

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة غرداية
Université de Ghardaïa

N° d'enregistrement
/...../...../...../.....



كلية العلوم والتكنولوجيا
Faculté des Sciences et de la Technologie

قسم هندسة الطرائق

Département de Génie des procédés

Mémoire de fin d'étude, en vue de l'obtention du diplôme

Master

Domaine: Sciences et de la Technologie

Filière: Génie des procédés

Spécialité: Génie Chimie

Thème

Synthèse et caractérisation du gel de Silice à partir du sable de silice et de résidus du palmier dans la région du Ghardaïa.

Présenté par :

Wafa OULAD YAHIA

Zineb TALEB AHMED

Devant le jury composé de:

Mohammed Kadri

MCB

Université de Ghardaïa

Encadrant

Yasmina Khane

MCB

Université

Examineur

Brahim Zitani

MAA

Université

Examineur

Année universitaire 2021/2022

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ
الْحَمْدُ لِلَّهِ الَّذِي
بَدَأَ خَلْقَ الْإِنسَانِ
مِنْ طِينٍ مَسْكُونٍ
إِذْ أَمَرْنَا الْمَلَائِكَةَ
سُجُودًا لِلَّذِي
بَدَأَ خَلْقَ الْإِنسَانِ
مِنْ طِينٍ مَسْكُونٍ
إِذْ أَمَرْنَا الْمَلَائِكَةَ
سُجُودًا لِلَّذِي
بَدَأَ خَلْقَ الْإِنسَانِ
مِنْ طِينٍ مَسْكُونٍ

Dédicaces

Je dédie ce travail à mes chers parents et je les en remercie

Leurs sacrifices, leur patience, leur soutien, leur aide et leurs encouragements

Pendant toutes ces années d'études sans eux, je ne serais pas

Ce que je suis aujourd'hui.

*Je remercie également mes frères et sœurs qui ont été à mes côtés Tout le temps
à ma famille*

A tous mes amis avec qui j'ai passé les plus beaux moments.

Zineb

Dédicaces

Aux plus grandes significations de l'amour, de la tendresse et du sacrifice, aux rivières qui ne tarissent pas et ne lassent pas, coulant toujours avec beaucoup de bonté sans fin, "Ma tendre mère"

A mon support après le Tout-puissant à l'ami et à l'amant qui ne s'endort qu'après que son cœur s'endorme tous les cœurs en sécurité "Cher papa"
Je demande à dieu Tout-Puissant de leur donner la santé et le bien-être et de prolonger leur vie.

A celui qui a planté en moi une ambition qui me pousse vers un avenir prospère A celui qui a vu à "l'âme pure de mon grand-père"
A mes frères, à ma famille, à mes amis.

Pour tous ceux qui sont sérieux au sujet de nous, même avec une lettre, afin de rechercher la connaissance

Je dédie ce fruit de mes efforts, priant Dieu Tout-Puissant de recevoir l'acceptation et l'approbation.

Wafa

Remerciements

Nous remercions Dieu de nous avoir donné le courage, la patience et la volonté de faire cet humble travail.

Nous exprimons nos plus grande reconnaissance à nos parents qui font ce qui nous somme devenu aujourd'hui

*Nous voudrions d'abord remercier **Dr. KADRI Mohammed** , pour l'honneur qu'il a accordé sur nous en nous encadrant, pour son accueil, sa sollicitude, sa sagesse et son assistance tout au long de la durée de nos travaux .Et nous tenons à remercier chaleureusement Mr. Aouf.J et Mm. Imane, et Mm. saliha les responsables de laboratoire de génie des procédés.*

A travers ce modeste travail, nous on tient à remercier l'ensemble des enseignants qui ont contribué de près ou de loin à notre formation, et tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Résumé :

Ce travail vise à valoriser des ressources naturelles à partir de deux sources dans la de Ghardaïa pour utiliser dans la production de gel de silice avec la méthode sol-gel.

Nous nous sommes appuyés sur trois parties de palmiers (de feuilles, de racines endommagées et cornef), et nous nous sommes choisis des sables de trois régions (Sebseb, El Souareg et El Gamgoma).

Nous avons réussi de produire du gel de silice à partir de toutes ces sources avec des rendements variables, le rendement le plus élevé était de 46,2%, puis de 41% puis de 35,66%, mais pour les résidus de palme, le rendement était dans des proportions variables en dessous, cornef 3,2%, puis les feuilles 7,42%, puis les racines 26,9%.

Nous avons également fait l'analyse EDX pour nos échantillons avant et après la préparation du gel de silice pour connaître le pourcentage de dioxyde de silicium dans les échantillons. Nous avons également obtenu des images de gel de silice de différentes formes par microscope électronique à balayage. Les résultats obtenus confirment que le gel de silice est très pur.

Mots-clés : Gel de silice, microscope électronique à balayage, résidu de palme, sable, sol-gel.

Abstract

This work aims to valorize natural resources from two sources in the Ghardaïa region to use in the production of silica gel with the sol-gel method.

We relied on three parts of palm trees (leaves, damaged roots and cornef), and we chose sands from three regions (Sebseb, El Souareg and El Gamgoma).

We have successfully produced silica gel from all these sources with variable yield, the highest yield was 46.2%, then 41% then 35.66%, but for palm residue, the yield was in variable proportions below, cornef 3.2%, then the leaves 7.42%, then the roots 26.9%.

We also did the EDX analysis for our samples before and after the preparation of the silica gel to know the percentage of silicon dioxide in the samples. We also obtained images of silica gel of different shapes by scanning electron microscope. The results obtained confirm that the silica gel is very pure.

Keywords: Silica gel, scanning electron microscope, palm residue, sand, sol-gel.

الملخص :

يهدف هذا العمل إلى تجميع الموارد الطبيعية من مصدرين في منطقة غرداية لاستخدامها في إنتاج السيليكا جل بطريقة sol-gel اعتمدنا على ثلاثة أجزاء من أشجار النخيل (الأوراق، والجذور التالفة والكرناف)، واخترنا رمالاً من ثلاث مناطق (سبب، السوارق والمقومة).

لقد نجحنا في إنتاج هلام السيليكا من جميع هذه المصادر ذات المحصول المتغير، حيث كان أعلى محصول 46.2%، ثم 41%

ثم 35.66%، أما بالنسبة لبقايا النخيل، فقد كان المحصول بنسب متغيرة أدناه، الذرة 3.2%، ثم الأوراق 7.42% ثم الجذور 26.9%.

قمنا أيضًا بتحليل EDX لعيناتنا قبل وبعد تحضير هلام السيليكا لمعرفة النسبة المئوية لثاني أكسيد السيليكون في العينات. حصلنا

أيضًا على صور لهلام السيليكا بأشكال مختلفة عن طريق مسح المجهر الإلكتروني. تؤكد النتائج التي تم الحصول عليها أن هلام السيليكا نقي جدًا.

الكلمات المفتاحية : هلام السيليكا، المجهر الماسح الإلكتروني، مخلفات النخيل، رمال، sol-gel.

Liste des tableaux

Liste des tableaux

Titre du tableau	Page
Tableau I.1: Valeurs pour un ensemble de propriétés physiques usuelles du dioxyde de silicium cristallin et amorphe.	7
Tableau I.2 : Réaction du dioxyde de silicium avec certains matériaux.	8
Tableau I.3 : Propriétés physiques générales des sables.	15
Tableau I.4 : Classes granulaires du sable.	15
Tableau IV.1 : Représente les matériels et les produits	50
Tableau V.1 : Les résultats de rendement de gel de silice selon les régions	67
Tableau V.2: Rendement de nano silice selon la région.	67
Tableau V.3 : Rendement de nano silice selon les parties de palmier.	68
Tableau V.4 : le pourcentage d'éléments qui composent l'échantillon selon les analyses EDX	73
Tableau V.5 : le pourcentage d'éléments qui composent du gel de silice selon les analyses EDX	73
Tableau V.6 : le pourcentage d'éléments qui composent de nano silice selon les analyses EDX	74

Liste des figures

Liste des figures

Titre de figure	Page
Figure I.1 : Position de silicium dans le tableau périodique.	5
Figure I.2 : Domaines de formation et de stabilité des différentes formes cristallines de SiO ₂ industrielle.	9
Figure I.3: Modèle moléculaire d'une silice cristalline (atomes O en rouge, atomes Si en gris).	10
Figure I.4 : Ion ortho silicate tétraédrique.	11
Figure I.5 : Gel de silice.	12
Figure II.1: Répartition géographique du palmier dattier.	20
Figure II.2. : Aire de distribution du palmier dattier .	21
Figure II.3 : Localisation des oasis au Sahara algérien	22
Figure II.4 : Les quatres zones des racines de palmier.	23
Figure II.5 : Le Fibrillum et son emplacement dans le palmier.	24
Figure II.6 : La couronne du palmier.	24
Figure II.7: Schéma d'une palme .	25
Figure8: Des pétioles secs.	25
Figure II.9: Le Rachis.	26
Figure II.10: Les Epines.	26
Figure II.11: Les Folioles.	27
Figure II.12: Les Spathes .	27
Figure II.13 : Les Grappes.	28
Figure II.14 : Les Pédicelles rejetées après la récolte des dattes.	28
Figure III.1: Procédé Sol-Gel.	34
Figure III.2. : Illustration de la réaction de l'hydrolyse.	35
Figure III.3: Illustrations de la réaction de condensation.	36
Figure III.4 : Description schématique du processus de polymérisation sol-gel.	37
Figure III.5 : Les différentes étapes de formation des gels	38
Figure III.6. Diversité des matériaux sol-gel et de leur mise en forme	42
Figure IV.1 : Images satellites montrent les localités des sables (Google earth).	51
Figure IV.2 : Schéma de la synthèse du gel de silice à partir de sable.	52
Figure IV.3 : Schéma de la synthèse du Nano silice à partir du gel de silice.	55

Liste des figures

Figure IV.4 : Schéma de la synthèse du gel de silice à partir de charbon.	58
Figure IV.5 : Schéma de la synthèse du gel de silice à partir d'acide HCl récupéré.	61
Figure IV.6 : Principe de microscope électronique à balayage	63
Figure V. 1 : Pourcentages du rendement du gel de silice dans la zone El-gamgoma avec des différentes concentrations.	68
Figure V.2 : Pourcentages du rendement du gel de silice dans la zone El-Sawareg avec des différentes concentrations.	69
Figure V.3 : Pourcentage de rendement en silice dans la zone Sebseb avec des différentes concentrations.	69
Figure V.4 : Pourcentage du rendement du gel de silice dans des différentes régions à la concentration de 1M.	70
Figure V.5 : Pourcentage du rendement du gel de silice dans les différentes régions à la concentration de 3M.	70
Figure V.6 : Pourcentages du rendement du gel de silice dans les différentes régions à concentration de 5M.	71
Figure V.7: Pourcentages du rendement en nano silice dans les différentes régions.	72
Figure V.8 : Pourcentage du rendement du gel de silice dans des différentes parties du palmier dattier	72
Figure V.9 : Micrographies SEM d'échantillons du gel de silice (Xerogel) obtenus par Sol-gel à partir de sables de Ghardaïa (S= Sebseb , G= El Gamgoma , C= El Souareg)	75
Figure V.10 Micrographies SEM d'échantillons du gel de silice Xerogel obtenus par Sol-gel à partir du palmier dattier de Ghardaïa (R=Racine , F=Feuille , C=cornaf)	75
Figure V.11 : Micrographies SEM d'échantillons de nanoparticules du gel de silice (Xerogel) obtenus par Sol-gel à partir de sables de Ghardaïa (S= Sebseb , G= Elgamgouma , C= El Souareg)	76

Liste des photos

Liste des photos

Titre de photo	Page
Photo IV.1 : Agitation de la solution.	53
Photo IV.2 : Lavage du sable par l'eau distillée.	53
Photo IV.3 : Séchage.	53
Photo IV.4 : Chauffage le mélange.	53
Photo IV.5 : Filtration de la solution.	53
Photo IV.6 : Gélification.	53
Photo IV.7 : filtration sous vide de la solution.	54
Photo IV.8 : Gel de silice après séchage.	54
Photo IV.9 : Montage de Reflux.	56
Photo IV.10 : Mesure Le pH.	56
Photo IV.11 : Filtration la solution.	56
Photo IV.12 : Gel de silice après séchage.	56
Photo IV.13 : Photo du palmier dattier.	57
Photo IV.14 : Mesure de la masse du charbon.	59
Photo IV.15 : Chauffage du carbone avec NaOH.	59
Photo IV.16 : Filtration de la solution.	59
Photo IV.17 : Gel de silice avant séchage.	59
Photo IV.18 : Filtration la solution.	59
Photo IV.19 : Séchage gel de silice dans l'étuve.	59
Photo IV.20 : Gel de silice après séchage.	60
Photo IV.21: Gel de silice.	60

Liste des abréviations

Liste des Abréviation :

Symbole	Désignation
°C	Degré Celsius
D	Densité
%	Pourcentage
PH	Potentiel Hydrogène
TEOS	Tétra-Ethyl-Ortho-Silicate
TMOS	Tétra-Méthyl-Ortho-Silicate
UV	Ultra-violet
G	Gramme
L	Litre
M	Molarité
R	Rendement
EDX	rayons X à dispersion d'énergie
MEB	microscope électronique à balayage

Dédicaces	I
Remerciement	II
Résumé	III
Liste des tableaux	IV
Liste des figures	V
Liste des photos	VI
Liste des abréviations	VII
Tables des matières	VIII
Introduction générale	1
Références bibliographique	3
Chapitre I : Généralités sur la silice	
I.1 Le silicium	5
I.2 La silice	6
I.2.1 Définition	6
I.2.2 Caractéristiques de la silice	6
I.2.3 Propriétés essentielles de la silice	7
I.2.4 Propriétés de la silice	7
I.2.5 Formes minéralogiques principales de la silice	9
I.2.6 Quelques applications de silice	11
I.2.7 Les principales filières industrielles utilisant la silice	11
I.3. Les silicates	11
I.3.1. Définition	11
I.3.1. Structure des silicates	12
I.4. Gel de silice	12
I.4.1. Définition	12
I.4.2. Propriétés du gel de silice	12
I.4.3. Utilisation de gel de silice	13
I.5. Les sables	13
I.5.1. Les principaux composants du sable et Le grès du sable	14
I.5.2. Quelques propriétés des sables	14
I.5.3. Propriétés physiques du sable	15
I.5.4. Différents types de sable	15

Référence Bibliographique	16
Chapitre II : Généralités sur les palmiers	
II.1. Histoire et origine du palmier	19
II.2. Répartition géographique du palmier dattier	20
II.2.1. Dans le monde	20
II.2.2. En Algérie	21
II.2.3. Situation du palmier dattier a Ghardaïa	22
II.3. Description morphologique du palmier dattier	22
II.3.1. Les Racines	22
II.3.2. Le Tronc	23
II.3.3. Fibrillum	23
II.3.4. La couronne	24
II.3.5. La palme	24
II.3.6. Le pétiole	25
II.3.7. Le rachis	25
II.3.8. Les Epines	26
II.3.9. Les Folioles	26
II.3.10. Les Spathes	27
II.3.11. Les grappes	27
II.3.12. Les Pédicelles	28
Références Bibliographiques	29
Chapitre III : Procédé sol-gel	
III.1. Introduction	32
III.2. Histoire de la silice via le procédé sol-gel	32
III.3. Procédé sol-gel	33
III.4. Description de la méthode Sol-Gel	33
III.5. Réactions chimiques dans le procédé sol-gel	35
III.6. Cas des alcoxydes de silicium	36
III.7. Gélification et structure du gel	38
III.8. Vieillessement du gel	39
III.9. Paramètres influençant la cinétique des réactions	39
III.10. Séchage du gel	40

III.11. Les application Sol-Gel dans plusieurs domaines d'activités	45
III.12. Les avantages et les inconvénients du procédé sol-gel	45
III.12.1. Les avantages du procédé sol-gel	45
III.12.2. Désavantages	45
Références Bibliographiques	47
Chapitre IV : Matériels et méthodes	
IV.1. Introduction	50
IV.2. Matériels et produits.	50
IV.3. Préparation du gel de silice à partir du sable.	51
IV.3.1. Prélèvement et préparation des échantillons.	51
IV.3.2. Mode opératoire.	51
IV.3.3. Schéma de la synthèse du gel de silice à partir de sable.	52
IV.4. Préparation du Nano silice.	54
IV.4.1. Mode opératoire.	54
IV.4.2. Schéma de la synthèse du Nano silice à partir du gel de silice .	55
IV.5. Préparation du gel de silice à partir de cendre.	56
IV.5.1. Le matériau végétal	56
IV.5.2. Mode opératoire	57
IV.5.3. Schéma de la synthèse du gel de silice à partir de Cendre	58
IV.6. Préparation du gel de silice à partir de l'acide HCl récupérée	60
IV.6.1. Mode opératoire	60
IV.6.2. Schéma de la synthèse du gel de silice à partir d'acide HCl récupéré	61
IV.6.3. Les réactions chimiques de l'expérience	61
IV.7. calcule de rendement du gel de silice	63
IV.8. Le microscope électronique à balayage	63
IV.9. rayons X à dispersion d'énergie(EDX)	64
Références Bibliographiques	65
Chapitre V : Résultats et discussion	
V.1. Introduction	67
V.2. Calcul et évaluation du rendement	67
V.2.1. Rappel sur le rendement du gel de silice	67
V.3. Les résultats des analyses EDX des échantillons du gel de silice (xerogel)	78

V.4.Résultats au microscope électronique à balayage	79
Conclusion générale	78
Annexe	79

Introduction générale

Introduction générale

Introduction générale :

La terre d'Algérie au nord est constituée de larges plaines cotières s'étendant sur la mer Méditerranée [1], et dans le sud il est un désert commun qui a un énorme stock de sable de silice, parmi ces utilisations figurent le verre de cristal, la céramique et l'industrie du bâtiment etc...[3].

