>Tableau IV.7</b> : Analyse des échantillons de gypse calciné par la SAA.....	50
---	----

## Introduction générale

---

Dérivé du mot latin « gypsum » et du mot grec « gypsos », Le gypse est une espèce minérale composée de sulfate hydraté de calcium de formule  $\text{CaSO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$ . Sa densité est de 2,3. On le trouve également sous sa forme déshydratée, l'anhydrite de formule  $\text{CaSO}_4$ . Il est de la classe chimique des sulfates, de la sous classe des hydratés sans anions étrangers, et de la famille des évaporites. Le gypse est usuellement appelé « pierre à plâtre ».

Le gypse constitue la forme de sulfate de calcium. On le rencontre soit en masse granulaire, soit en cristaux limpides et tabulaires minces à épais, parfois allongés, ou bien maclés en fer de lance. Il peut aussi se présenter sous forme d'agrégats fibreux de cristaux allongés et enchevêtrés (Spath satiné), en masse grenue grossière (gypse Saccharoïde), ou très fin (Albâtre). Le gypse existe rarement à l'état pur, il peut présenter des inclusions de quartz, de sable et d'argile, ou bien des inclusions d'oxyde de fer.[41]

Il existe plusieurs domaines d'application où le gypse pourrait être utilisé de tel que l'alimentation animale et humaine, en agriculture, en médecine et pharmacologie et en dentisterie.

L'unité de plâtre d'Ain-el-Bir de BOUDJELLIL fait partie des unités de fabrication de matériaux de construction d'APMC divindus anciennement appelée SOMACOB. Cette dernière est une entreprise publique issue de la restructuration des entreprises locales, aussi une société par action (SPA). L'entrée en production au niveau du gisement remonte à l'année 1983. Les terrains abritant les institutions de traitement ainsi que le périmètre d'exploitation de la carrière sont une propriété de la société, acquise auprès de la direction des domaines de la wilaya de Bejaïa [23].

Nous allons essayer au cours de cette étude d'analyser le gypse de Boudjellil pour les propriétés physico-chimiques, nous allons déterminer les principaux éléments composant ce gypse et puis les caractériser et les valoriser.

Dans notre étude porte sur la générale de gypse, et l'unité de Boudjellil. Et analyser la matière première utilisée à la plâtrière de Boudjellil.

Le manuscrite est divisé en Quatre chapitres :

On commence par une introduction générale qui consiste sur le travail qu'on va réaliser.

## Introduction générale

---

- Le premier chapitre est consacré à des généralités sur le gypse et cette caractérisation.
- Le deuxième chapitre est une présentation de la plâtrière de Boudjellil.
- Le troisième chapitre est consacré à la description de l'appareillage et les méthodes que nous avons utilisé, pour identifier, analyser et corderie la matière première (gypse de Boudjellil).
- Le quatrième chapitre est consacré à l'interprétation des résultats expérimentaux décrits dans le chapitre précédent. Ces résultats nous permettent d'identifier, les principaux éléments composant ce gypse et ses impuretés.

On termine notre manuscrit par une conclusion générale cette dernière nous permettre de récapituler les résultats obtenus.

# **Chapitre I**

## **Généralité sur le gypse**

## **I.1 Le gypse**

### **I.1.1 Définition**

Le gypse ou « pierre à plâtre » appelé aussi d'hydrate est un sulfate de calcium hydraté appartenant à la famille des évaporites. C'est une roche blanche, d'aspect mat, finement cristallin, tendre (rayable à l'ongle) il désigne l'espace minérale naturel de formule  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  cette même formule s'applique en outre à la phase artificielle que constitue le gypse cuit et réhydrate, obtenu à partir des produits de cuisson mis en présence d'eau, ainsi qu'aux gypses synthétiques. Ces derniers, appelés également gypses chimiques ou résiduaux, sont des sous-produits résultant de la fabrication de l'acide phosphorique (phosphogypse), de l'acide fluorhydrique (fluorogypse) de l'acide borique (borogypses) ou d'autres produits (organogypses, titanogypses, sulfogypses, sodogypses, gypse salin, etc.) [1].

Le gypse constitue la matière première du plâtre qu'on le nomme le : « di-hydrate de sulfate de calcium ». Déshydraté par une cuisson au four et se transforme en plâtre ou hémihydrate de sulfate de calcium. Les caractéristiques physiques qui sont la température, la pression et etc... [2], et la structure de l'hémihydrate obtenu en  $\alpha$  ou  $\beta$  vont dépendre des conditions de cuisson.

Le gypse est constitué essentiellement de sulfate de calcium à deux molécules d'eau de formules ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) ce qui correspond à environ 79% de sulfate de calcium associé à 20.93% d'eau. Le gypse commercial cependant, atteint rarement cette composition théorique car non seulement il contient fréquemment des impuretés de diverses sortes telles que Calcaire, Argile, Sables, Silice, Magnésie, etc..., mais sa teneur en eau peut également varier.

### **Les types de gypse :**

Il existe deux grandes catégories de gypse qui sont :

- Les Gypses naturels ;
- Les gypses synthétiques ;

#### **I.1.1.1 Le gypse naturel**

Le gypse appartient à la famille des évaporites qui sont des roches sédimentaires les plus solubles dans l'eau. On considère généralement que le gypse résulte de l'évaporation de l'eau des lagunes marines sursaturées. Les gisements les plus importants datent de l'ère

secondaire ou tertiaire. Dans la nature, le gypse est présent en quantités relativement importantes.

Le gypse se cristallise dans le système monoclinique. A l'échelle moléculaire, il présente une structure feuilletée dans laquelle alternent une couche d'eau et deux couches de sulfate de calcium. [2]

Les principales variétés que l'on rencontre dans la nature sont :

**a) Sous forme macro Cristallisée :** Le gypse lamellaire, le fer de lance et le gypse lenticulaire.

**b) Sous forme micro cristallisée :** L'albâtre, le gypse fibreux, le gypse saccharoïde et de gypse éolien.

Le gypse exploité par l'industrie plâtrée est une roche cristallisée à grains généralement fin (gypse saccharoïde). Il est rarement pur à cause des impuretés qui sont argiles, calcaire, silice, dolomite, anhydrite, etc...

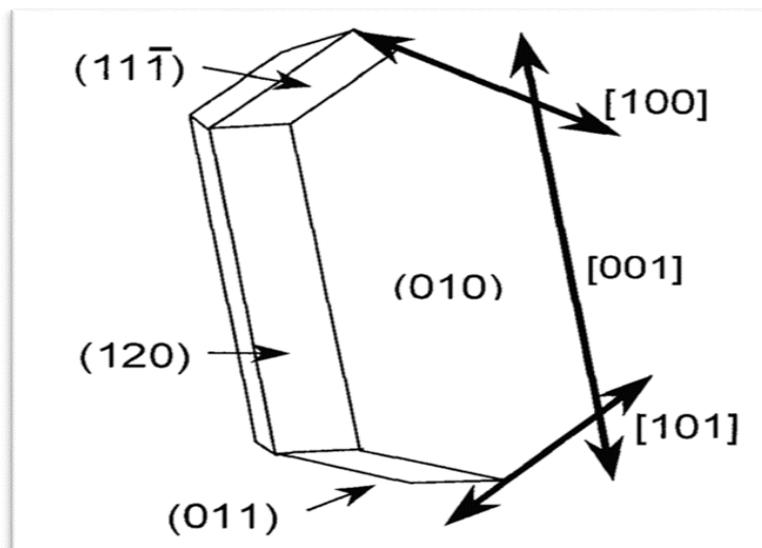


Figure I.1 : Morphologie cristal de gypse.

### I.1.1.2 Gypse de synthèse

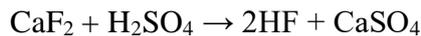
Le gypse de synthèse est le produit essentiel d'une réaction chimique industrielle. Sa production est limitée à cause des impuretés ainsi que pour des raisons techniques et économiques. En effet, pour l'élimination de ces derniers produits au cours de la fabrication de ce type de gypse nécessite des traitements chimiques coûteux. [3]

Les principales sources de gypse chimique sont :

**a) La fabrication de l'acide phosphorique** (phosphoogyque) : il est fabriqué par attaque du phosphate naturel. La formation du gypse se fait selon réaction chimique suivante :

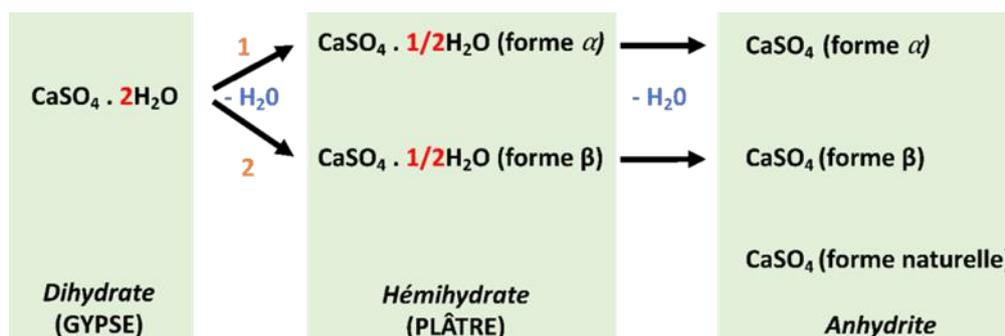


**b) La fabrication d'autres acides minéraux** : (acide borique, brogypse, acide fluorhydrique, fluor Gypse) ou organique, organo- Gypse (acide citrique, tartriques, etc...)

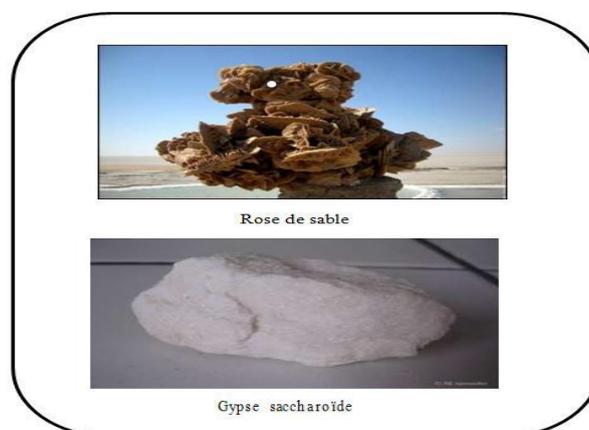


**c) La fabrication de l'oxyde de titane (TiO<sub>2</sub>)** : Conduit également à une production de Gypse appelé titan gypse.

**d) La désulfuration des gaz et fumées** : la fabrication du gypse se fait en premier lieu par l'oxydation de l'anhydrite sulfureux SO<sub>2</sub> (anhydrite sulfurique) suivie de sa réaction avec de la chaux.



**Figure I.2 :** schéma explicatif des différents types de sulfates de calcium selon le degré d'hydratation du sulfate de calcium [4]



**Figure I.3 :** Différences aspects de cristallisation de gypse

## I.2 L'anhydrite

L'anhydrite naturelle de formule chimique  $\text{CaSO}_4$  se rencontre dans les formations de gypseuses et salifères, ou dans certains gites métallifères. On considère qu'elle s'est formée, comme le gypse, par évaporation de l'eau de mer, mais elle peut également résulter d'une déshydratation lente du gypse sous l'effet d'une pression importante lors de plissement géologiques [5].

### I.2.1 L'anhydrite III ou L'anhydrite soluble

L'anhydrite III constitue l'étape intermédiaire entre les semi-hydrates et l'anhydrite II. Sa formule,  $\text{CaSO}_4$ , et  $\text{H}_2\text{O}$ , indique qu'elle contient une proportion faible et variable d'eau liée ( $0,06 < \text{et} < 0,11$ ).

Cet anhydrite est très avide à l'eau ce qui justifie sa grande importance dans le plâtre, car selon l'effet désiré une forte proportion en anhydrite III catalyse l'hydratation de ce dernier et inversement [6]

### I.2.2 L'anhydrite II, dite insoluble

C'est une phase définie du point de vue cristallographie (système orthorhombique) et thermodynamique, il est obtenu industriellement par cuisson du gypse à des températures allant de  $300^\circ\text{C}$  à  $700^\circ\text{C}$  et est nommé surcuit.

Selon la température de cuisson le produit obtenu sera plus ou moins réactif avec l'eau, la cinétique d'hydratation étant très lente pour un surcuit obtenu au-delà de  $700^\circ\text{C}$ , cette forme existe dans la nature sous la même forme cristalline c'est l'anhydrite naturelle et celle obtenue à partir de la cuisson réagissent identiquement au gâchage seule diffère leur vitesse d'hydratation en raison de leur état de surface et de leur porosité [2].

### I.2.3 L'anhydrite I

L'anhydrite I s'obtient par cuisson aux de  $1200^\circ\text{C}$ , cette variété existe réellement comme phase définie mais rarement pure, elle est toujours contaminées par de l'oxyde de calcium, conséquence d'un début de dissociation thermique de  $\text{CaSO}_4$ , en effet, l'anhydrite se décompose à température très élevées selon la réaction suivante :



Cette réaction est très sensible en présence de matières étrangères (silice, alumine, oxydes de fer, argiles, carbone, etc...), lesquelles abaissent la température de dissociation, l'anhydrite I

n'a jamais pu être observée à température ambiante car au cours du refroidissement il se transforme en anhydrite II [6].

### I.3 Propriétés générales du gypse et de l'anhydrite

Les différentes propriétés du gypse et de l'anhydrite sont représentées dans le tableau suivant :

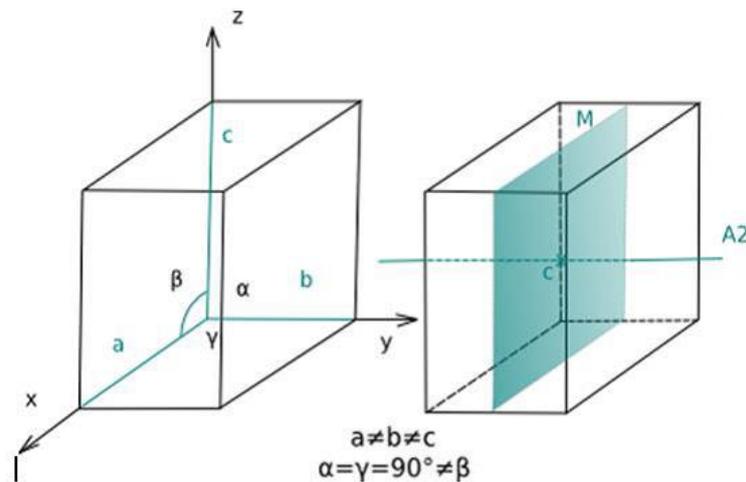
**Tableau I.1 : Propriétés du gypse et de l'anhydrite [2].**

Propriétés	gypse	Anhydrite
Formule brute	CaSO <sub>4</sub> .2H <sub>2</sub> O	CaSO <sub>4</sub>
Masse moléculaire	172,17 g/mol	136 g/mol
Couleur	Incolore, blanc, jaunâtre, de gris à noir, de marron à brun, de rose à rouge foncé	De blanc à gris un peu translucide
Système cristallin	Monoclinique	monoclinique
Clivage	Parfait à (010), net à (100) et (011)	Parfait à(010) et (100), bon à (001)
Fracture	Conchoïdale, parfois fibreuse	Conchoïdale à irrégulière
Eclat	Vitreux à soyeux nacré	Vitreux à nacré
Indice de référence	1,522	A = 1,569-1,573 β = 1,574 – 1,579 γ = 1,609 – 1,618
Polychroïsme	aucun	Aucun
Solubilité	Ne réagit pas à l'acide	Ne réagit pas à l'acide
Magnétisme	Aucun	Aucun
Radioactivité	Aucun	Aucun

### I.4 Caractéristique de gypse

#### I.4.1 Caractéristique minéralogique

Le gypse cristallise dans le système cristallin monoclinique [A2/a] la présentation schématique de la maille élémentaire du système monoclinique est en figure I.4 [7].



**Figure I.4 :** schématique de la maille élémentaire du réseau cristallin Monoclinique du gypse.

[7]

- Les cristaux de gypse présentent un clivage parfait [010] ou les fissures obtenues sont lisses, et les deux autres clivages secondaires (100) et (011), ou les fissures sont fibreuses et en forme de coquille.
- Couleur : incolore, du blanc au gris, parfois vert grisâtre, rougeâtre, jaune, vert, orange, rose, Le ton clair de la couleur ordinaire augmente avec son poids [8].
- Li est très tendre, avec une dureté Mohs de 1,5 à 2, rayé par les ongles.
- Casseur : irréguliers, micacés, écailleux, parfois coquilliers ou fibreux. –
- Habitus : cristaux bien développés, tubulaires ou plats, parfois allongés de plus d'un mètre, lenticulaires, prismatiques, généralement par paires, rosâtres ou roses ; mais les plus communs sont massifs, stratifiés ou fibreux, plus ou moins rugueux et plus ou des amas cristallins moins fins [9].
- Traits : blanc
- Eclat : vitreux à soyeux, nacré à chatoyant, du vitreux à mat pour les variétés Compactes, souvent perlé et nacré sur les faces ou surfaces du clivage, parfois fibreux pour les variétés fibreuses ou simplement terne et terreux.
- La structure du gypse est définie comme étant une structure réticulaire simple constituée par des feuilletés tétraèdres de forme anionique  $\text{SO}_4^{2-}$  (le soufre au centre et les oxygènes aux sommets), étroitement liés entre eux par des cations  $\text{Ca}^{++}$  ? des molécules d'eau qui assurent la liaison et la cohésion entre les feuilles (Figures I.5) [10].
- Densité 2,31 - 2,33 [11].

