



UNIVERSITE ABDERAHMANE MIRA - BEJAIA
FACULTE DE TECHNOLOGIE

DEPARTEMENT DES MINES ET GEOLOGIE

Mémoire de Master

Présenté par

Khellal Silya & Messara Célia

En vue de l'obtention du Diplôme de Master en Mines et

Géologie

Thème

**Caractérisations et valorisation du rejet de
marne issu d'exploitation de fer d'El-Ouenza**

Soutenu le 24 / 06 /2014 devant le jury composé de:

M ^{me} Z.Souici	MCB Univ-Béjaia	Présidente
M ^{me} N.Malek	MCB Univ-Béjaia	Examineur
Mr B.Ayadi	MA Univ-Béjaia	Examineur
M ^{me} N.Bouzidi	MCB Univ-Béjaia	Encadreur

Remerciements

Nous remercions d'abord le dieu le tout puissant de nous avoir donné la force, la patience et la volonté pour nous avoir permis d'effectuer ce travail, aidé dans tous nos actes.

On désire adresser, un merci tout particulier, à notre promotrice M^{me}. Bouzidi Nedjima maître de conférences à l'université de Bejaia ces pertinents et judicieux conseils nos grandement aidé tout au long des différentes étapes inhérentes au processus de recherche et à l'élaboration de ce mémoire.

On remercie vivement l'ensemble des membres du jury, en commençant par M^{me} Z. Souici, Maître de conférences classe B de l'université de Bejaia pour avoir accepté de présider le jury de la soutenance. Ainsi que M^{me} N .Malek Maître de conférences classe B, université de Bejaia et Mr B. Ayadi Maître Assistant université de Bejaia d'avoir accepté de juger ce travail.

Nous tenons à remercier tous les enseignants de département mines et géologie honorons a leur tête notre chef de département Mr Maza.

Un grand merci pour le personnels de l'entreprise national Arcelor Mittal d'El-Ouenza de nous avoir ouvert ses portes afin d'effectuer notre stage.

On tient aussi à remercier l'entreprise national de ciment MEFTAH de nous avoir permis la réalisation de la caractérisation chimique nécessaire a la réalisation de notre travail.

On tien aussi a exprime toute notre gratitude au laboratoire de Génie Civil de l'université de Tizi Ouzou de nous avoir reçue.

On voudrait aussi remercie le laboratoire de recherche de l'université de Boumerdes d'avoir accepte de contribue aux caractérisations de nos échantillons.

Le témoigne de nos sincère gratitude va vers tous ceux qui ont participés de près ou de loin a la réalisation de notre travail.

DEDICACES

Je dédie ce modeste travail

A mes très chers parents que j'adore.

A mes frères, mes sœurs et mon mari.

A ma petite chère princesse Mériame.

A tous (tes) les enseignants qui ont contribué à ma formation.

A tous mes amis (es) et tous ceux que j'ai côtoyé le cours d'initiation.

KH. Silya

Je dédie ce modeste travail

A ma très chère mère.

A mon frère et sœurs.

A tout mes amies.

A tous (tes) les enseignants qui ont contribué à ma formation.

M.célia

Liste des abréviations

FX : Fluorescence X.

DRX : Diffraction des rayons X.

IRTF : Spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier.

ATG : Analyse thermogravimétrique.

ATG : Analyse thermo différentielle.

MEB : Microscope électronique à balayage.

PAF : Perte au feu.

DMA : Drainage minier acide.

N N E : Nord Nord Est.

SW : Sud West

N W : Nord West.

SONAREM : Société Nationale de Recherche et d'Exploitation Minières

Liste des tableaux

Tableau I.1 : Principaux minéraux de fer et leurs caractéristiques.....	11
Tableau I.2 : Ordre des étapes selon lesquelles sont élaborées les céramiques.....	25
Tableau II.1: Cubature annuelle année 2012 (Service géométrie mine de l'Ouenza).....	39
Tableau II.2 : Cubature annuelle 2013(Service géométrie mine de l'Ouenza).....	40
Tableau II.3 : Le nombre d'agents atteint par la silicose au niveau de la mine de l'Ouenza, déclaré par le médecin de travail de la mine.....	41
Tableau IV.1 : Compositions chimiques de la marne.....	60
Tableau V.1 : Compositions de chaque mélange en rejet, silice et alumine.....	68
Tableau V.2 : Pertes en masses des pastilles céramique à 1100 et 1150°C.....	69
Tableau V.3 : Pourcentage d'absorption des pastilles céramique à 1100 et 1150°C.....	71
Tableau V.4 : Pertes en masses des pastilles céramique à 1100 et 1150°C.....	72
Tableau V.5 : Pertes en masses des pastilles céramique à 1100 et 1150°C.....	73
Tableau V.6: Module d'élasticité des pastilles céramique à 1100°C.....	74
Tableau V.7: Module d'élasticité des pastilles céramique à 1150°C.....	74

Liste des figures

Figure I.1 : Drainage acide de mine.....	04
Figure I.2 : Carte des gisements de fer en Algérie.....	15
Figure I.3 : La marne jaune de djebel d'Ouenza.....	17
Figure I.4 : Différents types des céramiques naturelles.....	22
Figure I.5 : Schéma d'élaboration des céramiques par frittage.....	26
Figure II.1 : Gisement de la mine d'Ouenza.....	31
Figure II.2 : Situation de la ville de l'Ouenza.....	32
Figure II.3 : Coupe dans la structure anticlinale de la mine de l'Ouenza.....	33
Figure II.4 : Schéma technologique de l'extraction et de préparation de minerai de fer de l'Ouenza.....	38
Figure III.1: Concasseur à mâchoire de laboratoire.....	47
Figure III.2 : Appareil analyse par laser.....	50
Figure III. 3 : Principe du diffractomètre de poudre dans la géométrie de Bragg-Brentano....	51
Figure III.4 : Schéma de principe d'un spectromètre FT-IR.....	52
Figure III. 5 : Appareil MEB.....	53
Figure III.6 : Appareil ATD /ATG.....	54
Figure III.7 : Principe de la fluorescence X	54
Figure III.8 : Difficultés expérimentales affectant les résultats.....	55
Figure III.9: Module de Young.....	56
Figure IV.1 : Schéma de quartage d'un échantillon de marne jaune.....	59
Figure IV.2 : Courbe granulométrique de la marne par granulométrie laser.....	60
Figure IV.3 : Spectre infrarouge de la marne et la marne calcine.....	61
Figure IV.5 : Diagramme de diffraction des rayons X de la marne.....	62
Figure IV.6 : Diagramme de diffraction des rayons X de la marne calcine.....	62
Figure IV.7 : Thermogramme ATG de la marne.....	63

Figure IV.8 : Thermogramme ATD de la marne.....	64
Figure IV.9 : Micrographie de la marne jaune (10mm).....	65
Figure IV.10 : Micrographie de la marne jaune (20µm).....	65
Figure V.1 : Schéma d'élaboration des céramiques.....	68
Figure V.1 : Céramiques élaborées pour les différents mélanges à 1100°C.....	69
Figure V.3 : DRX des céramiques élaborées à 1100°C.....	70
Figure V.4 : DRX des céramiques élaborées à 1150°C.....	71
Figure V.5 : Micrographie des céramiques cuites à 1100°C de mélange M1.....	73
Figure V.6 : Micrographie des céramiques cuites à 1100°C de mélange M4.....	74

Sommaire :

Introduction générale

Introduction générale	01
-----------------------------	----

Chapitre I : Synthèses bibliographique

I.1. Généralités sur les rejets miniers	03
I.1.1 Définition de la mine	03
I.1.2. Définition de minerai	03
I.1.3. Définition de rejet minier	03
I.1.4. Différents types des rejets miniers	03
I.1.5. Impactes des rejets miniers	03
1. Impact sur les ressources en eau	03
1.1. Drainage d'acide minier et la lixiviation des contaminants	04
1.2. L'érosion des sols et des déchets miniers dans les eaux de surface	05
2. Impacts de projet miniers sur la qualité de l'air	05
3. Impact de projet minier sur la faune	06
3.1. Perte d'habitat	06
4. Impact de projet minier sur la qualité du sol	06
5. Impact de projet minier sur les valeurs sociales	06
5.1 Déplacement humain et réinstallation	07
5.2 Impact de la migration	07
5.2 Impact de la migration	07
5.3 Perte d'accès à l'eau potable	07
5.4 Impact sur la santé publique	07
5.5 Impact sur les ressources culturelles et esthétiques	08
6. considération sur les changements climatiques	08
I.1.6 Méthode envisages pour le traitement des rejets miniers	09
I.1.6.1. Valorisation des rejets miniers	09
1. Définition	09
2. Types de valorisations	09

I.2. Généralités sur le fer	10
I.2.1 définition	10
I.2.2 Propriétés	10
I.2.3 Les différents minéraux de fer	10
I.2.4 Utilisation de fer dans le secteur industriel	12
I.2.5 Exploitation de fer en Algérie.....	14
1. Les principaux gisements de fer	14
I.2.6 Production du minerai de fer dans le monde	15
1. Marché de minerai de fer	16
2. Prix	16
3. Etablissement des prix	16
I.3 Généralités sur les marnes	16
I.3.1 Définition	16
I.3.1.1 Définition de la marne	17
I.3.1.2 Définition des argiles	17
I.3.1.3 Définition des calcaires	17
I.3.2 Caractères et typologie des marnes	18
I.3.2.1 Influence des cycles humectation-dessiccation sur la dégradation des Marnes	18
I.3.2.2 Influence des cycles gel-dégel sur la dégradation des marnes	18
I.3.3 Les marnes dans la série stratigraphie.....	18
I.3.4 Genèse des marnes	19
I.3.5 Classification des marnes	19
I.3.6 Utilisation industriel des marnes	20
I.4 Généralités sur les céramiques	21
I.4.1 Définition	21
I.4.2 Propriétés des céramiques	21
I.4.3 Les types des céramiques	22
I.4.4 Classification des céramiques	23
1. Classification traditionnelles	23
2. Classification actuelle	23
2.1 Classification selon la composition chimique	23
2.2 Classification selon le procédé de la mise en forme	24

2.3 Classification selon la microstructure	25
I.4.5 Classification des céramiques	25
1. Elaboration des céramiques par frittage	25
2. Elaboration des céramiques via une fusion	27
3. Elaboration des céramiques via une fusion	27
4. Revêtement céramiques	28
I.4.5 Utilisation des céramiques	28
Conclusion	29
Référence bibliographique	30

Chapitre II : Présentation de la mine d'El-Ouenza

II.1.1 Le gisement ferrifère de l'El-Ouenza	31
II.1.2 Situation géographique	31
II.1.3 Historique de la mine de l'Ouenza	32
II.1.4 Importance de l'unité	33
II.1.5 Nature de gisement	33
II.1.6 Aperçu Géologique sur les Quartiers de la Mine de l'Ouenza	33
II.1.7 Minéralisation	35
II.1.8 Caractéristique particulière de gisement	35
II.1.9 Hydrogéologie	35
II.1.10 Prospection et états des réserves	36
II.1.11 Méthode d'exploitation	36
II.1.12 Réserves et Production	38
II.1.13 rejet de la mine	39
II.2 Impact de la mine sur l'environnement	40
II.2.1 Effet des poussières	40
II.2.2 Phénomène vibratoire	41
II.2.3 Bruit	42
II.2.4 Gaz et lubrifiant	42
II.2.5 Fosses et vides	42
II.2.6 La faune et la flore	42

II.2.7 Hydrologie	43
II.2.8 Hydrogéologie	43
II.2.9 Perte d'accée a l'eau potable	43
II.2.10 Effet sur le tourisme	43
II.2.11 Les décharges de rejet	43
II.3. Mesures d'atténuations	44
II.4 Remise en états du site	45
Conclusion	45
Références bibliographiques	46

Chapitre III : Méthodes et matériels utilisés

III.1. Matériels et réactifs	47
III.1.2 Réactifs	48
III.1.3 Matières premières	48
III. 1.3.1 Silice (SiO ₂)	48
III.1.3.2 Alumine (AL ₂ O ₃)	49
III.1.3.3 Rejet	49
III.2 : Méthodes de caractérisations	49
III.2.1 : Analyse granulométrique par laser	49
III.2.2 : Diffraction du rayon X (DRX)	50
III.2.3 : Spectrométrie infrarouge à transformée de Fourier	51
III.2.4 : La microscopie Electronique à Balayage (MEB)	52
III.2.5 : Analyse thermique	53
III.2.5.1 Analyse thermique différentielle (ATD)	53
III.2.5.2 Analyse thermogravimétrique (ATG)	53
III.2.6 Analyse par fluorescence X	54
III.2.7 Essai mécanique	55
III.2.7.1 Résistance en compression (détermination du module de Young)	56
III.2.7.1 Résistance en compression (détermination du module de Young)	55

III. 2.8 Les attaques acido-basiques	56
Conclusion	56
Références bibliographiques	57

Chapitre IV : Caractérisations de rejet (marne jaune) issu d'exploitation de minerai de fer la mine D'El-Ouenza

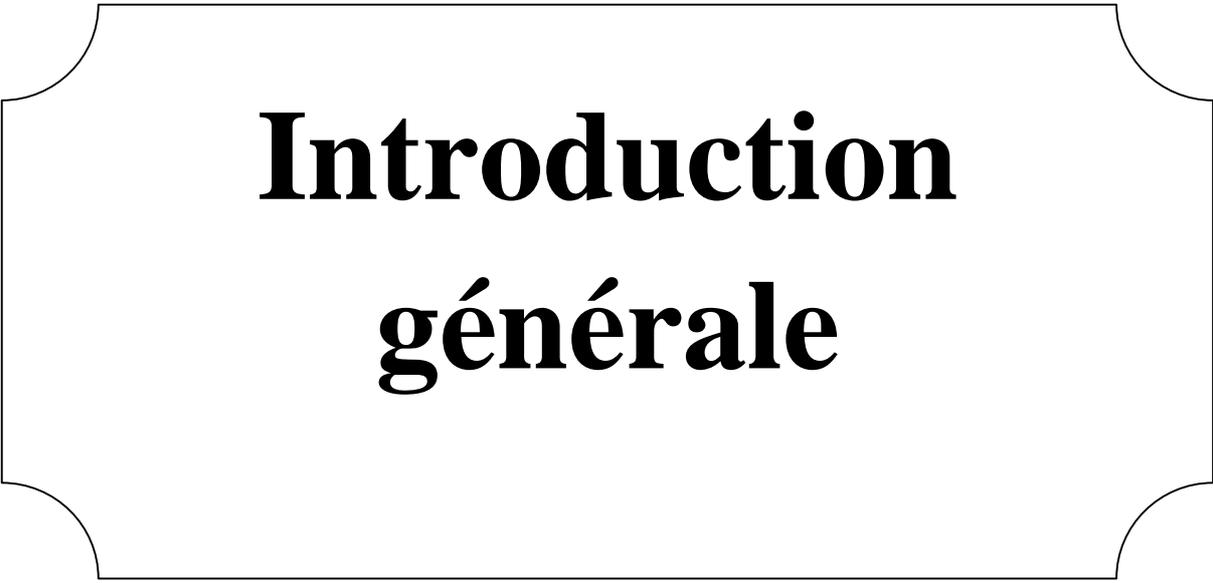
IV.1. Préparation de la matière première (marne jaune)	59
IV.1.1. Concassage.....	58
IV.1.2. Quartage	58
IV.1.3 .Calcination de la marne	59
IV.2.2. Fluoresce X	60
IV.2.3. Analyse infrarouge	61
IV.2.4. Diffraction des rayons X	62
IV.2.4.1 Diffraction des rayons X de la marne jaune	62
IV.4.2 Diffraction des rayons X de la marne calcinée	61
IV.2.5. Analyse thermique	63
IV.2.5.1. Analyse thermique gravimétrique	64
IV.2.5.2 Analyse thermique différentielle (ATD)	65
IV.2.6. La microscopie Electronique à Balayage (MEB)	65
Conclusion	66
Référence bibliographique	67

Chapitre V : Elaboration et caractérisation des céramiques

V.1. Elaboration des céramiques	68
V.2 : Influence de la température de cuisson sur l'aspect physique des pastilles	69
V.3. Caractérisation des céramiques élaborées	70
V.3.1. Analyse par diffraction des rayons X (DRX)	71
V.4. Propriétés chimiques des céramiques	71
V.4.1. Absorption en eau	71

V.4.2. Durabilité chimique aux acides et bases	71
1. Durabilité chimique par rapport à l'acide chlorhydrique HCl(1N)	72
2. Durabilité chimique par rapport à la base de soude NaOH (0,5)	73
V.5. MEB des pastilles cuites à 1100°C	73
V.6. Propriété mécanique (Module d'élasticité)	74
Conclusion	75

Conclusion générale



Introduction générale

Introduction générale

Le gisement de l'Ouenza est situé à l'extrême NNE de l'Algérie à proximité de la frontière Algéro – Tunisienne ; à 120 Km SSE du complexe sidérurgique d'El Hadjar (Annaba) auquel est relié par une ligne de chemin de fer et à 90 Km au NNE du chef lieu de la Wilaya de Tébessa, il fut découvert en 1878, son exploitation remonte à 1921.

Depuis ce temps, la mine d'el Ouenza génère des rejets importants lors des travaux d'exploitation, qui vont être déposés dans des décharges, le nombre de ces dernières augmente au fur et à mesure de l'avancement des travaux d'exploitation des différents sites pour atteindre à l'heure actuelle 15 décharges.

Les impacts environnementaux liés à la présence de ces décharges est la question du jour au niveau de la mine, car leur présence se manifeste par la pollution atmosphérique, impact sur la santé humaine, érosion, transport des sédiments.

Il faut signaler aussi, que la présence des rejets que ce soit dans l'usine d'El-Hadjar ou à la mine, leur grande ampleur risquerait la fermeture des usines si jamais on ne traite pas ou en prend pas en considération ce problème.

Il y'a plusieurs types de rejets au niveau de la mine d'El-Ouenza tels que les rejets marneux (jaune, grise) calcaire.

Dans notre travail on s'intéresse à un seul type de rejet, celui qui est le plus volumineux, c'est la marne jaune qui diffère de l'autre rejet (gris) par sa teneur en fer, matière argileuse.

A cet effet, l'objectif de notre travail porte sur deux axes :
Le premier axe porte sur les caractérisations physico-chimiques de la marne jaune. Le second axe consiste à valoriser ce rejet en essayant d'élaborer des céramiques.

Ce présent travail réalisé au laboratoire 24 des Mines et Géologie, est porté sur cinq chapitres :

Après une introduction générale, on présentera dans le premier chapitre un aperçu sur les rejets, leurs impacts et les différents domaines de valorisation, ainsi des généralités sur le fer notamment : définition, les différents minéraux, l'exploitation de fer en Algérie et la production mondiale en fer. On présente aussi un aperçu sur les marnes : définition, diagenèse, propriété et leur classification. A la fin de ce chapitre, on va s'intéresser aux céramiques : leur origine, leurs classifications, leurs propriétés, leurs élaborations et leurs domaines d'utilisations.

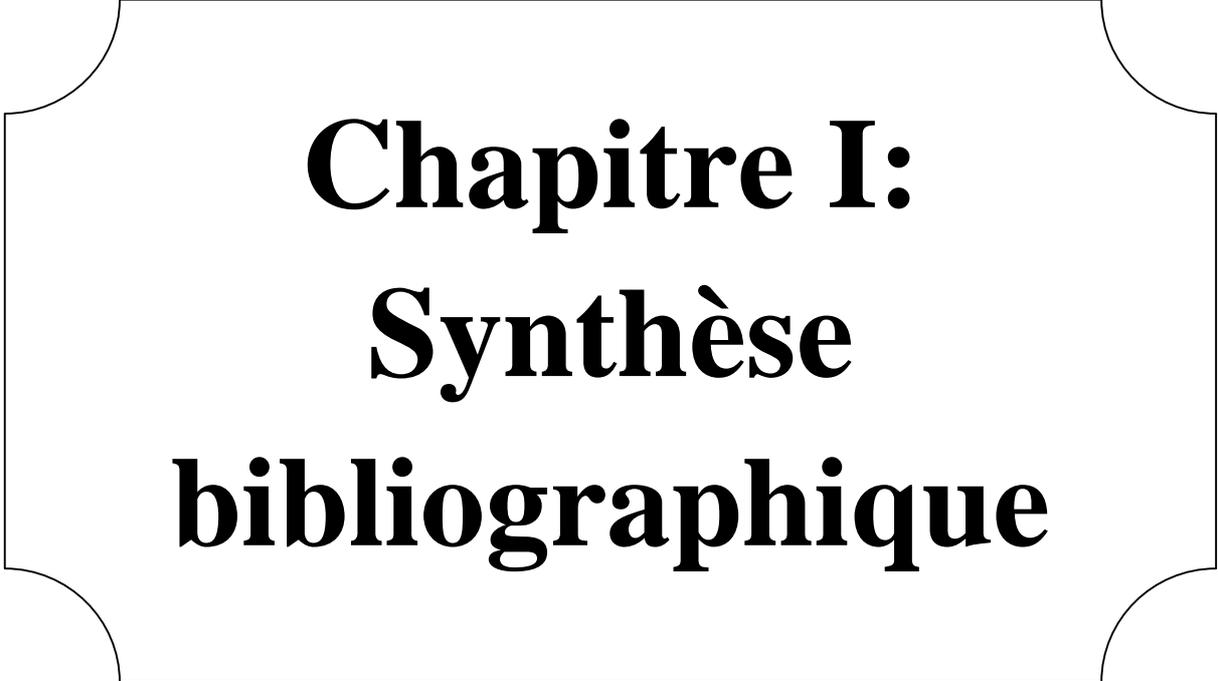
Dans le second chapitre, nous présenterons le gisement d'El-Ouenza, son historique ces différents quartiers, les principales caractéristiques géologiques, son mode d'exploitation, les rejets de la mine et nous terminerons par les différents impacts sur l'environnement et les mesures d'atténuation.

Le troisième chapitre sera consacré à la présentation des techniques expérimentales mises en œuvre pour les caractérisations des matériaux cuits et le rejet. On présentera la technique de diffraction des rayons X (DRX), la microscopie électronique à balayage (MEB), la spectroscopie Infrarouge à Transformé de Fourier (FTIR), l'analyse thermogravimétrique et différentielle (ATG/ATD), le module d'élasticité (module de Young).

Nous présentons dans le quatrième chapitre, les résultats expérimentaux obtenus et leurs analyses de caractérisations physico-chimiques.

Dans le cinquième chapitre, on présentera l'élaboration des pastilles céramiques ainsi que ses propriétés.

Enfin, nous terminons par une conclusion générale.



**Chapitre I:
Synthèse
bibliographique**

Chapitre I: Synthèse bibliographique

L'exploitation des mines a connu ses dernières années un développement très important au niveau de la quantité et de la qualité. Ce développement engendre des quantités de rejet sans valeur économique et peuvent présenter un risque sur l'environnement. Mais afin d'éviter les problèmes liés au rejet minier, la réutilisation et la valorisation dans le cycle de production a été la solution dans divers domaines (ciments, adsorbant, céramiques....).

I.1 : Généralités sur les rejets miniers :

I.1.1 : Définition de la mine :

Elle comprend tous les ouvrages, les installations d'extraction, équipements de traitement et les emplacement de stockage (concentré et résidus).

I.1.2 : Définition de minerai :

Masse rocheuse contenant des minéraux de valeur, en teneur (concentration) et en quantité suffisantes pour justifier l'exploitation [1].

I.1.3 : Définition de rejet minier :

Le rejet minier ou résidu minier : c'est toute substance issue de l'activité minière soit travaux de recherche, exploitation ou traitement du minerai sans valeur marchande établie qui accompagnent le minerai. Ces résidus peuvent être naturelles (stériles franc, minerais non exploités) ou des produits artificiels issus des phases de traitement (rejets de laveries). Elles sont entreposées en surface dans des empilements [1].

I.1.4 : Différents types des rejets miniers :

Chaque étape d'exploitation génère un type de rejet avec des caractéristiques physiques et chimiques différentes, on peut citer :

- les rejets de francs et de traçage de galerie ;
- les rejets d'exploitation et de l'abatage ;
- les rejets des équipements de traitement et de transports ; [2]

I.1.5 : Impacts des rejets miniers :

Les mines gèrent des quantités importantes de rejets, et ses rejets peuvent présenter des risques sur l'environnement et sur la vie humaine.

1. Impact sur les ressources en eau :

Les effets sur la qualité de l'eau et de la disponibilité des ressources en eau dans la zone du projet constituent peut-être l'impact le plus important d'un projet d'exploitation minière. Les questions clés sont de savoir si les fournitures en eau de surface et en eaux souterraines

resteront appropriées à la consommation humaine, et si la qualité des eaux de surface dans la zone du projet restera adéquate pour supporter la vie aquatique et la faune terrestre native. [3]

1.1 Le drainage d'acide minier et la lixiviation des contaminants :

La capacité de drainage de l'acide minier est une question-clé. La réponse déterminera si un projet minier proposé est acceptable pour l'environnement. Lorsque des matériaux minés (tels que les parois des mines à ciel ouvert et des mines souterraines, les résidus, les déchets rocheux et les matériaux lessivés déversés) sont excavés, exposés à l'eau et à l'oxygène, des acides peuvent se former si les minéraux sulfurés de fer (en particulier la pyrite) sont abondants et s'il y a une quantité insuffisante de matériaux neutralisants pour contrebalancer la formation d'acide. L'acide, à son tour, lessivera ou dissoudra les métaux et autres contaminants dans les matériaux minés et formera alors une solution acide, à forte teneur en sulfate et riche en métal (y compris les concentrations élevées de cadmium, de cuivre, de plomb, de zinc, d'arsenic, etc.).



Figure I.1 : Drainage acide de mine.

Le lessivage des constituants toxiques, tels que l'arsenic, le sélénium et les métaux, peut se produire même si les conditions acides ne sont pas présentes. Des niveaux élevés de composés d'azote et de cyanure (ammoniac, nitrate, nitrite) peuvent également être trouvés dans les eaux des sites miniers, en provenance de la lixiviation en tas et des produits d'abattage par explosifs. Le drainage des acides et des contaminants de lixiviation est la plus importante source d'impacts sur la qualité de l'eau liée à l'extraction des minerais métalliques.

Aquatique: Si les déchets d'une mine sont générateurs d'acide, les impacts sur les poissons, les animaux et les plantes peuvent être graves. De nombreux cours d'eau affectés par le

drainage d'acide de mine ont un pH de 4 ou inférieur - similaire à l'acide de batterie. Les plantes, les animaux et les poissons ont peu de chance de survivre dans de tels milieux.

1.2. L'érosion des sols et des déchets miniers dans les eaux de surface :

Pour la plupart des projets miniers, le potentiel d'érosion de sol et de sédiments dans l'eau de surface et la dégradation de la qualité de celle-ci est un grave problème.

Selon une étude commanditée par la Communauté européenne:

“En raison de la grande superficie de terre endommagée par l'exploitation minière et des grandes quantités de matériaux qui sont exposées sur les sites, l'érosion peut être une préoccupation majeure sur les sites miniers.

