

N° d'ordre :

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITÉ MOULOUD MAMMERI DE TIZI-OUZOU

FACULTE DES SCIENCES
DEPARTEMENT DE CHIMIE



Domaine : **Sciences de la matière**
Filière : **Chimie**
Spécialité : **Chimie Physique**

Mémoire de Master

Thème

***Caractérisation et enrichissement de la silice de
grès quartzeux de Tizi-Ouzou***

Présenté par : **KROURI Zohra**

AKLI Ouissam

Soutenu publiquement, le 01 /10 / 2022, *devant le Jury composé de* :

Mr. KADOUCHE Slimane

MCA

UMMTO

Président

Mr. BOUDINAR Salem

MCA

UMMTO

Examineur

Mme. CHAA Halima

MCB

ENSSMAL

Promotrice

Mme. ALLAM Djaouida

MCB

UMMTO

Co promotrice

Session 2021 / 2022

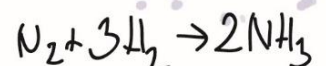
Remerciements

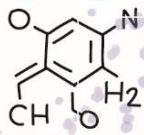
Tout d'abord nous rendons grâce à Dieu, lui qui nous a permis d'être bien portant afin d'effectuer ce travail du début jusqu'à la fin. Nous remercions nos parents respectifs pour leurs soutiens durant notre parcours de formation.

On tient à exprimer notre gratitude à notre directrice et co-directrice de ce mémoire. D'abord, Mme Chaa Halima, enseignante chercheur à ENSSMAL, pour l'opportunité qu'elle nous a offerte et en nous donnant l'occasion de travailler sur ce sujet, pour ses idées brillantes, sa patience, sa générosité, son appui et sa confiance continue en nous. Elle a été l'inspirateur de ce travail qu'elle a suivi de très près et a accepté de suivre ce travail avec une grande attention. On a largement bénéficié de ses précieux conseils et de ses critiques, nos remerciements les plus vives, puis à Mme Allam Djaouida que nous remercions pour la confiance qu'elle nous a accordée et son encadrement pluridisciplinaire ainsi qu'à son apport morale et scientifique pendant l'accomplissement de ce travail.

On tient à remercier les membres du jury Mr. Kadouche Slimane ainsi que Mr. Boudinar Salem.

On présente nos hommages à Mr Zeroub Hamid, responsable de l'assistance technique du laboratoire de développement de la construction LAFARGE de Rouiba,





Pour son soutien et ses conseils judicieux en tout temps. Ses qualités humaines, sa modestie et sa disponibilité qui nous a beaucoup impressionné et permis la réalisation de ce travail.

Nous exprimons nos sincères et profonds remerciements et reconnaissances au directeur de la formation de l'ENSSMAL Pr.

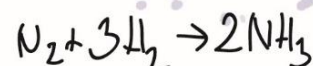
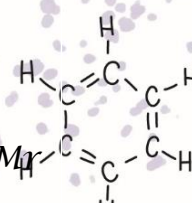
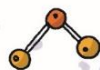
Khoudir Mezouar, qui nous accueillie et mis à notre disposition tous les moyens pour mener à bien cette étude.

Nos remerciements vont à l'ensemble du personnel de l'ENSSMAL : les ingénieurs du laboratoire de chimie Mr Matouk Youcef ainsi que son collègue Mr aroua, Grâce à eux, on a apprécié l'ambiance du travail au laboratoire ainsi qu'à leurs conseils judicieux et leur disponibilité.

Nous adressons nos plus sincères remerciements au personnel du laboratoire de recherche CRAPC de Bousmaïl : Mr R. Chebout, Mme Samira Bouledouar, ainsi ceux du laboratoire CETIM de Boumerdès : Mr Bellale, Mme Nouara Bejaoui.

Aussi bien à Mr Belgaid Omar responsable du laboratoire géotechnique de l'ORGM de Boumerdès.

Nous tenons à exprimer nos profonde gratitude et remerciements à Mr Chaouchi Ahcene et Mr Mezouad Hacene ainsi qu'à Tous les enseignants du département chimie de l'UMMTO.



Dédicace

Je voudrais tout d'abord, remercier Dieu de M'avoir donné le courage d'accomplir ce modeste travail.

À mon chère frère Sofiane, aucune dédicace ne saurait exprimer l'estime et le respect que j'ai pour toi rien ne vaut les efforts fournis et ton investissement financier et soutien moral pour ma réussite.

À Ma très chère mère Saadia tu as fait qu'une mère puisse faire pour que ces enfants suivent le bon chemin dans leur vie, et leurs études. Je te dédie ce travail en témoignage de ma profonde gratitude.

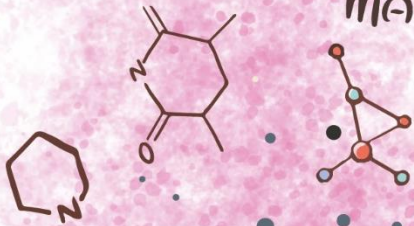
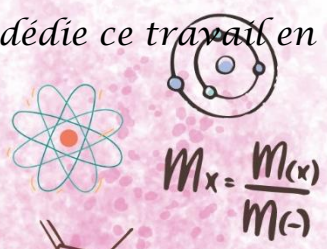
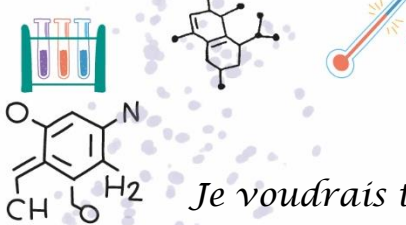
À mon adorable sœur Sabiha et son mari Hocine ainsi qu'à mes frères Arezki et Rafik pour votre encouragement permanent, et votre soutien moral.

À Mr Amar.M pour son appui et son encouragement ainsi qu'à toute sa famille, ses parents Saada et Khelifa, grand-mère Tassadit, Larbi et sa femme Liza, que Dieu vous garde en bonne santé.

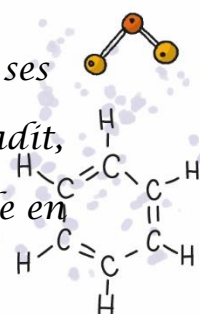
À Mes amies Ouissam, Kaouter, Manar Fatma, Kenza, en témoignage de notre amitié ainsi qu'à votre geste de soutien dont Je suis très reconnaissante.

À mes grands-parents qui sont partis trop tôt, J'espère que vous êtes fière de votre petite fille

ZOHRA



S.K



Dédicace

Je voudrais tout d'abord, remercier Dieu de m'avoir donné le courage d'accomplir ce modeste travail.

À ma raison de vivre, pour l'affection, la tendresse et l'amour dont tu m'as toujours entourée, ainsi qu'à tes sacrifices et dévouement dont tu as toujours fait preuve. Pour l'encouragement sans limites que tu ne cesses de manifester, aucune dédicace ne saurait exprimer le respect et la reconnaissance que j'ai pour toi, que ce travail soit un début de ma récompense envers toi maman.

À mon très cher père, et mes adorables sœurs
Tami, Tina Pour votre encouragement permanent, et leur soutien moral

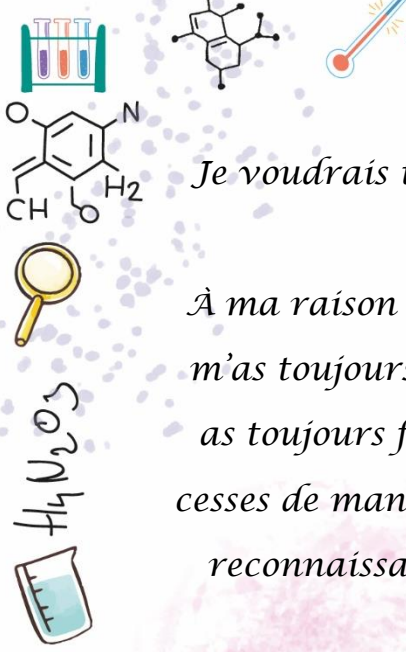
À ma chère grand-mère pour sa tendresse et encouragement que Dieu te garde en bonne santé.

À Ma binôme Zohra, mes amies, Kaouter, Manar et Fatma Zahra, ainsi qu'à tous les membres de ma famille En témoignage de votre geste de soutien dont
Je suis très reconnaissante,

Ouïssam



S.K



Liste Des Tableaux

CHAPITRE I

Tableau I.1 : Les différentes formes de la silice	03
Tableau I.2 : Les statistiques de production de la silice en millions de tonnes, sur un total mondial de 265 millions de tonnes en 2020	05
Tableau I.3 : Spécification de la silice en fonction de son usage	07
Tableau I.4 : Les consommations des constituants pour la production de 1 tonne de Si en Kg	07
Tableau I.5 : Les concentrations maximales de fer et d'aluminium éliminées de la silice	11
Tableau I.6 : Le principe des trois les méthodes utilisées pour le traitement de silice.....	13
Tableau I.7 : Rôle et inconvénients des matériaux et acides utilisés	15

CHAPITRE II

Tableau II.1 : les paramètres des essais de lixiviation par l'acide chlorhydrique	29
Tableau II.2 : différents analyses d'XRF effectué dans la 3 ^{ème} étape.....	34

CHAPITRE III

Tableau III.1 : Résultats du tamisage granulométrique.....	40
Tableau III.2 : Interprétations des résultats de l'étude par loupe binoculaire	40
Tableau III.3 : Résultats d'analyses chimique de fluorescence X des fractions granulométriques du grès siliceux	45
Tableau III.4 : Typical silica sand and quartz specifications by market	46
Tableau III.5 : Résultats d'étude par la loupe binoculaire	47
Tableau III.6 : Résultats d'analyses chimique de fluorescence X des sept échantillons du grès siliceux après enrichissement	48
Tableau III.7 : Comparaison chimique de l'input et l'Output.....	49

Liste Des Figures

CHAPITRE I

FIG I.1 : Quartz	04
FIG I.2 : Trydimite	04
FIG I.3 : Cristobalite	04
FIG I.4 : Diatomite	04
FIG I.5 : Silex	04
FIG I.6 : Jaspe	04
FIG I.7 : Cellule de flottation du laboratoire DENVER	12

CHAPITRE II

FIG II.1 : Photo d'une roche du grès siliceux (quartzeux)	17
FIG II.2 : Roche avant concassage.....	18
FIG II.3 : Roche après concassage.....	18
FIG II.4 : Broyeur manuelle en agate	19
FIG II.5 : Echantillon 1	19
FIG II.6 : Echantillon 2	19
FIG II.7 : E.01 Pendant Broyage	20
FIG II.8 : E.02 Pendant Broyage	20
FIG II.9 : E.01 Après Broyage.....	20
FIG II.10 : E.02 Après Broyage.....	20
FIG II.11 : Mono broyeur à billes Pulverisette	20
FIG II.12 : Broyage électrique de la roche	21
FIG II.13 : Lame 01	21
FIG II.14 : Lame 02	21
FIG II.15 : Microscope optique métallogénique polarisant	22
FIG II.16 : Appareil de fluorescence X du laboratoire de CRAPC	23
FIG II.17 : appareille de diffraction X du laboratoire CETIM	24
FIG.II.18 : Tamiseuse	25
FIG II.19 : Tamis de 100-800 µm.....	25
FIG II.20 : Loupe binoculaire	26
FIG II.21 : Séparateur magnétique.....	27
FIG II.22 : Tamis de 80µm	28

Liste Des Figures

FIG II.23 : Lavage du grès	28
FIG II.24 : Préparation de l' HCl seul.....	30
FIG II.25 : Echantillons préparé (HCl+eau)	30
FIG II.26 : Echantillons C1 et C2	31
FIG II.27 : Echantillon C3 et C4.....	31
FIG II.28 : Agitation d'échantillon	31
FIG II.29 : Echantillon au repos	31
FIG II.30 : Lavage au robinet et eau distillée	32
FIG II.31 : Echantillon C5 en agitation	32
FIG II.32 : Séparation du grès et l'acide.....	33
FIG II.33 : Procédure du lavage du grès	33
FIG II.34 : Neutralisation des acides	33
FIG II.35 : PH-mètre.....	33
FIG II.36 : Echantillons étudiés par la loupe binoculaire après enrichissement.....	34

CHAPITRE III

FIG III.1 : Le Quartz.....	37
FIG III.2 : La Biotite.....	37
FIG III.3 : Minéral métallique	37
FIG III.4 : Oxydation.....	38
FIG III.5 : Oxydation.....	38
FIG III.6 : Zircon	39
FIG III.7 : Muscovite.....	39
FIG III.8 : refus de grès d'une granulométrie +800µm	40
FIG III.9 : refus de grès d'une granulométrie 630-800µm.....	41
FIG III.10 : refus de grès d'une granulométrie 400-630µm.....	41
FIG III.11 : refus de grès d'une granulométrie 250-400µm.....	41
FIG III.12 : refus de grès d'une granulométrie 160-250µm.....	42
FIG III.13 : refus de grès d'une granulométrie 160-140µm.....	42
FIG III.14 : refus de grès d'une granulométrie 100-140µm.....	42
FIG III.15 : refus de grès d'une granulométrie -100µm.....	43
FIG III.16 : Spectre de diffraction X de l'échantillon 01	43
FIG III.17 : Spectre de diffraction X de l'échantillon 02	44

Liste Des Figures

FIG III.18 : Grès siliceux de taille comprise entre 250-400µm traité avec un lavage+5M de HCl	47
FIG III.19 : Grès siliceux de taille comprise entre 250 et 400µm traité avec 5M de HCl.....	47
FIG.III.20 : Pourcentage de changement de la teneur en Al_2O_3 après enrichissement.....	49
FIG.III.21 : Pourcentage de changement de la teneur en Fe_2O_3 après enrichissement.....	49
FIG III.22 : Pourcentage de changement de la teneur en TiO_2	49
FIG III.23 : Pourcentage d'évolution de SiO_2	51
FIG III.24 : Protocole du prétraitement du grès siliceux étudié	52
FIG III.25 : Protocole d'enrichissement du grès par lixiviation acide avec du HCl.....	53
FIG III.26 : Protocole générale d'enrichissement du grès siliceux.....	54

Liste Des Abréviations

SiO₂ : Dioxyde de sodium.

H₂O : Formule chimique de l'eau.

Al₂O₃ : Oxyde d'aluminium.

Fe₂O₃ : Oxyde de fer.

TiO₂ : Dioxyde de titane.

HNO₃ : Acide nitrique.

H₂SO₄ : Acide sulfurique

NaOH : Hydroxyde de sodium.

H₃PO₄ : Acide phosphorique.

H₂C₂O₄ : Acide oxalique.

HCl : Acid chloridrique.

CO : Monoxyde de Carbone.

O : Oxygène.

Mg : Magnésium

P : Phosphore.

CO₂ : Dioxyde de carbone.

N₂: Diazote.

Fe: Fer.

Ca: Calcium.

Al : Aluminium.

K : Potassium.

Na : Sodium.

Ti : Titane.

Mn : Manganèse

CH₄ : Le méthane.

Rb : Rubidium.

MgO : Oxyde de magnésium.

CaO : Oxyde de calcium.

ml : millilitre.

Mol/l : Mole par litre.

C : la Concentration.

V : le Volume.

mm : millimètre.

g : gramme.

Liste Des Abréviations

µm : micromètre.

g/cm³: gramme par mètre au cube.

N/mm² : Néotène par millimètre au cube.

g/cm³ : gramme par centimètre au cube.

KJ/Kg : kilo joule par kilogramme.

MG : mégawatt.

Mt : Millions de tonnes.

Mohs : Echelle de Mohs.

\$ us : Dollar pour l'unité.

Sm : séparation magnétique.

FIG : Figure.

FIG I : Figure du chapitre I.

FIG II : Figure du chapitre II.

FIG III : Figure du chapitre III.

Sommaire

Liste des tableaux

Liste des figures

Liste des abréviations

Sommaire

Introduction Générale..... 01

Chapitre I : Etude bibliographique sur La Silice

I. Introduction.....	03
II. La silice et ses formes.....	03
III. Données économiques de la production et de la consommation et de la silice.....	04
III.1. Les réserve de la silice en Algérie.....	04
III.2. La production et l'exportation mondiale de la silice pour l'industrie.....	04
IV. Utilisation de la silice.....	05
IV.1.Domaine de l'industrie.....	05
IV.2.Domaine des sports et loisirs.....	06
IV.3.Domaine d'agriculture.....	06
IV.4.Dans l'industrie métallurgique.....	06
a) Dans les alliages d'aluminium.....	06
b) Les silicones.....	06
c) Dans les cellules photovoltaïques.....	06
d) Dans la microélectronique.....	06
e) En radiotechnique.....	06
V. Exigences physico-chimiques de la silice destinées à la fabrication du silicium.....	06
VI. La silice de l'électrométallurgie (photovoltaïque).....	07
VII. Grès siliceux (La matière première de la silice).....	08
VII.1. Définition.....	08
Définition du grès siliceux (quartzeux).....	08
VII.2. Composition minéralogique.....	08
VII.3. Composition chimique de grès.....	08
VII.4. Autres propriétés et caractéristiques des grès.....	08
VII.4.1. Propriétés physiques.....	08
VII.4.2. Propriétés thermiques.....	08

Sommaire

VII.4.3. Propriétés mécaniques	09
VIII. Traitement de la silice	09
VIII.1. Les différentes méthodes appliquées pour l'enrichissement de la silice	09
A- Un tamisage B- Une séparation magnétique	09
C- Un lavage et un nettoyage par attrition	09
D- Une lixiviation acide	10
E-1 : Mécanisme de la lixiviation	10
E-2 : Facteurs influençant sur la lixiviation	10
E-3 : Critères de choix d'un réactif de lixiviation.....	11
F- Flottation inverse	12
IX. Rôle et inconvénients des matériaux et solvant utilisés lors de la lixiviation.....	15

Chapitre II : Méthode De Caractérisation Et Enrichissement

I. Introduction.....	17
II. Caractérisation du Grès Siliceux (Matière première)	17
II.1. Concassage	17
II.1.1. Protocole du travail.....	18
✓ Matériel utilisé.....	18
✓ Méthode.....	18
II.2. Broyage.....	18
II.2.1. Broyage Manuelle.....	19
II.2.1.1. Protocole du travail	19
➤ Matériel utilisé.....	19
➤ Méthode du travail	19
II.2.2. Broyage électrique	20
II.2.2. a . Appareillage.....	20
✓ Méthode du travail	21
III. Etude par Microscope Optique Métallographique	21
II.1. Appareillage.....	22
IV. Caractérisation par XRF.....	22
IV.1. Appareillage	23
V. Caractérisation par DRX	23
V.1. Appareillage	23

Sommaire

VI. Etude granulométrique	24
VI.1. Tamisage	24
VI.1.1. Protocole du travail	24
✓ Matériel utilisé.....	24
✓ Méthode du travail	24
VII. Etude par Loupe Binoculaire	25
VII.1. Appareillage.....	25
VIII. Choix de la technique d'enrichissement.....	26
VIII.1. Concassage	26
VIII.2. Broyage	26
VIII.3. Tamisage	26
VIII.4. Séparation Magnétique.....	26
VIII.4.1. Protocole du travail	27
VIII.4.1.1. Appareillage	27
VIII.5. Lavage	27
VIII.5.1. Protocole du travail	28
➤ Matériel utilisés	28
➤ Méthode du travail	28
VIII.6. La Lixiviation	28
VIII.6.1. Lixiviation HCL	28
VIII.6.2. Protocole du travail	29
➤ Matériels utilisés	29
➤ Méthode du travail	29
IX. Réactifs utilisés durant l'enrichissement.....	33
X. Caractérisation du grès siliceux (après enrichissement).....	33
X.1. Analyse par loupe binoculaire	33
X.2. Analyse par XRF	34
XI. Conclusion	35

Chapitre III : Résultats Et Discussions

I. Introduction.....	36
II. Caractérisation de la matière première naturelle du grès siliceux avant enrichissement	36
II.1. Etude macroscopique.....	36
II.2. Etude par microscope optique	36

Sommaire

▪ Lame mince non couverte 01	36
▪ Lame mince non couverte 02	38
II.3. Etude par Loupe Binoculaire	39
II.4. Etude par Diffraction X	43
Interprétation des résultats du DRX	44
II.5. Etude par Fluorescence X	44
Interprétation des résultats d'XRF	45
III. Caractérisation du grès après enrichissement (Lixiviation, lavage, et séparation magnétique)	46
III.1. Etude par la Loupe Binoculaire	46
III.2. Etude par Fluorescence X	47
Interprétation des résultats d'XRF	48
III.3. Comparaison chimique de l'input et l'Output	49
III.4. Comparaison minéralogique de l'input et l'Output	50
III.5. Le taux d'enrichissement de la matière	50
III.6. Valorisation des grès étudiés	51
III.7. Protocole des synthèses	52
III.7.1. Protocole du prétraitement	52
III.7.2. Protocole de lixiviation acide avec HCl	53
III.7.3. Protocole générale	54
IV. Conclusion	55
Conclusion Générale	56
Annexes	
Résumé	
Abstract	
Citation	



Introduction Générale

Introduction Générale

Depuis la nuit des temps et jusqu'à l'ouverture des mines de charbon au milieu XIX^{ème} siècle qui allait déclencher la première révolution industrielle.

De nombreuses grandes puissances ont bâti leurs prospérités économiques et consolidé leur hégémonie à travers l'approvisionnement permanent en énergies fossiles.

Cependant, la diversification de l'utilisation des ressources naturelles, le recours aux énergies renouvelables, vertes et non toxique, en particulier le solaire photovoltaïque se fait de plus en plus fort. Comme la toujours répété l'historien Fernand Braudel 'l'avenir ne se prévoit pas, il se prépare', le recours à des énergies renouvelables et propres pour assurer la sécurité énergétique et le développement économique et social des populations devient incontournable.