Les développeurs ont été encouragés à se concentrer sur l'exploitation du sable pour produire du gel de silice vu l'importance industrielle et commerciale dans le monde [4].

Le sable de la région de Ghardaïa contient une très bonne proportion de silicates, ce qui permet de produire ces biomatériaux avec un bon rendement.

Il peut également produit à partir de déchets de palmier dattier.

La filière palmier dattier a connu de grands progrès grâce à la mise en œuvre du Programme National de Développement Agricole PNDA [5].

L'Algérie dispose actuellement d'un énorme potentiel de palmiers dattiers, ce potentiel peut générer une croissante de déchets lors de la récolte des dattes et de l'entretien annuel [5].

Le palmier dattier produit plusieurs types de bois, dont certains sont disponibles renouvelables au cours de sa vie, comme le bois de palmier et la grappe, et d'autres ne sont pas disponibles qu'après la mort du palmier, comme le tronc et le bois de racine. Le bois se prête à divers usages en fonction de ses propriétés mécaniques et physiques[5].

Aujourd'hui, très peu de choses modestes et non développées sont fabriquées dans tous les palmiers et à partir de résidus de palmiers qui sont soit brûlés, soit laissés à s'accumuler au plein air, ce qui cause, des sérieux problèmes environnementaux [5].

L'objectif de ce travail est d'exploiter les déchets de palmier dattier et de sable de différentes régions de l'état de Ghardaïa dans la production de gel de silice qui est fortement demandé dans diverses industries à travers le monde et exporté à très bas coût au lieu d'importer.

Introduction générale

Le travail présenté dans ce mémoire sera organisé de la manière suivante :

Le premier chapitre intitulé « Généralités sur la silice » il est axé sur les propriétés physico-chimiques des différentes matières utilisées dans ce travail comme le sable siliceux, la silice et le silicate de sodium.

Le deuxième chapitre intitulé « Généralités sur les palmiers » il étudie la répartition géographique et la description morphologique du palmier dattier.

Le troisième chapitre intitulé « Méthodes sol-gel » il sera détaillé sur le procédé sol-gel et ses applications.

Le quatrième chapitre intitulé « matériel et méthode » il représente la partie appliquée du sujet d'étude nous avons mentionné les matériaux et les produits et comment préparer du gel de silice à partir de sable et de déchets des palmiers.

Le cinquième chapitre intitulé « résultat et discussion » il est l'analyse des résultats expérimentaux d'extraction de gel de silice par (scanner électronique et analyse EDX)et leur discussion.

Cette discussion a abouti à une conclusion générale qui inclut les résultats obtenus.

Introduction générale

Références bibliographique

[1] <https://m.marefa.org>.

[2] [https:// mawdoo3.com](https://mawdoo3.com).

[3] Ali Sdiri, Teruo Higashi Samir Bouaziz .Mourad Benzina,, synthesis and caractérisation of silica gel from siliceous sands of southern Tunisia, King Saud University, Arabian Journal of Chemistry, 2010.

[4] ALMI Kenza, Développement et caractérisation de matériaux à base du bois de palmier dattier adaptés aux applications de développement durable durable en Algérie, doctorat en science :Génie Mécanique, 2018.

Chapitre I

Généralités sur la silice

I.1 Le silicium :


Le silicium (Si) est un des éléments de la silice (SiO_2) utilisé depuis longtemps sous forme d'oxyde de silicium comme composant essentiel du verre, du ciment ou dans la fonderie. Aujourd'hui, le silicium pur est utilisé pour ses propriétés semi-conductrices dans l'industrie de l'électronique (puces électroniques) et pour la fabrication de panneaux solaires photovoltaïques.

Il est obtenu par réduction et purification de la silice, contenue dans le sable siliceux ou le quartz, par divers procédés et on obtient un silicium pur (99,999 % Si) sous forme de lingots dans lesquels seront ensuite découpées les plaquettes [1].

Selon sa pureté, il comporte trois (3) classes : le silicium métallique (pureté 99 %), le silicium solaire (pureté 99,9999 %) et le silicium électronique (99,9999999%).

Depuis une dizaine d'années l'industrie photovoltaïque connaît une croissance extrêmement forte ce qui a créé une demande en silicium que les faibles capacités mondiales de l'offre ne pouvaient satisfaire.

Son prix a subi une forte hausse, le kilogramme de silicium, là où au début des années 2000 s'échangeait à quelques dollars, en novembre 2008 il a dépassé les 400 dollars [1].



Le diagramme illustre la position du silicium (Si) dans le tableau périodique des éléments. Un encadré vert met en évidence les informations suivantes :

14
Si
Silicon
28.086

Figure I.1 : Position de silicium dans le tableau périodique [2].

I.2 La silice :

I.2.1 Définition :

La silice ou oxyde de silicium, de formule SiO_2 composée de deux éléments : le silicium (Si) et l'oxygène (O). Elle est le minéral le plus abondant de l'écorce terrestre, constitue de 12% (en masse) de la lithosphère. La silice est le composant majeur des roches cristallines et le constituant essentiel des roches détritiques. Le minéral à base de silice le plus connu est le quartz [1].

I.2.2 Caractéristiques de la silice :

Formule : SiO_2

Réfractérité (résistance pyroscopique) :

- Température de fusion 1650°C ,
- Température d'ébullition : 2230°C .
- Densité : 2,2.
- Dureté : 7.
- Coefficient de dilatation thermique très faible
- pH : neutre.
- Inertie chimique vis-à-vis de la plupart des acides.
- pouvoir isolant élevé.
- propriétés piézoélectriques et optiques pour les quartz ultras-purs [3].

I.2.3 Propriétés essentielles de la silice :

- La silice a un coefficient de dilatation particulièrement ($0,5 \cdot 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$), ce qui explique une résistance aux chocs thermiques exceptionnelle.
- Sa durabilité chimique est très bonne (sauf acide fluorhydrique HF).
- Les propriétés électriques sont bonnes (faible constante diélectrique et faibles pertes diélectriques).
- Du point de vue optique, la silice a une bonne transparence dans l'UV proche. La silice ultra pure présente un minimum d'atténuation extrêmement bas vers $1,55 \text{ } \mu\text{m}$ (d'où son utilisation pour les fibres optiques de télécommunications) [4].

I.2.4 Propriétés de la silice :

La silice a deux propriétés principales :

A -Propriétés physiques :

En raison de la structure quaternaire, le point de fusion de SiO₂ est très élevé, car la liaison forte ne peut être rompue qu'à la température covalente élevée entre le silicium et l'oxygène et en plus du fait que le dioxyde de silicium est très solide et fort, et cela , et il est dans la gamme de 1700 °C et en raison de l'absence d'électrons libres dans la composition En raison de la forte liaison covalente intermoléculaire, le dioxyde de silicium se caractérise par être un mauvais conducteur d'électricité, Si-O, et se comporte comme un isolant matériaux, alors qu'il est insoluble dans l'eau et dans tous les solvants organiques, il se dissout dans les solvants basiques et l'acide sulfurique, comme mentionné ci-dessus et le tableau (I.1) montre Valeur un ensemble de propriétés physiques usuelles du dioxyde de silicium cristallin et amorphe[5].

Tableau I.1 : Valeurs pour un ensemble de propriétés physiques usuelles du dioxyde de silicium cristallin et amorphe[5].

Caractéristique	Unité	Silice cristalline	Silice amorphe
Point de fusion	m ²	environ 1700	environ 1700
Densité	g/cm ³	2.6	2.2
indice de réfraction	-----	1.46	1.46
Résistance	Ω.cm	10¹⁶-10¹²	>10 ¹⁸
Conductivité thermique	Watts.m/ K	1.3	1.4
Coefficient de dilatation thermique	K ⁻¹	7,64*10 ⁻⁷	5.4*10 ⁻⁷

B- Propriétés chimiques :

Le dioxyde de silicium réagit avec quelques matériaux élémentaire sou composés ou des acides dilués ou concentrés, en particulier à des températures et pressions normal es et sans la présence de catalyseurs. Pour la réaction et le **Tableau I.2** (un résumé des réactions du dioxyde de silicium avec certaines substances et les résultats de celles-ci montrent interactions [5].

Tableau I.2 : Réaction du dioxyde de silicium avec certains matériaux [5].

matériau de réaction	conditions de réaction	----- formé	Equation chimique
Une base solide comme KOH, NaOH	Le SiO ₂ cristallin se dissout lentement dans une solution alcaline chaude, mais le SiO ₂ amorphe s'y dissout à température ambiante	silicate de potassium ou silicate de sodium	SiO ₂ + 2KOH K ₂ SiO ₃ + H ₂ O SiO ₂ + 2NaOH Na ₂ SiO ₃ + H ₂ O
acide Fluorhydrique	Le quartz cristallin ne réagit pas avec d'autres acides mais se dissout dans l'acide et la réaction a lieu à température ambiante	acide hydrofluorique (H ₂ SiF ₆)	SiO ₂ + 6HF H ₂ SiF ₆ + 2H ₂ O
Carbonate de sodium Na ₂ SiO ₂ Carbonate de potassium K ₂ SiO ₃	Interagir avec et fondre Le carbonate de sodium et potassium fondu	silicate de sodium SiO ₃ silicate de potassium K ₂ SiO ₃	SiO ₂ + K ₃ SiO ₃ K ₂ SiO ₃ + CD ₂ SiO ₂ + Na ₂ CO ₃ Na ₂ SIO ₃ + CO ₂
Carbonate de calcium CaCO ₃	à haute température 600 Celsius Quartz avec Bases telles que le calcaire ou le carbonate de calcium	Silicate de calcium Ca ₃ Si ₃ O ₉	3SiO ₃ +3CaCO ₃ ÿ Ca ₃ Si ₂ O ₉ +3CO ₂
avec du carbone	Le quartz naturel réagit	Si silicium	SiO ₂ + 2C =

	avec le carbone à 2000°C pour produire du silicium		Si+2CO
avec de l'eau	À des températures et des pressions élevées, les hydrogènes de silicate forment de l'hydroxyde de silicium Ce n'est pas fixé	Hydroxyde de silicium Si(OH) ₄	SiO ₂ + 2H ₂ O = (Si(OH) ₄)

I.2.5 Formes minéralogiques principales de la silice :

La silice présente plusieurs formes cristallines selon les conditions de pression et de température du milieu de formation. Le diagramme suivant (Figure I.1) présente ces différentes formes minéralogiques : quartz, tridymite, cristobalite, qu'ils sont les formes les plus fréquentes, coesite et stishovite étant rares (liés à des conditions de pression exceptionnelles : impacts de météorites, roches de l'écorce profonde) [6].

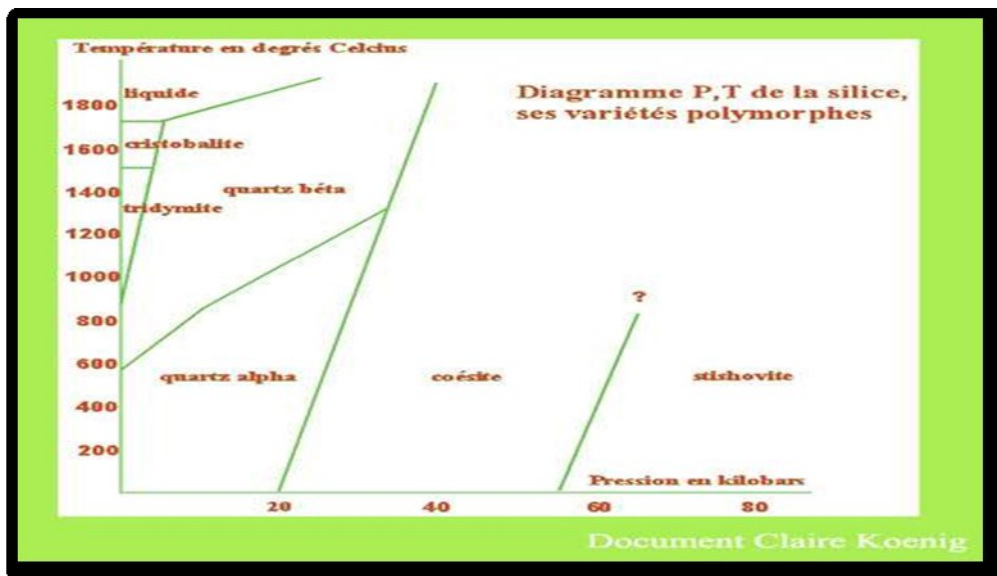


Figure I.2 : Domaines de formation et de stabilité des différentes formes cristallines de SiO₂ industrielle [6].

Quartz :

Forme cristalline la plus commune de la silice, telle que définie précédemment, existant sous forme de cristaux automorphes, transparents, laiteux ou colorés (citrine, améthyste, quartz rose...).

Le quartz α et le quartz β sont les formes les plus fréquentes et abondantes de la silice, présentes dans les roches magmatiques et volcaniques (granites s.l., pegmatites, rhyolites...), dans les roches métamorphiques (gneiss, quartzites...) et dans les roches sédimentaires détritiques (sables, grès).

Les polymorphes de haute température et/ou de haute pression peuvent se retrouver dans certaines roches magmatiques ou métamorphiques selon leurs conditions de formation.

La silice peut également exister sous forme amorphe, hydratée (opale), ou anhydre (calcédoine des silex), et former de petits gisements superficiels.

Le glossaire ci-dessous donne la définition des termes mentionnés dans ce mémento, qui doivent être utilisés de manière standardisée, que ce soit pour les minéraux et matériaux bruts, traités, synthétisés, ainsi que pour les produits commercialisés [6].

