



MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITÉ ABBAS LAGHROUR KHENCHELA
FACULTÉ DES SCIENCES ET DE TECHNOLOGIE



Département Sciences de la Matière

N° de série :.....

Mémoire de fin d'études

Pour L'obtention De Diplôme De Master Physique

Option: Physique Des Matériaux

Intitulé :

Etude comparative par spectroscopie ftir de la baryte, et de calcination du gypse de la région de khenchela, et d'un gypse syntétique

Réalisé par :

- Bouzekri Nouara
- Mounni Hadjira

Dirigé par: Encadreur Pr. BOUMAZA Abdecharif

Membres de jury :

Dr. IAICHE Sabrina	MCA	Président
Dr. ADNANE Dounia	MCB	Examineur

Année Universitaire: 2020/2021



بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ
الْحَمْدُ لِلَّهِ رَبِّ الْعَالَمِينَ
الَّذِي أَحْتَسِبُ عَلَىٰ عِلْمِهِ
رَيْبًا وَأَعْتَدُ لِلْكَافِرِينَ
عَذَابًا أَلِيمًا



Remerciement

Nous disons merci Dieu avant tout, qui nous a donné la patience pour réaliser et ensuite finaliser cet humble travail.

Nos remerciements du fond du cœur vont à notre encadreur BOUMAZA Abedecharif pour toutes les informations et les conseils qu'il nous a présenté, et aussi pour son aide jusqu'à la finalisation de ce travail.

Nous remercions aux membres du jury qui ont accepté de lire et d'évaluer ce travail.

Nous n'oublierons pas de remercier nos parents qui sont les premiers et derniers liens de notre cœur ,

et grand merci à tous ceux qui nous ont aidés et nous ont encouragé tout au long de ce travail.

Dédicace

**À mon modèle dans la vie, à celui qui m'a toujours soutenu et aidé jusqu'à
la mort, mon cher père, que Dieu ait pitié de lui.**

**A sens de l'amour et de la tendresse pour celle sous les pieds de qui sont les
cieux, ma chère mère, que Dieu la protège.**

À l'honorable famille des frères et sœurs.

À tous mes amis et tous les camarades d'école.

À tous ceux qui ont eu un bel impact dans ma vie.

À tous je dédie ce travail.

« Nouara »

Dédicace

A Dieu avant tout

Je dédie ce travail ;

A la personne qui m'a appris que la patience est le chemin du succès et qui m'a accompagné dans mes démarches depuis mon enfance, à mon père bien-aimé.

A celle qui a une empreinte sincère dans ma vie, toi, ma mère bien-aimée.

A tous mes chers frères et amis, sans exception, à tous ceux qui ont eu un bon impact dans ma vie

« Hadjira »

LISTE DES TABLEAUX :

TAB I	1 : Groupe de la barytine	13
TAB I	2 : Propriétés chimiques de la baryte	13
TAB I	3 : Les différentes compositions chimiques de la baryte D'Ain Mimoun	14
TAB I	4 : Propriétés chimiques de gypses	17
TAB I	5 : Classification des sols en fonction du taux de gypse	21
TAB II	1 : Récapitulatif des groupes fonctionnels, et spectre infrarouge	43
TAB II	2 : Les fréquences d'étirement des différentes liaisons. Ces tables de référence sont utilisées pour interpréter les données des bandes d'absorption	46
TAB II	3 : Composés couramment retrouvés par spectroscopie FTIR	49
TAB III	1 : Nous donnons le nombre d'onde, les analyses correspondantes, les intensités des raies d'absorptions-Gypse	
TAB III	2 : Raies d'absorbance de la Bassanite	63
TAB III	3 : Raies d'absorbance du Plâtre	64
TAB III	4 : Nous donnons le nombre d'onde, les analyses correspondantes, les intensités des raies d'absorption-Baryte	67

LISTE DES FIGURES :

Figure I	1: Les familles de matériaux	3
Figure I	2: Exemples de minéraux (un par classe)	8
Figure I	3: métal d'évaporation	9
Figure I	4: les minéraux et les halogénures d'évaporite	11
Figure I	5: Barytine	12
Figure I	6: les formes connues pour	18
Figure I	7: Schéma de formation du gypse	19
Figure I	8 : Schéma explicatif des différents noms selon le degré d'hydratation du sulfate de calcium	19
Figure I	9: Wilaya de kenchela	24
Figure I	10: Emplacement géographique pour siar-chechar	25
Figure I	11: Le gypse de Chechar-Siar	25
Figure II	1 : Répartition du rayonnement électromagnétique	28
Figure II	2: Spectre électromagnétique dans la régions UV-Visible-IR et Micro-onde	31
Figure II	3: Interaction, bombarde un échantillon avec un rayonnement (FTIR)	32
Figure II	4 : Le domaine des infrarouges	34
Figure II	5 : La position des pics dépend de la force de la liaison entre les deux atomes et de leur masse réduite	36
Figure II	6 : 3 modes de vibrations	37
Figure II	7: Exemple de pastilles	40
Figure II	8: Spectromètre FTIR	41
Figure II	9: Exemple de background enregistré préalablement à l'analyse FTIR	42
Figure II	10: Infrared spectrum of water showing the 3 fundamental modes	44
Figure II	11: Major stretching and bending vibrational modes	44
Figure II	12 : Vibration d'élongation	46
Figure II	13: Major stretching and bending vibrational modes	46
Figure II	14: Les spectres de quelques produits en biologie	47
Figure II	15 : Spectres FTIR du Carbonates	48
Figure II	16 : Spectres FTIR du les phosphates	48

Figure II	17 : Spectres FTIR du les Nitrates	49
Figure II	18 : Spectres FTIR du Quartz	49
Figure II	19 : Spectres FTIR du les sulfates	49
Figure II	20 : Spectres FTIR du les oxydes (entre 200 et 800 cm-1)	50
Figure II	21 : Spectres FTIR du les hydroxydes	50
Figure II	22 : Pour comprendre l'interprétation du spectre	53
Figure III	1 : Prises de vue de la zone de collecte du gypse, lieu-dit –Ichet-Siar-Chechar, de la région de Chechar, sur la route matinale Khenchela-Chechar-Biskra	55
Figure III	2 : Barytine collectée en Ain Mimoun	56
Figure III	3 : Les échantillons étudiés	57
Figure III	4 : Diners spectre de gypse (comparés au gypse de référence).	58
Figure III	5 : dpectre FTIR du gypse de référence dans la partie finger print	59
Figure III	6 : La second derive du spectre FTIR	60
Figure III	7 : Gypse de référence, calciné	61
Figure III	8 : Spectres FTIR des échantillons objets de notre travail	62
Figure III	9 : Structure cristallographique d'une unité de : Gypse- Bassanite-Plâtre	62
Figure III	10 : Spectre FTIR- Bassanite	63
Figure III	11 : Spectre FTIR-Plâtre	64
Figure III	12 : Spectre FTIR de la baryte dans la gamme 400-4000 cm-1	65
Figure III	13 : Specter FTIR-Baryte de référence	66
Figure III	14 : la second derive du spectre FTIR	66
Figure III	15 : Structure cristallographique de Gypse	67
Figure III	16 : DRX-Gypse	68
Figure III	17 : Structure cristallographique de Bassanite	69
Figure III	18 : DRX- Bassanite	70
Figure III	19 : Structure cristallographique de Plâtre	70
Figure III	20 : DRX- Plâtre	71
Figure III	21 : Structure cristallographique de Baryte	71

TABLE DE LA MATIERE :

Introduction	1
Chapitre I	
I-1. Généralités sur les matériaux	3
2-Les matériaux	3
3-Caractérisation des métaux et de leurs alliages	4
4- Les minéraux	4
4.1- Caractéristiques	5
4.2- Classes des minéraux	6
4.3-Que sont les minéraux et les halogénures d'évaporite?	9
II- La barytine	11
II-1- La baryte en Algérie	11
II-2-Définition	12
II-3-la baryte d'Ain Mimoun « kenchela»	13
II-3.1-Composition chimique du minerai d'Ain Mimoun	14
II-3.2-La barytine dans le domaine des géo matériaux	14
II-3.3-Utilisations de la barytine	16
III-Le gypse	16
III.1-Généralités sur le gypse	16
1-Définition	16
2-Propriétés de gypse	17
3-Composition du gypse	17
III.2-Présentation générale	18
III.3- Les sols gypseux	20
III.3.1-Définition et dénomination des sols gypseux	20
III.3.2-Propriétés physiques	20
III.3.3.Relation sol-eau dans les sols gypseux	22
IV -sols gypseux en Algérie	22
1- Dans la région d'Ouargla	23
2-Le gypse de kenchela	23
-Emplacement géographique de kenchela	23

- Le gypse de kenchela (chechar-siar)	25
-Quelques photos du gypse que nous avons pris de la montagne Siar-chechar	25
- Conclusion	26
Chapiter II	
II -1- Introduction	27
2. Les rayonnements électromagnétiques	28
2-1. Définition	28
2-2. Rappel, sur la technique FTIR	31
2.3-L'infrarouge	33
Définition	33
3. Théorie de la spectroscopie Infra Rouge	33
3.1-Le domaine de l'infrarouge	34
- Le proche infrarouge	34
- L'infrarouge moyen	34
- L'infrarouge thermique	35
- L'infrarouge lointain	35
4-Vibration d'une molécule polyatomique	35
-L'absorbance	37
5- La technique FTIR	38
5.1-Mode opératoire et accessoires de spectroscopie FTIR	38
5.2 -Les principaux accessoires utilisés lors de la réalisation de pastilles KBr, et jusqu'à l'analyse	39
5.3-Enregistrement du spectre Background	42
6- Groupes fonctionnels	43
6.1-Définition des groupes fonctionnels	43
6.2-Specter FTIR de Alkanes CH ₂ et CH ₃	45
6.3-Specter FTIR de CO ₂	45
7-Interpretation de quelques spectres	46
-FTIR en biologie	46
-Cas des carbonates-Cas des phosphates	48
-Cas des nitrates-Cas du Quartz-Cas des sulfates	49
-Cas des oxydes-Cas des hydroxydes	50
-Tableau récapitulatif Composés couramment retrouvés par spectroscopie FTIR	51

-Spectre FTIR	53
-diverses zones, que nous pouvons rencontrer sur un spectre FTIR	54
Chapiter III	
1. Images optiques, données cristallographiques, et analyses FTIR du Gypse	
Quelques images des sites de collecte des minéraux, Siar-Chechar et Ain Mimoun	55
Images optiques des minéraux : Le gypse, et la Baryte	56
	57
2. Analyses spectroscopiques FTIR des gypses et produit de gypse après calcination	58
<ul style="list-style-type: none"> ○ Représentent les spectres FTIR de divers gypses-Collectés dans la wilaya dekhenchela ○ Données CaSO₄-2H₂O de référence ○ Interprétations ○ FTIR et seconde dérivée ○ Tableau synthétique des diverses raies FTIR du gypse synthétique ○ Calcination du gypse ○ Tableaux synthétiques des diverses raies FTIR du gypse synthétique calciné ○ Discussion générale et comparaison avec le gypse de Chechar calciné 	
3. La baryte de Ain Mimoun	64
<ul style="list-style-type: none"> ○ La baryte synthétique, données de référence ○ Spectre FTIR de la Baryte synthétique et dérivée seconde ○ Tableau synthétique des raies d'absorption 	
4. Données cristallographiques	67
Conclusion	73
Annexes	74
Références bibliographiques	77
Résume	



Introduction

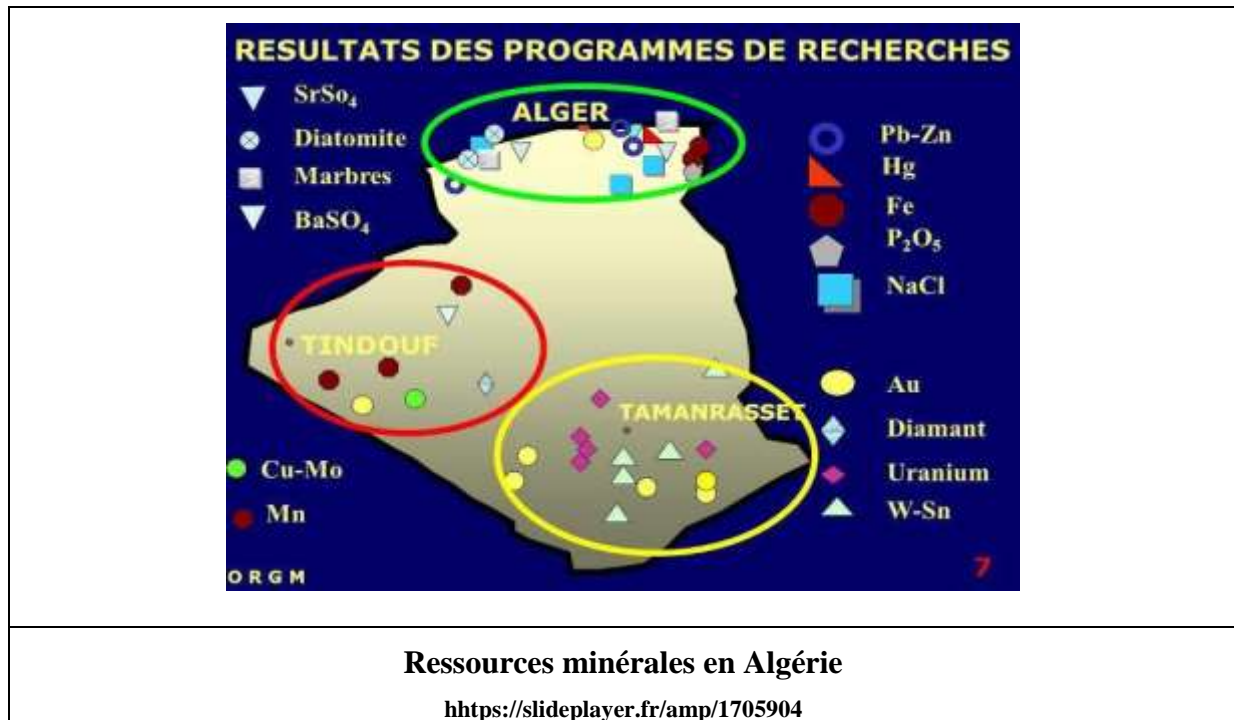
Introduction générale

L'Algérie est située en Afrique du Nord entre la Tunisie et le Maroc. Il a une superficie de 2 381 741 kilomètres carrés. C'est donc le plus grand pays d'Afrique. Le terrain varie du nord au sud, d'une bande côtière principalement de plaines aux hauts plateaux en passant par le désert.

L'Algérie se compose de nombreux monuments. Le nord s'étend à l'ouest à l'est d'une double barrière montagneuse (Atlas Talli et désert) avec des chaînes de collines, Dahra, ouarsenis, montagnes Brood Balmcilh, zone tribale, chaînes remuant et montagnes Babor, et Biban, et une série de montagnes Aures. L'ouest est fortement couvert de forêts. Le centre, les vastes plaines de l'est et le Sahara, qui représentent à eux seuls 84% des terres, L'économie de l'Algérie repose sur de nombreuses ressources pétrolières, car ces richesses représentent près de 60% de son budget, et l'Algérie (quinzième place des réserves mondiales de pétrole), dix-huitième en termes de production, et douzième en termes d'exportations, et là les revenus financiers du pétrole s'élèvent à environ soixante milliards de dollars.

L'Algérie occupe la cinquième place en termes de production classée la richesse du gaz, la troisième en termes d'exportation de gaz dans le monde, et classée devenue l'utilisation du gaz de schiste, et s'est classée troisième des stocks mondiaux de réserves de celui-ci, et de rencontrer le gaz besoins du volume de gaz naturel de l'Algérie jusqu'à environ 45 milliards de mètres cubes. Jusqu'en 2020 après JC, il atteindra 55 milliards de mètres cubes en 2030 après JC, en plus des quantités d'exportations financées par des programmes sociaux et économiques. L'Algérie Possède de nombreuses ressources minérales importantes. Il contient de nombreuses ressources minérales, dont les plus importantes sont les phosphates, qui sont concentrés dans les régions de Kwaif et Jabal al-Raqq, le plomb et le zinc, qui sont concentrés dans la région «Ain Al-Berber» près d'Annaba, en plus de là le mercure trouvé dans la région d'Azaba et le marbre dans la région de Skikda [1], existe au Sahara deux importants gisements de minerai de fer. L'un au sud-est de Tindouf, à Gara-Djebilet, dispose d'environ deux milliards de tonnes de réserves certaines d'un minerai d'une teneur de 57%. L'autre à Fort-Gouraud (Mauritanie) est d'un minerai encore plus riche (65%). Ses réserves sont évaluées à 100 millions de tonnes.[2]

L'Algérie importe aussi le marbre pour une dizaine de millions de dollars ainsi que d'autres minerais ordinaires (craie, sables, kaolin, archives, grenat - abrasif, granit, gravier, chaux éteinte, feldspaths...).[3]



Notre travail est présenté en deux chapitres, le premier donne des généralités sur les matériaux et les minéraux, et le second chapitre qui est le plus consistant présente la partie expérimentale de nos travaux.

Nous avons choisi le métal de gypse comme sujet à étudier, Situé en grande partie de l'est algérien, Ce métal est distribué dans les wilayas de Tebessa, d'Oum El Bouaghi, et de khanchela (chechar).aussi nous avons étudié le métal la baryte.

Les minéraux collectés, ont été photographiés, analysés par spectroscopie FTIR, et nous avons aussi rajouté les données cristallographiques les concernant.



CHAPITRE I

Chapitre I

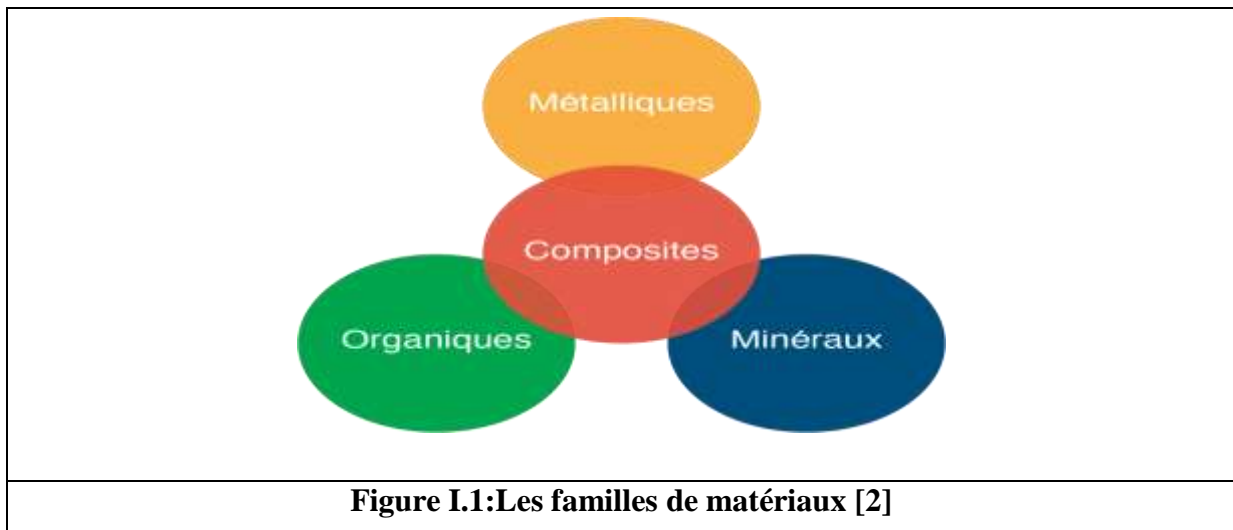
I-1. Généralités sur les matériaux

Depuis l'âge de pierre, les matériaux font partie du quotidien et de l'histoire de l'Homme. Au fil du temps, ils sont devenus plus résistants, plus intelligents pour conférer aux objets qui nous entourent de nouvelles fonctionnalités. Comprendre les grandes familles de matériaux, la démarche scientifique associée à la conception d'un nouveau matériau et les enjeux des matériaux dans les domaines de l'environnement, de l'énergie, de la santé et des technologies de l'information et de la communication, permet de les optimiser et de mieux les exploiter. [1]

2-Les matériaux :

Un matériau est une matière d'origine naturelle ou artificielle que l'homme utilise et/ou conçoit pour fabriquer des objets, construire des bâtiments ou des machines. Les matériaux sont différenciés selon leur provenance (issus d'êtres vivants par exemple) et leurs propriétés, qu'elles soient mécaniques (flexibilité ou rigidité...), chimiques (perméabilité ou imperméabilité à l'eau...) ou encore physiques (conductivité de l'électricité ou de la chaleur...).

Ils sont généralement classés en différentes grandes familles :



- **Les matériaux métalliques qui regroupent les métaux** : fer, cuivre, bronze et les alliages métalliques : acier inoxydable
- **Les matériaux organiques** qui sont issus d'êtres vivants, plantes ou animaux (bois, coton, papier...)
- **Les matériaux minéraux ou inorganiques** : roche, céramique, verre.

Chapitre I

- **Les matériaux plastiques**, qui, en général proviennent de combustibles dits fossiles se trouvant dans le sol, comme le pétrole par exemple.
- **Les matériaux composites** qui combinent plusieurs matériaux de famille différente pour obtenir de multiples propriétés (exemple : fibre de carbone). [1]

Cette classification peut être remarquée du tableau périodique des éléments (tableau de Mendeliev). [3]

Caractérisation des métaux et de leurs alliages [1]

Propriétés physiques et mécaniques

- Ce sont des solides de grande densité.
- La cohésion entre les atomes est assurée par des liaisons métalliques.
- températures de fusion moyennes
- tous cristallisés dans des systèmes simples
- très bons conducteurs électriques et thermiques
- rigidité moyenne à élevée
- déformables plastiquement et tenaces
- opaques à la lumière

3- Les minéraux

Un minéral est essentiellement une substance chimique cristalline formée par un processus géologique, mais cette définition comporte quelques exceptions. Il peut être décrit, dans la très grande majorité des cas, comme une matière cristallisée caractérisée par sa composition chimique et l'agencement de ses atomes selon une périodicité et une symétrie précises qui se reflètent dans le système cristallin et le groupe d'espace du minéral. [4]

En pratique, le terme minéral peut être employé de façon générale ou plus particulière :

- au sens générique, pour décrire la nature et les propriétés d'un type de minéral. Dans cette acception on utilise aussi le terme plus précis d'espèce minérale. [5]
- dans un sens moins général, pour décrire les caractéristiques particulières d'un minéral dans une roche précise ;
- voire pour désigner un cristal particulier, par le nom de l'espèce minérale à laquelle il appartient.

Chapitre I

Les minéraux s'associent pour constituer les roches qui composent la croûte et le manteau terrestres et, d'une façon plus générale, les planètes telluriques et les astéroïdes (donc aussi les météorites).

Les minéraux sont généralement solide dans les conditions normales de température et de pression et s'associent pour former les roches constituant la croûte terrestre et d'une façon plus générale ; la lithosphère (les minéraux sont donc les matériaux élémentaire des roches de la croûte terrestre). [02]

L'Algérie produit du fer et de l'acier, des métaux précieux comme l'or et l'argent, des minéraux industriels incluant la baryte, la bentonite, le ciment, la pierre concassée, le gravier, le gypse, l'hélium, le calcaire, le marbre, les engrais d'azote, le phosphate, la pouzzolane, le quartz, le sel et le sable dans tous ses états. Elle dispose en outre d'importants gisements de minéraux inexploités. On peut citer le diamant, le manganèse, le quartz cristallin, des minéraux de terres rares, le tungstène et l'uranium⁴. Sans oublier l'improbable découverte d'un gisement de six millions de tonnes (mt) de silicium dans l'ouest du pays en 2015. [03]

4.1- Caractéristiques

Un minéral se caractérise par ses propriétés physico-chimiques (test à l'eau, à l'acide chlorhydrique, sa résistance mécanique, ses propriétés optiques...), desquelles s'extraient de manière coutumière et emblématique sa dureté classée sur l'échelle de Mohs de 1 à 10 (sachant que 10 est le plus dur et 1 le moins dur) et sa formule chimique, celle-ci pouvant varier (*cf.* minéralogie). Dans certains types de site cristallographique, plusieurs atomes peuvent parfois se remplacer en donnant lieu à des substitutions isomorphes. C'est le cas, par exemple, du fer et du magnésium dans l'olivine ou du sodium et du calcium dans les plagioclases. La composition d'un minéral est alors souvent comprise entre des extrêmes plus ou moins éloignés, tout composé intermédiaire faisant partie de la série. Par exemple, tout mica dont la composition est comprise entre celle de la phlogopite et celle de l'annite est une biotite.

Les variations admises dans la composition font que le minéralogiste considère volontiers les minéraux comme des *espèces minérales*, se caractérisant certes par ses propriétés physiques - les plus « visibles » ou « facilement observables » étant parfois la symétrie et la géométrie des angles, les clivages, les cassures et les éclats, les duretés, la résistance et les textures, la trace, la couleur, l'éclat, la transparence et l'indice de réfraction, la diaphanéité ou l'opacité optique, la réflectance, la fluorescence ou la phosphorescence, la radioactivité naturelle — et

Chapitre I

chimiques - analyse, essai de chauffage au chalumeau, solvabilité..., mais ne pouvant a priori pour le minéralogiste se confondre avec les corps simples ou composés chimiques recueillis, purifiés ou artificiellement fabriqués par le chimiste.

Certains critères minéralogiques permettent de décrire les minéraux mais ils sont parfois peu discriminants : couleur (minéraux de teinte claire ou sombre, seule la couleur brune verte de l'olivine étant caractéristique), forme (lorsqu'il présente ses formes cristallines propres, le minéral est dit automorphe, lorsque sa forme est limitée par la croissance de minéraux voisins, il est dit xénomorphe), éclat (éclat gras ou vitreux du quartz, éclat métallique du mica noir, éclat nacré du mica blanc), clivage (plan en feuillet, en gradin, en escalier).

4.2- Classes des minéraux:

Le nombre des espèces minérales ne cesse d'augmenter avec le perfectionnement des techniques d'analyse. On en compte autour d'une centaine à la fin du XVIII^e siècle, 800 en 1890, le millier est franchi en 1920, les deux mille en 1964, les trois mille vers 1977 et les quatre mille en 2005. [6]En 2016, plus de 4 750 minéraux sont recensés. Ils sont classés principalement d'après des critères chimiques et cristallographiques. Ils peuvent ainsi être classés selon divers systèmes de classification, parmi lesquels la classification de Dana, celle de Strunz ou encore un index chimique de minéraux, tel que le Hey's Chemical Index of Minerals.[7]

Leur composition chimique permet de les grouper en dix classes principales suivant l'ancienne classification de Strunz, 9^eéd. de 2001 :

1. Éléments natifs, corps simple engendré par un seul élément chimique plus ou moins pur, comme le carbone (et le diamant), le soufre, l'or natif, l'argent natif, le cuivre natif, le platine ;
la première classe de Strunz comprend aussi
les carbures, nitrures, phosphures et siliciures ;
2. Sulfures (anion S^{2-}), comprenant les sulfosels ;
3. Halogénures : chlorures (Cl^-), fluorures (F^-), etc. ;
4. Oxydes (O^{2-}) et hydroxydes (OH^-), comme la magnétite, le corindon ou le rutile ;
5. Carbonates (CO_3^{2-}) et nitrates (NO_3^-) ;
6. Borates (BO_3^{3-}) ;
7. Sulfates (SO_4^{2-}), chromates (CrO_4^{2-}), molybdates (MoO_4^{2-}), tungstates (WO_4^{3-}) ;
8. Phosphates (PO_4^{3-}), arsénates (AsO_4^{3-}), vanadates (VO_4^{3-})

Chapitre I

9. Silicates $(\text{SiO}_x)^{4-2x}$

10. Minéraux organiques (**en**), composés organiques cristallisés et présents à l'état naturel, comme l'oxammite $(\text{NH}_4)_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$, un oxalate.