L'économie de l'Algérie se repose presque exclusivement sur les combustibles fossiles 99.2% pour répondre aux besoins croissant d'électricité de la population, les énergies renouvelables n'occupent donc qu'un faible part du mix électrique national 0.8%, la filière photovoltaïque représente 0.1 % dans le bilan total de l'année 2020. La production d'électricité prévue à l'horizon de 2030 est de l'ordre de 3000 méga watt avec une couverture de 40% des besoins d'électricité du pays .[1].

Dans le cadre mondial, l'industrie photovoltaïque repose principalement sur le silicium photovoltaïque qui se produit à partir de la silice naturelle par l'électrometallurgie.

Dans le contexte algérien, afin de garantir l'approvisionnement en matière première de la silice pour l'industrie photovoltaïque, et la production du silicium de qualité solaire, il est impératif, de prédire, dès à présent la maîtrise de procédés d'enrichissement de la silice (principale source de production du silicium) afin de valoriser les ressources naturelles abondantes et pour se préparer à moyen et long terme les bases de l'industrie solaire nationale.

D'autre part, la possibilité d'élaborer une chaîne de valeur photovoltaïque nationale « de la silice au panneau », basée essentiellement sur une matière première purement locale, nous permettra ainsi de sortir de la dépendance des producteurs étrangers et de sécuriser la silice en tant que matière première pour les années à venir.

Nonobstant les gisements Algérien plus au moins pure nécessitent un enrichissement préalable afin d'atteindre la pureté requise à la demande solaire.[2]

Introduction Générale

De plus que la silice est utilisée dans le secteur de la photovoltaïque autant que matière première pour les panneaux solaires, elle est aussi utilisées dans d'autres secteurs tels que l'industrie du verre, peinture, microélectronique, bâtiment (carrelage, Faillance).[2]

Objectifs :

On s'intéresse dans ce travail à la caractérisation et les traitements d'enrichissement de cette matière première qui est la silice sous forme de grès quartzeux, afin d'obtenir la teneur destinée à la photovoltaïque. Pour le faire, on a adopté plusieurs méthodes de caractérisation du grès. Notre étude dans ce mémoire est subdivisée en deux parties à savoir, la partie théorique et la partie expérimentale.

La partie théorique présente le premier chapitre sous forme des généralités sur la silice et le grès quartzeux.

Dans la partie expérimentale, on va présenter deux chapitres distincts,

Le deuxième chapitre traite les techniques de caractérisation du grès utilisé. Ainsi que le protocole expérimental du procédé de lixiviation.

Le troisième chapitre est consacré aux résultats obtenus et leurs interprétations, afin de supposer un débouché d'utilisation sur la matière siliceuse étudiée.

Pour conclure l'étude, une conclusion générale tirée de ce travail sera donnée sur la valorisation du gisement de silice étudiée.

Introduction Générale

Liste des références:

- [1] J. News de la Fédération national des travailleurs des industries électronique, GAZIERS FANTIEGE, n°67, “industrie électronique”.
- [2] U. Saad and D. D. E. Blida, “Aissa KEFAIFI,” 2019.



Chapitre I

I. Introduction

La silice ou dioxyde de silicium, de formule SiO_2 , composée de deux éléments : le silicium (Si) et l'oxygène (O), est le minéral le plus abondant de l'écorce terrestre, elle constitue 12 % (en masse) de la lithosphère [3]. Ce matériau est un corps solide très dure, insoluble dans l'eau, très abondant dans la nature sous forme de quartz, cristal de roche, silex, silicates et autres formes amorphes.[4]

La silice est présentée dans tous les types de roches de sable, de grès et autres. la silice constitue un matériel majeur de l'industrie moderne comme matière première.[5]

II. La silice et ses formes

La silice se trouve en deux état différents : l'état cristallisé comme le quartz, calcédoine, opale, tridymite, cristobalite, coésite, stishovite, ou bien amorphe comme la diatomite.[6]

Tableau I.1 : Les différentes formes de la silice

Formes	
Silice cristallisée	<ul style="list-style-type: none"> - Quartz : on le trouve, à l'état naturel, en cristaux de grandes dimensions, incolores et homogènes. C'est l'un des éléments importants de nombreuses roches. Il est cristallisé à la température ordinaire ou à basse température, appartient au système hexagonal. Sa densité est de 2,5. (FIG I.1) -Tridymite : mélange entre la cristobalite et la lussatite, pouvant contenir des traces de Ti, Al, Fer, Mn, Mg, Ca, Na, K, cristallise dans le système orthorhombique (FIG I.2) - Cristobalite : contient des traces de Fer, Ca, Al, K, Na, Ti, Mn, Mg, P. (FIG I.3) - Silex : il est constitué de calcédoine, d'eau, et d'oxydes. (FIG I.5) - Jaspe : est généralement taché par des impuretés et se présente dans différentes couleurs comme rouge, vert, jaune et bleu. (FIG I.6) -Opale : une des formes de silice hydratée de formule $\text{SiO}_2, n \text{H}_2\text{O}$, avec des traces d'uranium, de magnésium, de calcium, d'aluminium, de fer, d'arsenic, de sodium et de potassium.
Silice amorphe	<p>Diatomite : roche très légère (densité entre 0,2 à 0,3, soit 200 à 300 kg/m^3), très poreuse (50 à 70 % d'eau), des impuretés qui y sont contenues (matière organique, argile, etc.).(FIG I.4)</p>



FIG I.1 : Quartz.



FIG I.2 : Trydimite.



FIG I.3 : Cristobalite.



FIG I.4 : Diatomite.



FIG I.5 : Silex.



FIG I.6 : Jaspe.

III. Données économiques de la production et de la consommation et de la silice

III.1. Les réserves de la silice en Algérie

Les ressources potentielles en matériaux siliceux sont très importantes grâce à leur répartition, leur extension et à la diversité des gisements de roches siliceuses sous forme de grès quartziques, quartzites et filons de quartz.

Dans la partie nord du pays, les réserves géologiques connues sont de plus de 150 Millions de tonnes de roches siliceuses pure et plus de 100 Millions de tonnes de roches Siliceuses industrielles à teneur en silice élevée > 97 % et 90 % de SiO₂ respectivement. [7]

Parmi les nombreux domaines d'utilisation industrielle de la silice, la silice Algérienne est destinée principalement aux matériaux de construction et une quantité infime pour l'industrie du verre.[8]

III.2. La production et l'exportation mondiale de la silice pour l'industrie

- Les États-Unis sont le premier pays exportateur avec 3,7 millions de tonnes. Les exportations sont principalement, à 85 %, destinées au Canada.
- La production de l'Union européenne, est de 111 millions de tonnes.

Tableau I.2 : Les statistiques de production de la silice en millions de tonnes, sur un total mondial de 265 millions de tonnes en 2020. [9]

<i>États-Unis</i>	71 000	<i>Malaisie</i>	9 500
<i>Pays Bas</i>	51 000	France	8 800
<i>Espagne</i>	34 000	Turquie	8 600
<i>Italie</i>	13 000	Bulgarie	7 300
<i>Inde</i>	11 000	Allemagne	7 100

IV. Utilisation de la silice

Aujourd'hui, l'utilisation de la silice dans le monde est de plus en plus importante, Considérée comme un constituant majeur de diverses industries modernes, La diversité des fabrications a conduit les utilisateurs de la silice à différencier plusieurs qualités de matière première, pour les utilisations principales, la teneur en silice doit se situer généralement au-dessus de 97%, et ce sont les impuretés présentes qui restreignent le type d'emploi.

La silice cristalline peut être utilisée comme matière première dans certains domaines tel que :

IV.1. Domaine de l'industrie

Dans ce domaine la composition chimique est le paramètre le plus contraignant (teneur minimal acceptable de SiO_2 et teneur maximal tolérées en impuretés) et son importance est primordiale

L'industrie verrière : La silice rentre pour 60-70 % dans la composition du verre, le reste correspondant aux stabilisants, aux fondants et aux colorants, d'une manière générale, les teneurs accordés sont les suivantes : $\text{SiO}_2 \geq 98 \%$, $\text{Al}_2\text{O}_3 \leq 0.5 \%$, $\text{Fe}_2\text{O}_3 \leq 0.01 \%$.

L'industrie céramique : La vaisselle, les sanitaires, les objets décoratifs, les carrelages, les céramiques à haute technologie incorporent à des degrés variés de la poudre de silice finement broyée, dans ce cas les teneurs accordées sont les suivantes : $\text{SiO}_2 > 97.5\%$, Fe_2O_3 et $\text{Al}_2\text{O}_3 < 0.2, 0.55 \%$ respectivement.

L'industrie du bâtiment : La silice entre dans la fabrication de bétons haute performance et de bétons de résine, elle est aussi présente dans certains produits techniques comme les colles pour carrelage, les enduits, les mortiers et les charges pour les peintures, cependant la teneur en silice accordé est $> 80 \%$, pureté 2 à 3 % des fines argileuse tolérées.

L'industrie chimique : La silice est utilisée comme un fondant pour la préparation du phosphore et de minerai métallique, les caractéristiques des matériaux siliceux sont les suivants : $\text{SiO}_2 > 90 \%$, Fe_2O_3 et $\text{Al}_2\text{O}_3 < 1.5\%$.

IV.2. Domaine des sports et loisirs

Les installations de traitement produisent des sables calibrés avec des caractéristiques de porosité parfaitement maîtrisées qui autorisent le développement de nouveaux débouchés comme la réalisation de gazon de plaquage ou de sols sportifs. Le sable de silice est aussi utilisé pour les terrains d'équitation.

IV.3. Domaine d'agriculture

La silice est utilisée dans les cultures maraîchères, l'horticulture et la sylviculture pour l'amendement des sols ou comme agent anti-mottant dans la fabrication des engrais. Elle intervient aussi comme additif dans l'alimentation animale.

IV.4. Dans l'industrie métallurgique

a) **Dans les alliages d'aluminium** le silicium métal améliore la coulabilité et réduit le coefficient de dilatation thermique. Les alliages Al-Si sont utilisés dans l'automobile, l'aviation, le transport maritime, le bâtiment, les équipements ménagers, les câbles électriques, et les emballages.

b) **Les silicones** sont des polymères composés de chaînes Si-O. Ils forment des matériaux techniques aux textures très variées : huile, gel, résine, gomme.

c) **Dans les cellules photovoltaïques** Dans le cas des cellules au Si cristallin, le silicium métal est affiné pour atteindre une pureté de 99,999 9 % (6N) à 99,999 999 9 (9N), correspondant à la qualité solaire, dite « SoG » pour « solar grade ».

d) **Dans la microélectronique**, ce sont également les propriétés semi-conductrices du silicium qui permettent le fonctionnement des circuits intégrés ainsi que le stockage et la transmission d'information.

e) **En radiotechnique**, pour servir de stabilisateur d'ondes et de résonateurs. [10][11]

V. Exigences physico-chimiques de la silice destinées à la fabrication du silicium

La silice extra pure, provenant des quartzites ou de sables extra-siliceux avec très faibles teneurs en oxyde de fer, oxyde de titane, et en alumine sert à la production du silicium métal, par processus de réduction avec des combustibles carbonés (houille, charbon bitumineux). Pour les industries métallurgiques, il utilise généralement des grès ou du quartz concassé en morceaux, exempt de fines, des galets de rivière ou de mer ou certains sables de silice à haute pureté.[12]

Tableau I.3 : Spécification de la silice en fonction de son usage. [13]

<i>Usage</i>	<i>Minimum SiO₂ (%)</i>	<i>Maximum Al₂O₃ (%)</i>	<i>Maximum Fe₂O₃ (%)</i>	<i>Maximum TiO₂ (%)</i>	<i>Granulométrie (nm)</i>
<i>Silicium métallurgique</i>	99,5	0,20	0,10	0,006	10-90
<i>chimique</i>	99,8	0,10	0,05	0,005	

VI. La silice de l'électrométallurgie (photovoltaïque)

Le constituant essentiel d'une cellule photovoltaïque responsable de l'effet photovoltaïque est un semi-conducteur, le plus utilisé aujourd'hui est le silicium.

Le quartz qui correspond à la silice "primaire", s'agit du matériau naturel le plus pur chimiquement puisqu'il peut dépasser 99,9 % de SiO₂, mais dans le monde ces gisements ultra-purs en silice sont quasiment rares pour une exploitation économique.

On distingue trois niveaux de pureté du silicium, après son traitement comme silice en fonction de son utilisation : Silicium métallurgique (pureté 99 %), Silicium de qualité solaire (pureté 99,999 9%), Silicium de qualité électronique (pureté 99,999 999 99 %). [14]

Pour atteindre cette pureté, il faut avoir une matière première plus de 98% de silice avant le traitement métallurgique par réduction, la méthode de réduction de la silice se fait dans un four électrique à électrodes de carbone immergées préparées à l'aide de coke de pétrole et de charbons bitumineux, en présence de copeaux de bois. Le volume de CO formé est très important, plus de 5 000 m³/t de Si, en conséquence la charge des fours doit être très poreuse pour évacuer ce gaz, la perméabilité est améliorée par ajout de copeaux de bois, la cuve du four est animée d'un lent mouvement de rotation, sa température est de l'ordre de 1700°C. La difficulté de la réduction est liée à la formation de SiC qu'il faut éviter.

Tableau I.4 : Les consommations des constituants pour la production de 1 tonne de Si en Kg. [15]

<i>Quartz (SiO₂)</i>	<i>2 900</i>	<i>Électrodes</i>	<i>150</i>
<i>Copeaux de bois</i>	1580	Charbon bitumineux	590
<i>Coke de pétrole</i>	740	Énergie	11 000 kWh

VII. Grès siliceux (La matière première de la silice)

A l'instar des différentes variétés de quartz, dans le présent travail, on va focaliser sur cette matière qui se présente dans des roches siliceuses nommées les grès. Lorsqu'il est identifié et suivant des techniques d'enrichissement spéciales, ce grès obtient des prix très attractifs et est appliqué dans des secteurs de haute technologie qui connaissent actuellement une expansion rapide tels que les cellules solaires photovoltaïques, les plaquettes d'oxyde de silicium métallique dans l'industrie des semi-conducteurs.[16]

VII.1. Définition

Le grès est classé comme une roche sédimentaire. Il est composé de certains minéraux les plus répandus à la surface de la terre. Il est caractérisé par des grains de quartz qui le constituent, Leur arrangement (ou disposition), leurs formes, et la nature du ciment qui les relie est en général de la silice ou du calcaire, l'argile ou des hydroxydes de fer et des éléments accessoires. Ce qui nous permet de distinguer des grès siliceux, carbonatée, argileux, ferrugineux.

✚ **Définition du grès siliceux (quartzeux)** : est un grès composé de plus de 95% de quartz et de moins de 5% de matrice. De texture massive, de couleurs grise, marron, rouge ou verte, avec une taille de grains fins de 0,06 à 2 mm de diamètre. [17]

VII.2. Composition minéralogique

Le grès est essentiellement une roche composée de minuscules minéraux ou de grains de roche, il est composé du quartz, le feldspath et le mica qui sont présents en abondance dans la croûte terrestre.

VII.3. Composition chimique de grès

La teneur en composé chimique du grès est principalement le dioxyde de silicium, avec la présence de l'oxyde d'aluminium, l'oxyde de fer, l'oxyde de potassium, le CaO, le MgO, le sodium et la perte à l'allumage.

VII.4. Autres propriétés et caractéristiques des grès

De plus sa texture qui est clastique, le grès possède d'autres propriétés tel que :

VII.4.1. Propriétés physiques

Le grès a une dureté de 6 à 7 sur l'échelle de Mohs, avec une granulométrie grossière à fine. Il a une résistance à la compression de 95,00 N/mm², une ténacité de 2,6 et une densité de 2,2 à 2,8 g/cm³.

VII.4.2. Propriétés thermiques

La capacité calorifique spécifique du grès est de 0,92KJ/Kg. Le grès est résistant à la chaleur, aux chocs, à la pression, à l'eau, rayures, au vent et aux acides.[18]

VII.4.3. Propriétés mécaniques

Le grès est résistant à la traction (étirements en tendant) et au cisaillement (déformations élastiques).[19]

VIII. Traitement de la silice

VIII.1. Les différentes méthodes appliquées pour l'enrichissement de la silice

La silice brute destinée à la lixiviation doit habituellement être traitée et valorisée davantage. Pour que les grains de silice mesurent entre 100 et 850 μ m après concassage et tamisage (diamètre optimal pour Le procédé de lixiviation). Il est préférable d'utiliser des grains entiers non fracturés, les fines nuisent aux activités du traitement

Après que les grains de silice ont été réduits à la taille voulue, ils peuvent être soumis à divers procédés de valorisation visant à éliminer des impuretés qui sont généralement composées d'argile, de feldspath, de carbonates et de minéraux contenant du ferromanganèse. La valorisation peut comprendre l'un ou plusieurs des procédés suivants :
A-Un tamisage visant à éliminer des fractions grossières et fines qui contiennent habituellement une grande partie des impuretés.

B-Une séparation magnétique visant à éliminer des minéraux qui contiennent du fer et le titane (Fe et Ti), la susceptibilité magnétique est la propriété d'un matériau qui détermine son comportement dans un champ magnétique. À partir de cette propriété, les matériaux peuvent être divisés en trois classes. La première classe est composée des matériaux ferromagnétiques dont la susceptibilité magnétique est très forte. La deuxième classe comporte des matériaux paramagnétiques qui présentent une susceptibilité magnétique faible. La troisième classe est constituée des matériaux diamagnétiques possédant une susceptibilité nulle.[20]

En général séparation magnétique requiert une quantité de réactifs moindre que certaines autres méthodes de séparation, mais la catégorie des séparateurs à haute intensité présente des coûts d'achat et d'opération très élevés. En effet, la production d'un champ magnétique intense entraîne une consommation élevée d'électricité. La valeur des minerais traités par cette méthode justifie de tels coûts.

Dans ce contexte, un intérêt particulier a été porté aussi au procédé de séparation magnétique comme méthode d'extraction optimale des impuretés ferromagnétiques de la silice utilisée comme matière première pour le champ photovoltaïque avant d'utiliser un procédé de lixiviation chimique.[21]

C-Un lavage et un nettoyage par attrition visant à éliminer de l'argile et des boues ;

D-Une lixiviation acide Lorsque l'applicabilité des méthodes physiques n'est pas efficace

pour éliminer les impuretés liées chimiquement ou physiquement qui ne sont pas suffisamment libérées dans la structure minérale, d'autres méthodes sont alors utilisées pour éliminer ces impuretés il s'agit du traitement chimique.

La lixiviation est l'extraction d'un constituant (soluté) soluble à partir d'un solide à l'aide d'un solvant. Ce procédé peut être utilisé soit pour la production d'une solution concentrée d'un matériau solide de valeur, soit dans le but d'éliminer une ou plusieurs impuretés afin de purifier un matériau défini. La méthode utilisée est déterminée par la proportion des constituants solubles présents, leur distribution dans le solide, la nature du solide et le volume des particules. Si le soluté est uniformément dispersé dans le solide, le composé le plus proche de la surface sera dissout en premier, quittant la structure poreuse du solide résiduel, le solvant pénètre encore cette surface vers l'intérieure pour atteindre d'autres solutés. Le procédé devient de plus en plus difficile et le taux d'extraction diminue. [22]

Une lixiviation acide visant à réduire d'avantage les minéraux qui contiennent du fer, les carbonates et l'Alumine dans les matériaux siliceux.

E-1 : Mécanisme de la lixiviation

Après une étude approfondie du mécanisme de lixiviation, la transformation physico-chimique s'opère en cinq étapes :

- Le transfert des réactifs en solution vers l'interface solide-liquide.
- L'absorption des réactifs à la surface.
- La désorption des produits solubles de la réaction.
- Le transport des produits de l'interface solide-liquide vers la solution.[23]

E-2 : Facteurs influençant sur la lixiviation

Les paramètres de lixiviation consistent à définir les conditions donnant un bon rendement de solubilisation pour un coût minimum, parmi ces paramètres on compte :

- ✚ L'agitation : l'agitation de la pulpe augmente la diffusion ce qui facilite le transfert des solutés vers l'extérieur et renouvelle la surface de contact entre le solide et la solution lixiviante.
- ✚ La taille des particules (granulométrie) : l'influence de la taille des particules sur la lixiviation est importante car plus le minerai est fin, la lixiviation s'accélère proportionnellement à la surface de contact.
- ✚ La Température : généralement, la solubilité des solutés à faire extraire augmente avec l'augmentation de la température ainsi que le coefficient de diffusion, ce qui améliore le taux de lixiviation. Bien sûr en respectant une certaine valeur limite déterminée.

- ✚ Le Solvant : le choix du solvant doit être tenu selon sa sélectivité, sa viscosité doit être suffisamment faible pour une libre circulation.[24]

E-3 : Critères de choix d'un réactif de lixiviation

Plusieurs critères doivent être satisfaits pour un réactif de lixiviation, le choix de l'agent dépend essentiellement des facteurs ci-après :

- ✚ Les caractéristiques chimiques et physiques de la matière à dissoudre.
- ✚ le coût du réactif.
- ✚ La réactivité avec le constituant utile à dissoudre
- ✚ La possibilité de régénération du réactif.
- ✚ La corrosion limitée du réacteur de lixiviation
- ✚ la sélectivité vis-à-vis du produit à lixivier.

Sans oublier son impact sur l'environnement.