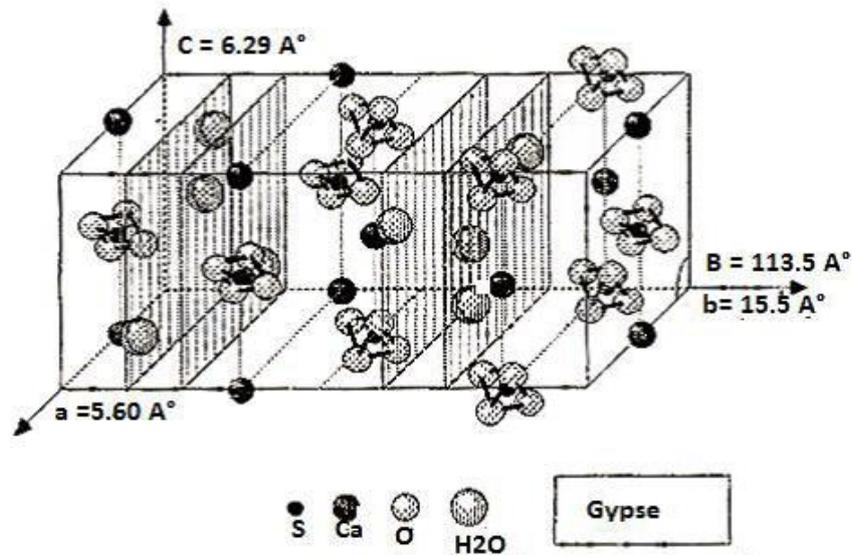


Figure I.5 : Structure cristalline du gypse [8].

#### I.4.2 Caractéristique chimique

Le gypse et l'anhydrite sont des sulfates de calcium de formule chimique, à l'état pur le gypse :  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  [9 ; 11]

- CaO : 32,6%
- $\text{SO}_3$  : 46,5%
- $\text{H}_2\text{O}$  : 20,9%

Anhydrite :  $\text{CaSO}_4$  [11].

- CaO : 41,2%
- $\text{SO}_3$  : 58,8%
- La solubilité s'exprimée en gramme de sulfate de calcium ( $\text{CaSO}_4$ ) dans 1000 g d'eau pure la figure I.6 montre que la solubilité du gypse passe un maximum de 2,1 g/l environ de 38°C pour retomber à 1,69 à 100 °C, la solubilité diminue aux températures supérieures à 107°C par suite de la formation d'hydrate Comportement chimique flexible, mais non élastiques, à ténacité friable, sans réaction [12].
- PH de 7 à 8,5 [13].

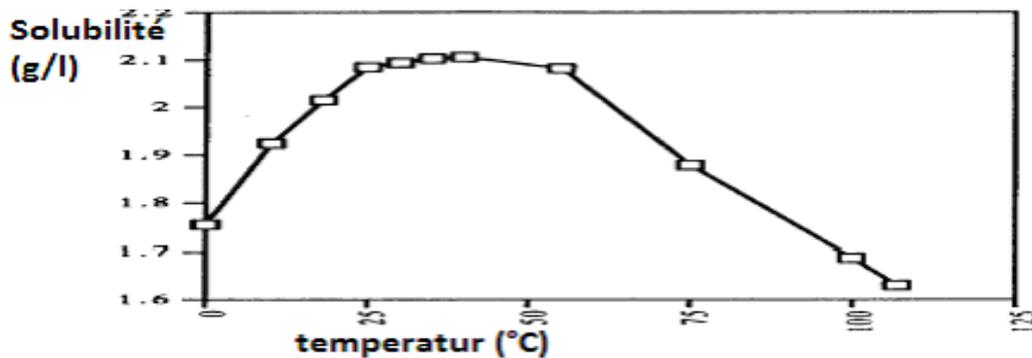


Figure I.6 : Variation de la solubilité de gypse en fonction de la température [11].

#### I.4.3 Caractéristique optiques

- Indice de réfractaire : 1,522
- Pléochroïsme : aucun
- Fluorescences ultraviolettes : jaune, orangée, bleu ouvert sous U.V. long ; phosphorescences blanche verdâtre sous UV. La fluorescence et phosphorescence sont plus marquées après chauffage [10].
- Transparence : transparent à translucide, translucide à opaque (il est opaque pour certaines variétés grenues) [12].

### I.5 Classification des cristaux de gypse

Les cristaux de gypse sont classés d'après leurs dimensions, formes et modes d'arrangement.

D'après la dimension, on dénombre trois catégories : Spar ( $>20\mu\text{m}$ ), Microspar ( $5-20\mu\text{m}$ ) et Micrite ( $<5\mu\text{m}$ ). Selon le type d'arrangement, les cristaux de gypse peuvent avoir un arrangement radial, parallèle ou un arrangement qui se fait au hasard (randon). Selon la forme du cristal, [14] distinguent les formes suivantes (figure I.7)

**1. Forme tabulaire :** Il y a les cristaux tabulaires pseudo-rhombodriques et les cristaux tabulaires pseudo-héxagonaux. Les premiers résultent de l'aplatissement parallèle des faces donnant une forme de diamant. Certains cristaux sont presque carrés. Cette forme se rencontre surtout dans les sols sulfato-acides. Le deuxième type est constitué de six cotés. Les auteurs expliquent que ce type de cristaux surgit au cours du développement des faces prismatiques. Ils ont été reportés au niveau des sols à sols à climat aride d'Espagne. [14]

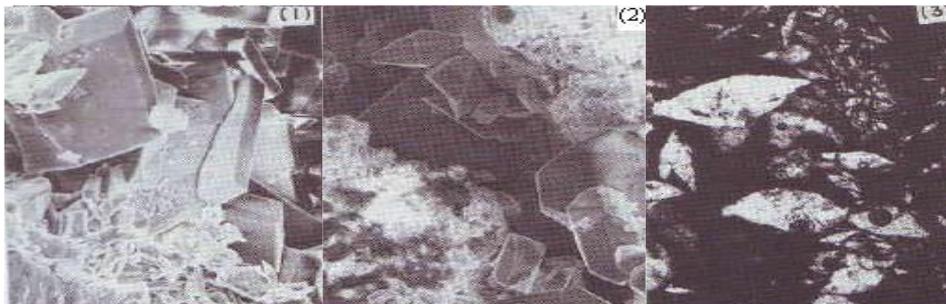
**2. Forme lenticulaire :** Dans le sol, C'est la forme la plus commune. Les cristaux lenticulaires sont sous forme de longs losanges. Les faces sont quelquefois incurvées. Donnant une section ressemblant à une lentille biconvexe. [14]

**3. Forme granulaire :** Dans les sols gypseux, plusieurs espaces sont remplis par des mosaïques de cette forme. Ce type de cristaux peut être biogénique (formé par les racines ou de petits organismes de sol), comme il peut être d'une origine abiotique (origine occasionnelle particulièrement dans un matériau fin). Ces cristaux sont probablement déposés par la solution Sursaturée de gypse et sont façonnés par mutuelle interférence. [14]

**4. Forme prismatique :** On distingue les cristaux prismatiques pseudo-héxagonaux et les cristaux prismatiques pinacoidaux. Les deux sont formés à la suite d'un fort développement cristallin. Le deuxième type est la forme prismatique la plus répandue. Elle possède des sections transversales d'une régularité nettement moindre par rapport au premier type et des transmissions pinacoidales à forme ciselée oblique. [14]

**5. Forme aciculaire :** Ce sont des cristaux pseudo-héxagonaux allongés donnant des terminaisons pointues, presque comme une pyramide régulière. C'est la forme caractéristique des bassins salés. [14]

**6. Forme fibreuse :** Ce sont des cristaux pseudo-héxagonaux courbes ou même ondulés, qui manque de terminaisons pointures. La forme est expliquée par une cristallisation sous une tension résistante. [14]



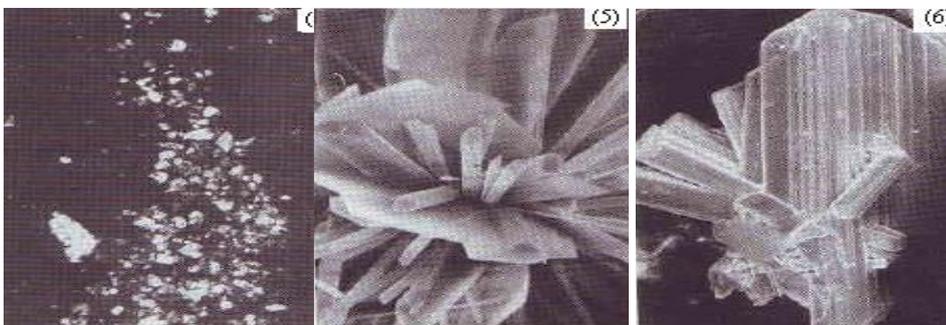
Forme tabulaire

Forme tabulaire

Forme lenticulaire

Pseudo-rhombodrique

Pseudo-héxagonale



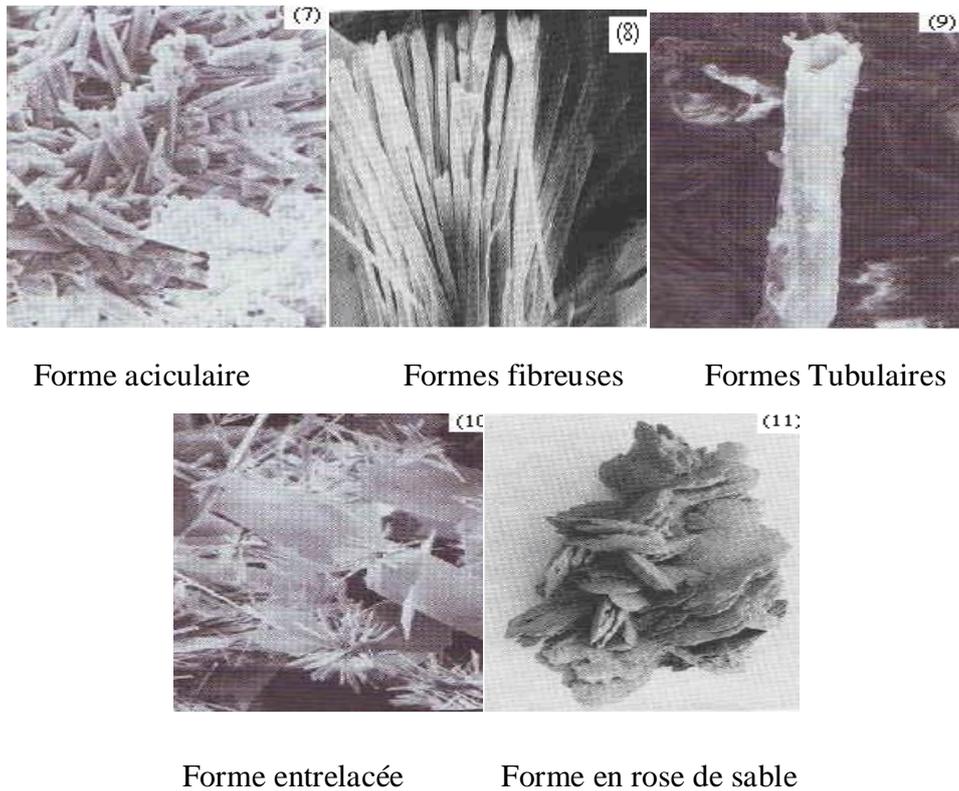
Forme granulaire

Forme prismatique

Forme prismatiques

Pseudo-héxagonale

pinacoidales



**Figure I.7 :** Différentes formes des cristaux de gypse [14]

## I.6 Formation et gisement de gypse

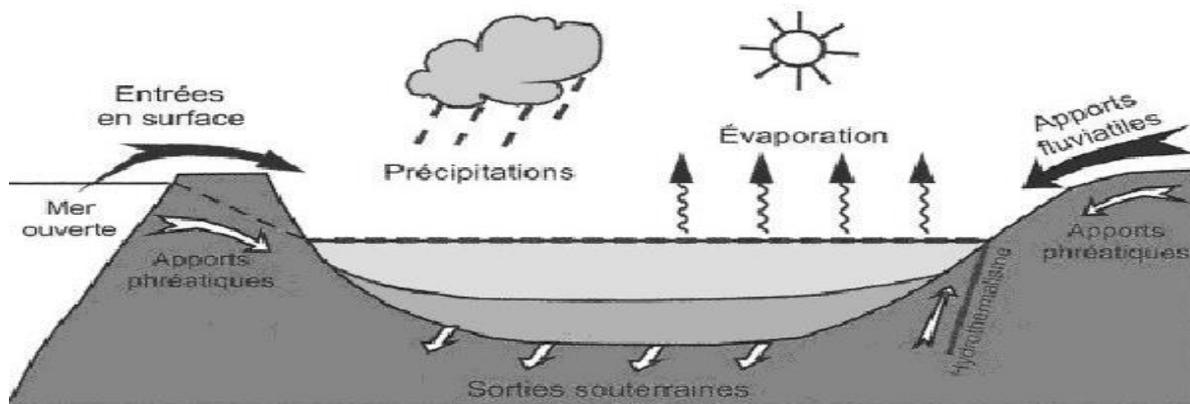
Les principaux gisements de gypse de par le monde sont liés aux dépôts de roches sédimentaires, dites évaporites, dans les mers peu profondes, les lagunes et les lacs salés. L'évaporation de l'eau dans ces milieux engendre une sur salinité et la précipitation des ions présents dans l'eau sous forme de roches solubles dites salines. Selon les conditions, des chlorures ou sels (de sodium ou potassium) ou des sulfates de calcium. Les sulfates déposés cristallisent le plus fréquemment sous forme hydratée (gypse –  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) mais parfois sous forme anhydre (anhydrite –  $\text{CaSO}_4$ ).[13]

Après une période de dépôt chimique très lente, mais qui peut durer parfois plusieurs millions d'années, le gypse va constituer des couches sédimentaires plus ou moins épaisses, contenant souvent des intercalations de niveaux de marnes ou de calcaires caractéristiques des variations des conditions de dépôt ou cours du temps.[13]

Lorsque les couches géologiques n'ont pas subi de déformations tectoniques importantes, comme dans le bassin parisien par exemple, les gisements de gypse se présentent sous forme de couches horizontales peu ou très inclinées. Le gypse, étant soluble,

celui-ci aura été préservé de la dissolution lorsqu'il est recouvert de couches imperméables (argiles et marnes) non décapées par l'érosion. [15]

Lorsque les couches géométriques ont subies une forte déformation tectonique, par exemple dans les Alpes et les Pyrénées, les gisements exploitables sont de géométrie plus complexe et incluent plus ou moins de lentilles de roches « stériles » (schistes, dolomies, etc...).



**Figure I.8 :** Formation de gypse [16]

Il existe trois principaux modes de formation du gypse et de l'anhydrite

### I.7.1 Présentation des solutions salines

Le gypse et l'anhydrite sont parmi les premiers minéraux qui précipitent des solutions salines quand elles s'évaporent progressivement dans des conditions naturelles, ils peuvent se déposer en grande quantité lorsque l'eau de mer ou des lagunes s'évaporent et pour cette raison ils sont souvent associés à des dépôts salins. Au début de l'évaporation de l'eau de mer, le premier sel qui se sépare est le carbonate de calcium, puis si l'évaporation se poursuit, apparaîtra le sulfate de calcium.

Beaucoup de dépôts de gypse sont nés de l'hydratation de l'anhydrite ; certains, cependant, furent, dès l'origine, déposés sous forme de gypse [15]

### I.7.2 Action chimique sur les pierres calcaires

Le second mode de formation du gypse relève de la genèse de l'acide sulfurique et des sulfates dans les roches initiales soit par décomposition de minéraux sulfurés tels que les pyrites ou par introduction directe de composés sulfurés accompagnant l'activité volcanique.

Ils peuvent alors agir sur les sels de chaux en solutions ou sur la pierre à chaux pour donner du sulfate de calcium [15].