On peut aussi évoquer les faux minéraux, que l'on trouve en nombre croissant aujourd'hui, dont beaucoup sont fabriqués à destination de l'industrie, des bijouteries et du tourisme.

Galerie :



Éléments natifs
Soufre



Sulfures
Galène



Oxydes et hydroxydes
Cassitérite



Halogénures
Fluorite

Chapitre I

 <p>Carbonates et nitrates Calcite</p>	 <p>Borates Colémanite</p>
 <p>Sulfates, chromates, molybdates, tungstates Chalcantite</p>	 <p>Phosphates, arséniates, vanadates Legrandite</p>
 <p>Silicates Émeraude</p>	 <p>Minéraux organiques (en) Mellite</p>

Figure I.2: Exemples de minéraux (un par classe)

Chapitre I

4.3-Que sont les minéraux et les halogénures d'évaporite?



Les minéraux évaporites se forment en sortant d'une solution où s'évaporent l'eau de mer et les eaux des grands lacs. Les roches constituées de minéraux évaporites sont des roches sédimentaires appelées évaporites. Les halogénures sont des composés chimiques qui impliquent les éléments halogènes (formant des sels) fluor et chlore. Les halogènes plus lourds, le brome et l'iode, produisent des minéraux assez rares et insignifiants. Il est pratique de mettre tout cela ensemble dans cette galerie car ils ont tendance à se produire ensemble dans la nature. Parmi l'assortiment de cette galerie, les halogénures comprennent l'halite, la fluorite et la sylvite. Les autres minéraux évaporites ici sont soit des borates (borax et ulexite) soit des sulfates (gypse). [8]

Chapitre I

01Gypse



Minéraux et halogénures d'évaporite.
ThoughtCo / Andrew Alden

- o Le gypse est la minérale évaporite le plus courant. Il est l'un des minéraux de sulfate .

02Fluorine



Minéraux et halogénures d'évaporite.
ThoughtCo / Andrew Alden

- o La fluorite, le fluorure de calcium ou CaF_2 , appartient au groupe des minéraux halogénures.

03Borax



Rock Currier / Wikimedia Commons / CC BY 3.0

- o Le borax , $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_5(\text{OH})_4 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$, se trouve au fond des lacs alcalins. Il est aussi parfois appelé tincal

04Halite



Piotr Sosnowski / Wikimedia Commons / CC BY 4.0, 3.0, 2.5, 2.0, 1.0

- o L'halite est le chlorure de sodium (NaCl), le même minéral que vous utilisez comme sel de table. C'est le minéral halogénure le plus courant.

Chapitre I



<p>05 Ulexite</p>  <p>Minéraux et halogénures d'évaporite. ThoughtCo / Andrew Alden l'a découvert, Georg Ludwig Ulex.</p> <ul style="list-style-type: none">o Ulexite combine le calcium, le sodium, les molécules d'eau et le bore dans un arrangement compliqué avec la formule $\text{NaCaB}_5\text{O}_6(\text{OH})_6 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$.o Cette minérale évaporite se forme dans des appartements de sel alcalin où l'eau locale est riche en bore .	<p>06 Sylvite</p>  <p>Darth vader 92 / Wikimedia Commons / CC BY 4.0</p> <ul style="list-style-type: none">o La sylvite, chlorure de potassium ou KCl, est un halogénure. Il est généralement rouge mais peut aussi être blanc. Il se distingue par son goût plus vif et plus amer que l'halite.
---	--

Figure I.4: les minéraux et les halogénures d'évaporite [8]

II- La barytine :

II-1- La baryte en Algérie :

L'Algérie est un pays vaste et sous exploré et qui présente un potentiel géologique et minéral riche et varié, qui est intéressant pour l'investissement et le partenariat visant l'exploration minière, le développement et la production de certaines substances minérales. L'Algérie exploite plusieurs substances minérales provenant des mines qui sont réparties sur le territoire national. Les principales substances exploitées sont :

Le minerai de fer : est exploité de six mines, mais principalement des mines d'Ouenza et de Boukhadra (w. de Tebessa) qui alimente l'usine d'Elhadjar à Annaba. La production est aux alentours de 1 Million de tonne/ans Les phosphates : l'Algérie possède des réserves importantes qui sont de l'ordre de 2 milliards de tonne, dont les principaux gisements se localisent dans le bassin de Djebel Onk (gisement de Kef Essennoun, de Bled El Hadba, etc.). Avec une production moyenne de 1.5 M t/an.

Les minerais de phosphate sont traités au niveau du complexe de Djebel Onk situé à quelques kilomètres de ces gisements. Le produit est acheminé par voie-ferré vers le complexe de

Chapitre I

production d'acide phosphorique d'Annaba et aussi vers le port de cette ville pour l'exportation.

La baryte : l'Algérie possède plusieurs gîtes de baryte. Les gisements d'intérêt économique sont localisés au Nord du pays : le gisement d'Aïn Mimoun (W. Khenchela), de Bou caïd (W. Tissemsilt), Mesloula (W. Tébessa) et Koudiat Safia (W. Médéa), de Draïssa (W. Bechar). La production est de 50 000 t/an. Cette substance est utilisée principalement dans le secteur des forages pétroliers, pharmaceutique et de génie-civil [09]

II-2-Définition :

La barytine (ou baryte, voir les synonymes) est une espèce minérale composée de sulfate de baryum de formule $BaSO_4$ avec des traces de Sr, Ca et Pb. Ce minéral, d'origine hydrothermale, présente de nombreuses variétés. Sa densité et le baryum qu'il contient sont les causes principales de ses utilisations industrielles et plusieurs millions de tonnes de barytine sont extraits et produits chaque année.



Figure I.5: Barytine [11]

Chapitre I

II-2-1 Cristallochimie :

Le barytine est le chef de file d'un groupe de minéraux dits isostructuraux, c'est-à-dire qu'ils ont tous une même structure cristallographique, ici orthorhombique, et conséquemment, une formule chimique qui répond à un motif général, ici au terme général $A(SO_4)$, où A peut-être le plomb, le baryum, le strontium ou le chrome.

Tableau I.1: Groupe de la barytine

Minéral	Formule	Groupe ponctuel	Groupe d'espace
Anglésite	$Pb(SO_4)$	<i>Mmm</i>	<i>Pbnm</i>
Barytine	$Ba(SO_4)$	<i>Mmm</i>	<i>Pnma</i>
Célestine	$Sr(SO_4)$	<i>Mmm</i>	<i>Pbnm</i>
Hashemite	$(Ba,Cr)(SO_4)$	<i>Mmm</i>	<i>Pnma</i>

Tableau I.2 : Propriétés chimiques [11]

Formule chimique	$BaSO_4$
Classe cristalline et groupe d'espace	Dipyramidale <i>Pnma</i>
Densité	$4,48g/cm^3$
Couleur	incolore, parfois blanc ,jaune
Système cristallin	Orthorhombique

II-3-la baryte d'Ain Mimoun « khenchela»:

L'Algérie regorge des ressources minérales diverses (Or, phosphate, fer, plomb, zinc , baryte ...) distribuées en gisements et indices selon leur exploitabilité au point de vue technico-économique. Parmi ces ressources minérales, citons la baryte utilisée dans plusieurs domaines tels que le secteur pétrolier comme boue de forage ou comme charge minérale dans l'industrie

Chapitre I

chimique. Le secteur minier compte trois sites exploités pour la baryte à savoir Boukaïd (Tissemsilt) , Ichemoul (Batna), Ain Mimoun (à Khenchela)...

Le minerai de barytine existe dans divers environnements géologiques (sédimentaires ou non sédimentaires). Le gisement de barytine d'Ain Mimoun est un complexe filonien de type hydrothermal, il est situé au flanc nord de l'anticlinal de Khenchela de direction NE-SW, à environ 25 km au sud-ouest de la ville de Khenchela. Il a été découvert en 1968 lors d'une exploration systématique de la région. Durant la période 1972-2005, l'exploration et l'extraction dans la région ont permis la découverte de nouvelles réserves estimées à 5,577 millions de tonnes de minerai de barytine.

Les formations géologiques de la localité d'Ain Mimoun ont un âge Crétacé sont représentées par le (Barrémien, Aptien, Albien, Cénomanién), elles sont coiffées par un Miocène. [12]

Situation Géographique :Le gisement de barytine d'Ain Mimoun est situé sur le territoire de la wilaya deKhenchela, à 28 km à l'ouest de chef-lieu. [13]

II-3-1-Composition chimique du minerai d'Ain Mimoun :

Tableau I.3 :ci-dessus nous montre les déférentes compositions chimiques de la baryte

D'Ain Mimoun.

Minerai	Composition	Densité (g/cm ³)	Dureté	Couleur
Baryte	BaSO ₂	4,4	3,5	Blanche

3-2-La barytine dans le domaine des géo matériaux : [14]

a) Aspect géologique

La barytine est un minéral tendre mais lourd, légèrement teinté de blanc, gris, jaune ou brunâtre. Elle présente un éclat vitreux à nacré. Sa poussière est blanche.

La barytine, dont la formule est **BaSO₄**, est un minéral, extrait brut du sol, de sulfate de baryum (aussi appelé baryte sulfatée). C'est une des principales sources de baryum. Elle est opaque aux rayons X, son véritable nom français est « **barytine** ».

Chapitre I

Les cristaux de barytine peuvent être développés et présenter de belles facettes de forme tabulaire très aplaties, réunies sous le facies de « barytine crêtée ». Mais le plus souvent la barytine se présente en concrétions globulaires ou fibreuses, ou en masses lamellaires plus ou moins translucides, généralement blanches, parfois grisâtres ou jaunâtres. Les barytines fortement colorés sont plus rares : les couleurs rouges, jaune, marron etc., sont dues à des inclusions de matières étrangères : principalement les oxydes de fer, des sulfures et matières organiques.

b) On trouve la baryte :

- Dans les filons de basse température avec calcite, dolomite, fluorine, galène, etc.
- Dans les calcaires, sous forme lenticulaire.
- Dans les grès et les arkoses dont elle est un liant.
- Dans les sources thermales.
- Dans des paléo karsts.
- Dans l'interface entre le socle granitique et la couverture de sédiments ou de retombées volcaniques.
- Dans l'anglésite, minéral, associée au sulfate de plomb ($PbSO_4$), avec des traces de cuivre.
- Dans la Célestine, minéral où la baryte est associée au sulfate naturel de strontium ($SrSO_4$) avec des traces de Calcium. « La Célestine (pôle Strontium) donne un isomorphisme complet avec la baryte (pôle baryum). Elle fait partie du groupe de la Baryte. Paradoxalement la couleur bleu pâle qui semble la caractériser n'est pas la plus couramment rencontrée. »

c) Les principaux gisements de barytine en Algérie :

Des nombreux affleurements de baryte existent en beaucoup d'endroits d'Algérie, particulièrement dans les zones atlasiques: **Aïn Mimoun** (W. Khenchela), **Boucaïd** (W. Tissemsilt), **Mellal** (W. Tlemcen) et **Koudiat Safia** (W. Médéa).

Dont plusieurs sont développés et peu en production, donnant un potentiel de 40.000 t/an, utilisée principalement dans le secteur des forages pétroliers.

Chapitre I

II-3-3-Utilisations de la barytine :

1- Comme charge minérale : La barytine est utilisée dans le papier, les plastiques, les peintures, les vernis. Dans l'industrie pétrolière, elle est employée comme boue lourde pour augmenter la densité des fluides de forages et éviter les fuites des gaz.

2-Comme absorbeur de rayons gamma :Elle peut également entrer dans la composition du béton afin d'augmenter considérablement sa densité et son impénétrabilité aux rayons gamma. Ce type de béton est généralement utilisé pour la construction de bâtiments servant pour des tirs radiologiques, ou certains bâtiments des centrales nucléaires.

3-Comme source de dérivés du baryum : La barytine est l'une des principales sources de baryum. Opaque aux rayons X, ce produit toxique est utilisé en médecine, sous une forme insoluble peu dangereuse (sulfate de baryum), pour visualiser le cheminement du bol alimentaire dans le tube digestif. Il permet ainsi de mettre en évidence des fausses routes ou des fistules.

Le baryum sert aussi de base pour la composition de certains pigments comme le « jaune de baryum » ou « jaune de baryte ». Peut-être pour éviter d'évoquer la toxicité du baryum, ce pigment est parfois improprement dénommé « jaune d'outremer », les outremer étant normalement obtenus à partir d'aluminium et de silicium. Le jaune de baryum est composé de chlorure de baryum, de bichromate de potassium et de sodium .]15[.Ce pigment a été créé par Leclaire et Barruel au début du XIX^e siècle. Il ne semble plus utilisé du fait de sa toxicité et de sa tendance à verdir peu à peu lorsqu'il est exposé à la lumière. Il présenterait aussi des incompatibilités avec certaines couleurs.]16[

La barytine permet aussi la production de carbonate de baryum ($BaCO_3$), utilisé dans la fabrication de verre (télévision, optique) et de glaçures de céramique et porcelaine.]17[

III-Le gypse

III.1-Généralités sur le gypse :

1-Définition :

Le gypse est un minéral composé de sulfate dihydraté de calcium, de formule chimique $CaSO_4 \cdot 2H_2O$, Le même mot gypse désigne aussi une roche évaporite majeure, constituée principalement du minéral gypse. [18]

Le gypse est le minéral sulfaté le plus commun rencontré dans le sous-sol. Ce minéral a une dureté de 1,5 à 2 sur une échelle de 10, ce qui en fait un minéral tendre : il se raye à l'ongle. Il

Chapitre I

est composé d'ions sulfate et calcium associés à deux molécules d'eau donnant la formule chimique $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. Sa densité est de 2,3. On le trouve également sous sa forme déshydratée, l'anhydrite de formule CaSO_4 . Il n'est pas rare que les roches sulfatées soient composées d'un assemblage de gypse et d'anhydrite en proportions variables. [19]

Le gypse est une source précieuse de calcium (Ca) et de soufre (S) pour les plantes et peut offrir des avantages. C'est un minéral très commun obtenu à partir des gisements en surface et souterrains. Il peut être un indicateur des propriétés du sol dans des conditions spécifiques. [22]

2-Propriétés de gypse : [21]

Formule brute : $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

Masse molaire : $172,172302 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$ (H 2,34%, Ca 23,28%, O 55,76%, S 18,62%)

Densité : 2,31-2,33

Température de fusion : Devient de l'hémihydrate de 125 à 130 °C, Devient à 163 °C

Fusibilité : Des feuillets se détachent à la calcination et fondent en libérant de l'eau

Tableau I.4: Propriétés chimiques [22]

Nom	Formule et Composition	Solubilité
Dihydrate (Gypse)	$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ [23% Ca, 18% S, 21% d'eau]	2,05 g/l [5,570 lb/Acre pied]
Anhydrite	CaSO_4 [29% Ca, 23% S]	2,05 g/l
Semi-hydraté	$\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2} \text{H}_2\text{O}$	[redevient du gypse lorsque de l'eau est ajoutée]

3-Composition du gypse : [23]

Le gypse est une roche blanche, d'aspect mat, finement cristallin, tendre (rayable à l'ongle) et de densité 2,3. Quelques traces jaunes de soufre peuvent apparaître. Il est constitué en majeure partie de sulfate de calcium hydraté ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). En France, le gypse est très pur (souvent 98%) et ne nécessite pas de purification lors de son exploitation.

Remarque : Les couches les plus profondes de gypse peuvent perdre leur eau de cristallisation. On obtient alors une roche composée de sulfate de calcium non hydraté (CaSO_4) appelé : Anhydrite.

Chapitre I

ex de composition:

CaSO₄, 2H₂O : 91,5 %

MgCO₃ : 1 %

CaCO₃ : 6 %

Argile et silice : 1,5 %

Le gypse peut cristalliser sous des formes très diverses. En Ile-de-France, les formes les plus courantes, sont le **gypse saccharoïde** (à aspect de sucre) et les cristaux en "**pi d'alouette**" ou "**fer de lance**" qui se forment dans les couches de marnes séparant les masses de gypse.

Galerie :



Figure I.6: les formes connues pour [23]

III.2-Présentation générale : [24]

a- Formation :

Le gypse est une roche sédimentaire dite évaporitique qui se forme au niveau de lagunes de l'eau salée se retrouve piégée et s'évapore rapidement, entraînant des dépôts de calcium et de sulfate. D'un point de vue chimique, on classe cette roche dans les sels.

Le gypse est une forme naturelle hydratée du sulfate de calcium (CaSO₄), qui se forme par dépôts de roches sédimentaires. Il peut également être synthétisé en laboratoire.

Selon son degré d'hydratation, le sulfate de calcium voit son appellation dans le langage courant changer.

Chapitre I

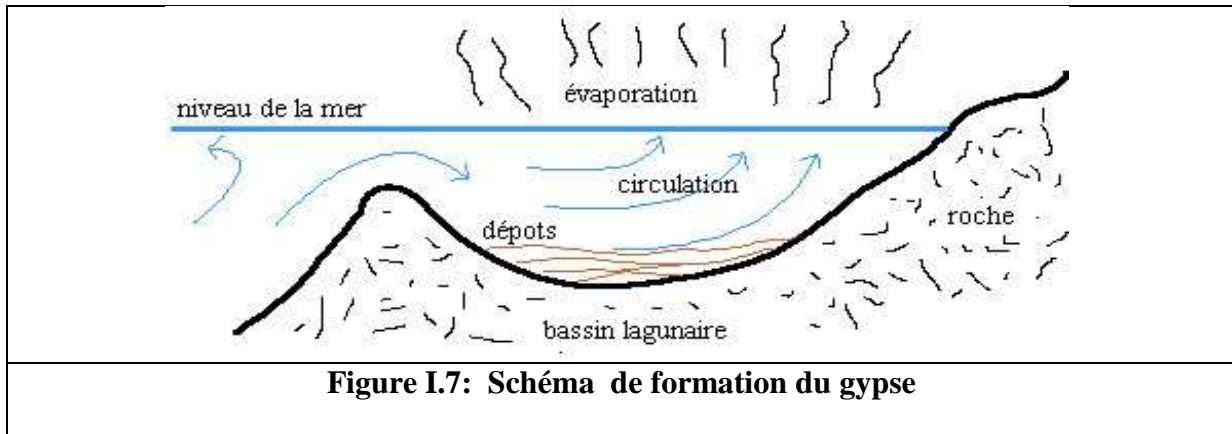


Figure I.7: Schéma de formation du gypse

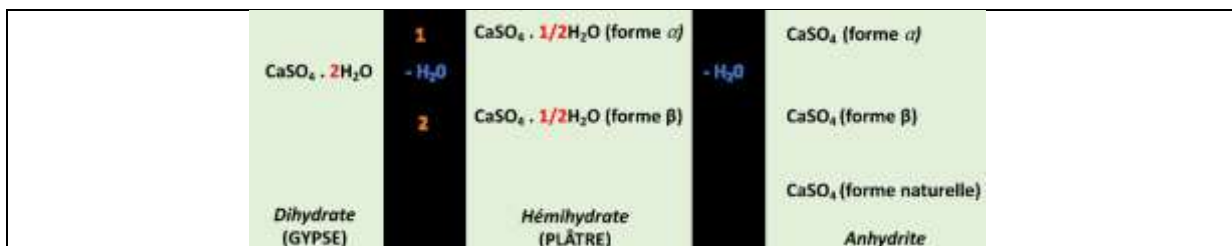


Figure I.8: Schéma explicatif des différents noms selon le degré d'hydratation du sulfate de calcium.

b- Extraction :

Lorsque le gypse est exploité à partir de gisements naturels, celui-ci est extrait sur carrières à ciel ouvert ou sur carrières souterraines, selon son état de recouvrement. Pour des raisons sanitaires le gypse est utilisé à un haut degré de pureté de l'ordre de 99% en industries alimentaires et donc les carrières sont davantage utilisées pour une exploitation destinée à un usage non agroalimentaire.

c- Usages :

Les gisements de gypse sont principalement utilisés dans le secteur du bâtiment pour la fabrication de plâtre. Effectivement, le gypse présente naturellement de bonnes propriétés en matière d'isolation thermique et acoustique, de résistance au feu et de régulation hygrométrique, qui sont particulièrement recherchées pour l'habitat.

Le gypse présente également des bonnes propriétés qui rendent son utilisation intéressante pour l'industrie agroalimentaire. Comme mentionné précédemment, le degré de pureté doit être supérieur ou égal à 99%.

Chapitre I

En outre le gypse est aussi utilisé dans l'alimentation animale en tant que complément alimentaire ; et également en pharmacologie, notamment en tant qu'excipient (substance autre que la molécule active permettant de faciliter la prise du médicament ou déterminant la forme galénique). Finalement, le gypse est aussi présent dans le domaine de la médecine comme substitut osseux et en dentisterie lors de réalisation de modèles d'étude ou bien dans la pâte à empreinte.

Ces différentes utilisations seront expliquées plus en détails dans la suite de notre étude.

III.3- Les sols gypseux :

III.3.1-Définition et dénomination des sols gypseux

1-Gypse

Le gypse constitue la forme la plus répandue du sulfate de calcium dans le sol. [25]

C'est un sel soluble (Sulfate de calcium hydraté) , il peut se déshydrater pour donner d'autres sels. [26]

2-Sols gypseux

Désignent sous-sols gypseux, les sols à teneur Supérieure à 2 % de gypse, nomme gypsisols, les Sols à teneur supérieure à 5 % de gypse.

3-Caractéristiques des sols gypseux

Les propriétés des sols gypseux dépendent largement de la teneur en gypse et de la Position de la croûte gypseuse dans le profil.

III.3.2-Propriétés physiques

a-Texture

La texture des sols gypseux est influencée par la présence de teneurs élevées en Cristaux de gypse. [27]

La distribution du gypse dans les différentes fractions texturales dépend de la teneur Totale en gypse [28].

Le gypse se trouve dans toutes les fractions, mais il est surtout lié au sable grossier et à

La fraction de sable fin (0.005-2 mm) suivi par le limon. [29]

Dans une étude sur les sols gypseux de l'Espagne indique que la texture

Chapitre I

Est liée étroitement à la teneur en gypse. A de faible teneur en cet élément, la texture est déterminée par les matériaux parentaux. Ainsi, l'augmentation des teneurs en gypse engendre,

La formation d'une texture à dominance de sable et de limon en raison d'une cristallisation grossière et par conséquent induit une diminution des teneurs en argile. [30]

b-Structure

La plupart des sols gypseux présentent une faible agrégation,

Par conséquent une structure peu favorable en raison de l'absence de forces d'attractions et de

Cohésions [31], la présente comme une structure massive relativement friable à très massive, parfois in durée avec des cristaux plus ou moins visibles, et parfois Présentant une structure lamellaire grossière. [32]

c-Porosité

A montré que l'augmentation de l'accumulation du gypse dans le sol influence l'espace poral par le remplacement des larges pores, par des pores d'entassement dont le diamètre équivalent maximum est de 20 μm . Ceci est dû au colmatage par les cristaux lorsque le gypse est présent sous forme poudreuse, la porosité est élevée, alors que les croûtes Gypseuses sont dures et présentent une faible porosité. [33]

3 -Classification des sols en fonction du gypse :[34]

Comme toutes les régions arides à l'échelle mondiale, les sols présentent des taux très important de gypse qui est en relation avec la présence des roches sédimentaires gypseuses. Le gypse dessous, transporté à l'état de solution dans les et dans les couvertures pédologiques; ou sous forme solide et transporté par le vent.

Tableau I.5 : Classification des sols en fonction du taux de gypse [34]

Gypse %	Nom de la classe
< 0,3	Non gypseux
0,3 – 10	Légèrement gypseux
10 – 25	Modérément gypseux
25 – 50	Extrêmement gypseux

Chapitre I

III.3.3.Relation sol-eau dans les sols gypseux

1- Rétention en eau

Estime que la rétention en eau des sols gypseux est en fonction du taux d'argile, de la teneur et la dimension des cristaux de gypse. [35]

2-Propriétés chimiques

a-pH

Les gypsisols riches en sable grossier ont des valeurs faibles avec un pH de 7,6 à 7,8 et Les sols affectés par les sels avec une CE de 16 à 18 dS/m ont des valeurs élevées de pH (8,3-8,6). [36], Tous les sols gypseux du Nord de l'Algérie, qu'elle que soit leur teneur en gypse, ont des pH supérieurs à 7. [37]

b-Capacité d'échange cationique (CEC)

La CEC est inversement proportionnelle à la teneur en gypse [38].Elle dépend de la présence de la matière organique, de la texture du sol, alors que la plupart des sols gypseux sont pauvres en matière organique, et les teneurs en argile ne dépassent pas les 20%. [39]

3-Relation gypse-calcaire

Plusieurs travaux ont montré que l'augmentation du taux de gypse entraîne la diminution de la teneur en calcaire et vis versa. Ont présenté la relation suivante :

$CaCO_3 = 23.12 - 0.174 \text{ gypse}$ ou $\text{gypse} = 75.04 - 2.117 CaCO_3$ Pour l'horizon C, le coefficient de corrélation $R^2 = 0.368$. [40]

L'étude microscopique en zone aride de l'Algérie, Montre un envahissement de l'accumulation calcaire par le gypse avec une désintégration et une dilution au niveau de calcaire. Ils pensent que ce phénomène est dû à la pression de cristallisation du gypse qui est de l'ordre de 1,100 Kg/Cm² qui détruit les individualisations calcaires par suite de l'arrivée continue des solutions sulfato- calciques, et leurs précipitations à ce niveau.[41]

IV -sols gypseux en Algérie :

En Algérie, les sols gypseux occupent une superficie de 7966,3 Km² et d'un pourcentage de 3,3% de la surface totale de pays, et 12,2% de la superficie totale des sols gypseux du monde. Globalement, la présence des sols gypseux en Algérie est signalée dans les régions suivantes : Oran, Mostaganem, Saida, Tiaret, Ksar-Echellala, Djelfa, Msila, les Bordures des chotts et des Zahrez, Boussaâda, Hodna, Mechria, El-Bayad, Khenchela, Batna, Adrar, Ouargla, Ain sefra, Laghouat, Biskra, El-Oued et Touggourt.[42]

Chapitre I

1- Dans la région d'Ouargla

Les sols gypseux se trouvent dans la partie Est (aux bords des chotts et des sebkhas) et sud (plateau) de la cuvette d'Ouargla. Ils s'étendent sur une superficie d'environ 4578 ha, ce qui représente 19 % de la superficie de la cuvette. [43]

2-Le gypse de khenchela :

-Emplacement géographique de khenchela : [44]

La province de Khenchela est située dans la région nord - est des Aurès algériennes et s'étend sur une superficie de 7159 km² et une population de 415 222 personnes réparties sur les 21 communes regroupées en 28 cercles.

- Il se caractérise par un climat continental diversifié (des hivers très rigoureux, des étés modérés dans les régions montagneuses centrales, aux hivers doux, aux étés chauds, dans les plaines désertiques du sud et aux hivers très froids, aux étés chauds, dans les hautes plaines du sud). le nord.
- C'est une zone à caractère agricole, forestier et pastoral, et parmi les activités économiques les plus importantes de cet état: culture de céréales et d'arbres fruitiers, pépinières, élevage de bétail, élevage de volailles et production d'aliments pour animaux.
- Elle dispose également d'un réseau routier de 888 1 km qui la relie aux états: Batna, Oum El Bouaghi, Tebessa et Biskra, et le transport routier reste le seul moyen de transport et de mobilité.
- Le tissu commercial de l'Etat de Khenchela connaît plusieurs activités commerciales, avec un nombre estimé de commerçants inscrits au registre du commerce par 64 : 815commerçants.
- Il est considéré comme l'un des États riches en ressources minérales, ferrifères et forestières. Quant au tissu industriel, il est quasiment inexistant, de sorte que l'État dispose de)zones d'activité (en construction) et d'une zone industrielle ,en plus de l'industrie et de l'artisanat traditionnels.