L'érosion peut provoquer le chargement important de sédiments (et tous polluants chimiques l'accompagnant) vers des plans d'eau proches, surtout pendant des tempêtes sévères et de grandes périodes de fonte de neige

Les principaux facteurs influençant l'érosion comprennent le volume et la vitesse du ruissellement provenant des précipitations, le taux d'infiltration des précipitations dans le sol, la quantité de la couverture végétale, la longueur de la pente ou la distance à partir du point d'origine du ruissellement en nappe au point où la sédimentation commence, ainsi que les structures de contrôle d'érosion opérationnelles

Environnement Australie résume le problème comme suit : « Potentiellement, les impacts défavorables de la conception et de la gestion de l'eau des sites miniers comprennent: des niveaux élevés inacceptables de solides en suspension (résidus non filtrables) et solides dissous (résidus filtrables) dans les eaux de ruissellement, et l'érosion des berges dans les cours d'eau. Il est évident qu'un Plan de Contrôle de Sédiment et d'Erosion est une composante fondamentale d'un Plan de Gestion de l'Eau dans un site minier ». [3]

2. Impacts de projet miniers sur la qualité de l'air :

Les émissions atmosphériques se produisent surtout pendant l'exploration, le développement, la construction et les activités opérationnelles. Les opérations minières mobilisent de grandes quantités de matières, et des déchets de piles contenant des particules de petite taille sont facilement dispersés par le vent.

Les plus importantes sources de pollution atmosphérique dans les opérations minières sont:

- Les particules de matières transportées par le vent, à la suite de fouilles d'abattages par explosion, de transport de matériaux, de l'érosion par le vent (plus fréquente dans les mines à ciel ouvert), des poussières fugitives provenant des installations de résidus, des stations de culbutage, des décharges de résidus et des routes de pénétration. Les émissions de gaz d'échappement provenant de sources mobiles (voitures, camions, équipements lourds) augmentent ces niveaux de particules;

- Les émissions de gaz provenant de la combustion de carburants dans des sources fixes et mobiles, explosions et traitement des minéraux.

Dès que les polluants pénètrent dans l'atmosphère, ils subissent des changements physiques et chimiques avant d'atteindre un récepteur. Ces polluants peuvent provoquer des effets graves sur la santé humaine et sur l'environnement.

3. Impacts de projet miniers sur la faune :

La faune est un terme général qui fait référence à toutes les plantes et tous les animaux (ou d'autres organismes) qui ne sont pas domestiqués.

3.1 Perte d'habitat :

L'exploitation minière provoque des dommages directs et indirects sur la faune. Les impacts proviennent principalement de la perturbation, du déplacement et de la redistribution de la surface du sol.

Les mines à ciel ouvert peuvent dégrader les habitats aquatiques avec des impacts ressentis à de nombreux kilomètres du site minier. Par exemple, la contamination des sédiments de rivières et de cours d'eau est courante avec l'exploitation à ciel ouvert.

4. Impacts de projet miniers sur la qualité du sol :

Les opérations minières modifient régulièrement le paysage environnant en exposant des sols qui étaient précédemment intacts. L'érosion des sols exposés, les minerais extraits, les terrils et les matériaux fins dans les tas de déchets de roches peuvent entraîner des charges substantielles de sédiments dans les eaux de surface et les voies de drainage des eaux. En outre, les déversements et fuites de matières dangereuses et les dépôts de poussières contaminées fouettées par le vent peuvent conduire à la contamination du sol.

-Contamination des sols: Les risques sur la santé humaine et sur l'environnement provenant de sols appartiennent généralement à deux catégories:

(1) sol contaminé provenant des poussières fouettés par le vent.

(2) les sols contaminés à partir de déversements de produits chimiques et de résidus.

5. Impacts de projet miniers sur les valeurs sociales :

Les projets miniers peuvent créer des emplois, des routes, des écoles et augmenter la demande de biens et de services dans les régions éloignées et pauvres, mais les avantages et les conséquences peuvent être inégalement partagés.

Les impacts sociaux des grands projets miniers sont controversés et complexes. Le développement des minéraux peut créer des richesses, mais il peut également provoquer des perturbations considérables. [3]

5.1. Déplacement humain et réinstallation

Des communautés entières peuvent être déracinées et contraintes de s'établir ailleurs, souvent dans des colonies construites à cet effet et pas nécessairement de leur propre choix. En plus de perdre leurs maisons, les communautés peuvent également perdre leurs terres et donc leurs moyens de subsistance. Les institutions communautaires et les relations de pouvoir peuvent également être perturbées.

Les communautés déplacées sont souvent relogées dans des zones sans ressources adéquates ou sont laissées près de la mine, où elles peuvent endurer le poids de la pollution et de la contamination. [3]

5.2. Impacts de la migration

Selon l'Institut International de l'Environnement et du Développement: « L'un des plus importants impacts de l'activité minière est la migration de personnes vers la région minière, en particulier dans les régions éloignées des pays en développement où la mine représente la plus importante activité économique ».

Cet afflux de nouveaux arrivants peut avoir un impact profond sur les habitants d'origine et des litiges peuvent survenir pour les terres et sur la manière dont les avantages ont été partagés.

5.3 Perte d'accès à l'eau potable

Les incidences sur la quantité et la qualité de l'eau sont parmi les aspects les plus litigieux des projets miniers. Les compagnies insistent sur le fait que l'utilisation des technologies modernes assurera des pratiques minières respectueuses de l'environnement. Toutefois, l'évidence des impacts environnementaux négatifs de la dernière activité minière amène les populations environnantes et en aval de la mine à se préoccuper du fait que les nouvelles activités minières affecteront négativement leur approvisionnement en eau...

5.4 Impacts sur la santé publique

Les substances dangereuses et les déchets dans l'eau, l'air et le sol peuvent avoir des répercussions graves, négatives sur la santé publique. En raison de la quantité, de la concentration ou des caractéristiques physiques, chimiques ou infectieuses, les substances dangereuses peuvent:

- (1) causer ou contribuer à une augmentation de la mortalité ou d'une augmentation de graves maladies irréversibles ou incapacitantes;
- (2) constituer un risque substantiel présent/actuel ou potentiel pour la santé humaine ou l'environnement si elles sont improprement traitées, stockées, transportées, éliminées ou gérées autrement.

Les problèmes sanitaires fréquemment liés aux activités minières incluent

- L'eau: La contamination des eaux de surface et souterraines par des métaux et des éléments, la contamination microbiologique par des eaux usées et des déchets dans les terrains de camping et les zones de résidence des travailleurs miniers;

- L'air: L'exposition à de fortes concentrations de dioxyde de soufre, les particules, les métaux lourds, y compris le plomb, le mercure et le cadmium;

Le sol: Le dépôt d'éléments toxiques à partir d'émissions atmosphériques. Les activités minières peuvent affecter soudainement le standard de vie et le bien-être physique, mental et social des communautés locales.

Les effets indirects de l'exploitation minière sur la santé publique peuvent inclure l'incidence accrue de la tuberculose, l'asthme, la bronchite chronique et les maladies gastro-intestinales.

5.5 Impacts sur les ressources culturelles et esthétiques

Les projets miniers peuvent affecter les terres sacrées, les infrastructures historiques et les points de repère naturels. Les impacts potentiels comprennent:

- La destruction complète de la ressource par la perturbation de la surface ou l'excavation;
- La dégradation ou la destruction, en raison de changements des structures topographiques ou hydrologiques, ou du mouvement du sol (enlèvement, érosion et sédimentation);
- Les impacts visuels dus à l'abattage de la végétation, aux grandes excavations, aux poussières et à la présence de gros équipements et des véhicules. [3]

5. Considération sur les changements climatiques :

Les grands projets miniers ont le potentiel pour modifier le carbone global de l'une au moins des manières suivantes

-Perte d'absorption de CO₂ par les forêts et la végétation qui ont été abattues,

-CO₂ émis par les machines (par exemple, véhicules lourds fonctionnant au diesel) impliqués dans l'extraction et le transport de minerai.

-CO₂ émis par la transformation du minerai en métal (par exemple, techniques pyrométallurgiques versus hydrométallurgiques). Un exemple est trouvé dans une évaluation réalisée par Minerals of Australia qui a utilisé la méthodologie de l'évaluation du cycle de vie pour estimer les émissions de cycle de vie des gaz à effet de serre provenant de la production de cuivre et de nickel, y compris l'exploitation de la mine.

Cette évaluation a conclu que les émissions de gaz à effet de serre du cycle de vie du cuivre et de la gamme de production de nickel vont: de 3.3 kilogrammes (kg) de CO₂ par kg de métal pour le cuivre produit par fusion à 16,1 kg de CO₂ par kg de métal pour le nickel produit par lixiviation acide.

I.1.6 : Méthodes envisagées pour le traitement des rejets miniers :

Les stratégies théoriquement envisageables pour le traitement des rejets sont les suivantes:

- Optimisation du procédé dont est issu ce déchet

Réduire l'usure mécanique permet de diminuer la quantité de déchet à traiter.

- Politique de valorisation ou de réutilisation du déchet

Si le déchet géré par la mine a des caractéristiques soit physique ou chimique important en va envisager soit un mode de valorisation ou de réutilisation (par exemple comme un matériau de remblayage dans les mines souterrain).

- Stockage

Cette stratégie incontournable constitue à l'heure actuelle l'unique moyen de gestion réellement mis en œuvre. [2]

I.1.6.1 : Valorisation des rejets miniers :

1. Définition :

La valorisation consiste à redonner une valeur marchande aux rejets. Elle s'effectue par divers moyens. Tous les procédés à des économies de matière première en même temps qu'ils contribuent de façon directe au respect et à la sauvegarde de l'environnement. [4]

La valorisation se fait par :

- **Le recyclage** : est la réintroduction directe d'un rejet dans le cycle de production dont il est issu, par remplacement total ou partiel d'une matière première neuve.
- **La réutilisation** : consiste à utiliser un rejet pour un usage différent de son premier emploi, ou à faire, à partir d'un rejet un autre produit que celui qui lui a donné naissance.
- **Production d'énergie** : en vue de récupérer l'énergie, certains rejets non recyclables peuvent être brûlés, (incinération), ou fermenter (biogaz). [4]

2. Types de valorisations :

- **Valorisation matière** : celle-ci recouvre :
 - le recyclage matière**: le rejet ou l'un des matériaux de rejets après transformation, devient la matière première d'un nouveau produit.
 - Le remploi** : le produit usagé, après réparation ou remise à l'état neuf, est à nouveau utilisé pour le même usage ou un usage différent.
 - la réutilisation** : le produit est utilisé plusieurs fois pour le même usage.
 - la régénération** : le rejet, après transformation, retrouve les mêmes caractéristiques physico-chimique et peut être utilisé comme une matière vierge.
- **Valorisation énergétique** : utilisation de rejet combustible en tant que moyen de production d'énergie, par incinération directe avec ou sans autre combustible, ou tout procédé, mais avec récupération de la chaleur.

- **Valorisation biologique** : permet de transformer uniquement les rejets biodégradables en compost et biogaz.

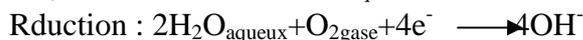
I.2 : Généralités sur le fer:

I.2.1. Définition :

Le nom du fer vient du latin *ferrum*. Le fer est l'élément de transition le plus abondant, constituant 4,7 % en masse de la croûte terrestre. On ne le trouve pas sous l'état métallique à la surface terrestre. Les plus lointaines découvertes du fer remontent à environ 4000 ans avant le début du calendrier chrétien. L'on retrouve ces artefacts chez les Égyptiens et les Sumériens.

I.2.2. Propriétés :

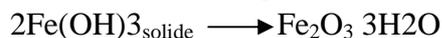
- Couleur : Le fer pur est un métal blanc argenté.
- Malléabilité et plasticité : Le fer est un métal très ductile et malléable.
- Degré d'oxydation et de réactivité : Le fer se limite aux degrés d'oxydation +2 et +3. Le fer métallique est très sensible à la corrosion, réaction rédox sous l'action de l'oxygène présent dans l'air. Cette réaction a lieu en présence d'air humide transformant le métal en oxyde de fer (III), la rouille Fe_2O_3 . Le mécanisme peut être décrit par les équations redox suivantes :



L'hydroxyde de fer(II) formé est rapidement oxydé en hydroxyde de fer(III),



Qui se transforme spontanément en oxyde de fer(III), Fe_2O_3 hydraté.



La présence d'eau est indispensable pour amorcer la corrosion, milieu dans lequel se dissolvent les ions Fe(II) formés au cours de la réaction. Ainsi, l'eau contenant les sels de Fe(II) augmente les zones de contact entre les régions actives favorisant le phénomène. La couche d'oxyde formée à la surface ne protège pas le métal car elle se craquelle, et le processus de corrosion se poursuit conduisant à la destruction totale du métal.

Le pouvoir réducteur de Fe^{2+} augmente avec la formation de complexes. Cette propriété est utilisée en chimie analytique : le sel de Mohr de formule $(\text{NH}_4)_2\text{Fe}(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ dans le fer est coordonné à six molécules d'eau, permet de doser des oxydants puissants tels que MnO_4^- , $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ ou H_2O_2 .

Les solutions d'acides minéraux attaquent le fer, formant en absence d'oxygène l'ion Fe(II) hydraté et de l'hydrogène dissous. En présence d'oxygène, l'ion Fe(II) est oxydé en ion Fe(III). L'acide nitrique concentré réagit en surface avec le fer, ce qui rend le fer passif. [5]

I.2.3. Les différents minéraux de fer :

Toutes les roches contenant du fer ne sont pas qualifiées de minerai de fer. En effet, bien que le fer soit un des éléments les plus abondants et les mieux répartis dans le monde (4% de l'écorce terrestre), toute roche en contenant ne peut être utilisée. Selon sa localisation, son

degré de concentration et le stade de développement des techniques d'extraction et de traitement, toutes ne sont pas économiquement exploitables.

Il existe à travers le monde un nombre important de roches contenant du minerai fer. Elles sont en général réparties en plusieurs catégories : les minerais oxydés, les carbonates, les minerais sulfurés et les silicates. [5]

Tableau I.1 : les principaux minéraux de fer et leurs caractéristiques

Minerai	Répartition chimique	Couleur	Caractéristiques
Minerais oxydés			
Magnétite (Fe_3O_4)	72,36% fer 27,64 % oxygène	Gris foncé à noir	C'est une roche très magnétique. Elle a pris de plus en plus d'importance avec le développement des techniques de concentration magnétique et l'utilisation accrue de produits de haute qualité.
Hématite (Fe_2O_3)	69,94% fer 30,06% oxygène	Gris acier à rouge vif	L'hématite est l'un des principaux minerais de fer. Cette roche possède une dureté qui peut aller de 5,5 à 6,5 selon la famille à laquelle elle appartient. C'est la forme de roche la plus répandue à la surface de la terre et c'est également celle qui est le plus souvent employée dans l'industrie.
Limonite (ou hématite brune) (HFeO_2)	62,85% fer 27,01% oxygène 10,14% eau	Jaune ou marron, parfois noir	Les limonites sont également une source importante de minerais à travers le monde. Elles sont à la fois oxyde et hydroxyde de fer. La goethite qui est une sorte de limonite se rencontre souvent en association avec de l'hématite.
L'ilménite (FeTiO_3)	36,80% fer 31,57% titane 31,63% oxygène	noir	On la rencontre parfois en association avec de petites quantités de magnétite. Elle est généralement exploitée pour le titane qu'elle contient. Le minerai de fer peut être alors extrait en tant que sous-produit au cours du traitement de la roche. Contrairement à l'hématite ou à la magnétite, cette roche n'est pas magnétique.
Les carbonates			
Sidérite (FeCO_3)	48,20% fer 37,99% CO_2 13,81% oxygène	Blanc à gris vert, elle peut virer au brun, en présence d'humidité	Les sidérites contiennent en général une proportion assez variable de calcium, magnésium ou manganèse.
Les silicates			
chamosite, stilpnomelane, greenalite, minnesotaite, grunerite.	Les minerais de ce type, bien que d'une importance assez limitée en tant que tels pour la production de minerai de fer, présentent un certain intérêt en tant que source de minerais oxydés.		

Les sulfurés			
pyrite (FeS ₂)	46,55% fer 53,45% soufre	Jaune cuivré	Cette roche est souvent connue sous le nom d'or des fous du fait de sa grande ressemblance avec l'or. Elle est la roche contenant du minerai de fer la plus répandue. Comme l'ilménite, elle n'est souvent pas exploitée pour le fer qu'elle contient mais pour sa teneur en soufre. Le fer en est le sous-produit le plus communément extrait.
Pyrrhotite	60,4% fer 39,6% soufre	Bronze	
Marcasite			

Les oxydes qui forment la gangue vont évidemment diminuer la teneur en fer des minerais employés.

Par rapport à leur teneur en fer, les minerais sont classés en :

- minerais pauvres : Fe \leq 30 %
- minerais moyens : Fe = 30 % ÷ 50 %
- minerais riches : Fe > 50 %

I.2.4. Utilisation de fer dans le secteur industriel :

Le fer n'est pas utilisé à l'état naturel mais utilisé sous forme d'alliage de fer qui s'appelle l'acier. L'acier est un alliage de fer et de carbone obtenu par affinage de la fonte, c'est-à-dire par diminution, jusqu'au niveau désiré de la teneur en carbone du mélange (souvent en dessous de 2%). Des éléments sont souvent présents dans l'acier, ce sont principalement :
 - des impuretés appelées scories en général moins de 0,1% qu'il s'agit de retirer. Ça peut être de l'oxygène, du phosphore ou du soufre,
 - des nouveaux produits (ou adjonctions entre 0,1% et 10% voire plus) comme le silicium, le manganèse, le chrome, le nickel, le cobalt, le molybdène, le vanadium, l'aluminium ou le cuivre par exemple. L'ajout de ces éléments est destiné à améliorer les caractéristiques physiques et/ou mécaniques de l'alliage. [5]

On estime à près de 98% la part du minerai de fer employé pour la fabrication d'acier. Ce pourcentage très élevé s'explique notamment par le caractère extrêmement polyvalent de ce métal en comparaison avec la fonte. Il supporte la déformation par compression ou par extension à chaud ou à froid. Il prend également très bien la trempe, c'est à dire qu'il est susceptible d'acquies une très grande dureté par chauffage à une température élevée (au-delà du point de transformation - austénisation) et refroidissement rapide, par immersion dans un liquide, eau ou huile ou même simplement à l'air comme c'est le cas pour les aciers autotrepants par exemple.

Traditionnellement, deux principaux types de produits peuvent être distingués : les plats et les longs. Les produits plats en feuilles ou en bobines comprennent les plaques, les feuillards, les tôles minces nues ou revêtues. Les produits longs regroupent principalement les profilés

lourds du type poutrelles, rails et fils. Ce sont ces produits "semi-finis" qui entreront dans le processus de fabrication de différentes industries allant du bâtiment, aux boîtes de conserves alimentaires, en passant par les composants électroniques ou les coques de certains bateaux.

❖ Dans la construction

Les inventions de Bessemer, Martin et Thomas ont permis la fabrication d'un acier normalisé et standardisé ont ouvert la voie à une production de masse. A partir de cette époque, l'acier a commencé à être plus généralement employé notamment dans la réalisation d'ouvrages architecturaux. Il est aujourd'hui le métal le plus utilisé dans ce secteur où il sert notamment à la réalisation d'ouvrages d'arts tels que des ponts par exemple. Même s'il n'en constitue pas le matériau de base, l'acier est presque toujours présent puisqu'il sert à armer le béton, permettant ainsi de renforcer les fondations et de le rendre plus résistant aux années. Il permet également de former le squelette de certains bâtiments. La construction est le premier secteur d'utilisation de l'acier. [10]

❖ Dans l'automobile

Le secteur de l'automobile est le deuxième marché pour l'acier. Les pièces en acier représentent de 55% à 70% du poids d'un véhicule. Au sein de cette industrie, l'acier va servir à fabriquer des châssis, des pièces de carrosserie ou de moteur. Sous forme de fils, il peut entrer dans la réalisation de carcasse de pneu. Si l'acier est employé sous sa forme brute, il devra être traité contre la corrosion (application d'une couche de zinc et d'une couche de peinture, pour les carrosseries notamment).

❖ Industrie alimentaire (emballages, ustensiles de cuisine...)

L'acier est un métal avec lequel chacun est quotidiennement en contact. Sous la forme de fer blanc, on s'en servira pour produire des emballages domestiques tels que des boîtes de conserve, des canettes de boisson, des conditionnements pour laque à cheveux ou pour déodorant, ainsi que des ustensiles de cuisine comme des plats, des casseroles ou des couverts. Ils sont aujourd'hui plus fréquemment fabriqués en inox (alliage de nickel et de chrome) qui ne nécessite aucune protection particulière puisqu'inaltérable dans la masse. L'inox ne se détériore pas au contact de l'eau, ni des détergents. Il est parfaitement sain et n'altère ni le goût ni la couleur des aliments.

❖ En pharmacie

Le fer est utilisé pour la préparation de médicaments. Du XVII^e siècle au début du XX^e siècle, il était l'un des principaux composants des boules d'acier vulnérables, boules de Nancy, boules de Molsheim, boules minérales des Chartreux, qu'on faisait tremper dans de l'eau pour la charger en substances réputées bénéfiques.

❖ Autres secteurs d'utilisations

Peu de domaines échappent à la polyvalence de l'acier et de ses alliages. Le secteur de l'informatique et de la téléphonie sans cesse en évolution servent de tremplin à ce métal qui entre notamment dans la fabrication de composants électroniques. Dans le domaine de l'aérospatiale, l'acier est utilisé dans la réalisation de pièces très pointues pour les satellites.

Le secteur de l'énergie utilise également les alliages à base de fer que ce soit en ce qui concerne le forage (plate-formes de forage), le transport du pétrole ou du gaz naturel par le biais de gazoducs ou d'oléoducs, la construction de centrales nucléaires ou les câbles électriques pour le transport de l'énergie vers l'utilisateur final. L'industrie chimique quant à elle cumule les défis avec des milieux hautement corrosifs, un travail à très haute température et des contraintes mécaniques élevées. [5]

I.2.5. Exploitation de fer en Algérie :

En dehors des hydrocarbures, le fer est l'un des principales richesses minières de l'Algérie, l'exploitation des gisements des minerais de fer a toujours eut une place prépondérante dans l'industrie extractive du pays. [6]

1. Les principaux gisements de fer :

L'essentiel du potentiel géologique se trouve au Sud-Ouest du pays avec 3,5 milliards de tonnes à 57% Fe. Il s'agit des gisements de Mecheri Abdelaziz et de Gara Djebilet, situés à 250 km à l'Est de Tindouf.

Le potentiel localisé au Nord du pays est évalué à environ 130 millions de tonnes réparties entre les gisements d'Ouenza et Boukhadra dans la wilaya de Tébessa (120 Millions de tonnes) et l'indice de Djebel Hanini dans la wilaya de Sétif (12 Millions de tonnes à 60% Fe).

Par ailleurs, la recherche minière a dénombré près de 150 occurrences ferrifères sur l'ensemble du pays. Les occurrences sont réparties dans l'Ougarta, le Bassin de Tindouf, dans le Hoggar et la Chaîne de l'Atlas.

Les principaux gisements de fer sont :

- * **Gara Djebilet** : 1 540 Mln de tonnes, de 56 % de Fer,
- * **Mecheri Abdelaziz** : 702 Mln tonnes, 52 % de Fer,
- * **Ouenza** : 80.3 Mln tonnes, 52.5 % de Fer
- * **Boukhadra** : 41.7 Mln tonnes, 55 % de Fer,
- * **Beni Saf** : 15.3 Mln tonnes, 53% de Fer
- * **Ain Mokra** : 5.7 Mln tonnes, 52% de Fer.
- * **Chaâbat El Ballout** : 5.3 Mln tonnes, 53 % de Fer,
- * **Ain Babouche** : 4.2 Mln tonnes, 40 % de Fer,
- * **Anini** : 3.7 Mln tonnes, 55 %, de Fer
- * **Rouina** : 2.8 Mln tonnes, 40 %, de Fer

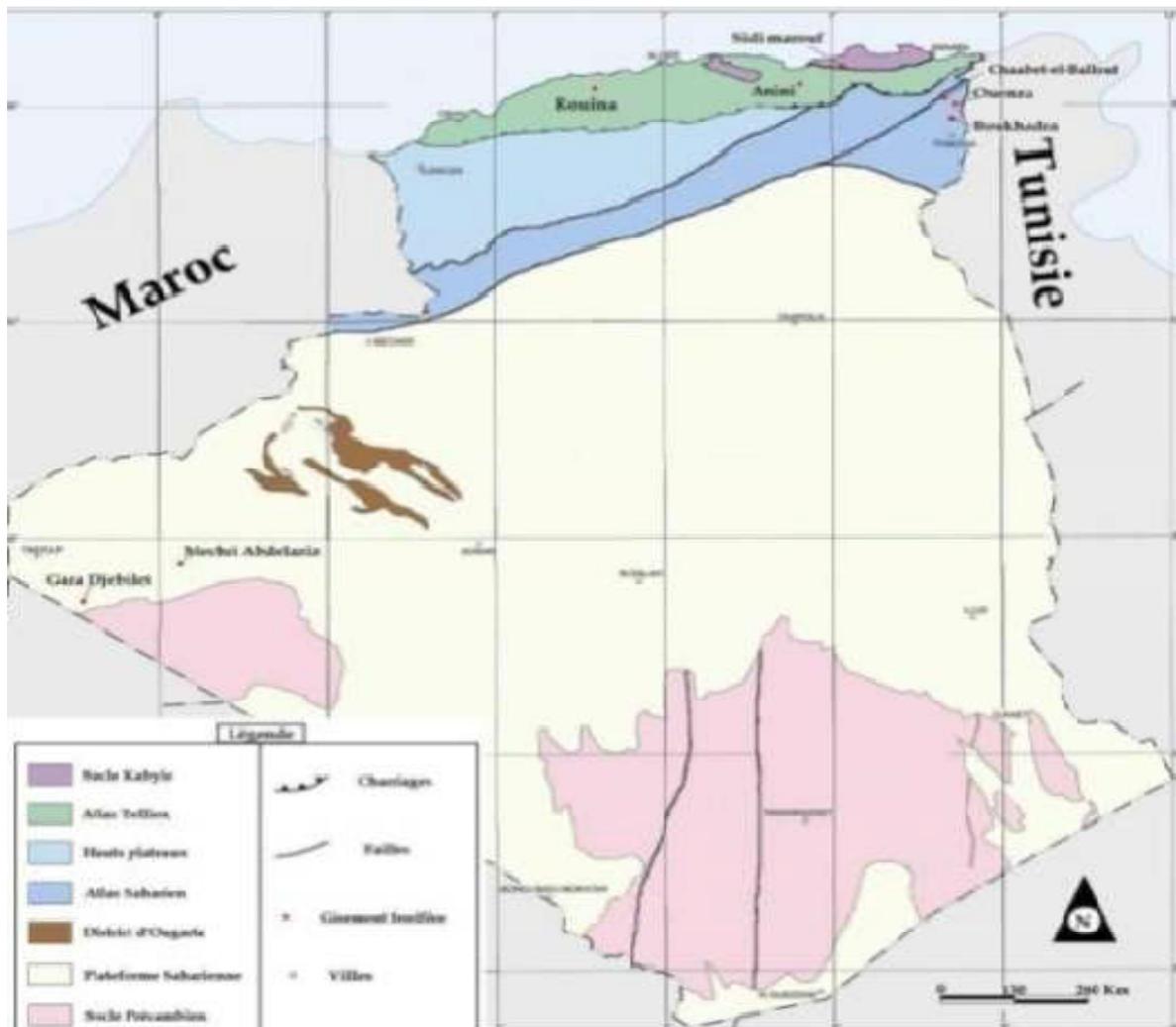


Figure I.2 : Carte des gisements de fer en Algérie [9]

I.2.6. Production du minerai de fer dans le monde :

La production mondiale de minerai de fer a baissé de 6,2 % en 2009 pour passer à 1 milliard 588 millions de tonnes. Parce que l'exploitation de minerai de fer augmente fortement depuis quelques années : **1.588.000.000 tonnes** de minerai de fer ont été extraites en 2010 dans le monde (contre 1,3 milliard en 2005). On estime qu'il reste 78 ans de réserves mondiales de minerai de fer (au rythme d'exploitation actuel).