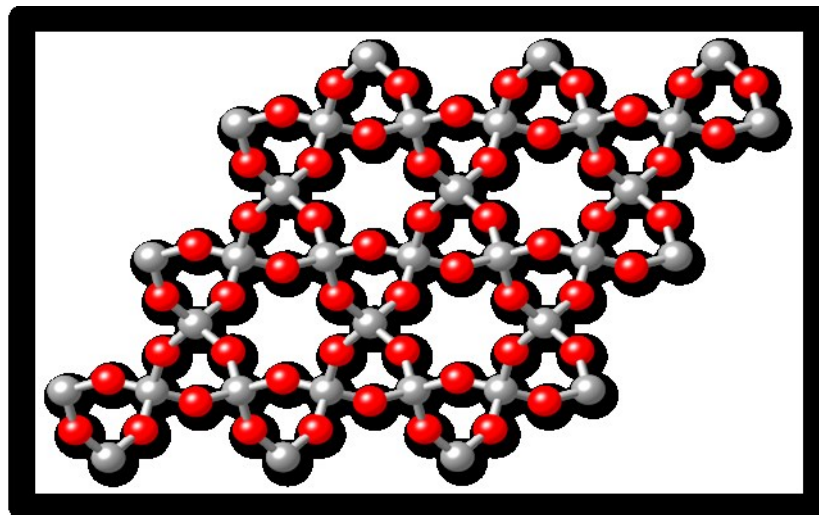


Figure I.3: Modèle moléculaire d'une silice cristalline (atomes O en rouge, atomes Si en gris) [7].

I.2.6 Quelques applications de silice :

- Enveloppes de lampes fonctionnant à hautes températures.
- Lentilles et miroirs susceptibles de fonctionner à températures variables.
- Composants micro-ondes.
- Fenêtres de radar (aéronautique).
- La silice dopée à 7,5% de TiO_2 à un coefficient de dilatation nul (ou presque nul : ULE= Ultra Low Expansion).

Cette silice développée et commercialisée par Corning « ULE Silica » est utilisée quand une stabilité dimensionnelle exceptionnelle est recherchée. Le miroir du télescope spatial « Hubble » est fabriqué en silice « ULE » [4].

I.2.7 Les principales filières industrielles utilisant la silice :

- La verrerie (verres creux, verres plats, verres techniques pour optique, ampoules, fibre de verre, cristallerie).
- La fonderie (réalisation de moules de toutes tailles pour couler les métaux).
- L'électrometallurgie (élaboration du silicium métal, du ferrosilicium, du silicomanganèse, du carbure de silicium et autres alliages), de réfractaires, d'abrasifs ...
- Les céramiques fines, céramiques techniques, composants électriques, céramiques sanitaires... ;
- Les dérivés chimiques (silice colloïdale, gel de silice, silice précipitée, silicones...).
- Les charges minérales (pour plastiques, peintures, résines, caoutchouc...) sous forme de silice naturelle ou de silice précipitée [6].

I.3. Les silicates :

I.3.1. Définition :

Le silicate est un sel dérivant de la silice (SiO_2). En chimie, ce sont des composés chimiques. En minéralogie, les silicates désignent une importante famille de minéraux ; ils constituent 97 % de la croûte terrestre. Il en existe de nombreuses familles [8].

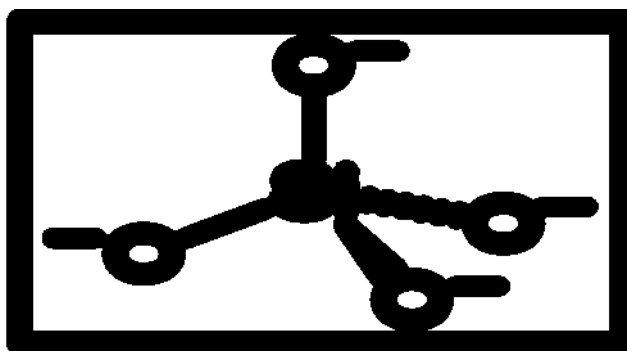


Figure I.4 : Ion ortho silicate tétraédrique [8].

I.3.1. Structure des silicates :

Les silicates sont des minéraux dont le squelette est essentiellement formé par des tétraèdres de silicium et d'oxygène (SiO_4) additionnés d'aluminium, magnésium, fer, calcium, potassium, sodium et autres éléments[8].

I.4. Gel de silice :**I.4.1. Définition :**

Le gel de silice est un matériau chimiquement inerte et non toxique composé de dioxyde de silicium amorphe. Il possède un réseau interne de pores microscopiques interconnectés, donnant une surface typique de 700 à 800 mètres carrés par gramme ; ou, en d'autres termes, la surface interne d'une cuillère à café pleine de gel de silice équivaut à un terrain de football. Les molécules d'eau sont adsorbées ou désorbées par ces micro-capillaires jusqu'à ce que l'équilibre de la pression de vapeur soit atteint avec l'humidité relative de l'air ambiant [9].

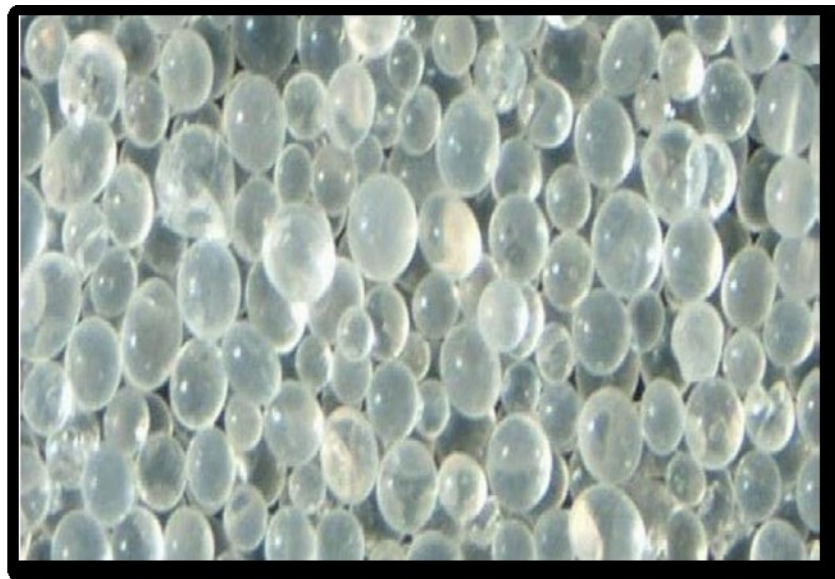


Figure I.5 : Gel de silice[10].

I.4.2. Propriétés du gel de silice :

- Le gel de silice contient de nombreuses particules poreuses qui absorbent l'humidité. Il peut absorber 40% de son poids en humidité.
- Protège les matériaux de la rouille et de la corrosion.

- Emballé pour s'adapter à toutes les tailles et formes de produits.
- Inodore. Il a des propriétés thermiques et chimiques très stables.
- Le choix d'un séchoir blanc est typique, car le gel absorbe l'humidité sans lui causer de changement physique [11].

I.4.3. Utilisation de gel de silice :

Le gel de silice a été employé comme adsorbant de l'humidité (déshydratation d'air, purification des gaz) ou comme adsorbant important dans la phase liquide. La capacité du gel de silice d'adsorber des colorants de solution dans les divers systèmes entrants en contact a été rapportée [4].

Ses utilisations sont très large dans les domaines industriels, tel que :

- Pharmaceutique : dans les capuchons des tubes de médicaments.
- Transport : dans les emballages, caisses et containers.
- Electronique / Electrique : dans les transformateurs, les appareils électroniques.
- Musées / collections : dans les vitrines, derrière les tableaux, collections de timbres, insectes.
- Laboratoire : déshydratation d'un milieu, filtrage de produits.
- Industrie : protection des usinages des métaux, stockage d'éléments.

I.5. Les sables :

Le sable est un matériau granulaire constitué de petits éléments (provenant de la désagrégation d'autres roches) dont la dimension est comprise entre 0,063 et 2 mm selon la définition des matériaux granulaires en géologie. Un élément individuel est appelé grain de sable.

La composition du sable peut révéler jusqu'à 180 minéraux différents. Les principaux sont le quartz, les micas et les feldspaths, ainsi que des débris calcaires de coquillage et de corail [12].

I.5.1. Les principaux composants du sable et Le grès du sable :

Le sable est principalement composé de quartz SiO_2 , de carbonate de calcium CaCO_3 , de gypse ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), d'une grande proportion de (Fe_2O_3), d'un pourcentage d'oxyde d'aluminium (Al_2O_3) et de petites quantités d'impuretés et de métaux lourds [11].

Le grès est également constitué de minéraux primaires ductiles tels que la silice, le felds par et le mica, ainsi que d'autres composés et minéraux secondaires issus des processus d'altération chimique tels que les oxydes libres et surtout l'oxyde de fer (Fe_2O_3). Le quartz est un minéral commun dans la composition minérale du sable, qui aide à construire la structure globale des sols sableux.

Comme le processus d'altération augmente son efficacité en augmentant la surface spécifique des particules, on constate que les minéraux secondaires augmentent davantage dans la partie fine du sol. Par exemple, on constate que la plupart des minéraux argileux sont des minéraux secondaires là où ils sont présents dans le sol. Composants du sol inférieurs à 0,002 mm Alors que les minéraux primaires tels que le feldspae, le Quartz ou l'oxyde Silicium, pyroxens, amphiboles et mica sont concentrés dans la partie grossière des composants du sol tels que le sable et le limon [11].

I.5.2. Quelques propriétés des sables :

Les sables sont identifiés grâce à la granulométrie (la grosseur des grains). Le sable se caractérise par sa capacité à s'écouler. Plus les grains sont ronds, plus le sable s'écoule facilement. Le sable artificiel, obtenu par découpage ou broyage mécanique de roches, est principalement composé de grains aux aspérités marquées [13].

Il peut être également différencié un sable transporté par le vent d'un sable transporté par l'eau. Le premier est de forme plus ronde, sphérique, donc le deuxième est plus ovoïde.

De plus, le sable éolien présente une diaphanéité plus mate que le sable fluviatile ou marin qui est dit "émoussé-luisant". L'aspect de la surface du grain de sable éolien est dû aux multiples impacts que subit le sable lors de son déplacement.

La masse volumique du sable sec varie selon sa granulométrie et sa composition, de 1700 à 1900 kg/m^3 , en moyenne 1850 kg/m^3 . Le sable forme naturellement des pentes stables

jusqu'à environ 30°, au-delà de cet angle, il s'écoule par avalanches successives pour retrouver une pente stable [13].

I.5.3. Propriétés physiques du sable :

Tableau I.3 : Propriétés physiques générales des sables [13].

Caractéristique physique	Notation	Valeur moyenne	Unité
Poids volumique humide	$\gamma_{ou}\gamma_h$	17 à20	kN/m ³
Poids volumique sec	γ_d	14 à18	kN/m ³
Poids volumique saturé	γ_{sat}	19 à22	kN/m ³
Poids volumique déjaugé	γ'	9 à12	kN/m ³
Densité relative	G_s	2,65 à2,67	/
Porosité	n	0,25 à0,50	/
Indice des vides	e	0,50 à1	/
Teneur en eau	w	1 à15	%

I.5.4. Différents types de sable :

Selon la taille des grains, il est à distinguer trois types de sable.

Tableau I.4 : Classes granulaires du sable[13].

Type de sable	Dimension des grains
Sable grossier	0,6 à 2 mm
Sable moyen	0,2 à 0,6 mm
Sable fin	0,06 à 0,2mm

Référence Bibliographique

[1] E. abdelhadi, etude de l'influence physico-chimique de la qualité du sable sur lerendement de la filtration du silicate de sodium, adwan, mostaganem), memoirede magister, 2012, p :7

[2][https://www.google.com/search?q=position+de+silicium+dans+le+tableau+p%
c3%a9riodique](https://www.google.com/search?q=position+de+silicium+dans+le+tableau+p%c3%a9riodique).

[3] /www.umc.edu.dz/index.php/fr/articles-a-lire/92-le-sable-siliceux-en-algerie

[4] A. Ahlam, préparation et caractérisation d'un materiau poreux a partir du quartz, mémoire de magister en chimie des matériaux ,université Larbi ben m'hidi oum el bouaghi,2013 page :32.33.35

[5]

نورالدين صالح بشينة, الخواص التطبيقية لتاني اكسيد السيليكون من الرمل الى التقنيات المتقدمة, مجلة جامعة الزاوية 2015ليبيا, 17.

[6] P. marteaud Chassagnac, l. hom, s. jallon et g. lefevre, étude réalisée dans le cadre des projets de service public du brgm 2013, p : 4.13

[7][https://www.google.com/search?q=mod%
c3%a8le+mol%
c3%a9culaire+d%
27une+silice+
cristalline+\(
atomes+o+en+
rouge%2c+
atomes+si+en+
gris](https://www.google.com/search?q=mod%c3%a8le+mol%c3%a9culaire+d%27une+silice+cristalline+(atomes+o+en+rouge%2c+atomes+si+en+gris)

[8] E. rabiaa , etude de la structure sio₄ par la méthode ab-initio, memoire master ii enchimie, universite Abdelhamid ibn badis Mostaganem,2014,p2.

[9] S. weintraub, demystifying silica gel, objects specialty group postprints ,volume nine, 2002,p:169.194.

[10]https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/b/b8/silica_gel_pb092529.jpg/1280px-silica_gel_pb092529.jpg

[11]

م. عطيلي,ب.ايناس, تحضير هلام السليكا إنطلاقا من رمال السليكا لمنطقة تندلة الوادي ,جامعة الشهيد حمه لخضر,2020,الصفحة 12

[12]

ج. حنان، مساهمة في دراسة الخصائص الفيزيوكيميائية لرمال تنمو فيه وردة الرمال بمنطقة سيدي سليمان تقرت، جامعة قاصدي مرباح ورقلة، 2019، الصفحة 1

[13] B. Omar , «étude expérimentale du comportement mécanique des fines dans la stabilité des talus et des fondations», Thèse de doctorat. Université mouloud mammeri de Tizi-Ouzou, 2013, p16.18.19.

Chapitre II

Généralités sur les palmiers

II.1. Histoire et origine du palmier:

Les premiers vestiges du palmier fossile ont été trouvés dans une roche qui remonte au Miocène inférieur, il fut décrit sous le nom de *Phoenicites pallavicinii*, Plusieurs fossiles, appartenant au genre *Phoenicites* ont été trouvés en France, en Suisse, en Italie du Nord, et ont été dénommés *phoenix dactylifera fossilis*. [1]. Cependant, aucun vestige de phoenix n'a été trouvé, jusqu'à présent, dans l'aire actuelle de culture du palmier dattier ; ce qui explique l'hypothèse de Drude qui considère l'Europe comme le centre d'origine du genre phoenix [2].

Le palmier dattier fut introduit sur les côtes orientales de l'Afrique par les Arabes, bien avant les premiers voyages des navigateurs européens de XVème siècle [3]. A partir de son aire d'origine, la culture du dattier s'est répandue dans l'ancien continent. Vers l'Est, la culture du palmier dattier progressa de la basse Mésopotamie vers l'Iran, 2500 ans avant J.C, puis en direction de la vallée de l'Indus [3]. Vers l'Ouest, Depuis l'Egypte, la culture du palmier dattier a gagné la Libye d'où elle progressa dans différentes directions : vers le Maghreb, elle se développa en Tunisie dans le Djerid ; en Algérie dans le Souf, Ouest Rhir, le Tidikel, la Saoura et les Zibans ; au Maroc dans le Tafilalet et la vallée du Drâa ; et enfin en Mauritanie, dans l'Adrar mauritanien. [2]. Actuellement la culture du dattier s'étend dans l'Hémisphère Nord préférentiellement dans les régions arides et semi-arides chaudes [4].