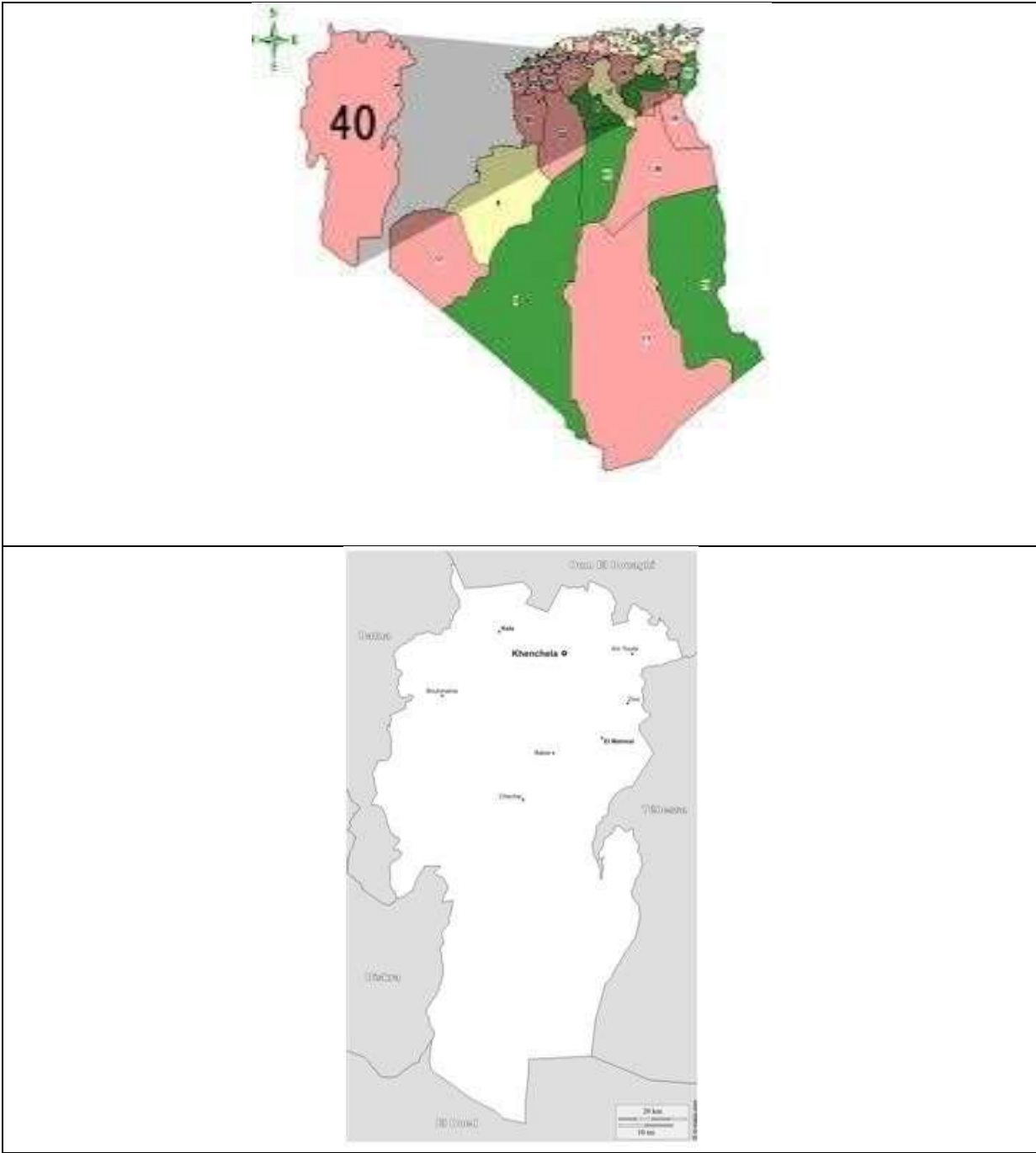


Figure I.9: : Wilaya de kenchela

<https://i.pinimg.com/originals/d8/1e/51/d81e510d2ce8e1b4dd50491a9cf4e3d3.gif>

Chapitre I

2.5- Le gypse de kenchela (chechar-siar) :

La municipalité de chechar contient beaucoup de métaux, situés dans ses zones de montagne, notamment de gypse, Surtout dans zone de la siar.



Figure I.10:Emplacement géographique pour siar-chechar

Quelques photos du gypse que nous avons pris de la montagne Siar-chechar



Figures I-11: Le gypse de Chechar-Siar

Chapitre I

Conclusion :

Nous avons parlé de ce travail sur le gypse en général, nous savions ce concept était et certaines des caractéristiques de la façon d'être traitée et utilisées, Nous avons également mentionné des zones ou le gypse en Algérie, non seulement des gypse ,mais nous avons parlé du baryte en général et du baryte en Algérie, en particulier dans la région de Ain Mimoun – kenchela,nous avons donc fait notre travail avec des information sur le gypse et la baryte dans notre pays.



CHAPITRE II

Chapitre II

II .1. Introduction :

La spectrométrie infrarouge est utilisée pour caractériser les composés organiques et inorganiques. Elle saisit seulement les mouvements (vibrations par exemple) des atomes les uns par rapport aux autres. Elle connaît un regain d'intérêt avec l'apparition des spectromètres à transformée de Fourier. L'analyse des produits inorganiques peut se faire de manière très efficace, sur de faibles quantités par micro-prélèvement (~30 mg), à condition d'avoir des produits soigneusement broyés. L'utilisation d'un support en bromure de césium (CsBr de l'ordre de 100mg) et d'un spectromètre allant dans l'infrarouge lointain jusqu'à 200cm^{-1} , un support de bromure de potassium (KBr) peut aller vers 400cm^{-1} . Ainsi on peut identifier la plupart des produits inorganiques, qu'ils soient amorphes, mal ou bien cristallisés. Le domaine de signature des matériaux (oxydes, carbonates, sulfates, ou autres) se situe entre ~ 1500 et 200 cm^{-1} , cette partie du spectre FTIR est nommée finger-print. Ce qui permet d'avoir des informations très utiles. Cette technique d'analyse complète ainsi les informations obtenues à partir des méthodes d'analyses dites classiques telles que la diffraction des rayons X ou la microscopie électronique à balayage. La conjugaison de tous les résultats expérimentaux permet de voir, d'analyser et d'affiner au mieux la structure des matériaux.

Le travail qui suit donne la démarche à suivre lors d'un travail expérimental de spectroscopie FTIR, nous avons choisi des produits de biologie, des carbonates, des phosphates, des sulfates, des oxydes, des hydroxydes, etc....

Les résultats et les interprétations des analyses seront résumés sur un spectre synthétique qui cloturera ce chapitre.

Chapitre II

2. Les rayonnements électromagnétiques

2-1. Définition :

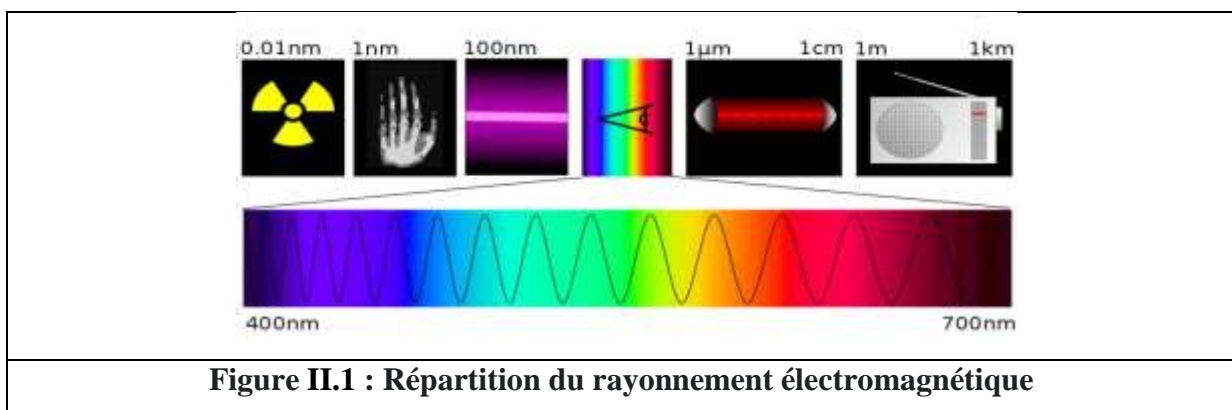
Le rayonnement électromagnétique désigne une forme de transfert d'énergie linéaire. La lumière visible est un rayonnement électromagnétique, mais ne constitue qu'une petite tranche du large spectre électromagnétique [1]. La propagation de ce rayonnement, d'une ou plusieurs particules, donne lieu à de nombreux phénomènes comme l'atténuation, l'absorption, la diffraction et la réfraction, le décalage vers le rouge, les interférences, les échos, les parasites électromagnétiques et les effets biologiques .[2]

Le rayonnement électromagnétique peut être décrit de manière corpusculaire comme la propagation de photons (boson vecteur de l'interaction électromagnétique), ou de manière ondulatoire comme une onde électromagnétique. Il se manifeste sous la forme d'un champ électrique couplé à un champ magnétique.

La lumière désigne un rayonnement électromagnétique visible par l'œil humain. Les ondes radio, les rayons X et γ sont également des rayonnements électromagnétiques.[3]

Du fait de la dualité onde-corpuscule, les rayonnements électromagnétiques peuvent se modéliser de deux manières complémentaires :

- onde électromagnétique : le rayonnement est la propagation d'une variation des champs électriques et magnétiques ; un spectrographe permet de décomposer cette onde en ondes monochromatiques de longueurs d'onde λ et fréquences différentes ν que l'on peut analyser ensuite ;
- photon : la mécanique quantique associe aux modes normaux de la radiation électromagnétique monochromatique un corpuscule de masse nulle et de spin 1 nommé photon dont l'énergie est où $E = h \nu$ est la ' h ' constante de Planck.



Chapitre II

En partant des ondes les plus énergétiques, on distingue successivement :[4]

- **Les rayons gamma (γ)** : ils sont dus aux radiations émises par les éléments radioactifs.
Très énergétiques, ils traversent facilement la matière et sont très dangereux pour les cellules vivantes.
Leurs longueurs d'onde s'étendent d'un centième de milliardième (10^{-14} m) à un milliardième (10^{-12} m) de millimètre.
- **Les rayons X** : rayonnements très énergétiques traversant plus ou moins facilement les corps matériels et un peu moins nocifs que les rayons gamma, ils sont utilisés notamment en médecine pour les radiographies, dans l'industrie (contrôle des bagages dans le transport aérien), et dans la recherche pour l'étude de la matière (rayonnement synchrotron).
Les rayons X ont des longueurs d'onde comprises entre un milliardième (10^{-12} m) et un cent millième (10^{-8} m) de millimètre.
- **Les ultraviolets** : rayonnements qui restent assez énergétiques, ils sont nocifs pour la peau. Heureusement pour nous, une grande part des ultraviolets est stoppée par l'ozone atmosphérique qui sert de bouclier protecteur des cellules.
Leurs longueurs d'onde s'échelonnent d'un cent millième (10^{-8} m) à quatre dixièmes de millième ($4 \cdot 10^{-7}$ m) de millimètre.
- **Le domaine visible** : correspond à la partie très étroite du spectre électromagnétique perceptible par notre œil. C'est dans le domaine visible que le rayonnement solaire atteint son maximum ($0,5 \mu\text{m}$) et c'est également dans cette portion du spectre que l'on peut distinguer l'ensemble des couleurs de l'arc en ciel, du bleu au rouge.
Il s'étend de quatre dixièmes de millième ($4 \cdot 10^{-7}$ m) - *lumière bleue* - à huit dixièmes de millième ($8 \cdot 10^{-7}$ m) de millimètre - *lumière rouge*.
- **L'infrarouge** : rayonnement émis par tous les corps dont la température est supérieure au zéro absolu (-273°C).
En télédétection, on utilise certaines bandes spectrales de l'infrarouge pour mesurer la température des surfaces terrestres et océaniques, ainsi que celle des nuages.
La gamme des infrarouges couvre les longueurs d'onde allant de huit dixièmes de millième de millimètre ($8 \cdot 10^{-7}$ m) à un millimètre (10^{-3} m).
- **Les ondes radar ou hyperfréquences** : Cette région du spectre est utilisée pour mesurer le rayonnement émis par la surface terrestre et s'apparente dans ce cas à la

Chapitre II

téledétection dans l'infrarouge thermique, mais également par les capteurs actifs comme les systèmes radar.

Un capteur radar émet son propre rayonnement électromagnétique et en analysant le signal rétrodiffusé, il permet de localiser et d'identifier les objets, et de calculer leur vitesse de déplacement s'ils sont en mouvement. Et ceci, quel que soit la couverture nuageuse, de jour comme de nuit.

Le domaine des hyperfréquences s'étend des longueurs d'onde de l'ordre du centimètre jusqu'au mètre.

- **Les ondes radio** : Ce domaine de longueurs d'onde est le plus vaste du spectre électromagnétique et concerne les ondes qui ont les plus basses fréquences. Il s'étend des longueurs d'onde de quelques cm à plusieurs km.

Relativement faciles à émettre et à recevoir, les ondes radio sont utilisées pour la transmission de l'information (radio, télévision et téléphone). La bande FM des postes de radio correspond à des longueurs d'onde de l'ordre du mètre. Celles utilisées pour les téléphones cellulaires sont de l'ordre de 10 cm environ.

Contrairement à l'œil humain qui n'est capable de capter le rayonnement que dans une fenêtre très étroite du spectre électromagnétique, celle correspondant au domaine du visible (longueurs d'onde comprises entre $0,4\mu\text{m}$ et $0,7\mu\text{m}$), les capteurs satellitaires utilisent une fraction beaucoup plus étendue du spectre.

Trois fenêtres spectrales sont principalement utilisées en télédétection spatiale :

- Le domaine du visible
- Le domaine des infrarouges (proche IR, IR moyen et IR thermique)
- Le domaine des micro-ondes ou hyperfréquences (pas abordé ici, même si elles ont une importance considérable en télédétection RADAR notamment)

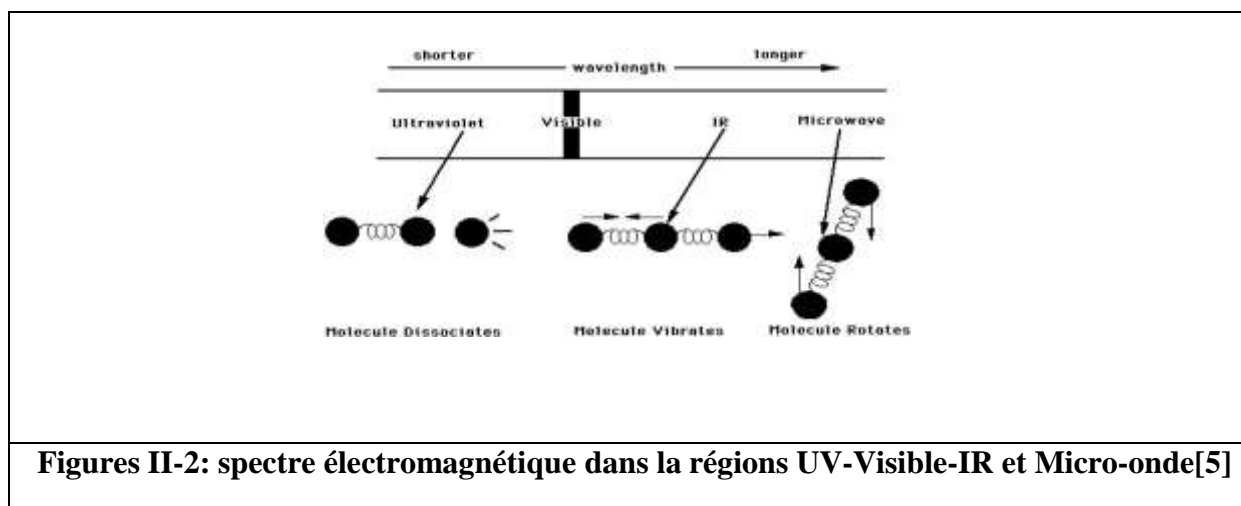
Certains capteurs, peu nombreux, permettent de mesurer l'énergie du rayonnement ultraviolet. Ils sont utilisés principalement en astronomie pour l'étude des atmosphères planétaires ou pour mesurer la quantité d'UV atteignant la surface terrestre. En télédétection aérienne, le rayonnement proche UV 250 - 350 nm est utilisé pour des applications en océanographie, notamment pour l'identification et la cartographie des nappes d'hydrocarbures.

Chapitre II

2-2. Rappel, sur la technique FTIR

C'est une technique d'analyse simple à mettre en œuvre, une technique très riche en informations et très performante, aussi peu onéreuse. L'infrarouge est une onde électromagnétique de fréquence inférieure à celle de la lumière rouge (visible), sa longueur d'onde de l'infrarouge est comprise entre 780 nm et 1 000 000 nm. La spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier (FTIR) est basée sur l'absorption d'un rayonnement infrarouge par le matériau analysé.

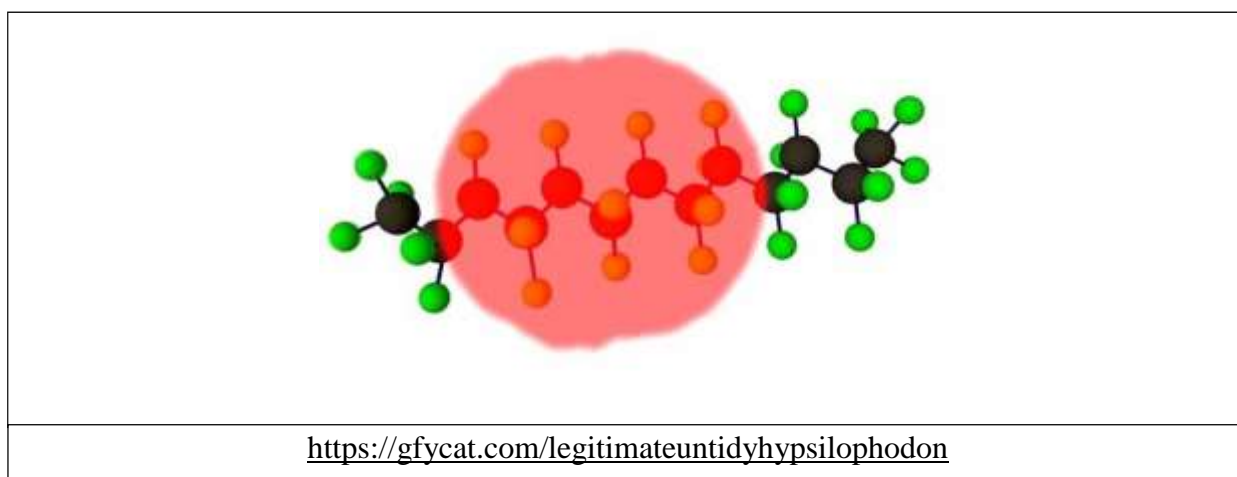
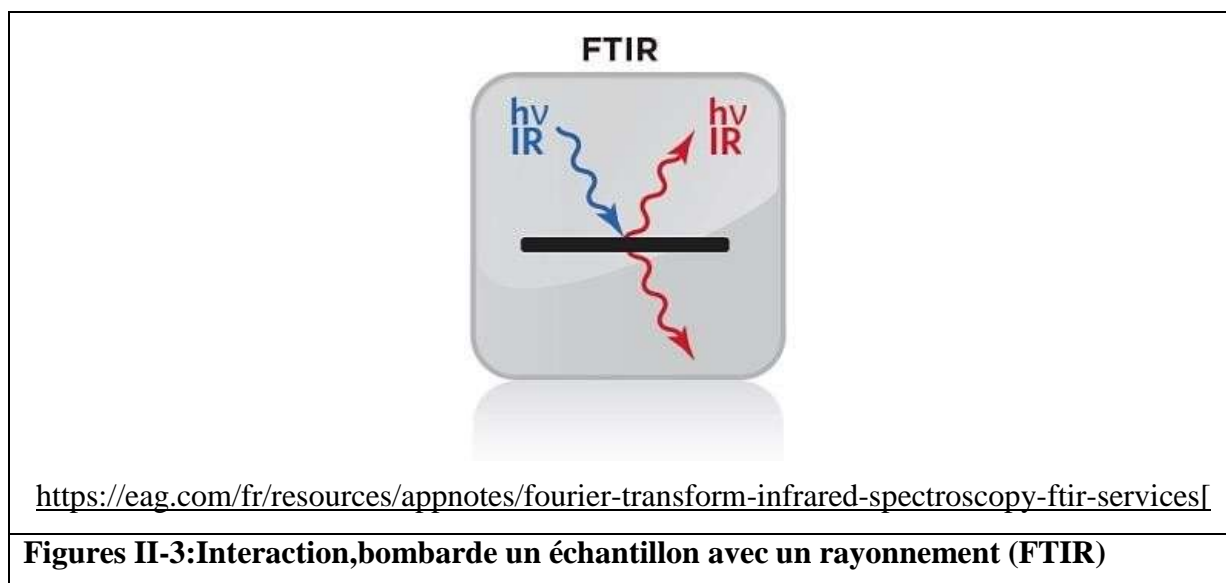
La spécification infrarouge est basée sur le fait que les fréquences infrarouges sont suffisamment actives pour forcer les liaisons à se plier et à s'étirer, plutôt que de simplement se casser ou tourner.



Figures II-2: spectre électromagnétique dans la régions UV-Visible-IR et Micro-onde[5]

- En travaillant dans la partie UV, nous pouvons dissocier les molécules.
- En travaillant dans la partie IR, on provoque des vibrations dans les molécules.
- En travaillants avec des photons dans le domaine Micro-onde, on provoque la rotation des molécules.

Chapitre II



Lorsqu'on bombarde un échantillon avec un rayonnement (FTIR), ces ondes peuvent être réfléchies, transmises, et aussi absorbées. L'absorption de l'onde (IR) provoque les vibrations dans le réseau. Elle permet via la détection des vibrations caractéristiques des liaisons chimiques d'effectuer l'analyse des molécules chimiques existantes dans le matériau. Lorsque la longueur d'onde sera proche de l'énergie de vibration de la molécule, alors celle-ci va absorber le rayonnement IR, il y aura donc diminution de l'intensité réfléchié ou transmise.

Le principe est d'envoyer à travers l'échantillon un faisceau infrarouge (domaine infrarouge entre 4000 cm^{-1} et 400 cm^{-1} (2.5 – 25 μm) correspondant au domaine d'énergie de vibration des molécules). [6]

Chapitre II

2.3-L'infrarouge

Définition :

L'infrarouge est une onde électromagnétique, dont le nom signifie « en dessous du rouge » (du latin *infra* : « plus bas »), car ce domaine prolonge le spectre visible du côté du rayonnement de fréquence la plus basse, qui apparaît de couleur rouge. La longueur d'onde dans le vide des infrarouges est comprise entre le domaine visible ($\approx 0,7 \mu\text{m}$) et le domaine des micro-ondes (0,1 mm) [7]. La Commission électrotechnique internationale estime que l'infrarouge s'étend de 780 nm à 1 mm. [8]

L'infrarouge est associé à la chaleur car, à température ambiante ordinaire, les objets émettent spontanément un rayonnement thermique dans le domaine infrarouge. La loi de Planck fournit un modèle de ce rayonnement pour le corps noir. La loi du déplacement de Wien donne la longueur d'onde du maximum d'émission du corps noir à la température absolue T (en kelvin) : $0,002898/T$. À une température ambiante ordinaire, T aux environs de 300 K), le maximum d'émission se situe aux alentours de $10 \mu\text{m}$. Les transferts thermiques se font aussi par conduction dans les solides et par convection dans les fluides.

Le spectre d'un rayonnement infrarouge n'est pas nécessairement celui du corps noir ; c'est le cas, par exemple, de celui des diodes électroluminescentes utilisées dans les télécommandes.

L'analyse scientifique et technique de ces rayonnements est dénommée spectroscopie infrarouge.

3. Théorie de la spectroscopie Infra Rouge

Le rayonnement électromagnétique a la capacité d'interagir avec la matière et d'échanger de l'énergie, donnant ainsi naissance à un spectre d'absorption.

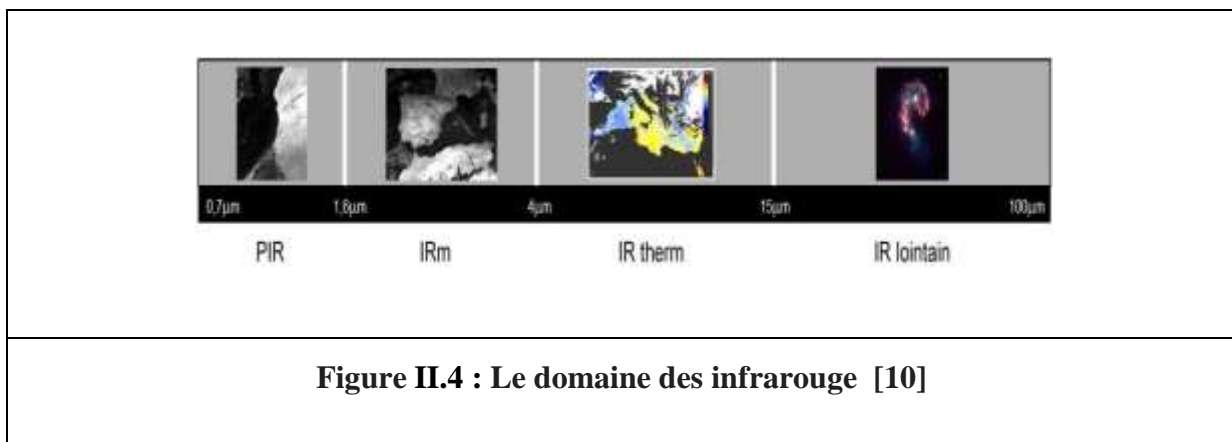
Dans les spectroscopies vibrationnelles, auxquelles appartient le NIR et le MIR, les interactions se traduisent par le transfert de l'énergie du rayonnement vers l'énergie mécanique associée principalement à la vibration des atomes dans les liaisons chimiques (vibrations d'étirement et de flexion).

La région NIR se trouve le plus près de la région de la lumière visible et comprend la gamme de longueur d'onde de $\sim 780 \text{ nm}$ à 2500 nm (nombre d'ondes: $1280\text{-}4000 \text{ cm}^{-1}$). La région MIR couvre la gamme de longueur d'onde supérieure de 2500 à $15\,000 \text{ nm}$ (nombre d'ondes: $4000\text{-}660 \text{ cm}^{-1}$).

Chapitre II

L'infrarouge lointain (FIR) est la gamme de 15 000 nm à 100 000 nm (nombre d'ondes: 660-10 cm⁻¹), Les transitions d'énergie vibratoire sont expliquées à partir des modèles d'oscillateur harmonique et anharmonique, qui tous deux considèrent le cas simple d'une molécule diatomique. Seul le modèle d'oscillateur anharmonique est valide pour les molécules réelles. [9].

3.1-Le domaine de l'infrarouge est relativement étendu puisqu'il couvre les longueurs d'onde de 0,7µm à 100µm. Dans cette fourchette de longueurs d'onde, on distingue généralement **quatre** types d'infrarouges qui vont du proche infrarouge à l'infrarouge lointain, en passant par l'infrarouge moyen et le thermique.[10]



- Le proche infrarouge :

Le proche infrarouge (0.7µm à 1,6µm) est la partie du spectre électromagnétique qui vient juste après le visible (couleur rouge). Comme pour le visible, ce que le radiomètre mesure dans le proche infrarouge, c'est une luminance correspondant au rayonnement solaire réfléchi par la surface terrestre.