### **I.7.3 Désagrégation et accumulation mécanique**

D'après le troisième mode de formation, le sulfate de calcium sableux, formé par la désintégration des dépôts existants de de gypse ou d'anhydrite peut être transporté et concentré par le vent sous forme de dunes [15 ; 16]

## **I.7 Les modes de traitement de gypse**

Les modes de traitement de gypse sont différents selon le type de produit désiré, après le concassage et le criblage, qui permettent d'obtenir un matériau à granulométrie inférieure à 25 mm si besoin une phase de séchage est effectuée par gaz chaud pour faciliter la cuisson. Certains types de gypse nécessitent l'usage des méthodes de flottation ou de lixiviation pour les purifier [17].

Le gypse concassé peut servir de matière première pour l'industrie. Les gypses de pureté élevée se prêtent à un broyage fin, pouvant être inférieur à 12  $\mu\text{m}$ , pour une utilisation comme charge minérale.

Dans les usines de plâtre situées près des carrières, le plâtre est préparé de la façon suivante:[17]

- Cuisson par voie sèche en fours tournant horizontalement ou verticalement ou en fours statiques, à des températures allant de 120 à 450°C, ce qui permet d'obtenir des plâtres d'utilisation courante, dont les phases sont l'émihydrate ( $\beta$ ) et le surcuit.
- Cuisson par voie humide sous pression de vapeur d'eau saturante en autoclave, ou sous pression atmosphérique en solution saline à point d'ébullition supérieur à 100°C, donnant l'émihydrate ( $\alpha$ ), à la base des plâtres spéciaux pour moulage.

Après cuisson, des opérations de refroidissement, de broyage, éventuellement de mélange, puis de stockage en silo sont réalisées permettant d'obtenir différentes catégories de plâtre.

Le conditionnement pour livraison se fait en sacs et le plâtre peut être transporté en vrac par camion ou wagons citerne [18].

## **I.8 Domaines d'utilisation du gypse**

Le gypse est largement utilisé dans de nombreux domaines industriels, dont la fabrication du plâtre représente la plus grosse consommatrice du gypse.

En Algérie, l'utilisation du gypse se répartit en :

75% pour la fabrication du plâtre et 25% dans les ciments

- Cimenteries : le ciment contient de 3 à 5% de gypse qui sert de régulateur de prise, soit une consommation nationale de l'ordre de 39 millions de tonnes/ans.
- Autre utilisation (de consommation faible) : amendement agricole, industrie du papier, des peintures, traitement des eaux, construction dans les régions sèches [17].

Dans le monde ;

La fabrication du plâtre dépend de la teneur en gypse et du degré de sa pureté, dont la qualité est revirée par la teneur en SO<sub>3</sub> qui doit être > 40%, Parmi les impuretés nocives sont.

K<sub>2</sub>O, MgO et Na<sub>2</sub>O .....

L'utilisation du gypse à l'échelle mondiale concerne les domaines suivants :

- Les ciments : utilité dans la fabrication de ciment, le gypse doit répondre aux paramètres chimiques suivants :
  - SO<sub>3</sub> total < 5% pour le ciment de laitier à clinker,
  - SO<sub>3</sub> total < 4% pour les autres ciments [19].
- Chimie et produits pour charge : le gypse doit être pur à plus de 90% pour servir comme charge, il est micronisé jusqu'à 1,4 µm, il doit avoir un indice de blancheur élevé (96-97%), un indice réfractaire de 1,52-1,58 [19].
- Agriculture et engrais : le degré de pureté est de 50% minimum pour le gypse [20].
- Alimentation et pharmacie : dans le secteur d'activité les spécifications de pureté sont les plus strictes. Le gypse de pureté de 90% [21]
- D'autres utilisations : en verrerie, il faut du gypse ou de l'anhydrite de bonne pureté [22].

## **Chapitre II**

# **Présentation de la platière de Boudjellil**

## Introduction

Le plâtre est un liant hydraulique connu depuis l'antiquité. Il est fabriqué à partir de gypse, c'est un matériau qui s'utilise principalement en intérieur. Sous forme de poudre.

Dans ce chapitre nous allons présenter le gisement de gypse la plâtrière de THALABIR à BOUDJELLIL qui l'exploite, traite et commercialise le plâtre.

### II.1 Historique

L'unité de plâtre d'Ain-el-Bir de BOUDJELLIL fait partie des unités de fabrication de matériaux de construction d'APMC divindus anciennement appelée SOMACOB. Cette dernière est une entreprise publique issue de la restructuration des entreprises locales, aussi une société par action (SPA) [23].

La carrière de gypse à Boudjellil a été réalisée dans le cadre de plan de développement de la société des matériaux de construction APMC divindus [23].

L'entrée en production au niveau du gisement remonte à l'année 1983. Les terrains abritant les institutions de traitement ainsi que le périmètre d'exploitation de la carrière sont une propriété de la société, acquise auprès de la direction des domaines de la wilaya de Bejaïa [23].

L'unité maintient depuis son installation sur le site au même procédé de production visant un seul type de produit fini, ce qui lui a permis d'acquérir une solide expérience dans la conduite de l'exploitation et une grande maîtrise du procédé de transformation.



**Figure II.1** : l'unité de traitement



**Figure II.2**: site d'extraction le gypse

## II.2 Cadre géographique et géologique

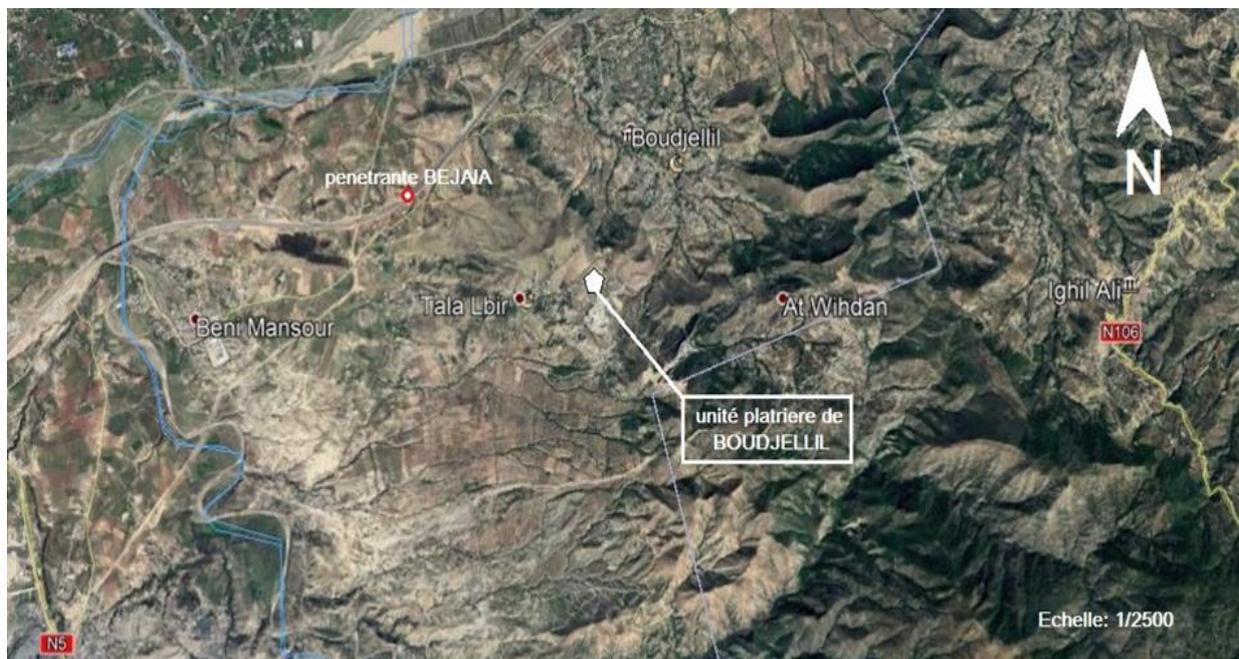
### II.2.1 Situation géographique

Le gisement de gypse d'Ain El Bir est situé dans le territoire de la commune de Boudjellil qui est localisé au Sud-ouest de la wilaya de Bejaïa. Le périmètre d'exploitation de 4Ha est situé à la périphérie Sud-est de l'agglomération d'Ain-El-Bir [23]. (Figure II.3)

Il est délimité par quatre bornes dont les coordonnées sont reportées dans le tableau suivant :

**Tableau II.1** : Coordonnées du périmètre d'exploitation en UTM

Points	Coordonnée UTM	
	X	Y
1	626300	4021700
2	626500	4021700
3	626500	4021700
4	626300	4021700



**Figure II.3** : Localisation de l'unité de plâtre TALA-EL-BIR (Google Earth)

**II.2.2 Cadre géologique****II.2.2.1 Géologie régionale**

Le gisement de gypse de Boudjellil fait partie de la grande chaîne des Babors au para-autochtone des Babors. Le para-autochtone des Babors représente un empilement d'unités, séparé par les contacts mécaniques [23].

Ces unités sont limitées au Nord par les nappes de flysch et la dorsale kabyle et au Sud par l'autochtone des Bibans [23].

Les faciès gypsifères du Trias sont coincés sous l'Unités de Barbacha qui est la basale et l'unité à position intermédiaire de Draa-El-Arba-Erraguene de para-autochtone des Babors [23].

Ces unités représentent les derniers affleurements de ce para-autochtone à l'Est dont le contenu est d'âges mésozoïques.

**II.2.2.2 Géologie du gisement**

Le gisement a subi une étude géologique détaillée, qui est complétée par des essais de laboratoire de SONAREM, unité de tizi-Ouzou. Les travaux de prospection et d'exploitation ont été réalisés aux moyens de sondages, et tranchées [23].

**II.2.2.3 Stratigraphie**

La stratigraphie est l'étude de la succession des dépôts sédimentaires de la croûte terrestre, généralement arrangés en couches ou strates, souvent riches en fossiles.[24]

Le cortège triasique est composé par un faciès lagunaire gypso-salin, il se trouve sous forme amas, il est rubané, de couleur gris blanchâtre.

Ce cortège gypsifère renferme en enclave des blocs de calcaire noirâtre broyé. Ce faciès gypso-salin repousse vers le haut ou vers la limite sud de l'extension de la carrière,

Un faciès carbonaté composé par des bancs de calcaire à couleur rouge-marron.

**II.2.2.4 Tectoniques**

L'écorce terrestre n'est pas "homogène" elle est constituée de plaques qui dérivent à la surface et qui se frottent les unes contre les autres. Le moteur de ces mouvements est le phénomène de convection qui se produit à l'intérieur du manteau terrestre. L'intérieur de la

Terre est composé de roches faiblement radioactives dont la désintégration produit de la chaleur. [24]

Le cortège triasique représente dont les endroits où il affleure, le contact de base de l'unité, ce contact est de type mécanique.

#### **II.2.2.5 Condition hydrologique**

Les conditions hydrologiques de la région sont assez favorables. Les terrains miocènes largement développés et possèdent également des propriétés réservées à l'eau. Ceux-ci peuvent faire l'objet d'une étude hydrologique dans le but d'approvisionner en eau la carrière de gypse.

#### **II.2.2.6 Condition hydrogéologiques**

Durant les travaux d'excavation effectués pour l'extraction de la roche, aucun aquifère n'est apparu.

Deux sources d'eau qui apparaissent dans la partie aval de site, elle se caractérise par un ruissellement continu, ils sont la conséquence des eaux de pluies renfermées dans les roches (entraîner dans les roches par ces fissures) [24].

#### **La minéralisation du gypse :**

Le gisement de boudjellil est exploité à ciel ouvert, le choix de cette méthode permet l'exploitation complète du gisement. Supprimant le relief, elle supprime du même coup le problème de l'utilisation du sol de couverture. Elle est compatible avec l'utilisation des moyens modernes et puissants d'abattage, d'extraction et de transport [23].

Cependant, on livre avec ce genre d'exploitation un gypse d'humidité variable, risquant parfois d'être souillé par les argiles entraînées par les eaux de ruissellement. La plupart du temps, la motivation du choix du type d'exploitation est liée au rapport de l'épaisseur de la couche de stériles, à l'épaisseur et à la capacité du gisement de gypse [23].

La méthode d'exploitation est une succession de réalisation des travaux d'enlèvement de stériles et de minerai dans un ordre bien déterminé.

#### **Les principaux paramètres sont :**

- La hauteur de gradin ;
- L'angle de pendage des talus ;
- La longueur du front de travail ;

- La largeur de la plateforme ;
- Le nombre de gradin en activité ;

**L’exploitation se fait selon les indices suivants :**

- La vitesse d’avancement du chantier ;
- La vitesse d’approfondissement de la carrière ;
- Les coefficients de perte et de dilution de minerai ;

Ces paramètres de la méthode sont liés aux dimensions minières existantes ou planifiées.

**II.3 Description des installations**

**II.3.1 Moyens communs**

**II.3.1.1 Carrière**

Elle dispose de moyens matériels conventionnels pour l’exploitation de carrière dont la constitution est la suivante :

**Tableau II.2 : matériel d’exploitation de gypse**

<b>matériel</b>	<b>Nombre</b>
Pelle sur chenille avec brise	02
Chargeur sur pneu	01
Dumper 15 Tonnes	01
Compresseurs tractables	02
Marteaux piqueurs	02

**Méthode d’exploitation :**

Le choix de la méthode d’exploitation dépend des facteurs suivants :

1. Les caractéristiques géologiques et minières du gisement ;
2. La puissance et le nombre du gîte ;
3. La production ;
4. Le mode d’ouverture ;

**Le paramètre de la méthode d'exploitation**

-La hauteur de gradin : la hauteur de gradin tient compte des paramètres suivant :

- La stabilité de talus
- La production de la carrière
- Le rendement des équipements miniers

-La largeur d'enlevure : lors du choix de la largeur d'enlevure, on prend en Considération :

- Les paramètres physico-chimiques
- Le type et dimension des engins de chargement

-La largeur de plate-forme : la largeur de la plate-forme est déterminée en fonction des paramètres suivants :

- Les propriétés physico-mécaniques de la roche
- Les dimensions de la roche abattue
- Les paramètres techniques des engins

-Vitesse d'avancement de front

-Vitesse de déplacement de chantier

**II.3.1.2 Station de traitement**

Elle est constituée d'équipements suivants :

- Une station de concassage ;
- Ateliers de traitement de matières ;
- Atelier de conditionnement ;
- Magasins de stockage du produit fini ;

**II.4 Organisation de l'activité d'exploitation**

Au fur et à mesure qu'elles sont extraites, les masses de gypses sont transportées vers la station de traitement où elles subissent une série de traitement

**I.4.1 Subdivision du processus de transformation du gypse****I.4.2.1 Extraction**

L'abattage des masses de gypse se fait au moyen de tir à l'explosif, ou par roche au moins de pelles à chenilles, les matériaux bruts ainsi extraits atterrissent au niveau d'une plateforme de travail, sont réduits au moyen de brise roche, et de marteaux piqueurs, au

diamètre de 300 à 400 mm, puis chargés sur benne de dumper pour les acheminer vers la station de traitement.

L'extraction procure également des stériles constitués de blocs de roches et la terre issue des Travaux de découverte.

#### **I.4.2.2 Concassage (préparation mécanique de gypse)**

Les pierres de gypse acheminées de la carrière sont déversées dans la trémie, qui alimente le concasseur à mâchoire, réduisant le gypse au diamètre 50 mm, qui est le tamis doté d'un crible de maille de dimension 30 mm, qui est acheminé dans le silo de stockage d'une capacité de 120 tonnes.

#### **I.4.2.3 Traitement du gypse**

La matière ainsi obtenue, est acheminée du silo de stockage par bande doseuse à débit réglable, vers les fours relatif pour subir une déshydratation. Et ainsi, la pierre de gypse broyée

(Hydrate double  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) est transformée en plâtre par cuisson, selon la formule suivante :

A  $150^\circ\text{C}$ :  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2} \text{H}_2\text{O} + \frac{3}{2} \text{H}_2\text{O}$  hemihydrates de calcium.

A  $290^\circ\text{C}$ :  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CaSO}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$  anhydrite.

A  $+170^\circ\text{C}$  Donne du plâtre mort très peu réactif à l'eau.

Le four déverse sur une vis sans fin, qui alimente un élévateur à godet, qui alimente à son tour une vis réversible, conçue pour déverser dans le silo de secours d'une capacité de 30 tonnes, ou vers le tamis vibrant. Le produit tamisé est acheminé vers le silo de stockage d'une capacité de 240 tonnes, le refus passe à travers le broyeur pour être recyclé.

De par sa structure très fine, le produit est prédisposé à l'envol et à une dispersion, de ce fait il est mis en place un dispositif d'aspiration de la poussière diffuse. Le passage de l'air ainsi empoussiéré à travers des filtres à manches, permet de récupérer cette matière.