L'emploi des acides et/ou bases comme agents de lixiviation de la silice est très répandu, nous citons les acides tel que le H_2SO_4 , lixiviation par l'acide phosphorique H_3PO_4 , acide oxalique $H_2C_2O_4$, acide fluorhydrique l'HF et les acides organiques et la base NaOH. Ou bien une combinaison des acides HF et HCl, HF/ HCl et H_2SO_4 . [25][26]

Tableau I.5 : Les concentrations maximales de fer et d'aluminium éliminées de la silice. [27].

Acide	Concentration maximale de Fer retiré %	Concentration maximale de Al retiré %	Références
H_2SO_4 ,	97.96	94,23	[30]
$H_2C_2O_4$	96,94	89.61	[29]
HNO_3	90.5	87.3	[28]
H_3Po_4	97.62	91.15	[28]
HF et HCl	98.5	/	[31]
HF/ HCl et H_2SO_4	-850 ppm	/	[32]

F-Flottation inverse

Ces dernières années, la méthode de flottation inverse est l'un des procédés les plus prometteurs remarqués sur l'enrichissement de la silice, dans laquelle les particules

(minéraux) sont séparées de la gangue grâce à des réactifs par des bulles de gaz immergées dans l'eau ou les particules de gangue sont rendues hydrophobe et les particules minéralisées sont rendue hydrophiles. Dans ce contexte, la flottation comme procédé d'enrichissement est utilisée en raison de sa haute efficacité pour atteindre la silice de haute pureté requise, et en tant que procédé dynamique multiphasique et sélective. [33]

Cette méthode à été utilisé en 2020 sur le gisement Draïssa (Algérie), avec une cellule de flottation du laboratoire DENVER. (FIG I.7).



FIG I.7 : Cellule de flottation du laboratoire DENVER.

Tableau I.6 : Le principe des trois les méthodes utilisées pour le traitement de silice.

Méthodes	Lixiviation acide [32][34]	Séparation magnétique [35]	Flottation inverse [32]
Réactif utilisé	-HF/ HCl -H ₃ PO ₄ - NaOH -HF/HCl/H ₂ SO ₄ -HNO ₃	-Pas de réactifs	-DDA -NaOL -Acide gras -L'Huile de pin -H ₂ SO ₄ -HF
Granulométrie optimum	>0,4 mm	1mm	0.1mm
Facteurs influençant	-Agitation -Température -Taille des particules -Concentration des acides - Rapport massique s/l -Durée de lessivage	- Granulométrie - Intensité du courant appliquée	-L'Angle de contact de l'impureté -Température -PH - Temps de réaction
Pourcentage d'impuretés éliminées	74.5 à 98 % de Fer	< 0,6% de Fe ₂ O ₃ <0,2% de TiO ₂	-Mica est éliminé à 98% -Hématite (Fe ₂ O ₂) à 98% -0,001 % en poids Fe ₂ O ₃ -Feldspath à 1.8 % en poids -0,06 % en poids Al ₂ O ₃ -0,013 % en poids de CaO
SiO ₂ avant purification (%)	96.92 %	97.7 %	97.72 %

SiO₂ après purification (%)	99.6 %	98.8 %	98.7 % (+0.98 %)
Inconvénients	<ul style="list-style-type: none"> -Les déchets liquides résiduels générés sont très acide. -processus toxique. -dépend entièrement de la Température. 	<ul style="list-style-type: none"> - la silice obtenu peut être utilisé uniquement pour des applications très limités et non à la haute technologie. - cout d'achats et d'opération très élevé 	<ul style="list-style-type: none"> - Provoque une pollution de l'environnement. - Coût élevé, nombreux facteurs d'influence et exigences de processus élevées.
Avantages	<ul style="list-style-type: none"> - L'équipement de base est facile à installer et à opérer. - Il est applicable au minerai à faible teneur en métaux. - Engendre moins de polluant dans eau et dans l'air. - le coût de l'opération et d'installation est peu élevé 	<ul style="list-style-type: none"> - Applicable aussi bien l'échelle industrielle qu'à l'Echelle laboratoire. -Non polluante de l'environnement. 	<ul style="list-style-type: none"> - Haute efficacité dans l'élimination des principales impuretés de la gangue siliceuse. - Multiphasique et sélectif et adéquat.

IX. Rôle et inconvenants des matériaux et solvant utilisés lors de la lixiviation

Tableau I.7 : Rôle et inconvénients des matériaux et acides utilisés.

Acides	Rôle	Inconvénients	cout
HF Acide fluorhydrique	-Purifier ou extraire les impuretés de la silice -Graver les grains de la silice pour réduire leur taille et améliorer la rentabilité de la lixiviation. [37]	-très dangereux pour er -Coût très élevé. -Acide très réactif et explosif, corrosif, toxique -Consomme plus d'énergie et entraîne une perte du minerai de valeur .[37]	100\$ US Pour 1kg [36]
Dodécyclamine CH ₃ (CH ₂) ₁₁ NH ₂	-Grande capacité d'absorption à la surface de la silice grâce aux bandes d'hydrogène formées à partir de ses groupements polaires. [39]	- nocive pour la santé. -cout très élevé. -surconsommation de l'énergie.[39]	150\$ US Pour 1kg [38]
Acide sulfurique H ₂ SO ₄	-Solubilisé les oxydes. -Activateur et régulateur de PH.[41] - dépurateur de gangue.	-Inflammable, très toxique -entraîne une surconsommation des réactifs.[41]	2\$ US Pour 1kg [40]
Hydroxyde de Sodium NaOH	-Lixivier les métaux amphotères -Eliminer les impuretés résiduelles tel que Al ₂ O ₃ , ZnO, MgO, CrO ₃ . [43]	- Réagit au contact de l'eau, des métaux inflammables, il cause de graves brûlures de la peau. -Une surconsommation d'énergie.[43]	8\$ US Pour 1kg [42]
Acide Oxalique HOOC-COOH	-Elimine sélectivement les Impuretés. [45]	-Provoque des troubles de de la circulation du sang -Une surconsommation des réactifs utilisant pendant l'expérience. [45]	0,70\$ US Pour 1kg [44]
L'Oléate de sodium CH ₃ (CH ₂) ₇ CHCH (CH ₂) ₇ COONa	- Collecteur anionique. [47]	-Explosif et inflammable. -cause des brûlures sur la peau. -Des surconsommations des réactifs. -Consomme trop d'énergie par rapport aux autres réactifs.[47]	10 \$ US pour 1kg [46]

<p>Acide chlorhydrique HCl</p>	<p>-Elimine les impuretés résiduelles en solution dans le traitement de la silice. [48]</p>	<p>-Acidité de la liqueur résiduelle est élevée pour mettre en danger. l'environnement -Temps de lixiviation est trop long. -Entraine une perte de réaction. [48]</p>	<p>5\$ US Pour 1kg [49]</p>
--	---	---	---

Liste des références

- [3] https://www.9silica.com/PRODUCTS/Silica_sand_beneficiation_equi/56.html, “production of silica.”
- [4] “SILICE : Définition de SILICE.” <https://www.cnrtl.fr/definition/Silice> (accessed Jul. 28, 2022).
- [5] Fabrication, *La fabrication des cellules photovoltaïques*.
- [6] C. D. Andriamena, “GENERALITES SUR LA SILICE ET SUR LA Anhydre,” pp. 6–21, 2007.
- [7] “Le sable siliceux en Algérie - Université Frère Mentouri - Constantine 1.” <https://www.unc.edu.dz/index.php/fr/articles-a-lire/92-le-sable-siliceux-en-algerie> (accessed Jul. 29, 2022).
- [8] “Silices naturelles - L'Élémentarium.” <https://lelementarium.fr/product/silices-naturelles/> (accessed Jul. 28, 2022).
- [9] C. Bonnet, “Fiches détaillées,” 2010.
- [10] S. G. National, “Mémento roches et minéraux industriels Silice,” no. 33, 1993.
- [11] F. Maubert, “BRGM,” no. 33.
- [12] L. E. S. Ressources and Q. En, *Québec* ::
- [13] M. CHAUDHURI, P. AK, and A. PAL, “ISOLATION OF POTENTIAL ANTIMICROBIAL METABOLITE FROM ENDOPHYTIC BACILLUS AMYLOLIQUEFACIENS DL06 OF CARNIVOROUS PLANT DROSERA BURMANNII VAHL.,” *Asian J. Pharm. Clin. Res.*, 2021, doi: 10.22159/ajpcr.2021.v14i1.40187.
- [14] “Silicium - L'Élémentarium.” <https://lelementarium.fr/element-fiche/silicium/> (accessed Aug. 12, 2022).
- [15] “Quartz | Imerys.” <https://www.imerys.com/fr/mineraux/quartz> (accessed Aug. 14, 2022).
- [16] B.kenza, “Caractéristiques Géotechniques Et Hydrogéologiques Des Grès Du Miocène (Langhien-Serravalien) De Draa Khelifa (Makouda) Wilaya De Tizi-Ouzou.”
- [17] “Sandstone - Meaning, Uses, Facts, Properties & Color - World Of Stones USA.” <https://worldofstonesusa.com/blog/sandstone/> (accessed Aug. 04, 2022).
- [18] E. N. Abdelkader, “Chapitre 2 : Propriétés des Roches,” no. 2.
- [19] B. a Wills and T. Napier-munn, “Mineral Processing Technology: An Introduction to the Practical Aspects of Ore Treatment and Mineral Recovery,” *October*, no. October, p. 444, 2006.
- [20] A. Kheloufi, M. Fathi, H. Rahab, A. Kefai, A. Keffous, and S. A. Medjahed, “Characterization and quartz enrichment of the hoggar deposit intended for the electrometallurgy,” *Chem. Eng. Trans.*, vol. 32, pp. 889–894, 2013, doi: 10.3303/CET1332149.
- [21] p. 282. AA. Istratov, T. Buonassisi, MD. Pickett, M. Heuer, E.R. Weber. Dirty

- multicrystalline silicon for solar cells. Mater SciEng B134, 2006, *silicon for solar*.
- [22] E.Ouenza, “Doctorat LMD en Génie des procédés Présentée par : NOUIOUA Asma Devant le jury composé de :,” pp. 1–115, 2018.
- [23] “Optimisation de la dissolution d’ilménite par effet synergique de l’acide oxalique et de l’acide chlorhydrique pour la préparation de rutile synthétique.”
- [24] 2014- 2015. Kashala Mpanga. Notes de cours de métallurgie des métaux non ferreux destinées aux étudiants de troisième graduat métallurgie, Faculté Polytechnique inédit, UNIKOL, *mettallurgie ferreux*.
- [25] E. Barefield and A. Shakoor, “The effect of degree of saturation on the unconfined compressive strength of selected sandstones,” *10th IAEG Int. Congr.*, no. 606, 2006.
- [26] p. 45. Houquan Huang, Jingsheng Li , Xiaoxia Li, Zhizhen Zhang, Iron removal from extremely fine quartz and its kinetics , Separation and Purification Technology 108, 2013, *Iron removal from extremely fine quartz and its kinetics , Separation and Purification Technology*.
- [27] S. Anas Boussaa, A. Kheloufi, N. Boutarek Zaourar, and S. Bouachma, “Iron and aluminium removal from Algerian silica sand by acid leaching,” *Acta Phys. Pol. A*, vol. 132, no. 3, pp. 1082–1086, 2017, doi: 10.12693/APhysPolA.132.1082.
- [28] H. Huang, J. Li, X. Li, and Z. Zhang, “Iron removal from extremely fine quartz and its kinetics,” *Sep. Purif. Technol.*, vol. 108, pp. 45–50, 2013, doi: 10.1016/j.seppur.2013.01.046.
- [29] Z. Zhang, J. Li, X. Li, H. Huang, L. Zhou, and T. Xiong, “High efficiency iron removal from quartz sand using phosphoric acid,” *Int. J. Miner. Process.*, vol. 114–117, pp. 30–34, 2012, doi: 10.1016/j.minpro.2012.09.001.
- [30] H. E. HCL, *HF HCL*, vol. 1999, no. December, pp. 1–6, 2006.
- [31] F. G. Becker *et al.*, “HF HCL ET H2SO4,” *Syria Stud.*, vol. 7, no. 1, pp. 37–72, 2015.
- [32] F. K. K. Sidali Medjahed Abdelkrim Kheloufi Ema Bobocioiu Aissa Kefaiifi, *silica*.
- [33] H. E. HCL, “Lixiviation de la silice avec HCl et HF,” *HF HCL*, vol. 1999, no. December, pp. 1–6, 2006.
- [34] S. Medjahed, A. Kheloufi, E. Bobocioiu, A. Kefaiifi, F. Kerkar, and K. Lebbou, “Quartz Ore Beneficiation by Reverse Flotation for Silicon Production,” *Silicon*, vol. 14, no. 1, pp. 87–97, Jan. 2022, doi: 10.1007/s12633-020-00790-x.
- [35] “ACIDE FLUORHYDRIQUE - Forsapre.” https://www.forsapre.fr/fiches_fan/acide-fluorhydrique-hf (accessed Aug. 09, 2022).
- [36] “Achetez de la qualité prix de l’acide fluorhydrique à des prix imbattables - Alibaba.com.” <https://french.alibaba.com/g/hydrofluoric-acid-price.html> (accessed Aug. 04, 2022).
- [37] “Dodécylamine - Wikipédia.” <https://de.wikipedia.org/wiki/Dodecylamin> (accessed Aug. 10, 2022).
- [38] “dodécylamine Options pour les meilleurs prix abordables - Alibaba.com.” <https://french.alibaba.com/g/dodecyl-amine.html> (accessed Aug. 05, 2022).

- [39] “Acide sulfurique : Réponses SST.”
https://www.cchst.ca/oshanswers/chemicals/chem_profiles/sulfuric_acid.html
(accessed Aug. 09, 2022).
- [40] “Achetez de la qualité prix de l’acide sulfurique à des prix imbattables - Alibaba.com.”
<https://french.alibaba.com/g/sulphuric-acid-price.html> (accessed Aug. 04, 2022).
- [41] “Hydroxyde de sodium : Réponses SST.”
https://www.cchst.ca/oshanswers/chemicals/chem_profiles/sodium_hydroxide.html
(accessed Aug. 09, 2022).
- [42] “prix d’hydroxyde de sodium de haute qualité à des prix compétitifs - Alibaba.com.”
<https://french.alibaba.com/g/sodium-hydroxide-price.html> (accessed Aug. 05, 2022).
- [43] “Acide oxalique — Wikipédia.” https://fr.wikipedia.org/wiki/Acide_oxalique (accessed Aug. 09, 2022).
- [44] “Pure Quality prix de l’acide oxalique pour les utilisations commerciales - Alibaba.com.” <https://french.alibaba.com/g/oxalic-acid-price.html> (accessed Aug. 05, 2022).
- [45] Y. Zamrodah, “L’Oléate de sodium,” vol. 15, no. 2, pp. 1–23, 2016.
- [46] “Oléate De Sodium Prix - Buy Sodium Oleate Price,Sodium Oleate,Cas 143-19-1 Product on Alibaba.com.” <https://french.alibaba.com/product-detail/sodium-oleate-price-60300387331.html> (accessed Aug. 04, 2022).
- [47] J. Li, X. Li, and F. Du, “Purification plus poussée de l’industrie Quartz par des conditions beaucoup plus douces et une méthode inoffensive,” vol. 44, pp. 7673–7677, 2010.
- [48] “Improvement of impurities removal from silica sand by using a leachnig process,” *A.kheloufi, Y. Berbar*, pp. 1513–1518, 2011.
- [49] “Pure Quality l’acide chlorhydrique prix pour les utilisations commerciales - Alibaba.com.” <https://french.alibaba.com/g/muriatic-acid-price.html> (accessed Sep. 22, 2022).



Chapitre II

I. Introduction

Ce chapitre présente une description des différentes méthodes de caractérisation Physico-Chimique que nous avons mise en œuvre, dans le but de la caractérisation et l'enrichissement du grès siliceux, chacune de ces techniques contribue à la compréhension d'une partie précise d'un objectif attendu. Ces différentes techniques expérimentales permettent de caractériser la structure et la texture du grès, ainsi que sa composition élémentaire.

II. Caractérisation du Grès Siliceux (Matière première)

On possède une roche de grès siliceux (quartzeux) de la Kabylie, grosse et dur de couleur beige-ocre avec des pointillé rougeâtre . (Voir FIG II.1).



FIG II.1 : Photo d'une roche du grès siliceux (quartzeux).

Dans le but de définir la matière première siliceuse qu'on a étudiée du grès siliceux, nous avons utilisés différentes méthodes macroscopique et microscopique. Un échantillon de 800 g a été utilisé pour les différentes caractérisations et traitements.

II.1. Concassage

Premièrement, les parties altérées de l'échantillon en bloc étant éliminées, puis l'échantillon était concassé et réduit à des fragments de 5 mm, quand elle est menée avec prudence, les contaminations sont évitées.[50]

Le concassage a été réalisé au niveau du laboratoire de chimie de l'Université de Mouloud Mammeri à TIZI-OUZOU (UMMTO).

II.1.1. Protocole du travail

✓ Matériel utilisé

- Une roche de grès de 800g.
- Outil de concassage (marteau).

✓ Méthode

L'action du concassage a été effectuée sur la roche pour réduire sa taille en petites parties jusqu'à obtenir des particules de tailles moyennes et fines. (Voir FIG II.2, 3). On a procédé à la méthode du concassage afin de faciliter la caractérisation de la roche mère et atteindre la phase minérale du quartz.



FIG II.2 : Roche avant concassage.



FIG II.3 : Roche après concassage.

II.2. Broyage

Le broyage est une opération qui consiste à réduire un solide, afin d'augmenter sa surface spécifique (surface développée de la poudre par unité de masse) et donc sa réactivité. Le broyage se fait jusqu'à la maille de libération. La maille de libération d'un minéral est la taille au-dessous de laquelle une particule de minerai est parfaitement libérée, c'est-à-dire constituée uniquement de l'espèce minérale à valoriser[51]. Les dimensions des quartz formant le grès déterminent la maille de libération, c'est-à-dire la dimension à laquelle doit s'effectuer le broyage pour obtenir une séparation entre minéraux porteurs d'éléments chimiques différents.[52]

Deux méthodes de broyage ont été faites au niveau du laboratoire de chimie de l'Université de Mouloud Mammeri à TIZI-OUZOU (UMMTO). Une est manuel et l'autre est électrique et cela selon la disponibilité du matériel au laboratoire et l'intérêt de chaque méthode pour obtenir la granulométrie requise

II.2.1. Broyage Manuelle

Le mortier et pilon en agate sont parfaitement adaptés aux procédés de broyage, concassage et mélange dans les laboratoires. La structure très fine de l'agate (99.9% SiO₂) permet une action de broyage sans contamination.[53] (Voir FIG II.4).



FIG II.4 : Broyeur manuelle en agate

II.2.1.1. Protocol du travail

➤ **Matériel utilisé**

- Deux échantillons de silice déjà fragmenté du bloc de grés.
- Un Broyeur en agate.

➤ **Méthode du travail**

Dans un broyeur manuel en agate, on a broyé manuellement chaque échantillon de silice à part jusque à ce que toutes les particules de silice soient broyer de façon à obtenir une poudre très fine. (Voir FIG II.5, 6, 7, 8, 9,10).

Les deux échantillons avant le broyage



FIG II.5 : Echantillon 1.



FIG II.6 : Echantillon 2.

Pendant le broyage :

FIG II.7 : E.01 Pendant Broyage.



FIG II.8 : E.02 Pendant Broyage.

Après de broyage :

FIG II.9 : E.01 Après Broyage.



FIG II.10 :E.02 Après Broyage.

II.2.2. Broyage électrique

Pour une bonne efficacité de broyage des échantillons nécessaires à cette étude, nous avons aussi utilisé une méthode rapide et pratique de broyage avec un broyeur électrique.

II.2.2. a Appareillage

Le broyage électrique a été réalisé avec un broyeur à billes Pulverisette de marque FRITSCH. (Voir FIG II.11) (Voir principe de fonctionnement de l'appareil dans annexe 01)



FIG II.11: Mono broyeur à billes Pulverisette

✓ Méthode du travail

Un échantillon fragmenté de 800g composé de grès a été placé dans un mono broyeur à billes Pulverisette. Le broyage à sec a été réalisé à différentes durées (10, 15 et 20 min) avec une vitesse de rotation de 200 rpm. Des billes en Agate ont été utilisées comme média de broyage. (Voir FIG II.12).



FIG II.12 : Broyage électrique de la roche

III. Etude par Microscope Optique Métallographique

Le microscope polarisant, appelé aussi microscope polariseur analyseur, est un microscope optique muni de deux filtres polarisantes appelé polariseur et analyseur.

L'intérêt du microscope est l'observation et l'identification des minéraux dans les roches. Le principe de fonctionnement repose sur l'utilisation d'un faisceau de lumière polarisée. L'échantillon de roche à observer est préparé afin d'obtenir une lame mince, c'est-à-dire que la roche est coupée en une couche très fine de 20 à 30 micromètres collée sur une lame de verre. [54]

L'étude microscopique est faite sur deux lames minces qu'ont été réalisées au niveau du laboratoire de géologie de l'université M'Hamed BOUGARA de Boumerdès à partir de la roche du grès siliceux. (Voir FIG II.13, 14).



FIG II.13 : Lame 01.



FIG II.14 : Lame 02.

Cette étude est faite sur les lames minces afin de confirmer que la roche mère est une phase siliceuse dans les grains et la matière de liaison, aussi pour voir les différentes impuretés des minéraux qui se trouvent dans cette roche.

III.1. Appareillage

Dans cette étude on a utilisé un microscope optique métallographique polarisant de marque ZEISS, Au niveau de l'école normale supérieure (ENS) –Kouba. (Voir FIG II.15). (Voir principe de fonctionnement de l'appareil dans annexe 02).