Ce domaine du spectre électromagnétique est très utilisé en télédétection pour différencier les surfaces naturelles qui se caractérisent par de très importantes variations de la réflectance à cette longueur d'onde. Il permet également l'étude des surfaces continentales, et notamment de distinguer les surfaces végétalisées des surfaces minérales car les surfaces couvertes par la végétation se distinguent par une forte réflectance dans les longueurs d'onde du proche infrarouge, alors qu'elles réfléchissent peu le rayonnement dans le visible.

- L'infrarouge moyen :

L'infrarouge moyen (1,6µm à 4µm) permet de façon générale d'étudier les teneurs en eau des surfaces. Il est très utilisé en foresterie et en agriculture, notamment pour cartographier les

Chapitre II

couverts végétaux en état de stress hydrique. L'atmosphère est en grande partie opaque aux rayonnements du moyen infrarouge qui sont absorbés par la vapeur d'eau. Seules quelques fenêtres atmosphériques permettent la transmission du rayonnement. Elles sont centrées sur les longueurs d'onde $2,5\mu\text{m}$, $3,5\mu\text{m}$ et $5\mu\text{m}$.

- L'infrarouge thermique :

Dans ce domaine spectral ($4\mu\text{m}$ à $15\mu\text{m}$), le rayonnement dépend des propriétés d'émissivité des surfaces et les capteurs satellitaires mesurent la température apparente des objets. En effet une partie du rayonnement visible et proche infrarouge parvenant à la surface de la terre est absorbée par les objets, puis réémise sous forme de chaleur à une plus grande longueur d'onde.

- L'infrarouge lointain :

L'infrarouge lointain ($15\mu\text{m}$ à $100\mu\text{m}$) n'est utilisé ni pour l'observation de la terre, ni pour l'étude de l'atmosphère, mais pour étudier la formation des galaxies et des étoiles. Les détecteurs, appelés bolomètres utilisent cette gamme de longueurs d'onde pour mesurer l'intensité du rayonnement infrarouge émis par les corps célestes.

Le capteur SEVIRI de MSG ne comporte pas de bandes spectrales dans ce domaine des infrarouges.

Ces grandeurs étant caractéristiques de la molécule, en analysant des radiations absorbées par l'échantillon on peut donc identifier les transitions entre niveaux d'énergie et en déduire des informations sur la structure de cette molécule.[11]

Remarque

Dans le domaine infrarouge moyen les bandes d'absorption ou de réflexion sont normalement dues aux divers groupements atomiques des minéraux. Les spectres dans l'infrarouge moyen d'un minéral apportent toujours des informations importantes sur les groupements fonctionnels qui le constituent. La plupart des bandes caractéristiques des minéraux se rencontrent dans la zone moyenne du spectre infrarouge. De ce fait, les recherches sur les minéraux et les gammes sont nombreuses dans ce domaine .[12]

4- Vibration d'une molécule polyatomique :

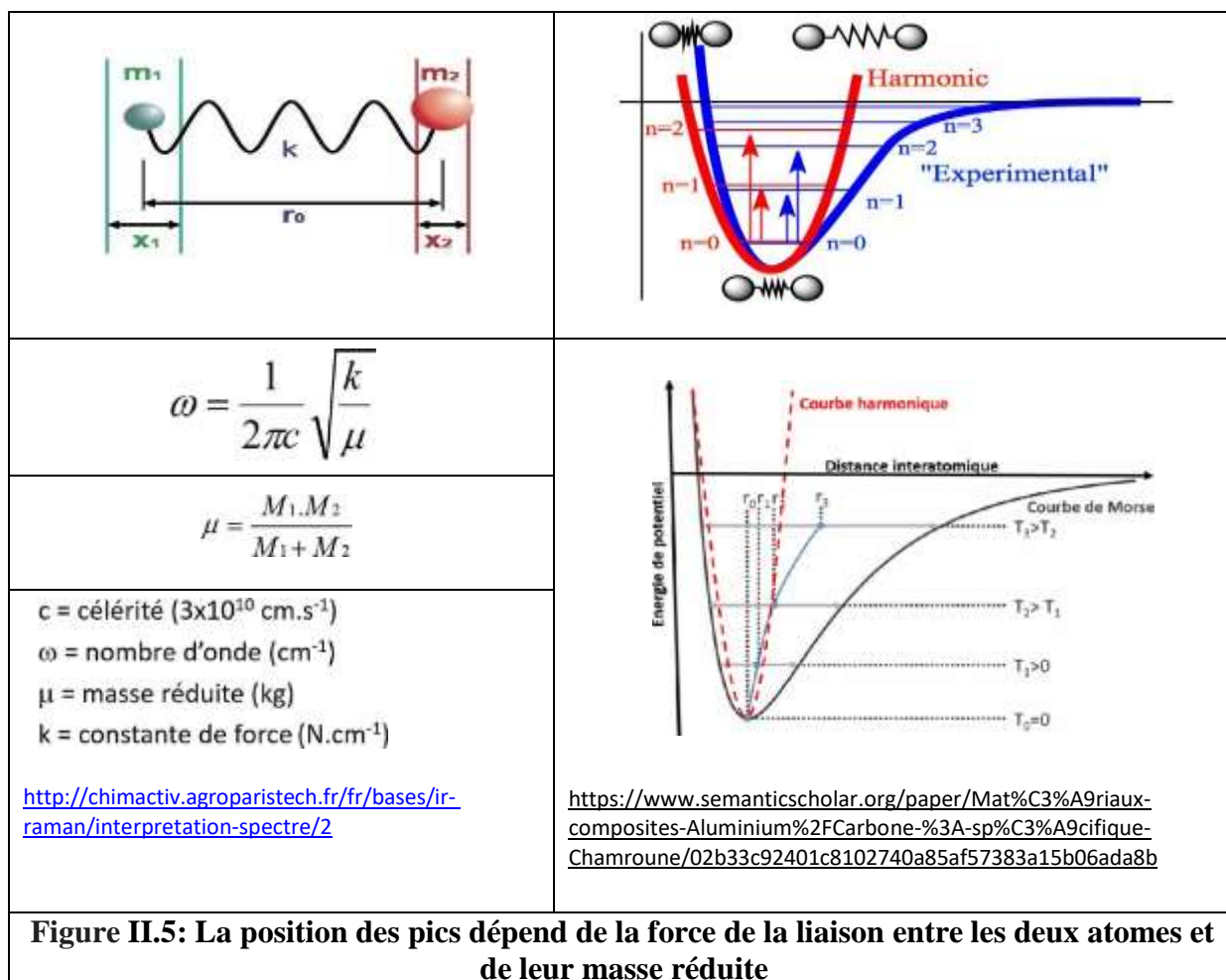
L'absorption infrarouge par une molécule poly-atomique se traduit par deux types de vibration :

Chapitre II

La vibration d'élongation, Et la vibration de déformation (variation d'un angle de valence).

Une molécule peut être modélisée comme un ensemble d'oscillateurs couplés mécaniquement. Lorsqu'une radiation I.R. excite un des oscillateurs, tous les oscillateurs sont excités en même temps. De fait, les atomes de la molécule vont donc vibrer autour de leur position d'équilibre avec la même fréquence.

La position des pics dépend de la force de la liaison entre les deux atomes et de leur masse réduite :



L'absorption infrarouge par une molécule polyatomique se traduit par deux types de vibration : la vibration d'élongation (vue précédemment) et la vibration de déformation (variation d'un angle de valence).

Une molécule peut être modélisée comme un ensemble d'oscillateurs couplés mécaniquement. Lorsqu'une radiation I.R. excite un des oscillateurs, tous les oscillateurs sont

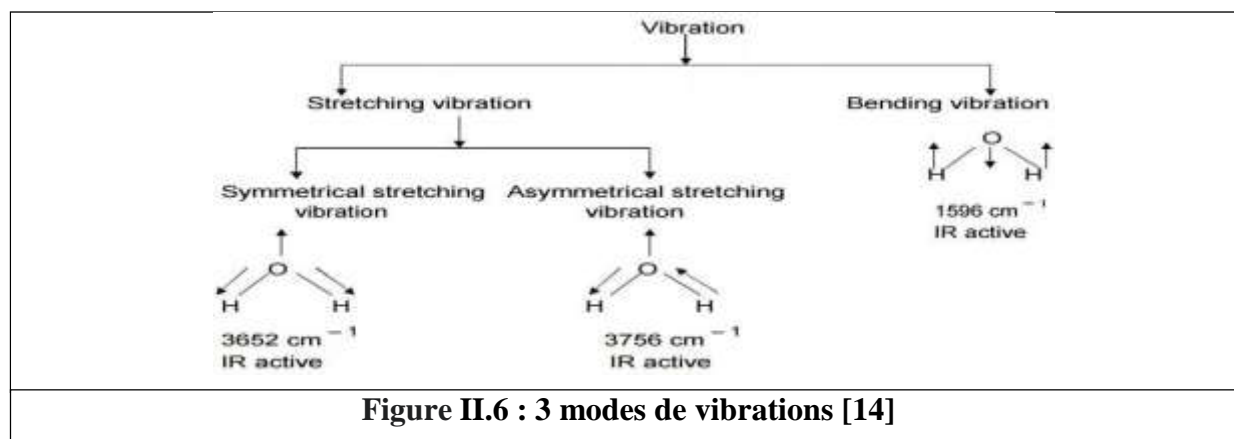
Chapitre II

excités en même temps. De fait, les atomes de la molécules vont donc vibrer autour de leur position d'équilibre avec la même fréquence. On dénombrera donc plusieurs modes normaux de vibration correspondant chacun aux vibrations d'ensemble de la molécule.

Soit une molécule possédant N atomes. Il faut 3N coordonnées pour repérer les différentes positions des atomes de cette molécule (on dit qu'elle possède 3 N degrés de liberté). On aura donc au maximum 3 N - 6 modes de vibrations normaux.

En effet, sur les 3 N degrés de liberté, 3 sont utilisés pour repérer la translation du centre d'inertie de la molécule, et 3 pour repérer les rotations du système autour de celui-ci.[13]

Exemples : Pour une molécule coudée comme H₂O (N = 3) : il y aura 3 modes de vibrations normaux soit 3 fréquences de vibration possibles.



- les vibrations d'élongation symétriques : les atomes liés s'approchent ou s'éloignent de façon symétrique ;
- les vibrations d'élongation antisymétriques : de même mais cette fois-ci lorsqu'une liaison est comprimée, l'autre est étirée ;
- les vibrations de déformation d'angle

En spectrométrie, la **transmittance (T)** est liée à l'**absorbance (A)** par :

- **T = 10^{-A}**
- **C'est-à-dire A = - Log(T)**

L'absorbance :

L'absorbance mesure la capacité d'un milieu à absorber la lumière qui le traverse. On utilise aussi les termes densité optique, opacité ou extinction selon les domaines avec des expressions mathématiques qui diffèrent légèrement.

Chapitre II

En photographie, l'opacité O désigne, dans le cas d'une observation par transmission, l'inverse du coefficient de transmission T , alors également nommé transparence, ou, dans le cas d'une observation par réflexion, l'inverse de la réflectance ρ :

En spectrophotométrie, notamment dans le domaine des mesures de concentrations chimiques, l'absorbance A est le logarithme décimal du rapport entre l'intensité énergétique I_0 à une longueur d'onde donnée, avant traversée du milieu, et l'intensité énergétique transmise I :

$$A = \log_{10} \frac{I_0}{I} = \log_{10} T = \log_{10} O$$

L'absorbance diffère selon la nature de la substance étudiée, selon la longueur d'onde sous laquelle elle est analysée, et selon la concentration de cette substance dans le milieu traversé. Ce milieu peut être solide, liquide ou gazeux, pour autant qu'il soit transparent. Elle est couramment mesurée par un spectrophotomètre. Elle prend théoriquement une valeur entre 0 et l'infini, mais techniquement il n'est pas aisé de mesurer un rapport supérieur à 1 000. Les spectrophotomètres usuels ne donnent donc pas de valeur d'absorbance supérieure à 3. Pour étudier une substance fortement absorbante, il faut donc en diminuer l'épaisseur ou la concentration.[15]

5- La technique FTIR

- La technique FTIR a été utilisée dans les modes d'absorbance dans la gamme de 200-4000 cm^{-1} . Dans le cas des oxydes (par exemple) il est impératif d'avoir toutes les bandes de fréquences caractéristiques entre 200 et 1000 cm^{-1} . L'appareil est équipé d'un système permettant la réduction des cours d'optique dans l'air afin de minimiser les perturbations associées à l'air ambiant (vapeur d'eau et de CO_2). La spectroscopie utilisée pour obtenir le spectre d'absorption, ou de transmission d'un échantillon solide, liquide ou gazeux. Elle permet via la détection des vibrations caractéristiques des liaisons chimiques, d'effectuer l'analyse des fonctions présentes dans le matériau. Les spectres IR ont été obtenus en utilisant un spectromètre Perkin-Elmer (figure) à une résolution de 8cm^{-1} . Pour chaque échantillon, 120 scans ont été utilisés. L'incertitude sur la position des différents pics est égale à $\pm 2 \text{ cm}^{-1}$.

5.1. Mode opératoire et accessoires de spectroscopie FTIR

10-100 mg d'oxydes, hydroxyde, sulfure ou carbonate sont prélevés (poudre, ou oxyde grattée).

Chapitre II

La poudre est mélangée (pendant au moins une minute) dans un mortier en Agathe avec ~100 mg de KBr,

Le mélange est introduit dans le moule avant pastillage,

Le mélange a été ensuite comprimé-pastillé dans presse hydraulique (à une pression de 10 Tonnes),

La pastille est ensuite extraite du moule pour être placée dans un porte échantillon

L'appareillage analyse préalablement un spectre background relatif à l'atmosphère qui régné dans la salle d'analyse,

Une fois l'échantillon placé dans l'appareil,

Les spectres de transmission ont été obtenus, après une 20 de secondes. Tous les spectres infrarouges sont des rapports d'absorbance ($A = -\log\left(\frac{I}{I_{\text{zéro}}}\right)$) en fonction des nombres d'ondes incidentes.

5-2. Les principaux accessoires utilisés lors de la réalisation de pastilles KBr, et jusqu'à l'analyse :



Figures II-6: accessoires pour préparation de pastille KBr

Chapitre II



Presse pour pastillage



Cadran de lecture de la pression indiquant ~10 t appliquée lors du pastillage



Pastille KBr sur le moule



Pastille KBr sur le mortier



figures II-7: Exemple de pastilles

Chapitre II



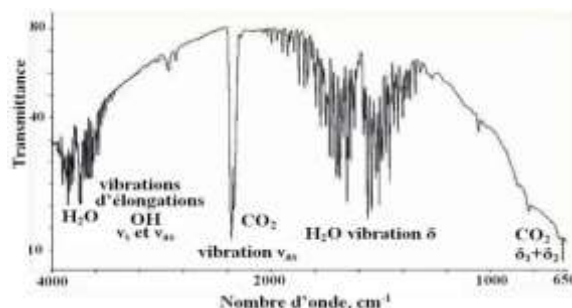
En photographie, la densité optique D est équivalente à l'absorbance en spectrométrie, mais toujours mesurée dans le domaine visible, soit sur l'ensemble du spectre, soit d'une longueur d'onde donnée. Elle est plus souvent définie à partir de la transmittance :

$$D = -\log_{10} T = \log_{10} O$$

Elle est utilisée pour caractériser les filtres colorés, les filtres correcteurs de température de couleur ou les filtres à densité neutre mais aussi la transparence d'une pellicule photographique développée.[16]

Chapitre II

5-3. Enregistrement du spectre Background



Figures II-9: Exemple de background enregistré

préalablement à l'analyse FTIR [17]

Sur le spectre enregistré, on repère 3 bandes d'absorption significatives qui correspondent aux vibrations actives dans l'IR de la vapeur d'eau et du dioxyde de carbone.

Mode de vibration prévu	Nombre d'onde (cm ⁻¹)	Vibration active ou inactive en IR
vs : vibration d'élongation symétrique (longueurs des liaisons OH variant en phase)	3652	Active
vas vibration d'élongation assymétrique (longueurs des liaisons variant en opposition de phase)	3756	Active
δ : vibration de déformation (faisant varier l'angle HOH)	1595	Active

Elles comprennent de nombreuses raies qui seront ici attribuées à des transitions vibrationnelles (enregistrées seulement en phase gazeuse). La bande située près de 2400 cm⁻¹ est due à la vibration d'élongation assymétrique de la molécule de CO₂, une meilleure résolution montrerait également une structure fine avec raies.

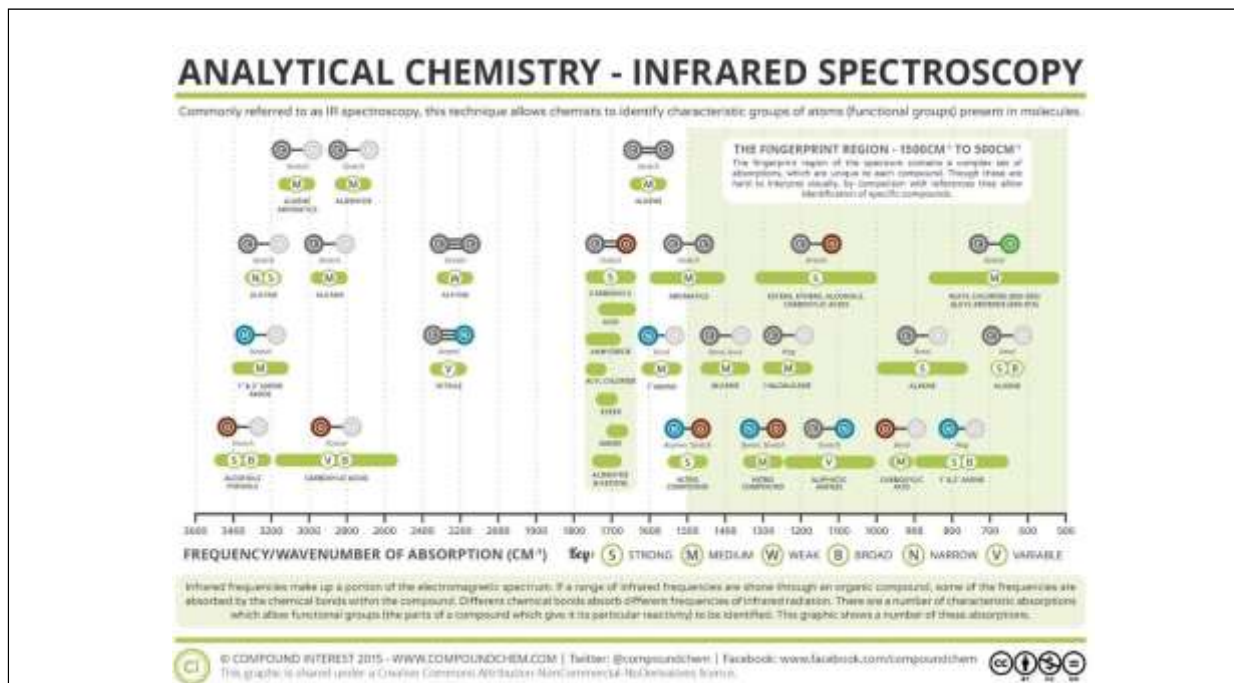
Chapitre II

6- Groupes fonctionnels :

6.-1.Définition des groupes fonctionnels :

Les groupes fonctionnels font référence à des atomes spécifiques liés dans un certain arrangement qui confèrent à un composé certaines propriétés physiques et chimiques.[17]

Tableau II-1 : récapitulatif des groupes fonctionnels, et spectre infrarouge .[18]



Fingerprint : en 200-2000 cm⁻¹, partie du spectre Infrarouge très caractéristique de l'échantillon.

Groupes fonctionnels : en 2700-4000, qui contaminent l'échantillon et qui peuvent exister soit en grande quantité ou en faible quantité selon la spécificité de chaque échantillon- (Exemple : hydrophobe, hydrophyle).

Exemple des produits les plus concernent retrouve dans le spectre FTIR :

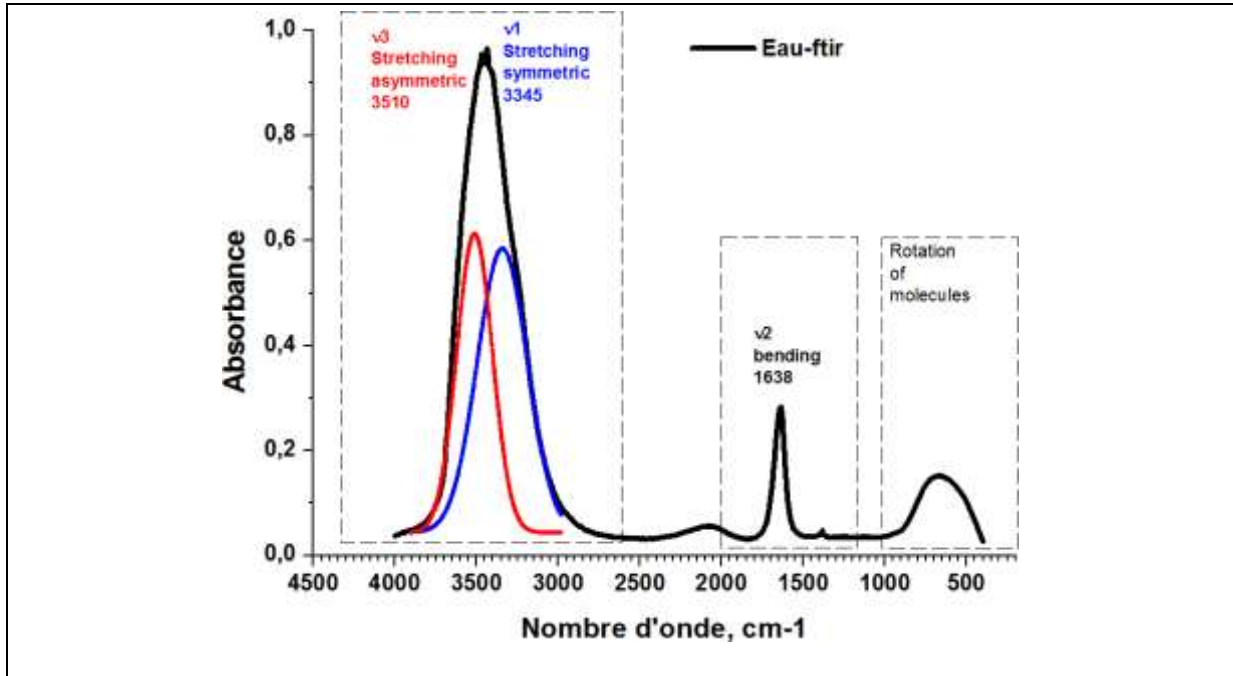
-Eau : 1640, 3240,3490.

- CHn : CH₂et CH₃ Alkanes.

- CO₂

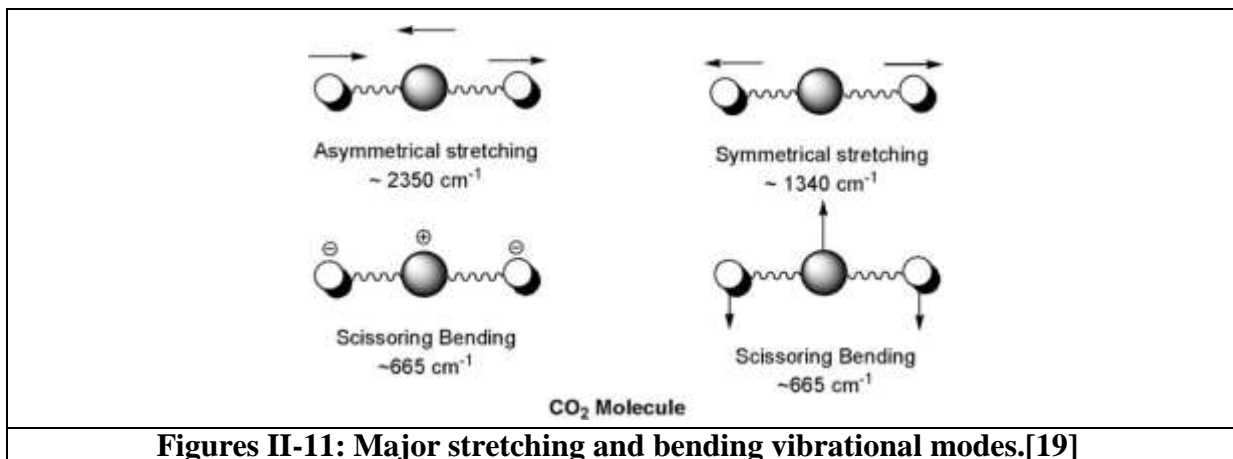
Chapitre II

Comme informations de base, il est impératif de connaître les spectres des 3 composés les plus couramment retrouvés en spectroscopie fîir, à savoir : l'eau, les composés méthyle/ méthylène, et aussi le CO₂.



Figures II-10: Infrared spectrum of water showing the 3 fundamental modes.

<https://www.specac.com/en/news/calendar/2019/03/molecular-vibrations>

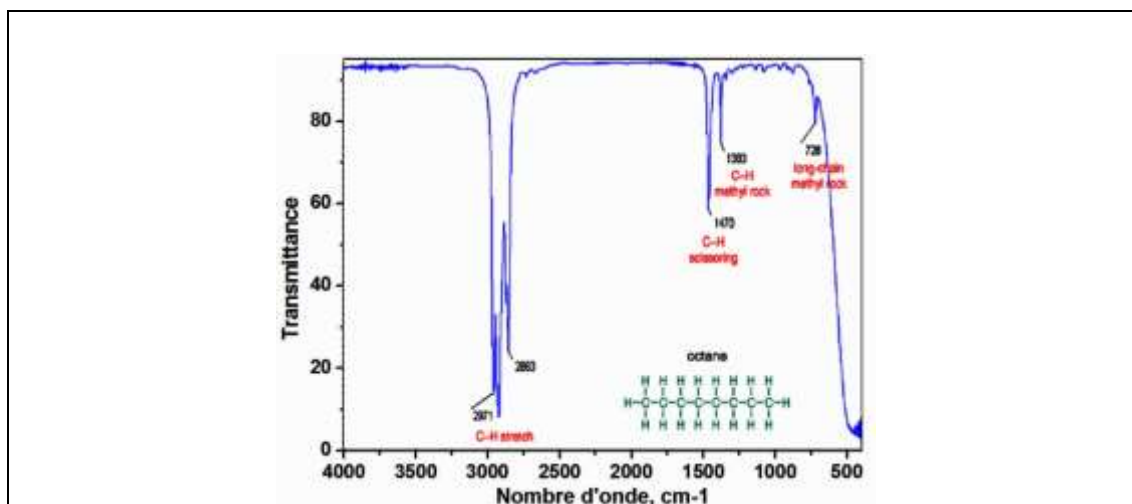


Figures II-11: Major stretching and bending vibrational modes.[19]

Chapitre II

6-2.Specter FTIR de Alkanes CH₂ et CH₃

Les spectres des alcanes simples sont caractérisés par des absorptions dues à l'étirement et à la flexion C-H (les bandes d'étirement et de flexion C-C sont soit trop faibles, soit de fréquence trop basse pour être détectées en spectroscopie IR). Dans les alcanes simples, qui ont très peu de bandes.[20]



- C–H stretch from 3000–2850 cm⁻¹
- C–H bend or scissoring from 1470-1450 cm⁻¹
- C–H rock, methyl from 1370-1350 cm⁻¹

C–H rock, methyl, seen only in long chain alkanes, from 725-720 cm⁻¹

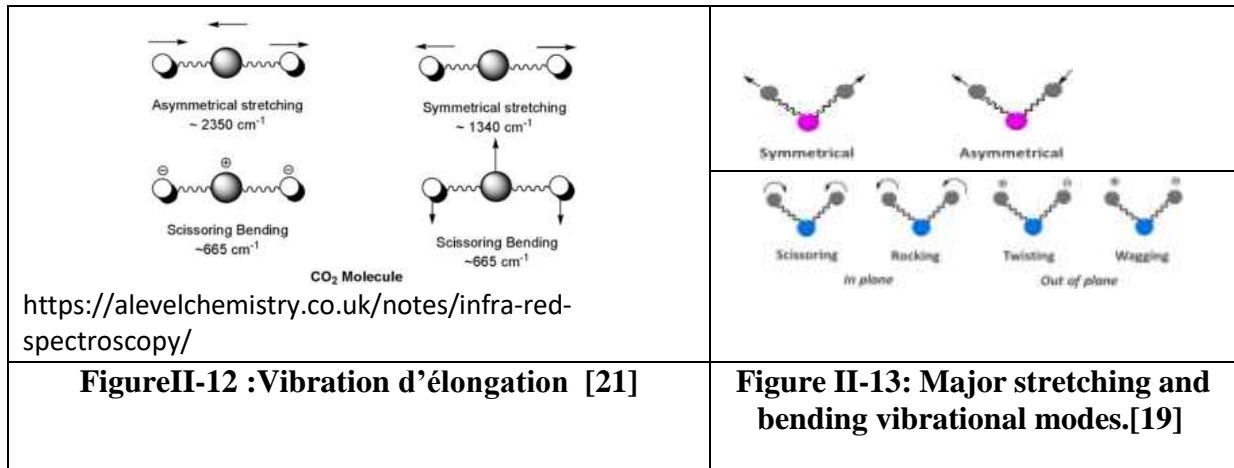
La région d'environ 1300-900 cm⁻¹ est appelée la région de l'empreinte digitale. Les bandes dans cette région proviennent de modes vibrationnels en interaction résultant en un modèle d'absorption complexe. Habituellement, cette région est assez complexe et souvent difficile à interpréter ; cependant, chaque composé organique a son propre modèle d'absorption (ou empreinte digitale) unique dans cette région et donc un spectre IR peut être utilisé pour identifier un composé en le faisant correspondre avec un échantillon d'un composé connu.