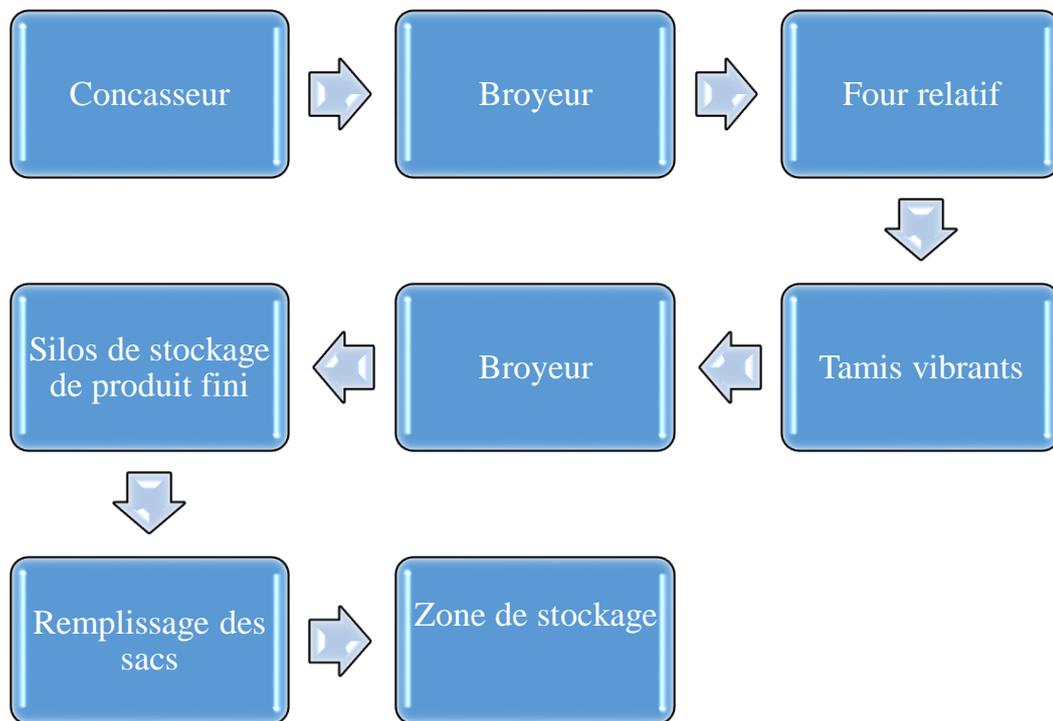
#### **I.4.4.1 Expédition**

Le produit fini ainsi obtenu, est stocké dans des silos, lesquels alimentent l'atelier de conditionnement. Celui-ci est constitué d'une ensacheuse dotée d'un bac de stockage, d'une capacité de 24 tonnes, muni de deux becs d'alimentation, lequel se fait dans des sacs en

polypropylène 40kg. Une fois rempli, les sacs de plâtre sont lâchés sur le tapis qui assure leur expédition vers l'extérieur.

La livraison et l'emballage est une opération qui se fait d'une manière manuelle à partir d'une station dotée d'une ensacheuse équipée de deux becs pour le remplissage des sacs et un contre poids sert à déterminer le poids du produit rempli, il est acheminé à travers des tapis vers les camions de chargement.

**Figure II.5** : schéma de production du produit fini (plâtre) Boudjellil



## Conclusion

Le gisement de gypse de Boudjellil est sous forme d'amas d'âge triasique (l'ère secondaire). IL couvre d'une superficie de 04 Ha, il se caractérise par son homogénéité dans la lithologie. Il est constitué de 80% du gypse et de 20% de calcaire dolomitique et la marne.

Le traitement du gypse effectué au niveau de l'unité est destiné pour la fabrication du plâtre passe par des étapes importantes.

# **Chapitre III**

## **Méthode et matériel**

## Introduction

Le but de ce chapitre est de décrire en profondeur les matériels et les méthodes utilisés pour la valorisation du gypse. Avant de présenter les résultats obtenus pour la préparation du gypse, nous décrivons ensuite les différents modes opératoires et matériels utilisés pour la caractérisation.

-Chimique

-Physique

-Minéralogique

-Granulométrique

### III.1 Echantillonnage

#### Echantillonnage sur le site :

L'échantillonnage du gypse sur le site a été réalisé d'une manière systématique du sommet de la carrière vers la base. Le prélèvement d'échantillons est effectué à un intervalle de 10 mètres.



**Figure III.1** : classement des gradins de gisement de boudjellil

III.1.1 Préparation des échantillons

Les échantillons ont subi la première fois un séchage dans une étuve pour éviter le Colmatage, après concassage avec un concasseur à mâchoires de type laboratoire, les échantillons sont concassés jusqu'à l'obtention d'une granulométrie de moins de 10 mm, une première homogénéisation paraît nécessaire par effet de hétérogénéité du minerai.

Après concassage, nous avons utilisé un broyeur cylindrique de laboratoire pour réduire la taille des échantillons à 1mm, puis homogénéiser. Les produits broyés ont une granulométrie inférieure à 70 microns.

Après chaque étape de la préparation mécanique, une série d'opérations d'homogénéisation et de quartage, sont effectuées, ces opérations sont réalisées par un dispositif divisé en deux parties égales (l'estimateur et l'échantillonneur de piste) pour éviter toute distorsion éventuelle du résultat. Ce genre d'erreur systématique, et afin d'obtenir un échantillon représentatif, l'échantillon fera l'objet de diverses analyses nécessaires à l'identification du minerai.

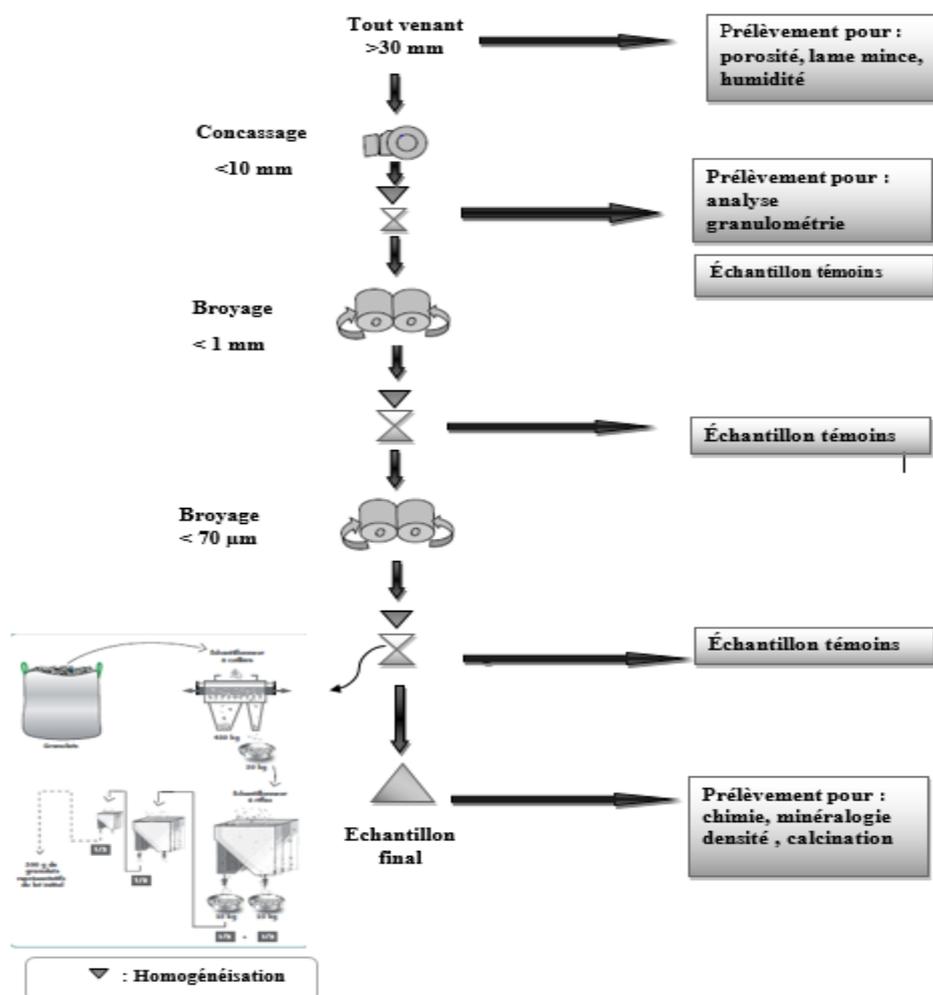


Figure III.2 : Schéma de préparation mécanique des échantillons du gypse pour analyse

## III.2 Analyse chimique

L'analyse chimique des échantillons a été réalisée par biais de deux techniques en l'occurrence l'analyse par fluorescence X et l'analyse par absorption atomique.

### III.2.1 Analyse par la fluorescence X (XRF)

#### ➤ Principe

La spectrométrie de fluorescence X (SFX ou FX, ou en anglais XRF pour X-ray fluorescence) est une méthode d'analyse chimique élémentaire utilisant une propriété physique de la matière, la fluorescence de rayons X. Lorsque l'on bombarde de la matière avec des rayons X, la matière réémet de l'énergie sous la forme, entre autres, de rayons X, c'est la fluorescence X, ou émission secondaire de rayons X. Le spectre des rayons X émis par la matière est caractéristique de la composition de l'échantillon, en analyse ce spectre, on peut en déduire la composition élémentaire, c'est-à-dire les concentrations massiques en éléments [25].

Nous avons déterminé les teneurs  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{SO}_3$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{CaO}$  et  $\text{SrO}$ .

L'analyse au FX a été réalisée au niveau du laboratoire X université d'Elbaz Setif

#### ➤ Modalités d'essai

- Appareillage : spectromètre
- Seuil de détection de l'ordre de 0,05
- Teneur exprimée en pourcentage
- Méthode de préparation utilisée par laboratoire (certifié ISO.12677 par l'organisme certifiant VINCOTTE-international) : pastille avec mélange, puis passage au spectromètre ;
- Etalonnage par des standards internationaux
- Prise d'essai 5g



**Figure III.3 :** ma presse de la pastille [photo prise au niveau de laboratoire de l'université de Sétif]



**Figure III.4 :** la pastille préparée avec le gypse [photo prise au niveau de laboratoire de l'université de Sétif]



**Figure III.5 :** spectromètre FX [photo prise au niveau de laboratoire de l'université de Sétif]

### III.2.2 Analyse par spectrométrie d'absorption atomique (SAA)

#### ➤ Principe

L'absorption atomique de la flamme est une méthode qui mesure principalement les métaux en solution. Cette méthode d'analyse élémentaire nécessite la mesure de l'analyse (élément à déterminer) converti en un état atomique libre. L'échantillon est porté à une température de 2000 à 3000 degrés, de sorte que basée sur la théorie de la quantification de l'énergie des atomes. Cet électron voit le changement d'énergie d'un électron lorsqu'il se déplace d'une orbite électronique à une autre :  $\Delta E = h\nu$  ou  $h$  est la constante de Planck et  $\nu$  la fréquence d'absorption des photons. Habituellement, seuls les électrons externes de l'atome sont impliqués. [26]

L'essai a été réalisé au niveau du laboratoire de l'université de Bejaia blocs 10.

#### ➤ Modalités d'essai

-appareillage spectromètre atomique

-teneur exprimée en pourcentage pour un corps solide, et en mg/l pour une solution.

-prise d'essai 0.5g.



**Figure III.6 :** spectromètre d'absorption atomique. [Photo prise au niveau de laboratoire 11 de l'université de Bejaia]

### III.3 Analyse physique

#### III.3.1 La porosité

La porosité est l'ensemble des volumes de petite taille, pouvant être occupés par des fluides à l'intérieur d'une roche. Le terme « pore » employé au sens large désigne l'espace poreux sans distinction de forme. Les pores au sens strict sont des vides de forme plutôt convexe, tandis qu'on désigne par fissures les vides à très faible coefficient de forme et d'épaisseur négligeable [27].

##### ➤ Principe

L'essai consiste à saturer en eau porosité ouverte des grains constituant le matériau granulaire. L'immersion du matériau dans une solution aqueuse, permet sa saturation. A froid, l'essai nécessite du temps. Pour accélérer le phénomène on augmente progressivement la température de l'eau. Le gradient thermique provoque dans le temps la dilatation de l'air présent dans les pores, Ce gaz quitte plus facilement les pores pour y être substitué par l'eau liquide. Ainsi l'eau sature plus rapidement la totalité des vides [28].

##### ➤ Mode opératoire

- Préparer un échantillon du gypse sec, soit  $M_0$ .
- Placer l'échantillon dans l'eau froide et porter à ébullition.
- Pendant 2 heures, en vue de chasser l'air des pores et les saturer par de l'eau.
- Retirer l'échantillon de l'eau et essuyer à l'aide d'un chiffon chaque grain, peser la nouvelle masse, soit  $M_1$ .

La porosité est calculée par la formule suivante [28] :

$$P\% = M_1 - \frac{M_0}{V_x} 100$$

$$\text{Avec : } V = \frac{M_0}{M_{va}}$$

$$\text{Donc : } P\% = M_1 - \frac{M_0}{M_0} \times M_{va} \times 100 \dots (10)$$

$M_0$  : La masse sèche

$M_1$  : La masse saturée

$M_{va}$  : La masse volumique apparente  $2,7g/cm^3$

### III.3.2 La densité

La densité d'une substance est égale à la masse volumique de la substance divisée par la masse volumique du corps de référence à la même température. Pour les liquides et les solides, l'eau est utilisé comme référence, pour le gaz la mesure par rapport à l'aire [29].

#### ➤ Principe

Il consiste à mesurer le déplacement du niveau du liquide contenu dans un récipient à col étroit, lorsqu'on y introduit la poudre dont on cherche la masse volumique absolue. La méthode nécessite également une balance au décigramme, un voluménomètre ou le Chatelier et un liquide inerte vis-à-vis de la poudre, dans notre cas on utilise l'eau. [30]

#### ➤ Mode opératoire

- Mettre du toluène jusqu'au niveau  $V_{1, \text{voisin}}$  du zéro. Noter  $V_1$ , en valeur algébrique (négative au-dessous du repère). Peser l'ensemble, soit  $M_1$ .
- Introduire le nôtre échantillon dans le voluménomètre jusqu'à ce que le niveau du liquide soit dans la partie utile de graduation supérieure. Bien chasser les bulles d'air. Noter  $V_2$  Peser, soit  $M_2$ .
- La masse volumique absolue est donnée par le rapport [30] :

$$P = M_2 - \frac{M_1}{V_2 - V_1} \dots \dots \dots (11)$$



**Figure III.7** : Le voluménomètre

### III.3.3 L'humidité

L'humidité d'une matière englobe toutes les substances qui s'évaporent par chauffage en entraînant une perte de poids de l'échantillon.

Le taux d'humidité influence les propriétés physiques d'une substance, telles que le poids, la masse volumique, la viscosité, l'indice de réfraction, la conductivité électrique et bien d'autres encore. Au fil des ans, diverses furent développées pour mesurer ces grandeurs physiques et les convertir en taux d'humidité [31].

#### ➤ Principe

Les méthodes thermogravimétriques sont des méthodes de pesage séchage, où les échantillons sont séchés à 105°C jusqu'à ce qu'ils atteignent un poids stable. La perte de masse est interprétée comme humidité libérée. Le séchage se termine lorsque le poids atteint un équilibre, c'est-à-dire lorsque la pression de vapeur de la substance humide équivaut à la pression de vapeur ambiante. Plus basse est cette pression de vapeur ambiante, moins il restera d'humidité dans la substance à l'équilibre. En réduisant la pression, on abaisse la pression de vapeur ambiante et on renforce ainsi le séchage [31].

L'humidité est calculée par la formule suivante :

$$\% \text{ humidité} = M_1 - \frac{M_2}{M_1} \times 100$$

$M_1$ : Masse avant séchage

$M_2$  : Masse après séchage

## III.4 Analyse minéralogique

### III.4.1 La spectrophotométrie infrarouge

La spectrométrie infrarouge (IR) s'utilise principalement pour l'analyse qualitative d'un atome, Elle permet de mettre en évidence la présence d'une liaison particulière

L'infrarouge est une onde électromagnétique de fréquence inférieure à celle de la lumière rouge (et donc de longueur d'onde supérieure à celle du rouge qui va de 500 à 780 nm). La longueur d'onde de l'infrarouge est comprise entre 700nm et 1mm.

L'infrarouge est subdivisé en IR proche (PIR : de 0,7  $\mu\text{m}$  à 1,4  $\mu\text{m}$ ), IR moyen (MIR : de 1,5 à 3 $\mu\text{m}$ ) et IR lointain (de 3 $\mu\text{m}$  à 1000 $\mu\text{m}$ ). Cette classification n'est cependant pas universelle : les frontières varient d'un domaine de compétence à l'autre sans que l'onde

puisse donner raison à qui ce soit. Le découpage peut être à la longueur d'onde (ou à la fréquence) des émetteurs, des récepteurs (détecteurs), ou encore aux bandes de transmission atmosphérique.