Le palmier dattier a été dénommé *Phoenix dactylifera* L. par Linne en 1734. Phoenix dérive de Phoenix, nom du dattier chez les Grecs de l'antiquité, qui le considéraient comme l'arbre des phéniciens ; *dactylifera* vient du latin *dactylus* dérivant du grec *dactulos* signifiant doigt, en raison de la forme du fruit [3]. D'après [5], le genre Phoenix comporte douze espèces. L'espèce *dactylifera* L. se distingue des autres espèces du même genre par un tronc long et grêle et par des feuilles glauques [6]. Selon [3], le palmier dattier est classifié comme suit :

Embranchement.....	Phanérogames
Sous-embranchement.....	Angiospermes.
Classe.....	Monocotylédones
Groupe.....	Phoenocoides

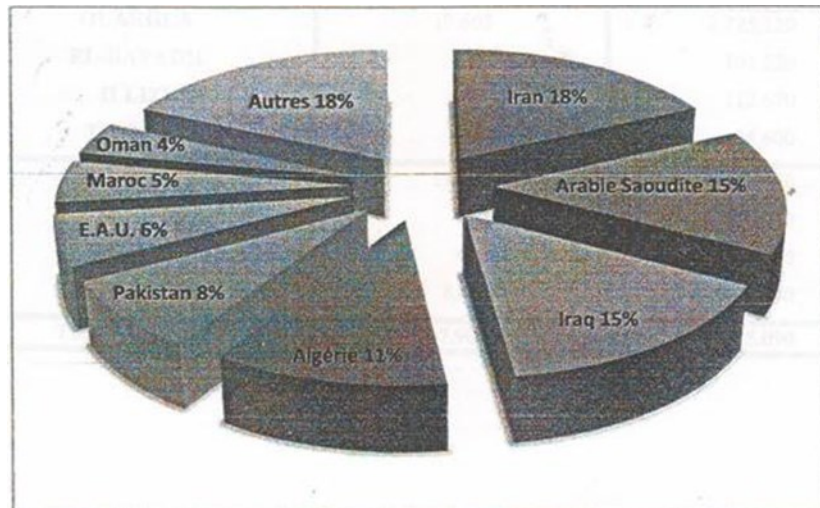


Figure II.2. : Aire de distribution du palmier dattier [10].

II.2.2. En Algérie :

Selon les statistiques les plus récentes (2015) du Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural (MADR), le palmier dattier occupe en Algérie une superficie évaluée à 167.000 hectares, environ 2% pour un nombre de palmiers estimé à plus de 18,6 millions d'unités. La culture du palmier dattier occupe toutes les régions situées sous l'Atlas saharien (figure 2.3), commençant par les palmeraies de Biskra (Tolga) à l'Est, puis celles du M'Zab au centre et de Bni-Ounif à l'Ouest. A l'extrême Sud du Sahara, l'Oasis de Djanet constitue la limite méridionale de la palmeraie Algérienne. C'est dans le Nord-Est du Sahara qu'on trouve le 3/4 du patrimoine phoenicicole, à la région de Ziban, d'Oued-Righ et la cuvette d'Ouargla. On trouve également de petites palmeraies dans le sud des wilayas steppiques (Tbessa, Khenchla, Batna, Djelfa, Laghouat, Naâma, El Bayadh) [11].

Selon l'institut international des recherches agricoles « Bioversity International », l'Algérie compte plus de 300 variétés de palmier dattier qui sont connus par des appellations traditionnelles selon les régions. Parmi les cultivars et les clones de palmier dattier on trouve : Deglet Nour, El Ghers, Mech degla, Tantboucht, Arechti, Safraya, Degla Beida / Kountichi, Litima, Hmraya, etc. la plupart de ces variétés proviennent de deux régions principales : la région de ziben (Biskra) et la région de Mzab. Plus de 50% des palmiers cultivés sont de Deglet Nour, bien qu'il existe entre les autres variétés des spécimens mieux adaptées, plus résistantes à la sécheresse et aux maladies et encore plus productives ou plus précoces.

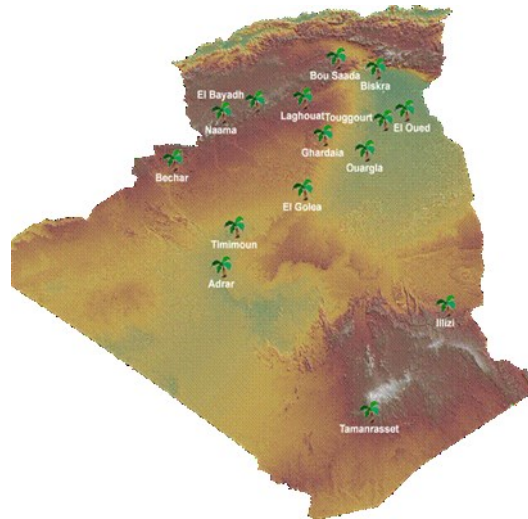


Figure II.3 : Localisation des oasis au Sahara algérien [1].

II.2.3. Situation du palmier dattier a Ghardaïa :

Le patrimoine phoenicicole de la zilaya compte 1,201,710 palmier dont 959,100 palmiers productifs pour une production annuelle moyenne de 35,000 tonnes dont 16,000 tonnes de types deglet noir [17] .

II.3. Description morphologique du palmier dattier :

Le palmier dattier est aussi "date palm" en anglais, "Nakhla" en arabe, et "Phoenix dactylifera" L. en latin. Ce végétal est composé en générale d'un tronc unique non ramifié possédant au sommet une couronne de feuilles. En ce qui suit on va identifier les différents types de bois constituant le palmier dattier :

II.3.1. Les Racines :

Le système racinaire du palmier dattier est fasciculaire, les racines ne se ramifient pas et n'ont relativement que peu de radicelles. Le bulbe ou plateau racinal est volumineux et émerge en partie au dessus du niveau du sol. Le système présent quatre zones d'enracinement [2, 3]:

Zone 1 : Ce sont les racines respiratoires, localisées à moins de 0,25 m de profondeur qui peuvent émerger sur le sol.

Zone 2 : Ce sont les racines de nutrition, allant de 0,30 à 0,40 m de profondeur

Zone 3 : Ce sont les racines d'absorption qui peuvent rejoindre le niveau phréatique à une profondeur varie d'un mètre à 1,8 m.

Zone 4 : Ce sont les racines d'absorption de profondeur, elles sont caractérisées par un géotropisme positif très accentué. La profondeur des racines peut atteindre 20 m,

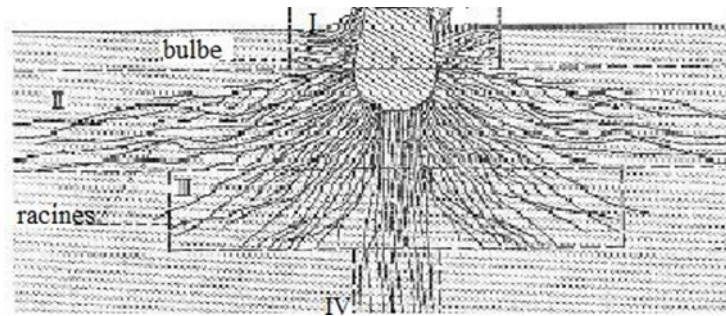


Figure II.4 : Les quatres zones des racines de palmier[18].

II.3.2. Le Tronc :

C'est aussi "the Trunk" ou "the stem" en anglais et "Elgidhea" en arabe. C'est un stipe généralement cylindrique, de 1 à 30m de hauteur, très garni en lifs. Son diamètre est de 45 à 55 cm, son élongation s'effectue dans sa partie coronaire par le bourgeon terminal ou phyllophore [3]. Il reste couvert pendant de nombreuses années des bases foliaires des anciennes feuilles desséchées qui finissent par tomber.

II.3.3. Fibrillum :

"Fibrillum " la même appellation est utilisé en Anglais, on l'appelle aussi fibres de surface de palmier dattier et "Lif " en Arabe. Le Fibrillum est la gaine de fibres qui entourent le stipe entre les bases des palmes. Il est constitué de la superposition de trois treillis, et a forme d'une plaque presque rectangulaire de longueur 300-500 mm et de largeur de 200-300 mm Le rôle écologique des fibres de surface de palmier est de renforcer le tronc et le protéger contre les chocs extérieurs et la chaleur du désert. Pendant l'entretien annuel des palmiers, chaque palmier peut se débarrasser d'environ 3kg de Fibrillum [12].



Figure II.5 : Le Fibrillium et son emplacement dans le palmier [18].

II.3.4. La couronne :

L'ensemble des palmes vertes forment la couronne ou la frondaison du palmier dattier. On dénombre de 50 à 200 palmes chez un palmier dattier adulte [13]. Elles sont émises par le bourgeon terminal ou « phyllophore », pour cela, on distingue : la couronne basale formée par les palmes âgées, la couronne centrale formée par les palmes adultes et les palmes du cœur qui sont les palmes non ouvertes et les palmes n'ayant pas encore leurs tailles définitives.



Figure II.6 : La couronne du palmier [18].

II.3.5. La palme :

La palme ou en arabe (*Djerid*) est une feuille pennée dont les folioles sont régulièrement disposées en position oblique le long du rachis (*Gand*) qui s'étend jusqu'au pétiole (*Kornaf*) le nom local de la base pétiole des palmes.

La longueur d'une palme peut varier de quelques dizaines de centimètres à plusieurs mètres. Suivant cette longueur, la palme peut être divisée en quatre parties : partie pétiole, partie épineuse, partie intermédiaire et partie foliotée. Il convient de noter

que L'ensemble des palmes au sommet du stipe est appelé *Couronne* ; elle peut faire de 6 à 10 mètres d'envergure[15,16].

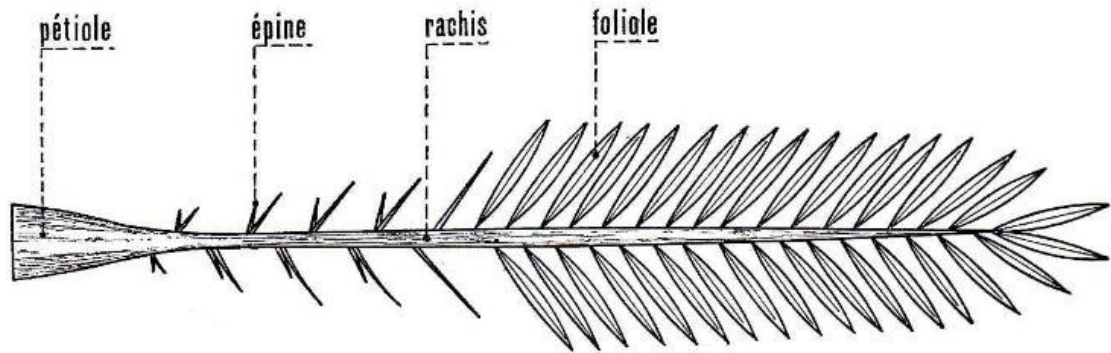


Figure II.7: Schéma d'une palme [3].

II.3.6. Le pétiole :

Le pétiole ou " Petiole " en Anglais et " Cornaf " en Arabe. C'est la partie de la palme enfuie dans le Fibrillium, il est généralement large, son diamètre longitudinal atteint 30 cm, et sa longueur varie entre 25 et 50 cm selon l'espèce de palmier. Le pétiole contribue avec le Fibrillium dans le renforcement et la protection du tronc contre l'endommagement causés par les animaux, les chocs extérieurs, et contre le climat difficile [14].



Figure8: Des pétioles secs[18].

II.3.7. Le rachis :

Le Rachis est "Rachis " en Anglais et " Nasle " en Arabe. C'est le bois de la partie épineux de la palme, il se situe entre la partie de foliole et la partie de pétiole. C'est un bois dur et dense par rapport au bois des autres deux parties. Il a une forme semi-cylindrique d'un

diamètre qui peut atteindre 7 cm et une longueur varié dans les palmes adultes entre 90 et 135 cm.



Figure II.9: Le Rachis[18].

II.3.8. Les Epines :

Les épines ou "Thorns " en Anglais et " Chouques " ou encore " Sreb " en Arabe. Les épines poussent sur les deux côtés du Rachis pour se déchirent par la suite en folioles, elles occupent d'environ 28% de longueur totale de la palme. La longueur des épines peut atteindre une valeur maximale de 24 cm par contre leur épaisseur ne dépasse pas 1cm. On nombre de 10 à 60 épines dans la palme distribuées individuellement ou dans des groupes de deux ou trois épines [14].



Figure II.10: Les Epines [18].

II.3.9. Les Folioles :

Les Folioles ou " Leaflets " en Anglais et "Saâf " en Arabe. Les folioles sont les petites feuilles dispersées sur les deux côtés de palme. Elles ont un épiderme recouvert d'un enduit cireux et une forme pointue aux extrémités. L'adhérence avec la palme se fait sous différentes angles selon la variété du palmier. La partie occupée par les folioles représente 65% de longueur totale de la palme, elle contient des folioles individuelles et des folioles regroupés en deux, trois, quatre ou en cinq. La longueur des folioles et leur largeur dépendent de la variété du palmier et de l'entretien qu'il a subi et des conditions environnementale. Les folioles peuvent avoir une longueur qui variée entre 15 et 85 cm et sa largeur entre 1et 6 cm. Par

contre le nombre de folioles dans une palme varie entre 120 et 240 selon la taille et la maturité de la palme [1, 14].



Figure II.11: Les Folioles[18].

II.3.10. Les Spathes :

La Spathe ou " Spathe " en Anglais et " Eldjof " en Arabe. C'est une enveloppe qui recouvre une inflorescence avant son développement et qui se déchire automatiquement pendant la maturation. La spathe est de forme lenticulaire aplatie aux extrémités. Sa surface extérieure est brune, ferme et polie, et celle de l'intérieure est jaune et très lisse. La spathe femelle diffère de la spathe male; elle est plus longue et plus large que celui du male. Donc, on trouve des spathes mesurant de 25 à 100 cm de longueur. Généralement, le palmier male " Dokkar " produit des spathes plus que le palmier femelle " Nakhla ", il donne de 10 à 30 spathes par ans par contre la femelle ne donne que 6 à 18 spathes par ans et parfois elle ne donne rien durant l'année [1,12, 13].



Figure II.12: Les Spathes [18].

II.3.11. Les grappes :

La Grappe ou le Régime est "Bunch " en Anglais et " Ardjoune " ou " Adhak " en Arabe. Il est constitué par une tige principale qui se ramifie en pédicelles. Sur le même régime, la maturation des fruits est échelonnée. Le palmier émet 6 à 20 grappes mesurant de

25 à 200 cm de longueur et 4 à 8 cm de largeur. Le nombre de fleurs est de 20 à 60 par épillet donnant par la suite 20 à 60 fruits [12, 13].

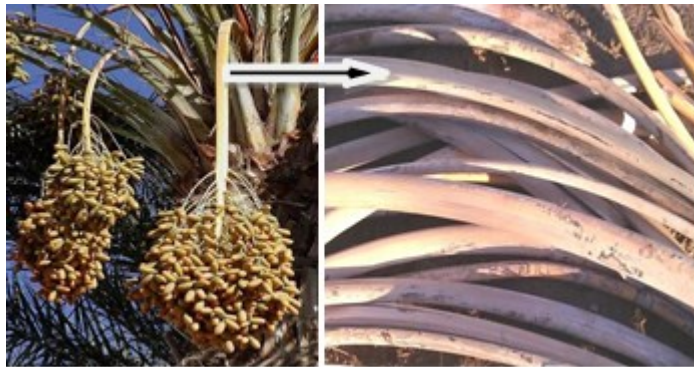


Figure II.13 : Les Grappes[18].

II.3.12. Les Pédicelles :

Les Pédicelles sont " Pedicels " en Anglais et " Chamarikh " en Arabe. Ils sont un ensemble des pédicules provenant du même régime, ils sont constitués de deux parties ; une partie supérieure lisse et droite et une partie inférieure sinueuse sur laquelle les dattes sont alignées. Chaque grappe donne de 20 à 150 pédicelles mesurant de 10 à 100 cm [12, 13].



Figure II.14 : Les Pédicelles rejetées après la récolte des dattes [18].