La production mondiale de minerai de fer s'est élevée à 2,4 milliards de tonnes en 2010, assurée en grande partie par la Chine (37,5 %), devant l'Australie (17,5 %), le Brésil (15,4 %), l'Inde (10,8 %), la Russie (4,2 %) et l'Ukraine (3,0 %) ; les réserves mondiales de minerai de fer sont estimées à 180 milliards de tonnes, contenant 87 milliards de tonnes de fer, et sont détenues essentiellement par l'Ukraine (16,7 %), le Brésil (16,1 %) et la Russie (13,9 %). LA Chine a produit plus de 60% de fer métallique mondial en 2010 (environ 600 millions sur 1 milliard de tonnes) et 45 % de l'acier mondial (environ 630 millions sur 1,4 milliard de tonnes), devant le Japon (8,2 % du fer et 7,9 % de l'acier produits dans le monde). [7]

1. Marché du minerai de fer :

Dans le passé, les distances avaient divisé le monde en marchés individuels des minerais de fer. Depuis quelques décennies, on assiste à l'approvisionnement des grandes sidérurgies par des minerais ayant accompli des trajets maritimes très longs.

Il n'existe pas de marché formel organisé du minerai de fer et de l'acier. La formation des prix n'est en cela pas transparente, toutefois, l'usage veut que les prix soient fixés de gré à gré entre grandes sociétés internationales. [8]

2. Prix :

Bien que le prix du minerai de fer soit influencé par de nombreux facteurs subtils et variables, comme les coûts, les tarifs de fret, la qualité des produits et les taux de change, il demeure principalement tributaire de l'offre et de la demande.

Généralement, le prix du minerai de fer est d'abord négocié à huis clos entre un certain nombre d'exploitants de mines et leurs clients producteurs d'acier d'Asie et d'Europe, puis, une fois qu'un certain nombre d'ententes et de contrats annuels ont été signés, le reste des exploitants emboîtent le pas et un « prix du marché » est fixé. [8]

3. Établissement des prix :

Il semble que la négociation annuelle d'un prix du minerai de fer avec les utilisateurs s'avère de plus en plus difficile, à mesure que l'on abandonne les contrats à long terme pour profiter du prix au comptant élevé du précieux minerai.

Le développement d'un marché financier diversifié du minerai de fer permettrait aux exploitants d'usines de traitement et aux producteurs de fixer leurs prix de manière à courir moins de risques et de favoriser un équilibre entre les prix de référence et les prix au comptant, ainsi qu'entre leurs intérêts respectifs, afin d'éliminer la combativité et la tension inhérentes aux négociations annuelles.

Le minerai de fer est commercialisé sous plusieurs formes : les morceaux, blocs rocheux, de plus de 40 mm environ (lumps ou calibrés), les fines (0-10 mm) pour agglomération sur grille (ou *sinter-feed*), les boulettes (10-20 mm) ou pellets, fabriquées à partir de minerais très fins (moins de 100 mm).

On estime à près de 98% la part du minerai de fer employé pour la fabrication d'acier. Ce pourcentage très élevé s'explique notamment par le caractère extrêmement polyvalent de ce métal en comparaison avec la fonte.

I.3 : Généralités sur les marnes :

I.3.1 : Définitions :

I.3.1.1. Définition de la marne :

Les marnes sont des roches sédimentaires formées par un mélange de carbonates et de minéraux argileux. Hérité du celtique *margila*, *marga*, le terme « marne » (marl en anglais, Mergel en allemand) désignait initialement, et désigne toujours dans le langage populaire, des terres de composition, de couleur et de texture variables, dont la propriété commune est d'amender les sols.

Les marnes sont très répandues depuis le Mésozoïque jusqu'à l'Actuel. Elles sont assez favorables à la conservation des fossiles et désignent souvent des formations avant une

position stratigraphique précise. Outre l'amendement des sols, les calcaires marneux ont été beaucoup utilisés pour la fabrication des ciments avant que celle-ci ne devienne une opération chimique très précise. [9]



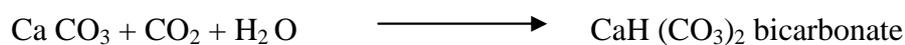
Figure I.3 : La marne jaune de djebel d'El-Ouenza

I.3.1.2. Définition des argiles :

Les argiles sont des roches sédimentaires composées principalement de minéraux argileux, ces minéraux sont des silicates en feuillet (phyllosilicates) d'aluminium plus ou moins hydratés dont les feuillets sont constitués de couches d'octaèdres $Al(OH)_6$ et de couches de tétraèdres SiO_4 reliées par les atomes O et OH mis en commun. D'après la structure du feuillet, on distingue principalement les argiles 1/1 (1 couche tétraédrique + 1 couche octaédrique) et les argiles 2/1 (2 tétra. pour 1 octaédrique). Les minéraux les plus connus sont : La kaolinite, l'illite, Les smectites, la glauconie, les chlorites, les vermiculites et les argiles fibreuses. [10]

I.3.1.3. Définition des calcaires :

Le calcaire de formule chimique $CaCO_3$ est de couleur blanche ou jaunâtre. C'est une matière tendre, raie l'ongle parfois l'entame. Il est quelquefois friable. Parfois, il faut l'acier pour le rayer. Le calcaire est très peu soluble dans l'eau (13mg/l). Il est soluble dans l'eau chargée de CO_2 (jusqu'à 2g/l) à cause de la formation de carbonate de calcium.



Tout facteur qui provoque le départ de CO_2 ou H_2O liquide détruit l'équilibre en faveur du premier membre et conduit directement à la précipitation du calcaire.

I.3.2 : Caractères et typologie des marnes :

Les marnes sont intermédiaires entre les calcaires et les argiles, et le terme « marne » ne désigne pas une espèce pétrographique bien définie. On passe ainsi des calcaires marneux, qui ne contiennent que 5 à 35 p. 100 d'argile, aux marnes argileuses (de 65 à 95 p. 100 d'argile) par l'intermédiaire des marnes sensu stricto (de 35 à 65 p. 100).

Comme les argiles, les marnes sont tendres, finement poreuses (elles happent à la langue), friables quand elles sont sèches, plastiques lorsqu'elles sont mouillées. Mais, à la différence des argiles, elles font effervescence avec les acides à cause de la présence du calcaire. La finesse des particules constitutives (minéraux argileux, carbonates et, parfois, silice en faible quantité) place les marnes dans le groupe des lutites, ou pélites.

Suivant la composition minéralogique, on peut distinguer des marnes dolomitiques, glauconieuses, magnésiennes, gypseuses, micacées, sableuses, humifères. La craie blanche est appelée « marne » dans le nord du bassin de Paris, la Picardie en particulier, et les carrières où on l'exploite sont des « marnières ».

I.3.2.1. Influence des cycles humectation-dessiccation sur la dégradation des marnes :

Les résultats obtenus par Monnet et Al (2011) sur des échantillons de marne de Draix soumis à cinq cycles de dessiccation-humectation pendant 16 heures à 103 degrés au four, et saturation pendant 8 heures à 20 degrés dans l'eau ont montré un changement très important au niveau de la granulométrie. Le D10 est passé de 2,62 à 1,31 mm, soit une réduction d'environ 50% qui s'est traduite par l'apparition d'un grand nombre de particules de petites tailles, une étude dans le même sens a été menée par Klotz en 2002, mais avec un protocole différent qui consiste en une saturation plus complète et un séchage à l'air libre. Ce protocole paraît plus approprié pour mesurer la dégradation en condition naturelles. [9]

I.3.2.2. Influence des cycles gel-dégel sur la dégradation des marnes :

Rovera et Robert (2005) ont étudié l'influence de la gélification sur des blocs de marne. Les blocs sont soumis à des cycles de 12 heures à -15°C suivis de 12 heures en atmosphère ventilée à 15°. Les débris récupérés sont séchés à 20°C pendant 24 heures puis pesés. Les résultats quantifiés sous forme d'un coefficient (amenuisement) variant de 15% jusqu'à 100% correspondant aux blocs le plus résistant et le plus fragile respectivement. Cette variabilité est expliquée selon les autres par la variabilité de la porosité.

I.3.3 : Les marnes dans la série stratigraphie :

Certains lithofaciès marneux caractérisent plusieurs stratotypes du Mésozoïque et du Cénozoïque. Ce sont, notamment : les marnes noires de Thouars (Toarcien) ; les marnes de Carixia (ou Charmouth), en Grande-Bretagne (Carixien) ; les marnes du Monte Domaro, en Italie (Domérien) ; les marnes noires d'Aalen, en Allemagne (Aalénien) ; les marnes noires d'Oxford et celles de Kimmeridge, en Grande-Bretagne (Oxfordien et Kimmeridgien) ; les calcaires marneux de Berrias, dans l'Ardèche (Berriasien) ; ceux de Valangin et de Hauterive, près de Neuchâtel en Suisse (Valanginien et Hauterivien) ; ceux de Barrême, dans les Basses-Alpes, et d'Apt, dans le Vaucluse (Barrémien et Aptien). Ces formations présentent souvent

une alternance de couches marneuses tendres, et calcaires plus dures, correspondant à des rythmes sédimentaires. Cette alternance lithologique est bien mise en évidence, à l'affleurement, par érosion différentielle. Au contraire, les marnes bleues de Tortona, en Italie (Tortonien), sont plus homogènes.

Parfois, à l'ère secondaire, mais surtout à l'ère tertiaire, les formations marneuses sont désignées par leurs fossiles caractéristiques : marnes à spatanges de l'Hauterivien, marnes à plicatiles de l'Aptien, marnes à *Pholadomya ludensis* du Ludien, marnes à huîtres du Stampien, marnes à bryozoaires du Priabonien.

I.3.4 : Genèse des marnes :

Les argiles qui rentrent dans la constitution des marnes proviennent soit de l'altération des massifs émergés, (les argiles héritées), soit de la reprise des sols où se mêlent les argiles héritées et les argiles néoformées. Après un transport, plus au moins long, les minéraux argileux arrivent au bassin de sédimentation. Dans ce cas, les marnes auront une origine détritique. Dans les étapes proprement chimique du cycle sédimentaire, les néoformations dominent (carbonate, silex, phosphate). Il existe aussi des néoformations de silicates et en particulier d'argiles. Les minéraux argileux dans ce cas s'édifient de toute pièce comme les autres minéraux d'origine chimique à partir des ions en solution dans l'eau. Au cours, et après le dépôt, interviennent les phénomènes de diagenèse (somme de processus de formation des roches à partir des boues (1969) a distingué les phénomènes suivants :

- Diagenèse des carbonates : l'étude de la sédimentologie des carbonates, a fourni de très nombreuses données sur les premiers stades de la diagenèse :
 - Ceux qui affectent la composition minéralogique et chimique (remplacement, recristallisation, dissolution, cimentation, formation de nodule)
 - Ceux qui altèrent la structure (fracturation, déformation plastique, tassement par dessiccation), Schmidt, 1965
- Diagenèse des minéraux argileux : les transformations diagénétiques affectent particulièrement les minéraux argileux en raison de leur taille, de leur surface spécifique élevée, et leur structure feuilletée facilitant les échanges d'ion entre le minéral et son entourage.

L'ensemble des phénomènes diagénétiques conduit à la formation d'un matériau dont les propriétés dépendront en grande partie, de l'intensité des phénomènes qui se sont produit. [9]

I.3.5 : Classification des marnes :

La marne renferme de très nombreux éléments accessoires, visibles uniquement au microscope et dont le rôle peut être prépondérant. Les marnes peuvent être classées selon différent critère comme suit [9] :

- Selon la couleur : la couleur des marne peuvent être distingué a l'oeil nue, selon les impuretés qui contient, on peut trouver :
 - les marnes bleues ;
 - Les marnes rouges ;

- Les marnes vertes ;
 - les marnes bariolées ;
 - les marnes grises ;
 - les marnes jaunes.
- Selon les constituants remarquables : on peut trouver des éléments volumineux et visible seulement au microscope tel que : nodules de pyrite, quartz, gypse, fer de lance ou encore en rose des sables et les macrofossiles. Ces éléments responsables de l'aspect permettent de définir :
- Les marnes micacées ;
 - les marnes sableuses ;
 - les marnes dolomitiques ;
 - les marnes bitumineuses ;
 - les marnes glauconieuses ;
 - les marnes gypseuses.
- Selon l'intérêt stratigraphique et paléontologique :
- les marnes à spongiaires ;
 - les marnes à foraminifères ;
 - les marnes à pholadomyies ;
 - les marnes à radiolaires.

I.2.6 : Utilisations industrielles des marnes :

On utilise les marnes dans divers domaines à savoir :

➤ **Agriculture**

Broyé, c'est aussi un produit d'amendement des cultures afin de rendre les sols moins acides. On peut l'utiliser comme un neutralisant pour le drainage minier acide.

➤ **Construction**

Depuis l'âge du fer, on extrait la marne sous forme de blocs de pierre à destination de la construction. On retrouve aujourd'hui ce matériau abondant, facile à extraire et à façonner dans nombre de bâtiments anciens modestes ou prestigieux. Avec l'épuisement des carrières en marne de qualité, la faible dureté du matériau et sa mauvaise résistance conduiront cependant à un abandon progressif de cet usage. Apparue il y a peu, le phénomène des pluies acides constitue un redoutable ennemi des bâtiments construits en matériaux marneux. Les derniers gisements de marnes de qualité sont donc réservés à la restauration.

Au XIX^e siècle on industrialisa la production de chaux. La marne avec sa composition calcaire élevée et son abondance était un ingrédient idéal pour les usages qui ne requéraient pas en final une chaux d'un haut niveau de pureté, l'élaboration de mortier par exemple. Le ciment Portland d'aujourd'hui utilise toujours la marne comme ingrédient principal.

➤ Peinture

Elle peut servir à la fabrication de pigments, d'enduits, comme gesso. Le fait qu'elle soit d'origine naturelle ne les rend pas a priori moins toxiques que d'autres pigments. Le blanc d'Espagne était notamment très utilisé pendant la Renaissance. Il est également utilisé par des activistes du mouvement antipub pour repeindre les panneaux publicitaires. Du point de vue juridique, l'utilisation du blanc d'Espagne ne constitue pas en effet une dégradation.

➤ Entretien ménager

Le blanc d'Espagne est utilisé pour ses vertus absorbantes, abrasives, et sa capacité à faire briller.

Pour fabriquer une pierre à récurer, nettoyer les plaques vitro/induction, pour détacher le gras, et pour le polissage fin en général.

➤ Décoration

Pour patiner le bois au blanc d'Espagne il suffit de frotter les lames avec une brosse métallique, dans le fil du bois, pour creuser les veines. Puis, au bain-marie, il faut faire fondre la colle de peau de lapin additionnée de blanc de Meudon ou d'Espagne en mélangeant régulièrement. Il faut ajouter de l'eau, par petite quantité, jusqu'à obtenir une "peinture" suffisamment fluide. Passer la composition encore chaude au pinceau large. Une fois le bois sec, faire fondre la cire avec un peu d'essence de térébenthine puis passez-la au pinceau. Enfin, lustrez avec un gant.

I.4 : Généralités sur les céramiques :

I.4.1 : Définition :

Le terme céramique signifie souvent des objets rustiques comme des poteries, des briques et des tuiles, mais le terme de céramique signifie plus généralement un solide qui n'est ni un métal ni un polymère composés d'oxydes, de carbures, de nitrures et de borures. Une céramique est un matériau solide de synthèse qui nécessite souvent de traitement thermique pour son élaboration. La plus part des céramiques modernes sont préparés à partir des poudres consolidées (mise en forme) et son densifie par un traitement thermique (le frittage). La plus part des céramiques sont des matériaux polycristallins, c.-à-d. comportant un grand nombre de microcristaux bien ordonnée (grains ou la phase cristalline dispersées) relies par des zones moins ordonnée (joins de grains ou matrice). [2]

I.4.2 : Propriétés des céramiques :

Les principales propriétés physiques, thermiques et chimiques des céramiques sont dominées par la nature des liaisons interatomiques et leur structure cristalline. Les liaisons interatomiques des céramiques sont essentiellement des liaisons fortes, iono-covalentes. Dans certains matériaux (silicates, graphite), il existe cependant des liaisons faibles de type van der Waals.

Toutefois, une autre caractéristique, leur microstructure, joue également un rôle très important sur les propriétés des céramiques, en particulier les propriétés mécaniques. Les liaisons ioniques et covalentes impliquent tous les électrons de valence des atomes en présence. Il n'y a donc pas d'électrons libres et les céramiques sont, en général, de mauvais conducteurs de la chaleur et de l'électricité. Elles sont fréquemment utilisées comme diélectriques et isolants thermiques.

Quand la bande d'énergie interdite (entre la bande de valence et la bande de conduction) est faible (de l'ordre de 1 eV), les céramiques peuvent être semi-conductrices (ex : SiC...) ; toutefois, des dopages peuvent grandement modifier cette bande d'énergie et être à l'origine de nouvelles propriétés électriques.

Certains matériaux céramiques, de par leur structure cristalline, présentent des propriétés ferroélectriques (BaTiO_3), piezoélectriques (quartz, PZT), ferrimagnétiques (ferrites).

Les liaisons ioniques et covalentes étant des liaisons fortes et stables, les températures de fusion des céramiques sont donc généralement très élevées. C'est pour cette raison que certaines sont utilisées comme matériaux réfractaires ou comme conteneurs à hautes températures. Du fait également de la stabilité des liaisons chimiques, les céramiques possèdent une grande inertie chimique et sont donc peu sujettes à la dégradation par corrosion.

En ce qui concerne les propriétés mécaniques, les céramiques sont caractérisées par l'absence de plasticité (elles ont un comportement fragile), une dureté et une rigidité élevées, une faible résistance à la traction et une bonne résistance à la compression. [11]

I.4.2. Les types des céramiques :

On distingue trois types de céramiques :

- **Les céramiques traditionnelles** : (silico-alumineux), qui sont issues de matières premières naturelles (argile, feldspath, kaolin, quartz) et généralement mises en œuvre par coulée (barbotine), comme les briques, carreaux de sol etc....
- **Les céramiques techniques** : elles se distinguent des céramiques traditionnelles par une température de mise en forme plus élevée. Exemple : Al_2O_3 (Alumine), oxyde de titane TiO_2 etc.....
- **Les céramiques naturelles** : on citera les silicates et l'aluminosilicate. Bien que les céramistes ont été sollicités les céramiques pour développer de nouveaux matériaux très fiables, très performants et nécessitant l'utilisation de nouvelles technologies. Elles mettent à profit leurs propriétés électrique, isolantes, magnétique, optiques, supraconductrices, thermiques, thermomécaniques etc..... [2]



Quartz



Opale



Micaschiste

Figure I.4 : Différents types des céramiques naturelles

I.4.3 Classification des céramiques :

1. Classification traditionnelles :

Se classement est base sur la température de frittage (température de cuisson) :

- Haute fusion : 1289 à 1390°C (dents artificielles des prothèses amovibles)
- Moyenne fusion : 1090 à 1260°C (Jackets cuites sur platine)
- Basse fusion : 870 à 1065°C (émaillage couronnes céramo-métalliques)
- Très basse fusion 660 à 780°C (depuis 1992) : émailage du titane, émailage d'alliage à haute teneur en or, réalisation d'éléments entièrement en céramique et de joints céramique-dent. [12]

2. Classification actuelle :

Les propriétés finales des prothèses en céramique résultent de la nature chimique du matériau et du procédé de mise en forme. Il est donc indispensable d'établir une classification basée sur la composition chimique, la microstructure et les procédés de mise en forme.

2.1. Classification selon la composition chimique :

Selon la composition chimique en peut site cinq classe :

- **céramiques feldspathiques** : la matrice vitreuse de se type des céramique est compose de feldspath et feldspathoïdes, sa température de fusion est entre 1100 et 1300°C. le quartz compose la charpente cristalline et sa température de fusion est de 1700°C.
- **Céramique alumineuse** : On les distingue en fonction de la teneur en alumine :
 - 40%: jacket de Mac Lean
 - 65%: Cerestore, Allceram
 - 85%: Inceram
 - In-Ceram Alumina : standard
 - In- Ceram Zirconia : plus résistante composée d'alumine et de zircone (ZrO_2)
 - In-Ceram Spinelle : plus translucide et moins résistante composée de $MgAl_2O_4$
 - >98% : Procera.
- **Les vitrocéramiques** : Ce sont des matériaux mis en forme à l'état de verre et qui subissent un traitement thermique de cristallisation volontaire, contrôlée et partielle. Certains composants matriciels (des oxydes) cristallisent par traitement thermique en présence de catalyseurs de germination.

Deux procédés ont été développés :

- **Dicor** : Développé par Adair et Grossman, le matériau est un micatetrafluorosilicate avec la composition suivante : SiO_2 : 55-65%, MgO : 14-19%, K_2O : 10-18%, MgF_2 : 4-9%, Al_2O_3 : 0 2% + des traces de ZrO_2 comme germinateur et d'agents fluorescents.
- **Cerapearl** : Ce matériau a été mis au point par Hobo et Iwata. Il s'agit d'une apatite dont la composition est la suivante: CaO , 45%; SiO_2 , 34%; P_2O_5 , 15%; MgO , 5% + du CaF_2 comme catalyseur de germination. La formule globale qui est CaO , P_2O_5 , SiO_2 . Ce matériau génère après cristallisation une structure proche de l'hydroxyapatite de l'émail.

La silice (SiO_2) participe essentiellement à la formation de la matrice vitreuse alors que l'oxyde de Ca participe à la formation des cristaux d'hydroxyapatite. Les

phosphates (P_2O_5) participent à la fois à la formation de la matrice et des cristaux d'hydroxyapatite.

- **Les céramiques à base de zircon** : La zircon (ZrO_2) cristallise dans trois types de réseaux : monoclinique (M), cubique (C) et tétragonal (T). A température ambiante la zircon possède une structure de type monoclinique. Sous l'effet de variations de température, des transformations allotropiques se produisent à l'état solide.
- **Verres hydrothermaux** : Ce sont des matériaux monophasés, (sans phase cristalline), dans la structure desquels, des ions OH ont été incorporés. Ils possèderaient un comportement de surface (dureté) plus proche de celui de l'émail des dents naturelles.

2.2. Classification selon le procédé de mise en forme :

On trouve deux types [12] :

- **Mise en forme avec armature métallique** : Le rôle de ce support métallique est de renforcer mécaniquement la prothèse et de servir de support de cuisson sur lequel va s'annuler la rétraction de frittage grâce à la plasticité à haute température de la phase vitreuse.
- **Mise en forme sans armature métallique** : elle comprend les étapes suivant :
 - **Cuisson sur revêtement**
A peu près toutes les céramiques peuvent être frittées sur un revêtement compatible et chimiquement inerte.
 - **Coulée et vitrocéramisation**
La mise en forme s'effectue par coulée à la cire perdue identique à celui permettant l'obtention de pièces métalliques. (Ex : Dicor)
Après section de la tige de coulée et contrôle, le traitement thermique de céramisation. La céramisation est réalisée dans un four programmé, pendant 6 heures à une température $1075^\circ C$
 - **Injection**
Deux techniques sont possibles :
 - Maquillage : la totalité de la restauration est réalisée par injection puis maquillée en surface.
 - Stratification : une armature en Empress est réalisée et recouverte par une céramique feldspathique adaptée au procédé.
 - **Barbotine + frittage + infiltration**
La mise en forme est réalisée en plusieurs étapes. Le MPU est dupliqué en plâtre spécial
La cuisson de frittage comprend deux étapes :
 - entre 20° et 120° pendant 6 heures : déshydratation et rétraction du modèle en plâtre qui se sépare du dépôt d'alumine.
 - à $1120^\circ C$ pendant 2 heures : frittage en phase solide des grains d'alumine
 - **Usinage**
L'empreinte optique et la fabrication assistée par ordinateur permettent d'éliminer l'étape de l'empreinte, de la réalisation des MPU, de la fabrication de la maquette en cire, de la coulée... pour la réalisation de restaurations.

2.3. Classification selon la microstructure :

Elle est basée sur la microphotographie en microscopie électronique à balayage, On trouve deux types de céramiques selon cette classification [12] :

- Matrice vitreuse avec charge dispersées
- Matrice hautement voire totalement cristalline avec ou sans phase vitreuse infiltrée.

I.4.4. Elaboration des céramiques :

L'élaboration est spécifique à chacune des familles de matériaux céramiques, celles-ci se distinguent précisément par leur mode d'élaboration [Fantozzi *et al.*]. Celle-ci se fait soit par frittage soit par fusion, à relativement haute température, ou soit par prise, à la température ambiante, pour les liants minéraux.

- Quand l'un des composants reste à l'état solide lors de la cuisson, le procédé est appelé **frittage** : il a lieu avec ou sans formation de phases vitreuses selon qu'il y a l'élaboration des céramiques traditionnelles et des céramiques techniques.
- En revanche, quand il y a fusion de tous les composants, le procédé est appelé **fusion** ; c'est le cas des verres, des vitrocéramiques et des réfractaires électrofondus.
- En ce qui concerne les liants hydrauliques, les matériaux n'acquièrent pas leur cohésion par cuisson mais grâce à des réactions d'hydratation des composés présents qui conduisent à l'établissement de liaisons de forte intensité entre les particules constituant le liant ; on parle de **prise du liant**. Le durcissement des liants hydrauliques n'est donc dû qu'à l'effet de l'eau qui, par formation de composés hydratés stables et cristallisés, va « cimenter » les particules entre elles.

En se rappelant que les matériaux céramiques ont en commun d'être inorganiques et non-métalliques, il est intéressant de remarquer, comme l'avait montré P. Boch, que les trois modes d'élaboration mettent en œuvre quasiment les mêmes opérations mais intervenant dans un ordre différent. [11]

Tableau I.2 : Ordre des étapes selon lesquelles sont élaborées les céramiques

Famille de céramiques	1 ^{re} étape	2 ^e étape	3 ^e étape
Céramiques traditionnelles ou techniques	Poudre	Mise en forme	Traitement thermique
Verres	Poudre	Traitement thermique	Mise en forme
Liants minéraux	Traitement thermique	Poudre	Mise en forme

1. Élaboration des céramiques par frittage

La céramique traditionnelle est une industrie dont les savoirs faire sont très anciens, comme nous l'avons indiqué au début de notre introduction, alors que la céramique technique qui remplace d'autres matériaux grâce à de meilleures performances, se retrouve dans des savoirs faire industriels très récents, très variés et en perpétuelle évolution. Toutefois et bien que les

deux types d'industrie soient très différents, ils ont en commun le fait de mettre en œuvre le même schéma de fabrication :

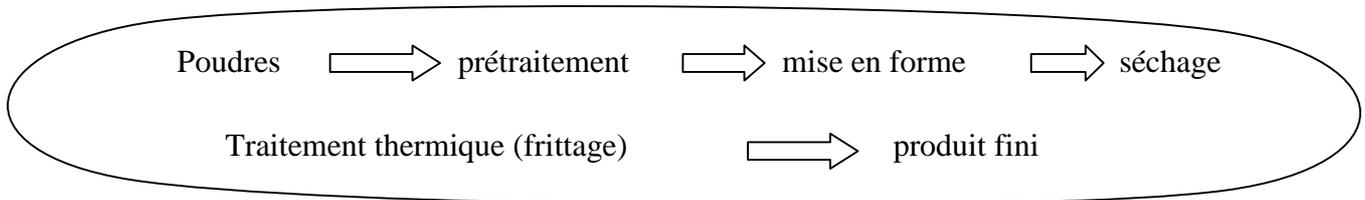


Figure I.5 : Schéma d'élaboration des céramiques par frittage

Ce schéma est le même pour les carreaux de salles de bain que pour les supraconducteurs ou les piézoélectriques les plus innovants

Tout commence par la poudre qui doit être sélectionnée suivant des critères précis et de subir des prétraitements facilitant sa mise en forme, avec adjonction d'adjuvants, souvent organiques. Différents processus de mise en forme peuvent être utilisés pour obtenir des pièces : pressage uniaxial ou isostatique, coulage, extrusion, moulage par injection, usinage à cru... Après compactage, les poudres doivent subir un déliantage (élimination des adjuvants qui peuvent, tout simplement, être l'eau, dans le cas des poteries par exemple).