Un spectromètre IR à transformée de Fournier (IRTF) est composé des éléments suivants :

- Une source
- Un interféromètre de Michelson
- L'échantillon
- Un détecteur

### ➤ Principe

Lorsque la longueur d'onde (l'énergie) apportée par le faisceau lumineux est voisine de l'énergie de vibration de la molécule, cette dernière va absorber le rayonnement et on enregistrera une diminution de l'intensité réfléchi ou transmise. Le domaine infrarouge correspond au domaine d'énergie de vibration des molécules.

Toutes les vibrations ne donnent pas lieu à une absorption, cela va dépendre aussi de la géométrie de la molécule et en particulier de sa symétrie. Pour une géométrie donnée on peut déterminer les modes de vibration actifs en infrarouge grâce à la Théorie des Groupes. La position de ces bandes d'absorption va dépendre en particulier de la différence d'électronégativité des atomes et de leur masse.

Par conséquent à un matériau de composition chimique et de structure donnée va correspondre un ensemble de bandes d'absorption caractéristiques permettant d'identifier le matériau.

L'analyse s'effectue à l'aide d'un spectromètre à transformée de Fourier qui envoie sur l'échantillon un rayonnement infrarouge et mesure les longueurs d'onde auxquelles le matériau absorbe et les intensités de l'absorption.

Le faisceau infrarouge provenant de la source A est dirigé vers l'interféromètre de Michelson qui va moduler chaque longueur d'onde du faisceau à une fréquence différente.

Dans l'interféromètre le faisceau lumineux arrive sur la Séparatrice. La moitié du faisceau est alors dirigée sur le miroir fixe, le reste passe à travers la séparatrice est dirigé sur le miroir mobile. Quand les deux faisceaux se recombinent, des interférences destructives ou

constructives apparaissent en fonction de la position du miroir mobile. Le faisceau modulé est alors réfléchi des deux miroirs vers l'échantillon, ou des absorptions interviennent. Le faisceau arrive ensuite sur le détecteur pour être transformé en signal électrique.

➤ **Appareillage**

- Spectrophotométrie infrarouge a transformé de fournier
- Presse hydraulique
- Cellule démontable
- Mortier et pilons en agate
- Balance électronique

➤ **Réactifs**

- 0,08g de KBr
- 0,002g de gypse

➤ **Mode opératoire**

On met 0,08 g de bromure de potassium (KBr), dans un mortier en agate, on ajoute 0,002g de gypse, on mélange bien les deux produits, on va le mettre dans la presse sous une pression 90bar, après avoir terminé on obtient une pastille transparent et c'est cette pastille obtenue qu'on met dans l'appareil IR pour être analysé.

### **III.4.2 Observations microscopiques et préparations de lame mince**

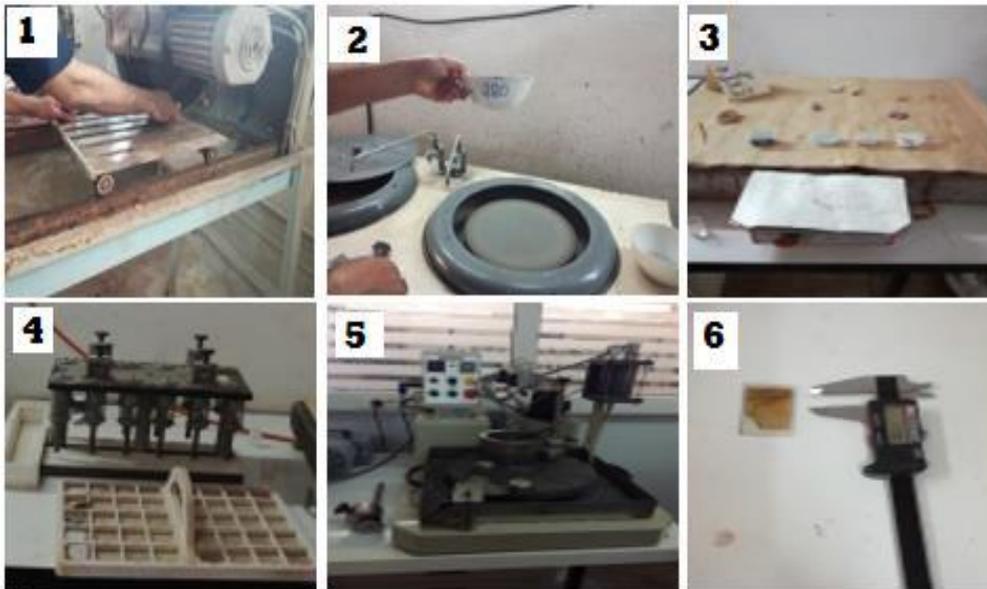
Pour effectuer l'observation microscopique on a préparé au niveau du laboratoire de valorisation de l'ORGM Boumerdès les lames minces qui consistent à amincir un échantillon de roche, préalablement collé sur une plaque en verre, à une épaisseur de 30 micromètres.

La réalisation de ces lames minces suit un protocole précis dont les principales opérations sont voire la figure III8 :

1. Le sciage de l'échantillon à la scie diamantée
2. Le rodage de la surface à coller
3. Le collage de l'échantillon sur une plaque de verre
4. Le sciage de la préparation à environ 1 mm

5. La mise à l'épaisseur de la lame mince

6. La couverture ou le polissage de la préparation selon analyses ultérieures



**Figure III.8** : Les étapes de préparation des lames minces

Après préparation des lames minces, l'observation va se faire au microscope photonique polarisant. L'épaisseur standard de 30 micromètres permet la reconnaissance des minéraux constitutifs de la roche.

L'observation se fait en lumière polarisée non analysée (avec un seul filtre) qui montre la couleur d'absorption des minéraux puis en lumière polarisée analysée (avec deux filtres à 90°) montre des couleurs d'interférence propres à chaque minéral. Le résultat des observations au microscope polarisant est toujours très esthétique, en plus d'être un outil très performant de détermination des structures, des compositions minérales.

#### **III.4.3 Analyse diffractométrique**

L'analyse diffractométrique permet de confirmer l'identification minéralogique réalisée au microscope et de préciser la nature des minéraux.

On a choisi des échantillons finement broyés, qu'on a analysés par diffractométrie.

### La diffraction des rayons x

#### ➤ Principe

La diffraction des rayons X consiste à appliquer un rayonnement, d'une longueur d'onde du domaine des rayons X sur un échantillon orienté ou non. L'analyse des phases cristalline est rendue possible grâce aux périodicités de l'arrangement atomique des cristaux.

Ces périodicités sont dues à un empilement de plans identiques dans un cristal et sont décrites par des longueurs correspondant aux distances entre les plans d'empilement. Ainsi, lorsque le rayonnement pénètre le cristal, une partie de l'énergie est absorbée entraînant l'excitation des atomes et l'émission de radiations par les plans atomiques. Le faisceau diffracté mesuré résulte de l'ensemble de l'interaction constructive des rayons émis par les atomes d'un même plan, selon la loi de Bragg :  $2d \sin \theta = n \cdot \lambda$ . [74]

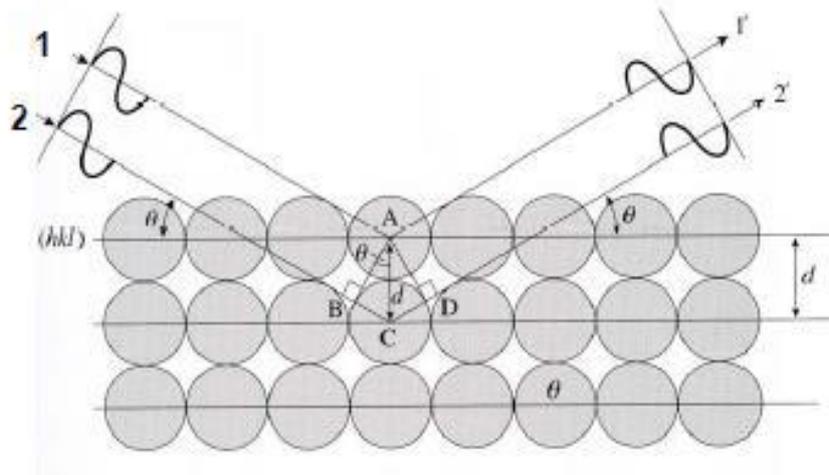


Figure III.9 : Principe de la diffraction des rayons X

#### ➤ Modalités d'essai

-Appareillage de diffraction des rayons X type Panalytical

-Résultats sous forme de diffractogramme

- Mode opératoire : MO-9852-4 (Certification ISO 9000-2008 délivrée par AIB VINCOTTE International).

-Prise d'essai : 5g



**Figure III.10** : Appareillage de diffraction des rayons X

### III.5 Analyse granulométrique

#### Tamissage

C'est une opération qui permet de séparer le matériau en fraction granulaires définies par le côté de la maille carré du tamis jusqu'à une limite inférieure à  $45\mu\text{m}$ , durant cette opération deux produits peuvent être obtenus : le passante et le refus.

#### ➤ Principe

Le principe d'analyse consiste à classer les différents grains constituant l'échantillon en utilisant une série de tamis, emboîtés les uns sur les autres (figure III.11), dont les dimensions des ouvertures sont décroissantes du haut vers le bas. Le minerai étudié est placé en partie supérieure des tamis et les classements des grains s'obtiennent par le mouvement vibratoire horizontal, ainsi que des secousses verticales, de la colonne de tamis à l'aide d'une tamiseuse ou la classification granulométrique (produit concassé).

Pour le minerai de gypse, on utilisera en général des tamis de dimensions 5 mm, 3.15 mm, 2 mm, 1.6 mm, 1.25 mm, 1 mm, 0.63 mm, 0,315 mm, 0.160 mm, 0,125 mm, 0,08 mm.



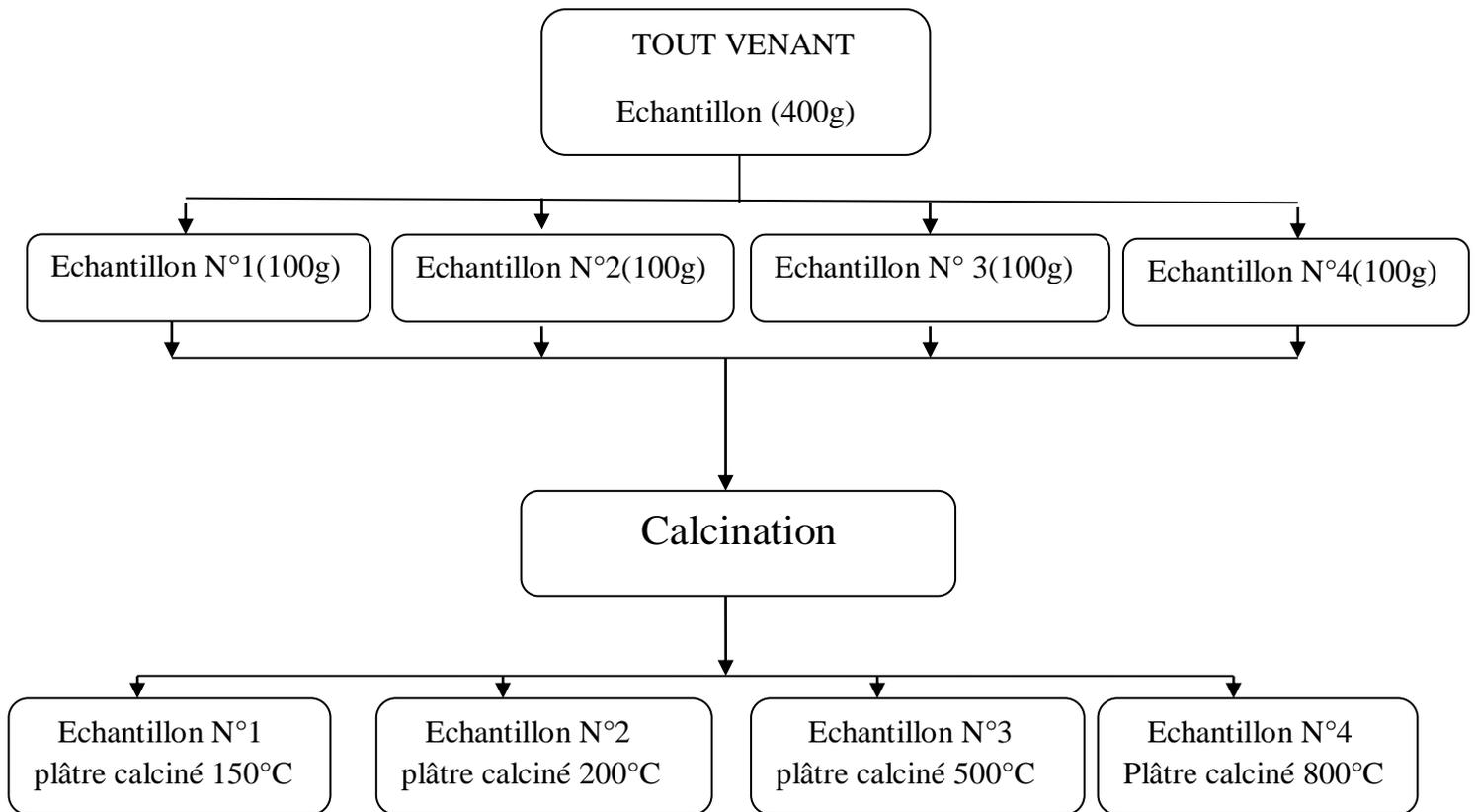
**Figure III.11** : Tamiseuse en électro-vibrante [photo prise au niveau de laboratoire de Bejaia]

### III.6 Calcination de gypse

La calcination du gypse (sulfate de calcium hydraté) pour obtenir du plâtre (sulfate de calcium semi-hydraté), ne casse pas les liaisons covalentes de sa molécule de sulfate de calcium, mais une partie des liaisons « hydrogène » de son radical « hydraté », ainsi changement de la composition chimique [36].

#### ➤ Mode opératoire

On prend 400g de tout venant et on le divise en quatre échantillons et chaque 100g va subir une calcination à différentes températures 150°C, 200°C, 500°C et 800°C dans un four systématique, après la calcination on les met dans un dessiccateur pour éviter l'absorption d'humidité, ensuite on fait la pesée des échantillons afin de déterminer leur poids.



**Figure III.6 :** Organigramme de calcination du gypse Boudjellil

### Conclusion

Le but de ce chapitre est pour présenter et de décrire tous les procédés, technique, méthode et protocoles utilisés pour évaluer notre gypse, Autrement nous avons montré l'utilité l'efficacité et l'avantage de ces derniers. D'autre part, les résultats obtenus seront présentés et discutés dans le chapitre suivant.

# **Chapitre IV**

## **Résultats et discussions**

## Introduction

Le présent chapitre a pour objet la présentation et l'interprétation des résultats obtenus par les différentes techniques citées précédemment, les analyses chimiques (FX, SAA), physiques, granulométriques et minéralurgiques.

### IV.1 Les résultats d'analyse chimique

#### IV.1.1 Les résultats d'analyse par fluorescence X (FX)

Les résultats d'analyse par fluorescence X des échantillons n°1, 2, 3, 4 et 5 sont représentés dans le tableau suivant :

**Tableau IV.1** : Composition chimique (%massique) de premier gradin de gypse de boudjellil

Echantillon	Na <sub>2</sub> O %	MgO %	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	SiO <sub>2</sub> %	SO <sub>3</sub> %	K <sub>2</sub> O %	CaO %	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	SrO %
<b>Ech 1</b>	0.0353	0.452	0.121	0.344	52.8	0.028	45.1	0.277	0.765
<b>Ech 2</b>	0.0858	1.56	0.941	1.87	51	0.0764	43.3	0.32	0.904
<b>Ech 3</b>	0.0568	1.90	2.14	3.52	49.7	0.301	41.1	0.535	0.621
<b>Ech 4</b>	0.0865	2.81	2.63	4.40	48.2	0.307	39.7	0.596	0.688
<b>Ech 5</b>	0.0979	3.25	3.27	5.87	46.1	0.60	38.2	1.57	0.718

Après analyse des résultats du tableau **IV.1** on constate que le pourcentage de CaO et de SO<sub>3</sub> est supérieure à 84% pour l'ensemble des échantillons cela indique que le gisement est très riche en sulfate de calcium.

On remarque une augmentation progressive du pourcentage de ces oxydes (CaO et de SO<sub>3</sub>) en allant du premier gradin vers le cinquième ce qui indice que la qualité du gypse est meilleure en allant vers le centre du gisement.

Nous observons aussi la présence des oxydes de MgO, SrO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SiO<sub>2</sub>, et Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> avec des pourcentages qui évoluent inversement aux oxydes de CaO et de SO<sub>3</sub> ces oxydes détermine la présence de dolomite, silices, des argiles ainsi l'oxyde de fer et probablement de Célestine .ces résultats confirment ceux obtenus par les travaux géologie réalisés par BRGM

[32]. Par ailleurs, les teneurs de  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$  sont très faible .ces minéraux sont présent dans le gisement avec des teneurs faibles.