6-3.Specter FTIR de CO₂:

Dans la spectroscopie infrarouge moyen, nous nous intéressons à l'énergie vibrationnelle (et rotationnelle) de la molécule. Il existe deux types de vibrations moléculaires, l'étirement et la flexion. Une vibration d'étirement est un mouvement rythmique avec des changements de

Chapitre II

distance interatomique le long de l'axe de la liaison tandis que le mouvement de flexion implique un changement d'angle de liaison. La flexion peut être une torsion, un balancement, un cisaillement et un remue-ménage. Dans une molécule simple comme le dioxyde de carbone, ces vibrations peuvent être présentées comme :



.....

Tableau II-2: Les fréquences d'étirement des différentes liaisons. Ces tables de référence sont utilisées pour interpréter les données des bandes d'absorption.[22]-[23]

Type of Bond	Wavenumber (cm ⁻¹)
C-O	1250-1050
C-N	1230-1020
O-H (alcohol)	3650-3200
C-H	3300-2700
N-H	3500-3300
C=N	1650-1550
C=C	1680-1600
C≡C	2260-2100

7-Interpretation de quelques spectres:

Nous allons présenter dans cette partie du chapitre divers spectres ftir, mais qui peuvent servir comme outils de base à tout charchaur qui veut comprendre l'interprétation de ces résultats d'analyses ftir.

FTIR en biologie:

Les produits biologiques, sont parmi les produits les mieux étudiés par spectroscopie ftir, les

Chapitre II

chercheurs dans cette domaine, car les des identifications sont bien faites dans les références scientifiques en produits naturels.

Nous représentons les spectres de quelques produits en biologie tel que (l'eau, lait, blé, fromage, plante biologique , huile d'olive).

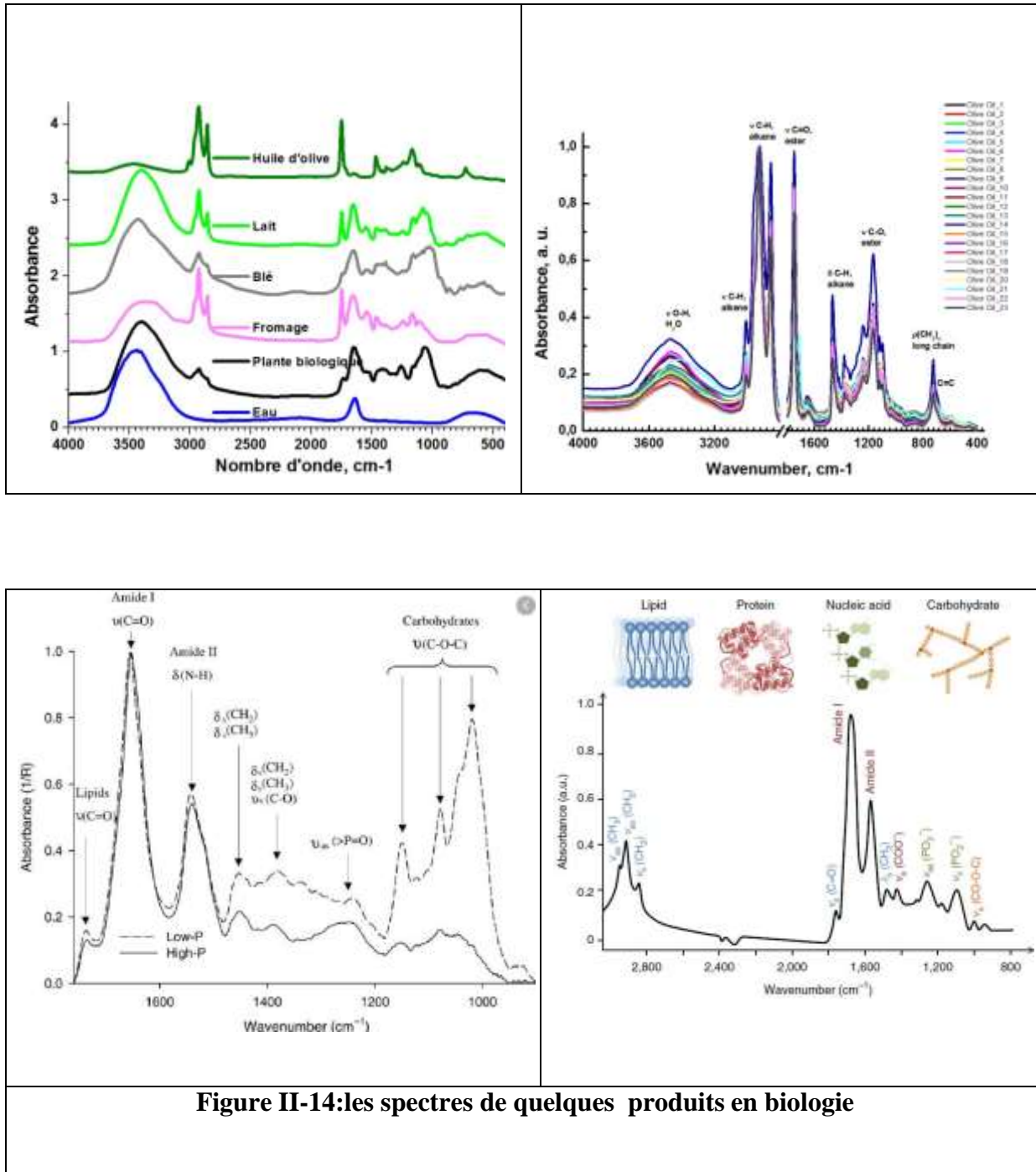
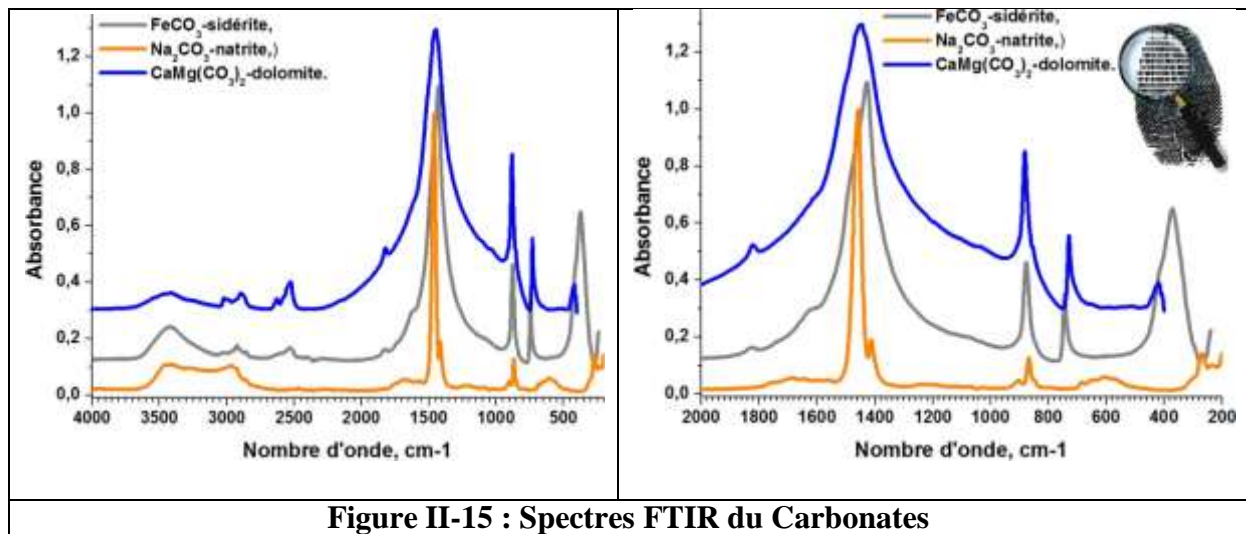


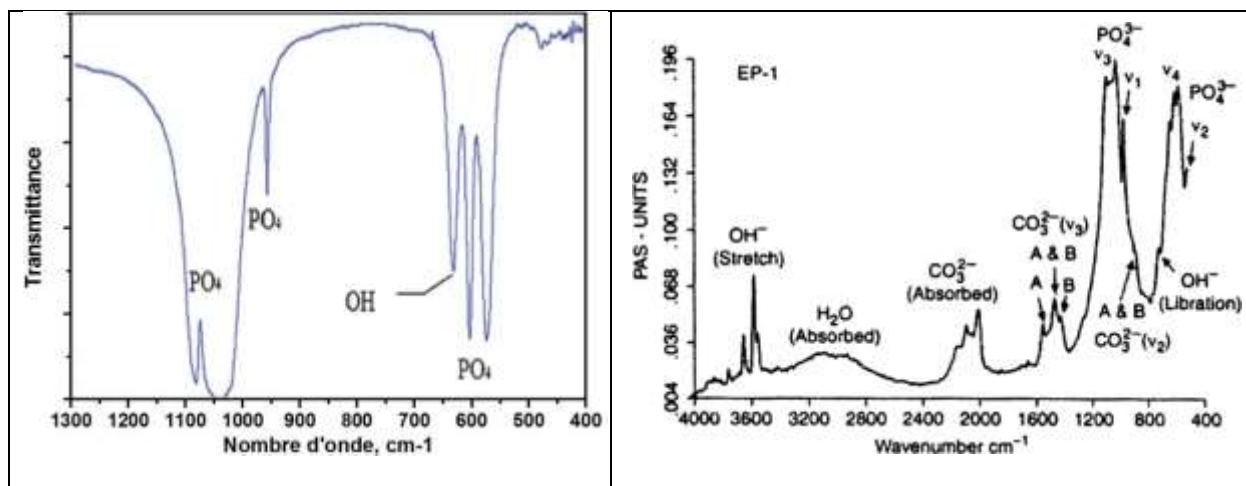
Figure II-14:les spectres de quelques produits en biologie

Chapitre II

Cas des carbonates



Cas des phosphates



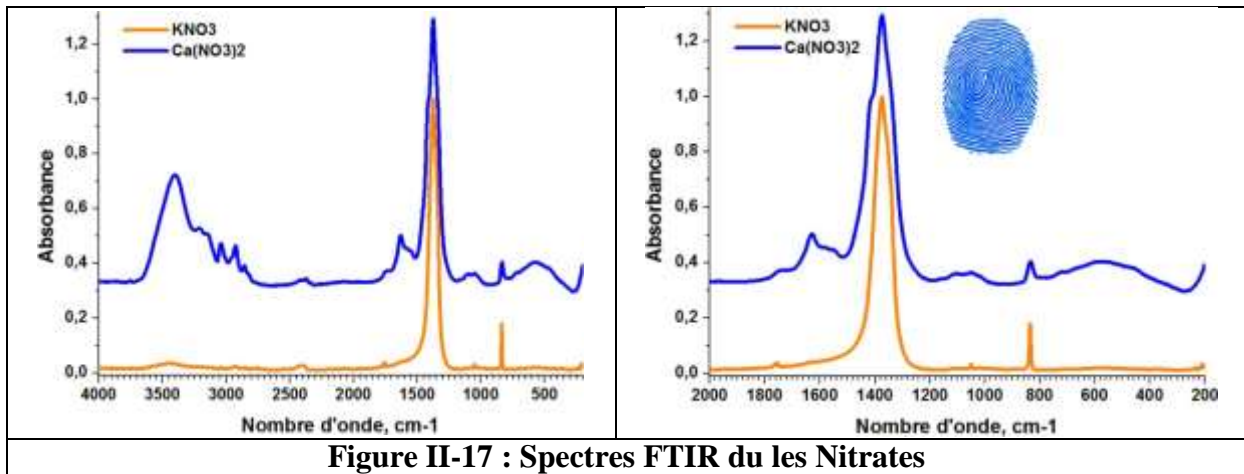
<https://pubs.rsc.org/ft/content/articlelanding/2008/an/b716791a#!divAbstract>

https://cdn.intechopen.com/pdfs/36171/InTech-Research_of_calcium_phosphates_using_fourier_transform_infrared_spectroscopy.pdf

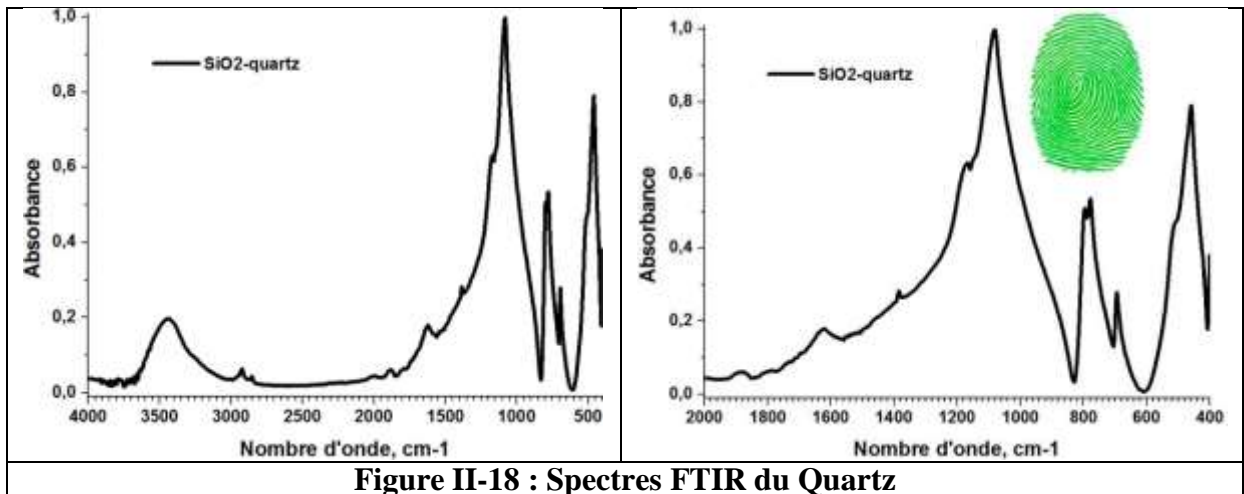
Figure II-16 : Spectres FTIR du les phosphates

Chapitre II

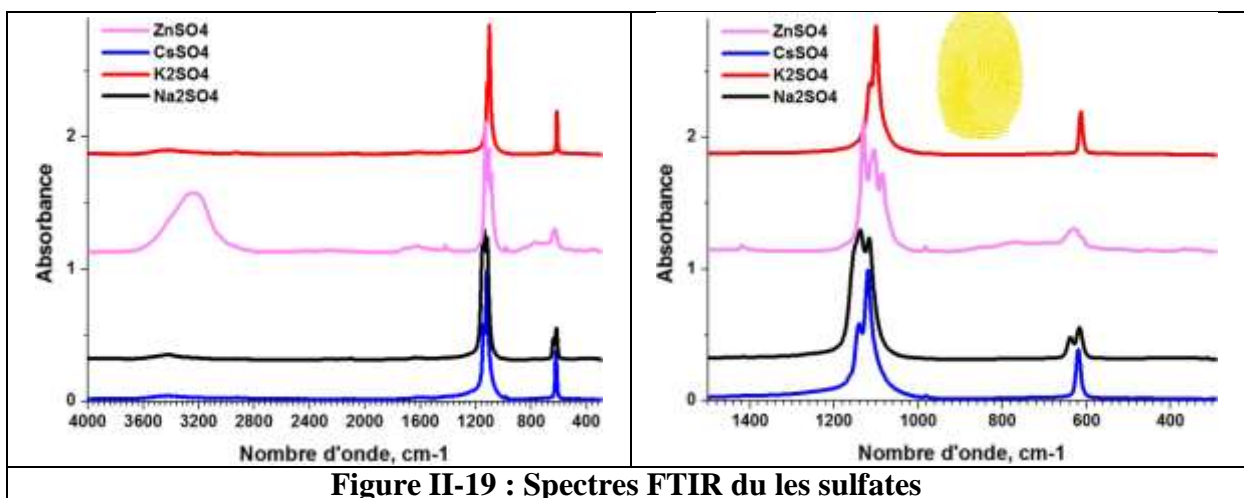
Cas des nitrates



Cas du Quartz



Cas des sulfates



Chapitre II

Cas des oxydes

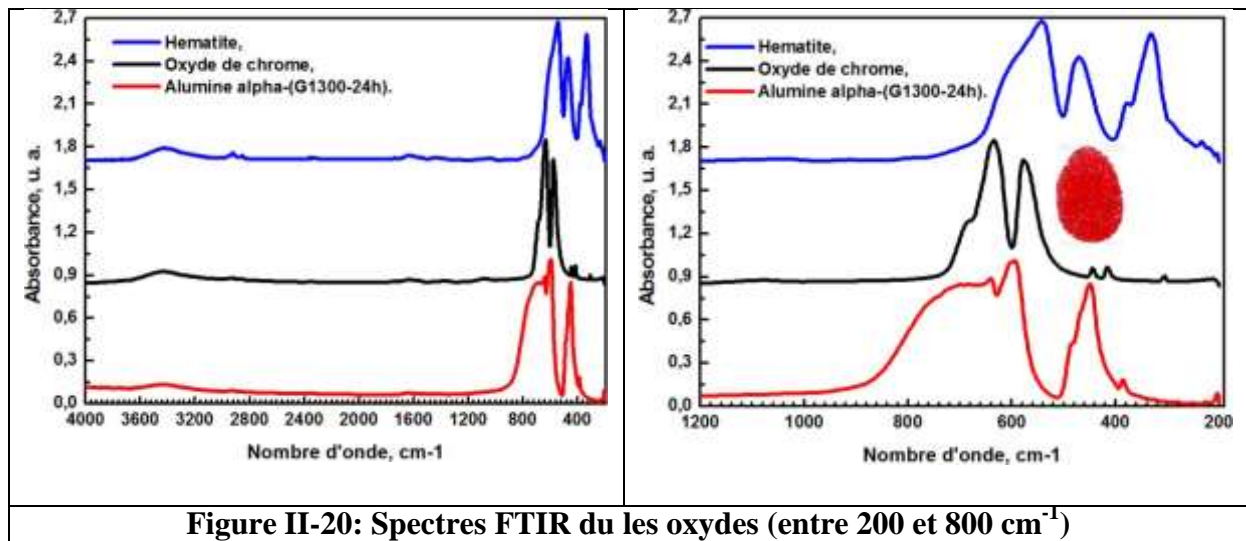


Figure II-20: Spectres FTIR des oxydes (entre 200 et 800 cm⁻¹)

Cas des hydroxydes

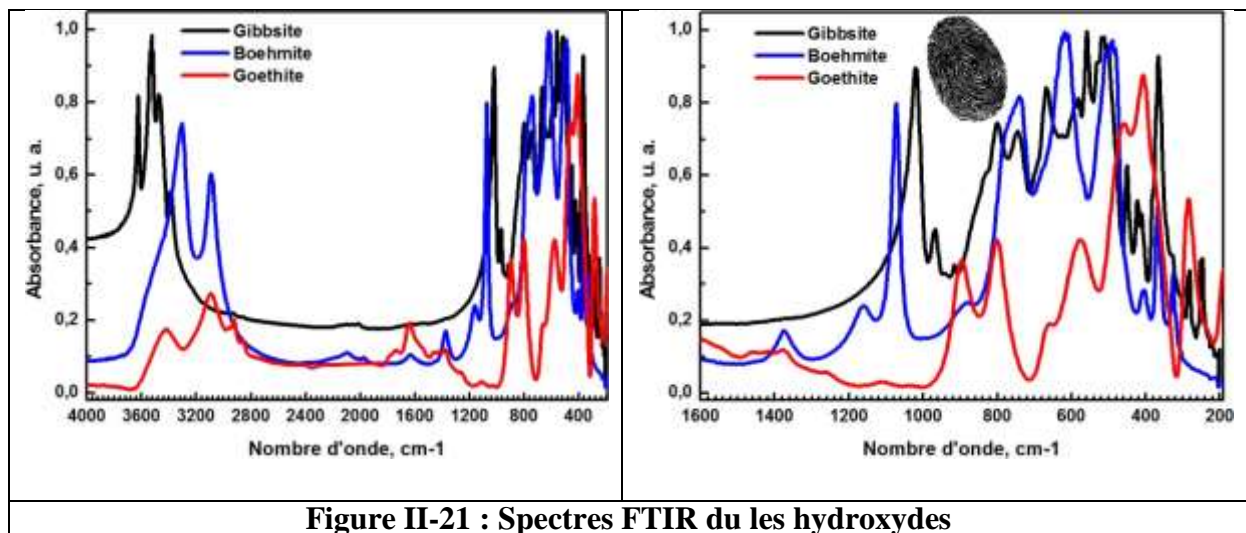
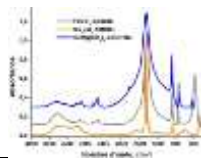
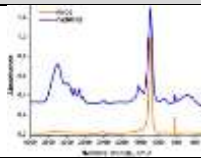
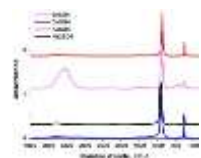
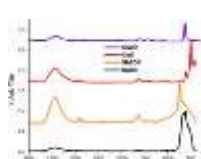
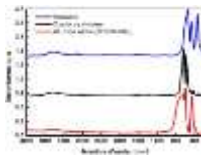
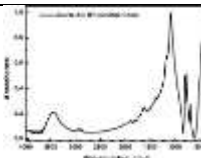


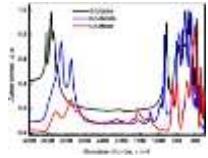
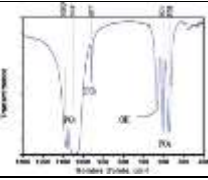
Figure II-21 : Spectres FTIR des hydroxydes

Chapitre II

Tableau II-3: Composés couramment retrouvés par spectroscopie FTIR

Composés couramment retrouvés par spectroscopie FTIR			
Eau	3436, 1638, 668		Existe dans la plupart des spectres ftir
CH ₂ /CH ₃	2971, 2863, 1470, 1383		Existe dans la plupart des spectres ftir
CO ₂	3600-3800, 2350, 700		Existe dans la plupart des spectres ftir
Carbonates			
FeCO ₃	1427, 876, 743		
Na ₂ CO ₃	1456, 1411, 905, 866, 685		
CaMg(CO ₃) ₂	1822, 1444, 882, 728		
Nitrates			
Ca(NO ₃) ₂	1373, 833		Existe dans la plupart des spectres ftir
KNO ₃	1374, 834		
Sulfates			
ZnSO ₄	1130, 1105, 1085, 983, 626		
K ₂ SO ₄	1101, 613		
Na ₂ SO ₄	1137, 1114, 640, 617		
Cs ₂ SO ₄	1141, 1120, 983, 619		
Oxydes			
Cu ₂ O	630		
CuO	614, 498, 420		
Sb ₂ O ₃	744		
SnO ₂	668, 616		
Fe ₂ O ₃	541, 470, 378, 331, 233		
Cr ₂ O ₃	634, 578, 444, 416, 306, 212		
Al ₂ O ₃	702, 680, 640, 594, 448, 386		
SiO ₂ (quartz)	1168, 1082, 796, 778, 694, 458		

Chapitre II

Hydroxydes			
Gibbsite	3624, 3538, 3524 3474, 3398, 3380 1020, 968, 916, 800 746, 668, 626, 582, 558, 514, 450, 422, 408, 366, 282, 248		
Boehmite	3302, 3092, 1374 1160, 1072, 880 740, 618, 610, 490, 404, 368, 326		
Goethite	3092, 2426, 1639, 1378, 896, 800, 576, 458, 406, 285		
Phosphate			
Phosphate	575, 601, 957, 1041, 1080		

Chapitre II

La figure ci-dessous représente une représentation complète que tout chercheur qui s'intéresse au travail infrarouge, afin de comprendre l'interprétation d'un spectre :

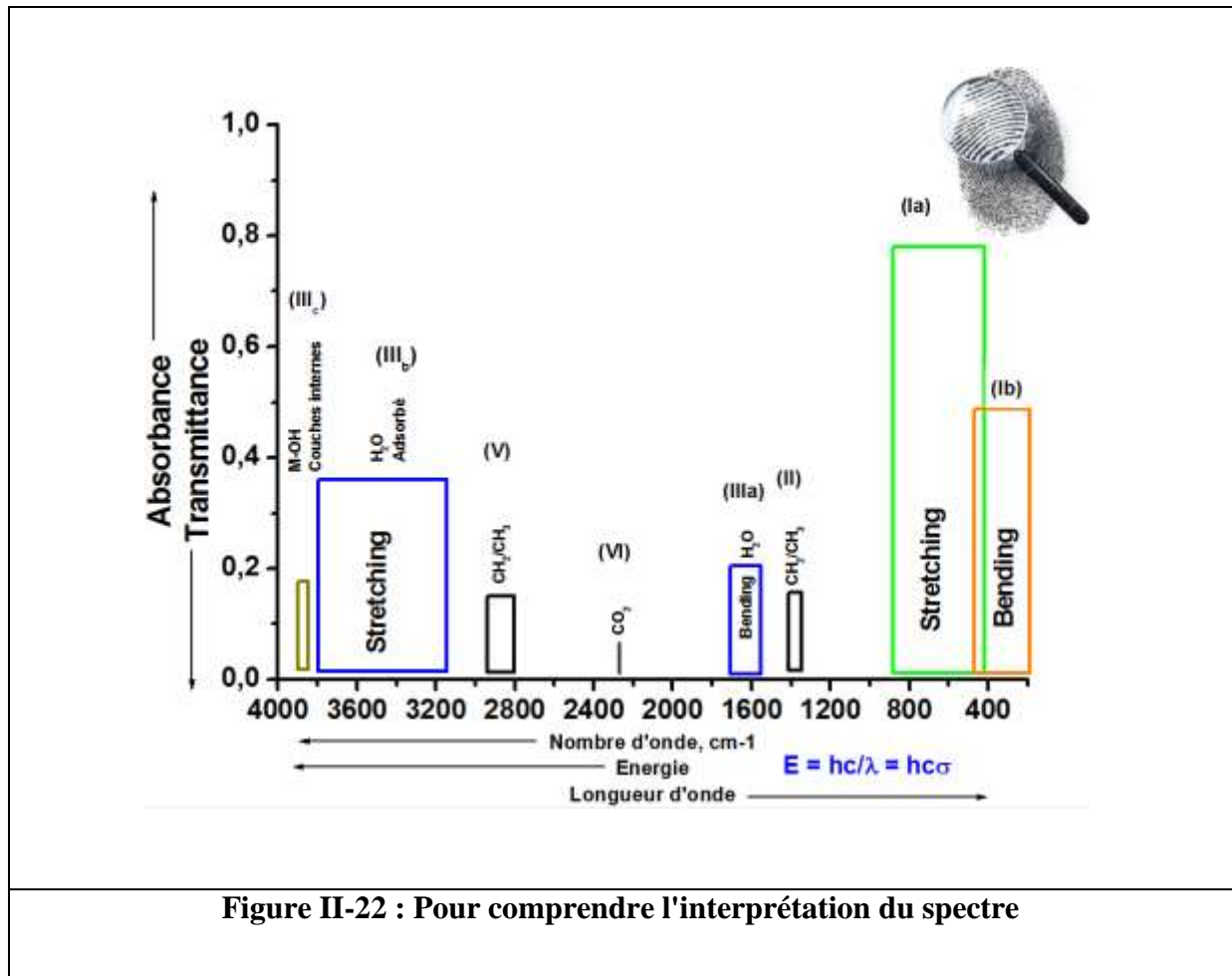








Figure II-22 : Pour comprendre l'interprétation du spectre

Chapitre II

On distingue diverses zones, que nous pouvons décortiquer comme suit :

			
(Ia)	- les vibrations d'élongation symétriques : les atomes liés s'approchent ou s'éloignent de façon symétrique, - les vibrations d'élongation antisymétriques : de même mais cette fois-ci lorsqu'une liaison est comprimée, l'autre est étirée.	 SYMMETRIC STRECHING  ANTISYMMETRIC STRECHING	v ₁ v ₃	Finger print
(Ib)	- les vibrations de déformation d'angle	 WAGGING  ROCKING  TWISTING  SCISSORING	v ₂ v ₄	
(II)	-Bending ; CH ₂ -CH ₃			
(IIIa)	-Bending ; H ₂ O			
(IIIb)	-Stretching ; H ₂ O			
(IIIc)				
(VI)	-Stretching ; CO ₂			
(V)	-Stretching ; CH ₂ -CH ₃			

.....