Références Bibliographiques

- [1] M. Walid Azier. Etude comparative de trois pieds mâles de palmier dattier (*Phoenix dactylifera* L.) et l'impact de leurs pollens sur quelques caractéristiques physico- chimiques des dattes, dans la région d'El Maleh (Biskra). mémoire d'ingénieur d'état en Agronomie à l'université de Biskra, 2007.
- [2] M. Djerbi. le précis de la phéniciculture. F. A. O., Tunis, 192p , 1995.
- [3] P. Munier. Le palmier dattier. G. P. Maisonneuve et Larose, Paris, 221 p, 1973.
- [4] M. Ouinten. le palmier dattier dans le système oasien. 1995.
- [5] A. Chevalier. Revue internationale de botanique appliquée et d'agriculture tropicale. 32, 1952, 355, 205-236.
- [6] M. Djerbi. les maladies du palmier dattier. Projet regional de lutte contre le bayoud. F.A.O, (Rab/84/058) Alger, 125 p, 1998.
- [7] N. Ayachi. contribution à l'étude de quelques caractéristiques morphologiques et biochimiques de huit cultivars de palmier dattier (*Phoenix dactylifera* L.) dans la région d'Ouled Djellal (Biskra). Thèse d'ingénieur d'état en Agronomie à l'université de Batna, 2002.
- [8] L. Boughediri. Le pollen de palmier dattier (*Phoenix dactylifera* L.) approche multidisciplinaire et modélisation des différents paramètres en vue de créer une banque de pollens. Thèse de doctorat de l'université Paris VI, 158p, 1994.
- [9] S. S. Hegazy, A. Khaled. Effect of date palm cultivar, Particle Size, Panel Density and Hot Water Extraction on Particleboards Manufactured from Date Palm Fronds. Agriculture, 5, 2015, 267-285.
- [10] A. Zaid. Date palm cultivation. F.A.O. Rome, Italie, 292 p, 2002.
- [11] M. Buelguedj. Evaluation du sous-secteur des dattes en Algérie., INRAA El-Harrach, 2007.
- [12] F.H. Ahmed Ali. Palmier dattier: arbre de la vie entre le passé, le présent et le futur.

Partie 1, 2005, Ed, Dare el arabia, Kairo, Egypt,14519/ ISBN977-258-197-3

[13] G. Peyron. Cultivar le palmier dattier. C.I.R.A.D, Montpellier, France,110 p, 2000

[14] F H. Ahmed Ali. Palmier dattier : arbre de la vie entre le passé, le présent et le futur. Partie 2, 2005, Ed,Dare el arabia, Kairo, Egypt 14517/ ISBN977-258-196-5.

[15] A.Nourani.,A.Kadri.,Z.Benguiga.,M.MehenniI.,A.Salem.,K.Ferhat, *Réalisation d'un pollinisateur du palmier dattier*, Rev. Marocaine des Sciences Agronomique set Vétérinaires,2017, pp.319.

[16] T. Djoudi, *Elaboration et caractérisation de composites bio-sourcés à base de fibres de palmier dattier*, Thèse de Doctorat, Université Mohamed Khider-Biskra, pp.161. 2019.

[17] B.Adel Aziz, M. Guessoum , *Entomofaune de la palmerie El Atteuf à Ghardaïa* p17,2011.

[18] A. Kenza, *Développement et caractérisation de matériaux à base du bois de palmier dattier adaptés aux applications de développement durable en Algérie*, thèse présentée en vue de l'obtention Du diplôme de Doctorat en sciences , Génie Mécanique, 2018.

Chapitre III

Le procédé sol-gel

III.1. Introduction :

Le procédé sol-gel est une technologie relativement nouvelle pour la préparation et la fabrication d'oxydes inorganiques homogènes et de haute pureté. Ces dernières années, il a été démontré de manière convaincante que ce procédé est bien adapté aux matériaux optiques sous forme de films minces, de solides et de fibres [1]. Ce procédé a connu un essor important au fil des années déjà, les scientifiques s'intéressent beaucoup à ce procédé dans le domaine de l'élaboration du verre, de la céramique, de l'argile, des encres ou encore des matériaux vivants. Yeux, sérum ou lait [2].

Le chimiste français JJ Ebelmen a décrit la première synthèse "sol-gel" de verre de silicium en 1945. Selon ses observations, "Sous l'influence d'une atmosphère humide, l'éther silicique se transforme progressivement en une masse solide transparente qui n'est rien d'autre que de la silice comparable à la cristal de roche le plus clair "procédé de race" sol gel", [3].

Le principe de base du procédé sol-gel repose sur la transformation d'une solution à base d'un précurseur en phase liquide en un solide par une combinaison de réactions chimiques telles que la polymérisation à température ambiante [4].

III.2.Histoire de la silice via le procédé sol-gel :

La silice est obtenue facilement par voie sol-gel et c'est historiquement le premier matériau qui a été synthétisé par cette méthode. La première synthèse sol-gel d'un verre de silice a été décrite par un chimiste français J.J. Ebelmen. Il a cependant fallu attendre près de cent ans pour que cette idée soit reprise industriellement, le premier brevet « sol-gel » ayant été déposé seulement en 1939 en Allemagne par Schott Glaswerke pour la réalisation de rétroviseurs dont la commercialisation est intervenue en 1959 seulement. Les procédés sol-gel sont de nos jours très largement utilisés industriellement, en particulier pour réaliser des films minces de silice sur de très nombreux supports [5].

III.3.Procédé sol-gel :

Le procédé de gel est une voie chimique utilisée pour synthétiser vitreux ou vitreux ou matériaux céramiques matériaux céramiques à des températures relativement basses basses températures, sur la base de traitement chimique traitement chimique, qui implique la préparation d'un sol, la gélification du sol et élimination du liquide existant in fine canaux interconnectés dans le gel.

III.4.Description de la méthode Sol-Gel :

L'appellation sol-gel est une contraction des termes « solution-gélification ».

Avant que l'état de gel ne soit atteint, le système est dans l'état liquide : il est constitué d'un mélange d'oligomères colloïdaux et de petites macromolécules ainsi que, selon le degré d'avancement de la réaction de polymérisation, de différents monomères partiellement hydrolysés. Cette dispersion stable de particules colloïdales au sein d'un liquide est appelée « sol ». La taille des particules solides, plus denses que le liquide, doit être suffisamment petite pour que les forces responsables de la dispersion ne soient pas surpassées par la gravitation.

Le gel est constitué d'un réseau d'oxyde gonflé par le solvant, avec des liaisons chimiques assurant la cohésion mécanique du matériau en lui donnant un caractère rigide, non déformable (un gel peut présenter un caractère élastique, mais pas de viscosité macroscopique). Le gel correspond à la formation d'un réseau tridimensionnel de liaisons de Van der Waals.

Le temps nécessaire au « sol » pour se transformer en « gel » est appelé temps de gel (ou point de gel) [6].

Il existe deux voies de synthèse sol-gel qui sont :

- **Voie inorganique** ou **colloïdale**: obtenue à partir de sels métalliques (chlorures, nitrates, oxychlorures<) en solution aqueuse. Cette voie est peu chère mais difficile à

contrôler, c'est pour cela qu'elle est encore très peu utilisée. Toutefois, c'est la voie privilégiée pour obtenir des matériaux céramiques.

- **Voie métallo-organique** ou **polymérique** : obtenue à partir d'alcoxydes métalliques dans des solutions organiques. Cette voie est relativement coûteuse mais permet un contrôle assez facile de la granulométrie[5].

Les précurseurs métal-organiques les plus couramment utilisés sont les alcoxydes métalliques de la formule générale $M(OR)_n$ où M représente un cation métallique tel que le silicium, le titane, le zirconium,...etc, n et R une chaîne d'alkyles de type (C_nH_{2n+1}) , dispersés dans un solvant organique (généralement l'alcool parent de l'alcoxyde). L'hydrolyse consiste à remplacer les ligands alcoxydes (-OR) par des ligands hydroxyles (-OH). Les réactions de condensation des ligands hydroxyles produisent des oligomères ou des polymères composés de liaisons de type M-O-M. La synthèse, le comportement réactionnel et les propriétés physiques des alcoxydes des métaux ont été largement étudiés par plusieurs auteurs [7].

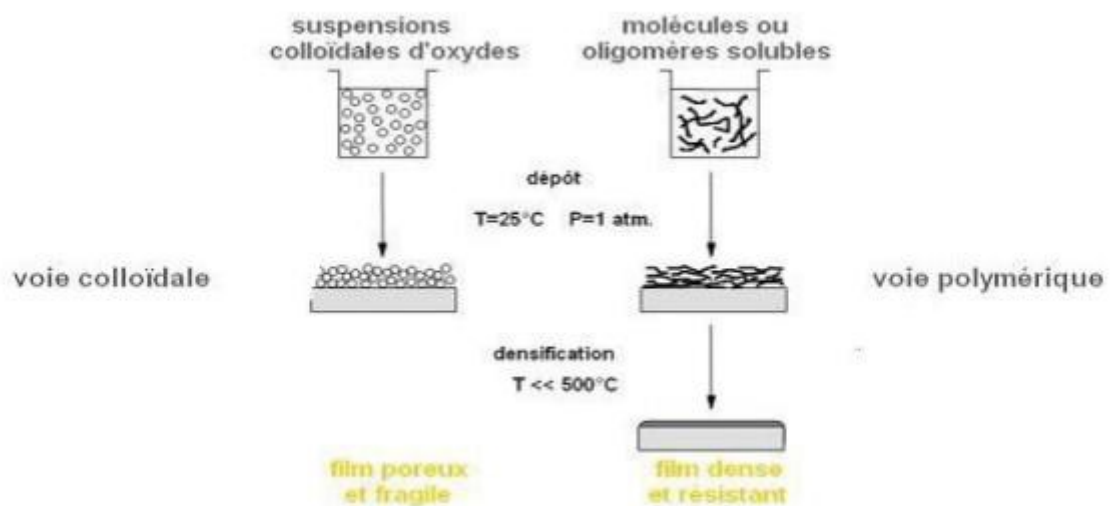


Figure III.1: Procédé Sol-Gel [10].

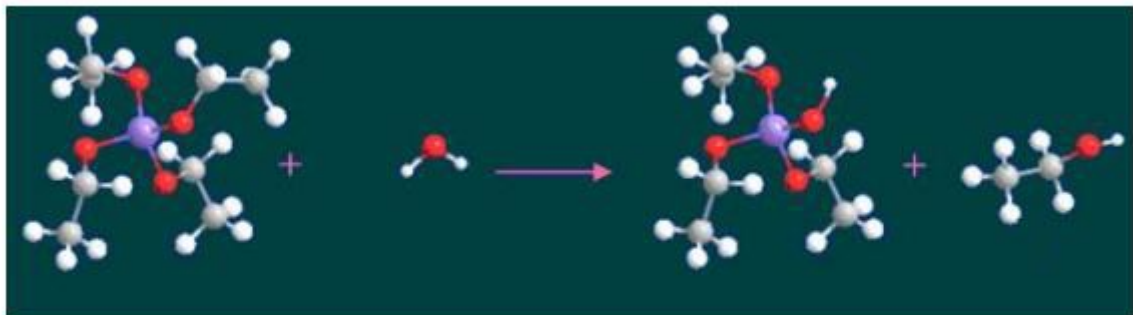
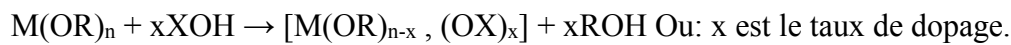
III.5. Réactions chimiques dans le procédé sol-gel :

L'élaboration de réseaux d'oxydes par procédé sol-gel se déroule via des réactions de polymérisations inorganiques en solution à partir des précurseurs moléculaires, généralement

des alcoxydes métalliques : $M(OR)_n$ ou M est un métal de degré d'oxydation n et OR est un groupement alcoxyde correspondant à un alcool de protons [8].

Les alcoxydes métalliques doivent être d'une grande pureté et présenter une solubilité élevée dans une grande variété de solvants. Cette condition de grande solubilité ne peut généralement être réalisée que dans des solvants organiques [8].

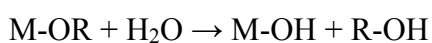
La polymérisation se déroule en deux étapes : l'hydrolyse et la condensation. L'hydrolyse et la condensation d'alcoxydes métalliques sont équivalentes à une substitution nucléophile des ligands alcoxy par des espèces hydrolysées XOH .



● : Matériau M, ● : oxygène, ● : carbone, ○ : hydrogène

Figure III.2. : Illustration de la réaction de l'hydrolyse[10].

L'hydrolyse: cas où $X=H$ et $n=1$



Elle a pour but d'engendrer des fonctions réactives $M-OH$. Il s'agit de la conversion de fonctions alcoxy en fonctions hydroxy. La solution ainsi obtenue est appelée sol.

La condensation:(cas où $X=M$)

Elle consiste en la conversion des fonctions hydroxy en espèce $M-O-M$. Cela correspond à la formation du réseau macromoléculaire minéral qui peut alors se faire via des réactions de polycondensation (formation des ponts oxo par réactions d'oxalation) avec élimination d'eau ou d'alcool [3] :

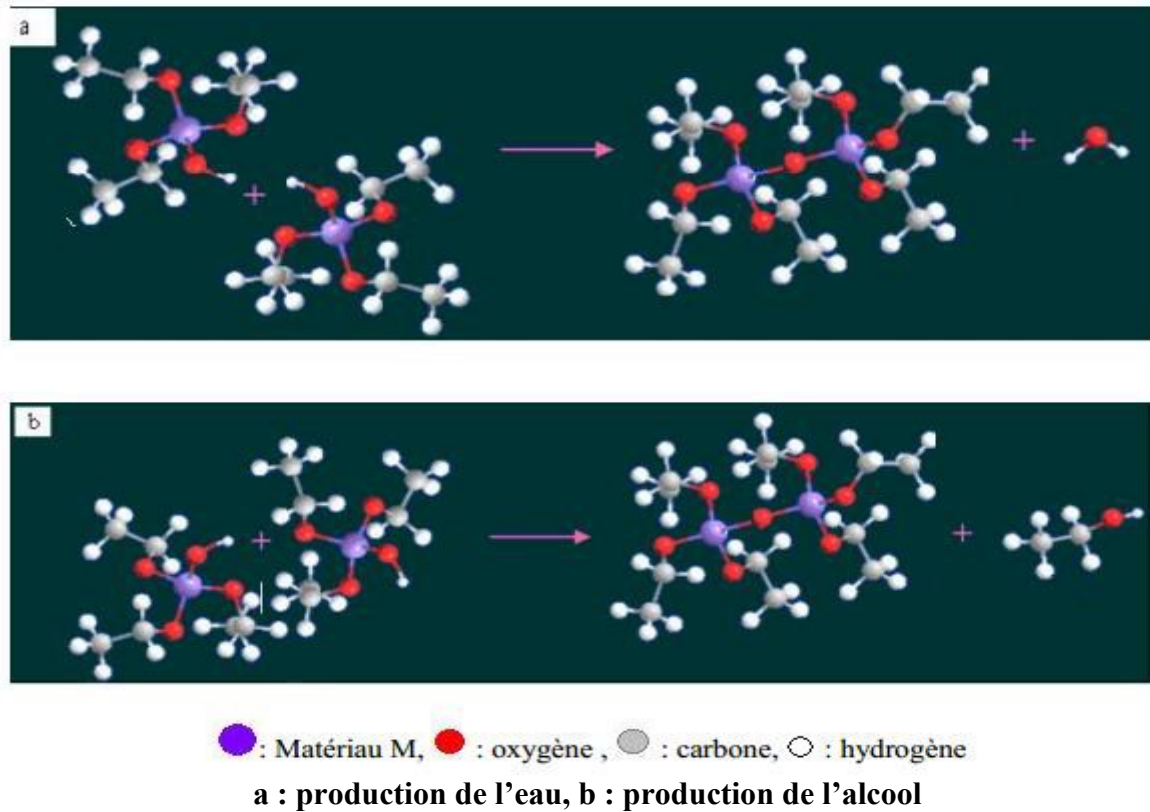
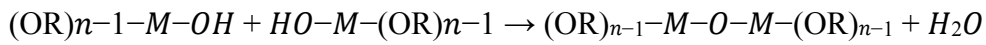
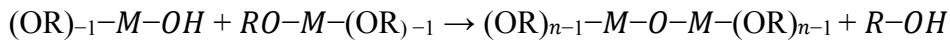
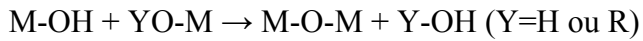


Figure III.3: Illustrations de la réaction de condensation [10].