#### IV.1.2 Résultat d'analyse par spectrométrie d'absorption atomique

Les résultats d'analyse par spectrométrie d'absorption atomique (SAA) du dosage des métaux lourds sont représentés dans le tableau suivant :

**Tableau IV.2** : Analyse spectrale de gypse

Métaux	Zn%	Cu%	Pb%	Cd%	Fe%
Echantillon	0.0048	0.0035	0.0087	0.00025	0.1920

Le tableau IV.2 illustré nous révèle que les teneurs de métaux lourds (Pb, Cd, Zn, Cu) dans le minerai ne varient pas beaucoup, elles sont de l'ordre très faible ; il montre des teneurs inférieure à 0.01 % ce qui explique que notre échantillon contient des métaux lourds sous forme des traces (ces métaux en traces sont dues à la présence de dolomite dans le gisement , la dolomite est un minéral constitué d'un carbonate de calcium et de magnésium avec des traces de Fe, Mn, Co, Pb et Zn) [33]. Nous avons aussi constaté une légère présence de Fe à 0.192% présentent dans le gisement sous forme d'oxydes de fer confirmé par fluorescence X.

## IV.2 Les résultats d'analyse physique

Les propriétés physiques d'un échantillon de gisement de boudjellil sont représentés dans le tableau suivant :

**Tableau IV. 3** : Propriétés physique de gypse

échantillon	Porosité %	Densité %	L'humidité
Tout venant	0.87	2.51	3.8

#### ➤ La porosité

Nous remarquons que la porosité du minerai est faible avec une valeur de 0.87%. Cela est principalement dû à la composition minéralogique du gisement qui montre une

prédominance de gypse (supérieure à 84%). Ce dernier présente une structure massive ce qui limite l'apparition de vides.

➤ **La densité**

La valeur de densité de minerai obtenue est de 2.51%. Cette valeur est conforme aux résultats obtenus par les travaux BRGM lors des travaux de prospection sur le gisement [32].

➤ **L'humidité**

Les résultats de l'humidité nous montrent une valeur est de 3.8% dans l'échantillon ce qui explique qu'il y a une présence d'une petite quantité d'eau, causée, par l'existence des argiles dans la nature de notre échantillon.

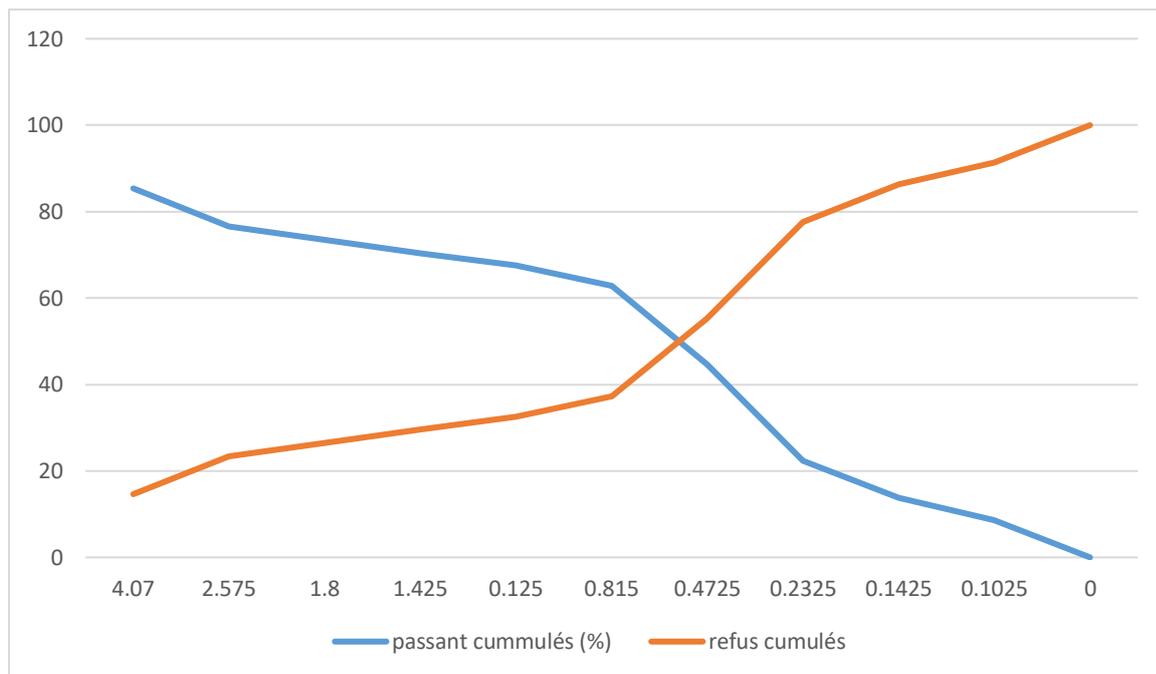
### IV.3 Analyse granulométrique

L'analyse granulométrique a pour objectif de mesurer la distribution par taille de particules d'un échantillon. L'identification des différentes familles granulométriques qui constituent un échantillon permet par ailleurs de définir sa texture.

Les résultats de tamisage de notre échantillon sont présentés dans le tableau suivant :

**Tableau IV.4** : Les résultats de tamisage de gypse.

Classe granulométrique (mm)	Diamètre moyen	Poids (g)	Rendement (%)	Refus cumulés	Passant cumulés
5	4.07	35.3	14.6230	14.6230	85.377
3,15	2.575	21.2	8.7821	23.4051	76.5949
2	1.8	7.3	3.0654	26.4705	73.5295
1.6	1.425	7.6	3.1068	29.5773	70.4227
1.25	1.125	7.02	2.8997	32.477	67.53
1	0.815	11.2	4.7224	37.1994	62.8006
0.63	0.4725	43.8	18.1027	55.3021	44.6979
0.315	0.2325	54	22.3695	77.6716	22.3284
0.160	0.1425	20.7	8.5749	86.2465	13.7535
0.125	0.1025	12.3	5.0952	91.3417	8.6583
0.08	0	20.9	8.6578	100	0



**Figure IV.1 :** Courbe granulométrique des passants et des refus en fonction du diamètre moyen

### Interprétation du graphe

Les pourcentages des refus ou des tamisât cumulés, sont représentés sous la forme d'une courbe granulométrique figure III.2 afin de calculer le coefficient de courbure et le coefficient d'uniformité.

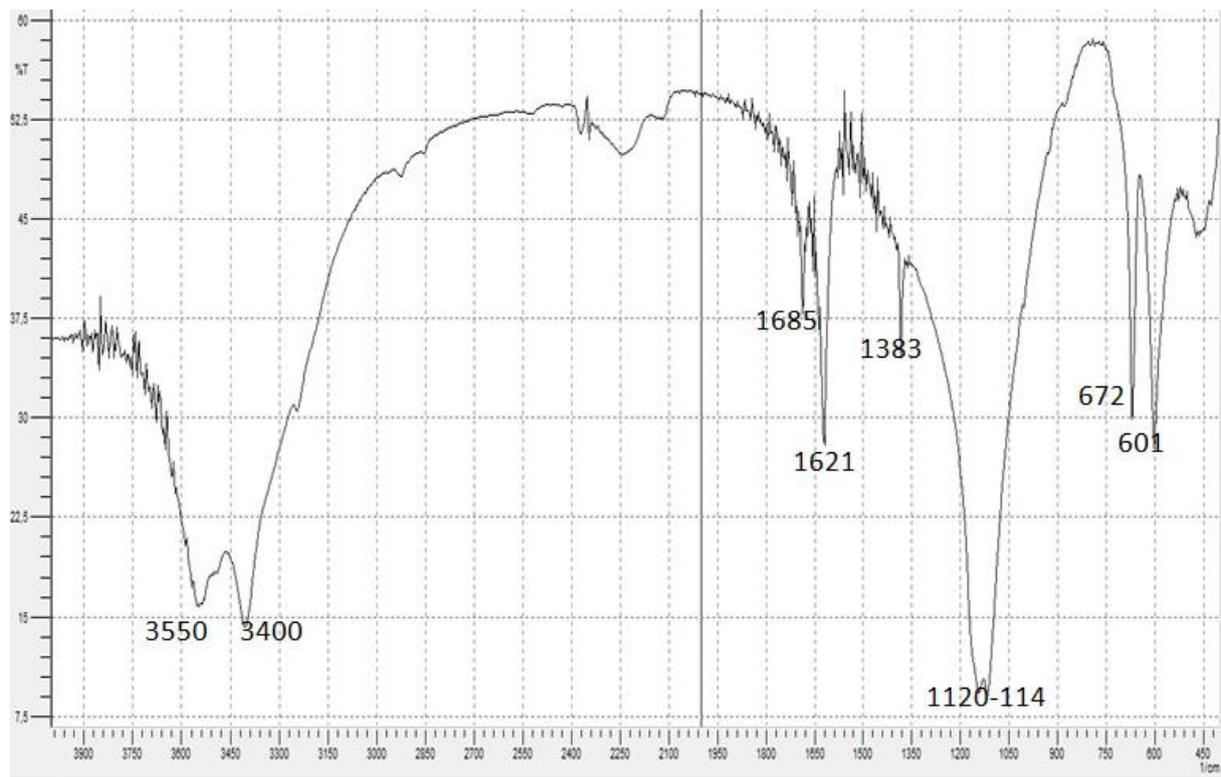
D'après les résultats qu'on a obtenus nous avons constaté que le coefficient d'uniformité est ( $C_u > 2$ ) donc la granulométrie de notre échantillon est étalée ainsi que le coefficient de courbure qui est de ( $C_c = 0.8$ ) ce qui explique que notre échantillon est mal gradué. [42] On conclut que notre échantillon est hétérogène est cela et confirmer par les analyses minéralogiques.

Les deux courbe se croise a un point qui est le D50, le D50 représente l'ouverture de tamis à traverse le quel passe 50 % du matériau.

## IV.4 Résultats d'analyse minéralogique

### IV.4.1 Résultats obtenu par spectroscopie infrarouge

L'analyse d'un échantillon du gypse par spectrométrie infrarouge nous a permit d'obtenir le spectre suivant :



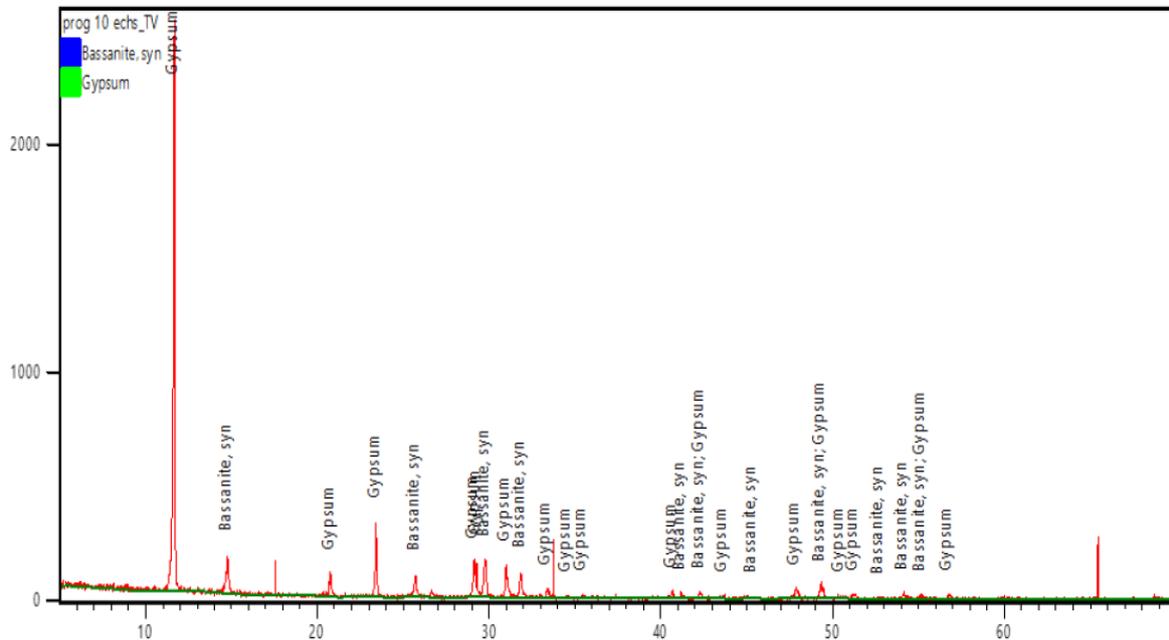
**Figure IV.2 :** Spectre d'analyse par IR du gypse.

L'échantillon de gypse a été analysé par spectroscopie infrarouge, le spectre obtenu montre la présence de plusieurs bandes. On observe deux bandes de sulfates :

- Une bande à 601 et 672  $\text{cm}^{-1}$  peut être attribuée à la vibration de déformation Symétrique et antisymétrique des ions ( $\text{SO}_4^{2-}$ ).
- Une bande à 1120 et 1140  $\text{cm}^{-1}$  correspond à la vibration d'élongation antisymétrique des ions ( $\text{SO}_4^{2-}$ ).
- Une bande de déformation des ions ( $\text{CO}_3^{2-}$ ) située à 1383  $\text{cm}^{-1}$  a été observée
- Les bandes caractéristiques à la vibration de déformation des molécules d'eau sont situées à 1621 et 1685  $\text{cm}^{-1}$ .
- Une bande de la vibration d'élongation symétrique et antisymétrique des molécules d'eau vers 3400, 3550  $\text{cm}^{-1}$ .

### IV.4.2 Résultats obtenu par diffraction de rayon X

Le diffractogramme de l'échantillon de tout venant obtenu par le DRX est représentée sur la **figure III.1**.



**Figure IV.3** : Diffractogramme l'échantillon de tout venant

Les pics de diffraction concernant le tout-venant révèlent la présence de gypse par des pics intense et l'existence de la basanite avec des pics d'une intensité faible, ce qui explique que le gypse est le minéral dominant dans notre échantillon.

## IV.5 Traitement de minéral par calcination

### IV.5.1 Calcination de gypse de boudjellil

Le traitement de gypse de boudjellil par calcination à différentes températures a permis d'obtenir les résultats suivants :

Tableau IV.5 : Calcination du gypse à différentes température

Echantillon	Poids avant la calcination (g)	Poids après la calcination (g)	$\Delta P\%$ Pert de poids
Echantillon calciné à 150C°	100	85.55	14.45
Echantillon calciné à 200C°	100	84.4	15.60
Echantillon calciné à 500C°	100	82.52	17.47
Echantillon calciné à 800C°	100	74.92	25.07

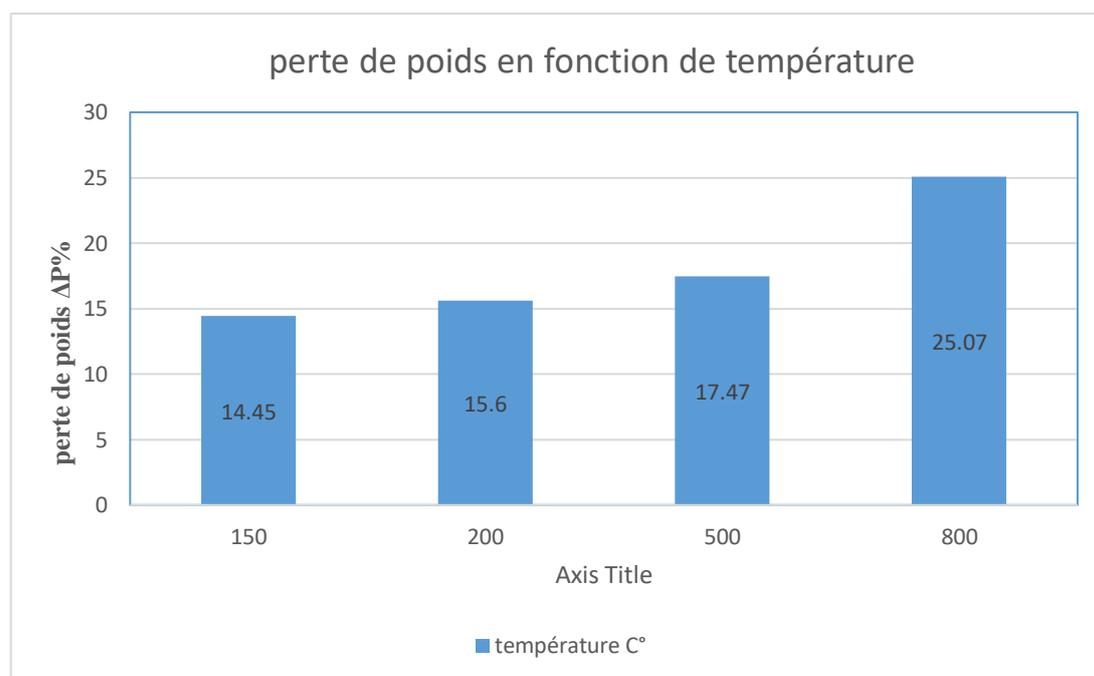


Figure IV .4 : Représentation de perte au poids en fonction de la température

D'après le tableau IV.5 et la figure IV.4 nous avons remarqué que la perte de poids augmente selon l'augmentation de température ce qui explique qu'à chaque fois on augmente la température, le minerai perd une portion de son poids, cela est dû au passage des minéraux d'une identité à une autre. De fabriqué le plâtres par le système de cuisson de gypse.