FIG II.15 : Microscope optique métallographique polarisant.

IV. Caractérisation par XRF

La fluorescence X (X ray fluorescence) est l'une des techniques les plus importantes dans la détermination multi-éléments dans une grande variété de minéraux, de roches et de minerais. Elle permet des analyses qualitatives et quantitatives ainsi que la détermination des éléments chimiques existant dans le minerai de silice. Les échantillons de la roche de silice (grès) ont été concassés, broyés et analysés par la fluorescence X, en utilisant un Philips Séquentiel PW2 Spectromètre, pour déterminer la teneur des oxydes présents dans le grès siliceux en silice et autres éléments qui se présentent dans la roche [55].

Dans notre travail, on a effectué dix-sept (17) analyses XRF, réparties en plusieurs étapes, dans l'objectif de contrôler la teneur de la silice et les impuretés avant et après chaque méthode de traitement.

Dans la 1^{ère} étape, on a effectué deux analyses pour deux échantillons prélevés de l'échantillon d'un 1kg de la roche de grès afin de caractériser et donner la composition élémentaire de la matière première naturelle (grès siliceux).

IV.1. Appareillage

Les analyses Fluorescence X ont été effectués au niveau du centre de recherche et d'analyses physico-chimique (CRAPC) à Bousmail, avec un appareil de marque RIGAKU. (Voir FIG II.16). (Voir principe de fonctionnement dans annexe 03).



FIG II.16 : Appareil de fluorescence X du laboratoire de CRAPC.

V. Caractérisation par DRX

La diffraction des Rayons X (DRX) est une technique d'analyse qui permet de démontrer la nature cristalline ou amorphe d'un solide ou une poudre, ainsi qu'à en déterminer les différentes phases cristallines. Le principe de la DRX consiste à faire diffracter les rayons X sur un échantillon solide plat ou une poudre. La diffraction se fait suivant la loi de Bragg lorsqu'il existe une organisation des atomes dans le solide suivant des plans cristallins.[56]

Dans notre travail on a effectué deux analyses de DRX, dans le but de démontrer les différentes phases minérales présentes dans les grès étudiés.

V.1. Appareillage

Les analyses de la diffraction des rayons X (DRX), ont été effectués au niveau du centre d'études et de services technologiques de l'industrie des matériaux de construction (CETIM) à Boumerdes, avec un appareil de marque PANalytical (Voir FIG II.17). (Voir le principe de fonctionnement dans annexe 04).



FIG II.17 : appareille de diffraction X du laboratoire CETIM

VI. Etude granulométrique :

La préparation du gisement (matière naturelle économiquement exploitable) consiste à séparer (ou libérer) les minéraux nécessaires pour les extraire. Parmi les principales et premières étapes de traitement du gisement, le concassage, le broyage et le tamisage et cela pour atteindre la fraction minérale fine pour une meilleure purification de la matière.

VI.1. Tamisage :

Le tamisage est le passage d'un produit solide ou d'une suspension au tamis pour réaliser la séparation et éventuellement l'analyse granulométrique de certains éléments.[57]

Après la réalisation du concassage à des fractions fines de différentes tailles, on a procédé au tamisage pour décrire chaque fraction tamisée et les caractériser pour déduire à la fin la fraction la plus riche en silice et la moins pauvre en impureté.

La méthode de tamisage a été faite au niveau du laboratoire de chimie de l'école nationale supérieure des sciences de la mer et de l'aménagement de littoral (ENSSMAL) –Dely Brahim.

VI.1.1. Protocol du travail :

✓ Matériel utilisé :

- Des tamis emboîtés les uns sur les autres dont la dimension des ouvrages décroît du haut vers le bas 800 μ m à 100 μ m.
- Une tamiseuse électrique.
- Une balance électronique.
- Une cuillère.
- Un échantillon de masse = 715.22 g.

✓ Méthode du travail

La méthode consiste à faire passer un échantillon représentatif d'un grès déjà broyé à travers des tamis superposés dont les ouvertures vont en décroissant du haut vers le bas (800-100 μ m).

Les particules les plus grosses restent donc emprisonnées sur les tamis les plus hauts (refus ou retenu), tandis que les particules plus fines se dirigent vers les tamis inférieurs (tamisât ou passant). (Voir FIG II.18, 19).



FIG II.18 : Tamiseuse.

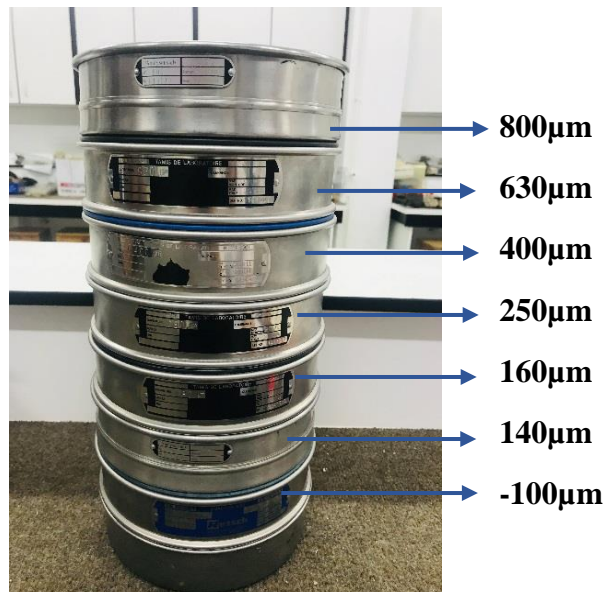


FIG II.19 : Tamis de 100-800 µm.

VII. Etude par Loupe Binoculaire

La loupe binoculaire est un instrument d'optique donnant une image agrandie et en relief de l'objet observé, car l'observation est effectuée à travers deux oculaires donc avec les deux yeux. Elle permet d'observer des objets qui peuvent être épais et ne demandent aucune préparation, la mise au point se faisant par une molette qui déplace le tube le long de la colonne. Cet instrument ne demande, de la part de l'utilisateur, aucune connaissance spécifique pour observer dans les détails : minéraux.

La loupe binoculaire a un grossissement de 10 à 100 fois [58]. L'intérêt de la loupe d'obtenir une image de taille angulaire plus grande que l'objet. On grossit l'image, de plus, en plaçant l'objet au foyer de la loupe, l'image est à l'infini.

VII.1. Appareillage

L'étude par loupe binoculaire a été faite au niveau de l'école nationale supérieure des sciences de la mer et de l'aménagement de littoral (ENSSMAL)-Dely Brahim, avec une loupe binoculaire de marque OPTTECH (optical technology). (Voir FIG II.20). (Voir principe de fonctionnement de l'appareil dans annexe 05).



FIG II.20 : Loupe binoculaire

Dans notre cas, on a utilisé la loupe binoculaire dans le but d'observer les grains de quartz qui composent le grès à différentes tentes granulométries (800-100 μm), et choisir à la fin la granulométrie la plus riche en quartz et aussi voir sa composition avec les différents oxydes qui se trouvent dans ce grès.

Après cette étape, on a basé sur l'analyse des huit échantillons obtenus après le tamisage pour les granulométries entre (800-100 μm) dans le but de déterminer la valeur de la silice (SiO_2).

VIII. Choix de la technique d'enrichissement

VIII.1. Concassage

Comme il est décrit précédemment, cette opération est utilisée pour réduire la roche en petites parties (jusqu'à quelques millimètres), la roche mère du grès siliceux.

VIII.2. Broyage

Cette opération est utilisée pour la réduction de la taille de la roche et pour une bonne application de la lixiviation sur la composition de la roche.

VIII.3. Tamisage

Cette méthode est appliquée pour chercher la granulométrie optimum riche en silice et pour éliminer les fractions fines tels que les argiles ayant une taille inférieure à 2 μm , autant que la fraction grossière comme les métaux lourds et les oxydes de fer.

VIII.4. Séparation Magnétique

La séparation magnétique est une technique qui permet de séparer les échantillons de divers types de matrices selon leur comportement vis-à-vis d'un champ magnétique, elle est utilisée en industrie, en chimie et en biotechnologies.[59]

Dans notre cas, cette méthode est utilisée pour libérer la silice des oxydes de fer qui ont l'attraction vers l'aimant magnétique.

VIII.4. Protocol du travail

VIII.4.1.Appareillage

La séparation magnétique a été effectuée au niveau de l'Office National de Recherche Géologique et Minière (ORGM) de Boumerdès, avec un séparateur magnétique de marque CARPCO. (Voir FIG II.21). (Voir le principe de fonctionnement dans annexe 06).



FIG II.21 : Séparateur magnétique.

✓ Méthode du travail

Après avoir effectué l'analyse XRF sur les différentes granulométries qui varient de (-100 μ m à +800 μ m), l'échantillon de 250 μ m à 400 μ m a été opéré au séparateur magnétique de haute intensité de laboratoire fonctionnant à voie sèche. L'alimentation du grès en poudre se fait par trémie et avec un alimentateur vibrant. Les particules magnétiques adhèrent au rotor magnétique sous l'influence de la force magnétique et sont entraînées par la rotation dans une zone à faible champ magnétique qui se détache avec une brosse. Les principaux paramètres du séparateur magnétique sont la densité de flux magnétique qui varie de 1,2 à 2 Tesla, la granulométrie doit être inférieure à 1 mm et la vitesse de rotation de 60 tr/min.

L'échantillon de la fraction granulométrique (250 μ m à 400 μ m) de 200g a été procédé à des tests de séparation magnétique afin d'éliminer les inclusions ferrifères contenues dans le matériau siliceux déjà observé au microscope et confirmé par les analyses XRF. La plage de variation du courant dans le séparateur magnétique qui a été utilisée est de 3 à 15 Ampères, et la rotation du rotor à 60 tr/min.

VIII.5. Lavage

Action de frottement entre deux corps, elle se fait par voie humide (lavé à l'eau du robinet puis rincé à l'eau distillée), ce travail est fait pour éliminer la boue et la poussière qui collent

aux grains et provoquent des agglomérats de particules et permet de séparer toutes les incrustations ferreuses ou argileuses des grains de quartz.[60]

-Suite au manque des équipements d'attrition pour une meilleure application, un lavage simple a été réalisé au niveau du laboratoire de chimie de l'école nationale supérieure des sciences de la mer et de l'aménagement de littoral (ENSSMAL)-Dely Brahim.

VIII.5.1. Protocole du travail

➤ **Matériel utilisés**

- Un tamis de 80µm.
- Eau (distillée et robinet).

➤ **Méthode du travail :**

Pour cette opération, on a utilisé un tamis de 80 µm et de l'eau en pression avec en frottant les grains afin d'éliminer les fractions fines et décoller les argiles. (Voir FIG II.22,23).

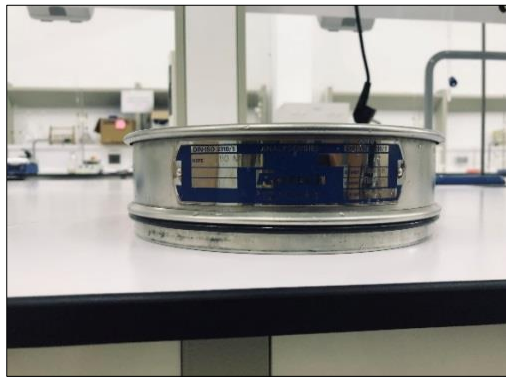


FIG II.22 : Tamis de 80µm.



FIG II.23 : lavage du grès.

VIII.6. La Lixiviation

La lixiviation est une opération qui consiste en une mise en solution sélective des minéraux valorisables contenus dans un minerai à l'aide d'un solvant bien approprié.[61] L'étude des travaux antérieurs sur les grès siliceux en utilisant des différents solvants nous ont permis de choisir les solvants adéquats à l'enrichissement de la silice par la lixiviation. Il a été remarqué que l'emploi du HCl comme étant agent de lixiviation est très efficace vu sa corrosivité et sa réactivité.[62]

VIII.6.1. Lixiviation HCl

La réaction de lixiviation est basée sur la capacité d'acide chlorhydrique à dissoudre les oxydes de fer, la réaction chimique lors de l'élimination de l'oxyde de fer par une attaque d'HCl est la suivante : $\text{Fe}_2\text{O}_3(\text{s}) + 6\text{HCl}(\text{aq}) \rightleftharpoons 2\text{FeCl}_3(\text{aq}) + 3\text{H}_2\text{O}$. [63]

La méthode de lixiviation a été réalisée au niveau du laboratoire de chimie de l'école nationale supérieure des sciences de la mer et de l'aménagement de littoral (ENSSMAL)-Dely Brahim.

VIII.6.2. Protocol du travail

➤ **Matériels utilisés**

- Acide chlorhydrique, .
- Hydroxyde de sodium, NaOH
- Eau distillée.
- Agitateur magnétique + plaque chauffante.
- Balance.
- Etuve.
- Becher.
- Fiole.
- Balance électronique.

➤ **Méthode du travail :**

Les paramètres des essais de lixiviation par l'acide chlorhydrique sont présentés dans le tableau :

Tableau II.1 : les paramètres des essais de lixiviation par l'acide chlorhydrique

<i>Essais</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>
<i>[HCl] mol/l</i>	2	3	4	5
<i>Volume (ml)</i>	200	200	200	200
<i>Temps (min)</i>	120	120	120	120
<i>Température (°C)</i>	90	90	90	90
<i>Masse (g)</i>	25	25	25	25

Préparation d'une Solution mère d'acide

La masse moléculaire =36.5g/mol.

La densité =1.18.

La pureté = 37 %.

Volume de flacon =2.5L.

C= 11.42 mol/l.

Dilution d'acide chlorhydrique :

Essai 1 :

On a : $V_1=200$ ml, $C_1=$ mol/l

V_2 HCl= ? $C_2= 11.42$ mol/l

Donc : V_2 HCl= $(C_1 \times V_1) / C_2 = (0.200 \times 2) / 11.42$

$V_2 = 35.02 \text{ ml}$.

Essai 2 :

On a : $V_1 = 200 \text{ ml}$, $C_1 = 3 \text{ mol/l}$

$V_2 \text{ HCl} = ?$ $C_2 = 11.42 \text{ mol/l}$

Donc : $V_2 \text{ HCl} = (C_1 \times V_1) / C_2 = (0.200 \times 3) / 11.42$

$V_2 = 52.53 \text{ ml}$.

Essai 3 :

On a : $V_1 = 200 \text{ ml}$, $C_1 = 4 \text{ mol/l}$

$V_2 \text{ HCl} = ?$ $C_2 = 11.42 \text{ mol/l}$

Donc : $V_2 \text{ HCl} = (C_1 \times V_1) / C_2 = (0.200 \times 4) / 11.42$

$V_2 = 70.05 \text{ ml}$.

Essai 4 :

On a : $V_1 = 200 \text{ ml}$, $C_1 = 5 \text{ mol/l}$

$V_2 \text{ HCl} = ?$ $C_2 = 11.42 \text{ mol/l}$

Donc : $V_2 \text{ HCl} = (C_1 \times V_1) / C_2 = (0.200 \times 5) / 11.42$

$V_2 = 87.56 \text{ ml}$.

La première phase de l'expérience, la lixiviation est répartie en deux parties : dans la première étape il s'agit d'une attaque à l'acide de l'échantillon broyée et tamisée mais dans la deuxième une attaque à l'acide sur le même échantillon mais lavé et séché préalablement.

Dans la première partie, quatre tests de lixiviation ont été réalisés dans un Erlenmeyer $V = 500 \text{ ml}$, Pour chaque cycle, 200ml de solution d'acide chlorhydrique ont été préparé dans l'eau à différentes concentrations, $C_1 = 2 \text{ M}$, $C_2 = 3 \text{ M}$, $C_3 = 4 \text{ M}$, $C_4 = 5 \text{ M}$. (Voir FIG II.24,25).



FIG II.24 : Préparation de l'HCl seul.



FIG II.25 : Echantillons préparé (HCl+H₂O).

Ensuite, 25 g du grès siliceux de granulométrie 250-400 μm ont été ajoutés à la solution. La suspension a été agitée pendant 1 heure de temps dans un agitateur magnétique puis laissé

reposer 48 heures à température ambiante avec une agitation occasionnelle. (Voir FIG II.26,27, 28, 29).

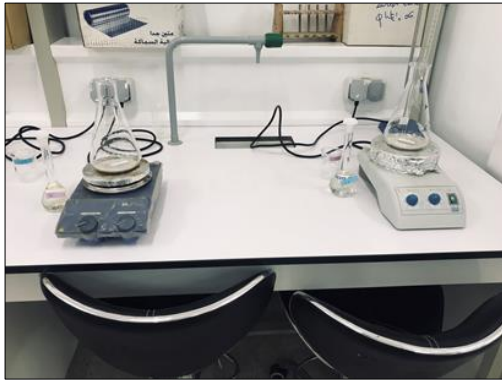


FIG II.26 : Echantillons C₁ et C₂.



FIG II.27 : Echantillon C₃ et C₄.

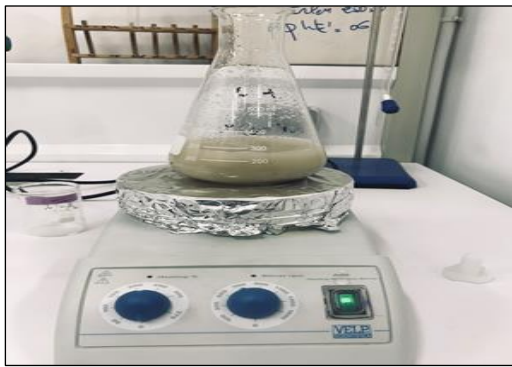


FIG II.28 : Agitation d'échantillon.



FIG II.29 : Echantillon au repos.

Dans la deuxième partie, on a procédé au lavage de 40g du grès siliceux de granulométrie 250-400 μ m, ce dernier a été lavé avec l'eau de robinet puis à l'eau distillée en utilisant un tamis de 80 μ m, ensuite laisser sécher pendant 2heures à une température de 70C°. Par la suite, 25g du grès lavé a été ajouté à une solution de 200ml d'acide chlorhydrique préparé dans l'eau avec une concentration d'acide de C₅ =5M. La suspension a été agitée pendant 1heure de temps dans l'agitateur magnétique puis laissé reposer 48 heures à température ambiante avec agitation occasionnelle.

(Voir FIG II.30,31)



FIG II.30 : Lavage au robinet et eau distillée.

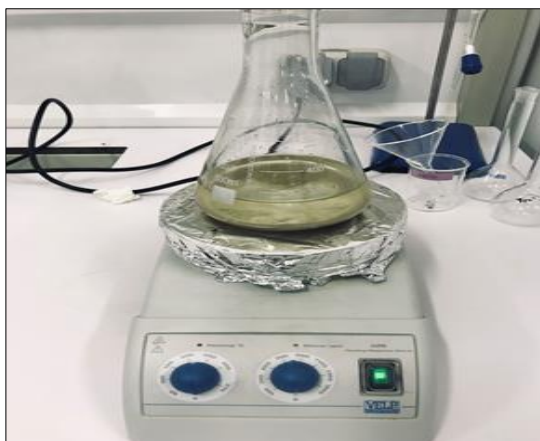


FIG II.31 : Echantillon C₅ en agitation.

Dans la deuxième étape de l'expérience, on a mis les cinq solutions sous agitation pendant 2 heures à une température de 90°C et une vitesse de 800 tours, en agitant le contenu occasionnellement. (Le choix de la température et la vitesse et le temps optimum est effectué suite à des recherches bibliographiques appliquées et aux expériences déjà faites par monsieur BOUABDALLAH Sofiane en 2015). Par la suite on a séparé l'acide et le grès. Le grès des cinq échantillons a été mis au lavage de robinet puis l'eau distillée pour chaque échantillon et cela en utilisant un tamis de 80µm, ensuite, laissé sécher dans une étuve pendant deux heures de temps à une température de 70 °C.

Le potentiel acide est important en raison de la lixiviation des impuretés de fer et de titane avec l'acide chlorhydrique. Pour pallier ce phénomène affectant l'environnement, une neutralisation avec NaOH à 10% est nécessaire. Au contact de l'eau avec la soude on obtient Ca(OH)₂, qui provoque une augmentation du PH. (Voir FIG II.32,33, 34, 35). Dont, l'acide des échantillons séparés a été mis à la neutralisation où on a utilisé un PH-mètre de marque SENTIX 4.1, et l'Hydroxyde de sodium (NaOH) à 10%.

Durant la neutralisation, on mesure le PH de chaque échantillon puis on ajoute la quantité de NaOH qu'il faut pour atteindre PH=7, on rince la baguette du PH-mètre et on passe à l'échantillon suivant.



FIG II.32 : Séparation du grès et l'acide.



FIG II.33 : Procédure du lavage du grès.

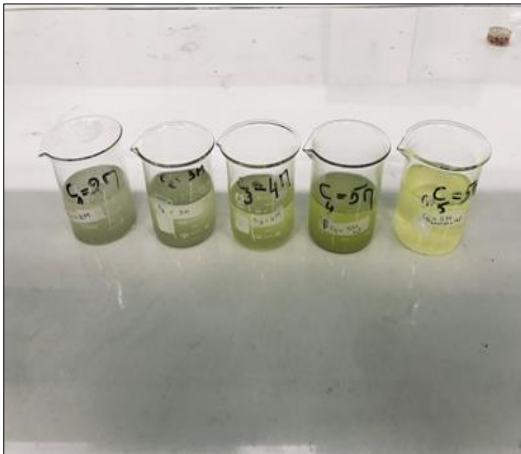


FIG II.34 : Neutralisation des acides.