CHAPITRE III

Chapitre III

1. Images optiques, données cristallographiques, analyses FTIR du Gypse

Le gypse de Chechar, a été collecté dans la zone représentée sur les prises de vues en **figure III-1** :



figure III-1 : Prises de vue de la zone de collecte du gypse, lieu dit –Ichet-Siar- Chechar, de la région de Chechar, sur la route nationale Khenchela-Chechar-Biskra

La figure III-1, nous permet de visualiser la zone d’où nous avons collecté le gypse objet de notre travail.

On y distingue ce minéral de couleur plutôt blanchâtre.

Chapitre III

La baryte a été collecté à Ain Mimoun (images jointes ci-dessous)



figure III-2 : Barytine collectée en Ain Mimoun

Chapitre III

et les images en **figure III-3** représentent les échantillons étudiés :



Le Gypse



La baryte

figure III-3 :les échantillons étudiés

Chapitre III

2-Analyses spectroscopiques FTIR des gypses et produit de gypse apres calcination :

Dans cette partie de notre étude nous donnons en figure ci-dessous, les spectres ftir figure III-4 (a) des divers gypses collectés que nous avons comparé avec le spectre gypse synthétique de référence que nous avons utilisé. En figure III-4 (b), nous représentons la partie fingerprint, qui révèle les vibrations principales de ce minéral.

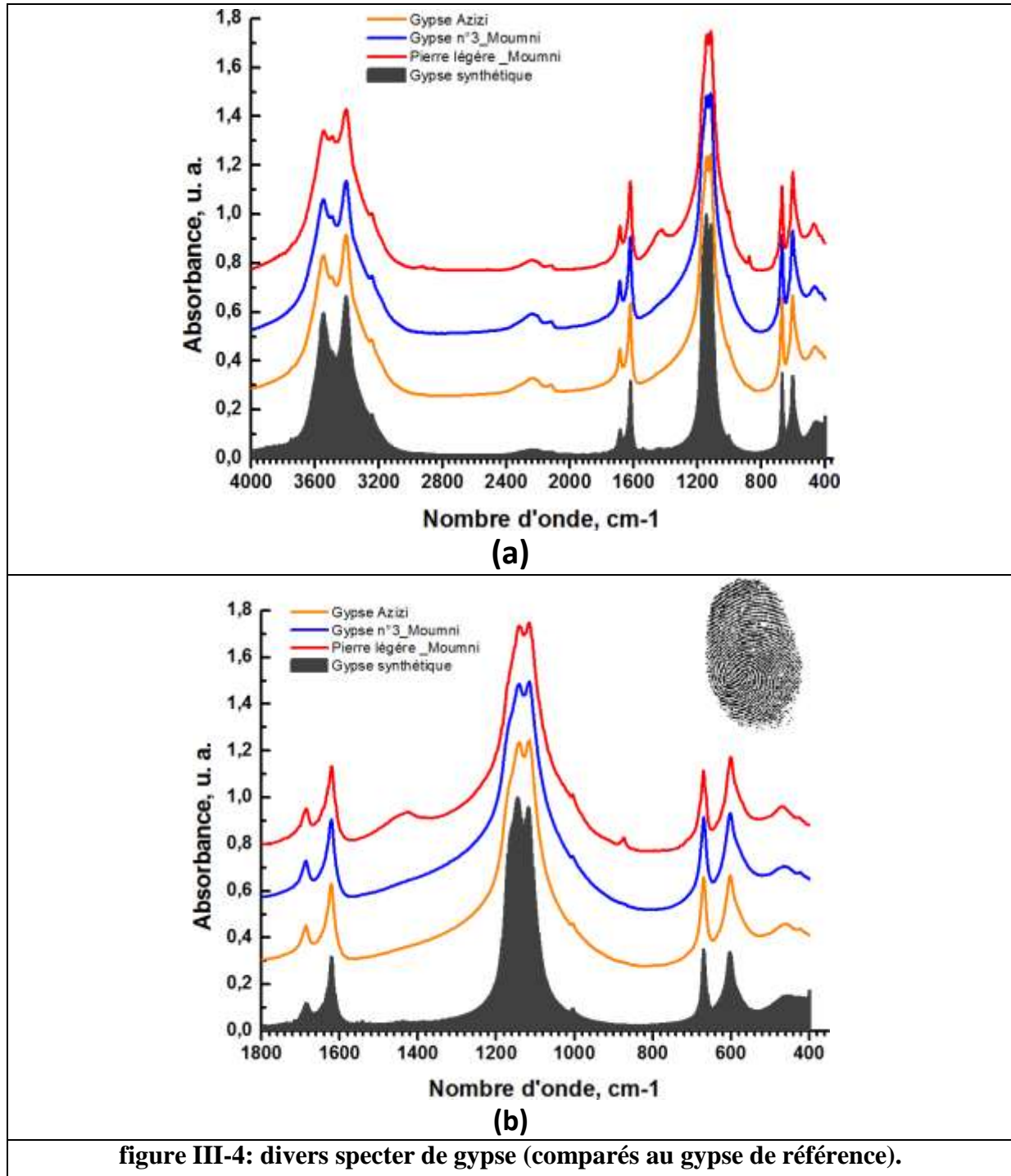


figure III-4: divers specter de gypse (comparés au gypse de référence).

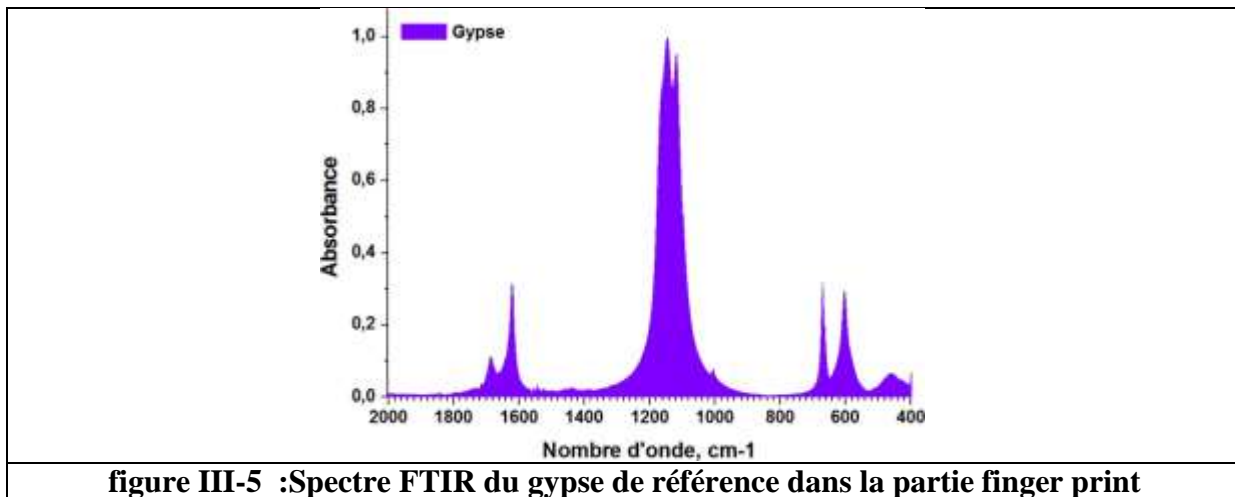
Des figure III-4 : a et b représentent les specters FTIR de divers gypses-Collectés dans la wilaya de kenchela

Chapitre III

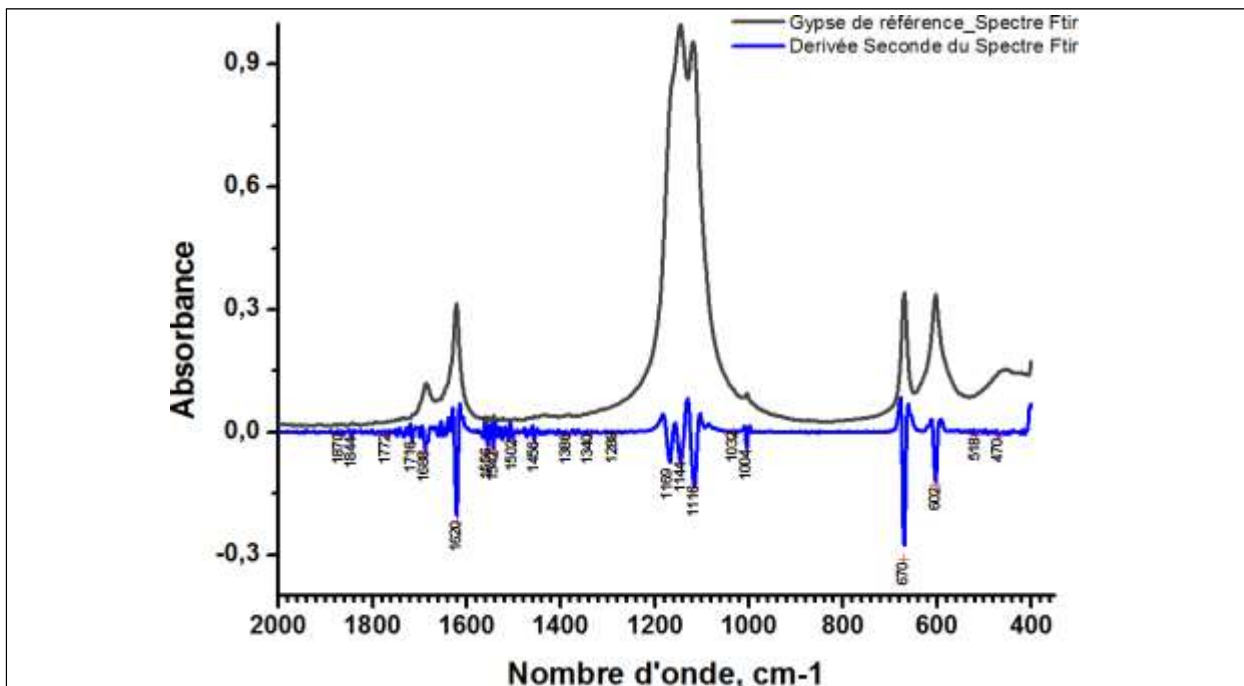
- En **figure III-4 (a)**, nous avons les spectres dans la gamme 400 cm^{-1} , et 4000 cm^{-1} .
- En **figure III-4 (b)**, nous avons la parties fingerprint comprises entre 400 cm^{-1} et 1800 cm^{-1} .

Données du gypse de référence:

M.M.172.17, Assay 100.2%, NO3-Passos Test, Heavy metal (AsPb) max 20 ppm, Insolubility in hydrochloric acid max 100ppm, ClChloryde max 50ppm, Fe iron max 10ppm, ADR: 00030, EC label 231-900-3, CAS: 10101-41-4, Made in EC-EMB 45053, Analar NORMAPUR VWR ProLabo.



Nous avons utilisé la second dérivée du spectre FTIR, a fin de localizer les rais principales de ce mineral.



Chapitre III

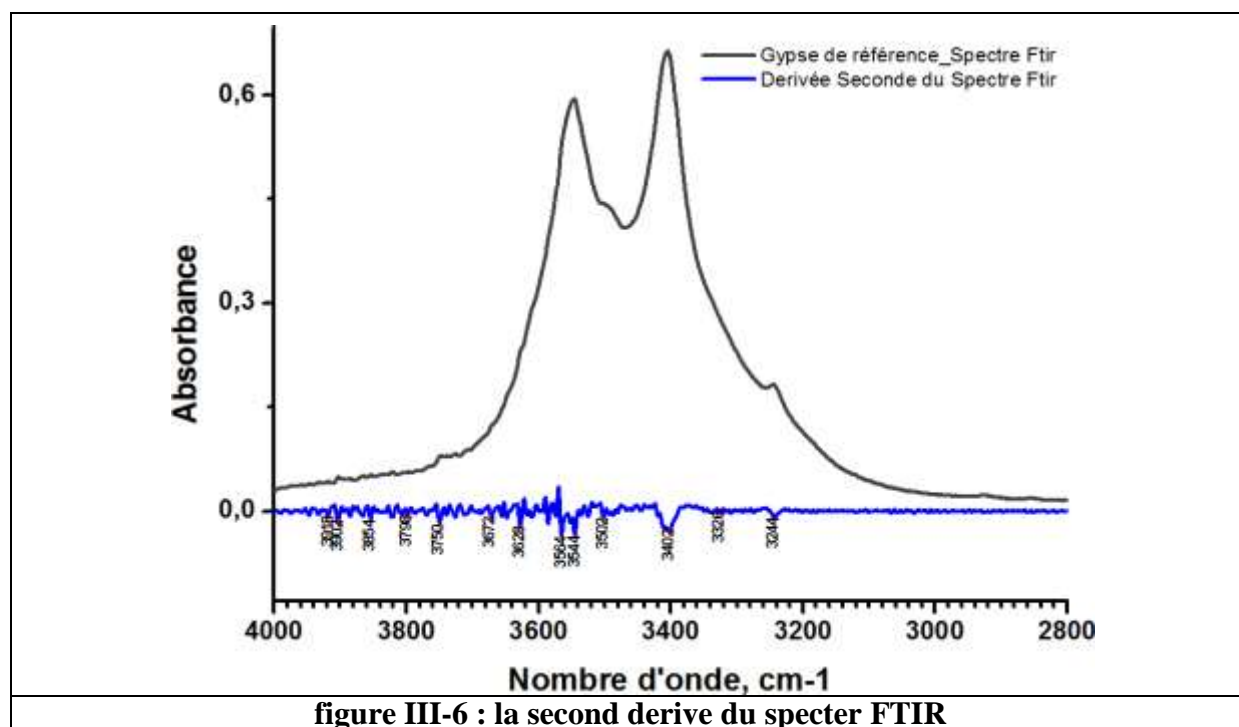


figure III-6 : la second derive du spectre FTIR

L'utilisation des figures précédentes nous permet de dresser le tableau ci-dessous, dans lequel nous donnons le nombre d'onde, les analyses correspondantes, les intensités des raies d'absorption, et aussi les références.

Gypse

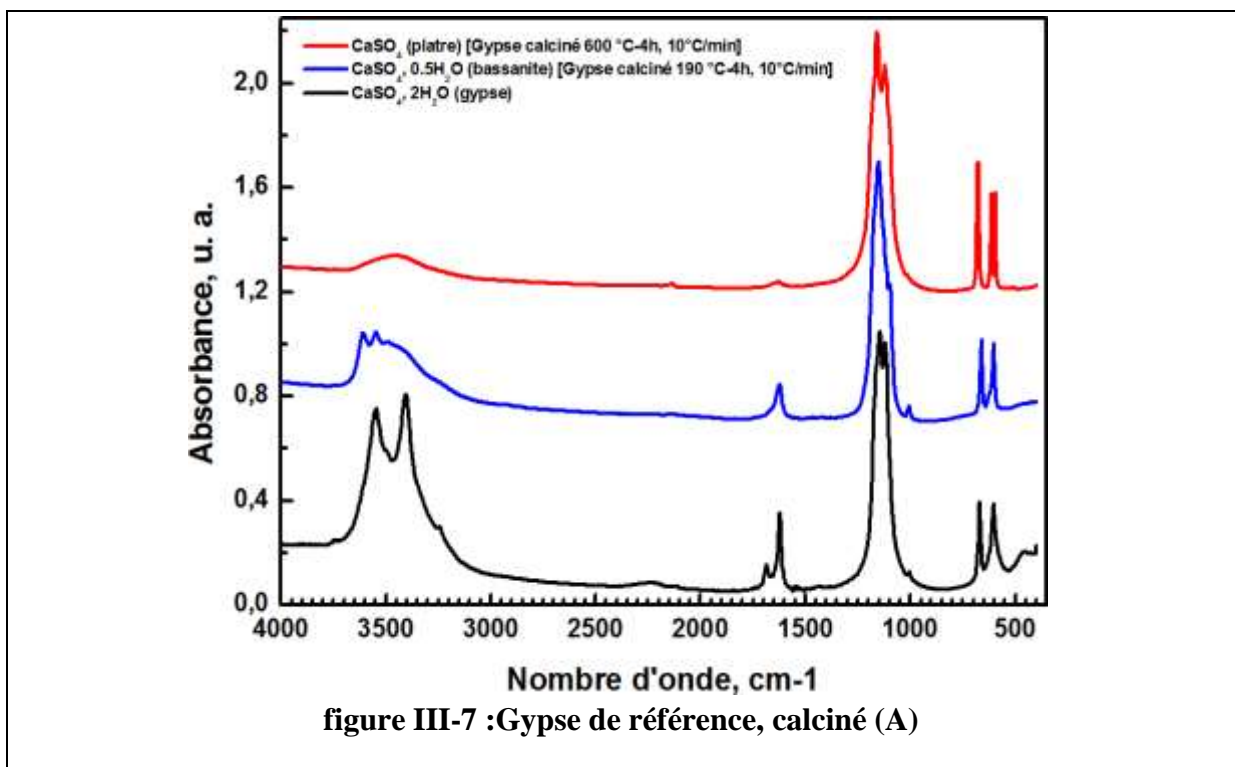
Nombre d'onde cm ⁻¹	Assignment	Intensity %	
470		6.5	
602		29.3	
670		31.9	
1004		7.7	
1116		95.5	
1144		100	
1169		Ep	
1620		31.3	
1688		11.2	
3244		-	
3402		65	
3502		-	
3544		-	
3564		-	

Chapitre III

Afin de suivre l'évolution des gypses (de référence et celui de Checher-Siar) en fonction des traitements thermiques de chauffage (calcinations), nous avons réalisé les cycles de traitements suivants:

- Chauffage à la température voulue (190°C, et 600°C), à la vitesse de 10°C/min,
- Maintien à cette température pendant 4h,
- Refroidissement par extinction du four, avec maintien des échantillon à l'intérieur, jusqu'à température ambiante.

En figure III-7 (A), Nous avons les cinétiques des transformations du gypse de référence et celui de Chechar, comme suit:



Chapitre III

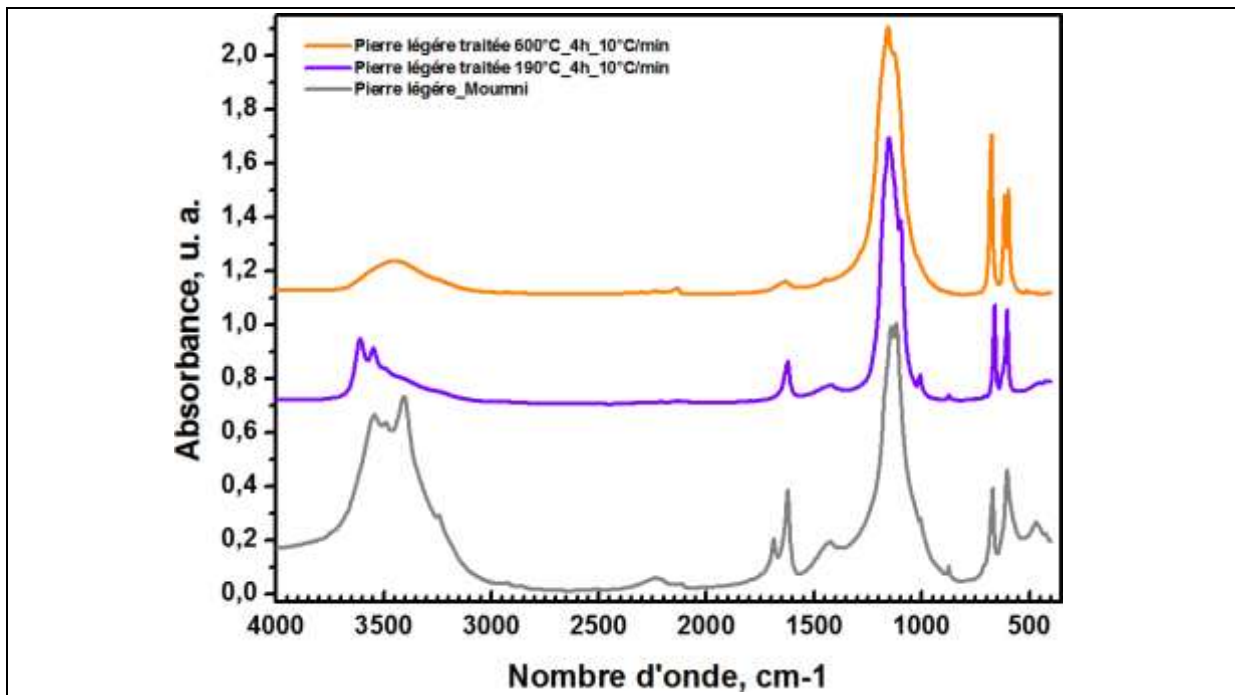


figure III-8: Spectres FTIR des échantillons objets de notre travail

Afin d'interpréter les spectres obtenus, nous avons dresser en tableau ci-dessous, qui expliquent les transformations réalisées lors des chauffages subis par le minéral.

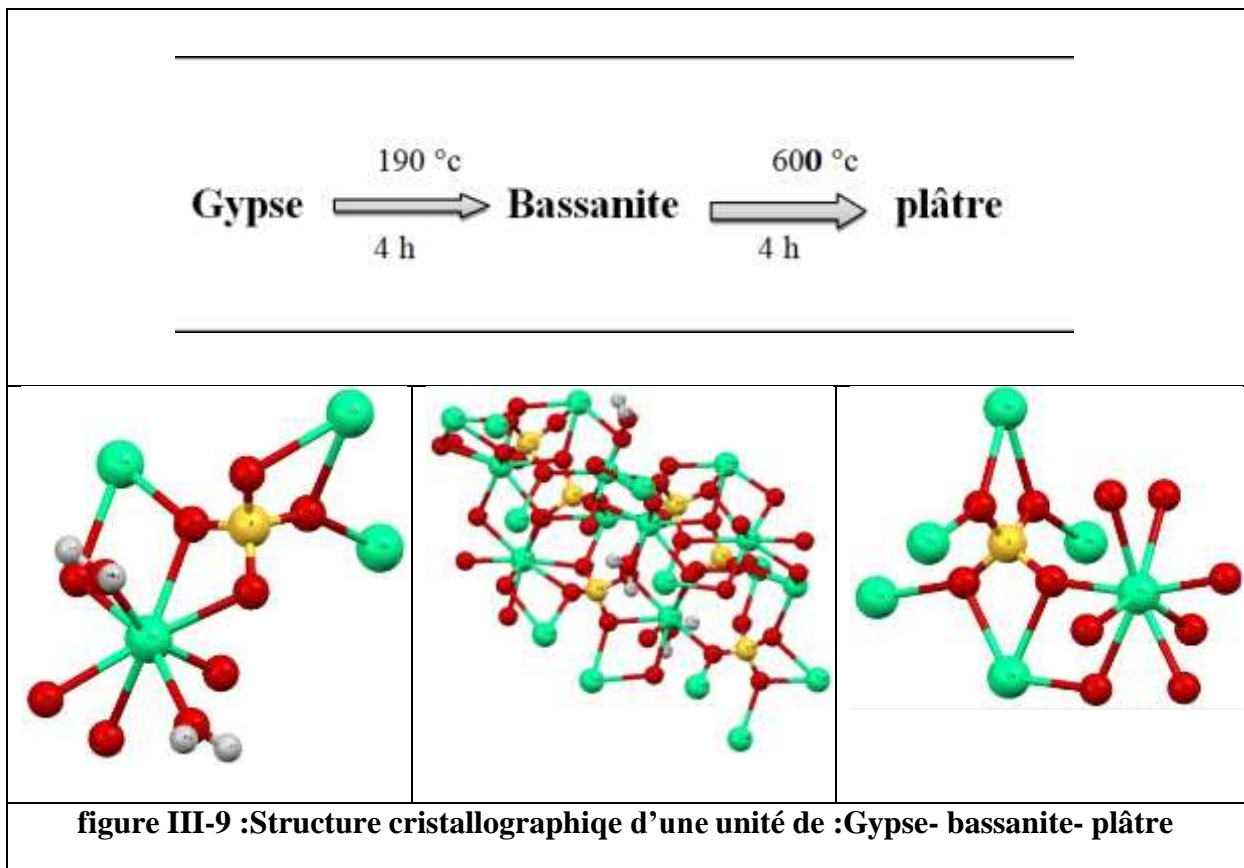
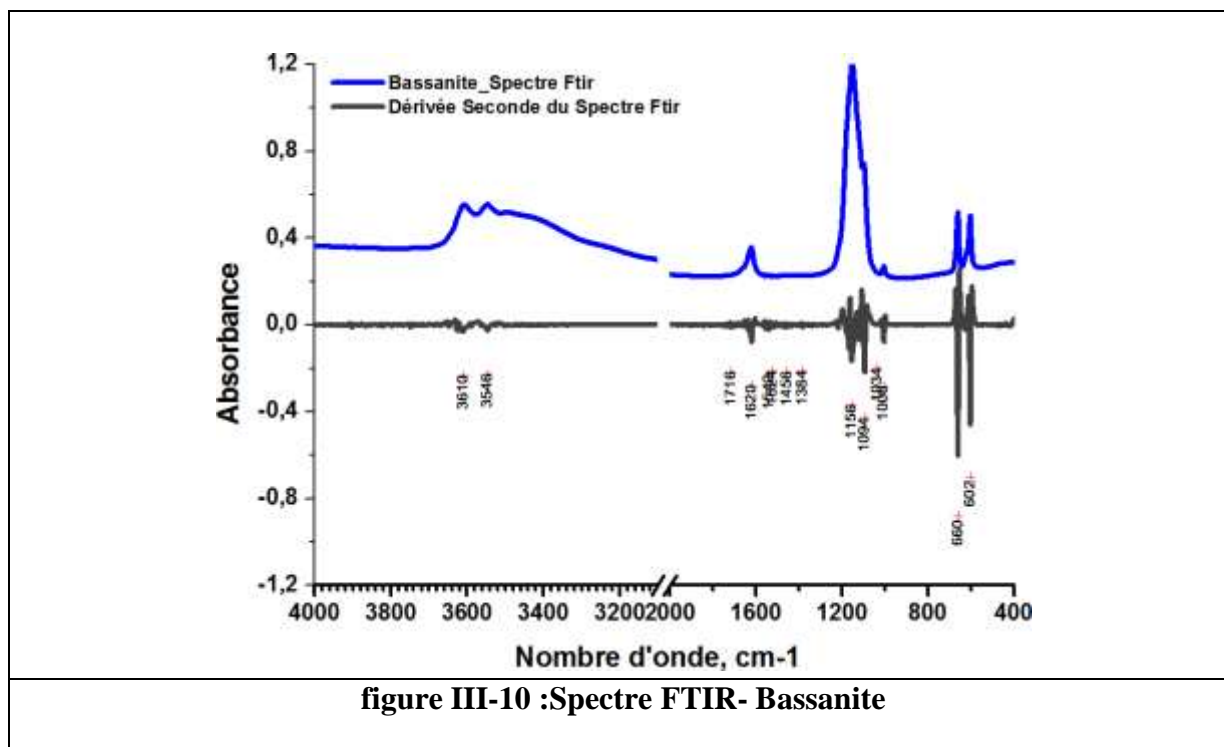


figure III-9 :Structure cristallographique d'une unité de :Gypse- bassanite- plâtre