## IV.5.2 Les résultats d'analyses par fluorescence x

Echantillon	Na <sub>2</sub> O %	MgO %	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	SiO <sub>2</sub> %	SO <sub>3</sub> %	K <sub>2</sub> O %	CaO %	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	SrO%
Ech Calciné à 150°C	<0.005	0.007	0.63	2.89	46.39	<0.005	16.8	0.51	<0.005
Ech Calciné à 200°C	<0.005	0.04	0.94	2.05	47.16	<0.005	16.8	0.54	<0.005
Ech Calciné à 500°C	<0.005	0.06	0.99	2.79	50.52	<0.005	16.8	0.49	<0.005
Ech Calciné à 800°C	<0.005	0.05	0.81	2.99	53.06	<0.005	17.92	0.57	<0.005

Tableau IV.6 : Composition chimique (% massique) de gypse de boudjellil

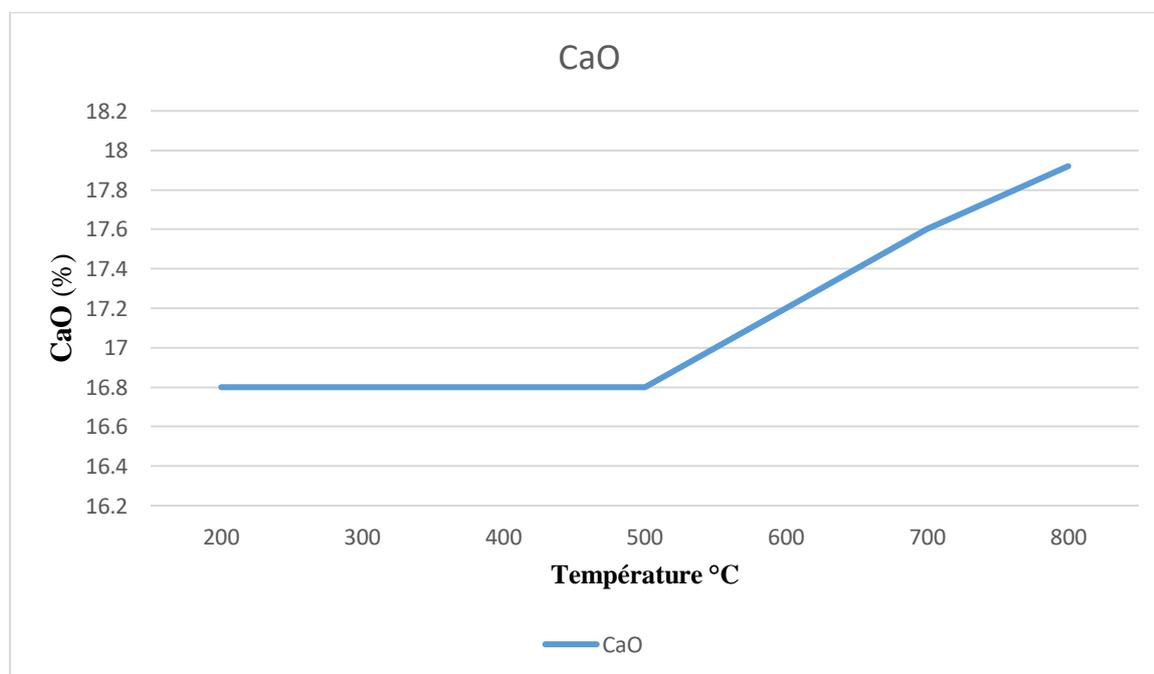
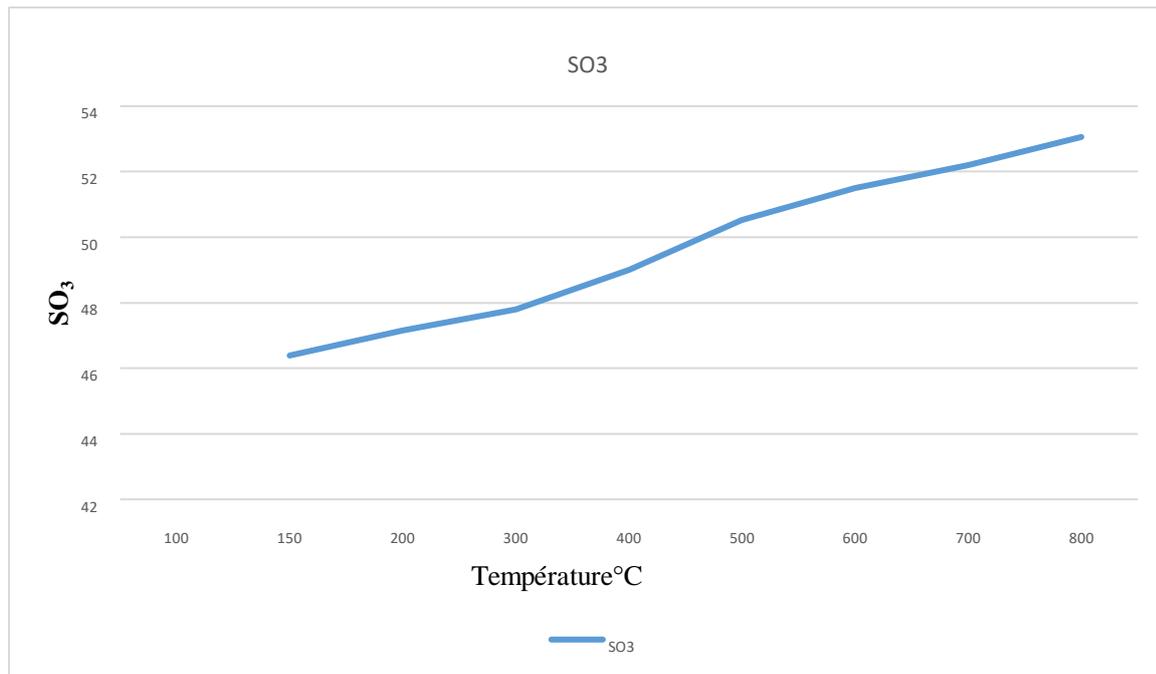


Figure IV.5 : Evaluation des teneurs en CaO en fonction de la température



**Figure IV.6 :** Evaluation des teneurs de SO<sub>3</sub> en fonction de la température

D'après le **tableau IV.6**, **figure IV.5** et **figure IV.6** les échantillons sont composés essentiellement des oxydes SO<sub>3</sub> et CaO qui présentent respectivement des pourcentages massiques de l'ordre de 63,19% pour le plâtre calciné à 150°C, 63,96% pour le plâtre calciné à 200°C, 67,32% pour le plâtre calciné à 500°C, 70,98% pour le plâtre calciné à 800°C. Ces pourcentages varient d'une température à une autre et élevée par rapport au tout venant cela explique que l'augmentation de ces pourcentages sont dû au traitement de calcination, à qu'on chaque fois on augmente la température les pourcentages de CaO et SO<sub>3</sub> augmente,

ainsi on, constate que la teneur en silice est quasiment constante dans tous les échantillons et approximative aux résultats du tout-venant, ceci est dû à l'existence de quelque grains de silice dans nos échantillons, nous avons aussi observer des teneurs importante de l'oxyde de manganèse « MgO », qui est principalement due à la décomposition de dolomite durant la calcination et la teneur de l'oxyde d'aluminium « Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> » qui reflète la légère quantité d'argile dans notre échantillon [43].

Par ailleurs, nous remarquons la présence de SO<sub>3</sub> et CaO avec des teneurs élevées, 65.82% dans PM ce dernier contient des teneurs très faibles en Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. On conclut que nos analyses sont comparatives à celle de PM qui explique que le gypse de boudjellil peut être utilisé dans le domaine médical. Selon la norme européenne notre échantillon est conforme [38].

## IV.5.3 Résultats d'analyse par spectrométrie d'absorption atomique

Tableau IV.7 : Analyse des échantillons de gypse calciné par la SAA

Echantillon	Pb (%)	Cd(%)	Fe(%)	Zn(%)	Cu(%)
Ech calciné à 150°C	0.0101	<0.0001	0.2370	0.0019	0.0013
Ech calciné à 200°C	0.0064	<0.0001	0.2277	0.0006	0.0007
Ech calciné à 500°C	0.0082	<0.0001	0.4460	0.0014	0.0004
Ech calciné à 800°C	0.0065	<0.0001	0.2195	0.0007	0.0010

Les résultats d'analyses par SAA le **tableau IV.7**, montre que les teneurs de métaux lourds (Pb, Cd, Zn, Cu) dans nos échantillons globaux ne varient pas beaucoup ils sont sous forme des traces, leurs teneures sont presque de même ordre que celle de tout venant et PM %, cela indique que nos échantillons sont représentatifs dans le domaine médical et la présence deFe dans tous les échantillons est dû à une légère contamination. Nos échantillons sont représentatifs selon la norme européenne et britannique [39]