FIG II.35 : PH-mètre.

IX. Réactifs utilisés durant l'enrichissement

Durant le procédé d'enrichissement de la silice, on a utilisé des différents réactifs à des différentes concentrations.

- L'acide chloridrique HCl à 2, 3,4, et 5 mol/l).
- La soude NaOH à 10% de concentration.

X. Caractérisation du grès siliceux (après enrichissement)

X.1. Analyse par loupe binoculaire

Après l'enrichissement du grès siliceux, on a procédé à la caractérisation de deux échantillons ($C_4 = 5M_{HCl}$ et $C_5 = 5M_{Lavage+HCl}$), par la loupe binoculaire dans le but de voir le changement effectué sur la morphologie de grains de quartz ainsi d'avoir une idée visuelle sur la présence des impuretés après le lavage et l'attaque à l'acide, les observations des

l'échantillons étudiés avec la loupe sont confirmées par la suite par des analyses chimiques de l'XRF (Voir FIG II.36).

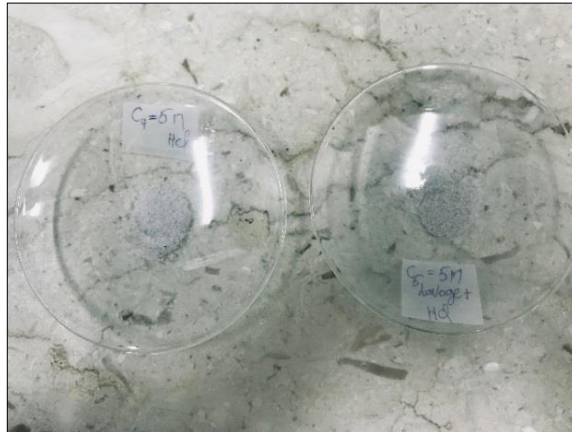


FIG II.36 : Echantillons étudiés par la loupe binoculaire après enrichissement.

X.2. Analyse par XRF

Dans cette 3^{ème} étape on a effectué sept analyses XRF réparties le tableau comme suit :

Tableau II.2 : différents analyses d'XRF effectué dans la 3^{ème} étape

XRF après séparation magnétique					
XRF	XRF	XRF	XRF	XRF	XRF
Après lavage uniquement	2M	3M	4M	5M	Lavage+5M HCl
	HCl	HCl	HCl	HCl	+lavage

XI. Conclusion

Ce chapitre nous a permis de déterminer exactement la structure interne macroscopique et microscopique du grès quartzeux. Désormais, la roche est totalement définie et cela grâce aux différentes méthodes qui ont été élaborées au cours de cette démonstration qui est composée de l'étude optique par le microscope métallographique et la loupe binoculaire, une étude granulométrique qui regroupe le concassage, broyage et le tamisage, une caractérisation chimique par fluorescence X et minéralogique par DRX, Sur la base des techniques précédentes, qui ont été utilisées pour purifier la matière première de grès siliceux contenant des oxydes de fer et des argiles, il s'agit d'un lavage, une attaque à l'acide par HCl et aussi un traitement physique mécanique par séparation magnétique.

Liste des références

- [50] C. Duchesne, “Séparation rapide des minéraux des roches,” *Ann. Société Géologique en Belgique*, vol. 89, pp. 347–356, 1966.
- [51] B. Fares, “REVALORISATION DES REJETS BARYTIQUES ISSUES DES JIGS ET Etude des propriétés magnétiques du minerai de fer de IMPACT ENVIRONNEMENTAL: CAS DE LA MINE D’AIN Sidi Maârouf-Jijel en vue d’un enrichissement par Séparation magnétique. MIMOUNE/KHENCHLA,” p. 91, 2012.
- [52] “Procédés de traitement et de valorisation - Les procédés de broyage.” http://ressources.unit.eu/cours/RMDI/RMDI6/co/grain1_2_3.html (accessed Sep. 11, 2022).
- [53] “Mortiers et pilons en agate.” <https://www.labomoderne.com/gamme.mortiers-et-pilons-en-agate.MPA8.html> (accessed Sep. 11, 2022).
- [54] “Microscopie en lumière polarisée — Wikipédia.” https://fr.wikipedia.org/wiki/Microscopie_en_lumière_polarisée (accessed Sep. 11, 2022).
- [55] L. Boutahar, “Applications de la spectrométrie de fluorescence X à l’analyse et la caractérisation des matériaux .,” 2014.
- [56] “Silicium - L’Élémentarium.” <https://lelementarium.fr/element-fiche/silicium/> (accessed Aug. 12, 2022).
- [57] “Tamisage.” <https://fr-academic.com/dic.nsf/frwiki/1603688> (accessed Sep. 11, 2022).
- [58] J. Ferry, U. D. E. La, and L. Binoculaire, “Soit attentif à ce que tu fais ! Un faux mouvement et elle tombe par terre !,” pp. 1–2.
- [59] “Séparation magnétique — Wikipédia.” https://fr.wikipedia.org/wiki/Séparation_magnétique (accessed Sep. 11, 2022).
- [60] “Nettoyage au jet de sable | IST.” <https://istsurface.com/fr/ressources/sablage-au-jet/nettoyage-au-jet-de-sable/> (accessed Sep. 11, 2022).
- [61] “La lixiviation : Techniques de séparation et Types.” <https://wikimemoires.net/2019/12/la-lixiviation-techniques-de-separation-et-types/> (accessed Sep. 11, 2022).
- [62] F.Becker., “HF HCL ET H2SO4,” *Syria Stud.*, vol. 7, no. 1, pp. 37–72, 2015.
- [63] E.Ouenza, “Doctorat LMD en Génie des procédés Présentée par : NOUIOUA Asma Devant le jury composé de :,” pp. 1–115, 2018.

A decorative horizontal scroll border with a black outline and small circular details at the top and bottom corners, framing the chapter title.

Chapitre III

I. Introduction

Ce chapitre résume les résultats obtenus et leurs interprétations concernant la partie expérimentale qui s'est focalisée dans un premier temps, sur la caractérisation optique et physico-chimique du grès quartzeux en tant que matière première riche en silice. Une série de tests de fluorescence X ont été effectuée sur des échantillons du grès afin d'évaluer et déterminer les impuretés qui se trouvent dans la roche en association minéralogique avec la silice qui se matérialise sous forme de quartz cristallin. Connaitre les limites des éléments nuisibles et les éliminer est considéré comme un travail indispensable car ses éléments constituent un obstacle technique pour le procédé de haute-technologie. Dans le présent chapitre, on met en exergue les résultats d'enrichissement des échantillons du grès siliceux d'un gisement de la wilaya de Tizi-Ouzou, par lixiviation dans le but d'atteindre une pureté de haute valeur ajoutée requise d'oxyde de silicium (SiO_2).

II. Caractérisation de la matière première naturelle du grès siliceux avant enrichissement

II.1. Etude macroscopique

Le grès siliceux prélevé de la région de la Kabylie est massif et très dur, de couleur grisâtre, les grains qui composent la roche sont de petites tailles, visibles à l'œil nue, composés dans la majeure partie de grains de quartz vitreux avec quelques minéraux des oxydes de fer de couleur rougeâtre.

II.2. Etude par microscope optique :

L'étude microscopique a été faite sur deux lames minces non couvertes, les résultats sont comme suit :

- **Lame mince non couverte 01**

À partir de l'étude microscopique, la phase granulaire est composée de grains de quartz, autant que la phase de liaison des grains est aussi siliceuse avec des gros grains de quartz (FIG III.1), quelques impuretés des oxydes comme la biotite oxydée ($(\text{Mg}, \text{Fe})_2(\text{Si}, \text{O}_4)$) sont aussi observables (FIG III.2), avec une altération, et oxydation, On a aussi observé quelques minéraux métalliques de forme cubique (FIG III.3) ainsi que quelques impuretés qui se trouvent entre les interstices des grains de quartz (FIG III.4) .

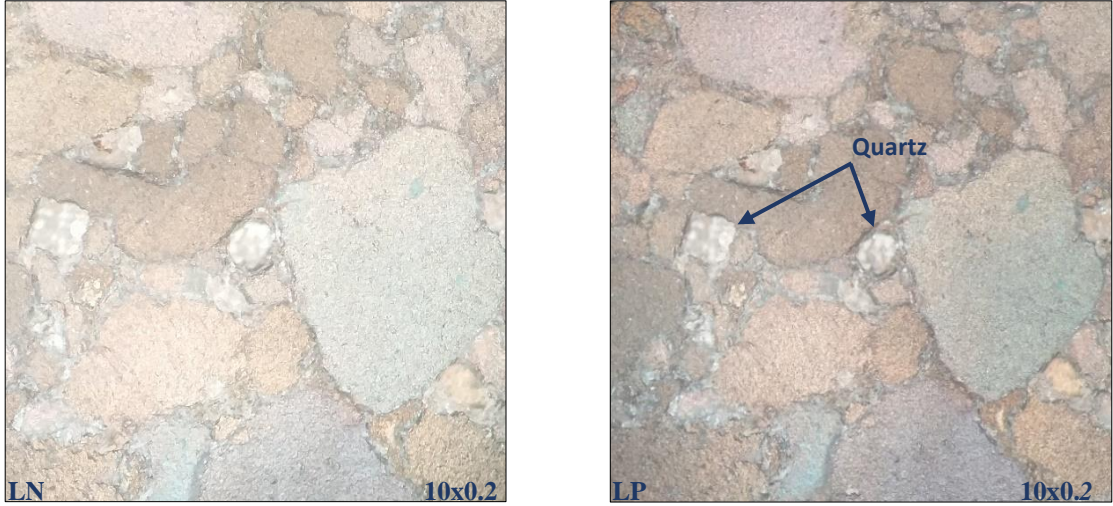


FIG III.1 : Quartz

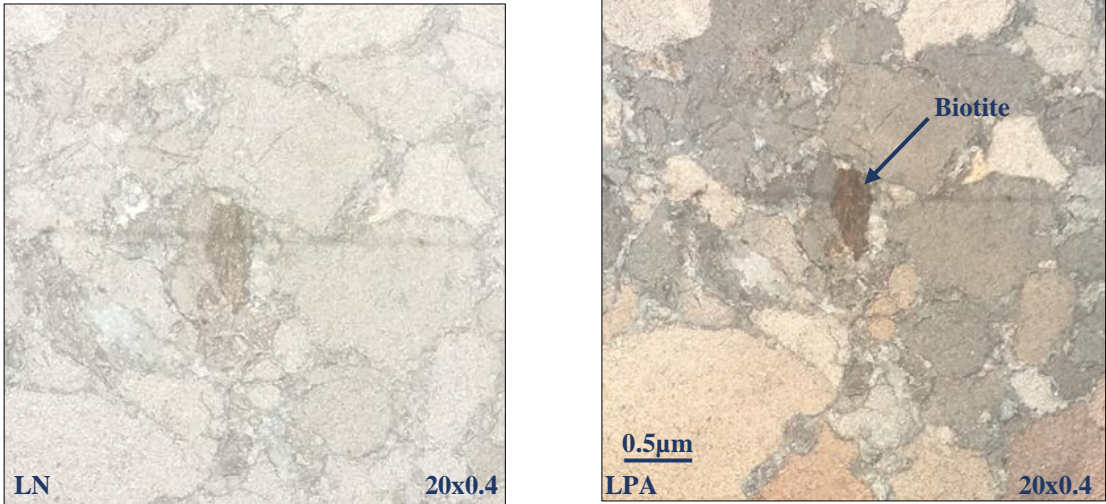


FIG III.2 : Biotite

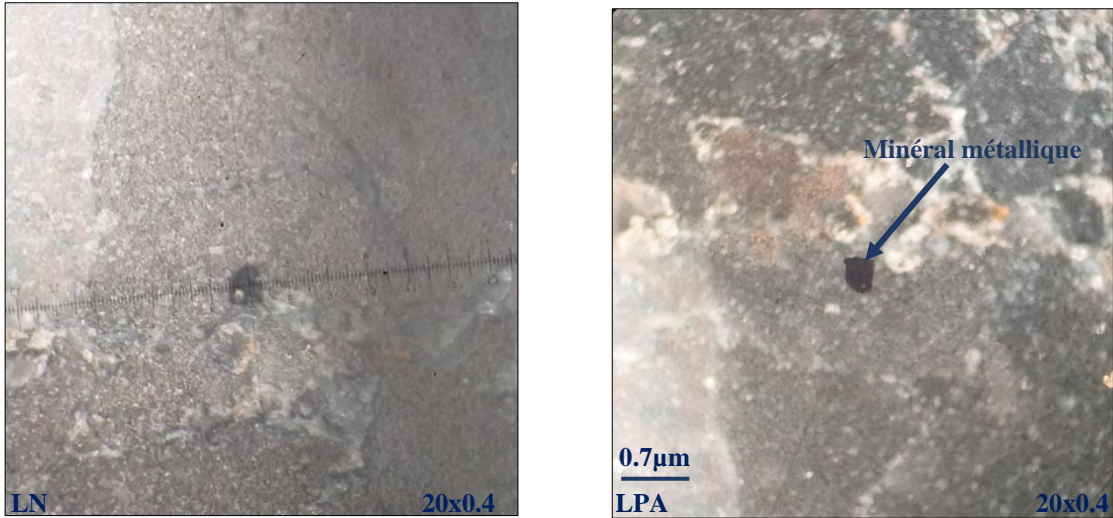


FIG III.3 : Minéral métallique

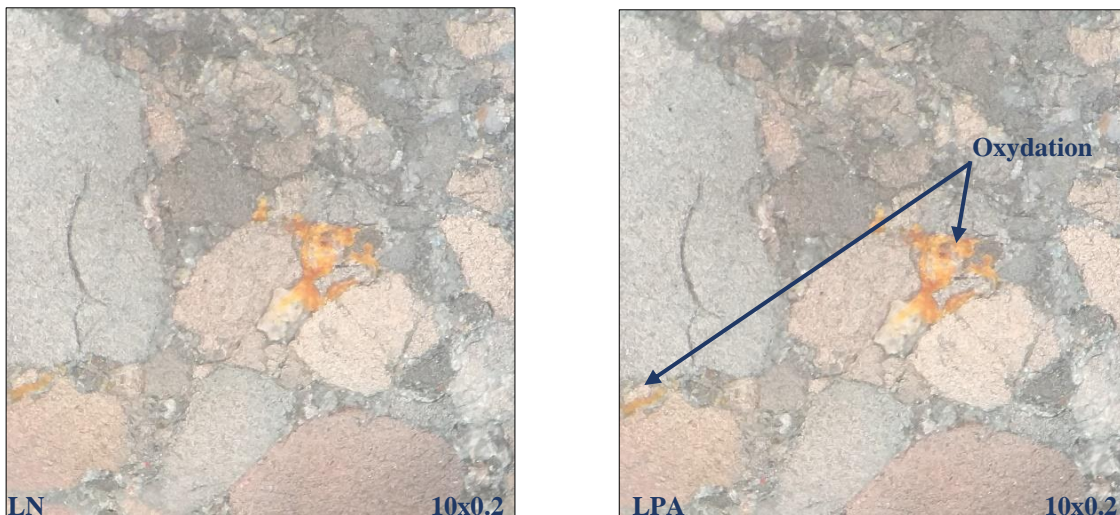


FIG III.4 : oxydation

- **Lame mince non couverte 02**

On remarque la présence du quartz, ainsi que des oxydes (FIG III.5) qui se trouvent dans la phase de liaison en quantités importante, des minéraux opaques, la présence de muscovite $K Al_2(Si_3 AlO_{10})(OH)$ (FIG III.7), ainsi que le Zircon $ZrSiO_4$ comme minérale accessoire (FIG III.6)

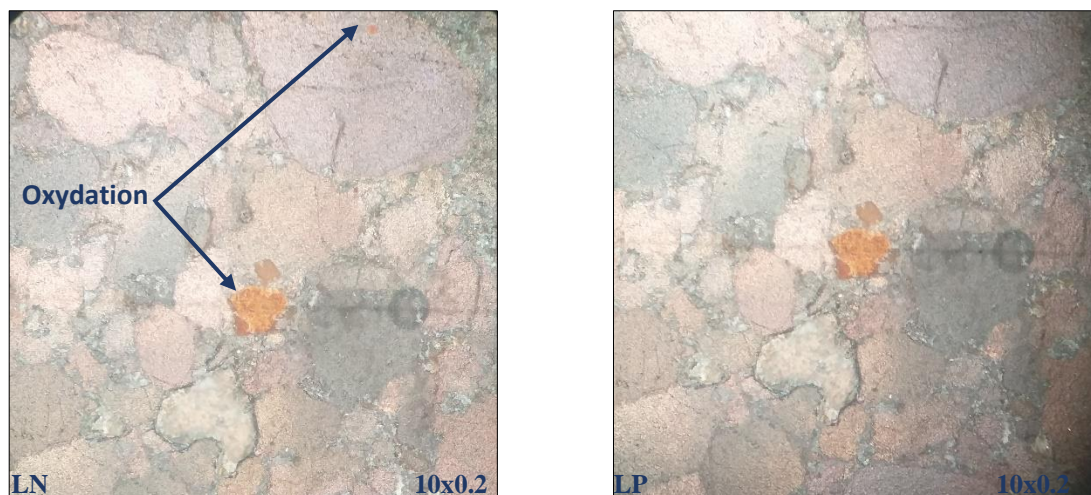
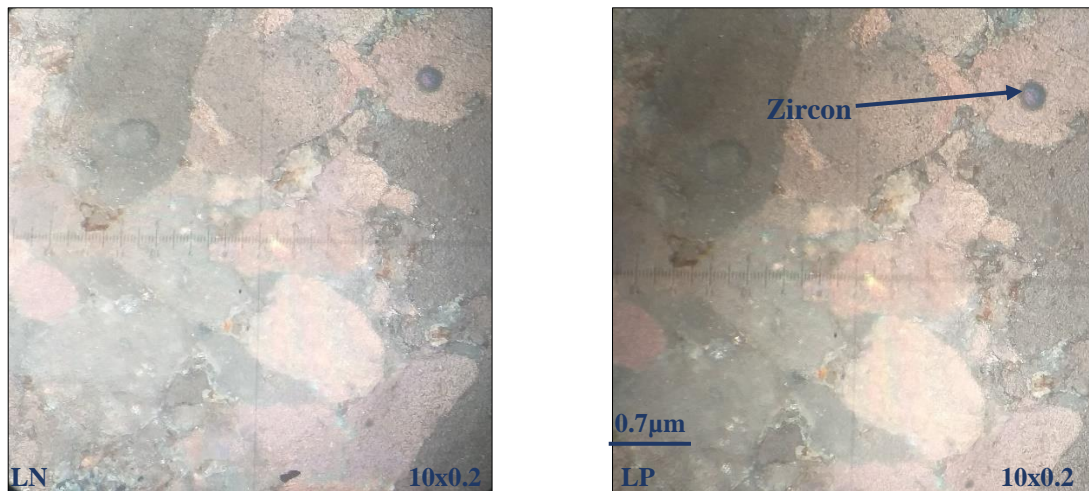
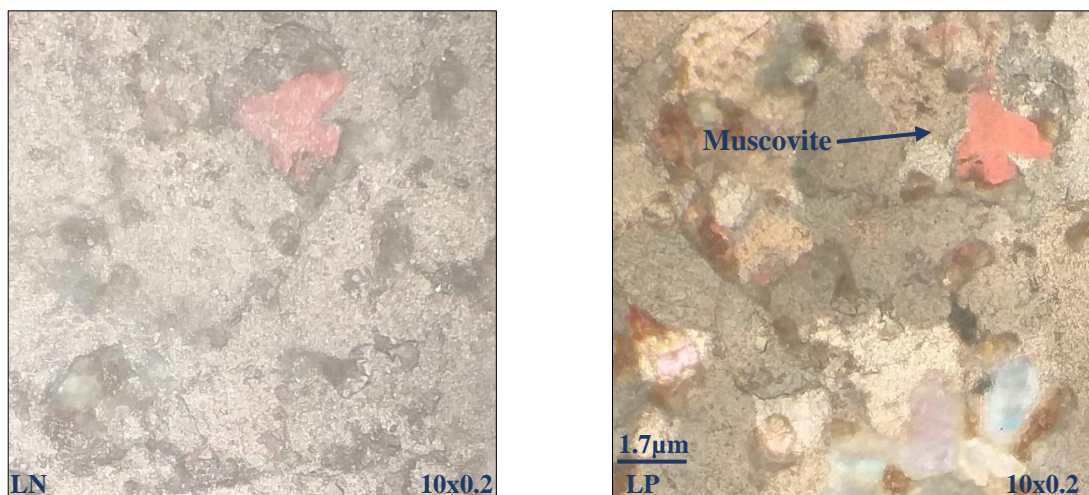


FIG III.5 : Oxydation.

**FIG III.6 :** Zircon.**FIG III.7 :** Muscovite.

II.3. Etude par Loupe Binoculaire

Après l'obtention des résultats de l'étude granulométrique qui se présentent ci-bas dans le tableau III .1, quelques grammes de chaque classe granulométrique sont étudiés par la loupe binoculaire pour voir le comportement des grains de quartz des grès, leur morphologie ainsi que les minéraux associés.


Tableau III.1 : Résultats du tamisage granulométrique.