Chapitre III

L'utilisation de la seconde dérivée nous permet de donner avec précision les raies d'absorption de la bassanite :



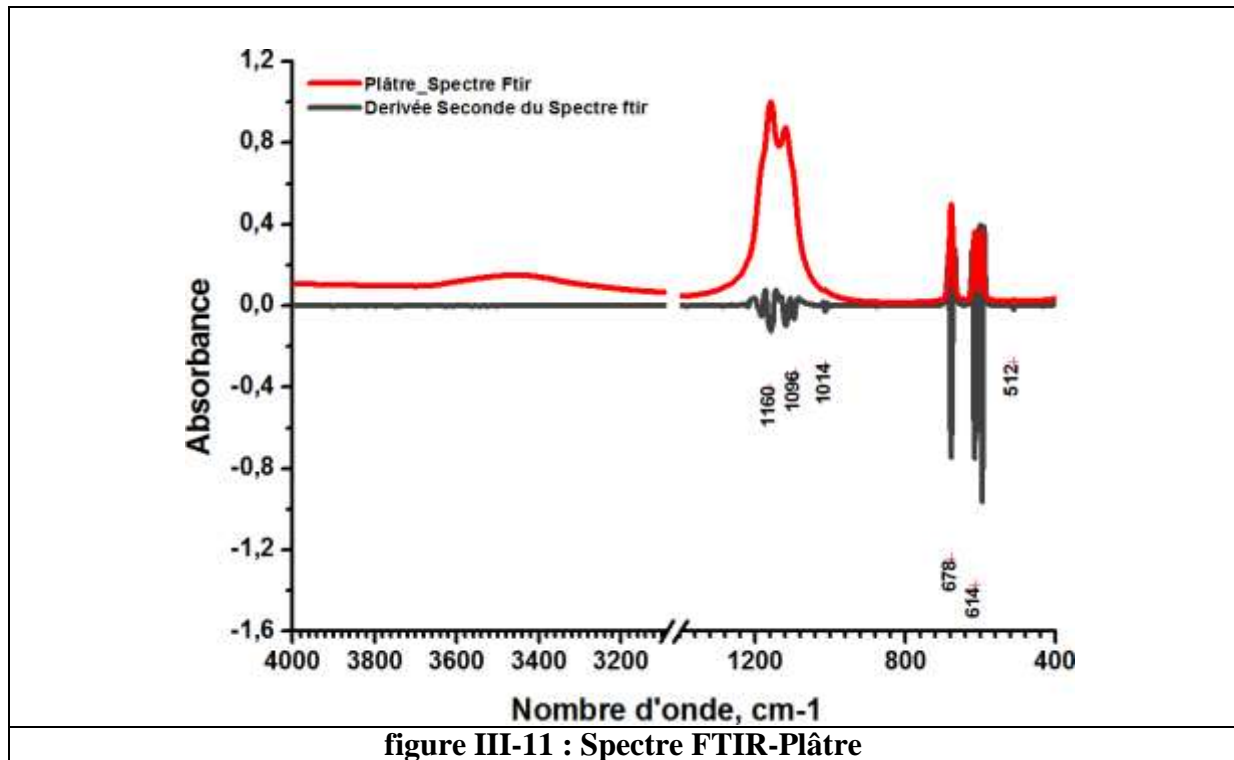
Raies d'absorbance de la Bassanite

Nombre d'onde cm-1	Assignment	Intensity %	
602		26.8	
660		29.2	
1006		6.2	
1152		100	
1622		14.3	
3440		21.3	
3546		24.6	
3610		23.5	

.....

Chapitre III

L'utilisation de la seconde dérivée nous permet de donner avec précision les raies d'absorption du plâtre:

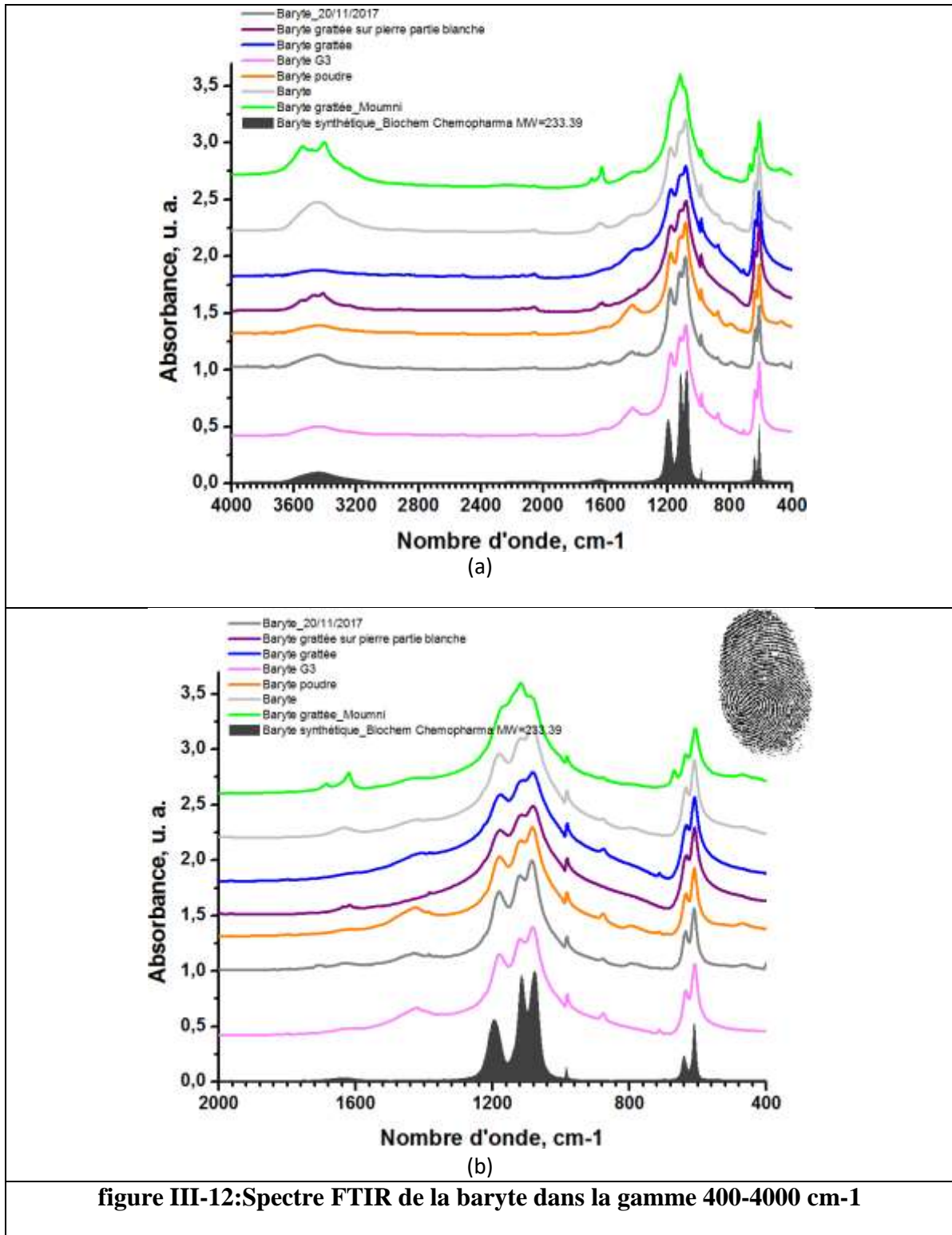


Raies d'absorbance du Plâtre

Nombre d'onde cm-1	Assignment	Intensity %	
512		1.3	
594		3.8	
614		3.8	
678		49.5	
1120		86.8	
1160		100	
2132		1.8	
3440		9.3	

La spectroscopie FTIR nous permet d'établir les spectres de la baryte de Ain Mimoun, et aussi de la baryte de référence.

Les spectres FTIR de diverses barytes sont représentés par la figure III-12 (a), celles-ci proviennent de l'unité de production ENOF-Ain Mimoun, nous avons aussi introduit dans cette figure le spectre d'une baryte de référence «plutôt noire» et qui représente une baryte pure dont les données sont mentionnées ci-dessous.



Données de la baryte de référence:

Baryte synthétique, 302191000, CAS:7727-43-7, EINECS: 231-784-4, Batch N°:B7727-43-7-0511-011, Soluble matter, in hydrochloric acid % Max0.15, Loss on ignition % Max1.5 Chloride (Cl) % Max0.005, Soluble sulfate (SO₄) % Max0.005, Total nitrogen (N) %

Chapitre III

Max0.005, Iron (Fe) % Max0.0005, Arsenic (As) % Max0.0001, Soluble barium sulfate (as ba) % Max0.0001, Heavy metals (as Pb) % Max 0.0005,

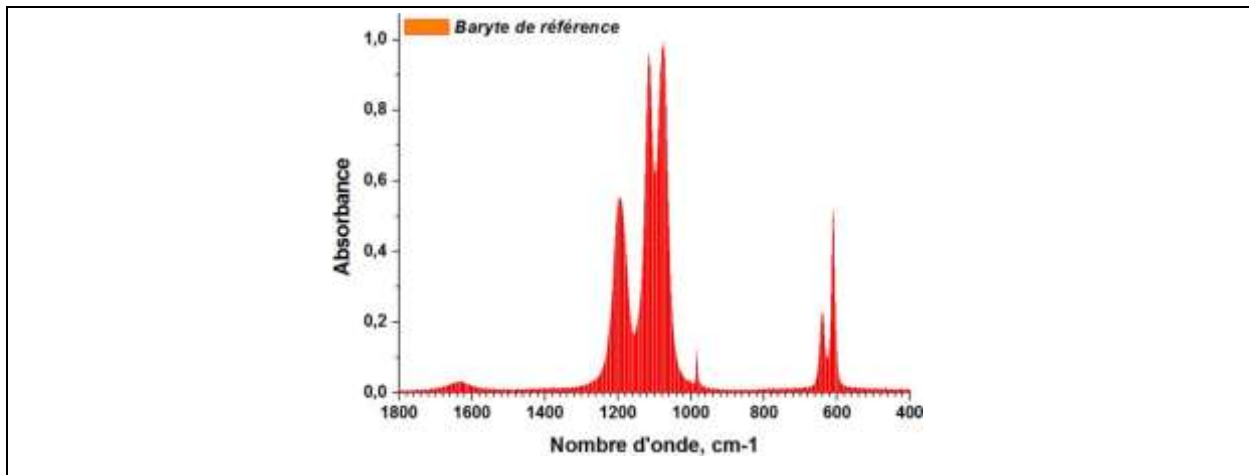


figure III-13: Specter FTIR-Baryte de référence

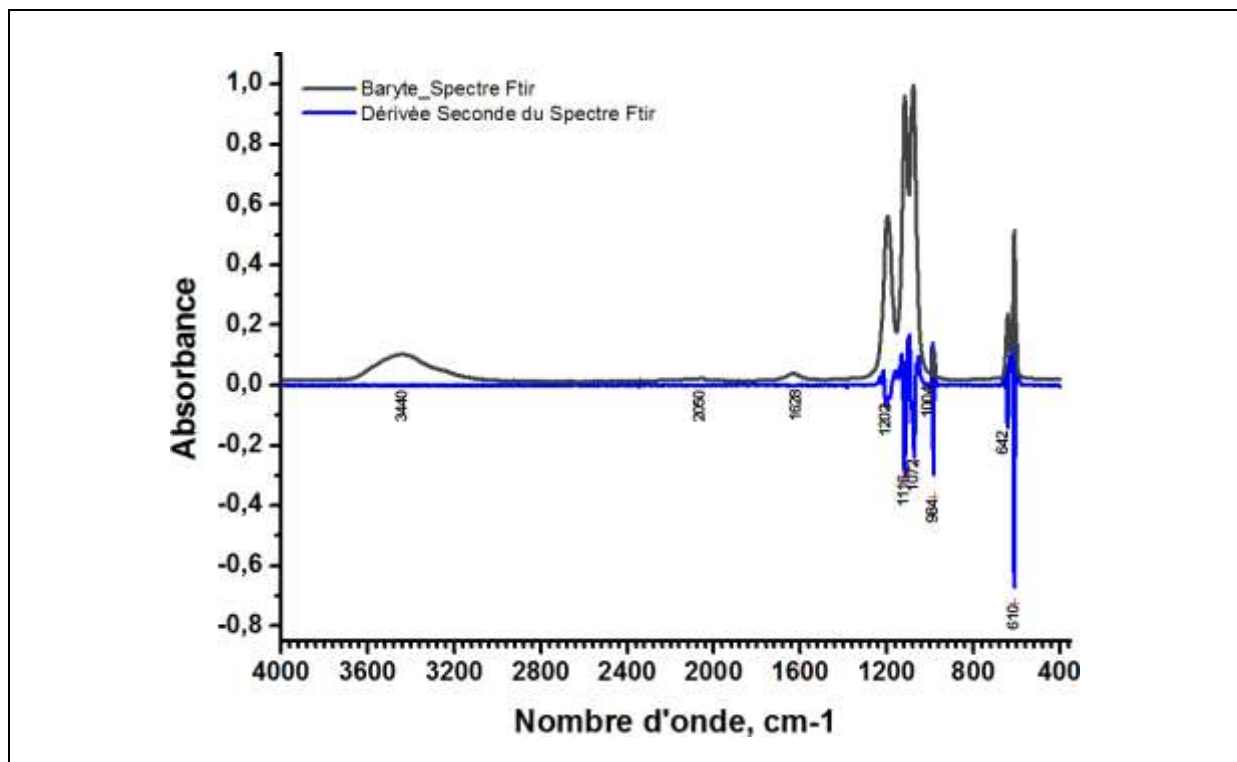


figure III-14: la second derive du specter FTIR

Pour ce qui des résultat FITR ,nous représentons en figure ci-dessous III-14

La dérivée seconde du spectre,et sur lequel sont neutisnnés les valeurs.

Chapitre III

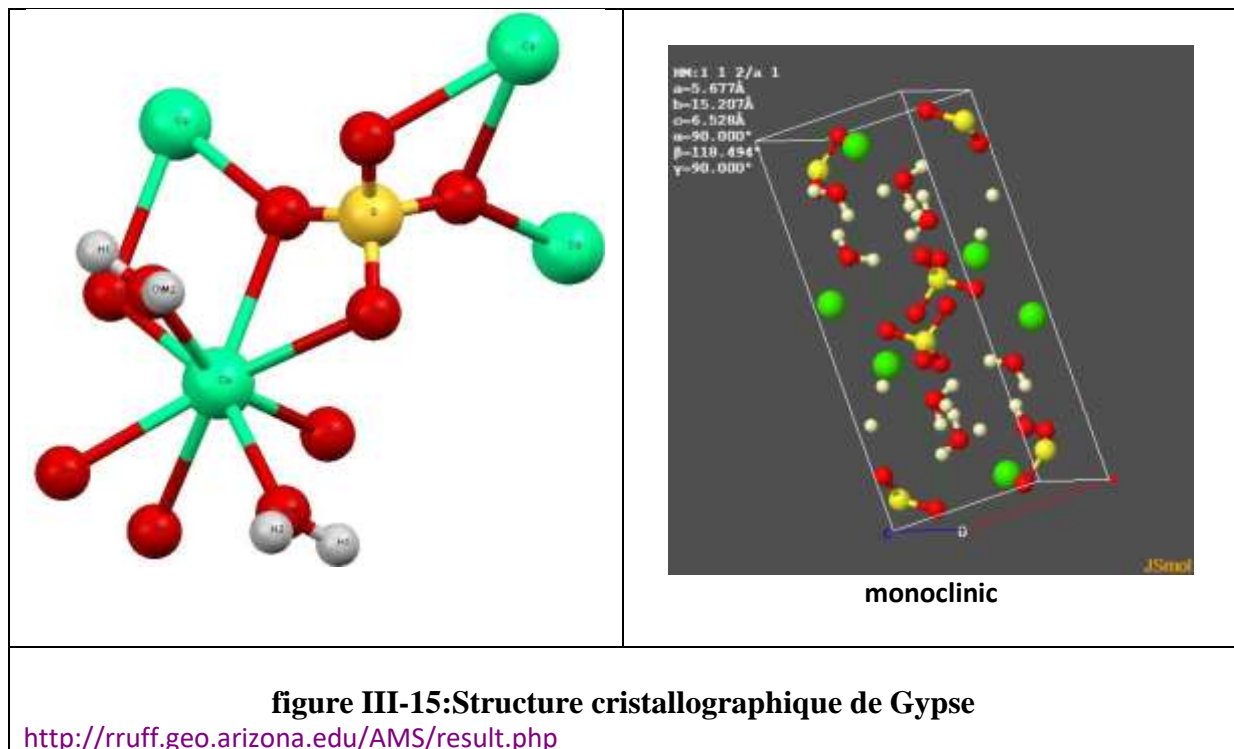
En comparant les spectres donnés en la figure III-14 (A) et (B) et ceux de la figure III-12, La présence de pic vers 1440cm^{-1} indiquerait que en plus de la baryte (BaSO_4) nous avons présence de $\text{Ca}(\text{CO}_3)$ ou aussi de $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ [carbonates]

La baryte « Moumni » qui peut aussi renfermer des carbonates « laible pic vers 1440cm^{-1} » celle-ci renferme aussi du gypse ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$).

Baryte

Nombre d'onde cm-1	Assignment	Intensity	-
610		51.8	
642		23.0	
984		12.3	
1072		100	
1116		96.1	
1202		55.9	
1628		3.5	
3440		6.8	

Données cristallographiques des minéraux étudiés



Chapitre III

```
Gypsum
Schofield P F, Knight K S, Stretton I C
American Mineralogist 81 (1996) 847-851
Thermal expansion of gypsum investigated by neutron powder diffraction
T = 320 K
_database_code_amcsd 0001809
5.6769 15.2074 6.5277 90 118.494 98 *I2/a
.25 .25 .25
atom  x    y    z Biso
Ca   .5 .07864 .25 .570
S     0 .07872 .75 .584
O1   .96164 .13263 .55120 1.177
O2   .75714 .02154 .60527 .970
O3   .37837 .18255 .40544 1.740
O4   .25043 .16150 .50000 1.520
O5   .48225 .24347 .49003 3.874
Download AMX data (View Text File)
Download CIF data (View Text File)
Download diffraction data (View Text File)
View 3DOL 3-D Structure (permalink)
```

Gypsum

Schofield P F, Knight K S, Stretton I C

American Mineralogist 81 (1996) 847-851

Thermal expansion of gypsum investigated by neutron powder diffraction

T = 320 K

_database_code_amcsd 0001809

CELL PARAMETERS: 5.6769 15.2074 6.5277 90.000 118.494 90.000

SPACE GROUP: I2/a

X-RAY WAVELENGTH: 1.541838

Cell Volume: 495.279

Density (g/cm3): 2.309

MAX. ABS. INTENSITY / VOLUME**2: 11.91682404

RIR: 1.681

RIR based on corundum from Acta Crystallographica A38 (1982) 733-739

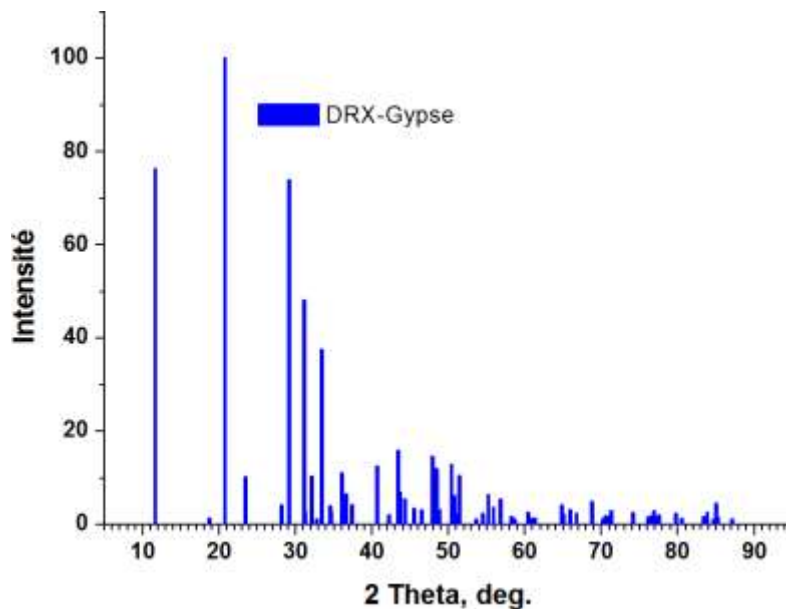


figure III-16:DRX-Gypse

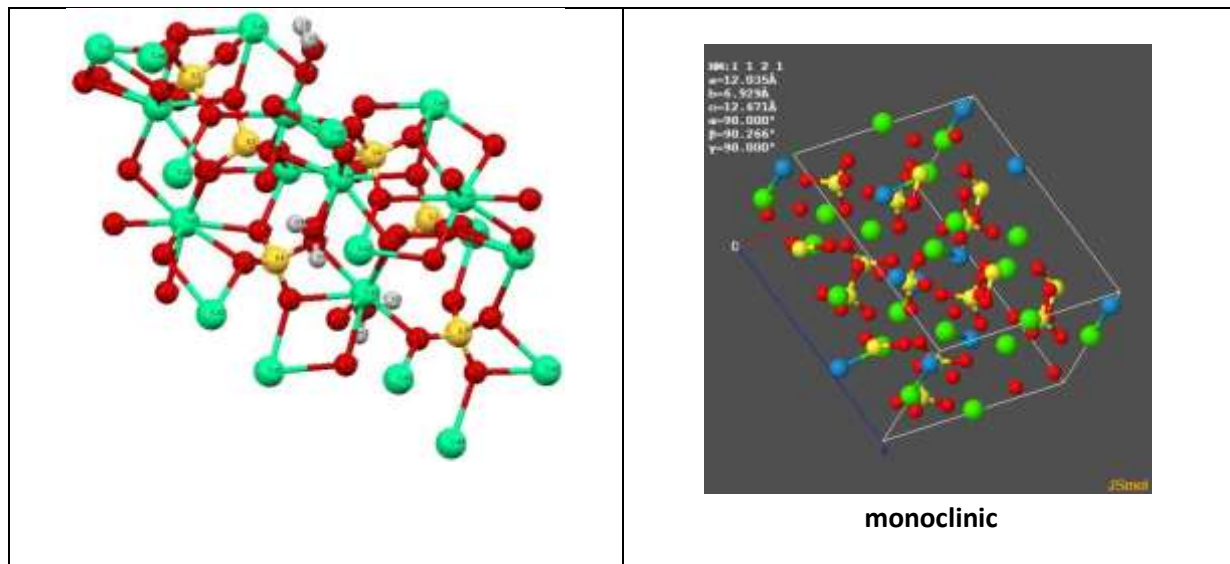


figure III-17: Structure cristallographique de Bassanite

```

Ballirano P, Maras A, Meloni S, Caminiti R
European Journal of Mineralogy 13 (2001) 985-993
The monoclinic I2 structure of bassanite, calcium sulphate hemihydrate
_database_code_amcsd 0006909
12.0350 6.9294 12.6705 90 90.266 90 I2
atom  x      y      z  Biso
Ca1    0      .5      0   .01
Ca2   -5   .011    0   .01
Ca3  2388  -199  .1677  .01
Ca4 -2217  -105  .0048  .01
S1   -8016  -400  .2491  .75
S2   2247   164  .9183  .75
S3  -2282   185  .4146  .75
O1    127   211   .984   .08
O2   125  238   .473   .08
O3   874   616   .315   .08
O4   875   628   .816   .08
O5   196   844   .332   .08
O6   285  -815   .858   .08
O7   857   366   .178   .08
O8   858   370   .673   .08
O9   271   359   .361   .08
O10  258  -317   .830   .08
O11  319  -161   .991   .08
O12  308  -181   .491   .08
Mat1   0   .843   0   6.4
Mat2  1953  .084  353  6.4
Download AMC data (View Text File)
Download CIF data (View Text File)
Download CIF data (View Text File)
View IUCr 3-D Structure (ccp4mdl)
    
```

Bassanite

Ballirano P, Maras A, Meloni S, Caminiti R

European Journal of Mineralogy 13 (2001) 985-993

The monoclinic I2 structure of bassanite, calcium sulphate hemihydrate
_database_code_amcsd 0006909