IV.5.4 Résultats par la diffraction de rayon X

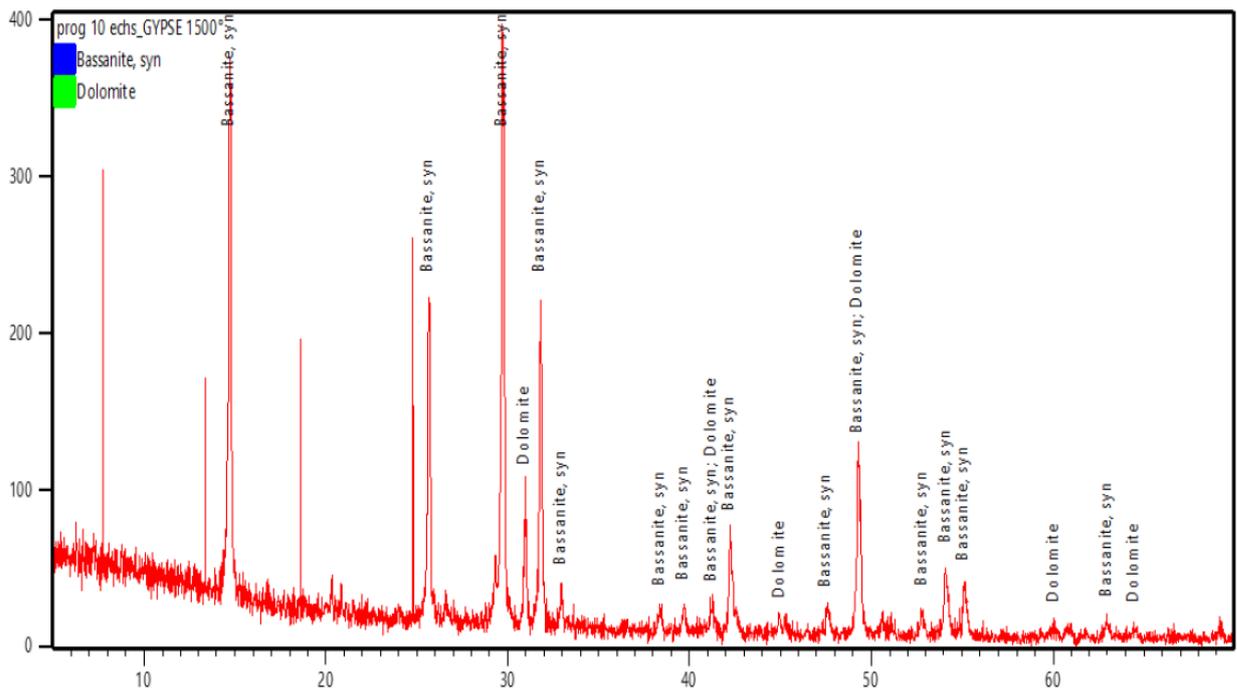


Figure IV.7 : Diffractogramme de l'échantillon du gypse calciné à 150°C

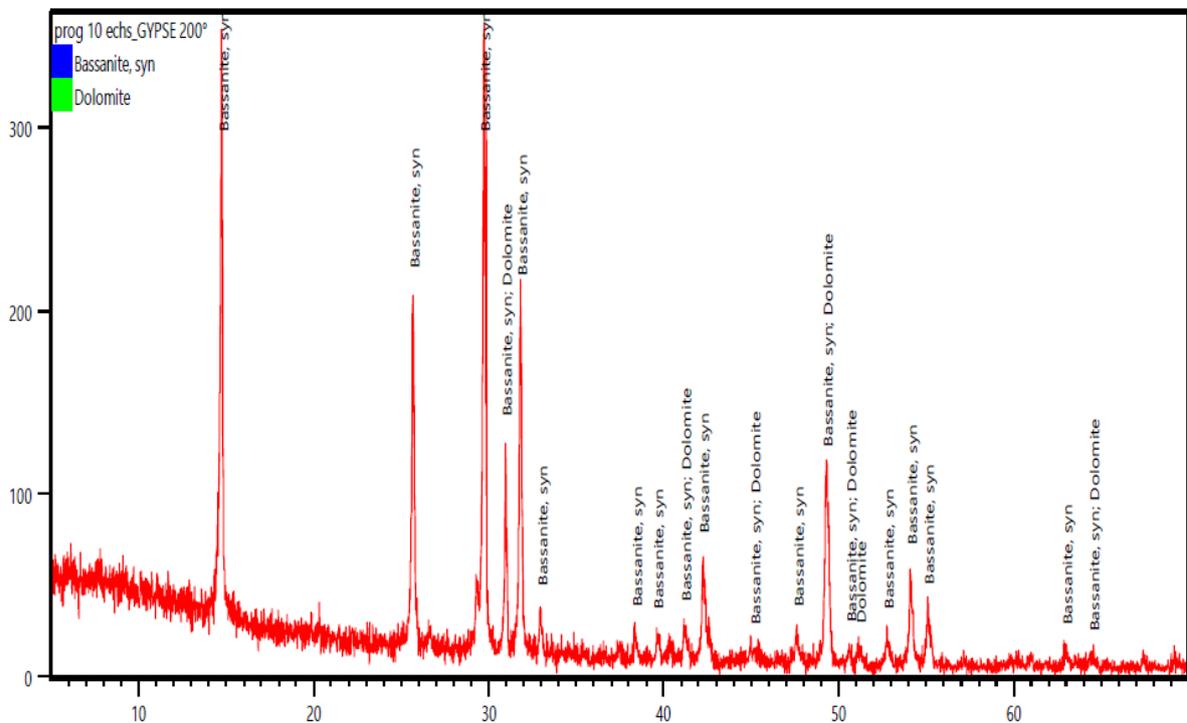


Figure IV.8 : Diffractogramme de l'échantillon du gypse calciné à 200°C

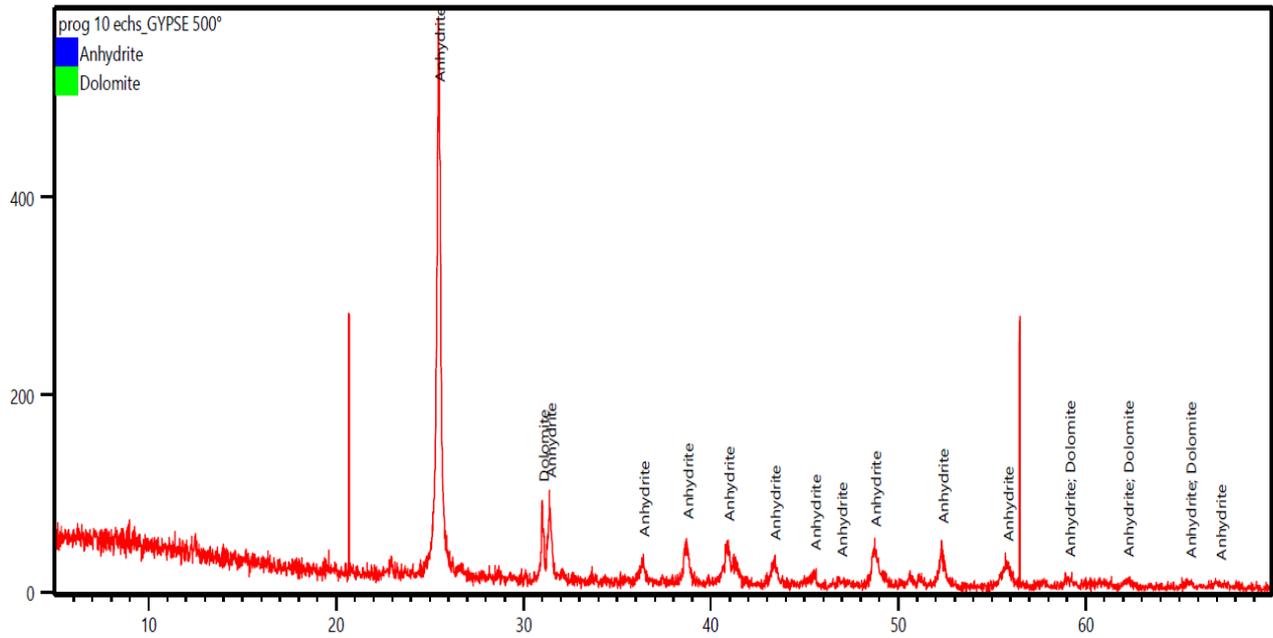


Figure IV.9 : Diffractogramme de l'échantillon du gypse calciné à 500°C

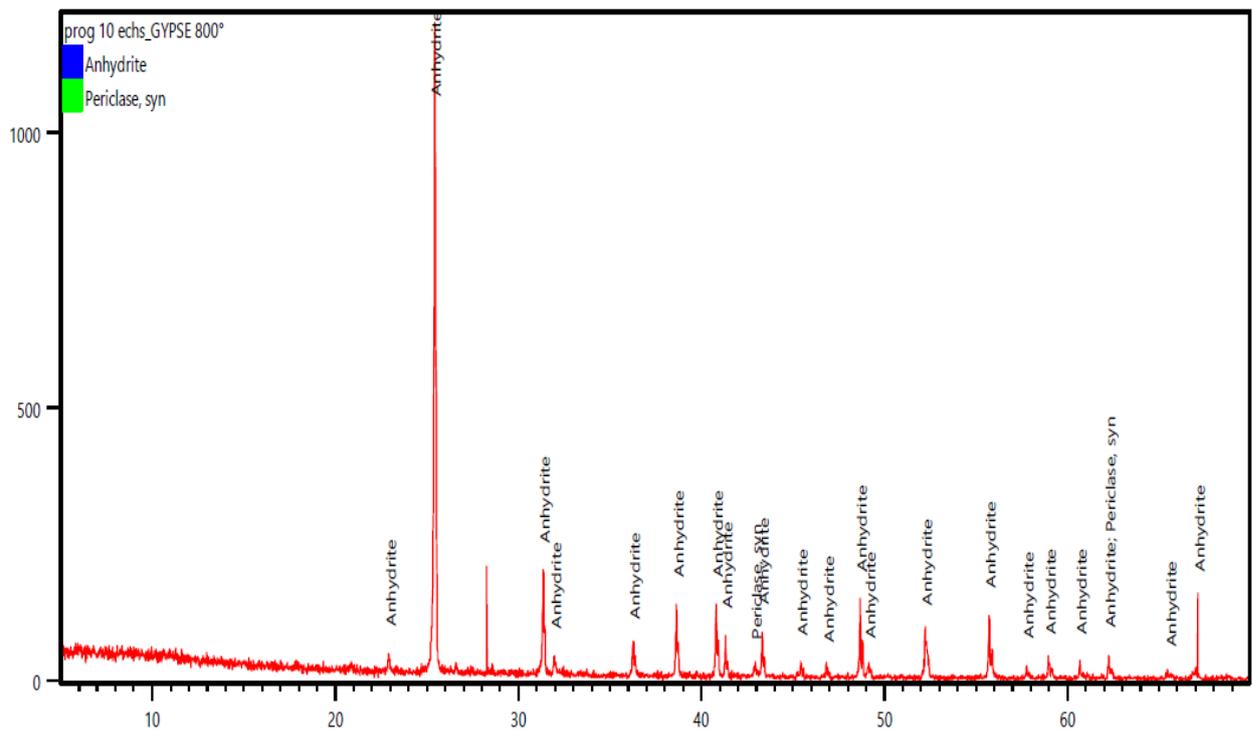


Figure IV.10 : Diffractogramme de l'échantillon du gypse calciné à 800°C

Les Diffractogrammes obtenus par diffraction de rayon X nous a permis de prévoir la composition minéralogique des échantillons calcinés à déférente température. Les pics de diffraction concernant les échantillons 150°C et 200°C qui sont respectivement présentée par les figures IV.7, IV.8, on constate qu'il y a une déshydratation partielle du gypse il devient de

bassanite ce dernier il est représenté avec des intensités très élevée ainsi que la présence d'une intensité faible de dolomite ce qui explique que le minerai dominant est le gypse. Selon le diffractogramme obtenu pour l'échantillon à 500°C **figure IV.9**, on observe la disparition totale de l'eau, (déshydratation total de gypse) et l'apparition de l'anhydre  $\text{CaSO}_4$  avec des intensités élevées et la présence de dolomite avec des intensités faibles. D'après **la figure IV.10**, l'échantillon à 800°C on note l'existence de périclase ( $\text{MgO}$ ) avec une faible teneur. Ce dernier provient de la décomposition de la dolomite lorsque la dolomite atteint le point de fusion il est aussi dû principalement à la présence des calcaire massif et des schistes calcaire consistants comme cité déjà dans la partie géologique de gisement [62]. Ainsi qu'on a remarqué l'abondance de l'anhydrite, ce dernier est l'élément dominant.

## **Conclusion**

Les résultats obtenus dans ce chapitre reflètent la qualité de gypse. Nous pouvons donc en conclure que ce minéral est meilleur en allant vers le centre du gisement ; et aussi il contient des métaux lourds.

## Conclusion générale

---

Au terme de ce travail, mené sur la carrière de boudjellil dans le but de la caractérisation et valorisation de gisement de gypse nous pouvant faire ressortir les observations suivantes la maîtrise des différentes techniques d'analyse utilisée.

Les résultats des analyses chimiques par la méthode fluorescence X et spectrométrie d'absorption atomique montrent que la qualité du gypse est meilleure en allant vers le centre du gisement ; et contient des métaux lourds sous forme des traces qui sont présents dans la dolomite.

Les caractérisations physico-chimiques des échantillons obtenues par plusieurs analyses l'infrarouge IR, et fluorescence X, Montrent que le gisement est très riche en sulfate de calcium, en remarquant aussi la présence des oxydes de magnésium, strontium, alumine, silice, et l'oxyde de fer avec des pourcentages qui évoluent inversement aux oxydes de sulfate de calcium ces oxydes détermine la présence de dolomite, silices, des argiles ainsi l'oxyde de fer et probablement de Célestine qui indices que ces minéraux sont présent dans le gisement avec des faibles teneure.

Les résultats de l'analyse minéralogique par la diffraction X de notre échantillon de départ avant la calcination nous révèlent la présence de bassanite de notre échantillon et les résultats de l'analyse après la calcination nous révèlent la présence des autres minéraux tels que la dolomite, l'anhydrite, préclase.

Par ailleurs l'analyse granulométrique a révélé que notre échantillon est hétérogène.

Le gypse contient de la silice sous forme du quartz, ce qui n'est pas un handicap dans le gypse ou le plâtre mais constitue par ailleurs une charge. Ainsi les éléments gênants qui peuvent nuire à l'aspect générale du gypse et à son application, pouvant causer des efflorescences aux éléments plâtre lors du séchage sont le fer, les alcalins, le  $P_2O_5$ , Ba, Sr, Bp ...etc. et les matières organique, ces derniers se trouvent en quantités très faible dans le gypse de boudjellil, ce qui le prédispose à des applications dans les différents domaines, à savoir la construction, le moulage, la décoration et la pharmacie.

Pour une meilleure caractérisation et valorisation on propose la réalisation des analyses par DRX et une étude microscopique pour déterminer les différentes phases minérales présentes avec le gypse

## **Bibliographique**

[1]: F Teaoka, J Takahashi: Dimensional changes and pressure of dental stones set in silicone rubber Impressions. Dent Mater 2000 ; 16 : drite145-149.

[2] : P. Marteau « Memento roches et minéraux industriels –Gypse et anhydrite-» rapport BRGMR37772, Orléans cedex 2- France, 06/1993.

[3] : D. Daligand, (Plâtre, <Techniques de l'ingénieur>, vol. C910, pp. 1-1).

[4]: N.B. Singh and B. Middendorf, "Calcium sulphate hemihydrate hydration leading to gypsum crystallization," Progress in Crystal Growth and Characterization of Materials, vol. 53, 2007.

[5] : Valorisation du gypse ; RAPPORT DE PROJET2017-2018 ; Tutrice : Christelle MATHE ; Intermédiaire Saint-Gobain : Nicolas ROUFFET

[6] : Syndicat national des industries des plâtres, (le plâtre physico-chimique), fabrication et emploi, Edition eyrolles ,1982.

[7] : Mr Hennane Kamel et Melle Ighil Lamia (Etude et analyse physico-chimique de la matière première (gypse) et de ses impuretés de la carrière de Boudjellil) , université de Bejaia, 2007.

[8] : communes de Saint-Jean-de-Maurienne et de saint-pancrace, département de la Savoie  
Rubriques 25-10 et25-15 du nomenclateur des installations classées pour la protection  
de l'environnement janvier 2011

[9]: VANT HOFF J.H, WELGERT F., ARMSTRONG E.F, HIGRIGHSEN W.,  
JUST- Z. physikal-chem, 45, 237,1903 .traitement de gypse.

[10]: EYRAUD Ch., MURAT M., BARRIAC P. Bull. Soc. Chim. Fr., 12, 4640-4642,  
1999. caractérisation physico-chimique du plâtre département de la Savoie rubrique 96-180 de  
la fabrication des carreaux 2009

[11]: BARRIAC P., ERYAUD Ch. Rev. Mat. Constr., 606,115-122, 1998. Les méthodes de  
reconnaissance de la recristallisation de l'eau dans le gypse N° 48 David LOU, Malika  
NOUAT.

[12] : Technique d'ingénieur par Daniel DALIGAND Président du CEN/TC 241 Plâtres et produits à base de plâtre Secrétaire général du Syndicat national des industries du plâtre.

[13]: Alonzo J.J.G-A., 1996 Vegetation and soils on gypsiferous outcrops: Geographical contribution in an Eastern Sector of Madrid basin (Spain). Proc. Int. Symposium on soil with gypsum. Lleida, Catalonia, Spain.

[14]: Ansan V., Arbey F., 2003. Les adernes et leur minéral. Formes, descriptions et caractérisations d'Aubert G., Boulaïne J., 1967 La pédologie. PUF, Paris. Coll.

[15]: A A R D T V.J.H.P. (1975), Thaumassite formation: a cause of deterioration of Portland cement and related substances in the presence of sulphates, Cement and Concrete Research, vol. 5, 3.

[16] : Mémoire hors-série n° 6 du Bulletin, l'origine et formation de gypse, CHAPPELLIER D. (1987) – Diagraphie appliquée à l'hydrogéologie, Edition Lavoisier

[17] : TOULEMONT M. (1987) – Les gypses lutétiens du Bassin de Paris ; sédimentation, karstification et conséquences géotechniques, Paris, Ministère de l'Équipement, du Logement, de l'Aménagement du territoire et des Transports, Laboratoire Central des Ponts et Chaussées, 320 p.

[18]: P. J. Lechler et M. O. Desilets, « A review of the use of loss on ignition as a measurement of total volatiles in whole-rock analysis », Chemical Geology, vol. 63, 1987 ,p. 341-344

[19]: Jafarzadeh A.A. et Burnham C.P., 1992 – Gypsum crystal in soils. Journal of soil science, 43. pp. 409-420.

[20]: Harbenpeter (2010), Gypsum and anhydrite. The industrial handybook, a guide to markets, specification & prices, 4th edition, P. W. Harbeninc Las Cruces USA, 412p

MARTEAU Pascal (2011), Mémento roches et minéraux industriels. Gypse et anhydrite, rapport BRGM R-33722.

[21] : Bulletin d'Information des Géologues du Bassin de Paris, n° 41 CAVELIER Cl. et LORENZ J. (1987) – Aspect et évolution géologiques du Bassin Parisien,

[22] : CARBONNIE M., DEICHA G., FONTES J.-C., LABOURGUIGNE J., LE CALVEZ Y., MEGNIEN Cl., POMEROL Ch., RENARD M. et SABOURAUD C. (1974) – Compte rendu des discussions sur l'origine du Gypse Ludien,

[23]: KELLEY K.K., SOUTHARD J.C. ANDERSON C.T. Thermodynamic properties of gypsum and its dehydration product Technical paper n°625, Bureau of Mines, 1941.

[24]: VANT HOFF J.H, WELGERT F., ARMSTRONG E.F, HIGRIGHSEN W., JUST- Z. Physikal-chem, 45,237, 1903.

[25]: EYRAUD Ch., MURAT M., BARRIAC P. Bull. Soc. Chim. Fr., 12, 4640-4642, 1903.

[26] : Le plâtre ; 2012-2021 - Bricoleur Pro édité par MyBeautifulCompany[31]

[27]: LAVOISIER A. – Men. Math. Phys., 5, 341, 1768.

[28]: YOUNCFI KHALED. Mémoire de master sur Etude environnemental sur l'usine defabrication de plâtre KNAUF- Fleuris, Faculté de chimie, Département de chimie organiqueindustrielle, Université d'Oran, juin

[29] : GUILHOT B. Thèse, Grenoble,2010 Interactions du gypse avec les autres constituants du sol. Analyse microscopique de sols gypseux en zone aride (Algérie) et études expérimentales. "Soilmicromorphology". Fedoroff et al. Ed., A.F.E.S.- plaisir, France, pp : 179-186

[30] : Lexique de petrographie\_fred \_ lexique de pétrographie (2011). R. Boudchicha , Thèse de doctorat, « Etude de la cristallisation et des cristallisations et des propriétés mécaniques et diélectriques de céramiques de céramiques préparés à partir de Kaolin- Dolomite », Batna (2010).

[31] : Les méthodes de reconnaissance ; journée technique CFGI-SIM- ECOLE DES MINES DE PARIS 23 octobre 2014 (gypse, anydrite : geologie, exploitation, risques natureles)

[32] : communes de Saint-Jean-de-Maurienne et de saint-pancrace, département de la Savoie Rubriques 25-10 et 25-15 du nomenclateur des installations classées pour la protection

%PMOLKJH

[33] : Ait ben Yousef Aziza et Bendaoui Mourad (caractérisation physicochimique)mémoire de fin d'étude 2005.

[34]:TorstenDetloff, « Particle size distribution by space or time dependent extinctionprofiles obtained by analytical centrifugation (concentratedsystems) », sciencedirect.com, 2007 « Transparent, colorless infrared radiation absorbingcompositions comprising nanoparticles », 2010

[35]: Arch J. &Maltman A., 1990, Anisotropic Permeability and Tortuosity in Deformed Wet Sediments, J. Geoph. Res, 98 (B6), p. 9035-9045.

[36]: Introduction to X-ray Powder Diffraction, R. Jenkins, R. L. Snyder, éd. Wiley Interscience, 2000computerized powder identification system, G. G. Johnson Jr., V. Vand, Ind. Eng. Chem vol. 59, p19, A Fortran II program for the identification of X-ray powder diffraction patterns, M. C. Nichols, UCRL-70078, 1966

[37]: P. J. Lechleret M. O. Desilets, « A review of the use of loss on ignition as a measurement of total volatiles in whole-rock analysis », Chemical Geology, vol. 63, 1987 ,p. 341-344

[38] : la norme NF.B.12.300 détermination des degrés de constituant de gypse

[39] :NB.12.300 et .12.NB.F détermination des impuretés de gypse

[40] : NF EN 1097-7 : 1999 normes de la détermination le taux de porosité

[41] : Barriand P., Cesbron F., Geffroy J., 1978. Les minéraux, leurs gisements, leurs associations. Editions du B.R.G.H., 298p.

[42] : travaux pratique préparé par M.GHOMARIF et Mme BENDI-OUISA

[43] : entreprise national de développement et de la recherche industrielle des matériaux de construction < Etude d'aptitude de plâtre de boudjellil à la fabrication de carreaux de cloison> boumerdès 1988

## **Résumé**

L'intérêt de ce travail s'inscrit dans un cadre général de caractériser le plâtre de boudjellil de wilaya de Bejaia son but est d'apprécier la qualité de gypse en terme d'absence des impuretés tels que les métaux lourds.

Les éléments clés dans le processus de traitement du gypse qui ont été effectué avec des différentes analyses physiques, chimiques et minéralogique, ces derniers sont nécessaires afin de produire un matériau répondant aux normes européenne et britannique.

**Mots clés :** Gypse, anhydrite, semihydrate  $\alpha$ , semihydrate  $\beta$ , plâtre médical, Déshydratation, calcination. Caractérisations

## **Abstract**

In this work, the general characterization and valorization of plaster is studied according to gypsum of boudjellil Bejaia. His objective is to appreciate the gypsum quality in term of absence of impurities such as heavy metals which. The keys elements in treatment process of gypsum which have been done with the different physicals analyses, chemical and mineralogical. In addition, these letters are necessitated in order to produce material meeting European and British standards.

**Keys words:** gypsum, hanydrite, semihydrate  $\alpha$ , semihydrate  $\beta$ , dehydration, calcination, caracterisation