III.6. Cas des alcoxydes de silicium :

Les alcoxydes de silicium réagissent très lentement avec l'eau, et sont d'ailleurs indéfiniment stables en l'absence d'eau. C'est pourquoi, la synthèse de gels de silice requiert une étape d'hydrolyse. Les précurseurs commerciaux les plus répandus sont les tétraméthoxy- et tétraéthoxysilanes (en abrégé TMOS et TEOS respectivement). Les alcoxydes de silicium étant non miscibles à l'eau, on utilise un co-solvant (généralement l'alcool parent) pour effectuer la réaction. L'étape d'hydrolyse étant très lente avec l'eau pure, on ajoute toujours un catalyseur, qui peut être un acide ou une base. Comme on le verra plus tard, ces deux types de catalyseurs conduisent à deux types de gels très différents [6].

Dans le cas, par exemple, de la synthèse d'un verre de silice, on utilise un alcoxyde de silicium $\text{Si}(\text{OR})_4$.

- Hydrolyse : $\text{Si-OR} + \text{H}_2\text{O} \Rightarrow \text{Si-OH} + \text{ROH}$ (par ex. $\text{Si}(\text{OC}_2\text{H}_5)_4 + 4 \text{H}_2\text{O} \Rightarrow \text{Si}(\text{OH})_4 + 4 \text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$)
- Condensation : $\text{Si-OH} + \text{RO-Si} \Rightarrow \text{Si-O-Si} + \text{ROH}$ ou $\text{Si-OH} + \text{HO-Si} \Rightarrow \text{Si-O-Si} + \text{H}_2\text{O}$

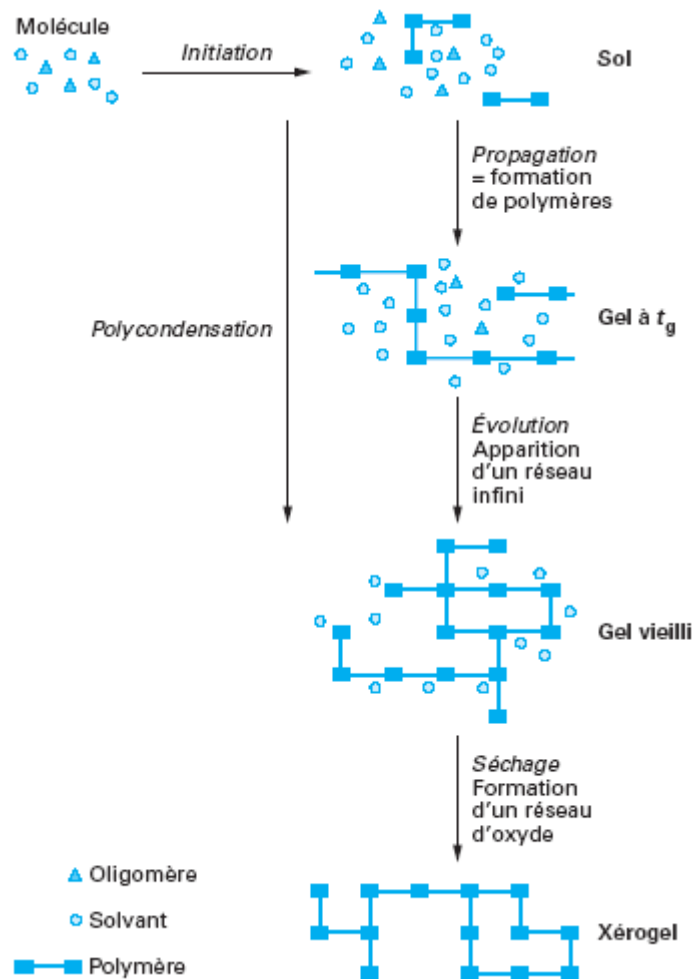


Figure III.4 : Description schématique du processus de polymérisation sol-gel [6].

III.7. Gélification et structure du gel :

Les réactions précédentes conduisent à la gélification et à la formation d'un gel constitué de chaînes M-OM (ou M-OH-M) et dont la viscosité augmente au cours du temps. Ce gel contient encore des solvants et précurseurs qui n'ont pas réagi. La phase "gel" dans le

procédé sol-gel est défini et caractérisée par un "squelette" solide en 3D inclus dans une phase liquide. La phase solide est typiquement un sol polymérique condensé où les particules se sont enchevêtrées pour former un réseau tridimensionnel (figure III.5)

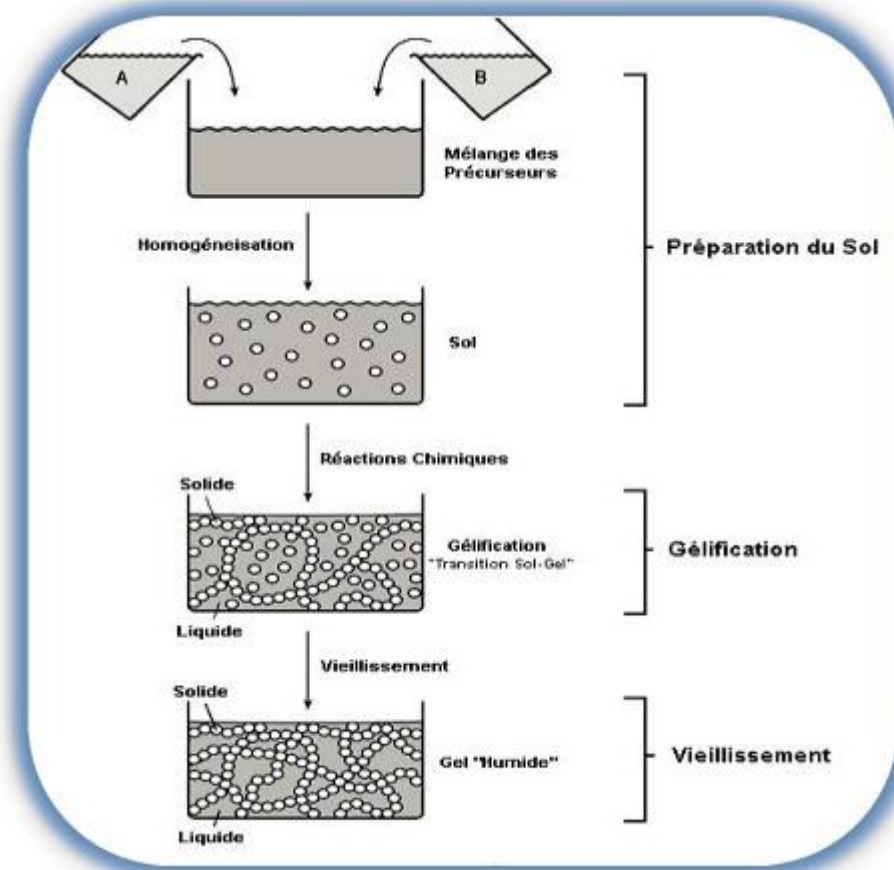


Figure III.5 : Les différentes étapes de formation des gels

Les réactions permettant l'obtention de ce matériau sont réalisées à température ambiante. influençant les réactions sont la température, le pH, la nature du précurseur et du solvant et les concentrations des réactifs [9].

III.8. Vieillissement du gel :

Le vieillissement du gel se traduit par des modifications physico-chimiques qui ont lieu après la gélification. Trois processus peuvent se produire :

- La polymérisation (étape de renforcement du réseau grâce à de nouvelles liaisons),

- Le mûrissement (processus de dissolution et de re-précipitation),
- La transformation de phase ou synérèse. Le phénomène de réticulation conduit au rétrécissement du matériau avec expulsion du solvant :

On parle alors de « synérèse », et c'est la que le gel avance. Indépendamment de la synérèse, il est possible de sécher le gel, soit en conditions atmosphériques, soit en conditions supercritiques. Dans les deux cas, on obtient un réseau plus moins dense sans solvant [9].

III.9. Paramètres influençant la cinétique des réactions :

Plusieurs paramètres influencent les réactions du procédé sol-gel, soient :

- **La température :** C'est le premier paramètre à considérer, qui intervient dans toute réaction chimique. Dans notre cas, elle a une influence sur les vitesses d'hydrolyse et de condensation dès la préparation du sol, puis pendant le vieillissement ou le stockage. Evidemment, plus elle est élevée, plus les réactions sont rapides [10].
- **Le solvant :** Les alcoxydes ne sont pas miscibles dans l'eau, il est donc nécessaire de mélanger les précurseurs, l'eau et éventuellement le catalyseur, dans un solvant commun. Il est alors préférable d'utiliser l'alcool correspondant au ligand -OR de l'alcoxyde, ceci afin d'éviter d'éventuelles réactions entre les différents composants susceptibles de modifier les cinétiques de réactions. Le sol de départ est donc généralement une solution alcoolique.

Les solvants s'affectent sur la viscosité et les forces de tension superficielle, aussi sur les propriétés de l'oxyde, telles que la densité et par conséquent sur la porosité et la taille des pores du matériau [10].

❖ Le taux d'hydrolyse :

C'est le rapport du nombre de mole d'eau ajoutée au nombre de mole de métal M. Son influence sur les cinétiques relatives de l'hydrolyse et de la condensation apparaît assez complexe car l'eau ajoutée n'est en général pas totalement consommée, et parce que les

molécules d'eau résiduelles, régénérées au moment de la condensation ou formées par estérification, sont aussi à prendre en compte. Une quantité importante de groupements –OH liés au métal peut bloquer la polymérisation et causer la précipitation [10].

❖ **Influence du pH :**

Un pH acide accélère l'hydrolyse et ralentit la condensation contrairement au pH basique.

- Pour un pH inférieur à 7, un fort taux d'hydrolyse favorise donc la croissance du réseau et conduit à une solution polymérique. Sous catalyse acide, qui est la voie de synthèse la plus rapide, le gel formé est appelé « gel polymérique » : on obtient après gélification une structure ouverte.
- Pour un PH supérieur à 7, Un taux faible d'hydrolyse (pH basique) favorise plutôt la nucléation et conduit à la formation d'une solution colloïdale. Dans le cas de la catalyse basique, la taille des pores est contrôlable (contrairement à la catalyse acide). Le gel formé est appelé « gel colloïdal » et possède une structure à larges pores (clusters).

III.10.Séchage du gel :

Une fois gélifié, le matériau subit le séchage dû aux forces capillaires dans les pores et ce séchage entraîne un rétrécissement de volume. Le procédé de séchage permettant l'obtention du matériau sol-gel nécessite que l'alcool ou l'eau puisse s'échapper en même temps que le gel se solidifie.

Le procédé d'évaporation se produit grâce aux trous et aux canaux existants dans le matériau sol-gel poreux. Il existe plusieurs types de séchage permettant d'obtenir des types de matériaux différents :

Xérogel : séchage classique (évaporation normale) entraînant une réduction de volume allant de 5 à 10%. L'évaporation du solvant permet la formation d'un xérogel auquel on peut faire subir un traitement thermique à température modérée afin de densifier le matériau. Les

températures de densification dépendent fortement du type de matériau et des propriétés recherchées. Le séchage du gel constitue une étape délicate. Il est important que le solvant s'évapore très lentement afin d'éviter la fragmentation du xérogel. La réalisation d'un matériau solide est donc difficile en raison des tensions internes apparaissant lors du séchage et pouvant entraîner la fissuration du matériau.

Aérogel : séchage en conditions critiques (dans un autoclave sous pression élevée) n'entraînant pas ou peu de rétrécissement de volume. L'évacuation du solvant dans des conditions supercritiques conduit à la formation d'un aérogel n'ayant subi aucune densification. On obtient ainsi un matériau très poreux avec des propriétés d'isolation exceptionnelles. Le passage d'un sol au gel, dont la viscosité peut être contrôlée, permet également la réalisation de fibres et de films divers supports par trempage ou vaporisation.

Les xérogels sont généralement plus denses que les aérogels.

A partir d'une même solution et en fonction du mode de séchage du gel, le matériau final prend des formes très différentes : matériaux dense ou massifs (monolithes de verres ou de céramiques), poudres, aérogels (séchage supercritique), fibres, composites, gels poreux ou membranes, et, bien entendu, films ou couches minces (figureIII.6) [11].

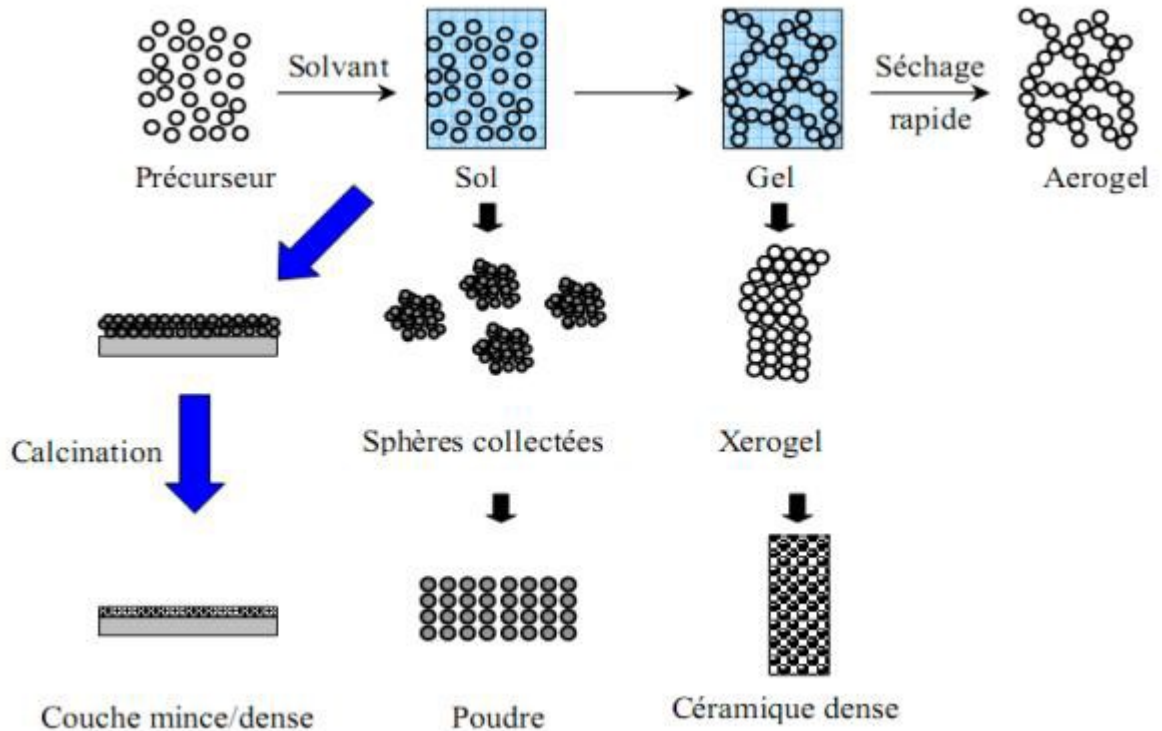


Figure III.6. Diversité des matériaux sol-gel et de leur mise en forme [10].

III.11. Les application Sol-Gel dans plusieurs domaines d'activités :

Les applications des matériaux sols-gels sont nombreuses. Comme la chimie sol-gel constitue une méthode « douce », la principale utilisation de ce procédé concerne la réalisation de dépôts en couches minces.

Les revêtements sol-gel ont pour objet la modification des propriétés d'une surface pour lui conférer de nouvelles fonctionnalités (coloration, antireflet, absorption des UV, pouvoir réfléchissant, isolation, auto-nettoyage, etc.). De plus, les matériaux hybrides, combinant l'inorganique et l'organique, offrent toute une gamme de possibilités nouvelles et trouvent des applications dans différents domaines.