Puis ensuite, il faut procéder à une « cuisson », terme populaire qui correspond au frittage. C'est au cours de cette opération que l'on réalise le passage de la pièce crue, constituée de grains disjoints, à la pièce massive densifiée, constituée de grains plus ou moins bien soudés, avec une porosité résiduelle plus ou moins importante. Les pièces doivent ensuite, en général, être usinées (usinage) et contrôlées.

Le frittage est un traitement thermique qui permet de passer d'un système de particules individuelles vers un état solide de compacité plus ou moins aboutie. La conversion de la poudre en un solide dense a lieu par changement de la forme des grains de poudre, par le remplacement des interfaces solide-gaz par des interfaces solide-solide et par la disparition de la porosité. D'une manière générale, au cours du frittage, deux phénomènes sont en compétition: la densification et la croissance des grains. On peut ainsi avoir :

- Consolidation sans densification ;
- Densification seule (recherchée pour l'obtention des microstructures très fines) ;
- densification associée à de la croissance (situation la plus fréquente).

Si aucune phase liquide n'apparaît, le frittage est dit « en phase solide » avec deux cas : le frittage non réactif (un constituant chimique au départ ; une pièce composée du même constituant à la fin) ; le frittage réactif (la densification est accompagnée d'une ou de plusieurs réactions chimiques entre les constituants). Si une phase liquide apparaît, le frittage est dit « en phase liquide » : la phase liquide (minoritaire pour conserver la tenue mécanique de la pièce) peut provenir de la simple fusion d'un deuxième constituant présent (adjuvant de frittage ou impureté) ou d'une réaction eutectique entre différents constituants. Selon qu'une contrainte mécanique externe est appliquée ou non, on distingue le frittage naturel et le frittage sous charge. La contrainte peut être appliquée de manière uniaxiale, machines HP (*Hot Pressing*) ou de manière isostatique, machines HIP (*Hot Isostatic Pressing*). Enfin, des machines récentes permettent d'associer l'application d'une contrainte uniaxiale et le passage de pulses de courant au travers de l'échantillon ou, du moins si celui-ci n'est pas conducteur,

dans la matrice contenant l'échantillon ; ce sont les machines dites SPS (*Spark Plasma Sintering*) qui autorisent, entre autres, des frittages très rapides permettant de conserver des microstructures très fines.

La densification lors du frittage peut être étudiée par dilatométrie, ce qui permet de suivre l'évolution de la densité de la céramique. Des mesures de densité et de porosité permettent d'évaluer le taux de porosité ouverte ou fermée obtenue lors du frittage.

Les paramètres importants qui contrôlent le processus du frittage sont :

- la température et la vitesse de chauffage ;
- le temps ;
- la taille des particules de poudre ;
- la composition des poudres ;
- éventuellement, la pression appliquée. [11]

2. Élaboration des céramiques via une fusion :

➤ Les réfractaires électro-fondus

Pour les fours de fusion du verre, on a besoin de réfractaires denses qui ont une bonne résistance à la corrosion. Ces réfractaires sont obtenus par électrofusion. Les réfractaires électro-fondus sont en général constitués de mélanges de phases vitreuses et, ou, cristallines, elles-mêmes constituées de cristaux enchevêtrés de haute réflectivité et compacts.

➤ Les verres

Le verre est produit en chauffant les matières premières à une température au-dessus de laquelle il y a fusion. Les principaux procédés de mise en forme des verres sont les suivants : pressage, laminage, flottation, soufflage et étirage. [11]

3. Élaboration via une « prise » : liants hydrauliques :

Les ciments, les bétons et les plâtres sont utilisés comme des matériaux de construction à une échelle gigantesque. Contrairement aux matériaux précédemment cités, ces matériaux n'acquièrent pas leur résistance mécanique par traitement thermique mais par des réactions chimiques qui permettent d'établir entre les particules constitutives des liaisons de forte intensité.

-Le ciment : est un liant hydraulique : il fait prise et durcit lorsqu'on le mélange à l'eau. Le durcissement est dû au seul effet de l'eau, par la formation de composés stables entre l'eau et les produits de base. Les constituants du ciment sont des composés anhydres, instables en présence d'eau. Ces composés sont essentiellement des silicates de calcium cristallisés. Mélangés à l'eau (2/3 ciment, 1/3 eau), ils forment des composés hydratés, stables et cristallisés. Les réactions d'hydratation sont des réactions exothermiques et complexes. Le ciment pur ayant subi la prise, sans fissuration, a une résistance mécanique plus importante que le béton ou le mortier. Cependant de telles résistances ne sont pas nécessaires et par conséquent une partie du ciment est remplacée par du sable ou (et) des graviers et ainsi le coût est réduit.

-Le plâtre : quant à lui, est constitué d'une poudre de cristaux de sulfate de calcium hémihydraté obtenu, par traitement thermique, à partir de gypse qui est le sulfate de calcium dihydraté. Lors de la prise du plâtre, il y a réhydratation de l'hémihydrate en dihydrate mais sous forme d'aiguilles enchevêtrées qui vont conférer au plâtre sa tenue mécanique. Le plâtre

a une faible résistance et de faibles propriétés d'adhésion mais il est commode à manipuler et permet l'obtention de surface lissée en raison de la finesse et de la forme des grains.

4. Revêtements céramiques :

On est amené, pour diverses raisons, à réaliser des revêtements céramiques sur un substrat (métallique, céramique, polymère) en utilisant différentes techniques de dépôt. Ces revêtements permettent d'obtenir des propriétés de surface différentes de celles du support. On peut réaliser des couches minces (quelques couches atomiques) par dépôt sous vide ou des couches épaisses (quelques mm) par projection plasma. Les revêtements céramiques sont également utilisés pour les céramiques traditionnelles afin d'améliorer l'aspect de surface ou pour réaliser des décors. [11]

I.4.5. Utilisation des céramiques :

➤ Domaine médical :

Le secteur médical utilise la bio céramique en chirurgie réparatrice et dans le domaine dentaire. Deux générations de céramique ont été développées :

La première, inerte chimiquement assurait une innocuité vis-à-vis de l'organisme. On cite comme exemple, les prothèses de hanches qui sont à base d'alumine, et les prothèses dentaires à base de silice et d'alumine. Cette génération a évolué pour faire place à des matériaux capables d'interagir positivement avec les tissus environnants : ce sont les céramiques de deuxième génération comme les osselets de l'oreille, les prothèses oculaires.

➤ Domaine de l'aéronautique et spatial

Dans ce secteur, les céramiques sont des matériaux à très forte valeur ajoutée, dit thermo structuraux. Ces composites à matrice céramique ou CMC, sont des matériaux présentant de haute charges à la rupture, une bonne résistance à la tension, résistants aux agressions à haute température et corrosion, offrant une bonne tenue aux chocs thermiques : Eléments de turbine, chambre de combustion, filtres à gaz, collage(pâte pour joints à hauts température).

➤ Domaine de l'industrie papetière

L'industrie papetière a connu depuis une cinquantaine d'années, un développement considérable en papeterie, l'utilisation des kaolins sert à améliorer les propriétés optiques de la trame cellulosique et l'aspect esthétique de l'impression.

➤ Domaine de l'industrie de caoutchouc

Des études ont montré que l'incorporation des kaolins dans la pâte d'élastomère dans la fabrication de caoutchouc, augmente sa consistance et lui donne un pigment colorant pour avoir un bon marché. Aussi l'introduction de la bentonite dans le latex lui donne plus d'adhésivité et de viscosité.

➤ **Domaine de l'environnement**

Les céramistes proposent de véritables solutions pour la protection de l'environnement qui est une des préoccupations majeures de ce siècle contre les gaz toxiques produits par l'industrie, les gaz d'échappement, les pollutions des eaux. Parmi ces solutions, on cite : les capteurs des gaz polluants ; les filtres pour moteurs diesel.

➤ **Domaine de la métallurgie**

L'élaboration des métaux et des alliages se fait à des températures élevées : entre 600 et 800°C pour l'aluminium et des alliages, entre 1200 et 1700°C pour les fontes et les aciers ordinaires, jusqu'à 2000°C pour les aciers spéciaux. Les matériaux réfractaires utilisés dans le secteur de la métallurgie présentent une bonne résistance mécanique et chimique à haute température, ils sont utilisés : soit sous forme de briques ou pièces diverses, soit sous forme de béton coulé en place. Il s'agit des matériaux de revêtement de haut fourneau, des réfractaires résistants à la corrosion par les métaux et les sels fondus, barrières anti corrosion par les gaz et les liquides pour avoir une forme définitive.

➤ **Domaine de design et d'habitat**

Le secteur du design et de l'habitat comprend 4 grandes familles de produit : les produits sanitaires, les carreaux de sol et de mur, articles domestiques et les matériaux de construction. Dans ce secteur, l'accent est porté sur le couple qualité/esthétisme. Pour répondre à ces exigences, la recherche a mis au point de nouveaux produits et de nouveaux procédés de fabrication, par exemple, l'automatisation des chaînes de production.

➤ **Domaine de l'énergie**

Les bonnes propriétés mécaniques des céramiques à des températures supérieures à 1200°C et leur résistance élevée à des environnements chimiques agressifs, des matériaux céramiques sont employées pour la génération et la conversion d'énergie. Parmi ces applications on cite : les éléments chauffants pour fours à haute température, échangeurs de chaleur, élément de batterie. [2]

Conclusion :

La valorisation des rejets miniers est très répondue dans ses dernières années, selon leur type et leur caractéristiques on peut les réutiliser dans d'autres domaines.

Les marnes sont des roches sédimentaires, ils sont intermédiaires entre les calcaires et les argiles. Ils sont très utilisés par exemple dans la construction des maisons et dans les ciments.

L'utilisation des céramiques a vu un développement particulier compte tenu de leur large champ d'application. Car elles présentent plusieurs avantages et les céramiques à base des marnes on les appelle les terres cuites.

Références bibliographiques

- [1] Etude réalisée dans le cadre des opérations de service public du BRGM « Elément à prendre en compte pour l'évaluation des impacts environnementaux dans l'élaboration d'un plan de prévention des risques miniers »,2003.
- [2] Ministère de l'environnement direction des politiques de secteur industriel, Québec «Guide de caractérisation des résidus miniers et du minerai», mai 2003.
- [3] Moussasb, cour de master II VRM de traitement des rejets miniers « impacte des rejets miniers, Univ-Béjaia » 2013/2014.
- [4] SAIDI Leila « Caractérisation et valorisation des rejets issus du traitement du minerai Pb/Zn, Mémoire de magister, Univ-Béjaia»,2011.
- [5] CNUCED « Information de marché dans le secteur des produit de base, Minerai de fer », 2013.
- [6] Moussasb, cour de master II VRM de traitement des rejets miniers « secteur minier en Algérie, Univ-Béjaia » 2013/2014.
- [7] Planetoscope, statistiques mondiales en temps réel « production de fer dans le monde », 2014.
- [8] Ayadi Brahim « Caractérisation et choix d'un schéma de traitement du minerai du cuivre-fer d'Ouamis (Ouenza), Mémoire de magister, Univ-Annaba » 2009/2010.
- [9] M^f BOUDLAL Omar «Etude expérimentale du comportement mécanique des fines dans la stabilité des talus et des fondations, Mémoire de doctorat, Univ-Tizi-Ouezo»,2013.
- [10] Bouaziz Ala-Eddine « Contribution à l'étude géologique des argiles maestrichtiennes le long de la limite Nord Ouest du Oued Bou Sellem, Sétif, Algérie, Mémoire de magister, Univ-Alger » 2011/2012.
- [11] Jean-François BAUMARD, DUNOD «Les céramiques industrielles, Propriétés, mise en forme et applications » 2013.
- [12] J. DEJOU, Société Francophone de Biomatériaux Dentaires «Les céramiques», 2009-2010.

Chapitre II:
Présentation de la
mine d'El-Ouenza

Chapitre II : Présentation de la mine d'El-Ouenza.

Le gisement d'El-Ouenza est à la fois le plus riche et le plus important gisement de fer en exploitation en Algérie, il fut découvert en 1878, son exploitation remonte en 1921. Proche de la frontière tunisienne, ce gisement est situé dans l'anticlinal dit Djebel Ouenza. Cette dernière est caractérisée par des gites géologiques bien définies. L'exploitation des réserves se fait à ciel ouvert pour atteindre une production importante de matière première allant jusqu'à deux millions de tonnes par an.

L'objectif de ce chapitre est de présenter la mine de l'Ouenza, ses principales caractéristiques géologiques ainsi que son mode d'exploitation et on termine par les impacts de la mine sur l'environnement.

I. 1 Le gisement ferrifère de l'Ouenza :

Le complexe minier de djebel l'Ouenza est une unité de production du minerai de fer. La principale activité de la société est la production du produit marchand de ce minerai et leurs commercialisations par chemin de fer vers le complexe sidérurgique d'El Hadjar de la Wilaya de Annaba. La mine d'el Ouenza est la plus grande mine d'Algérie avec une réserve de 120 millions de tonnes de minerai d'une teneur de 59,5% en moyenne. [1]

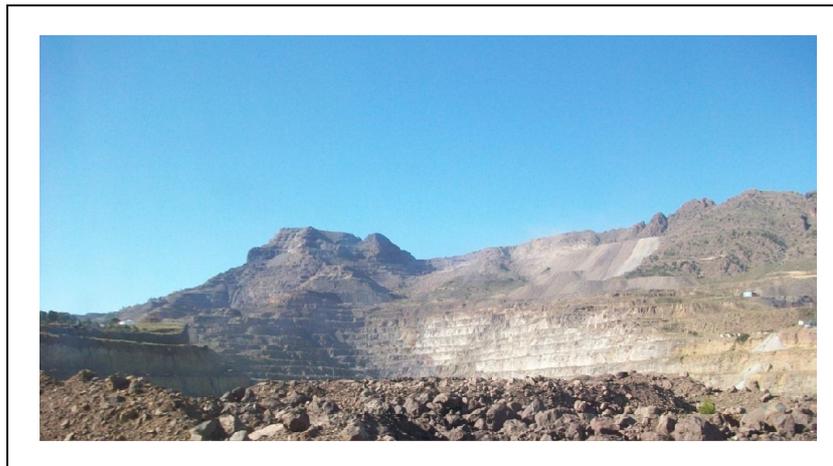


Figure II. 1 : Gisement de la mine d'Ouenza. [2]

I.2 Situation géographique :

La Daira de l'Ouenza se trouve à 90km au nord du chef lieu de la Wilaya de Tébessa. Elle est située à 120 kilomètres au Sud-sud-est d'Annaba. Elle est aussi limitée à l'est par la frontière Algéro-tunisienne et au nord par la wilaya de Souk-Ahras, et est limitée par deux oueds appelés respectivement « Oued Mellegue » et « Oued Kseub ». Elle est reliée à Annaba par la route nationale N°82B et une voie ferroviaire par laquelle est acheminée toute la production de l'unité de l'Ouenza vers l'installation portière ou elle serait expédiée vers le complexe sidérurgique d'El-Hadjar.

Le gisement ferrifère de l'Ouenza repose sur le flanc nord d'un massif montagneux qui culmine à 1288m au niveau du pic, il est d'environ 12km de longueur sur 5km de largeur.

Les amas métallifères se présentent sous la forme de mamelons grossièrement elliptiques. Ils comprennent successivement du nord-est au sud-ouest : le coudiat Douamis, le coudiat Hallatif, la région des conglomérats, le quartier Sainte-barbe, le gisement de Chagoura et le coudiat Zerga. Le minerai affleure sur des longueurs atteignant parfois 250 mètres et des hauteurs de 45 mètres, réalisant les conditions types pour l'exploitation à ciel ouvert. [3]

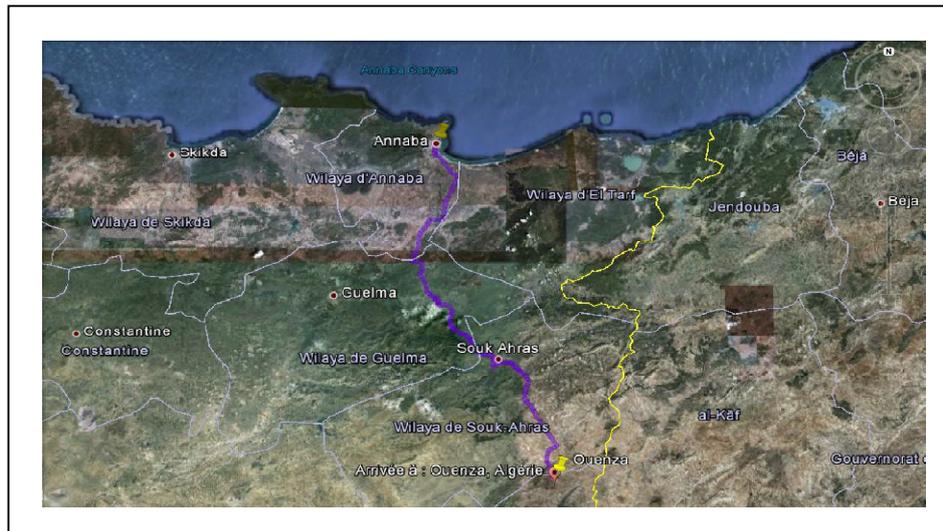


Figure II.2 : Situation de la ville de l'Ouenza (image Google earth d'une altitude de 220,01km). [2]

I.3 Historique de la mine de l'Ouenza :

Le Gisement de fer de l'Ouenza entre dans l'histoire vers la fin du 19^{ème} Siècle avec l'exploitation du Cuivre au niveau des Quartiers Douamis et Hallatif, comme l'atteste les vestiges encore existants sous formes de puits et de galeries. En effet, c'est vers 1875 que l'ingénieur des mines « J. Tissot » signale l'importance des affleurements du minerai de fer. Le premier permis de recherche du fer du djebel Ouenza a été octroyé en 1878. Il s'en est suivi l'obtention par le prospecteur « F.R. Pascal » d'une concession minière en 1901. Ce n'est qu'aux environs de 1913 que la Société de l'Ouenza fut créée. Elle a débuté l'exploitation de la mine au début des années vingt (1921).

Le début de la modernisation de la mine remonte à 1939 avec l'électrification de la voie ferré. L'après indépendance à connu une mutation très importante, plusieurs évènements se succèdent :

- En 1966, il y avait la nationalisation des mines ;
- En 1967, c'est le début d'aménagement des installations ;
- En 1983, c'était la restructuration de la SONAREM et la création de l'entreprise de recherche ;

Par contre l'évènement le plus important d'eux est celui du partenariat avec le Groupe LNG « ISPAT » en 2001, devenu « Arcelor Mittal » en 2006. [3]

I.4 Importance de l'unité

Le gisement de fer constitue la principale source en matière d'approvisionnement en minerai de la sidérurgie algérienne et ce en faisant abstraction du gisement de (Boukhadra) qui vient en second lieu.

Le rôle que joue au niveau de l'économie algérienne, de part sa contribution au développement de l'industrie lourde dans notre pays et il constitue aussi une source d'entrée de devise sans oublier l'emploi, 1000ouvriers environ, au niveau de la wilaya de Tébessa. [3]

I.5 Nature de gisement :

Les formations les plus anciennes exposées en surface sont les évaporites entremêlées (marnes bariolées à gypse, blocs de dolomies plus ou moins stratifiées, calcaires, cargneules, grès et rarement des ophites)

Le gisement de l'Ouenza est encaissé dans les calcaires aptiens, l'allure principale du gîte correspond à un alignement minéralisé qui débute un peu plus au NE du pic (Cote 1235), s'étend sur une longueur de 5 Km dont l'exploitation a engendré sa division en plusieurs quartiers du NE vers le SW : Douamis, Hallatif, Conglomérats, Sainte Barbe, et les deux Chagoura Nord et Sud, de la grande structure anticlinale se localise le quartier Zerga. Au dessus du niveau hydrostatique, l'oxydation des carbonates au contact de l'air a donné naissance à l'hématite au dessous, le minerai se présente sous forme de sidérite (carbonate de fer). [4]

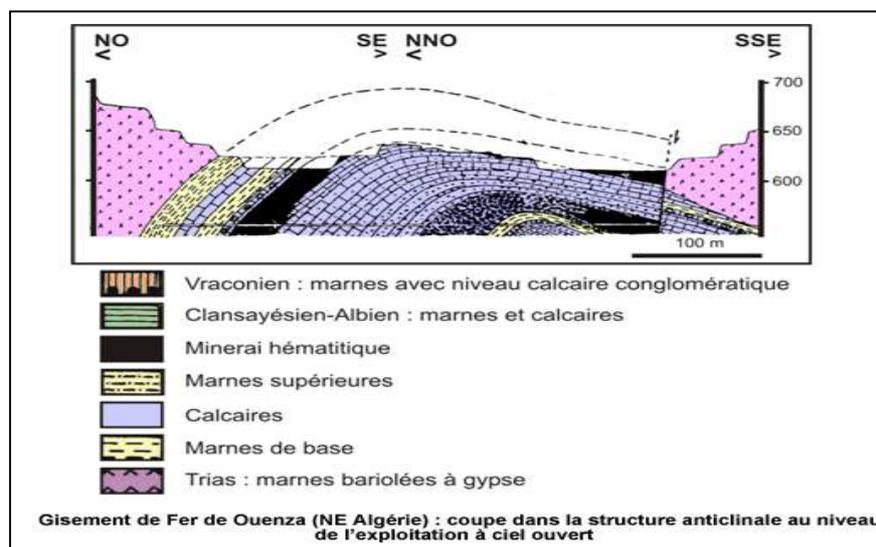


Figure II.3 : Coupe dans la structure anticlinale de la mine de l'Ouenza. [5]

II.6 Aperçu Géologique sur les Quartiers de la Mine de l'Ouenza :

Le Djebel Ouenza fait partie des zones diapirique de la région de l'Atlas saharien oriental. Il est situé dans la région des monts de Mellegue, formant un anticlinal orienté Nord Est-Sud

Est. Selon la structure et la nature des roches, le gisement est divisé en sept (07) gîtes (quartiers) principaux dont Chagoura Sud-PIC, Chagoura Nord, Sainte Barbe (Ilot), Conglomérat, Hallatif, Douamis et Zerga.

a) Quartier Chagoura Sud-PIC :

Ce gisement se trouve dans une structure anticlinale très fracturée. Il renferme deux types de minerai affleurant le long du quartier suivant deux filons (couches). Le premier est souvent riche et friable, le deuxième de couleur brun et extrêmement dur. Ce dernier a une grande importance de part sa qualité et sa quantité.

- Réserves Géologiques : 20904798 tonnes avec une teneur de 49.8% en fer.
- Réserves Exploitablees : 11167936 tonnes avec une teneur de 50.85% en fer.

Remarque : Réserves arrêtés au 31/12/2011.

b) Quartier Chagoura Nord :

D'une allure relativement apparente au niveau 1055/1070 avec un rétrécissement en profondeur, le corps principal s'étend sur 500m de long. Le minerai est localisé dans la partie sud du quartier, il est différencié par sa teneur en fer en deux types : riche et pauvre. Ce quartier dispose des réserves suivantes :

- Réserves géologiques : 20787996 tonnes avec une teneur de 48.9% en fer ;
- Réserves exploitables : 10230351 tonnes avec une teneur de 49.7% en fer.

c) Quartier Sainte Barbe :

Elle représente le prolongement des formations de Chagoura Sud décalée vers le Nord par un décrochement.

- Réserves géologues : 13047075 tonnes avec une teneur de 47.7% en fer ;
- Réserves exploitables : 4826560 tonnes avec une teneur de 48.4% en fer.

d) Quartier Conglomérat :

Ce quartier représente de rares affleurements se rapportant au trias qui recouvre au NW et SW l'aptien minéralisé d'où les réserves sont de l'ordre:

- Réserves géologiques : 6011290 tonnes avec une teneur de 47.4% en fer ;
- Réserves exploitables : 376686 tonnes avec une teneur de 46.6% en fer.

e) Quartier Hallatif et Douamis :

Ces deux gisements se prolongent vers le NE de la région du Conglomérat jusqu'aux collines calcaires non minéralisées en surface de Douamis.

1. Hallatif :

- Réserves géologiques : 4931028 tonnes avec une teneur de 51.0% en fer ;

2. Douamis :

- Réserves géologiques : 11419058 tonnes avec une teneur de 53.0% en fer ;
- Réserves exploitables : 8516889 tonnes avec une teneur de 53.9% en fer.

f) Quartier Zerga :

Fait partie du gisement de l'Ouenza, se trouve sous forme d'une colline dénommée Koudiatez Zerga. Située à l'Est du PIC, il est constitué de calcaire récifaux aptiens. Cette structure est le fait du diapirisme triasique. [3]

II.7 Minéralisation :

Les minerais sont constitués essentiellement d'hématite qui résulte de l'oxydation des amas de sidérose et de pyrite (carbonates situés sous le niveau hydrostatique (Bouzenoune, 1993). Le carbonate provient lui-même de la métasomathose des calcaires récifaux de l'aptien par des venues minéralisantes sulfureuses. Les hydroxydes de fer sont le résultat de la désagrégation de l'hématite.

L'hématite exploitée se présente soit sous forme pulvérulente de couleur bleue ou noire rougeâtre, soit en masse terne sans cristaux apparents ou encore en masses homogènes mais laissant apparaître une trame rhomboédrique héritée du minerai carbonaté. Une série d'intermédiaire entre le minerai primaire et celui secondaire constitue une part importante dans les réserves de la mine. Outre, le minerai de fer, il faut signaler une faible présence de minéralisation poly métallique (Pb, Cu ...), le long de la faille du pic.

Notons enfin que les concentrations ferrifères considérées comme les plus importantes en Algérie et le patrimoine minéralogique de la région de l'Ouenza est très riche et varié : Gypse (Saccharoïde et fer de lance), barytine (feuilletée et massive) Quartz (parfois d'une pureté exceptionnelle et offrant des cristaux d'une rare régularité), pyrite, Fluorine (en cristaux blancs ou violets) calcite et Aragonite sous diverses formes et particulièrement en stalactite et stalagmite), Azurite, malachite. La goethite forme des encroûtements à surface mamelonnée, La limonite (souvent associée à la goethite), la sidérite et l'ankérite qui montrent souvent un aspect bréchiq.

Des minéralisations polymétalliques à Cu-Pb-Zn-Ba-F, d'ordre économique, sont signalées dans certains secteurs du massif (quartiers Hallatif et Douamis). Ces gîtes sont généralement encaissés dans les calcaires à caractère récifal de l'Aptien : "Calcaires à miliolles".