Echantillon	Granulométrie (µm)	Masse (g)	Masse pour XRF	Masse restante
E ₁	+800 µm	83.41	10.30	73.11
E ₂	630-800µm	7.03	5.07	1.96
E ₃	400-630 µm	57.05	10.07	46.98
E ₄	250 -400 µm	162.11	10.04	152.07
E ₅	160-250 µm	220.19	10.06	210.13
E ₆	140 -160 µm	20.98	10.11	10.87
E ₇	100 -140 µm	129.76	10.06	119.97
E ₈	-100 µm	34.99	10.0	24.99




m Totale = 715.22 g ; m XRF = 80.71g ; m restante = 640.10 g m : masse (g)


-On a procédé à la méthode du tamisage afin d’observer les différents diamètres des grains et les séparer et classer à l'aide des tamis selon leur diamètre.

Tableau III.2 : interprétations des résultats de l’étude par loupe binoculaire.

Figures	Interprétations
<p>x4,5</p> 	<p>+800µm de granulométrie de grès concassé, broyé et tamisé :</p> <p>On observe : des grains de quartz.</p>
<p>FIG III.8 : refus de grès d’une granulométrie +800µm.</p>	

<p>x4</p> 	<p>630-800µm de granulométrie de grès concassé, broyé et tamisé :</p> <p>Dans cette granulométrie on trouve :</p> <ul style="list-style-type: none"> -des gros grains de quartz intact avec une certaine morphologie, avec des facettes et des ongles, de la poudre de silice percolée sur la surface des grains de quartz qui sont vitreux. - des oxydes de Fer.
<p>FIG III.9 : refus de grès d'une granulométrie 630-800µm.</p>	
<p>x4</p> 	<p>400-630µm : de granulométrie de grès concassé, broyé et tamisé :</p> <p>On observe :</p> <ul style="list-style-type: none"> - la poudre de silice est très percolée sur la surface des grains de quartz. - des oxydes de Fer. - grains de quartz.
<p>FIG III.10 : refus de grès d'une granulométrie 400-630µm.</p>	
<p>x3</p> 	<p>250-400µm : de granulométrie de grès concassé, broyé et tamisé :</p> <p>On observe :</p> <ul style="list-style-type: none"> - la poudre de silice est très percolée sur la surface des grains de quartz. - des oxydes de Fer. - grains de quartz.
<p>FIG III.11 : refus de grès d'une granulométrie 250-400µm.</p>	

<p>x4,5</p> 	<p>160-250µm : de granulométrie de grès concassé, broyé et tamisé :</p> <p>On remarque :</p> <ul style="list-style-type: none"> - la présence des grains de mica. - la poudre de silice est percolée sur tous les grains de quartz.
<p>FIG III.12 : refus de grès d'une granulométrie 160-250µm.</p>	
<p>x4,5</p> 	<p>160-140µm : de granulométrie de grès concassé, broyé et tamisé :</p> <p>On trouve :</p> <ul style="list-style-type: none"> - quelque grain de quartz avec un grain de minéral indéterminé. -des oxydes en particule très fines.
<p>FIG III.13 : refus de grès d'une granulométrie 160-140µm.</p>	
<p>x3,5</p> 	<p>100-140µm : de granulométrie de grès concassé, broyé et tamisé :</p> <p>On trouve :</p> <ul style="list-style-type: none"> -des grains de quartz -poudre de silice percolée sur tous les grains.
<p>FIG III.14 : refus de grès d'une granulométrie 100-140µm.</p>	

<p>x4</p> 	<p>-100µm : de granulométrie de grès concassé, broyé et tamisé :</p> <p>On trouve :</p> <p>-Poudre avec quelques grains de quartz.</p>
<p>FIG III.15 : refus de grès d'une granulométrie - 100µm.</p>	

II.4. Etude par Diffraction X

Les résultats d'analyse de diffraction X des deux échantillons du grès siliceux de la matière première naturelle, sont représentés dans les figures suivantes :

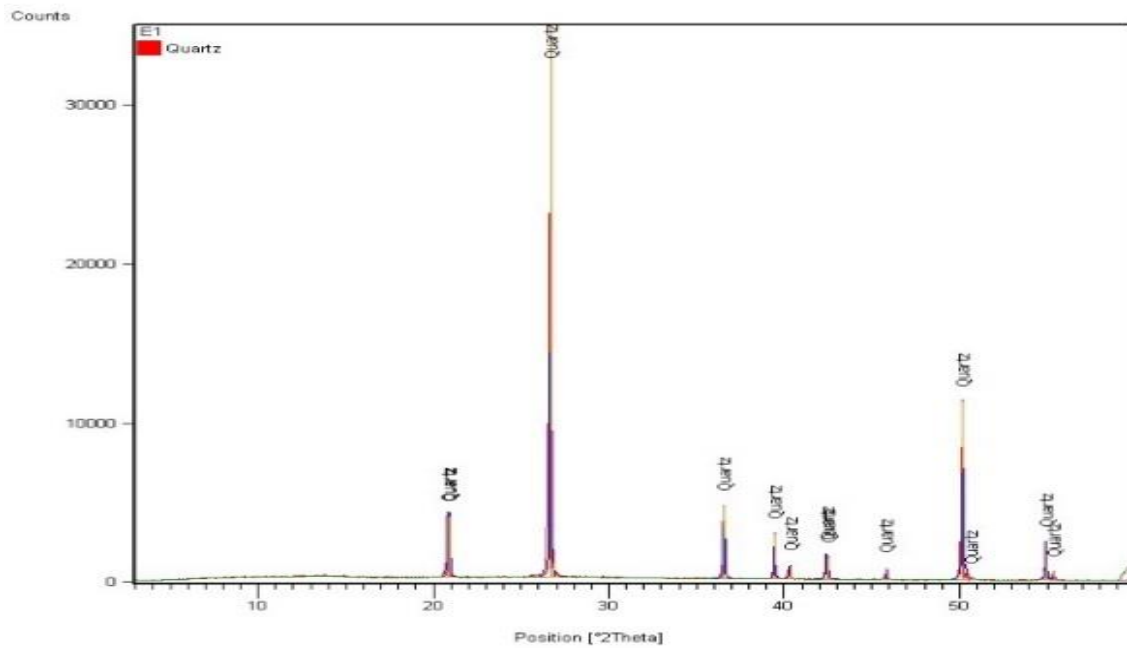


FIG III.16. : Spectre de diffraction X de l'échantillon 01.

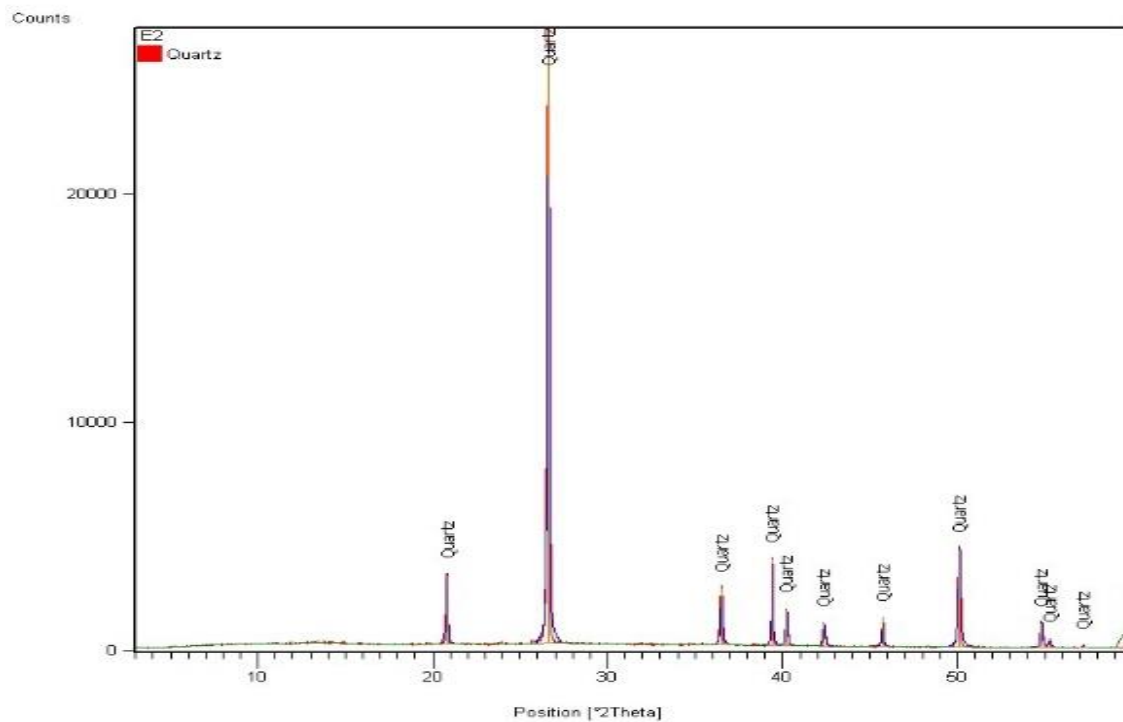


FIG III.17 : Spectre de diffraction X de l'échantillon 02.

Interprétation des résultats du DRX

L'étude minéralogique des échantillons de grès a révélé que les deux échantillons se composent principalement de quartz comme minérale principale, et en quantité très mineure à infime d'oxydes de fer (hématite), de rutile, et d'argile.

II.5. Etude par Fluorescence X

Les résultats de la deuxième étape d'analyse chimique de fluorescence X sur huit échantillons à différentes fractions granulométriques du grès siliceux après le tamisage, sont représentés dans le tableau suivant

Tableau III.3. Résultats d'analyses chimiques de fluorescence X des fractions granulométriques du grès siliceux.

Fraction μm	+800	630-800	400-630	250-400	160-250	140-160	100-140	-100
SiO₂	85.97	79.26	84.81	89.15	86.12	86.12	85.06	85.20
Al₂O₃	3.29	4.25	2.91	2.46	4.31	4.31	3.63	3.86
Fe₂O₃	0.41	0.56	0.27	0.27	0.54	0.54	0.51	0.51
CaO	0.03	0.08	0.07	0.03	0.08	0.08	0.04	0.06
MgO	0.18	0.15	0.12	0.04	0.13	0.13	0.17	0.14
SO₃	0.02	0.06	0.02	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01
K₂O	0.48	0.65	0.35	0.30	0.60	0.60	0.59	0.40
Na₂O	0.07	0.06	0.03	0.02	0.03	0.03	0.05	0.29
P₂O₅	0.02	0.03	0.02	0.01	0.02	0.02	0.00	0.03
TiO₂	1.00	0.68	0.37	0.36	0.98	0.98	0.97	1.03
Cr₂O₃	0.08	0.08	0.05	0.04	0.09	0.09	/	0.13
ZnO	/	0.01	0.00	0.02	0.09	0.09	0.04	0.07
ZrO₂	0.08	0.17	0.06	0.05	0.17	0.17	0.13	0.28
CO₂	9.29	13.83	10.83	7.12	6.72	6.72	8.69	7.88

Interprétation des résultats d'XRF

Les résultats recueillis à partir de l'analyse chimique des différentes fractions granulométriques révèlent des teneurs en SiO₂ variant de 79 à 89 % dans les différentes fractions. Quant aux inclusions ferrifères et d'alumine, les teneurs sont respectivement de 0,27 à 0,54% de Fe₂O₃, et de 2,46 à 4,3% de Al₂O₃ montrent un excès de fer et de l'aluminium dans la matière première qui ne répondent pas aux normes requises dans la plusieurs domaines d'utilisation de la silice pour des meilleures applications.

Les données du tableau III .4 montre que la fraction la plus riche en silice est celle de 250 à 400 μm , elle est aussi la plus faible en Al₂O₃ avec 2.46% et en Fe₂O₃ avec 0.27% pour toutes les classes granulométriques. Ce qui nous a conduit à choisir cette classe (250-400 μm) pour le l'enrichissement par lixiviation, lavage et séparation magnétique, bien détaillé ci-après

Tableau III.4 : Typical silica sand and quartz specifications by market

Type or Application	SiO ₂ minimum %	Other Elements maximum %	Other Elements maximum ppm	Market Size Mtpa	Typical price US\$/tonne
Clear glass-grade sand	99.5	0.5	5,000	>70	US\$30
EMC, LCD and optical glass	99.8	0.2	2,000	2	US\$160 - 400
Intermediate HPQ	99.95	0.05	500	0.75	US\$300 - 600
High grade HPQ	99.99	0.01	100	0.25	US\$500 - 800
Ultrahigh HPQ	99.997	0.003	30	<0.1	US\$5,000 - 8,000
Hyper HPQ	99.999	0.001	10	<0.1	US\$12,000

source: Richard Flook.2014

- HPQ: high purity of quartz.
- Mtpa: million tonnes per annum.
- “High grade”, high purity quartz with <30 ppm is the standard high purity material produced by Unimin Corp. and TQC at Spruce Pine.
- Note 1: Specific other elements may be limited by application, e.g., Fe₂O₃<100 ppm for float glasses and <40 ppm for low iron float glasses.
- Note 2: Generally, “high purity” quartz has Fe₂O₃<15 ppm, Al₂O₃<300 ppm and alkali earth oxides <150 ppm.
- Note 3: In some applications Al₂O₃ can substitute for some SiO₂ e.g up to 1.5% Al₂O₃ in float glass.
- Note 4: Limits can vary according to the composition of other raw materials in the application.

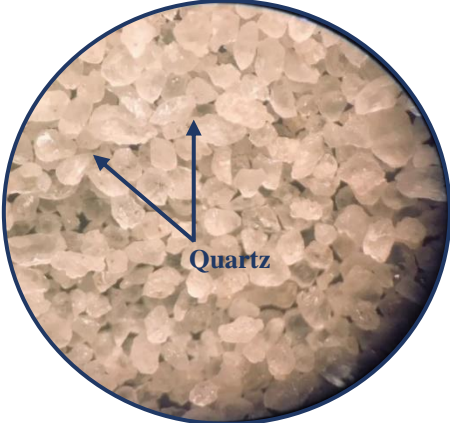
III. Caractérisation du grès après enrichissement (Lixiviation, lavage, et séparation magnétique)

III.1. Etude par la Loupe Binoculaire


La silice observée par la loupe est de classe granulométrique de 250 à 400µm,

Tableau III.5 : Résultats d'étude par la loupe binoculaire.

-Lixiviation avec HCl + lavage.

Figures	Interprétations
<p>x4</p>  <p>The image shows a circular field of view filled with numerous small, light-colored, angular grains. Two blue arrows point to specific grains, with the word 'Quartz' written below them.</p>	<p>la présence quasi-totale des grains de quartz.</p>
<p>FIG.III.18 : grès siliceux de taille comprise entre 250 et 400μm traité avec un lavage +5M de HCl</p>	

-Lixiviation avec HCl.

<p>x4</p>  <p>The image shows a circular field of view with light-colored grains. Two blue arrows point to small, dark spots on the grains, with the word 'Oxyde' written below them.</p>	<p>On remarque la présence de quelques grains d'oxyde de Fer.</p>
<p>FIG.III.19 : grès siliceux de taille comprise entre 250-400μm traité avec 5M de HCl.</p>	

III.2. Etude par Fluorescence X :

Après avoir tamisé le grès, la fraction semble intéressante de taille comprise entre 250 et 400 μ m a subi un lavage, une séparation magnétique et une lixiviation par l'acide chlorhydrique à des différentes concentrations :

-Les résultats de des analyses chimiques par fluorescence X sur sept échantillons du grès siliceux, sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau III.6 : Résultats d'analyses chimiques de fluorescence X des sept échantillons du grès siliceux après enrichissement.

Echantillon	Après séparation magnétique	Après lavage seule	sm+ 2M _{HCl} +lav	sm+ 3M _{HCl} +lav	sm+ 4M _{HCl} +lav	sm+ 5M _{HCl} +lav	sm+ Lavage+ 5M _{HCl} +lav
SiO ₂	95.82	95.43	96.85	96.93	99.28	99.13	97.64
Al ₂ O ₃	0.87	0.59	0.02	0.45	0.02	0.04	0.08
Fe ₂ O ₃	0.13	0.10	0.04	0.11	0.02	0.11	0.06
MgO	0.25	0.23	0.00	0.23	0.00	0.00	0.00
SO ₃	0.01	0.01	0.08	0.01	0.08	0.08	0.08
K ₂ O	0.12	0.07	0.01	0.04	0.01	0.02	0.02
Na ₂ O	0.04	0.03	0.00	0.05	0.00	0.00	0.00
P ₂ O ₅	0.04	0.04	0.02	0.03	0.02	0.02	0.02
TiO ₂	0.24	0.19	0.05	0.15	0.05	0.05	0.07
Cr ₂ O ₃	0.08	0.07	0.21	0.07	0.17	0.26	0.21
ZnO	0.03	0.02	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00
Mn ₂ O ₃	0.07	0.07	0.01	0.08	0.01	0.02	0.01
SrO	0.08	0.08	0.01	0.07	0.01	0.01	0.01

Sm : séparation magnétique

Interprétation des résultats d'XRF

Après le traitement du grès par différents méthodes d'enrichissement, les résultats des analyses de fluorescence X montrent :

- **La séparation magnétique** : on constate une diminution de l'oxyde de Fer et de l'alumine de 0.14% et de 1.59% respectivement, ainsi qu'une augmentation de SiO₂ de 6.07%.
- **Lavage à l'eau** : une diminution de l'alumine de 0.28%, en utilisant un tamis 80µm ce qui a permis davantage d'enlever les argiles <80µm, ainsi qu'une diminution de 0.03% de Fe₂O₃.
- **Lixiviation acide** : lors du traitement du grès à différentes concentrations de HCl, on constate une efficacité de la dissolution des composants métalliques principalement du fer avec l'augmentation de la dose de HCl. La FIG.III.21 montre les résultats du pourcentage de fer retiré, avec une concentration de 2 mol/l, on constate une légère diminution de Fe₂O₃ avec 0,09%, et une élimination de 0.85% d'alumine, Cependant, avec une concentration en HCl de 3 mol/l, on obtient 0,02 et 0.85 % d'élimination de l'oxyde de Fer et de l'alumine.

L'efficacité d'élimination de l'oxyde de fer et d'alumine optimum a été observée, atteignant 0,11% et 0.87% respectivement en raison de 4mol/l. aucune amélioration significative est constatée en augmentant la concentration de HCl à 5 mol/l ; il a été observé une élimination plus lente relativement de 0.02 % et de 0.83% de la teneur en oxyde de fer et en alumine.

Une amélioration notable est aussi observée lors du lavage du grès avant la lixiviation avec HCl de concentration 5 mol/l, une élimination de l'oxyde de fer et de l'alumine 0.07% et 0.79% respectivement.

(Voir FIG.III.20, 21, 22).

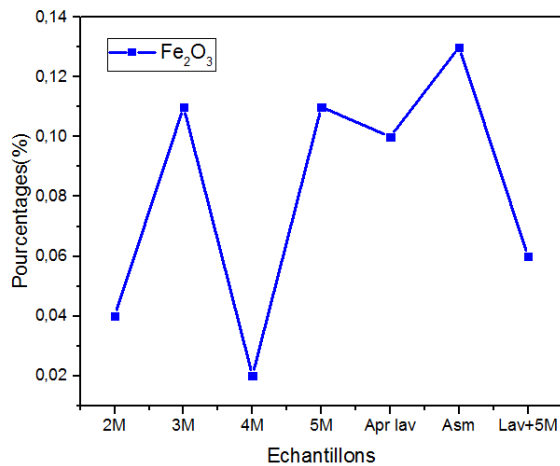
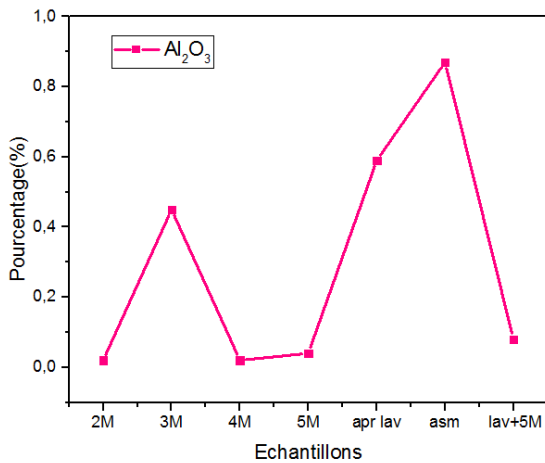


FIG.III.20 : pourcentage de changement de la teneur en Al₂O₃ après enrichissement

FIG.III.21 : pourcentage de changement de la teneur en Fe₂O₃ après enrichissement

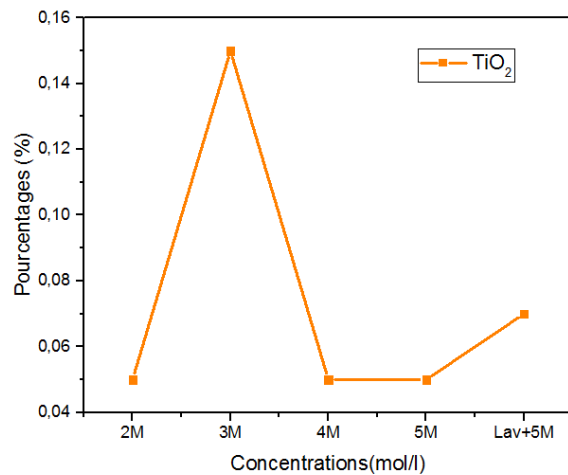


FIG III.22 : pourcentage de changement de la teneur en TiO₂

III.3. Comparaison chimique de l'input et l'Output

Pendant le plan de caractérisation de la matière première du grès, on s'est basée principalement sur sa composition chimique avant et après le traitement d'enrichissement.

La comparaison chimique entre l'input et l'output est représentée dans le tableau suivant :

Tableau III.7 : Comparaison chimique de l'input et l'Output.