- **Le BTP :**

Vu les propriétés isolantes des aérogels, ces derniers trouvent leur place dans le domaine de la construction. Actuellement, les vitrages des bâtiments possèdent des

fonctionnalités nouvelles obtenues par des couches déposées par la technique sol-gel : vitrage anti-réfléchissant, anticaloriques, auto-nettoyant,...

- **Métallurgie :**

Le procédé sol-gel pourrait remplacer la chromatation comme traitement anti-corrosion. Il peut également conférer des propriétés de protection contre les rayures, anti-salissure, réduction des frictions et par conséquent la diminution de l'usure.

- **La biologie :**

Les procédés sol-gel s'ouvrent aussi à la biologie. Il est, par exemple, possible d'encapsuler au sein d'un gel de silice des structures biologiques assez volumineuses telles que des stéroïdes, des peptides, des enzymes, des levures, des cellules végétales ou des bactéries. L'enzyme conserve son activité biologique et se trouve protégée par la matrice de silice poreuse. La « bioencapsulation » par voie sol-gel se développe donc actuellement afin de synthétiser des bio-capteurs et même des bio-réacteurs.

- **Optique :**

L'optique est un domaine où le procédé sol-gel est très développé, aussi bien pour l'obtention de matériaux massiques que le dépôt de couches minces conférant des propriétés particulières : couche hybride de grande pureté pour des miroirs, optique pour les lasers, protection anti-rayure, UV...

- **Pharmaceutique :**

Les traitements sol gel trouvent, également, leur application dans le transport contrôlé de médicaments ou de produits cosmétiques. En effet, de nouveaux traitements médicamenteux sont basés sur l'encapsulation de l'agent actif dans une matrice sol-gel pour contrôler sa libération dans les zones cibles.

- **Électronique :**

L'électronique offre, elle aussi, un débouché important pour les films sol-gel. Le procédé est compatible avec les technologies modernes et les dépôts sol-gel peuvent être réalisés sur des plaquettes de silicium. Il permet de réaliser notamment des films diélectriques (BaTiO_3) ou des mémoires ferromagnétiques, de 200 nm d'épaisseur, directement sur le silicium.

- **Médicale :**

Les applications biomédicales incluent l'augmentation de la biocompatibilité des prothèses métalliques et os artificiels par application de dépôt sol gel. Elle concerne, également, les « plombages » et antifissurants dentaires, les phosphates « bioactifs » ainsi que des thérapies anti-cancer...

- **Automobile :**

Dans le domaine de la construction automobile, le procédé sol-gel concerne, plus particulièrement, les pièces transparentes : pare-brise, vitre, optique, rétroviseur ... L'avantage de la technologie sol-gel par rapport aux procédés classiques est la réduction du temps et des coûts de production. En effet, les procédés de revêtements traditionnels impliquent 5 à 13 étapes.

- **Aéronautique :**

Dans l'aéronautique, le sol-gel intéresse, principalement, les solutions anti-corrosion pour le fuselage, la protection thermique, les solutions de réparation rapide des impacts subis par les avions ...

- **Textile :**

Le traitement sol-gel contribue à une amélioration de la résistance mécanique (en particulier de la résistance à l'abrasion) et à la stabilité thermomécanique du textile. La base inorganique du sol-gel peut conférer une protection accrue aux attaques chimiques [12].

III.12. Les avantages et les inconvénients du procédé sol-gel:

III.12.1. Les avantages du procédé sol-gel:

- Un faible coût énergétique : les gels secs peuvent être vitrifiés ou frittés à une plus basse température que celle utilisée dans l'industrie pour les matières premières conventionnelles.
- Une mise en oeuvre simplifiée : la viscosité des sols et des gels permet d'élaborer directement les matériaux sous des formes variées : couches minces, fibres, poudres fines et matériaux massifs.
- Obtention des matériaux sur mesure : le contrôle des réactions de condensation permet d'orienter la polymérisation et d'optimiser les caractéristiques du matériau en fonction de l'application envisagée.
- Une grande pureté et meilleure homogénéité du matériau.
- Un Dépôt de couches minces sur les deux faces du support en une seule opération.
- Une réalisation de dépôts multi-composants en une seule opération [4].

III.12.2. Désavantages:

Les principaux inconvénients sont :

- Coût des précurseurs à haute teneur en alcoolates.
- Manipulation d'une grande quantité de solvants.
- l'inconvénient majeur est la faible épaisseur des couches, il faut donc effectuer plusieurs.

des étapes de dépôt et de séchage pour obtenir une épaisseur de plusieurs centaines de nanomètres, ce qui augmente le risque de fissuration car les premières couches déposées subissent toutes les séchage qui augmente le risque de court-circuit lors des tests électriques[13].

Références Bibliographiques

- [1] S. Rabaste, Microcavités optiques élaborées par voie sol-gel : applications aux ions terre rare d'Eu³⁺ et aux nanocristaux semiconducteurs de CdSe, Thèse de Doctorat, 2003, p36
- [2] E.ELaloui,G.Mpajonk ,synthèse sol-gel :Aplication à la silice ,journal de la société chimique de Tunisie –Volume IV-N :7- JUIN 2000.
- [3] C.Khaled, Etude des propriétés physiques des couches minces et des poudres du SiO₂ dopées au Cobalt, Mémoire de Magister en physique Université Constantine 1, 2014, page 22.
- [4] E.Abdellah , Contribution au Développement des Matériaux Nano-Composites à Base de ZnO et Polymère Etude Structural et Optique, Mémoire de Magister en physique Université des Frere Mentouri Constantine,2015,page :21.27.45.
- [5] A. Riad, *Préparation et Caractérisation d'un Xérogel Monolithique de Silice par voie Sol-Gel*, Mémoire de Master Université A.MIRA-BEJAIA, 2015, page22.25
- [6]Dossier technique :le procédé sol-gel,
<http://rescoll.fr/blog/wpcontent/uploads/2009/04/dossier-technique-sol-gel-blog-rescoll1.pdf>
- [7] A. Reda Khantoul, Elaboration des Couches minces du Semiconducteur ZnO dopées au Cobalt et étude de leurs propriétés structurales, optiques et électriques , Thèse de Doctorat , 2018 , page 43.
- [8] Sara Benzaïoua, Caractérisation des couches minces de Y₂O₃ dopée Ce, élaborée par la méthode Sol-Gel «spin-coating» Mémoire de Master, universite mohamed seddik ben yahia – jijel, page17.
- [9] B. Yamina,synthese et caracterisation d'oxyde d'etain dopé par la voie chimique,memoire de master en chimie, universite larbi ben m'hidi oum el bouaghi,2020,page22.23.
- [10] H. Sonia, Couches minces nanocristallines et texturées d'oxyde de Zinc préparées par Sol-Gel, Université M'hamed Bougara de Boumerdès Université de Boumerdès 1Mémoire de Master, 2017, page33.

[11] C.Salim, Propriétés des fenêtres optiques ZnO:Al pour cellules solaires en couches minces à base de cigs, mémoire de magister, université ferhat abbas –setif –ufas (algerie) ,2012, page30.

[12] <https://veillechimie.imist.ma/index.php/produits-technologies/technologiesprocedes/304-sol-gel-un-procede-issu-de-la-chimie-douce>

[13] S.Abdel Hakim, Ational speed and solvent effect on the structural and optical properties of zno thin films prepared by sol-gel (spin coating) method, university med khider of biskra, 2014, p45.

Chapitre IV

Matériels et méthodes

IV.1. Introduction :

Dans ce chapitre, nous avons préconisé la description des différents matériels et méthodes expérimentales utilisées dans le cadre de cette étude.

La partie expérimentale a été réalisée au niveau du laboratoire :

- laboratoire du génie des procédés à la Faculté des Sciences et Techniques, Université de Ghardaïa,
- De l'Université Kasdi Merbah de Ouargla.

IV.2. Matériels et produits :

Tableau IV.1 : Représente les matériels et les produits

Matériels	Produits
<ul style="list-style-type: none">• Balance électrique ;• Tubes à essais ;• Fiole.• Pipettes (10mL)• Bécher.• Barreau magnétique.• Un agitateur magnétique .• Des récipients bien propres .• Du para films pour éviter le contact avec l'air .• Papier aluminium .• pH mètre.• Etuve.• Plaque chauffante.• Balance .• Entonnoir.• Bec Bunsen.• Baguette de verre.	<ul style="list-style-type: none">• L'acide chlorhydrique HCl37%• L'acide Sulfurique H₂SO₄ 95%• Hydroxyde de sodium NaOH• L'eau distillée.

<ul style="list-style-type: none"> • Eprouvette –Entonnoir –papier filtre • Fiole à vide . • Mortier +pilon. • bouteille du gaz. 	
--	--

IV.3. Préparation du gel de silice à partir du sable :

IV.3.1. Prélèvement et préparation des échantillons :

Notre étude a été menée sur les sables des zones suivantes Sebseb, El-Sawareg et El gangoma, situées dans la ville de Ghardaïa. Des échantillons ont été prélevés en 7/02/2022, dans le but d'extraire du gel de silice.

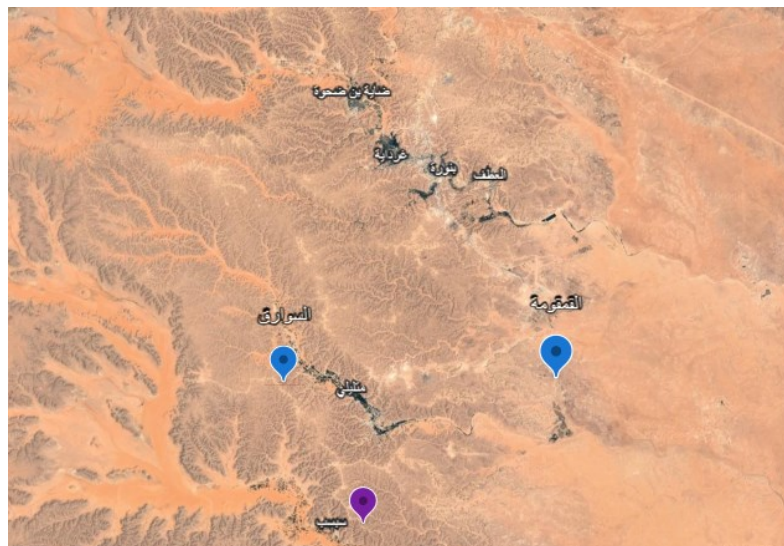


Figure IV.1 : Images satellites montrent les localités des sables (Google earth).

IV.3.2. Mode opératoire :

50g du sable de chaque région (Sebseb, El-Sawareg ,El gangoma) a été ajoutés à différents volumes et concentrations de solution HCl (3M,1M,5M,) dans un récipient en verre.Le mélange obtenu a été mélangé dans un agitateur pendant 2 heures. Le sable a été lavé avec de l'eau distillée trois fois pour éliminer le carbone et filters puis on a le laissé sécher pendant 24 heures.

30g de la soude NaOH a été ajoutée au sable séché dans un creusé. On a bien mélangé les ingrédients et les chauffé dans un bec benzène à une température de 600°C jusqu'à homogénéité des ingrédients. Puis, on a transféré le mélange dans un bécher et on ajoute 200

ml d'eau distillée. Ensuite la filtration. L'acide sulfurique a été ajouter au liquide (filtrat) jusqu'à pH=7.5 à 8.5 sous agitation. Le gel de silice résultant a été séparé de la solution. Ce sel soluble par filtration sous vide. Enfin, on sèche le gel de silice dans une étuve à 135°C pendant les 48heures afin de le broyé en poudre et mesurons sa masse.

IV.3.3. Schéma de la synthèse du gel de silice à partir de sable :

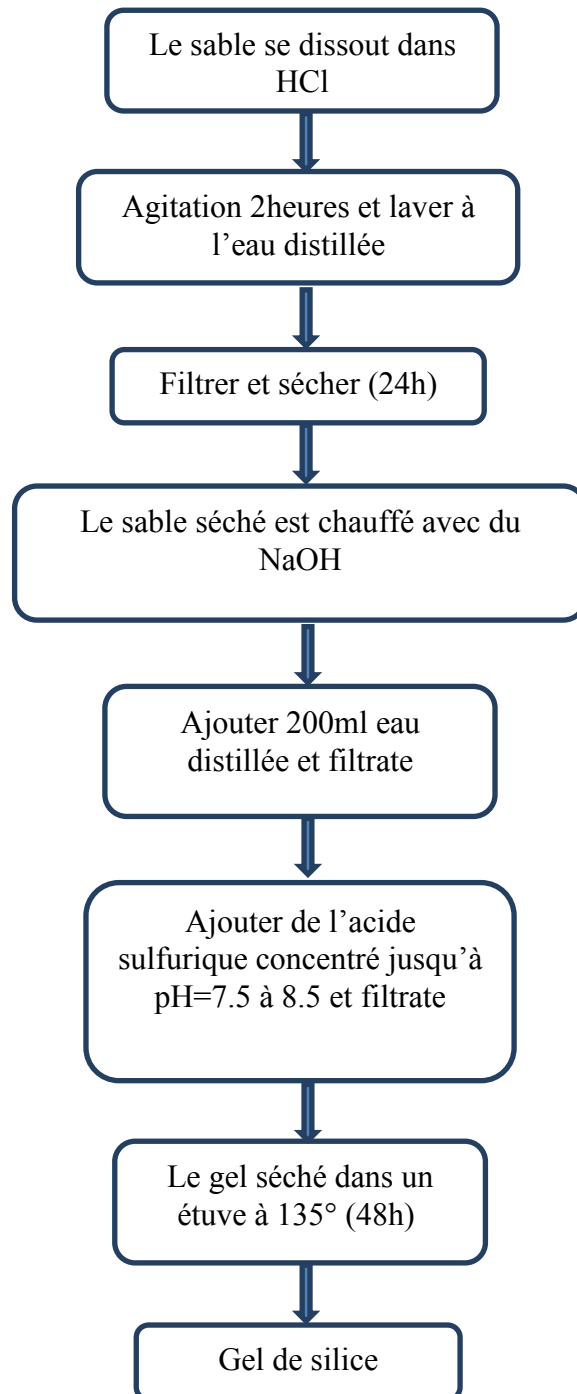


Figure IV.2 : Schéma de la synthèse du gel de silice à partir de sable .



Photo IV.1 : Agitation de la solution



Photo IV.2 : Lavage du sable par l'eau distillée.



Photo IV.3 : Séchage.

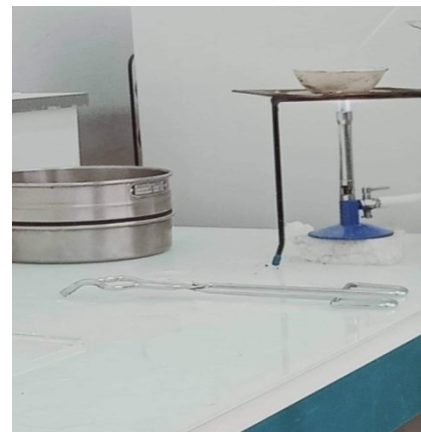


Photo IV.4 : Chauffage le mélange.