La liste sus citée ne pourrait pas être exhaustive et une étude microscopique généralisée sur tout le gisement en déceler d'autres. [5]

II.8 Caractéristiques particulières de gisement :

Les particularités géologiques du gisement qu'on peut citer :

- ✚ La grande variabilité de la qualité surtout celle des corps de minerai localise dans le flanc N.W du grand anticlinal. Mais un soupçon de régularité se décèle dans les quartiers de l'aval, d'une façon discontinue et plutôt local.
- ✚ La sidérose, outre sa position naturelle (au dessous du niveau hydrostatique) affleure curieusement sur des surfaces importantes dans d'autres quartiers (Zerga, Ilot, Chagoura Sud).
- ✚ L'extinction nette (contact) de la minéralisation dans le flanc S.E du pseudo-anticlinal 06 Mai Douamis et son enrichissement en calcite.
- ✚ Les deux flancs du même grand anticlinal sont différents de tous les points de vue (structure, complexe lithologique, morphologie des corps minéralisés...). [3]

II.9 Hydrogéologie :

Le réseau hydrographique est peu abondant en ressources aquifères, les principaux cours d'eau sont : Oued Mellague et Oued El Kseub dont les débits sont irrégulières et varie selon la saison et la quantité de précipitation (Pluviométrie).

Le comportement hydrogéologique des terrains existants à Ouenza se résume comme suit :

Du fait de leur hétérogénéité, les terrains triasiques contenant du gypse et du sel sont perméables et dans lesquels les eaux s'infiltrent et y circulent pour devenir saumâtres et ne peuvent convenir qu'à l'emploi industriel. Les calcaires, s'ils sont fissurés, permettent l'infiltration des eaux et même leur circulation.

Les marnes qui forment la plus grande surface affleurante dans la région sont imperméables, et toutes les eaux de pluie ruissellent ou s'évaporent. Les terrains quaternaires n'ont pas une importance hydrogéologique.

En général toutes les roches de la mine sont fracturées et l'eau de pluie qui y tombe s'infiltré à travers les fissures.

La couverture végétale est pauvre et représentée essentiellement par des petites forêts de pins d'Alep. A ce titre la population de la région vit généralement de l'activité minière et l'élevage d'ovins et de caprins. [4]

II.10 Prospection et états des réserves :

Les travaux de prospection effectués par la mine de l'Ouenza s'étalent sur une période de 50 ans ; en plusieurs campagnes avec des moyens et approches différentes ; ce qui a permis de délimiter la minimalisation ferrifère et dévaluer son importance.

Le gisement de l'Ouenza a été prospecté essentiellement par des ouvrages miniers et sondages (verticaux, inclinés et horizontaux) selon un réseau de maille variât d'un gîte à l'autre ; allant de (50x50m) et peut être resserre jusqu'au (25x25m) et encore moins dans certains gîtes.

Le volume des travaux réalisés ; a permis d'évaluer les différents sites potentiels de la mine qui sont en phase d'exploitation ; et de délimiter la minéralisation pour les sites vierges aux abords immédiat de la mine tel que : Kahkouh et Souda. [5]

II.11 Méthode d'exploitation :

Pour les gisements à relief montagneux tel que le gisement de l'Ouenza, le mode d'exploitation appliqué est par fonçage avec un seul bord exploitable, le contour de la mine n'étant pas fermé. L'exploitation de tels gisements, disposés sur un flanc de coteau de pente 35°, se fait de haut en bas. L'extraction du minerai est réalisée par gradin de 13 à 15 m de hauteur, un angle du talus de 75 à 80° et une largeur des bermes de 7 à 12 m. Le programme d'exploitation est fondé sur une production de 1,8 à 2 millions t/an avec un taux de découverte de 2,96. Selon le projet d'exploitation, la fosse finale aura une profondeur de 620 m, l'angle du bord inexploitable de la mine est de 32°.

L'exploitation du minerai et du stérile se fait par les tirs d'abattage par explosifs, après la préparation des trous de mine par forage des trous généralement verticaux de 160 mm de diamètre par des sondeuses de type INGERSOL RAND et ATLAS COPCO et leur

chargement par des explosifs, dont le but est de fragmenter la masse rocheuse afin de permettre son évacuation. En moyenne, il y a un tir par jour, ce qui permet d'atteindre la production journalière de minerai et de stérile. L'abattage se réalise en une seule étape avec une quantité de charge explosive moyenne de l'ordre de 1,5 tonne. Le volume moyen de la volée est de 4500 m³. Si le tir donne de gros blocs, difficiles à charger, transporter ou à concasser, alors un débitage secondaire sera entrepris. Cette situation se produit en général dans les calcaires où le massif est fracturé et la roche est saine.

Les matériaux fragmentés sont chargés par des excavateurs à commande mécanique (P&H) ou hydraulique (KOMATSU) de 5 à 6 m³ et sont ensuite transportés par des camions (dumpers) (CATERPILLAR) de 40 et 50 tonnes. Le minerai est conduit soit vers le stock à proximité du concasseur, ou vers le concasseur giratoire qui peut traité des blocs de dimensions arrivent à (1000mm). Les blocs de minerai envoyés au concasseur ont une taille nettement inférieure à la limite demandée pour le concasseur, car il y a un triage au niveau du chantier. Les blocs hors gabarits sont mis de côté pour subir un débitage secondaire. Très souvent, on fait appel au tir de relevage pour pallier la mise au point du tir par mines profondes verticales. Dans certains cas, cette pratique devient complémentaire et systématique par le tir simultané de mines de relevage avec des mines profondes verticales. Le but de cette méthode de tir est la suppression du pied qui peut subsister à la base du front après le chargement des produits. De cette manière, le sol souhaité au niveau voulu sera facilement réaliser. Le minerai concassé est acheminé par une séries de convoyeurs vers les stocks ou les deux trémies, d'où son expédition par trains (voie ferrée électrifiée) vers le complexe sidérurgique d'El Hadjar. [5]

L'extraction est préparation du minerai de l'Ouenza se résumant par le schéma technologique présenté dans la figure suivante :

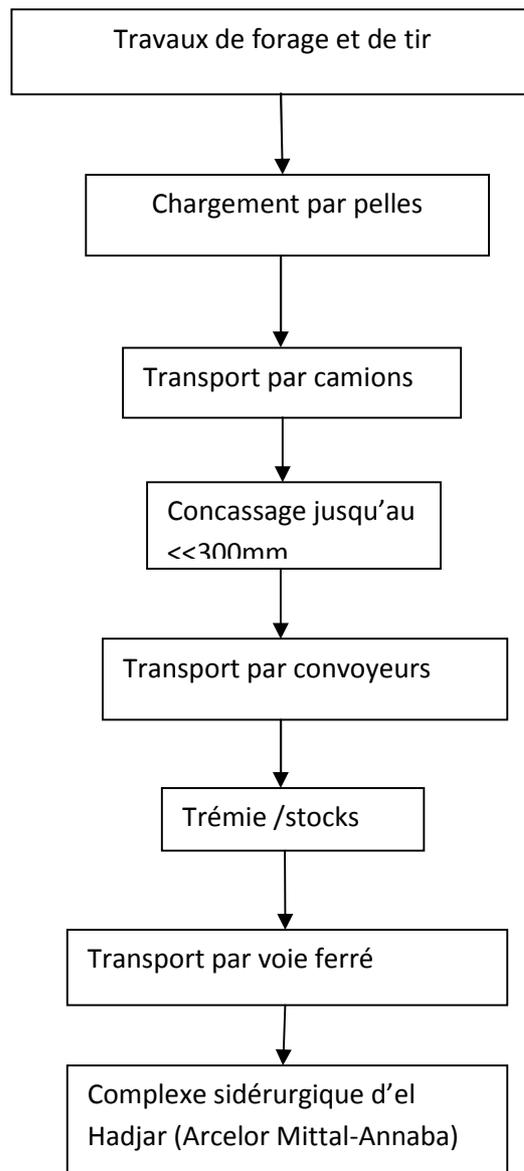


Figure II.4 : Schéma technologique de l'extraction et de préparation de minerai de fer de l'Ouenza. [5]

II.12 Réserves et Production:

L'analyse de la situation actuelle de la mine et de celle qui a prévalu pendant les années écoulées ; nous renseigne sur un déficit énorme en matière de découverte. Or il est admis que l'évolution harmonieuse des carrières doit tenir compte, et sur le même pied d'égalité du minerai et de la découverte ; bien plus et compte tenu des impératifs de l'exploitation du minerai et le maintien de la demande sur ce dernier, les besoins des quartiers en matière de découverte se sont vu augmentés. Avec cette situation là ; l'extraction du minerai va connaître plus de difficultés à travers en particulier ; les quartiers de Chagoura Nord ; Sud et

06 Mai. Vu l'importance des réserves géologiques, la mine sera contrainait de changer ses stratégies de développement et en particulier le mode d'exploitation actuel. C'est-à-dire, la relance de l'exploitation souterraine pour certains quartiers tel que Douamis et 06Mai qui sont en plus de leur rapprochement des cités d'habitations qui constituent un obstacle pour les travaux d'abattage et de tir ; le rapport de découverte moyen dépasse de loin 5 ; ce qui rend la tâche difficile pour tout accès au minerai à ciel ouvert. , Un exemple de production planifiée pour l'année 2008, ou l'objectif d'atteindre 1,8 millions de tonnes du minerai n'a était pas réaliser suite au taux de découverte élevé, et impasses techniques liées aux engins de transport surtout. [2]

II.13 Rejet de la mine de l'Ouenza :

Les rejets de la mine de Ouenza sont représentées par des marnes jaune, grise, calcaire qui sont déposé au niveau des décharges suivant le cartier d'extraction on retrouve au niveau de la mine 15 décharges qui sont repartie entre celle qui est actifs ou inactifs.

La quantité de rejet et de minerai extraie dans l'année 2012 et 2013 (Tableau II.1et II.2) montre que l'extraction de la matière première génère des déblais énorme de rejet (calcaire et marne) qui dépasse les 60% pour atteindre une quantité de minerai qui n'accède pas les 30%. Suivant cette théorie la mine de l'Ouenza ce dirige vers l'exploitation souterraine. De plus à l'heure actuelle aucune méthode de valorisation de ces rejets n'est envisagée.

Tableau II.1 : Cubature annuelle année 2012 (Service géométrie mine de l'Ouenza).

Mois	Total minerai(Tonne)	Total stérile(Tonne)
Janvier	128347,20	125435,00
Février	94104,18	195301,25
Mars	134230,75	264364,00
Avril	107212,95	297177,50
Mai	52295,42	141797,00
Juin	91028,34	122948,00
Juillet	97625,75	132671,75
Aout	59440,80	84565,25
Septembre	47477,34	121349,00
Octobre	77009,79	175588,75
Novembre	64261,62	251918,00
Décembre	111574,91	311713,75
Total général	1064609,04	2224829,25
Total mine	3289438,29	

-Quantité total de minerai : 27,23 %.

-Quantité total de rejet : 72,77%.

Tableau II.2 : Cubature annuelle 2013(Service géométrie mine de l'Ouenza).

Mois	Total minerai(Tonne)	Total stérile(Tonne)
Janvier	8704,18	261293,15
Février	82220,13	242638,25
Mars	107728,38	369106,00
Avril	56534,22	205887,00
Mai	69114,87	169963,00
Juin	56265,03	74188,75
Juillet	2033,75	30935,00
Aout	19973,25	8110,00
Septembre	37833,75	20719,00
Octobre	7460,53	53017,50
Novembre	26267,49	114776,25
Décembre	48186,90	103907,00
Total général	619425,13	1654540,90
Total mine	2273966,03	

-Quantité total de minerai : 32,365%.

-Quantité total de rejet : 67,635 %.

II. Impact de la mine de l'Ouenza sur l'environnement :

L'ors de la réalisation des activités lié a un projet minier cela engendre des impacts sur l'environnement commençant par la population en passant sur l'eau, le sol, l'air, la végétation, la faune et le paysage seront touchés, plus en moins selon la dimension du site.

L'étude d'impact sur l'environnement est un outil de base pour la mise en ouvre de la protection de l'environnement ce qui suit résume les principaux impacts enregistré au niveau de la mine de l'Ouenza.

II.1.1 Effet des poussières :

➤ Les poussières :

La poussière pose un problème très crucial aux habitations avoisinantes et au niveau personnel activant au niveau de la carrière.

Le mouvement permanent des équipements et engins de carrière et de la station de concassage émet des poussières d'une grande densité.

Origine :

- ✚ Travaux de chargement et de transport.

- ✚ Travaux de forage et de tirs.
- ✚ Concasseurs.
- ✚ Trémies de chargement et de déchargement.
- ✚ Bande transporteuses.
- ✚ la mise à terril.

Les effets des poussières sont multiples à savoir :

-Impact considérable sur la sante humaine qui est démontre par le nombre de travailleurs qui sont atteints par la silicose une maladie c'est une affection broncho-pulmonaire qui est le résultat de l'inhalation de la silice.[2]

Le tableau suivant résume le nombre d'agents atteints par la silicose au niveau de la mine de l'Ouenza

Tableau II.3 : Le nombre d'agents atteint par la silicose au niveau de la mine de l'Ouenza, déclaré par le médecin de travail de la mine. [2]

Année	Nombre d'agent	Nature de la maladie
1992	39	silicose
1993	09	silicose
1994	25	silicose
1995	17	silicose
1996	08	silicose
1997	07	silicose
1998	05	silicose
1999	02	silicose
2000	23	silicose
2001	25	silicose
Début 2002	24	silicose

-Impact sur les construction : L'effet des poussières en général sur les constructions consiste en une altération et dégradation superficielle qui se traduit par une exfoliation successive des croûtes d'altération par transformation du matériau en produits sableux et friables et se manifeste par la dégradation de l'état de surface par dépôt d'une couche de poussière rougeâtre sur des routes, trottoirs, ouvrages, murs et toits des constructions et une dégradation nette du paysage d'une manière général. Ces effets sont enregistrés au niveau du village de l'Ouenza surtout dans les bâtiments avoisinants la mine. [2]

II.1.2 Phénomène vibratoire :

L'origine essentielle des vibrations est principalement liée aux tirs de mines, avec pour conséquences, la menace portée à la sécurité des personnes, aux constructions, aux relais et antennes divers, aux structures naturelles (sources d'eau, fissuration des massifs rocheux.

Dans les conditions de la mine de Ouenza, compte tenu des propriétés physico-mécaniques des roches, les travaux d'abattage sont assurés par l'utilisation des explosifs,[4] d'où la

nécessité de prévoir les limites d'influence des ondes vibratoires sur les constructions et les installations avoisinantes. Donc les tirs de mines ont un effet de projection et d'ondes vibratoires.

II.1.3 Bruit :

L'origine du bruit résulte de la foration, des tirs de mines (bruit instantané) des divers engins et installations minières. Les conséquences affectent la qualité de vie des pour riverains, la faune et certaines activités sociales et économiques.

L'impact du bruit, favorise l'affection des agents exposés directement à des sérieux problèmes de santé à savoir :

- La surdité
- La mauvaise communication entre les agents travaillants au même lieu
- Problèmes psychologiques des agents exposés.

Les statistiques réalisés sur les agents affectés par la surdité, déclarés par le service de la médecine de travail de la mine de Boukhadra et Ouenza ont montré qu'au moins 02 personnes par an sont affectés. [4]

II.1.4 Gaz et lubrifiant :

La pollution par les gaz est due à l'oxyde de carbone et d'azote est en général liée à l'intensité de la circulation des automobiles et divers engins.

La dispersion des gaz d'échappement des moteurs diesel dans l'air favorise la inévitablement la pollution de l'atmosphère.

Dans les zones d'activité minière, ce problème est devenu la préoccupation primordiale, exceptionnellement dans les cas d'exploitation souterraine. Mais malheureusement dans la mine d'Ouenza aucune étude n'est faite sur l'impact de tel type de polluants.

Les lubrifiants usés sont également considérés comme étant des polluants de l'environnement, lorsqu'ils sont jetés dans la nature, ils ont un effet négatif sur les eaux superficielles ou souterraines ; sur la végétation existante (la flore) et sur la santé des personnes. [4]

II.1.5 Fosses et vides :

L'impact se traduit par les risques suivants :

- Risques d'affaissement
- Menace des nappes aquifères
- Assèchement et déviation des réseaux hydriques de surface
- L'instabilité des terrains (glissement, fissuration et affaissement)
- Dégradation du la faune et la flore et le paysage naturel. [4]

Il est important de signaler, que la mise à terril, a un impact sur le paysage initial, il est nécessaire de réserver une attention particulière au choix des zones de mise à terril, la forme et la géométrie des décharges.

II.1.6 La faune et la flore :

Les effets de l'activité sur les espèces faunistiques et floristique se rejoignent généralement et ont pour origine, l'extraction, l'assèchement des sols, l'altération des eaux superficielles, les poussières, le bruit, les vibrations, l'érosion des sols et le trafic routier induit.

Les conséquences engendrées par l'activité minière se résument en la destruction de la flore et éventuellement la disparition des stations botaniques, le déplacement et/ou la disparition des diverses espèces faunistiques, non adaptées aux nouvelles conditions.

II.1.7 Hydrologie :

Modification du tracé d'un cours d'eau, modification du débit avec comme conséquences la destruction ou la détérioration du milieu vivant, l'érosion des berges, l'envasement et le surcreusement des lits de rivière,....etc.

II.1.8 Hydrogéologie :

Rabattement des nappes, modification des écoulements en profondeur (réseaux karstiques, failles drainantes,...) et du ruissellement sur le site avec pour corollaire l'assèchement des puits, des sources, perturbation qualitative et/ou quantitative d'alimentation en eau potable.

II.1.9 Perte d'accédé a l'eau potable :

La qualité de l'eau potable au niveau de la région de l'Ouenza empêche les habitants de le consommé suite a sa dégradation de la l'obligation de s'alimente des régions voisine.

II.1.10 Effet sur le tourisme :

Il est évident, qu'une région minière en activité, n'encourage et n'attire pas toute réflexion dans le domaine du tourisme, et ce due à l'existence d'une atmosphère polluée par la poussière et autre. L'inexistence des patrimoines culturels importants et autres dans la région, reporte toute réflexion dans le domaine du tourisme. [2]

II.1.11 Les décharges de rejet :

Au niveau de la mine d'Ouenza en trouve une quantité importante de rejet qui est entreposés a dans 15 décharges, ces dernières peuvent êtres décrites comme un désordre de blocs de calcaire et essentiellement de marne, de poussière qui sont extrait de la terre.

Mais aussi comme un tas de déchets ou une montagne de résidu. Cela a un impact particulier sur la région de l'Ouenza, ils sont a l'origine des poussières qui sont transporté par le vent sachant que La région de Tébessa est connue par des vents violents et fréquents déposent ces poussières au voisinage, notamment sur les zones d'habitat.

Il y'a aussi l'aspect esthétique qui est très défavorable a la région. Sans oublier les activités agricoles et artisanales qui sont touché par les fine particules transporté ou même les eaux de

Pluie qui ruissellent à travers ces décharges également utilisées par les riverains constituent un grand danger sur la santé publique.

On tient aussi à signaler la présence des constructions d'habitations entre les anciennes décharges de stérile qui sont appelées « cité djebel » construite à quelques mètres de la mine. D'autre part, l'importance de valoriser ces rejets et avoir une nouvelle vision pour la société qui d'un côté respecte l'environnement et de l'autre enregistre des gains économiques et joue sur les 70% de matière rejetée après extraction de 30% de fer (tableau II.1 et 2). Cela représente une valorisation des rejets très réputée dans les mines à travers le monde. En commençant bien sûr par une caractérisation correcte du rejet, y compris une prévision exacte de leur comportement à long terme, et un choix judicieux de l'emplacement du site, c'est l'objectif de ce présent travail proposé : une méthode de valorisation de ces rejets.

II.2 Mesures d'atténuation :

La lutte contre les impacts de la mine vis-à-vis de l'environnement commence par une gestion et la suppression des gênes ressenties par la population du fait de la pollution par les poussières, lubrifiant ...

Ce qui suit présente certaines recommandations qui doivent être prises en considération pour minimiser ou supprimer ces impacts.

-Avoir les moyens de protection individuelle (casque, gants, chaussures, masque anti-poussière) et collectif (les cabines de surveillances).

-Information et formation du personnel :

- Information : tous les travailleurs doivent être informés des dispositifs de sécurité dans la mine soit individuellement ou collectivement.
- Formation : tous les travailleurs doivent suivre des formations sur les dispositifs de sécurité dans leur secteur.

-Arrosage permanent des pistes de roulage surtout en été.

-Visite médicale permanente des ouvriers de la mine.

-Application des consignes et règles de sécurité lors de l'utilisation des explosifs comme l'évacuation du lieu de tir, faire l'inspection des fronts de taille.

-Récupération des lubrifiants rejetés par les machines et les engins de roulement.

-Choix de l'endroit de mise à terre.

-interdire la construction des sites d'urbanisation à proximité de la mine.

-Avoir des panneaux de signalisation au niveau de chaque niveau de la mine.

-Contrôler les glissements de terrain.

-limitation de la charge d'explosif utilisée.

-Formation des boues de feu sur les règles de sécurité.

-Avoir une nouvelle vision qui mise sur la valorisation des rejets issue de l'exploitation du minerai de fer comme une nouvelle méthode de gestion de rejet en parallèle avec l'exploitation du minerai de fer.

II.3 Remise en état du site :

Lorsque l'exploitation minière active cesse, les installations minières et le site sont réhabilités et fermés. L'objectif du plan de réhabilitation et de fermeture d'un site minier doit toujours viser à retourner le site à une condition qui ressemble le plus possible à la condition d'avant exploitation. Les mines qui sont célèbres pour leurs immenses impacts sur l'environnement ont le plus souvent produit ces impacts uniquement durant la phase de fermeture, lorsque les opérations minières avaient cessé. Ces impacts peuvent persister pendant des décennies et même des siècles. Par conséquent, l'EIE pour chaque projet minier proposé doit inclure une discussion détaillée du plan de réhabilitation et de fermeture, offert par le promoteur du projet d'exploitation minière.

Les Plans de réhabilitation et de fermeture des mines doivent décrire avec suffisamment de détails comment la compagnie minière restaurera le site d'une manière qui ressemble le plus possible à la condition environnementale d'avant exploitation.

Généralement et dans la mesure du possible, cette remise en état est réalisée progressivement à l'avancement de l'extraction, ceci facilite souvent le travail de restitution, mais nécessite un phasage précis. [6]

Conclusion :

La mine de l'Ouenza contribue fortement dans l'industrie lourde en Algérie.

Ce gisement est constitué essentiellement d'hématite et des carbonates et des hydroxydes de fer. Cette dernière à un relief géologique particulier et des sources hydrographiques riches.

L'exploitation de la matière première est en mode ciel ouvert engendre des rejets important qui peuvent atteindre plus de 60% et qui sont entreposé en décharge et aucune méthode de valorisation n'est proposée par l'entreprise.

Les impacts de la mine d'el 'Ouenza sur l'environnement sont multiples, poussières, bruit, dégradation du sol et de l'eau, passant par la faune et la flore qui souffre de cette exploitation. Les mesures d'atténuation de ces impacts doivent être respecté pour pouvoir diminuer voire compenser ces impacts.

Dans notre travail qui suit, on a opté pour la caractérisation physico-chimique de la marne jaune dans le domaine des céramiques vue que celle-ci est la matière minérale la plus abondante dans ce gisement et qu'elle contient de la matière argileuse.

Références bibliographiques

[1] **R.Chain**, « Influence des travaux de forage et de tir sur la stabilité des talus et des gradins des mines a ciel ouvert (mine d'el'Ouanza).Thèse doctorat, université de Annaba »,2006.

[2]**N.S Taleb**, Contribution à l'étude d'impact de l'exploitation du gisement ferrifère de la mine de l'Ouenza sur l'environnement .Thèse magistère, université d'Annaba , 2012.

[3]**Lazizi Malek**, « La mine de l'Ouenza histoire et avenir. Service géologie, mine de L'Ouenza », 2011 /2012.

[4]**B. Ayadi**, « Caractérisation et choix d'un schéma de traitement du minerai cuivre-fer de Douamis(Ouenza). Thèse magistère », université d'Annaba ,2010.

[5]Mines de l'Ouenza et de Boukhadra, « Document Arcelor Mittal », 2007.

[6]Généralités sur l'exploitation minière et ses impacts, guide pour l'évaluation des projets.

**Chapitre III:
Méthodes et
matériels utilisés**

Chapitre III : Méthodes et matériels utilisés.

L'objectif de ce chapitre est de présenter les matériels et les méthodes d'analyse utilisés lors de cette étude, afin de caractériser le rejet et les céramiques élaborées à base de ce dernier. La marne choisie dans notre étude et la marne jaune issue de l'exploitation de minerai de fer de la mine indiquée précédemment.

III.1 : Matériels et réactifs :

III.1.1 Matériel :

Ce qui suit représente le matériel utilisé pour effectuer la caractérisation et la valorisation de notre rejet.

-Balance analytique : de marque KERN PCB, avec une précision de 0,001g et de masse maximale de 1000 g.

-Concasseur à mâchoire de laboratoire :

Le concassage constitue la première étape de la comminution. Son objectif n'est pas la libération des minéraux, mais simplement la réduction de dimension afin de faciliter la manipulation ultérieure du rejet. L'appareil utilisé est un concasseur à mâchoire de laboratoire de marque FRITSCH. Le principe de fonctionnement de ce type de machine est le suivant :

1. principe :

Ils consistent en deux plaques de métal placées en angle (aigu), l'une fixe et l'autre pouvant pivoter autour d'un point d'ancrage, lui permettant d'exécuter un mouvement de va-et-vient. Le matériel alimenté entre les mâchoires est alternativement écrasé et relâché par leur mouvement de va-et-vient, jusqu'à ce qu'il sorte par l'extrémité inférieure (plus étroite). Les concasseurs à mâchoires sont des équipements de travail intense donc leur construction doit être très robuste. Ils sont faits en acier et munis de blindages en acier au manganèse. Les plaques peuvent être lisses ou ondulées, ces dernières meilleures pour des minerais durs ou abrasifs. L'angle entre les mâchoires est inférieur à 26°, car un angle plus grand produirait du glissement qui réduit la capacité et augmente l'usure. Les concasseurs à mâchoire sont spécifiés par la surface d'alimentation, c'est-à-dire, la *largeur* des plaques et l'*ouverture* entre les plaques ouvertes.

L'opération de concassage s'est déroulée au laboratoire des mines et géologie.



Figure III.1 : Concasseur à mâchoire de laboratoire.

- **Presse hydrolytique** : le pressage a été réalisé sous pression de 2 tonne ;
- **Etuve** : utilisé pour le séchage à 100°C, de marque MEMMERT
- **Four** : un four de types LN CECOFORMA 1200°C est utilisé pour la cuisson des pastilles au niveau du hall de technologie.

III.1.2 Réactifs :

Les réactifs ci-dessous sont utilisés dans l'élaboration de céramique comme un moyen d'attaque acido-basique.

-Acide chlorhydrique (HCl) :

l'acide chloridrique HCl se trouve disponible en solution à 32 et 37%, il est rarement utilisé seul pour les mises en solution, hormis dans des cas particuliers comme par exemple en solution diluée à l'ébullition pour la mise en solution des carbones minéraux. Il est par contre très utilisé pour la reprise des attaques car c'est le milieu acide généralement préféré actuellement à cause des techniques de flamme, les effets des interférences étant plus faible qu'avec l'acide sulfurique ou nitrique. Il faut signaler que les chlorures tels que As, Ge, Hg, Sb, Sn, peuvent être perdus par volatilisation. Le HCl utilisé dans notre cas d'étude est de 1N. [1]

-Hydroxyde de sodium (NaOH) :

Ce mode d'attaque était très utilisé dans les méthodes rapides d'analyse des matériaux silicates.

Les fusions à l'hydroxyde de sodium en présence d'air sont oxydantes et les composés organiques sont détruits. Les éléments donnant des anions passent en solution dans de l'eau comme Sn, V, S, W.