CELL PARAMETERS: 12.0350 6.9294 12.6705 90.000 90.266 90.000

SPACE GROUP: I2

X-RAY WAVELENGTH: 1.541838

Cell Volume: 1056.649

Density (g/cm³): 2.757

MAX. ABS. INTENSITY / VOLUME**2: 8.433167340

RIR: 0.996

RIR based on corundum from Acta Crystallographica A38 (1982) 733-739

Chapitre III

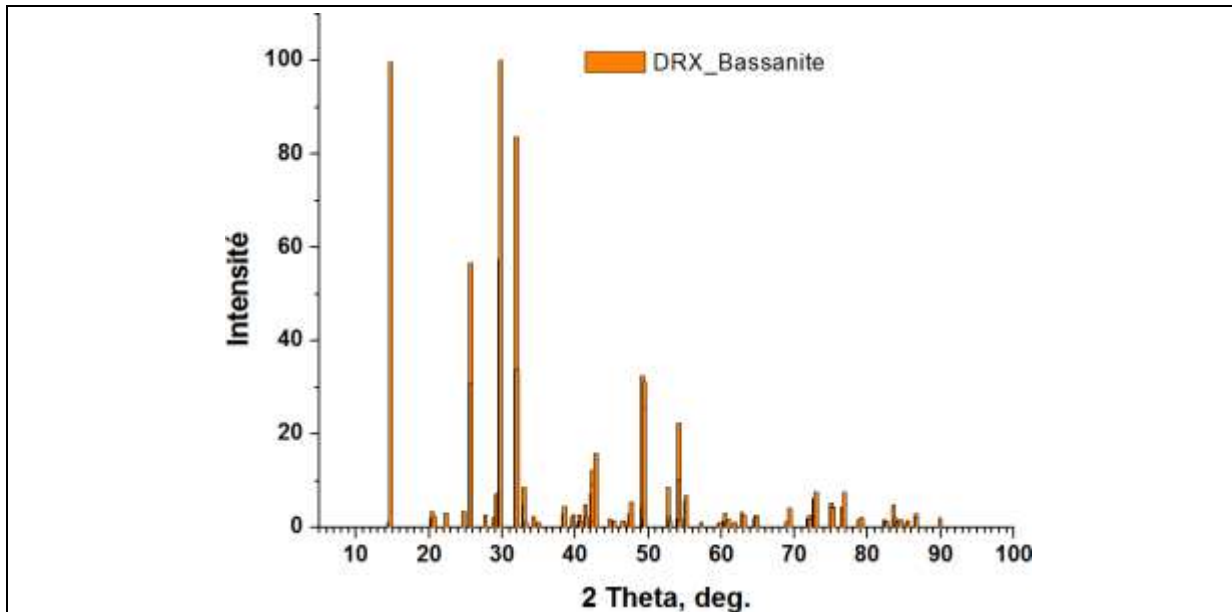


figure III-18 : DRX- Bassanite

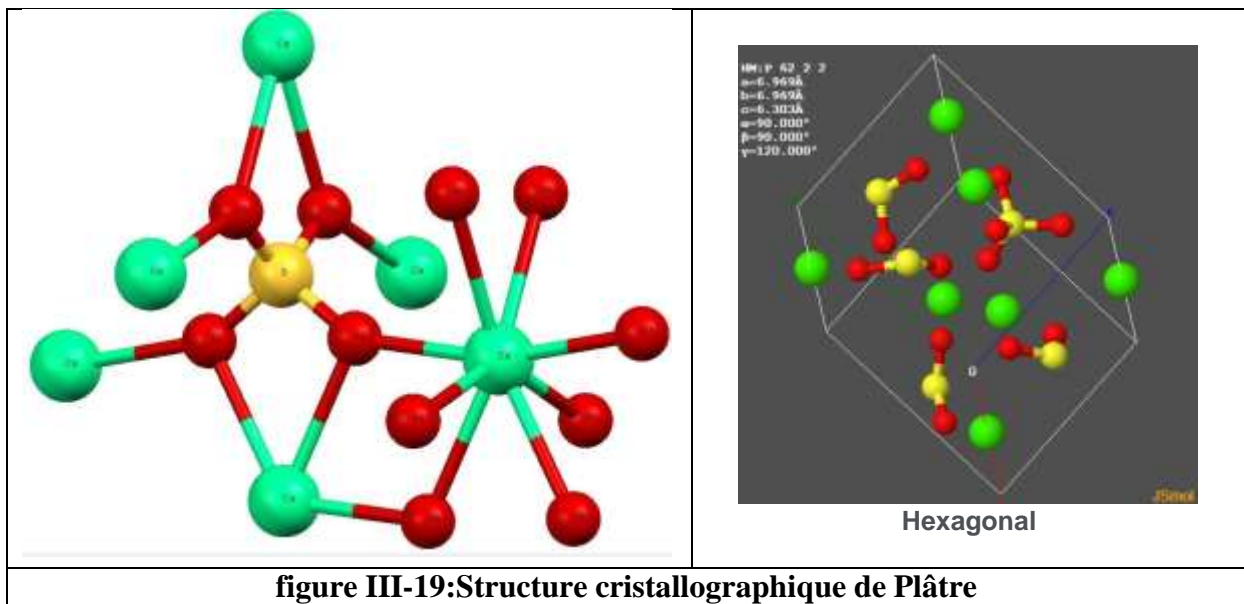


figure III-19:Structure cristallographique de Plâtre

Anhydrite (soluble)

Lager G A, Armbruster T, Rotella F J, Jorgensen J D, Hinks D G

American Mineralogist 69 (1984) 910-918

A crystallographic study of the low-temperature dehydration products of gypsum

$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$: hemihydrate $\text{CaSO}_4 \cdot 0.5\text{H}_2\text{O}$, and gamma- CaSO_4

Note: gamma- CaSO_4

Locality: synthetic

_database_code_amcsd 0019837

CELL PARAMETERS: 6.9694 6.9694 6.3033 90.000 90.000 120.000

SPACE GROUP: P6₂22

X-RAY WAVELENGTH: 1.541838

Cell Volume: 265.149

Density (g/cm³): 2.557

MAX. ABS. INTENSITY / VOLUME**2: 27.33567514

Chapitre III

RIR: 3.480

RIR based on corundum from Acta Crystallographica A38 (1982) 733-739

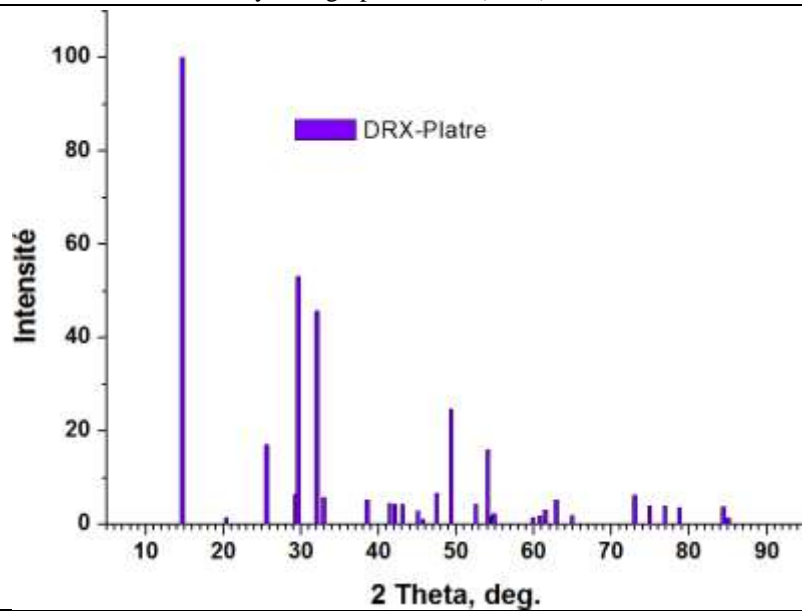


figure III-20 : DRX- Plâtre

Baryte

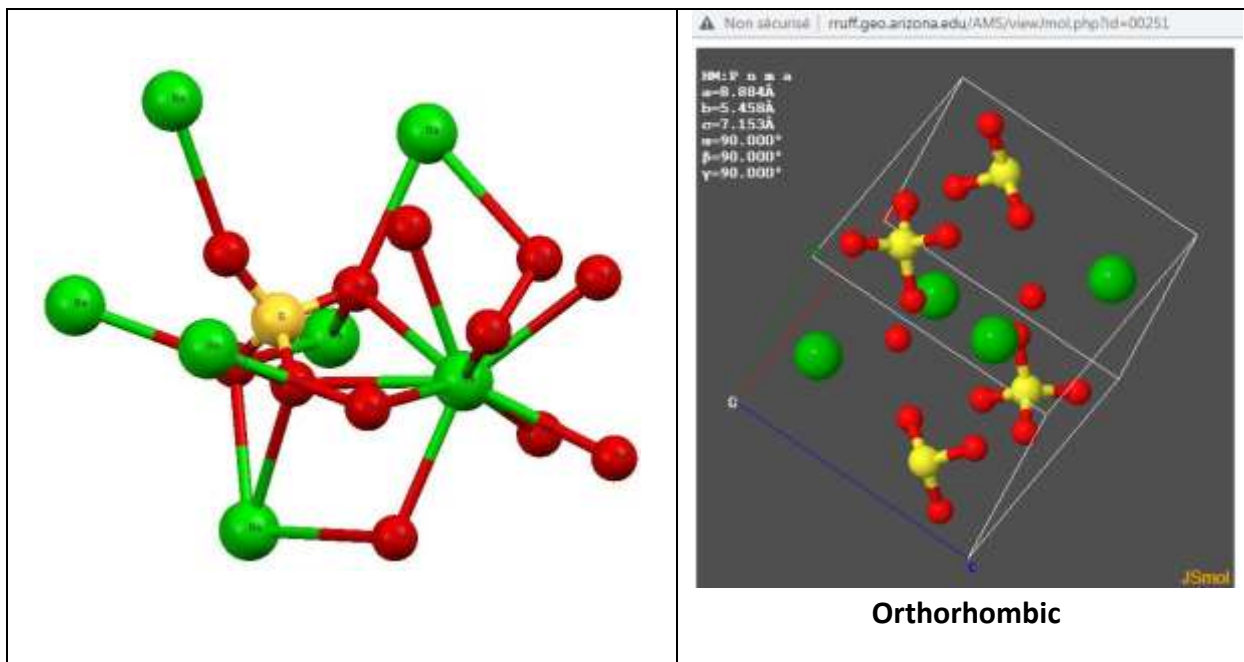


figure III-21:Structure cristallographique de Baryte

<http://ruff.geo.arizona.edu/AMS/minerals/Baryte>



Conclusion

Conclusion Générale

Dans notre travail présenté, nous avons quelques objectifs à atteindre :

-En premier apprendre à reconnaître certains minéraux de notre Wilaya,
-Ensuite leur appliquer une technique d'analyse pour révéler leur qualité, et éventuellement les transformer par traitement thermique (traitement de calcination) lorsque cela était possible,
Ainsi notre attention s'est posée sur deux minéraux très importants technologiquement, que notre environnement proche en regorge ; à savoir : le gypse, et la baryte.

Le premier, le gypse existe à Khenchela-Chechar-Siar. C'est un minéral très utilisé en construction de bâtiments. Sa formule est $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, celui-ci peut donner la bassanite (hémihydrate,) par élimination de 75% de son eau, et ensuite donner le plâtre (anhydrate) par élimination totale de l'eau. Nous avons suivi cette séquence de déshydratation par calcination du gypse synthétique, et celui de Siar en utilisant la technique spectroscopique FTIR, qui s'est révélée très efficace dans ce domaine de recherche. Les traitements de calcinations réalisés, ont été fait à 190°C durant 4h , et à 600°C durant la même durée de temps (4h), la vitesse de chauffage était de $10^\circ\text{C}/\text{min}$.

Nous avons montré qu'en plus du gypse de Siar, il y avait aussi des carbonate très probablement CaCO_3 (calcite), ou bien $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ (dolomite).

La baryte de Ain Mimoun a été aussi analysée, et comparée à une baryte synthétique. Ce sulfate de barium est très stable jusqu'à 1000°C , c'est ce qui justifie le fait que nous l'avons pas fait subir de traitement thermique. En effet la transformation de baryte en BaO , ne peut se réaliser que vers 1500°C , ce qui est assez élevé comme traitement thermique. La spectroscopie FTIR nous a permis de retrouver les éléments ou composés acolytes, tel que les oxydes, les carbonates, et aussi et surtout le quartz (SiO_2).



Annexes

DRX-Data**Baryte**

Colville A A, Staudhammer K

American Mineralogist 52 (1967) 1877-1880

A refinement of the structure of barite

from Cow Green mine

_database_code_amcsd 0000164

CELL PARAMETERS: 8.8840 5.4580 7.1530 90.000 90.000 90.000

SPACE GROUP: Pnma

X-RAY WAVELENGTH: 1.541838

Cell Volume: 346.841

Density (g/cm³): 4.469

MAX. ABS. INTENSITY / VOLUME**2: 40.55288951

RIR: 2.955

RIR based on corundum from Acta Crystallographica A38 (1982) 733-739

2-THETA	INTENSITY	D-SPACING	H	K	L	Multiplicity
15.91	2.15	5.5715	1	0	1	4
19.99	14.04	4.4420	2	0	0	2
20.47	32.02	4.3391	0	1	1	4
22.81	51.07	3.8989	1	1	1	8
23.58	9.61	3.7736	2	0	1	4
24.90	24.75	3.5765	0	0	2	2
25.86	98.44	3.4452	2	1	0	4
26.87	65.42	3.3177	1	0	2	4
28.76	100.00	3.1039	2	1	1	8
31.56	51.59	2.8351	1	1	2	8
32.73	10.49	2.7361	3	0	1	4
32.82	46.83	2.7290	0	2	0	2
36.20	14.58	2.4813	2	1	2	8

36.74	1.24	2.4460	3	1	1	8
38.73	15.22	2.3252	2	2	0	4
39.12	5.09	2.3028	1	0	3	4
39.51	7.43	2.2809	3	0	2	4
40.62	1.18	2.2210	4	0	0	2
40.81	26.97	2.2113	2	2	1	8
41.63	3.11	2.1695	0	2	2	4
42.61	46.59	2.1217	1	1	3	8
42.62	36.95	2.1211	4	0	1	4
42.91	52.19	2.1076	1	2	2	8
42.98	40.95	2.1045	3	1	2	8
43.06	1.94	2.1008	2	0	3	4
44.02	20.62	2.0572	4	1	0	4
46.59	1.28	1.9495	2	2	2	8
47.03	8.00	1.9322	3	2	1	8
49.05	19.71	1.8572	3	0	3	4
51.08	4.34	1.7882	0	0	4	2
51.85	5.69	1.7632	0	3	1	4
52.01	6.22	1.7582	3	1	3	8
52.18	5.25	1.7531	1	0	4	4
52.94	4.39	1.7295	1	3	1	8
53.11	2.62	1.7244	5	0	1	4
54.50	7.93	1.6836	2	3	0	4
54.82	16.69	1.6747	4	2	1	8
55.02	4.00	1.6691	1	1	4	8
55.38	1.92	1.6589	2	0	4	4
55.92	1.37	1.6443	5	1	1	8
56.12	10.64	1.6388	2	3	1	8
57.80	9.82	1.5952	1	3	2	8
57.96	1.89	1.5913	5	0	2	4

58.12	3.04	1.5872	2	1	4	8
60.28	20.41	1.5354	3	2	3	8
60.62	9.46	1.5277	5	1	2	8
60.81	1.89	1.5233	2	3	2	8
62.05	3.74	1.4957	0	2	4	4
63.02	9.98	1.4750	1	2	4	8
63.07	4.25	1.4739	3	1	4	8
63.85	4.95	1.4578	5	2	1	8
65.30	5.05	1.4290	6	1	0	4
65.37	9.67	1.4276	1	3	3	8
65.52	5.31	1.4247	5	0	3	4
65.64	9.99	1.4223	3	3	2	8
65.89	2.61	1.4175	2	2	4	8
66.43	6.52	1.4074	4	3	0	4
66.75	9.90	1.4013	6	1	1	8
67.71	5.57	1.3839	0	1	5	4
68.01	5.17	1.3785	5	1	3	8
68.80	6.96	1.3645	0	4	0	2
68.96	2.47	1.3617	2	0	5	4
69.67	5.95	1.3496	4	1	4	8
71.03	1.24	1.3270	6	1	2	8
71.39	6.21	1.3212	2	1	5	8
72.46	1.04	1.3043	2	4	0	4
72.65	2.84	1.3014	6	2	0	4
72.77	3.51	1.2996	3	3	3	8
73.85	1.33	1.2832	2	4	1	8
74.04	1.18	1.2804	6	2	1	8
74.42	1.58	1.2749	0	4	2	4
75.24	11.83	1.2630	5	2	3	8
75.28	2.55	1.2624	1	3	4	8

75.31	6.47	1.2619	1	4	2	8
75.89	1.06	1.2537	3	1	5	8
77.77	2.48	1.2281	5	1	4	8
77.94	1.20	1.2258	2	3	4	8
78.30	1.76	1.2211	3	4	1	8
78.50	5.10	1.2185	2	2	5	8
78.53	1.12	1.2181	7	1	1	8
79.73	5.16	1.2027	4	0	5	4
80.13	3.18	1.1978	5	3	2	8
80.26	4.34	1.1961	7	0	2	4
80.58	2.45	1.1922	0	0	6	2
82.32	1.94	1.1713	3	3	4	8
82.58	1.25	1.1683	7	1	2	8
84.33	2.26	1.1484	6	3	0	4
84.41	7.83	1.1476	4	4	1	8
85.67	3.62	1.1339	6	3	1	8
86.36	4.31	1.1266	2	1	6	8
86.55	3.05	1.1246	0	3	5	4
86.83	3.09	1.1217	5	3	3	8
87.93	2.91	1.1105	8	0	0	2
88.38	3.14	1.1060	4	3	4	8
88.93	5.82	1.1006	4	2	5	8
89.03	6.17	1.0996	3	4	3	8
89.25	4.34	1.0974	7	1	3	8
89.45	5.37	1.0955	7	2	2	8
89.77	2.26	1.0925	0	2	6	4

=====

XPOW Copyright 1993 Bob Downs, Ranjini Swaminathan and Kurt Bartelmehs

For reference, see Downs et al. (1993) American Mineralogist 78, 1104-1107.



BIBLIOGRAPHIQUE

BIBLIOGRAPHIQUE :

Références de l'introduction :

]1[Les 7 informations les plus importantes sur les richesses naturelles en Algérie ont, --
sauvegardé la version le 16 mars 2020 sur site Wia Pak honteux.

]2[<http://www.hakimabedouanikemane.com/2018/01/les-mines-un-riche-potentiel.html>

]3[<http://www.monde-diplomatique.fr/1958/06/JACOB/22602>

.....

Etude bibliographique du chapitre I :

]1[<https://www.ceMa.fr/comprendre/Pages/physique-chimie/essentiel-sur-mat>

[2] <https://www.playhooky.fr/technologie/familles-materiaux/>

[3] <https://conceptec.net/fr/techniques-de-base/materiaux/proprietes-et-classification-des-materiaux>

[4] Claude Guillemain, « Minéralogie », dans Encyclopædia Universalis (lire en ligne [archive]).

[5] « Espèce minérale » [archive], sur TERMIUM Plus (consulté le 8 mai 2020).

]6[Jean-Claude Boulliard, chap. 1 « Six questions souvent posées par le profane : D'où viennent les noms des minéraux ? », dans Jean-Claude Boulliard, Les Minéraux. Sciences et collections, CNRS Éditions, 2016 (lire en ligne [archive]), p. 87.

]7[(en) Robert M. Hazen et Jesse H. Ausube, « On the nature and significance of rarity in mineralogy », American Mineralogist, vol. 101, 2016, p. 1245-1251 (DOI 10.2138/am-2016-5601CCBY, lire en ligne [archive] [PDF], consulté le 3 juin 2016) URL :

<https://fr.wikipedia.org/wiki/Min%C3%A9ral>

[8] <https://www.greelane.com/fr/science-technologie-math%C3%A9matiques/science/evaporite-minerals-and-halides-4122793>

[9] <https://fac.umc.edu.dz> (Cours de l'Economie et Valorisation Minière, Dr .Dassamiour Mohamed, Chapitre 2 :L'activité minière en Algérie)

- [10] La classification des minéraux choisie est celle de Strunz, à l'exception des polymorphes de la silice, qui sont classés parmi les silicate
- [11] <https://fr.m.wikipedia.org>
- [12] <https://www.researchgate.net> (Description Minéralogique des minéraux de gangue du gisement de barytine, d'Ain Mimoune Khenchela, en Algérie, Novembre 2019)
- [13] <https://boblio.univ-annaba.dz> (Mémoire présenté en vue de l'obtention du diplôme de Magister en mines, Option : valorisation et gestion des ressources minérales, Université Badji Mokhtar Annaba)
- [14] <https://dl.ummtto.dz> (Mémoire Présenté pour l'obtention du diplôme de Master en Sciences de la Terre et de l'Univers, Option : Ressources Minéral et Environnement, Université Mouloud Mammeri de Tizi Ouzou)
- [15] André Béguin, in Jaunes [archive]
- [16] Bontinck cité par A. Béguin, repris in Jaunes [archive]
- [17] Barytine [archive] sur L'Encyclopédie canadienne
- [18] <https://fr.m.wikipedia.org/wiki/Gypse>
- [19] <file:///C:/Users/Hp/Desktop/Guide-Gypse-A4-V10-Web.pdf>
- [20] <file:///C:/Users/Hp/desktop/NSS-FR-6.pdf> (Les sources spécifique des nutritifs N₀ 16)
- [21] <https://fr.m.wikipedia.org/wiki/Gypse>
- [22] <file:///C:/Users/Hp/desktop/NSS-FR-6.pdf> (Les sources spécifique des nutritifs N₀ 16)
- [23] http://ruedeslumieres.morkitu.org/apprendre/gypse/composition/index_composition.html
- [24] [file:///C:/Users/Hp/Desktop/rapport-valorisation du gypse.pdf](file:///C:/Users/Hp/Desktop/rapport-valorisation%20du%20gypse.pdf) (RAPPORT DE PROJET 2017-2018)

- [25] Properties, genesis, Classification and distribution of soils with gypsum in Nettleton.w.d. Et al 1991. Properties, characteristics, genesis of carbonate gypsum and silica. Accumulation in soils. Spec. Pub, n 26. Madison Pp: 89-119. SSSA
- [26] Précis de chimie. Tome II. Chimie Minérale. Ed. Presses Universitaires de Paris.253p.
- [27] Gypsiferous soils, Note on their characteristics and management. Bulletin12.International institute for land reclamation and Improvement wageningen. The nether lands, 44p.
- [28] Etude de l'application des phénomènes de déshydratation et réhydratation du sulfate de calcium à l'estimation teneurs en eau et en gypse des sols gypseux. E.S.146.D.R E.S. Tunis 36p.
- [29] Management of gypsiferous soils. Bulletin n°62, F.A.O Ro me, 81p
- [30] Proceeding of the international symposium on soils with Gypsum Catalonia. Spain. Inter soil. Sci. Society. 52 p.
- [31] Soils mangements practices gypsiferoussoils. Water and land development Division. Workshop on Management of Gypsiferous- Damascus, Syria, pp: 1-21.
- [32] Les gypsisols. Ed. I.N.R.A. Référentiel pédologique française, 6ème version, 332p.
- [33] Proceeding of the international symposium on soils withGypsumCatalonia. Spain. Inter soil. Sci. Society. 52 p.
- [34] <https://bu.umc.edu.dz> (mémoire présenté à Constantine en vue de l'obtention du diplôme de Magistère En Géologie, Option : Ressources Minérales, 12 décembre 2015)
- [35] Contribution to the knowledge of gypsiferous soils. The Euphtates pilotirrigation projet, Raqqa. Dossier, A.G.O.N. /SF, Syr .67, 522, FAO-Rome.
- [36] Genesis and classification of gypsiferous soils of the middleEuphrates floodplain. Syria. Geoderma, volume 87. Issue 1-2, pp 67-85.
- [37] Contribution à la connaissance des sols du Nord de l'Algérie.

.Gypsiferous soils, Note on their characteristics and management. Bulletin 12. International institute for land reclamation and Improvement wageningen. The nether lands, 44p.

[38] Management of gypsiferous soils. Bulletin n°62, F.A.O Rome, 81p

[39] Genesis and classification of gypsiferous soils of the middle Euphrates floodplain. Syria. Geoderma, volume 87. Issue 1-2, pp 67-85.

[40] Interaction du gypse avec les autres constituants du sol, analyse microscopique de sols gypseux en zone aride (Algérie) et études expérimentations.

In Fedoroff ET al (Ed): soil micro morphology. Afes, pp: 179 – 186.

[41] Salty soils of arid and semi-arid regions. Sci. Rev. Arid Zone. Es. Vol .3, pp 1-47. Scientific Publisher jodhpur

[42] Contribution à l'étude des sols gypseux d'Algérie : Valorisation d'une banque de données et détermination des profils de références. Mém. Ing., El-Harrach, 155p.

[43] Le fonctionnement actuel et passé des sols du nord Sahara (cuvette D'Ouargla). Approche macromorphologique, géochimiques et minéralogique et organisation spatiale. Thèse de docte, Institut National Agronomique, Paris, Grignon, 307p.27

<https://drcbatna.dz/index.php/homepage?id=77:2013-06-18-10-17-45&catid=78>

[44] <https://drcbatna.dz/index.php/homepage?id=77:2013-06-18-10-17-45&catid=78>

.....

Etude bibliographique du chapitre II :

[1] Rayons Santé, « Le rayonnement électromagnétique (définition) » [archive], sur www.rayons-sante.com (consulté le 30 octobre 2014).

[2] Defense Intelligence Agency, « Biological effects of electromagnetic radiation » [archive] (consulté le 24 octobre 2019)

[3] Les ondes électromagnétiques [archive], sur le site univ-paris1.fr, consulté le 8 décembre 2013

- [4] <https://e-cours.univ-paris1.fr/modules/uved/envcal/html/rayonnement/1-rayonnement-electromagnetique/1-4-spectre-electromagnetique.html>
- [5] <https://www.quora.com/What-are-bending-vibrations-in-IR-spectroscopy>
- [6] http://www.sgm.univsavoie.fr/LP/carac_2010/Bochu_Chacón/FTIR/Bochu_Chacón_FTIR_fichiers/frame.htm
- [7] Richard Taillet, Loïc Villain et Pascal Febvre, Dictionnaire de physique, Bruxelles, De Boeck, 2013, p. 354.
- [8] Commission électrotechnique internationale, ISO 60050 Vocabulaire électrotechnique international, 1987/2019 (lire en ligne [archive]), p. 731-01-05 « Infrarouge ».
- [9] Susanne Wrang Bruun- Ph.D. Thesis Protein- lipid- carbohydrate interactions and importance to food quality Spectroscopic detection of macromolecular interactions BioCentrum-DTUBiochemistry and Nutrition Group (BNG)- Technical University of Denmark Søtofts Plads, building 224- 2800 Kgs. Lyngby- Denmark- February 2006
- [10] <https://e-cours.univ-paris1.fr/modules/uved/envcal/html/rayonnement/1-rayonnement-electromagnetique/1-6-infrarouge.html>
- [11] http://acces.enslyon.fr/acces/thematiques/limites/eau/comprendre/eau_univers/rappels-physiques/la-spectroscopie-infrarouge-i-r
- [12] Mikhail Ostroumov, Bernard Lasnier, Emmanuel Fritsch, et Serge Lefrant. Spectres diagnostiques de réflexion des minéraux dans le domaine infrarouge lointain. Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, volumen 17, numero 2, 2000, p. 163-167
- [13] <http://acces.ens-lyon.fr/acces/thematiques/limites/didacgeo>
- [14] <http://acces.ens-lyon.fr/acces/thematiques/limites/didacgeo>
- [15] <https://www.superprof.fr/ressources/scolaire/physique-chimie/toutniveau/dictionnaire/absorbance.html>
- [16] <http://jean-jacques.auclair.pagesperso-orange.fr/ftirUV/background.htm#>
- [17] <https://courses.lumenlearning.com/boundless-chemistry/chapter/functional-group-names-properties-and-reactions/https://www.guyhowto.com/functional-groups/>

- [18] <https://www.quora.com/What-are-bending-vibrations-in-IR-spectroscopy>
- [19] <https://www.mdpi.com/2304-8158/10/2/477/htm>
- [20] <https://orgchemboulder.com/Spectroscopy/irtutor/alkanesir.shtml>
- [21] <https://alevelchemistry.co.uk/notes/infra-red-spectroscopy/>
- [22] <https://u4w9x9m4.stackpathcdn.com/wp-content/uploads/2019/10/table-for-infrared-spectrophotometry.png>
- [23] <https://conductscience.com/the-basics-of-infrared-spectrophotometry/>

Résumé:

Une étude de quelques minéraux de la région de kenchela a été réalisée, Il s'agit du gypse et de la baryte. Nous avons utilisé dans notre travail la spectroscopie infrarouge FTIR-Cette étude nous a permis de suivre avec détails les transformations et les compositions de ces minéraux.

Abstract:

A study of some minerals from the kenchela region has been carried out, these are gypsum and barite. We used in our work the infrared spectroscopy FTIR-This study allowed us to follow in details the transformation and the composition of these minerals.

ملخص:

تم دراسة بعض المعادن لمنطقة كخنشلة ، يتعلق الأمر بمادة الجبس و الباريت. استعملنا خلال عملنا التحليل عن طريق الأطياف الكهرومغناطيسية ذات طول الموجة في مجال تحت الحمراء، مكنتنا هاته الدراسة بمتابعة دقيقة لكل مكونات هذه المعادن.