<i>Composant</i>	<i>L'input</i>	<i>L'output</i>	<i>Taux</i>
<i>SiO₂</i>	89.15	99.28	Aug avec 10.13%
<i>Al₂O₃</i>	2.46	0.02	Dim avec 2.44%
<i>Fe₂O₃</i>	0.27	0.02	Dim avec 0.25%
<i>Na₂O</i>	0.02	0.00	Dim avec 0.02%
<i>MgO</i>	0.04	0.00	Dim avec 0.04%

De ce tableau, on remarque :

Une bonne augmentation de teneur de SiO₂ après le traitement d'enrichissement avec l'acide chlorhydrique HCl, et d'une diminution du fer, alumine, oxyde de sodium, et de l'oxyde de magnésium.

III.4. Comparaison minéralogique de l'input et l'Output

Durant l'étude caractéristique, on a procédé à la composition minéralogique de la matière première,

Avant le traitement (l'input) : le grès siliceux se compose essentiellement du quartz, et quelques grains du mica noir, d'oxydes et des argiles.

Après le traitement d'enrichissement avec le HCl (l'output) : la composition minéralogique du grès siliceux est principalement du quartz (SiO₂). Cependant, on peut dire que, les impuretés associées à la silice ont été dissociés durant le traitement avec l'acide chlorhydrique

III.5. Le taux d'enrichissement de la matière

Les résultats obtenus et leurs interprétations de la caractérisation chimique et le traitement d'enrichissement du grès siliceux étudiée ont donné du bon concret, sa pureté est satisfaisante est de l'ordre, pratiquement de 99.28% SiO₂, sans négligé la présence de quelques impuretés comme l'oxyde de fer et l'alumine qui nécessite une élimination radicale pour des meilleurs applications pour les multiples procédés de matière première.

(Voir FIG.III.23).

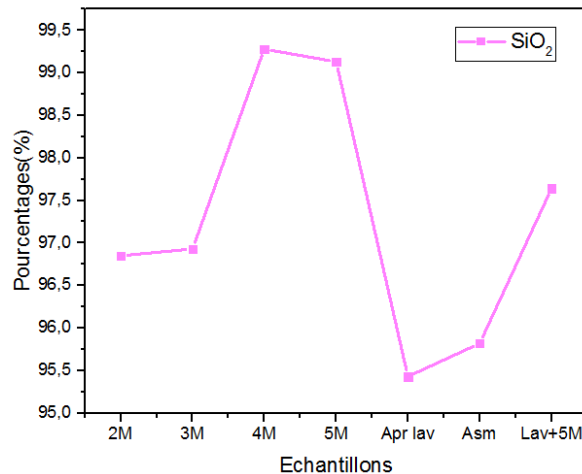


FIG.III.23 : pourcentage d'évolution de SiO_2 .

III.6. Valorisation des grès étudiés

Après les techniques de caractérisations effectuées, la matière première de grès n'avait pas atteint la teneur demander par l'électroméallurgie pour la fabrication du silicium métal, d'où la nécessité d'enrichissement chimique par lixiviation en utilisant HCl.

Les résultats sont optimums, un taux élevé de silice soit 99.28% en SiO_2 depuis une matière première qui dispose à 89% de silice, qui n'était pas suffisante pour être utilisée en tant que matière première pour la photovoltaïque. La réduction de fer et d'alumine appuis l'utilisation de ce grès dans cette application de pointe.

III.7. Protocole des synthèses

III.7.1. Protocole du prétraitement

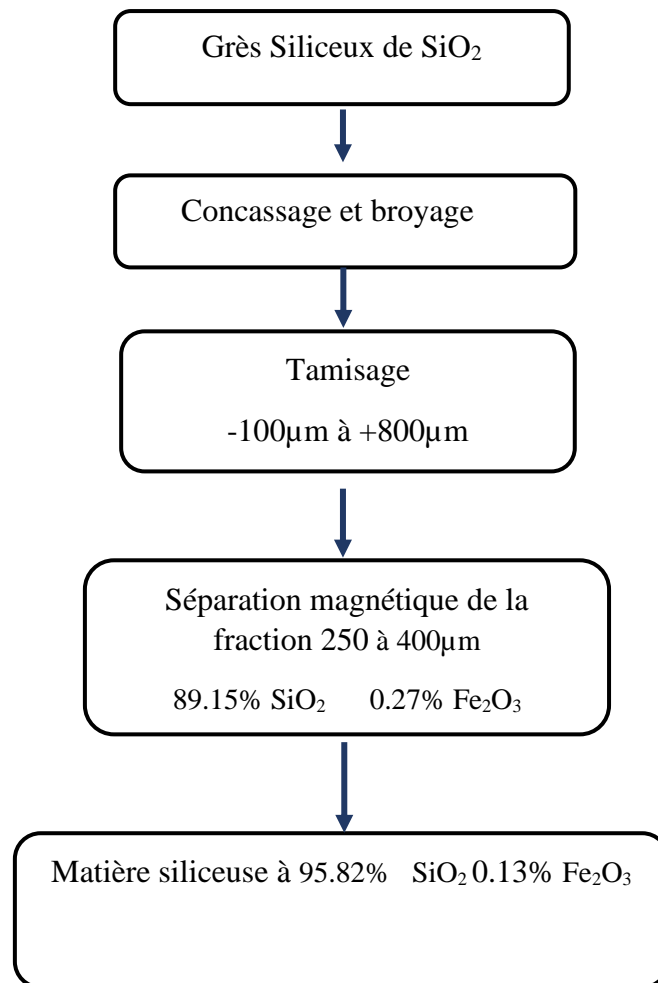


FIG.III.24 : Protocole du prétraitement du grès siliceux étudié.

III.7.2. Protocole de lixiviation acide avec HCl

E₁ : Echantillon de 2 M E₃ : Echantillon de 4M E₅ : Echantillon lavage + 5M
 E₂ : Echantillon de 3M E₄ : Echantillon de 5M

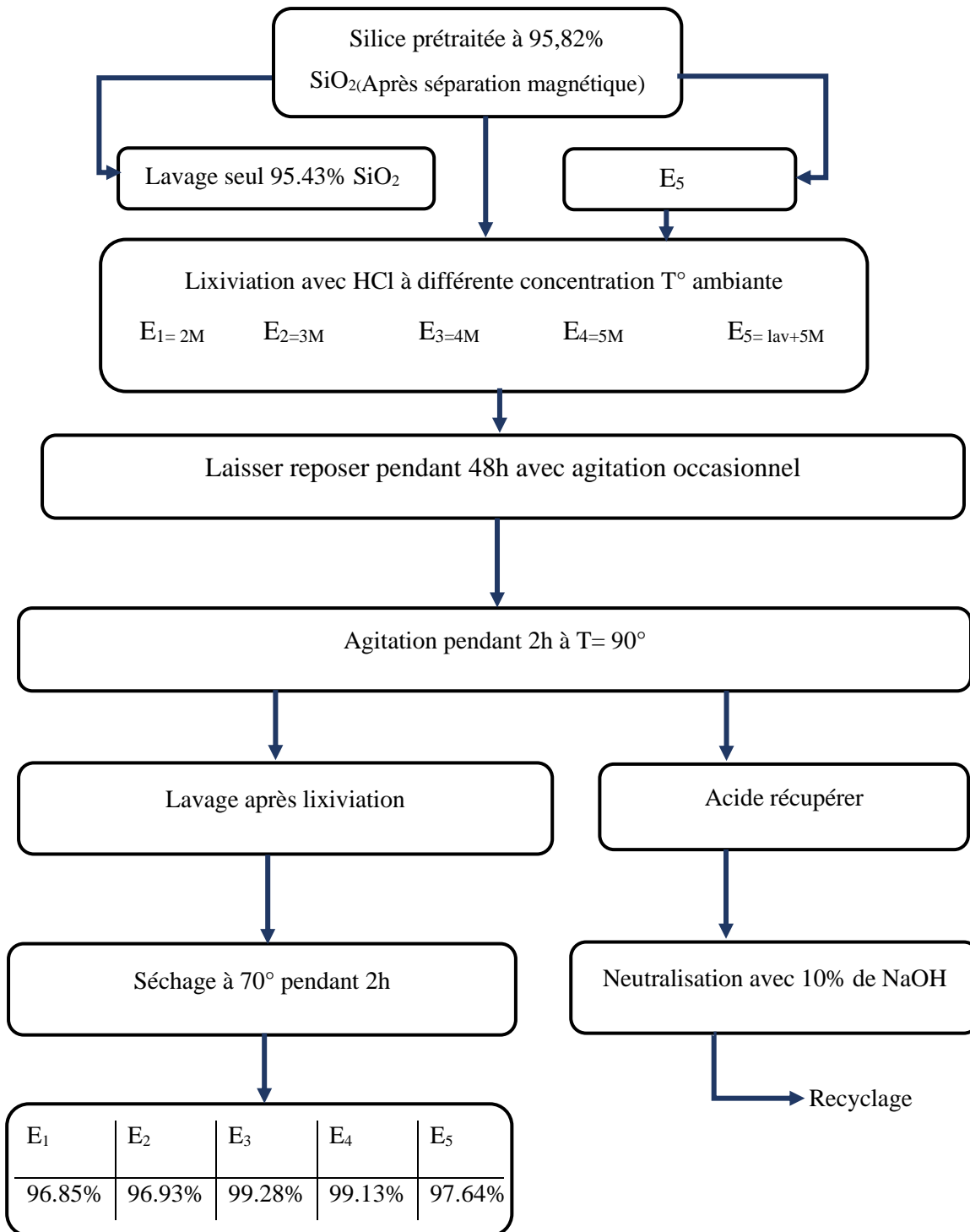


FIG III.25 : Protocole d’enrichissement du grès par lixiviation acide avec du HCl.

III.7.3. Protocole générale

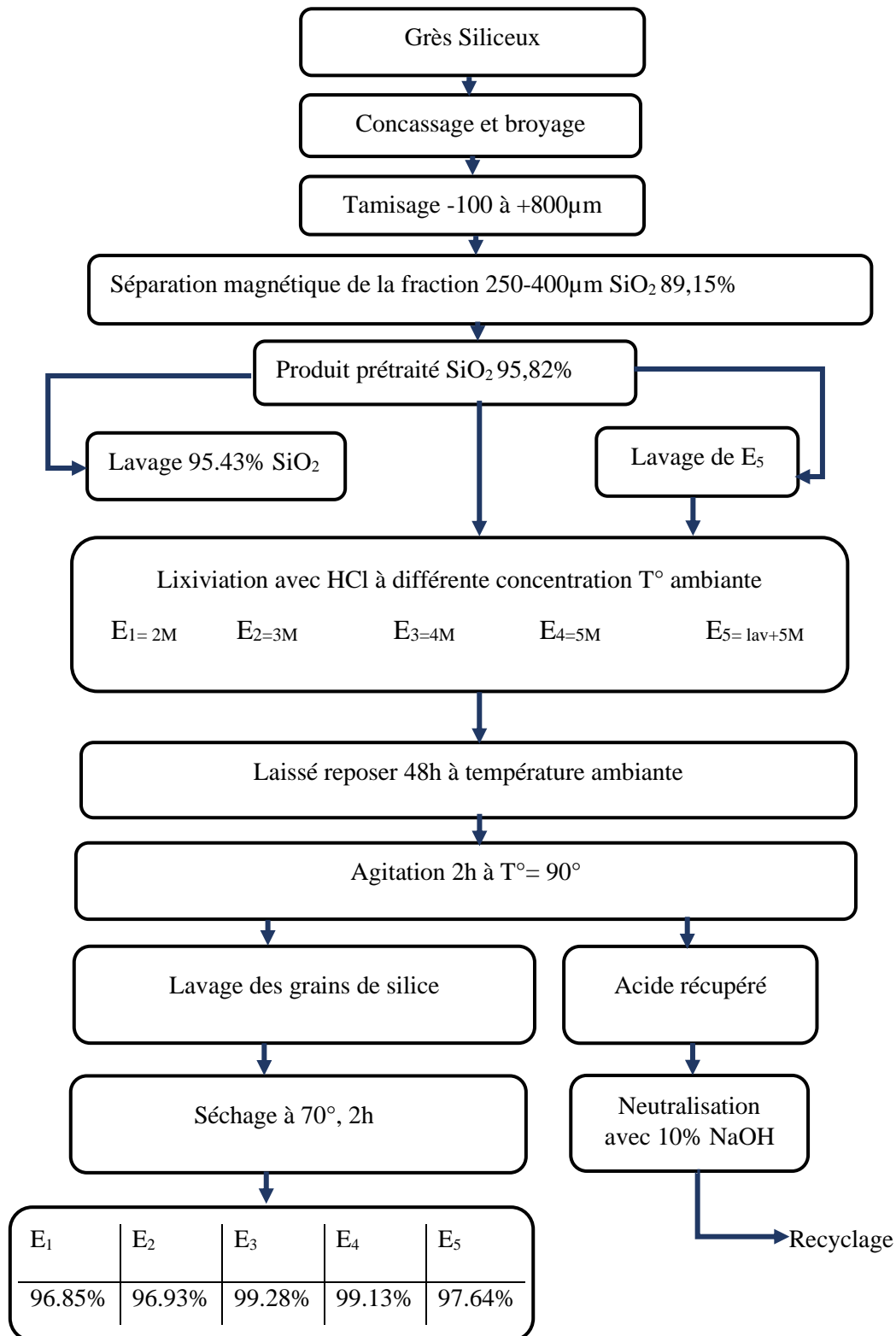
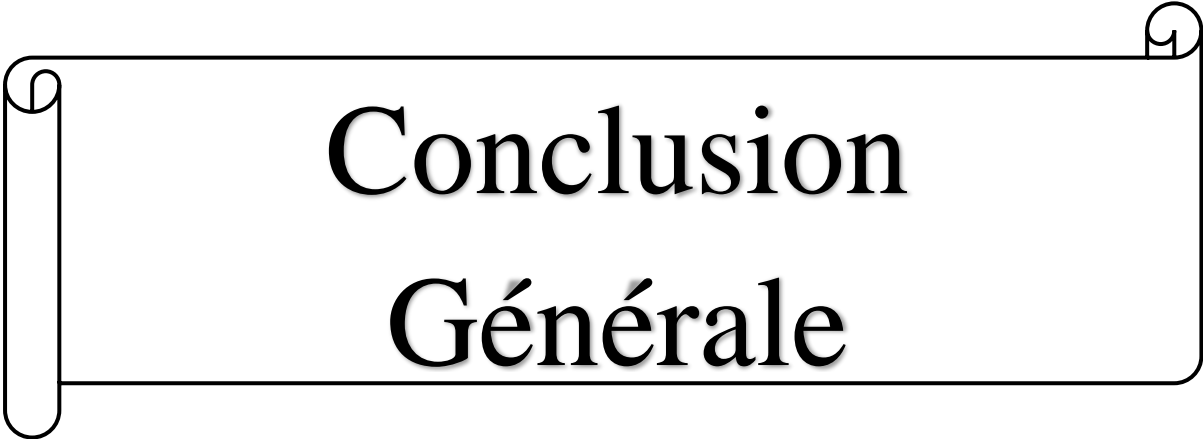


FIG III.26 : Protocole générale d'enrichissement du grès siliceux

IV. Conclusion

L'étude de caractérisation de la matière première menée sur le grès étudié a révélé la présence du grès quartzeux à teneur moyennement de silice. Les analyses par fluorescence X mettent en évidence une concentration initiale de SiO_2 de 89.15%, associée à d'autres oxydes de fer, oxydes d'aluminium et autres fines impuretés. Le taux de ces dernières à diminuer après un procédé de traitement d'enrichissement avec lixiviation chimique en utilisant HCl de concentration 4mol/l, dont les résultats finals montrent une teneur de 99.28% en SiO_2 , avec la présence de quelques éléments nuisibles.

A decorative border resembling a scroll, with a vertical line on the left and curved ends at the top and bottom, framing the text.

Conclusion Générale

Conclusion Générale

Les grès sont des matériaux siliceux abondants en Algérie, nous les retrouvons dans plusieurs localités présentant des avantages économiques par la disponibilité et la facilité d'extraction de cette matière.

L'objectif principale de ce travail est d'étudier la silice pure Algérienne destinée à la fabrication des produits à haute valeur ajoutée notamment les panneaux photovoltaïques.

Cette étude multidisciplinaire sur le grès siliceux prélevé de la wilaya de Tizi-Ouzou s'est focalisée sur la caractérisation, le traitement, et l'enrichissement de cette matière naturelle.

Pour ce faire, la présente étude a fait l'objet de plusieurs investigations par différentes techniques de caractérisations du jour telle que : la microscopie métallographique, l'XRF, DRX, la séparation magnétique, ainsi que le tamisage pour l'étude granulométrique.

Les résultats obtenus de l'étude granulométrique sur le grès quartzeux, ont bien montré la granulométrie idéale est de 250 à 400 μ m pour obtenir une meilleur teneur en SiO₂ qui est 89.15%. Cette classe est choisie pour l'enrichissement par la méthode lixiviation en utilisant l'acide chlorhydrique HCl.

Les résultats finals des échantillons de la granulométrie 250-400 μ m, issus du procédé d'enrichissement chimique qu'on a élaboré ont révélés que la teneur en silice est de 99.28%. Les impuretés sont réduites considérablement de 0.27% à 0.02% pour Fe₂O₃, de 2.46 % à 0.02% pour Al₂O₃, et le TiO₂ de 0.36% à 0.05%.

Une telle concentration de la silice semble très intéressante pour destiner ce grès à une application de forte valeur ajoutée tel que le photovoltaïque,

Afin de garantir une application exclusive à l'électrometallurgie, des recherches sur d'autres gisements de silice ultras-pure sur le territoire Algériens est nécessaire, vu que cette industrie est totalement absente en Algérie.

Aussi, le développement d'autres techniques d'enrichissement sont aussi indispensables pour des traitements adéquats, non coûteux et sain vis-à-vis l'environnement afin d'obtenir la pureté requise. Ce travail devra suivre par une étude techno-économique qui définira la rentabilité du procédé réalisé pour obtenir une silice pure destinée à l'énergie verte.

ANNEXES

Annexe 01 :

Principe de fonctionnement du Broyeur à billes Pulverisette :

Le Broyeur à billes Pulverisette du laboratoire de chimie de l'Université de Mouloud Mammeri à TIZI-OUZOU (UMMTO), est de marque FRITSCH.

Le micro-broyeur à vibrations PULVERISETTE de FRITSCH broie l'échantillon par effet d'impact et de friction, en ce sens que le mortier est mis en vibration de façon électromagnétique et que le matériau à broyer transfère la vibration au boulet de broyage. Au début du processus de broyage, les grosses particules sont broyées par l'impact de la boule de broyage. La fraction fine est ensuite broyée par friction grâce au mouvement de culbutage de la bille de broyage lorsque l'oscillation s'arrête. L'énergie d'impact de la bille de broyage est librement réglable et peut ainsi être adaptée avec précision à l'échantillon à broyer. Le micro broyeur vibrant est fourni en standard avec un couvercle de broyage. Les mortiers et les billes de broyage sont proposés en 6 matériaux différents et peuvent être commandés comme accessoires. La PULVERISETTE peut également être transformée en tamiseuse à vibrations ANALYSETTE 3 SPARTAN pour le tamisage à sec et à l'eau. Convient aux échantillons de matériaux de moyennement durs, cassants, sensibles à la température, humides. Le micro broyeur est caractérisé par : réduction de taille efficace dans un étroit, gamme de taille de particules homogène, broyage sans perte dans une cuve fermée - broyage à sec ou en suspension, broyage cryogénique et fragilisation simple dans la cryoboîte, broyage et tamisage en une seule unité, prévention de l'agglomération.

Annexe 02 :

Principe de fonctionnement du microscope optique métallographique polarisant :

Le microscope optique métallographique polarisant de l'école normale supérieure (ENS) – Kouba, est de marque ZEISS.

Le microscope polarisant reste l'outil de travail essentiel des pétrographes. Son emploi permet de reconnaître les divers éléments constitutifs des roches et d'étudier leurs caractères, de définir leurs rapports mutuels (texture) et leur orientation (fabrique), et surtout de déterminer avec précision les minéraux, même de très petites dimensions. Les échantillons doivent être taillés en lames de 0,03 mm d'épaisseur, collées entre lame et lamelle de verre ; la plupart des minéraux deviennent alors transparents. Ces « lames minces » sont examinées au microscope polarisant, qui diffère du microscope ordinaire par : l'interposition d'un polariseur entre la source lumineuse et la préparation et d'un analyseur escamotable entre l'objectif et l'oculaire ; une platine graduée tournant autour de l'axe de l'appareil et sur laquelle on peut adapter une

ANNEXES

platine théodolite permettant d'orienter la lame dans une direction connue de l'espace. Le polarisateur transforme la lumière ordinaire en lumière polarisée, vibrant transversalement dans une seule direction (par exemple dans le plan de symétrie de l'appareil). En lumière simplement polarisée (dite parfois « naturelle »), on peut observer : les caractères cristallographiques des sections (formes, clivages, inclusions...), le « relief » (lié à l'indice de réfraction), la teinte, le pléochroïsme (variation de la teinte selon l'orientation du cristal par rapport à la direction des vibrations lumineuses). Si l'on introduit l'analyseur orienté à 90° (« nicols croisés »), des phénomènes chromatiques apparaissent généralement si le minéral n'est pas isotrope (auquel cas aucune lumière n'est transmise, le minéral restant « éteint » pour toute position). Les rayons incidents se dédoublent dans le cristal en deux rayons polarisés à angle droit, cheminant à des vitesses différentes ; l'analyseur n'accepte que les composantes situées dans son plan de vibration ; il y a donc interférences. Il en résulte des teintes de polarisation dépendant de la biréfringence du minéral, variable selon l'orientation de la section, mais présentant une valeur maximale caractéristique. Par ailleurs, l'intensité varie lorsqu'on fait tourner la platine : pour quatre positions à 90°, il y a extinction, et intensité maximale à 45° de celles-ci ; l'angle d'extinction, par rapport à des éléments cristallographiques, est caractéristique. Enfin, des « lames auxiliaires » permettent de définir le signe d'allongement : \pm dans la direction de plus faible vitesse (correspondant au plus grand indice), — dans le cas contraire. L'interposition d'un « condenseur », aux forts grossissements, fait apparaître des phénomènes nouveaux : croix noire ou branche d'hyperbole dans les sections perpendiculaires aux axes optiques. Cela permet de définir la nature et la position de l'ellipsoïde des indices, donc l'uniaxialité ou la biaxialité, et le signe optique, ainsi que l'angle des axes optiques. Dans une lame mince, chaque minéral apparaît ordinairement en plusieurs sections d'orientations diverses ; il faut rechercher des sections particulières dans lesquelles on peut observer et mesurer les caractères spécifiques de l'espèce permettant, grâce à des tables, une détermination précise.