Les applications sont encore nombreuses pour certains matériaux ou pour la détermination de certains éléments comme Mo et W. Les silicates, les cendres, les scories, les verres sont attaqués métaux peuvent être dissout en particulier l'aluminium et la plupart des non métaux. L'hydroxyde utilisé pour la fusion de notre rejet est de 0,5N. [1]

III.1.3 Matières premières :

Dans le cadre de l'élaboration de, céramiques à base du rejet de la mine de l'Ouenza, des mélanges sont préparés à partir des matières suivantes :

1.3.1 Silice (SiO₂) :

La silice est la forme naturelle du dioxyde de silicium (SiO₂) qui entre dans la composition de nombreux minéraux. Il existe à l'état libre sous différentes formes cristallines ou amorphes et à l'état combiné dans les silicates, les groupes SiO₂ étant alors liés à d'autres atomes (Al : Aluminium, Fe : Fer, Mg : Magnésium, Ca : Calcium, Na : Sodium, K : Potassium...). Les silicates sont les constituants principaux du manteau et de l'écorce terrestre. La silice libre est également très abondante dans la nature, sous forme de quartz, de calcédoine et de terre de diatomée. La silice représente 60,6 % de la masse de la croûte terrestre continentale.

1.3.2 Alumine :

L'alumine ou oxyde d'aluminium, de formule chimique Al_2O_3 , est un composé chimique qui existe à l'état naturel dans la bauxite, sous forme d'alumine hydratée mélangée avec de l'oxyde de fer.

L'alumine est exploitée industriellement pour obtenir de l'aluminium . Elle est aussi utilisée comme matériau réfractaire (résistant aux très fortes températures) et comme céramique, et peut être également utilisée sous forme de corindon pour fabriquer des abrasifs. Plusieurs pierres précieuses sont à base d'alumine anhydre, colorées ou non par des oxydes métalliques : rubis, topaze, saphir.

1.3.3 Rejet :

Le rejet utilisé est une marne jaune issue de l'exploitation de minerai de fer de la mine de l'Ouenza cette dernière est une roche sédimentaire contenant du carbonate de calcium, $CaCO_3$ (composant principale du calcaire), est constitué essentiellement du SiO_2 et CaO ainsi que la présence de d'autres substances telles que Fe_2O_3 , MgO et K_2O .

III.2 : Méthodes de caractérisations:

Pour pouvoir effectuer une caractérisation de nos échantillons solides, un ensemble d'analyse a été réalisé. Chacune nous renseigne sur des caractéristiques particulières au cours de l'élaboration.

III.2.1 : Analyse granulométrique par laser :

La granulométrie permet d'apprécier de façon quantitative la répartition granulométrique des poudres .la technique de mesure est basée sur différents types d'interaction entre les particules est le rayonnement laser.

1. Principe :

Pour la mesure, les poudres sont préalablement dispersées dans une solution et soumises aux ultrasons .on prélève ensuite une quantité suffisante de la solution très diluée que l'on introduit dans la cuve. Durant la mesure, les poudres sont dispersées dans un module d'échantillonnage équipé d'une sonde à ultrasons. Une circulation entraîne ensuite la poudre en suspension dans la cellule optique traversée par le laser .La reconnaissance des propriétés optiques des poudres et celle du solvant est nécessaire.

L'appareil utilisé est un granulomètre laser de type MASTERSIZER 2000 Cet appareil permet d'accéder aux informations telles que : la forme, la distribution, les diamètres caractéristiques dont le diamètre moyen, le diamètre médian (D_{50}) etc. [2]

Dans notre cas d'étude, l'analyse est réalisée au niveau de l'unité de recherche de l'environnement et de matériaux université de Boumerdes.



Figure III.2 : Appareil d'analyse granulométrie par laser.

III.2.2 : Diffraction des rayons X (DRX) :

La diffraction des rayons X (DRX) sert à identifier les phases cristallisées, donc la minéralogie des produits et éventuellement pour analyser le degré de cristallinité [(Delineau, 1994)].

Elle est utilisée de façon préférentielle dans la caractérisation minéralogique d'un matériau argileux [(Guinier, 1964 ; Brindley. and Brown, 1980)]. Les phases amorphes ou très mal cristallisées comme certains hydroxydes de fer naturellement présents dans les argiles ne sont pas observables par cette méthode.

1. Principe :

Les rayons X sont diffusés sans perte d'énergie par des particules de la matière chargée sont disposées de façon périodique, la quantité de rayonnement diffusé n'est importante que dans les directions pour lesquelles les rayons diffusés sont en phase. On dit alors qu'il y a diffraction.

L'observation d'un rayonnement diffracté est donc soumise à des conditions relatives à l'existence d'interférences constructives ou cohérentes. La loi de Bragg établit la condition essentielle à la diffraction, à savoir : deux rayons diffusés par un cristal sont en phase et s'additionnent si la différence entre leurs chemins parcourus au sein du cristal est égale à n fois (n = nombre entier) leur longueur d'onde : $2d \cdot \sin\theta = n\lambda$

Avec :

λ : la longueur d'onde du rayonnement utilisé ;

θ : l'angle de réflexion. ;

d : la distance réticulaire entre deux plans atomiques adjacents d'une même famille ;

n : l'ordre de réflexion.

Cette relation permet, à partir des valeurs de l'angle d'incidence, de déterminer les équidistances des différentes familles de plans caractéristiques du matériau analysé. Les imperfections de la périodicité peuvent cependant limiter l'étendue des domaines diffractant en phase. Le domaine au sein duquel la périodicité est conservée est appelé domaine cohérent.

Il peut être déterminé en appliquant la formule de **Sherrer (1918)**: $D_{hkl} = \frac{0.9}{\lambda \cos\theta} \sqrt{\sum h^2 k^2 l^2}$

Où :

D_{hkl} = la longueur du domaine cohérent selon la direction hkl ;

I_{hkl} = la largeur à mi-hauteur de la raie de la réflexion considérée (en radian) ;

k' = une constante dépendante de l'appareil utilisé ;

λ = la longueur d'onde du rayonnement ;

θ = l'angle de diffraction. [3]

Dans le cadre de ce travail, les mesures de diffraction X ont été effectuées sur des échantillons de différents mélanges à base de marnes broyé et séché. Cette analyse a été réalisée au Laboratoire du génie des procédés.

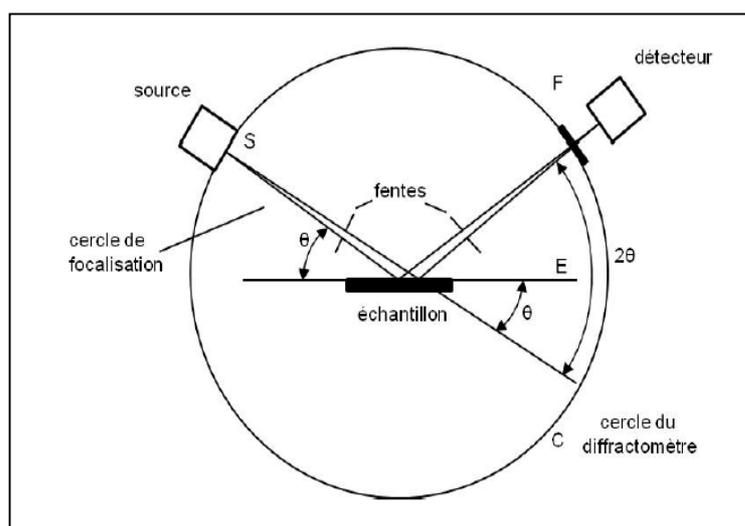


Figure III. 3 : Principe du diffractomètre de poudre dans la géométrie de Bragg-Brentano.[4]

III.2.3 : Spectrométrie infrarouge à transformée de Fourier :

La spectroscopie infrarouge permet de déterminer la présence de groupements fonctionnels dans les molécules organique. Le principe de cette méthode consiste à mesurer la quantité de lumière absorbée par un matériau en fonction de la longueur d'onde lors d'une interaction entre la radiation électromagnétique et la matière.[5]

1. Principe :

Dans les conditions normales de température et de pression (CNTP), les atomes et groupements fonctionnels, constituant la matière, sont animés de mouvements vibratoires. Si ces constituants sont exposés à un rayonnement électromagnétique dont la fréquence est proche de celle de l'une ou l'autre de leurs vibrations propres, ils entrent en résonance, empruntant pour ce faire, de l'énergie dans le faisceau incident. Il y a alors absorption d'énergie.

Sous l'effet d'un rayonnement électromagnétique infrarouge, les liaisons moléculaires absorbent une partie de cette énergie et vibrent selon des mouvements de différents types (vibrations d'élongation ou de déformation). Le domaine infrarouge, dans lequel se trouvent les énergies de vibration des liaisons moléculaires, est divisé en trois zones :

- proche infrarouge : $\lambda = 0,8$ à $2,5$ mm (ou $\nu = 4000$ à 12500 cm^{-1})
- moyen infrarouge : $\lambda = 2,5$ à 25 mm (ou $\nu = 400$ à 4000 cm^{-1})
- lointain infrarouge : $\lambda = 25$ à 1000 mm (ou $\nu = 10$ à 400 cm^{-1}).

2. Condition expérimentale :

Les mesures ont été effectuées en réflexion diffuse. L'échantillon est dilué dans du KBr (70 mg d'échantillon pour 370 mg de KBr) pour atténuer les pertes en énergie. La radiation pénètre à l'intérieur de l'échantillon, subit des effets de réflexion, réfraction, diffusion et absorption puis est réémise dans toutes les directions d'un espace hémisphérique.

Les spectres d'absorption ont été réalisés dans le domaine du moyen infrarouge, correspondant à des nombres d'onde ($\nu = 1/\lambda$) compris entre 400 cm^{-1} et 4000 cm^{-1}).

Les mesures ont été réalisées au Laboratoire du génie des procédés. [3]

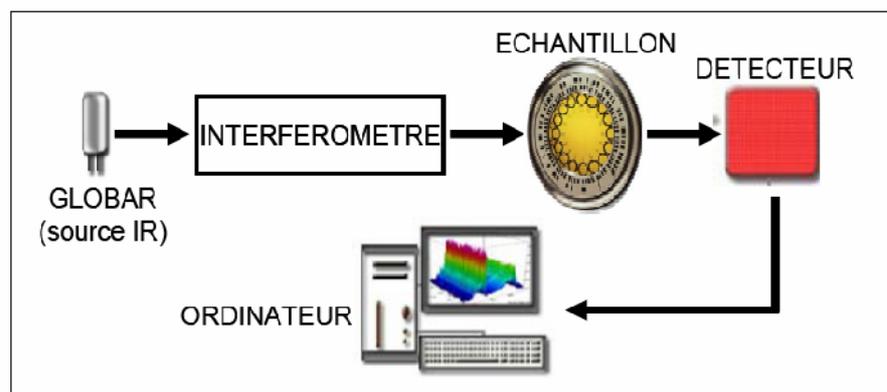


Figure III.4 : Schéma de principe d'un spectromètre FT-IR.[5]

III.2.4 : La microscopie Electronique à Balayage (MEB) :

La microscopie électronique à balayage (MEB ou SEM (Scanning Electron Microscopy)) est une technique d'observation microscopie électronique basée sur le principe des interactions électrons-matière, capable de produire des images en haute résolution de la surface d'un échantillon.

1. Principe :

Le principe du MEB consiste en un faisceau d'électrons balayant la surface de l'échantillon à analyser qui, en réponse, réémet certaines particules. Ces particules sont analysées par différents détecteurs qui permettent de reconstruire une image en trois dimensions de la surface. Aujourd'hui, la microscopie électronique à balayage est utilisée dans des domaines allant de la biologie aux sciences des matériaux et un grand nombre de constructeurs proposent des appareils de série équipés de détecteurs d'électrons secondaires et dont la résolution se situe entre 0,4 nanomètres² et 20 nanomètres².

Les photos MEB ont été prises par un type d'appareil appelée ESEM XL 30 à filament de tungstène couplé à un système complet de microanalyse par dispersion d'énergie EDS X au niveau de laboratoire de biologie université de Tizi Ouzou. [6]



Figure III. 5 : Appareil MEB.

III.2.5 : Analyse thermique :

Une substance soumise à un traitement thermique peut subir des modifications de ses propriétés physico-chimiques.

L'analyse thermique permet d'observer ces modifications en fonction de la température. Parmi les techniques mises en œuvre, on peut citer l'analyse thermique différentielle (ATD), l'analyse thermogravimétrique (ATG).

III.2.5.1 Analyse thermique différentielle (ATD) :

La méthode d'analyse thermique différentielle permet, comme la calorimétrie permet, d'étudier les transformations internes des échantillons ou les réactions de l'échantillon avec l'extérieur, le transfert de masse étant associé à une libération ou une absorption d'énergie.

La méthode ATD est une technique dans laquelle la différence de température entre une substance et un matériau de référence est mesurée comme une fonction de la température. La substance et le matériau de référence sont soumis à un même programme de température contrôlée. Comme résultat, on reçoit une information énergétique sur l'échantillon qui nous renseigne sur les réactions de l'échantillon avec le milieu environnant mais aussi sur ses transformations structurales internes.

1. Principe :

Le principe de la méthode ATD consiste à chauffer dans une enceinte de température programmée un échantillon actif et un échantillon témoin, en général inerte, disposés symétriquement. Un dispositif à thermocouples mesure la différence de température entre les deux échantillons. En l'absence de réaction ou de transformation, l'écart de température est faible et régulier. C'est la ligne de base. Lorsqu'une transformation de l'échantillon actif intervient, elle met en jeu une quantité d'énergie et sa température s'écarte alors de celle du témoin. La température différentielle DT est enregistrée sous forme d'un pic ou d'une succession de pics en fonction du temps t . [7]

III.2.5.2 : Analyse thermogravimétrique (ATG) :

Le principe consiste à suivre en continu la variation de la masse d'un échantillon en fonction de la température de traitement thermique. Cette variation de masse peut être une perte de masse (telle que l'émission de vapeurs) ou un gain de masse lors de la fixation de gaz par exemple.[7]

L'analyse thermogravimétrique a été effectuée de l'unité de recherche de l'environnement et des matériaux à Boumerdès .



Figure III.6 : Appareil ATD /ATG.

III.2.6 : Analyse par fluorescence à rayon X :

La spectrométrie de fluorescence atomique, appelée encore spectrométrie de fluorescence à rayon X, est une technique d'analyse qualitative et quantitative très répandue. Elle permet d'identifier et de doser tous les éléments à partir du carbone, parfois à l'état de trace, dans des échantillons très divers : liquides, alliages, poudres, céramiques. Elle repose sur l'émission d'un rayonnement caractéristique par les atomes après ionisation.

1. principe :

Lorsqu'un électron d'une couche interne (E_0) est arraché à un atome sous l'effet d'un rayonnement quelconque (photons X ou γ , électrons, ions, protons), un électron d'une autre couche d'énergie supérieure E_1 vient immédiatement prendre sa place en émettant un photon d'énergie $E_1 - E_0$. C'est le phénomène de fluorescence atomique ou fluorescence X. Les énergies des niveaux électroniques étant caractéristiques des atomes, l'énergie du photon émis le sera tout autant. En analysant le spectre d'émission d'un échantillon après ionisation, on est capable d'identifier les éléments qu'il contient et, en prenant les précautions nécessaires, de déterminer leurs concentrations.

L'appareil utilisé est de type XPR-CUBIC-PANALYTICAL installée au sein de l'entreprise nationale de ciment Meftah Blida.

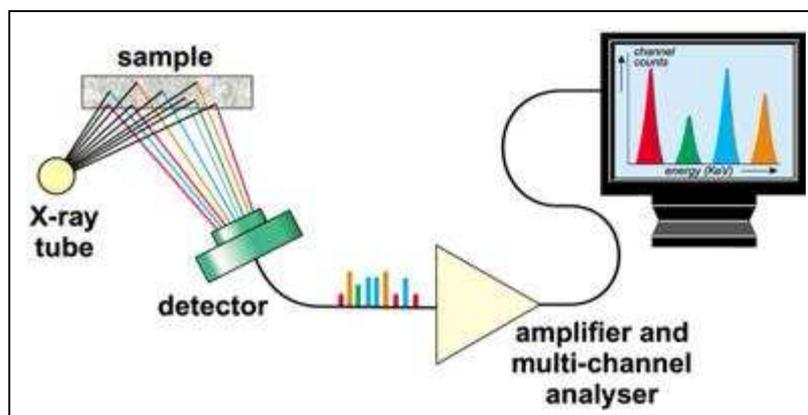


Figure III.7 : Principe de la fluorescence x. [8]

III.2.7 Essai mécanique :

Les essais mécaniques réalisés au laboratoire sur des éprouvettes, des pastilles homogènes constituent le principal outil de détermination des lois de comportement des solides en général et des géomatériaux en particulier en mécanique des roches et des sols.

III.2.7.1 Résistance en compression (détermination du module de Young) :

Le module de Young ou module d'élasticité (longitudinale) ou encore module de traction est la constante qui relie la contrainte de traction (ou de compression) et la déformation pour un matériau élastique isotrope. Un matériau dont le module de Young est très élevé est dit rigide. L'acier, l'iridium, le diamant, sont des matériaux très rigides, l'aluminium et le plomb le sont moins, les matières plastiques et organiques sont généralement peu rigides.[9]

1. Principe :

Avant de commencer l'essai nous devons suivre avec précaution les étapes de montage de la pastille de céramique.

D'abord, nous plaçons la pastille sur une plaque en acier, en suite en effectuons le réglage de la coaxialité entre le piston et le chapeau de la pastille. Les erreurs qui peuvent être enregistrées lors de l'essai sont :

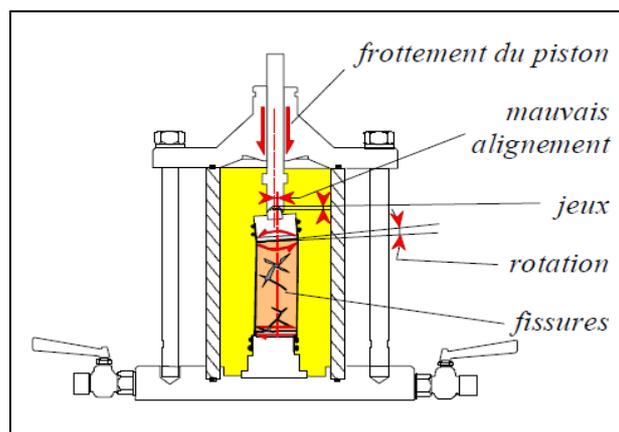


Figure III.8 : Difficultés expérimentales affectant les résultats. [10]

2. Calcul du module de Young :

$$\bar{\sigma}_{\max} = F_{\max} / S_0 \dots\dots [GPa] \quad , \text{ avec } S_0 = \Pi D^2/4$$

F = force appliquée [N],

S₀ = section sur laquelle la contrainte est appliquée [m²]

$$\mathcal{E} = \Delta l / l_0 * 100 \dots\dots [\%]$$

l₀ = Longueur initiale de l'éprouvette [m]

Δl = allongement absolu (m)

On trace le graphe $\bar{\sigma} = f(\mathcal{E})$ la tangente représente le module de Young en [GPa]

$$1 \text{ MPa} = 10^6 \text{ Pa} \text{ (ce qui est équivalent au Pa/mm}^2\text{)}.$$

Les différents calculs sont représentés sur la figure suivante :

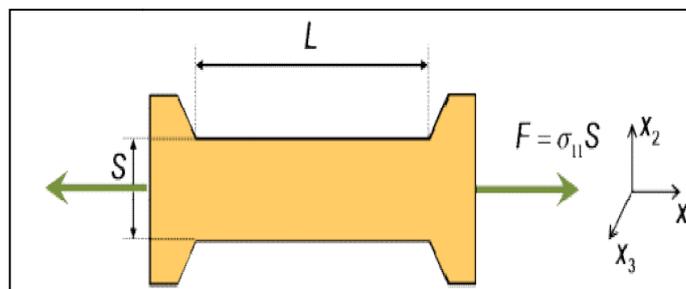


Figure III.9: Principe de calcul de module d'Young .

L'appareil utilisé est une machine de compression, traction, flexion, de type IBERTEST 200KN au niveau de laboratoire génie civil de l'université de Tizi Ouzou.

III. 2.8 Les propriétés chimiques :

C'est une opération qui nous renseigne sur la durabilité chimique de nos échantillons de ce fait les céramiques élaboré a base du rejet de la mine de l'Ouenza (marne jaune) ont été soumis a un ensemble d'attaque comme suit :

- ✚ **L'absorption en eau :** On prend nos échantillons de pastilles ont les mit dans des béciers remplie d'eau distillée pendant 2 heures. On mesure la masse de l'échantillon avant et après l'essai pour qu'ont puisse à la fin déterminer le D_m : variation de la masse.
- ✚ **Durabilités chimiques aux attaques par NaOH et HCl :** On met les pastilles dans des béciers remplie de NaOH et HCl pendant 15min, on les laves avec de l'au distillé, puis on leur subie un étuvage de 24h à 60 °C. La variation D_m de masse est enregistrée afin de détermine le pourcentage de la perte en masse.

Conclusion :

L'analyse du rejet et des céramiques nécessite l'association de plusieurs techniques. Les techniques de caractérisation thermique sont adaptées pour l'étude des transformations qui se produisent avec une consommation ou une libération d'énergie associée à une perte de masse.

La fluorescence X permet d'identifier la composition chimique de notre matière à fin d'identifier la concentration de chaque constituant.

La diffraction des rayons X apporte des informations complémentaires pour identifier la nature et la structure des produits cristallisés, la microscopie à balayage nous informe la surface et l'infrarouge apporte des informations sur les groupements fonctionnels présents.

Il y'a aussi le module de Young qui nous informe sur la plasticité de nos matériaux.

En tient à la fin a préciser l'importance des attaques acido-basique des céramiques élaborés qui nous renseigne sur la durabilité chimique de nos échantillons.

Références Bibliographiques :

- [1] Michel Vernet et Kuppusami Govindaratjv, mise en solution des matériaux avant analyse, technique de l'ingénieur, PE.222.
- [2] N.Amaouz, « Synthèse et caractérisation de matériau diélectrique à structure pérovskite complexe de type $\text{Ca}_{1-x}\text{AxTi}_{1-y}\text{ByO}_3$ (A=Sr,B=Zr,...) », thèse de doctorat, université de Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, 2012 .
- [3] Drissa Samake, « Traitement des eaux usées de tannerie à l'aide de matériau à base d'argile », 2009
- [4] Christophe Chlique, « Préparation des poudres et céramiques(OXY) sulfurer pour application en optique passive et active », thèse doctorat, université de Renne, 2011.
- [5] A. El Hajji et S.Zaydoun, cour de spectroscopie infrarouge, master sciences analytique.
- [6] Hadj Mekatel, « Utilisation des zéolithes de type A et X dans la récupération des métaux par réaction d'échange d'ion' », mémoire de magistère, université de Boumerdes, 2008.
- [7] B.Harbuzaru, préparation des structurants organiques et leur engagement en synthèse hydrothermale de zéolithes, thèse doctorat, haute alsace, 2003.
- [8] Philippe Galez, « spectrométrie de fluorescence atomique », technique spectroscopiques d'analyse, 2011.
- [9] Abdelghani May, « Etude du comportement cyclique et de l'endommagement par fatigue d'un alliage d'alumine anisotrope de type 2017A ».Thèse doctorat, Rouen, 2013.
- [10] Mestat et Reiffsteck, parametre de calcul géotechnique, Paris, 2002.
- .

Chapitre IV:
Caractérisations de
rejet (marne jaune)
issu d'exploitation de
minerai de fer la mine
d'Ouenza

Chapitre IV : Caractérisations de rejet (marne jaune) issu de l'exploitation de minerai de fer la mine d'Ouenza

Avant tout procédé de valorisation des rejets, et de la réutilisation dans le cycle de production, il faut toujours passer par le stade de caractérisations afin de connaître ses propriétés physico-chimiques.

L'objectif de ce chapitre est de faire une étude générale de rejet minier ramener de la mine d'Ouenza, a fin de proposer une méthode de valorisation dans les céramique.

IV.1. Préparation de la matière première (marne jaune) :

La prise des échantillons a été faite au niveau de la mine d'El-Ouenza avec une collecte à main dans le site d'exploitation du Chagoura nord au niveau 1040-1055m. Pour le même site la prise a été réalisée à différent endroit.

IV.1.1. Concassage :

C'est une opération de réduction du produit de quelque mètre et/ou centimètre jusqu'à quelque centimètre et/ou millimètre.

Le diamètre de plus gros grain est de 4mm. On a pris une masse de 2752,39g de marne jaune ensuite on a concassé l'échantillon jusqu'à 1mm, la masse de l'échantillon après concassage est de 2665,21g.

L'objectif de cette étape est de réduire le diamètre pour avoir un échantillon représentatif pour le quartage.

IV.1.2. Quartage :

L'échantillon est divisé en quatre parties égales dont on ne retient que la moitié en réunissant deux quarts opposés. Cette sélection est homogénéisée et un nouveau quartage est effectué, l'opération pouvant se répéter en fonction de nombre de quartage obtenu suivant la loi de RECHARDSE.

$$Q_i > Kd^2$$

Q_i : masse initiale à préparer

d : diamètre de plus gros grain

K : coefficient de répartition de la minéralisation

Calcule:

$$K=0,1$$

$$d= 1\text{mm}$$

$$K.d^2 = 0,1 * 1^2 = 100\text{g}$$

$$Q_i = 2665,21\text{g}$$

La masse nécessaire pour les analyses c'est 300g, la loi de RECHARDSE est réalisée.

On prend l'échantillon de masse 2665,21g. On l'homogénéise puis on l'étale sur une table pour former un cercle d'épaisseur de 1mm, et on le divise en 4 parts égales, on rassemble chaque 2 tranches. On a les 2 premières tranches notre échantillon avec la quelle on continue notre quartage et les 2 qui restent forment l'échantillon témoin comme le montre le schéma suivante :

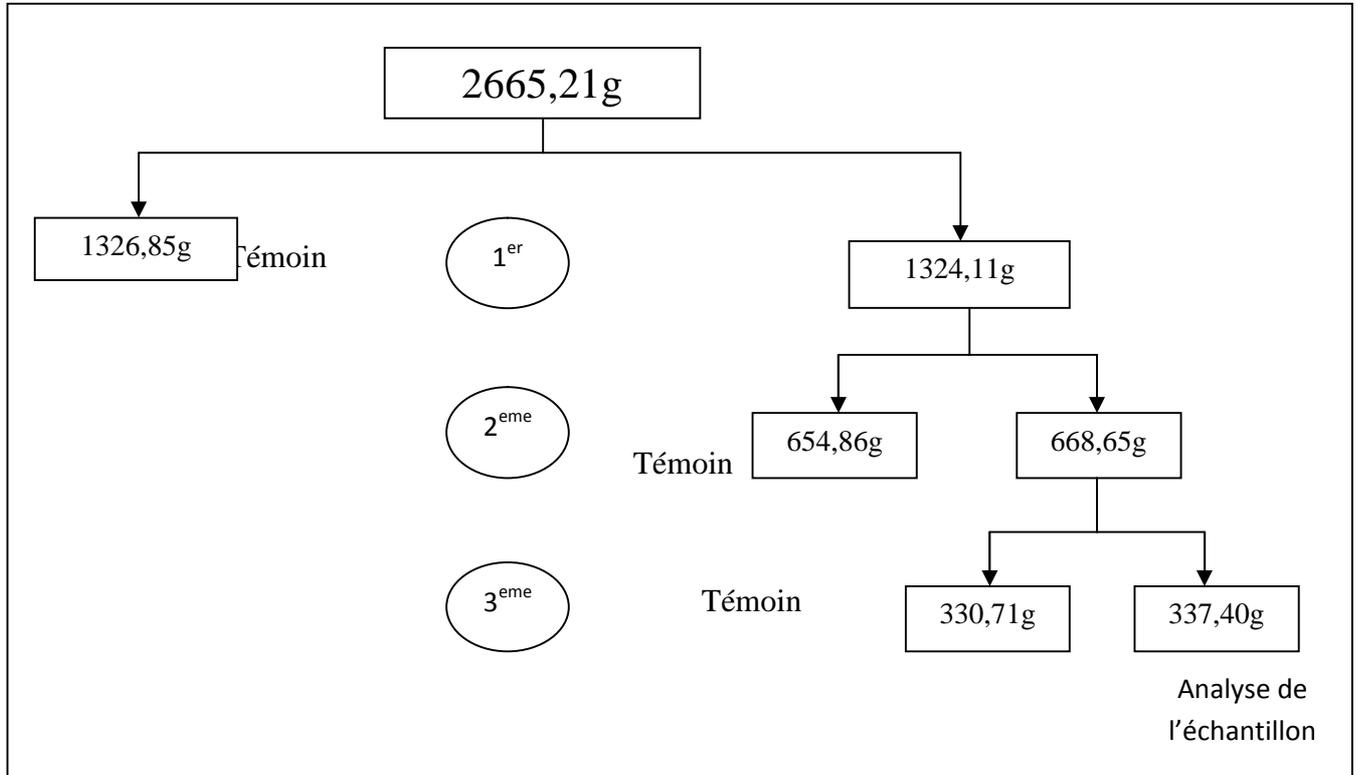


Figure IV.1 : Schéma de quartage d'un échantillon de marne jaune

IV.1.3. Calcination de la marne :

La calcination est une technique de préparation d'échantillon utilisée en chimie analytique qui permet de prendre en compte ce phénomène. Elle consiste à chauffer l'échantillon à haute température (500 à 1000°C) sous air ou sous atmosphère neutre pour provoquer des réactions physiques et chimiques et mettre ainsi l'échantillon dans un état de référence.

Notre échantillon de marne jaune a été calciné à 700°C, afin de faire vaporiser l'eau et de carboniser les matières organiques qui peuvent être présentes dans l'échantillon, car la présence de ces matières peut provoquer des réactions indésirables lors de l'élaboration des céramiques (formation des bulles et explosion de celle-ci qui peut provoquer des fissures).

IV.2.1. Analyse granulométrique par laser :

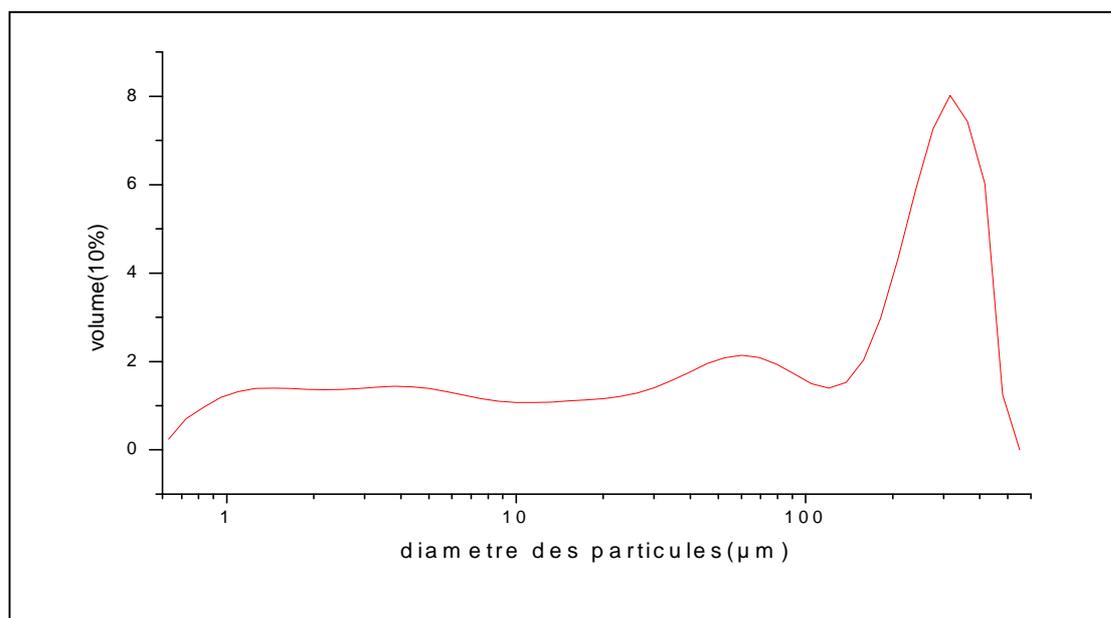


Figure IV.2 : Courbe granulométrique de la marne par granulométrie laser

Nous remarquons que 10% en volume de la suspension renferme des particules environ 2,198 μm , ceci laisse supposer que notre produit n'est pas riche en matière fine. Et 50% en volume de la suspension contient des particules de 101,401 μm , du moment que 90% de la suspension renferme des grains de diamètre 395,180 μm

D'après la courbe de distribution granulométrique, nous remarquons que la poudre est composée de 3 populations différentes : une à 1 μm , la deuxième à 60 μm et la troisième à 400 μm .

IV.2.2. Fluorescence X :

Cette analyse a été effectuée au laboratoire de la cimenterie de MEFTAH. Les résultats obtenus sont présentés sur le tableau suivant :

Tableau IV.1 : Composition chimique de la marne

Oxydants	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	K ₂ O	Na ₂ O	Paf
Pourcentage%	39,44	9,92	3,90	24,50	0,00	0,00	1,14	0,00	21,1

D'après les résultats obtenus, on remarque que notre échantillon de marne contient 39,44% en silice, 24,50% de calcite, 9,92% d'alumine. Par ailleurs d'autres impuretés sont présentées en faibles proportion à savoir : l'oxyde de fer à 3,90% et K₂O à 1,14%.

Nous remarquons aussi que la perte au feu est bien importante (21,1%) ceci est du au départ de l'eau d'hydratation et de constitution, des matières volatiles ainsi que les sulfates.

IV.2.3. Analyse infrarouge :

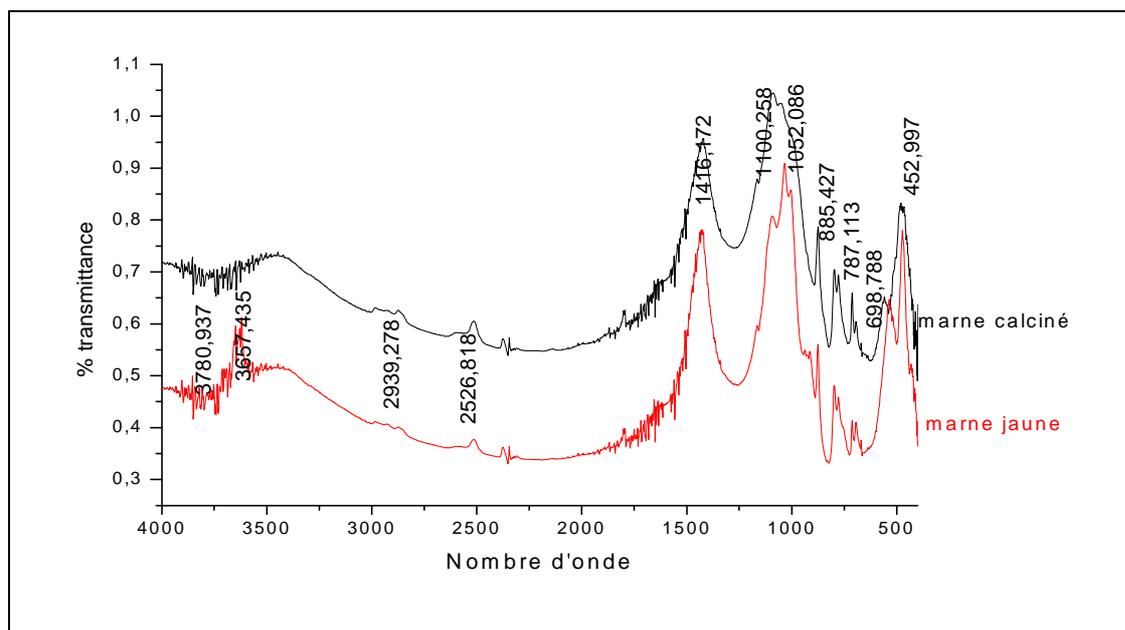


Figure IV.3 : Spectre infrarouge de la marne et la marne calcinée

La spectroscopie infrarouge à transformation de Fourier de la marne jaune et de la marne calcinée est représentée dans la figure IV.3. D'après cette figure nous remarquons l'existence de bande vers 3700 cm^{-1} correspond aux vibrations de valence des OH associés aux éléments divalent des sites tri, octaédriques tel que Fe^{2+} , K^{2+} [1]. Le seconde vers 3600 cm^{-1} correspond simultanément aux vibrations d'élongation du groupement OH de la moscovite/ou kaolinite [2]. Un pic vers 2900 cm^{-1} correspond aux liaisons de fer, Fe^{3+} et Fe^{2+} , une bande de faible intensité vers 2526 cm^{-1} correspond aux matières organiques[2]. Un pic vers 1416 cm^{-1} caractérisant les carbonates et une bande à 1100 cm^{-1} attribuée à la calcite CaCO_3 . Un pic à 1052 cm^{-1} correspondant aux vibrations de valence des liaisons Si-O [1]. Une bande vers 885 cm^{-1} attribuée aux vibrations de déformation de la liaison Al-OH [1]. Un pic à 787 cm^{-1} correspond aux vibrations de déformation du groupement hydroxyle Mg-Al-OH, et vers 698 cm^{-1} une bande caractérise les vibrations de déformation des OH des groupements Mg-FeII-OH [1]. A 452 cm^{-1} un pic de la liaison Si-O [2].

IV.2.4. Analyse minéralogique des marnes (DRX):

IV.2.4.1 Marne jaune:

Analyse minéralogique de la marne jaune est représentée dans la figure IV.5.

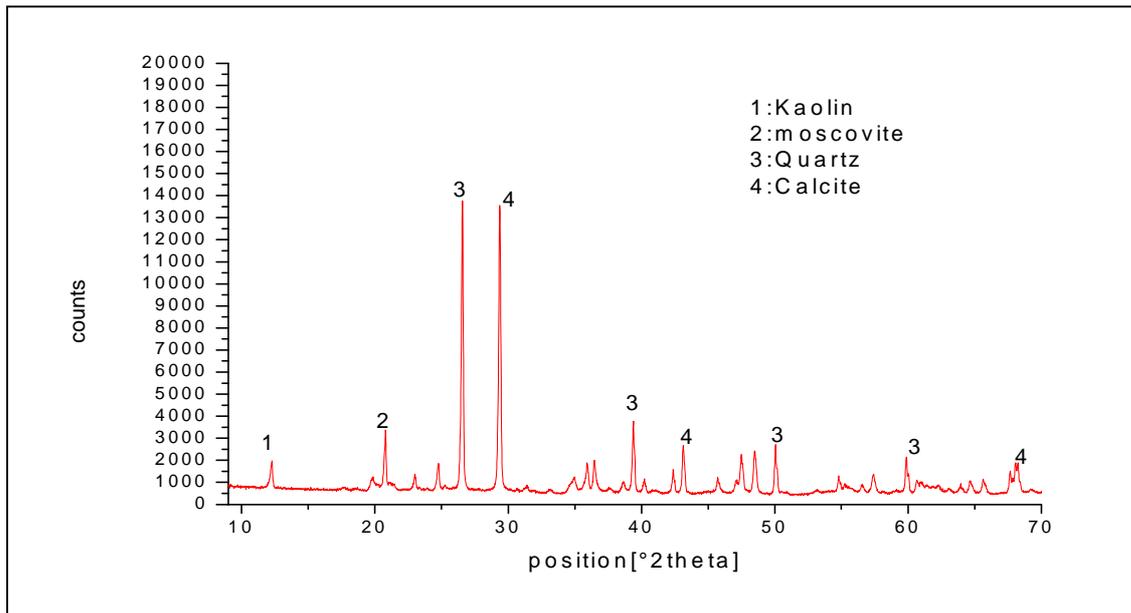


Figure IV.5 : Diagramme de diffraction des rayons X de la marne jaune

Le diffractogramme X met en évidence l'existence de différentes phases minéralogiques, à savoir : le quartz à des pics de diffractions respectifs 2θ : 26,29° ; 39,45° ; 50,11° ; 60,27°, une seconde phase qui est la calcite à des angles de diffractions 2θ : 29,47° ; 43,12° ; 68,43°. La présence de kaolin à $11,95^\circ 2\theta$ et moscovite à l'angle de diffraction 2θ : 20,50°.

IV.4.2 Marne calcinée :

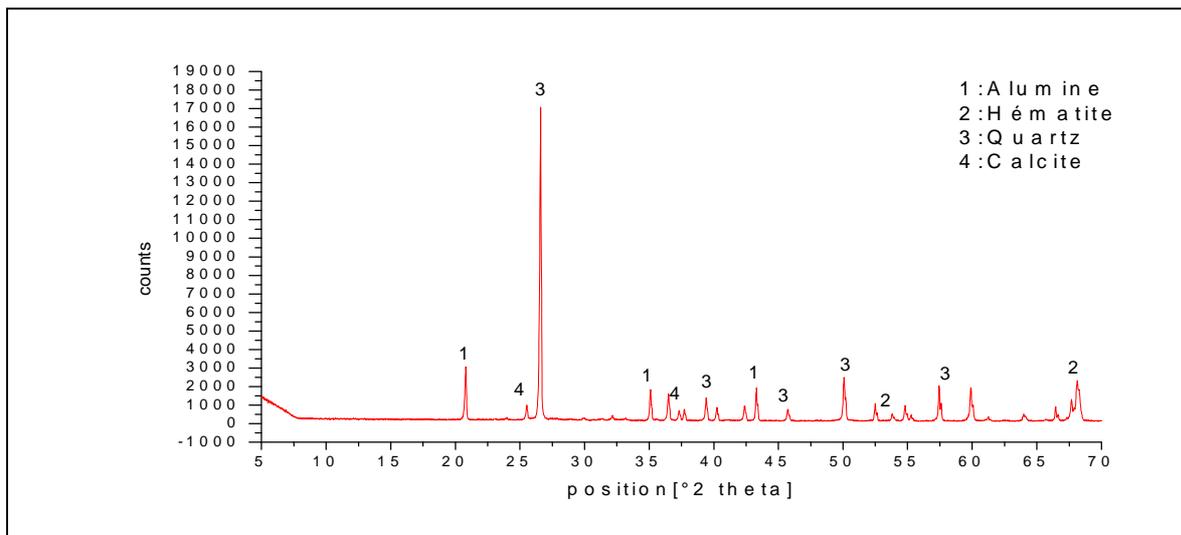


Figure IV.6 : Diagramme de diffraction des rayons X de la marne calcinée

D'après le diagramme de diffraction des rayons X, nous remarquons que la principale phase minéralogique est le quartz à des pics des diffractions 2θ : 26,81° ; 39,40° ; 45,80° ; 50,05° ;

57,33°. Ainsi la présence d'alumine à des diffractions 2θ : 20,76° ; 34,96° ; 43,13°. La calcite a été identifiée à 36,65° et l'hématite aux diffractions 2θ : 25,20° et 52,35°. L'apparition de l'hématite est dû à la transformation de FeII en FeIII

IV.2.5. Analyse thermique :

IV.2.5.1. Analyse thermique gravimétrique :

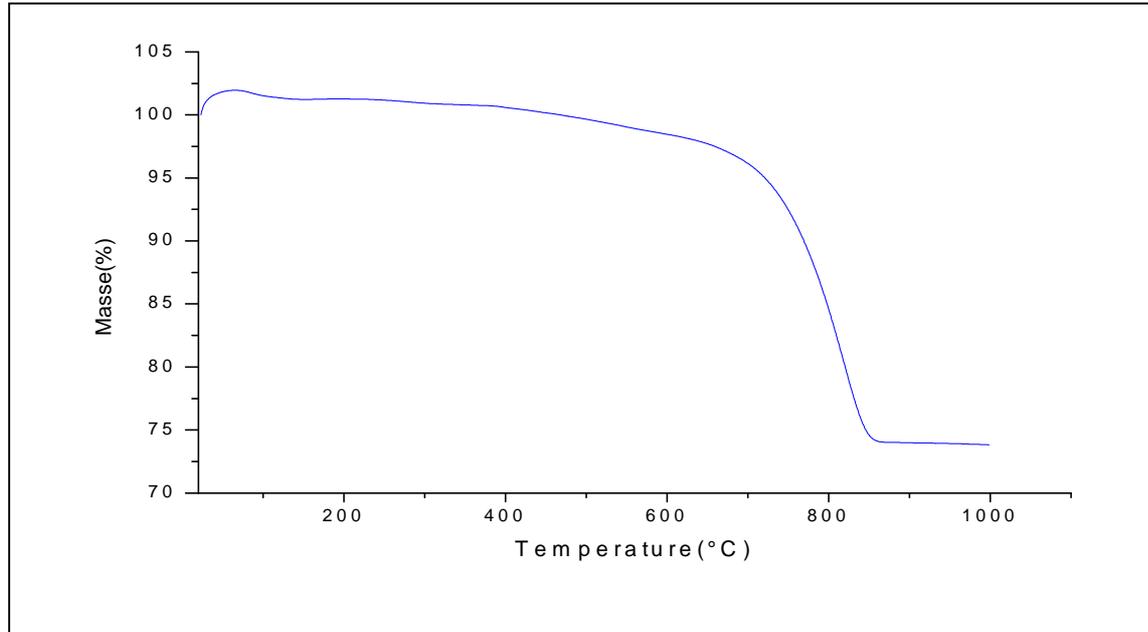


Figure IV.7 : Thermogramme ATG de la marne

L'analyse thermique gravimétrique (ATG) fait apparaître trois domaines de température :

- Entre 100- 450°C, nous constatons une diminution faible de la masse, de moins de 0,72%. Cette diminution s'explique par le dégagement de l'eau physisorbée existant dans le matériau, ainsi la combustion des matières organiques.

-Entre 450 - 670°C, une diminution rapide de la masse (27,40%), attribué au départ de CO₂, et a la transformation de kaolinite en méthakaolinite dans cette zone l'eau de constitution commence à se dissiper.

-Entre 670 - 870°C, des pertes en masse de 28% attribuées aux pertes des carbonates dans la transformation du CaCO₃ en CaO.

IV.2.5.2 Analyse thermique différentielle (ATD) :

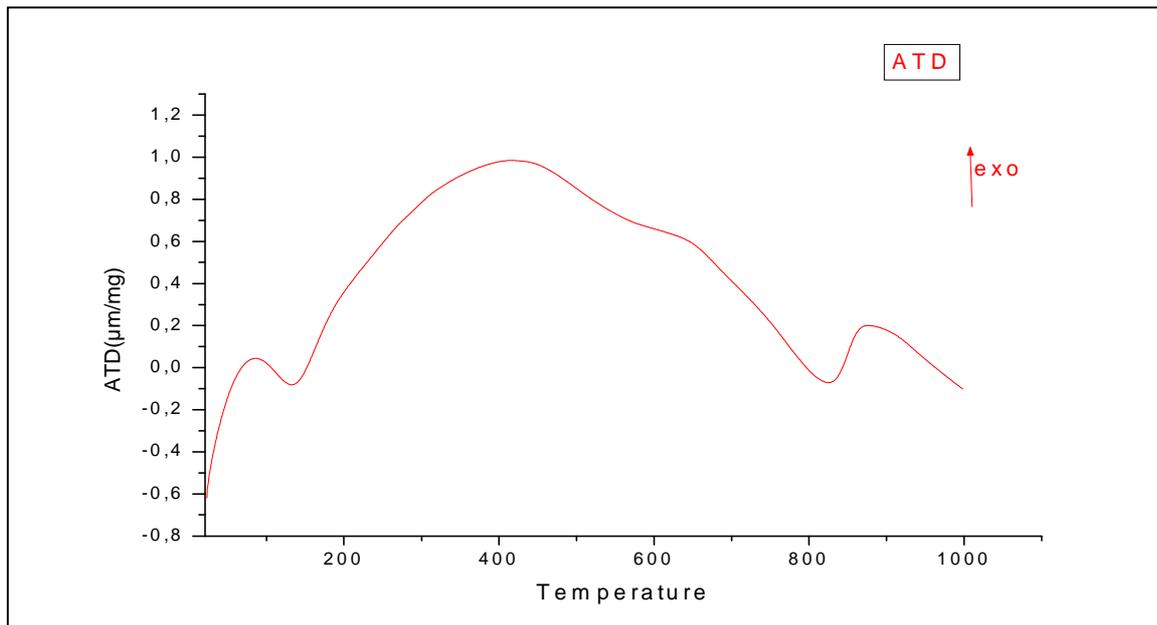


Figure IV.8 : Thermogramme ATD de la marne

L'analyse thermique différentielle (ATD) a mis en évidence des effets endothermiques importants, épaulement à 150°C correspond au départ de l'eau d'hydratation et un pic exothermique à 360°C dû au départ des matières organiques, à 540°C qui correspondants à l'hydratation du Kaolin (méthakaolinite) et un pic exothermique vers 820°C qui caractérise la disparition des carbonates.

IV.2.6. La microscopie Electronique à Balayage (MEB) :

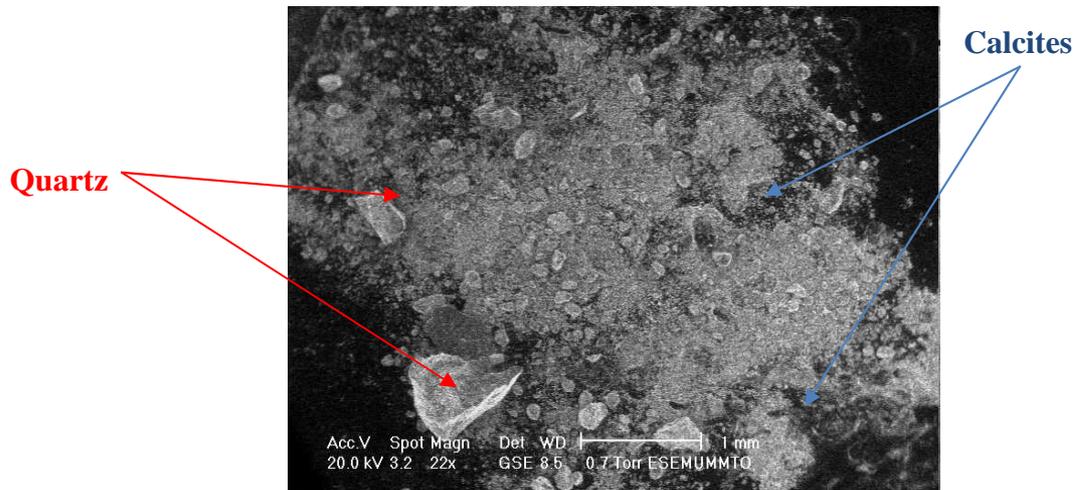


Figure IV.9 : Micrographie de la marne jaune (10mm)

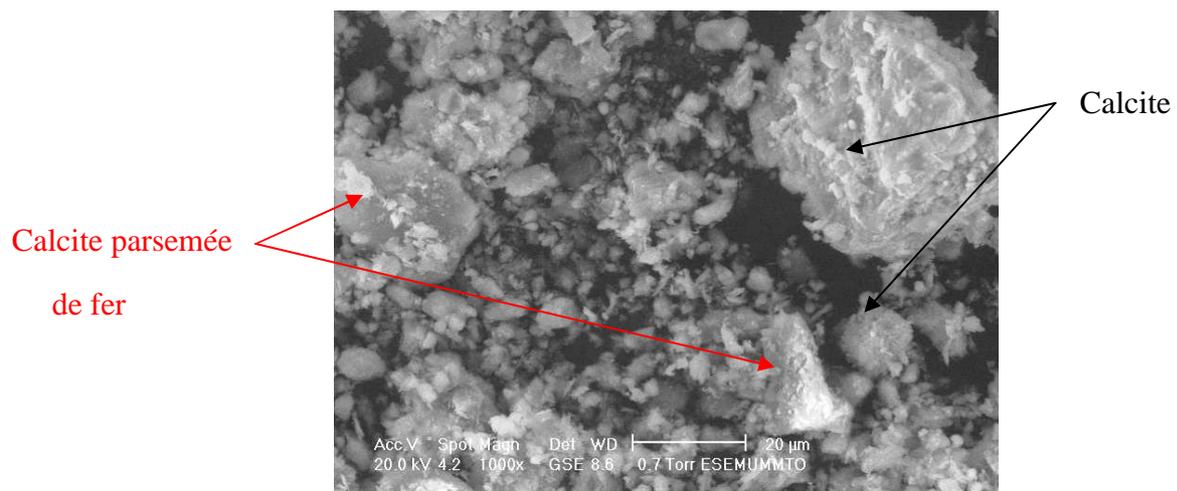


Figure IV.10 : Micrographie de la marne jaune (20µm)

Les résultats obtenus par micrographie MEB illustrent plusieurs aspects de la marne jaune : Des gains de quartz et de calcite avec présence des grains de fer déposés sur les grains de calcites [3].

Conclusion :

Au terme de cette partie relative à la caractérisation de la marne jaune, il ressort que :

- D'après l'analyse granulométrique par laser, la poudre est composée de trois populations différentes dont le diamètre varie entre 2 et 390 μm et le diamètre de 50% des particules est inférieur à 101 μm .
- D'après l'analyse chimique, la composition chimique de la marne est : SiO_2 , Al_2O_3 , CaO , Fe_2O_3 , K_2O . Les constituants prédominants de rejet est la silice et la calcite. La teneur est faibles de l'oxyde de fer et de K_2O .
- L'analyse DRX, à montre le caractère cristallin de rejet ainsi la prédominance de certaines phases telle que : le quartz et la calcite.
- Les bandes d'absorption observées dans le domaine infrarouge confirment bien aussi la présence des liaisons caractérisant le rejet, notamment celles qui correspondent aux vibrations OH.
- D'après l'analyse AATG/ATD, la masse diminue au fur et à mesure que la température augmente, la transformation endothermique des carbonates à au lieu vers 820°C.
- Les observations au MEB montrent les grains de calcite parsemés des particules de fer et aussi la présence de fer.

Références bibliographiques

- [1] Slimani Abdelghani et Mr. Yacini Sihakim «Elimination des oxydes de fer (hématite, goethite) d'une argile kaolin Algérienne, Mémoire d'Etudes Universitaires Appliquées en Chimie Industrielle, Univ-Béjaia », 2001
- [2] SAIDI Leila « Caractérisation et valorisation des rejets issus du traitement du minerai Pb/Zn, Mémoire de magister en chimie, Univ-Béjaia »,2011.
- [3] Drissa SAMAKE « Traitement des eaux usées de tannerie à l'aide de matériaux à base d'argile, mémoire de doctorat, Univ- Bamako » 2009

Chapitre V:
Caractérisations
des céramiques
élaborées

Chapitre V : Caractérisations des céramiques élaborées

En tenant compte des résultats de la caractérisation de la matière première la marne jaune issue d'exploitation de minerai de fer d'El-Ouenza, on peut élaborer des céramiques à base de celle-ci, en ajoutant de l'alumine (Al_2O_3) pure et de la silice pure (SiO_2)

V.1. Elaboration des céramiques :

Une série de mélange a été préparée avec différentes compositions. Ces compositions sont constituées du rejet de marne jaune, la silice (SiO_2) pure et l'alumine (Al_2O_3) pure à des concentrations différentes.