Annexe 03 :

Principe de fonctionnement de l'appareil de fluorescence X (XRF):

L'appareillage de fluorescence X (XRF) du centre de recherche et d'analyses physico-chimique (CRAPC) de Bousmail, est un appareil de marque RIGAKU.

L'équipement qui existe au CRAPC est dispersif en longueur d'onde (WDS) dans ce type d'équipement, pour identifier les différents rayons X émis par l'échantillon on intercale sur leur trajet un cristal analyseur. L'appareil utilise la propriété des solides cristallins pour

ANNEXES

pouvoir diffracter les rayons X dans certaines conditions. Un solide cristallin peut être vu comme la répétition périodique tridimensionnelle d'éléments (atomes ou molécules) et être caractérisé par des plans réticulaires espacés d'une distance d passant par les centres de ces éléments. Afin de pouvoir déterminer la concentration massique de chaque élément chimique contenu dans un échantillon à partir de la mesure de l'intensité des raies diffractées, il est nécessaire d'avoir préalablement effectué un étalonnage du spectromètre.

Annexe 4

Principe de fonctionnement de l'appareil de diffraction X (DRX) :

L'appareillage de diffraction X (DRX) du centre d'études et de services technologiques de l'industrie des matériaux de construction (CETIM) de Boumerdes, est un appareil de marque PANalytical.

Les faisceaux de Rayons X produits par le tube sont envoyés sur l'échantillon dans lequel ils sont déviés par les atomes. Ces faisceaux diffractés interfèrent entre eux, conduisant à la production d'un signal intense dans certaines zones précises de l'espace. C'est ce signal qui est collecté par le détecteur, et tracé sous forme d'une courbe (diffractogramme) qui présente des pics à des angles bien spécifiques de diffraction. La position de ces pics est une véritable signature de l'arrangement des atomes à l'intérieur d'un cristal (distance entre atomes, entre plans intra cristallins). La relation empirique qui relie les angles auxquels sont observés les pics et les distances entre plans atomiques est la loi de Bragg. La diffraction des rayons X permet de distinguer des produits ayant la même composition chimique mais dont les arrangements atomiques diffèrent. Par exemple, les carbonates de calcium comme la calcite et l'aragonite, de même formule chimique (CaCO_3), ont des diagrammes de diffraction différents. En revanche, les phases de nature chimique différente mais dont les atomes sont organisés selon le même arrangement présentent de grandes similitudes, à savoir des pics de diffraction localisés aux mêmes positions angulaires. Dans un mélange, il est possible de déterminer la nature de chacune des phases cristallines en présence, sous réserve de connaître préalablement la signature de chacune de ces phases. La procédure d'identification se fait en deux étapes, la première consiste à comparer les pics obtenus avec ceux contenus dans une base de données qui comprend plusieurs centaines de milliers de fiches. Cette étape est suivie par une étape de validation au vu de la composition chimique. La validation est effectuée par l'utilisateur qui doit avoir une bonne connaissance de l'échantillon, afin de lever les ambiguïtés et les confusions.

ANNEXES

Annexe 05 :

Principe de fonctionnement de la Loupe Binoculaire:

La loupe binoculaire de l'école nationale supérieure des sciences de la mer et de l'aménagement de littoral (ENSSMAL)-Dely Brahim, est de marque OPTECH (optical technology).

Installer la loupe binoculaire. La potence doit être face à vous. Régler l'écartement des oculaires en fonction de vos yeux, en les faisant pivoter sur les côtés. Remonter au maximum l'ensemble optique avec la vis de réglage. Placer l'objet à observer. Placer l'objet sur la platine en choisissant la face noire pour des objets clairs ou la face blanche pour des objets foncés. Placer la lampe de façon à éclairer la platine. Faire la mise au point. Regarder avec les deux yeux et effectuer la mise au point en tournant la vis de réglages jusqu'à obtention d'une image nette. Si la mise au point ne peut pas être faite, faire tourner la vis de potence pour augmenter ou diminuer la distance entre l'objet et l'objectif. Calcul du grossissement. Grossissement de l'objectif x grossissement de l'oculaire. Ranger la loupe binoculaire. Eteindre la lampe, la débrancher et enrrouler le fil autour. Enlever l'objet de la platine.

Annexe 06:

Principe de fonctionnement du séparateur magnétique :

Le séparateur magnétique de l'Office National de Recherche Géologique et Minière (ORGM) de Boumerdès, est de marque CARPCO.

Un séparateur magnétique est constitué d'un aimant puissant qui est placé ou suspendu à un plafond ou à un appareil. Les matériaux peuvent être passés sur un séparateur magnétique de table, tandis que les séparateurs magnétiques suspendus pendent souvent sur un matériau pour éliminer ses impuretés. Les séparateurs magnétiques peuvent également être des cylindres traversés par des objets. Le matériau qui purifie un séparateur magnétique peut être sous forme de pièces, d'un produit fini ou même d'un métal liquide. Ainsi, un séparateur magnétique se caractérise par : Etre une excellente machine pour séparer les matériaux magnétiques des concentrés. Elimine les minéraux magnétiques naturels tels que la magnétite, ainsi que les limailles d'acier des matériaux de traitement des métaux et les particules de fer. Enlever les concentrés magnétiques comme l'or, parce qu'il permet à l'or de récupérer beaucoup plus facilement.

Caractéristiques de quelques minéraux de grès.

Le quartz :

Description : Le quartz est un minéral naturel composé principalement de silice (SiO₂).

Propriétés : Neutre, subangulaire naturellement et teinte beige, gris clair.

Analyse chimique :

- SiO₂ > 96%
- Al₂O₃ Max 2%
- Na₂O 0,33%
- CaO 0,83%
- Fe₂O₃ 0,25%
- K₂O 0,86%
- MgO 0,27%

Caractéristiques physiques :

- Densité réelle 2.65 gr/cm³
- Densité apparente +/-1.5 T/m³
- Dureté 7 Mohs

Applications possibles :

- Réalisation sols industriels (anti-usure)
- Filtration d'eau
- Sablage
- Toutes sortes d'applications dans la construction et dans la chimie de la construction.

Figures représentent le Quartz.



ANNEXES

La biotite :

La biotite est un minéral, du groupe des silicates, sous-groupe des phyllosilicates de la famille des micas.

Elle forme une série avec le phlogopite. De formule idéale $K (Mg, Fe)_3(OH, F)_2(Si_3AlO_{10})$ avec des traces de : Mn ; Ti ; Li ; Ba ; Na ; Sr ; Cs ; Fe ; Cl.

Caractéristiques principales de la biotite :

L'un des minéraux les plus connus du groupe des biotites est le mica. Bon nombre des minéraux caractéristiques, nous avons les suivantes :

La formule chimique du mica $K (Mg, Fe)_3(AlSi_3O_{10}) (OH, F)_2$.

Ces minéraux semblent généralement attachés à des roches ignées ou métamorphiques. On trouve beaucoup de mica dans les granits, en dehors des feldspaths.

L'aspect de ce minéral est très particulier car il présente des formes de liaisons et de couches qui se superposent les unes aux autres.

Les couleurs prédominantes dans la biotite ils sont généralement arrêtés avec des nuances entre le vert et le noir.

Concernant sa dureté, on constate que sur l'échelle de Mohs il a une valeur comprise entre 2,5 et 3. Sa densité est de 3,09.

Il est assez facile de se différencier des autres minéraux si l'on regarde exactement sa couleur sombre et sa transformation au moyen de plaques.

Composition : Un silicate de potassium magnésium-fer-aluminium, essentiellement

$K (Mg, Fe)_3(AlSi_3O_{10}) (F,OH)_2$

Caractéristiques diagnostiques : Caractérisé par son clivage micacé et sa couleur foncée

Formule chimique de la biotite avant oxydation :

La formule est : $K (Mg, Fe)_3(AlSi_3O_{10}) (F,OH)_2$

Formule chimique de la biotite après oxydation :

La formule est : $(Mg, Fe)_2(Si, O_4)$

Propriétés physiques:

Densité (g/cm ³)	2,80 - 3,40
Dureté de Mohs	2,50 - 3,00
Magnétisme	Non
Radioactivité	Oui

ANNEXES


Propriétés chimiques :

Formule	$K (Mg, Fe)_3(AlSi_3O_{10}) (OH, F)_2$.
Formule empirique	$KMg_{2.5}Fe_{0.5}AlSi_3O_{10}(OH)_{1.75}F_{0.25}$
Oxygène O	43.36 %
Silicium Si	19.44 %
Magnésium Mg	14.02 %
Potassium K	9.02 %
Fer Fe	6.44 %
Aluminium Al	6.22 %
Hydrogène H	0.41 %
Masse volumique (g.mol ⁻¹)	433.53

Propriétés structurales:

System cristallin	Monoclinique
Clivage	{001} Parfait

Propriétés optiques:

Trait	Gris
Éclat (lustre)	Vitreux (Verreux) Vitreux - Nacré
Transparence T 	Transparent Translucide Opaque

Figures representent la Biotite.



ANNEXES

Le Fer :

Le fer est un élément chimique, de symbole Fe. C'est le métal de transition et le matériau ferromagnétique le plus courant dans la vie quotidienne et le plus important pour son utilisation industrielle, blanc-gris, tenace, ductile, malléable et magnétique, surtout sous forme d'alliages, d'aciers et de fontes.

Caractéristiques :

- Numéro atomique : 26
- Masse atomique : 55,847
- Température de fusion : 1 535 °C
- Pigments : Oxyde de fer et charges minérales
- Masse volumique : 7,87 g/cm³
- Composants solides : 75% en poids
- Poids spécifique : Environ 1,5 g/ml
- Brillance : Brillant satiné
- Teinte : Brun rouge
- Point d'éclair : Environ 38°C
- Bonnes propriétés antirouille
- Application facile au pinceau
- Haut pouvoir couvrant

Figures représentent le Fer.



ANNEXES

La muscovite :

La muscovite est un minéral du groupe des silicates (sous-groupe des phyllosilicates). C'est un silicate hydroxylé d'aluminium et de potassium, de composition $KAl_2(AlSi_3O_{10})(OH,F)_2$ avec des traces de Cr, Li, Fe, V, Mn, Na, Cs, Rb, Ca, Mg et H₂O. C'est le minéral le plus commun du groupe des micas ; Il forme une série avec la céladonite d'une part et avec la paragonite d'autre part. Des cristaux géants peuvent atteindre 4,5 m et 77 t3.

Les caractéristiques :

Classification chimique : Silicate.

Composition chimique : $K Al_2(Si_3 AlO_{10})(OH)_2$.

Couleur : blanc, gris argent, vert, jaune, brun, violet, rose, rouge, incolore.

Échelle de Mohs : 2.5.

Trait : incolore à blanc.

Éclat : vitreux, nacré, soyeux.

Densité : 2,8 – 3.

Solubilité : Insoluble dans les acides.

Diaphanéité : Transparent à translucide.

Clivage : Parfait.

Propriétés diagnostiques : Clivage, couleur, transparence.

Système de cristal : Monoclinique.

Figures representent la muscovite.



ANNEXES

Le zircon :

Le zircon est un minéral du groupe des silicates, sous-groupe des nésosilicates. De composition $ZrSiO_4$, c'est un silicate de zirconium naturel. Ses cristaux font partie des pierres fines de la joaillerie. Le terme de zircon est parfois utilisé à tort pour désigner la zircone, l'oxyde de zirconium de composition ZrO_2 .

Caractéristique :

Nom IUPAC : orthosilicate de zirconium

Formule chimique : $ZrSiO_4$

Couleur : vert, marron, jaunâtre peut être rendu transparent, doré ou bleu

Clivage : imparfait selon {0001}

Cassure : conchoïdale

Échelle de Mohs : 6,5-7,5

Trait : gris clair, blanc

Éclat : adamantin, chatoyant ou saccharoïde

Transparence : translucide à opaque

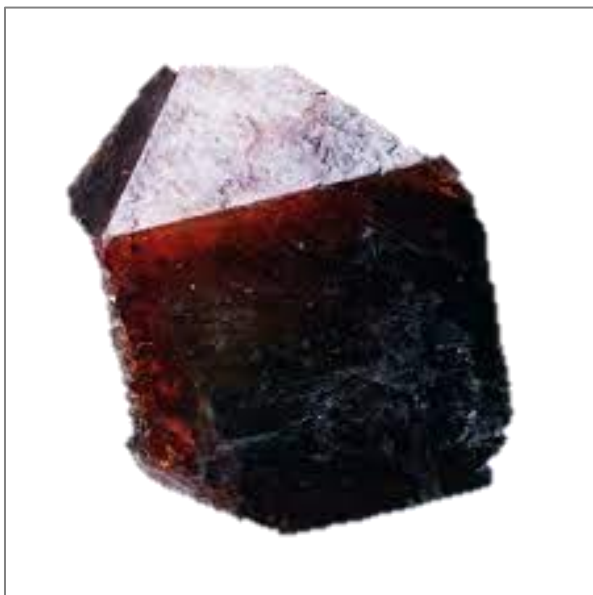
Densité : 3,9-4,8

Température de fusion : vers 2 550 °C

Fusibilité : infusible

Solubilité : insoluble

Figures représentent le zircon.



Résumé :

La silice (SiO_2), représente un composant principal utilisé dans de diverses applications telles que la fabrication des cellules photovoltaïques, fibre de verre. Malgré cette importance, l'utilisation de la silice en Algérie reste limitée en raison de la qualité du matériau qui renferme des inclusions minérales d'oxydes indésirables. C'est le cas de notre matière étudiée de grès siliceux de la wilaya de Tizi-Ouzou, où la présence d'impureté notamment l'oxyde de fer et l'oxyde d'aluminium limitent industriellement l'utilisation de cette silice pour la production des matériaux avancés.

Dans le présent travail, on a mis en valeur l'utilisation potentielle de la silice brute à forte valeur ajoutée en tant que matière première destiné au domaine photovoltaïque. En premier lieu, nous avons procédé à la caractérisation approfondie des échantillons de grès siliceux, par différentes techniques de caractérisation qualitatives et quantitative de microscope métallographie, de DRX, et XRF.

Les résultats ont montré que les différents échantillons caractérisés ont une pureté en dioxyde de silicium (SiO_2) assez élevée allant en moyenne de 89.15% à 99.28%, avec la présence des différents types de défauts, entre autres, microstructuraux, à savoir les inclusions minérales comme des argiles et des oxydes de fer.

Afin d'éliminer les impuretés et augmenter la concentration en SiO_2 , on a procédé à un processus de traitement et d'enrichissement par des différentes techniques telles que, le fractionnement granulométrique, la séparation magnétique, le lavage, la fluorescence X, et la lixiviation acide HCl. Les résultats sont encourageant et montrent que le traitement par le processus choisi a permis d'augmenter le pourcentage de silice jusqu'à une valeur de 99.28%, et réduire le taux d'impureté de fer à 0.02%, et d'alumine à 0.04%, des valeurs comparables aux grès utilisé en matériaux avancé.

Mots clés : silice, grès, photovoltaïque, séparation magnétique, lavage, lixiviation acide.

Abstract:

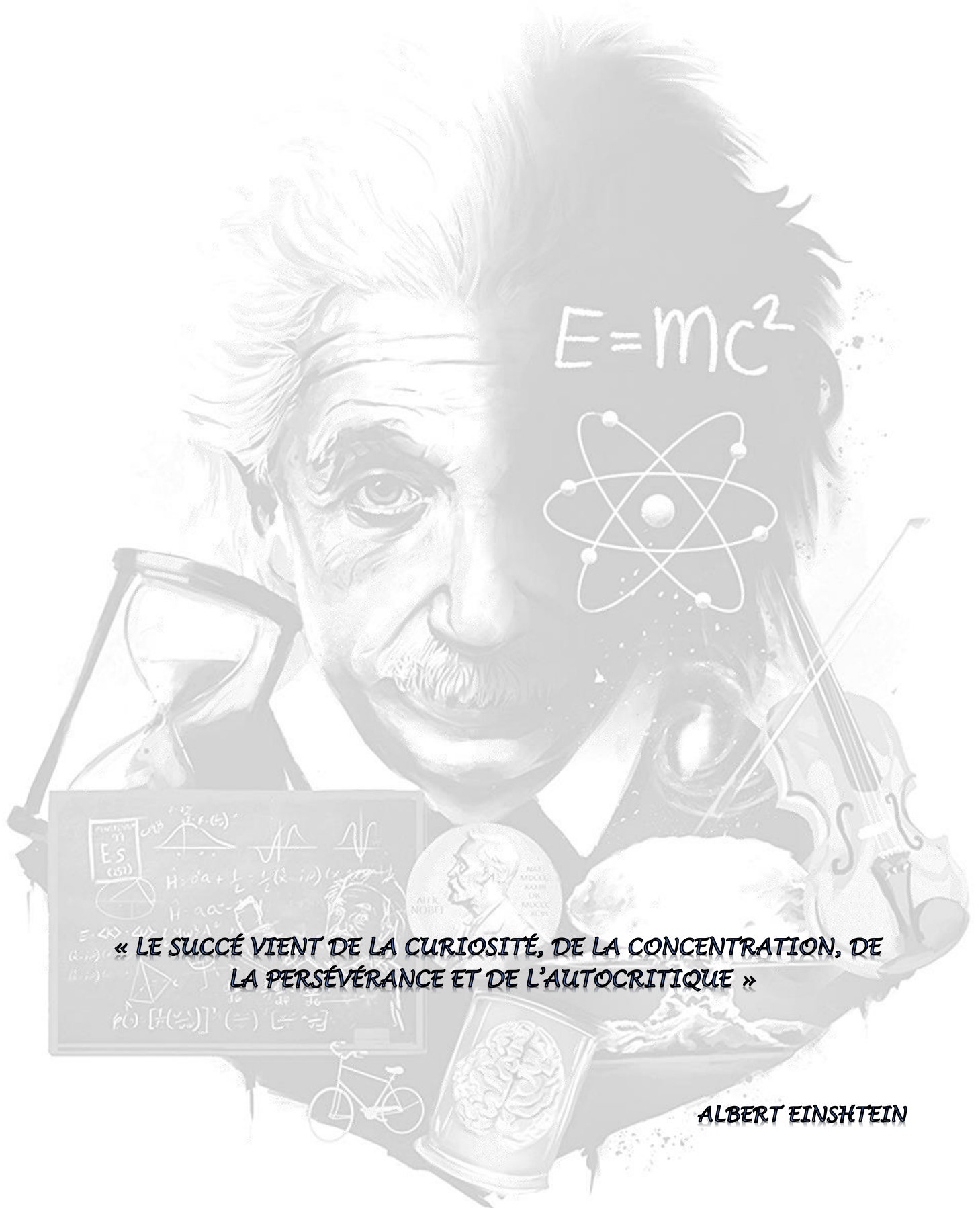
Silica (SiO_2), represents a main component used in various applications such as the manufacture of photovoltaic cells, fiberglass. Despite this importance, the use of silica in Algeria remains limited due to the quality of the material which contains mineral inclusions of undesirable oxides. This is the case of studied materials deposits of Tizi-Ouzou sandstone, where the presence of impurities, in particular iron oxide and aluminum oxide, limit the use of this silica for the production of advanced materials.

In this work, we have highlighted the potential use of raw silica with high added value as a raw material for the photovoltaic field. First, we carried out an in-depth characterization of the siliceous sandstone samples, using various advanced qualitative and quantitative characterization techniques of metallographic microscope, DRX and XRF.

The results showed that the different samples characterized have a fairly high silicon dioxide (SiO_2) purity ranging on average from 89.15% à 99.28%, with the presence of different types of defects, namely mineral inclusions of clay and oxide minerals.

In order to eliminate the impurities and to increase the SiO_2 concentration, a treatment and enrichment process was carried out using different techniques such as particle size fractionation, magnetic separation, washing, , and acid leaching. The results are encouraging and show that the treatment by the studied process possible to increase the silica content to the high value of 99.28% and reduce the impurity level of iron oxide to 0.02% and alumina to 0.04%, that be comparable to sandstone used in advanced materials.

Keywords: silica, sandstone, photovoltaics, magnetic separation, washing, acid leaching.



$$E=mc^2$$



CHAMP $\frac{1}{r^2} f(r)$

$H = da + \frac{L}{2} - \frac{1}{2}(R - id)$

$H = aa -$

$E = \langle \hat{K} \rangle - \langle \hat{V} \rangle$

$\rho(r) = [f(r)]' (=) [f(r)]'$



« LE SUCCÉ VIENT DE LA CURIOSITÉ, DE LA CONCENTRATION, DE LA PERSÉVÉRANCE ET DE L'AUTOCRITIQUE »

ALBERT EINSTEIN