Les mélanges sont présentés selon le tableau suivant :

Tableau V.1 : Composition de chaque mélange en rejet, silice et alumine.

Echantillons	Masse du rejet(g)	Masse de la silice (SiO_2) (g)	Masse de l'alumine (Al_2O_3) (g)
Mélange1(M1)	30	50	20
Mélange2(M2)	40	40	20
Mélange3(M3)	50	30	20
Mélange4(M4)	70	10	20

Le schéma suivant montre les principales étapes pour l'élaboration de ces céramiques cuites à différentes températures (1100,1150°C), élaborées à partir des mélanges M1, M2, M3 et M4

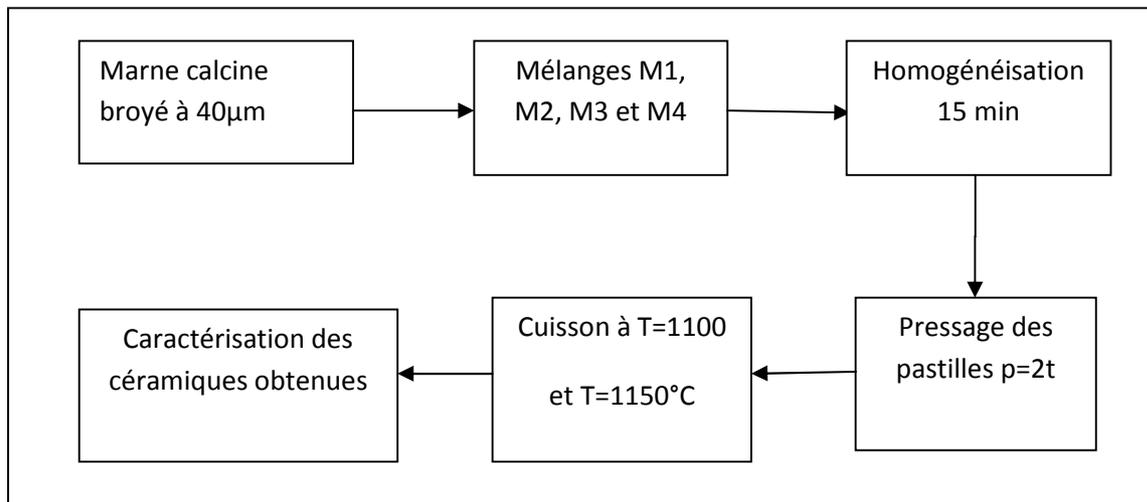


Figure V.1 : Schéma d'élaboration des céramiques

Les photos des céramiques élaborées cuites à 1100°C sont représentées sur la figure V.1 suivante :



Figure V.1 : céramiques élaborées pour les différents mélanges à 1100°C

Nous remarquons que la couleur devient foncée au fur et à mesure que la masse de la marne est importante. Ceci est probablement dû à l'oxydation du fer de Fe^{3+} à Fe^{2+} .

V.2 : Influence de la température de cuisson sur l'aspect physique des pastilles :

Afin d'étudier l'effet de la température sur l'aspect physique des céramiques. Les pastilles préparées sont mesurées avant et après cuisson, on notera des écarts de poids.

Les résultats obtenus de retrait des pertes en masse des pastilles après la cuisson sont donnés sur le tableau suivant :

Tableau V.2 : Pertes en masses des pastilles céramiques cuites à 1100 et 1150°C

Echantillons	Pastilles cuites à 1100°C		Pastilles cuites à 1150°C	
	Dm(g)	Dm/m(%)	Dm(g)	Dm/m(%)
M1	0,22	5,64	0,22	5,51
M2	0,29	7,28	0,31	7,76
M3	0,37	9,51	0,42	10,52
M4	0,51	12,81	0,51	12,78

D'après les résultats obtenus, nous remarquons que le pourcentage de la perte en masse des pastilles augmente de M1 jusqu'aux M4 alors que cette perte en poids reste presque la même pour les différents pastilles cuites à 1100 et 1150°C.

Cela est expliqué par l'évaporation de l'eau de constitution, décompositions des minéraux tels que les carbonates et les sulfures. Les pertes en poids révèlent que les pastilles M4 préparées à 70% de marne calcinée cuites à 1100 et 1150°C présentent une grande perte en masse, qui est dû au taux important en CaCO_3 présent dans ces mélanges.

V.3. Caractérisation des céramiques élaborées :

V.3.1. Analyse par diffraction des rayons X (DRX) :

Les résultats des diffractions des rayons X concernant notre série de composition frittée à 1100°C et 1150°C sont illustrés sur les figures suivantes :

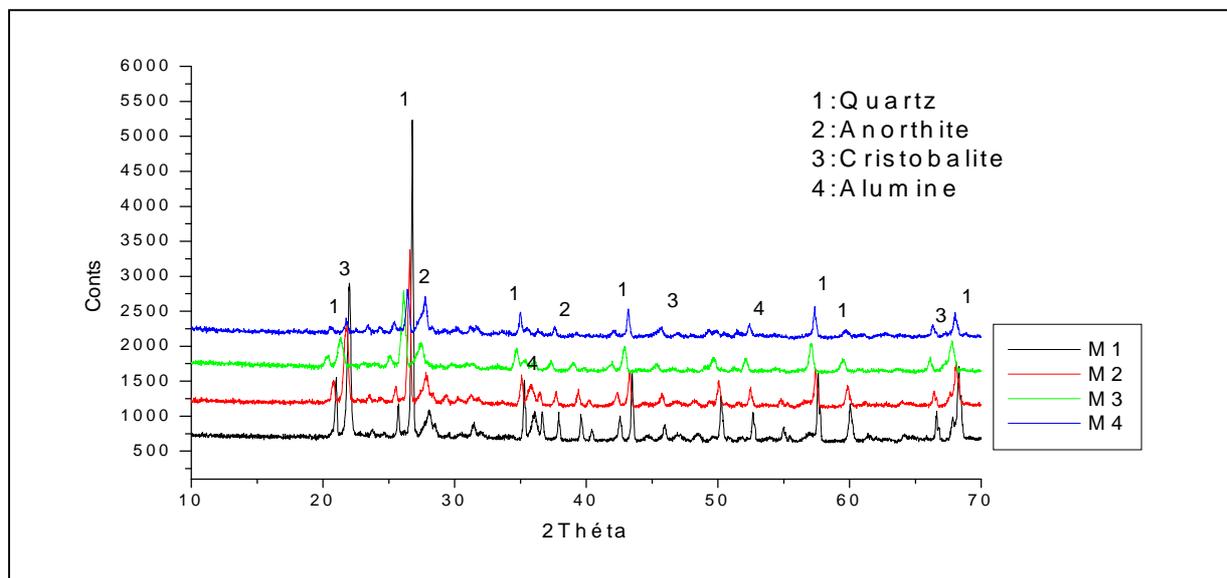


Figure V.3 : DRX des céramiques élaborées à 1100°C

L'analyse par DRX des pastilles céramiques cuites à 1100°C, nous a permis d'obtenir l'ensemble des diffractogrammes X représentés dans la figure V.3.

On a la phase la plus réponde est le quartz, avec l'apparition des phases de cristobalite d'anorthite et d'alumine.

Les pics de quartz diminuent au fur et à mesure que la teneur en marne est importante, alors que ceux de l'anorthite ($\text{Ca Al}_2 \text{ Si}_2 \text{ O}_8$) augmentent ce qui est en accord avec le taux de marne (apport de CaCO_3).

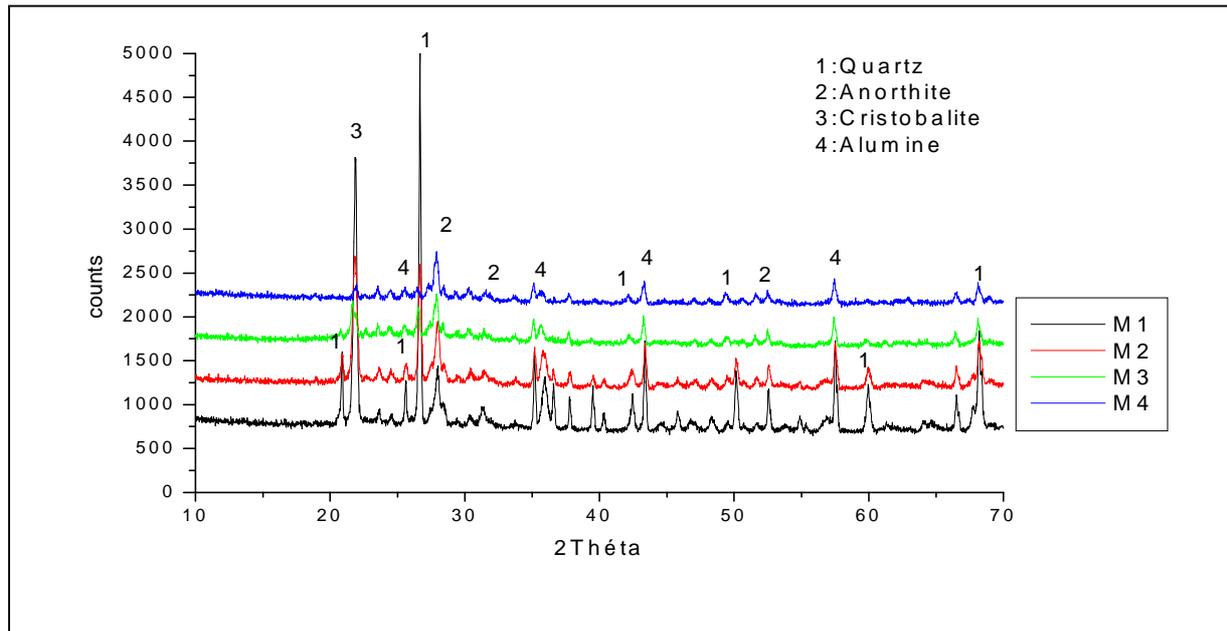


Figure V.4 : DRX des céramiques élaborées à 1150°C

D'après l'analyse par DRX des pastilles cuites à 1150°C, on remarque que l'intensité des phases de quartz, d'alumine et de la cristobalite diminue au fur et à mesure que le taux de marne est important, par contre celle de l'anorthite augmente, qui dû au l'apport de CaCO_3 .

V.4. Propriétés chimiques des céramiques :

V.4.1. Absorption en eau :

Cet essai permet de déterminer le taux absorbé après immersion des pastilles céramiques dans l'eau distillée, pendant une durée de deux heures.

Les résultats des variations des masses des pastilles céramiques sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau V.3 : le % d'absorption des pastilles céramique à 1100 et 1150°C

Echantillons	Pastilles cuites à 1100°C		Pastilles cuites à 1150°C	
	Dm(g)	Dm/m(%)	Dm(g)	Dm/m(%)
M1	0,58	15,71	0,47	12,43
M2	0,62	16,48	0,42	11,38
M3	0,61	16,89	0,22	7,85
M4	0,71	20,46	0,16	5,36

Telle que :

$$Dm = mf - mi$$

Dm : variation de la perte en masse,

mi : la masse avant l'absorption,

mf : la masse après absorption.

Nous remarquons que les pastilles cuites à 1100°C présente un taux d'absorption en eau plus grand que celles cuites à 1150°C, ce qui est normale car les pores sont fermés par la présence de la phase vitreuse.

Le plus grand taux d'absorption en eau est attribué à la pastille M4 cuite à 1100°C, qui est de 20,46%, par contre pour les pastilles cuites à 1150°C, le plus grand taux d'absorption en eau est attribué au mélange M1.

V.4.2. Durabilité chimique :

La résistance à l'attaque chimique des pièces de céramiques cuites autrement dit la durabilité chimique face aux acides et aux bases est l'une des facteurs importants puisque c'est contre ces agressions chimiques qu'un matériau est classé de bonne qualité ou non.

1. Durabilité chimique par rapport à l'acide chlorhydrique HCl (1N) :

La variation de masse des pastilles cuites à 1100 et 1150°C sont présentées dans le tableau suivant :

Tableau V.4 : Pertes en masses des pastilles céramique à 1100 et 1150°C

Echantillons	Pastilles cuites à 1100°C		Pastilles cuites à 1150°C	
	Dm(g)	Dm/m(%)	Dm(g)	Dm/m(%)
M1	0,00	0,00	0,00	0,00
M2	0,00	0,00	0,00	0,00
M3	0,00	0,00	0,00	0,00
M4	0,03	1,85	0,01	1,36

D'après les résultats obtenus, on remarque que dans le milieu acide HCl les céramiques cuites à 1100 et 1150°C présentent une résistance importante. Cependant le mélange M4 présente une résistance moins importante du moment qu'elle perte en moyenne 1,6% en masse entre 1100°C et 1150°C.

2. Durabilité chimique de l'attaque par rapport à la soude NaOH (0,5N) :

Les résultats sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau V.5 : Pertes en masses des pastilles céramiques à 1100 et 1150°C

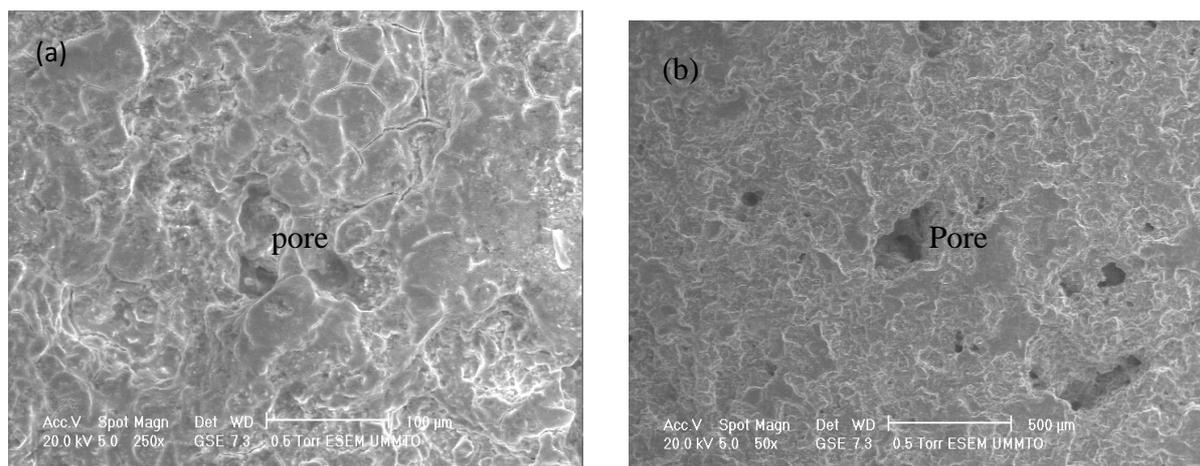
Echantillons	Pastilles cuites à 1100°C		Pastilles cuites à 1150°C	
	Dm(g)	Dm/m(%)	Dm(g)	Dm/m(%)
M1	0,00	0,00	0,00	0,00
M2	0,00	0,00	0,00	0,00
M3	0,00	0,00	0,00	0,00
M4	0,00	0,00	0,00	0,00

Dans le milieu basique de NaOH (0,5N), on remarque que les céramiques cuites à 1100°C et 1150°C présentent une résistance chimique très élevée avec une perte en masse nulle.

V.5. Microstructure des céramiques observée par MEB (M1 et M4) :

Les différentes pastilles sont polies avec des papiers abrasifs de différents grades (600, 800 et 1200), puis attaquée par HF pendant 1min. les pastilles sont alors lavées à l'eau distillée puis séchée dans une étuve à 60°C pendant 2heurs.

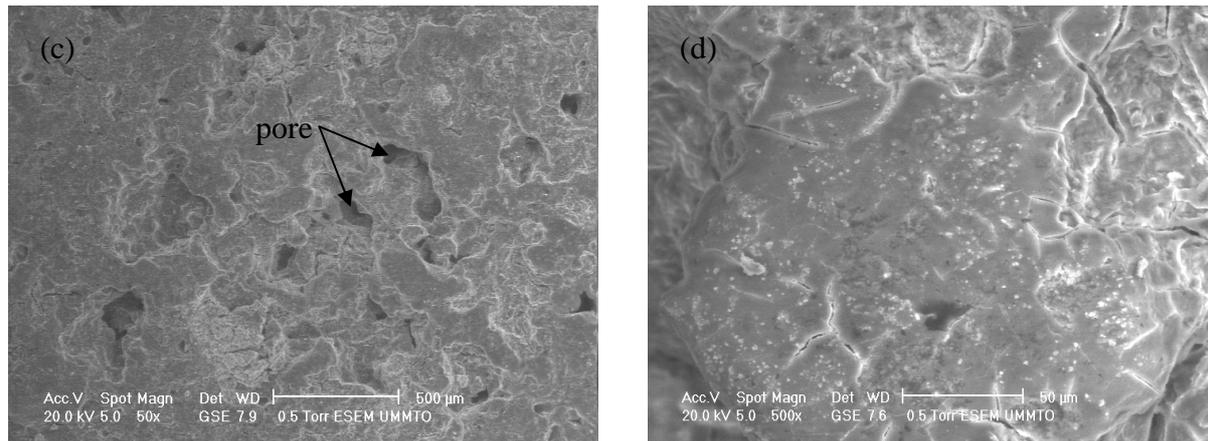
Les observations par MEB de différentes pastilles sont représentées dans les figures V.5 et V.6 respectivement pour M1 et M4.



(a) : Après l'attaque par HF

(b) : Avant l'attaque par HF

Figure V.5 : Micrographie des céramiques cuites à 1100°C de mélange M1



(c) : Avant l'attaque par HF

(d) : Après l'attaque par HF

Figure V.6 : Micrographie des céramiques cuites à 1100°C de mélange M4

Nous remarquons que les pastilles M1 sont plus au moins homogène, qu'elles présentent la phase vitreuse qui entoure des grains de quartz, la présence des pores sont assez visible sur ce matériau.

La microstructure des pastilles du mélange M4 est moins homogène, ce qui est dû à l'ajout de la marne. Nous remarquons en outre des pores plus accentués dans ce matériau. Il y'a début de formation d'un réseau cristallin de l'anorthite non stabilisé remarqué par des batonnets qui sont dirigés dans toutes les directions. [1]

V.6. Propriété mécanique (Module d'élasticité) :

Le module d'Young noté "E" correspond au rapport entre la contrainte appliquée au matériau et sa déformation. Plus il augmente, plus la résistance à la déformation augmente.

Les résultats de la détermination du module d'Young des différents échantillons sont représentés dans les tableaux V.6 et V.7 respectivement des pastilles cuites à 1100 et 1150°C.

Tableau V.6: Module d'Young des pastilles céramiques cuites à 1100°C

Echantillons	M1	M2	M3	M4
E(GPa)	41,00	58,23	65,42	69,94

Tableau V.7: Module d'Young des pastilles céramiques cuites à 1150°C

Echantillons	M1	M2	M3	M4
E(GPa)	71,80	71,80	92,70	103,77

D'après les résultats obtenus on constate que les pastilles cuites à 1150°C présentent une résistance plus élevée que celles cuites à 1100°C. On remarque aussi que l'augmentation de la valeur du module d'Young est proportionnelle à l'augmentation de taux de la marne. Pour les

céramiques préparées à bases de 70% de marne cuites à 1150°C, elles présentent une valeur plus élevée qu'est de 103,77 GPa.

On peut conclure que l'ajout de la marne améliore les propriétés mécaniques ceci est mesuré par rapport au module d'Young.

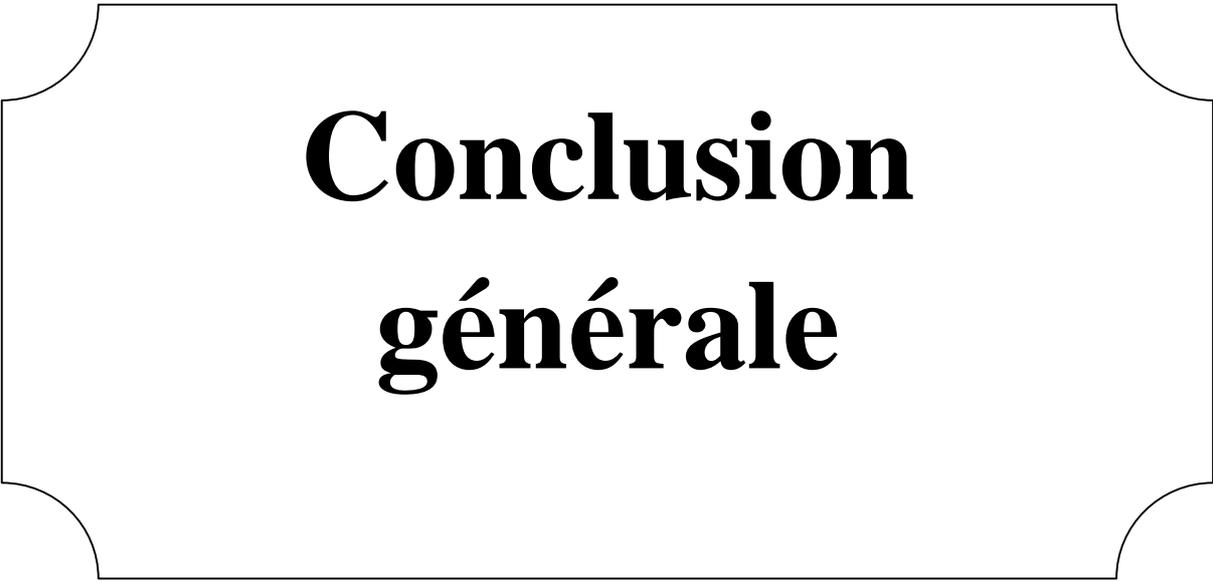
Conclusion :

D'après les résultats de caractérisation des différents pastilles cuites à 1100 et 1150°C on conclut que :

- La diffraction des rayons X montre la présence des phases de quartz, d'alumine et de la cristobalite dans toutes les pastilles (cuites soit à 1100°C ou 1150°C) avec la diminution de l'intensité des pics avec l'ajout de marne, par contre l'intensité de la phases d'anorthite a augmenté avec l'ajout de la marne.
- L'attaque acide et base montre que les pastilles présentent une résistance très importantes vis-à-vis des HCl (1N) et NaOH (0,5N).
- Les mesures du module d'élasticité (module d'Young) montre que les pastilles cuites à 1150°C ont une résistance plus élevée que les pastilles cuites à 1100°C, et l'ajout de la marne augmente cette résistance.

Référence bibliographique

- [1] SAIDI Leila « Caractérisation et valorisation des rejets issus du traitement du minerai Pb/Zn, Mémoire de magister, univ-Béjaia »,2011



Conclusion générale

Conclusion générale

Au cours de cette étude consacrée à la caractérisation et à la valorisation de rejet issu d'exploitation de minerai de fer d'Ouenza dans le domaine des céramiques, les résultats de caractérisation physico-chimique du rejet ainsi ses propriétés nous ont permis de tirer les conclusions suivantes :

L'analyse granulométrique par laser montre que la majorité des grains du rejet appartient à la tranche granulométrique inférieure à 400µm, ainsi on remarque la présence de trois populations. La composition chimique de rejet montre que le taux de silice et de calcite est important ainsi que celui de l'alumine. D'autres oxydes tels que le Fe_2O_3 , K_2O sont aussi présents à des taux relativement faibles. L'analyse par la diffraction des rayons X montre que tout l'échantillon de marne jaune est constitué majoritairement de quartz avec des phases minéralogiques de calcite, moscovite et la kaolinite.

L'analyse par spectroscopie FTIR montre la présence des vibrations de valence des OH associés aux éléments divalents des sites tri, octaédriques tel que Fe^{2+} , K^{2+} ...et une bande correspond simultanément aux vibrations d'élongation du groupement OH de la moscovite/ou kaolinite. Un pic correspond aux liaisons de fer, Fe_3O^+ et Fe_2O^+ , une bande de faible intensité correspond à la matière organique. Un pic des carbonates et une bande attribuée à la calcite CaCO_3 . Un pic correspondant aux vibrations de valence des liaisons Si-O. Une bande attribuée aux vibrations de déformation de la liaison Al-OH. Un pic correspond aux vibrations de déformation du groupement hydroxyle Mg-Al-OH, et une bande caractérise les vibrations de déformation des OH des groupements Mg-FeII-OH.

L'analyse thermogravimétrique et différentielle (ATG/ATD) de la marne jaune montre les principales transformations endothermiques et exothermiques relative à la transformation du kaolin en méthakaolinite, la décarbonisation de la phase carbonatée.

Les céramiques cuites à 1150°C ont une porosité minimale par rapport à celles cuites à 1100°C. La porosité diminue avec l'augmentation de la température.

L'analyse par diffraction X montre la présence des phases de quartz, cristobalite et d'alumine pour les céramiques cuites à 1100°C et 1150°C, pour les céramiques cuites à 1150°C on remarque l'absence de l'albite avec l'apparition des phases de mullite et d'anorthite.

L'attaque acido-base montre que les pastilles présentent une résistance très importante vis-à-vis des HCl et NaOH. La perte en masse est nulle pour toutes les céramiques attaquées par

le NaOH et la présence d'une perte en masse faible pour les céramiques de mélange M4 lors de l'attaques avec le HCl, par contre les autres pastilles en une perte nulle.

La mesure du module d'élasticité (module d'Young) montre que les pastilles cuites à 1150°C ont une résistance plus élevé que les pastilles cuites à 1100°C, et l'ajout de la marne fait augmenter cette résistance.

Résumé

L'objectif de cette étude est de caractériser et de valoriser la gangue issue de l'exploitation du minerai de fer d'El-Ouenza, ce dernier est le principal fournisseur en minerai de fer hématitique du complexe sidérurgique d'el Hadjar. Cette gangue représente environ 70% de ce minerai est considéré comme un rejet non valorisé, constitué essentiellement de marne jaune. Sa principale composition est SiO_2 et CaO et alumine ainsi que d'autres oxydes en faible pourcentage. Cette gangue a été utilisée avec des pourcentages de 30%, 40%, 50%, 70% avec d'autres matières secondaires, la silice, l'alumine. Pour élaborer les céramiques. Des analyses physico-chimiques de caractérisation d'une part sur la marne jaune (DRX, MEB, FTIR, ATD/ATG) et d'autre part sur la céramique élaborée ont été faites. Les résultats des céramiques obtenues à partir de la marne, cuites à 1100 et 1150 °C permettent d'aboutir à un matériau céramique dont les propriétés chimiques (la durabilité vis-à-vis des acides et bases), mécanique (le module d'Young) nous révèlent des résultats satisfaisants laissant apparaître la valorisation de ce rejet dans le domaine des céramiques traditionnelles.

Mots clés : Minerai de fer, marne, valorisation, céramique, propriété mécanique, durabilité chimique.

Abstract

The objective of this study is to characterize and to develop the gangue resulting from the exploitation of the iron ore of Ouenza, the latter is the principal iron ore supplier hematite of the iron and steel complex of el Hadjar. This gangue accounts for approximately 70% of this ore is regarded as a rejection not developed, constituted primarily of yellow marl its principal composition is SiO_2 and CaO and alumina as well as other oxides in small percentage. This gangue was used with percentages of 30%, 40%, 50%, 70% with other secondary matter, silica, alumina, to work out ceramics, physicochemical analyses of characterization on the one hand on gangue (DRX, MEB, FTIR, DTA, TGA) and on the other hand on elaborate ceramics were made. The results of ceramics obtained from the marl at 1100 and 1150 °C makes it possible to succeed has a ceramic material whose chemical properties (durability with respect to the acids and bases, technique (Young modulus) show us results satisfying leave appear the valorization of this rejection in the field of ceramics.

Key words: Marl, iron ore, valorization, ceramics, mechanical property, chemical durability.