Photo IV.5 : Filtration de la solution

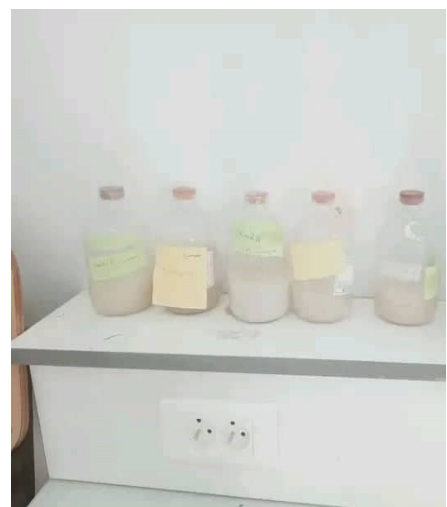


Photo IV.6 : Gélification



Photo IV.7 : filtration sous vide de la solution



Photo IV.8 : Gel de silice après séchage

IV.4. Préparation du Nano silice :

IV.4.1. Mode opératoire :

5g de silice de chaque échantillon ont été pesés et ajoutés à 40ml de HCl et placés au reflux pendant 1.5 heures. Ensuite, 40 ml de solution de NaOH a été ajouté à chaque solution obtenue. Après l'ajout de L'acide sulfurique concentré lentement jusqu'à pH=7,5 à 8,5. Puis, nous avons laissé pendant les 48 heures. Ensuite, la solution a été filtrée afin d'obtenir de la nano silice. Puis. Le séchage de la nano silice à 135°C dans une étuve pendant les 48 heures et enfin le broyage en poudre et mesurons sa masse.

IV.4.2. Schéma de la synthèse du Nano silice à partir du gel de silice :

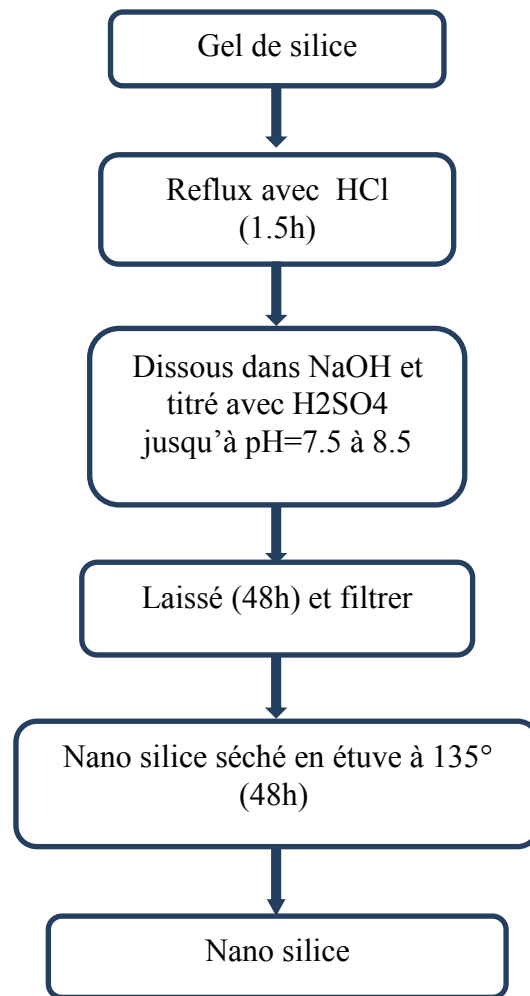


Figure IV.3 : Schéma de la synthèse du Nano silice à partir du gel de silice.



Photo IV.9 : Montage de Reflux



Photo IV.10 : Mesure Le pH



Photo IV.11 : Filtration la solution



Photo IV.12 : Gel de silice après séchage

IV.5. Préparation du gel de silice à partir de cendre :

IV.5.1. Le matériau végétal :

Le matériau végétal utilisé dans cette étude est le palmier situé dans la région de Ghardaïa. Les parties de la paume ont été coupées (Feuilles, Racines et la cornaf) en 15/2/2022. Ces morceaux ont été brûlés individuellement pour se transformer en cendre pour une utilisation dans l'extraction de gel de silice.



Photo IV.13 : Photo du palmier dattier

IV.5.2. Mode opératoire :

On met une quantité 50 g de cendre de chaque résidus du palmier dattier (Feuilles, Racines et cornaf) a été ajoutés à différentes volumes et concentrations de solution HCl (3M,1M,5M,) dans un bécher. Le mélange obtenu a été mélangé dans un agitateur pendant 2 heures. Le cendre a été lavé avec de l'eau distillée trois fois pour éliminer le carbone et filtres puis on a le laissé sécher pendant 24 heures.

On prend une quantité 50 g de cendre séché et on la met dans un creuset. On ajoute 25 g d'hydroxyde de sodium et on chauffe le mélange sur un bec Bunsen à une température de 600°C, Jusqu'à ce que le mélange devient homogène. On verse le mélange dans un bécher et on ajoute 200 ml d'eau distillée après la filtration on ajoute lentement de l'acide sulfurique concentré H_2SO_4 à la solution obtenue jusqu'à obtention de pH = 7,5 à 8,5 sous agitation et on laisse reposer pendant les 48 heures pour favoriser la formation du gel de silice. Le gel de silice résulte a été séparé de la solution du sel soluble par filtration sous vide. Ensuite, nous séchons le gel de silice dans un four à 135 degrés pendant les 48 heures, puis le broyons en poudre et mesurons sa masse.

IV.5.3. Schéma de la synthèse du gel de silice à partir de cendre :

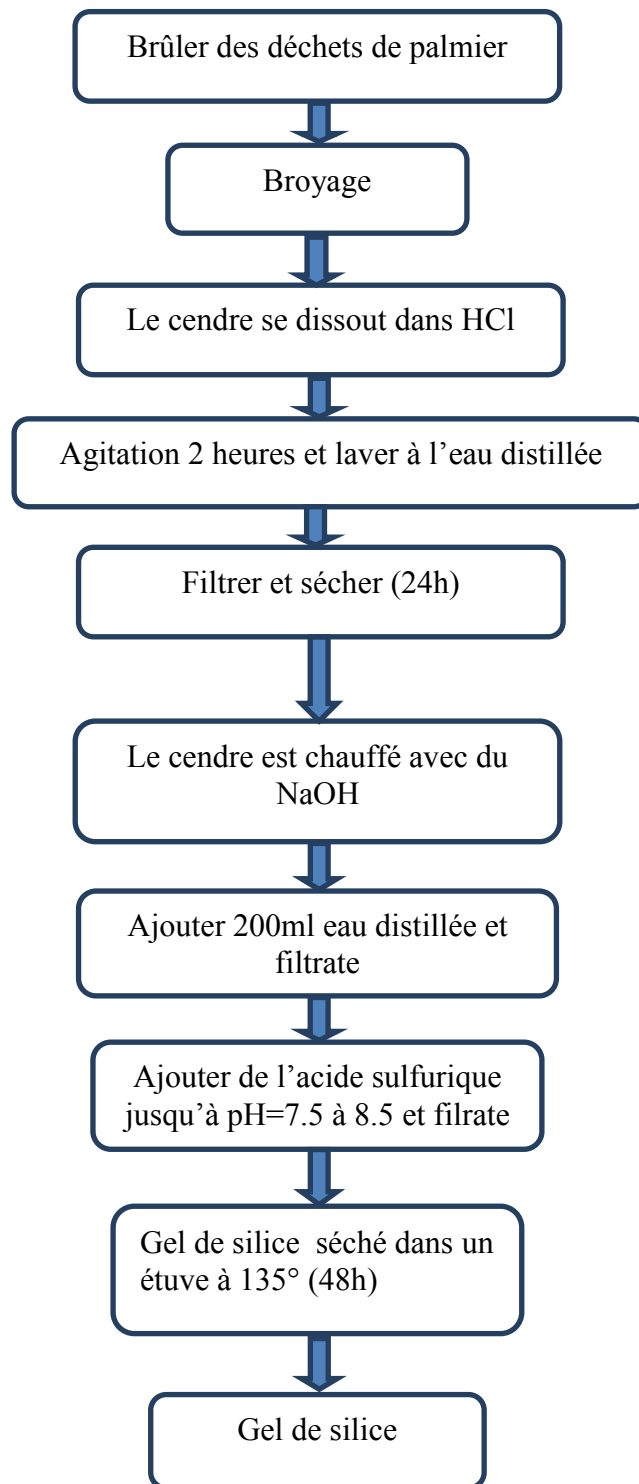


Figure IV.4 : Schéma de la synthèse du gel de silice à partir de cendre.

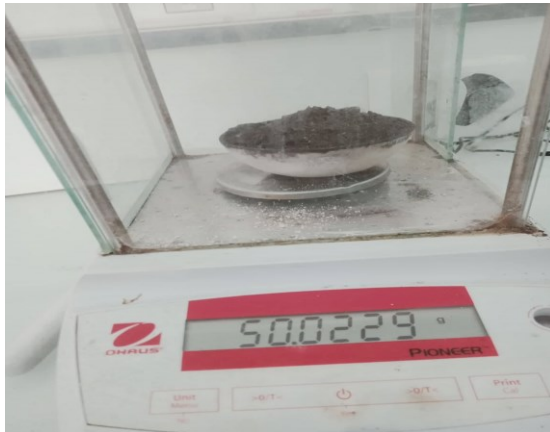


Photo IV.14 : Mesure de la masse de cendre

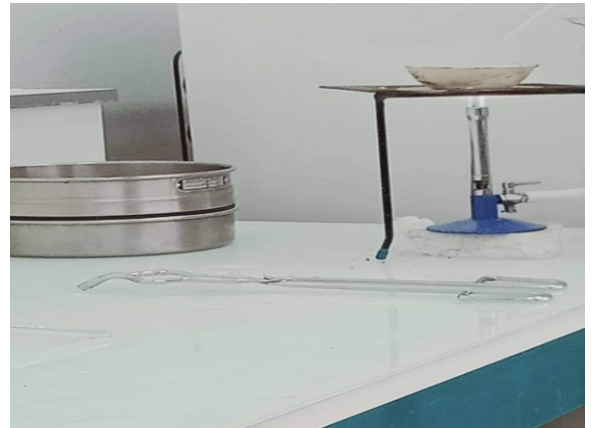


Photo IV.15 : Chauffage de cendre
avec NaOH



Photo IV.16 : Filtration de la solution



Photo IV.17 : Gel de silice avant séchage



Photo IV.18 : Filtration la solution

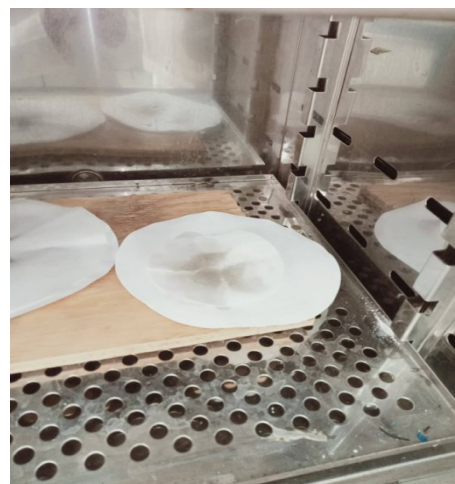


Photo IV.19 : Séchage gel de silice dans
l'étuve



Photo IV.20 : Gel de silice après séchage.

IV.6. Préparation du gel de silice à partir de l'acide HCl récupérée :

IV.6.1. Mode opératoire :

On prend une quantité (25 g) de sable et on met dans un bécher et on ajoute 50 ml de solution HCl (3M) récupérée du même échantillon et on le met sur un agitateur magnétique pendant deux heures. Le sable est lavé avec de l'eau distillée trois fois pour éliminer le carbone CO₂, est filtré puis laissé sécher 24 heures.

On met 25 g de ce sable séché dans un creuset, on ajoute 15 g de NaOH, on chauffe le mélange sur un bec Bunsen à une température de 600°C, et on mélange bien. Jusqu'à ce que le mélange devienne homogène, on verse le mélange obtenu dans un bécher et on ajoute 100 ml de l'eau distillée, on le filtre et on ajoute lentement de l'acide sulfurique concentré H₂SO₄ à la solution obtenue même jusqu'à pH=7.5 à 8.5 sous agitation, et on laisse 48 heures pour favoriser la formation du gel de silice. Le gel de silice résultant a été séparé de la solution de sel soluble par filtration sous vide.

Ensuite, nous séchons le gel de silice dans un four à une étuve à 135°C pendant 48 heures, puis le broyons en poudre et mesurons sa masse.

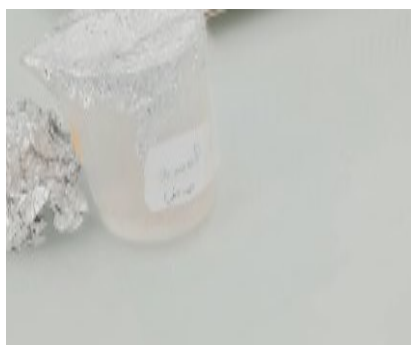


Photo IV.21: Gel de silice

IV.6.2. Schéma de la synthèse du gel de silice à partir d'acide HCl récupéré :

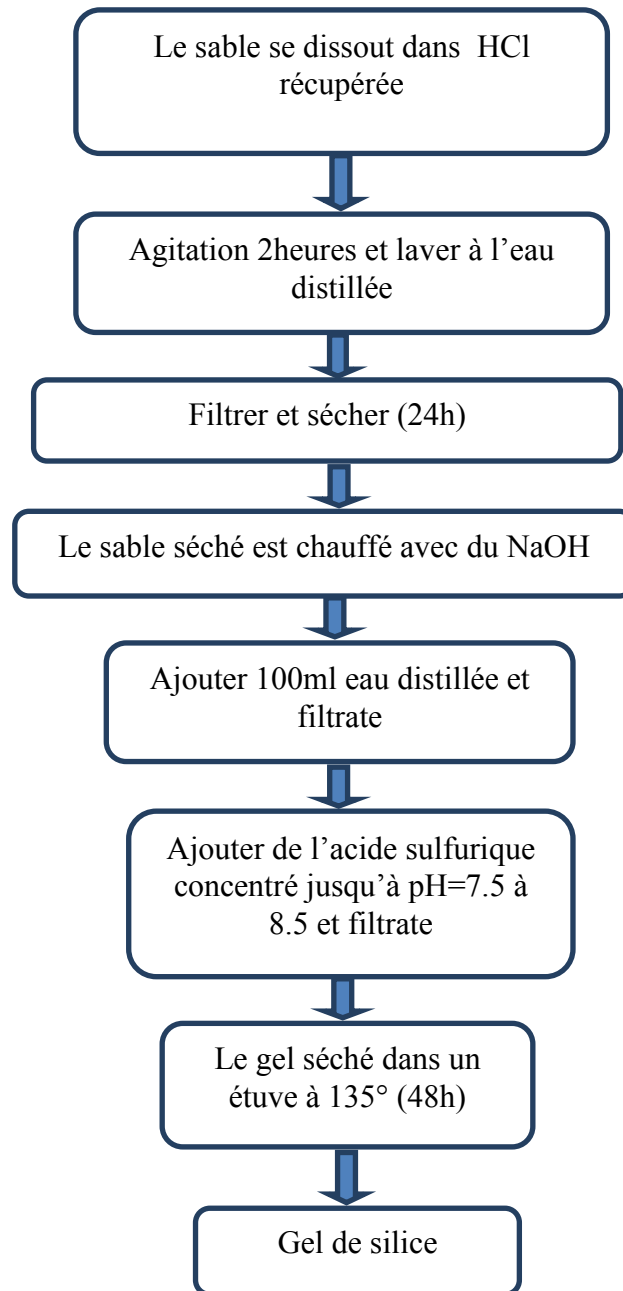
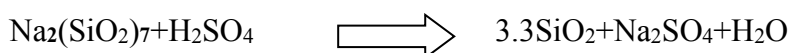
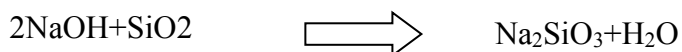


Figure IV.5 : Schéma de la synthèse du gel de silice à partir d'acide HCl récupéré

IV.6.3. Les réactions chimiques de l'expérience :



IV.7. rendement du gel de silice :

Le rendement en gel de silice est défini comme étant le rapport entre la masse de gel de silice obtenue et la masse de sable ou du carbone (obtenue après avoir brûlé les palmiers) utilisé.

On rappelle l'expression du rendement d'une synthèse :

$$R = \frac{\text{masse de produit obtenue}}{\text{la masse de produit attendue}} \cdot 100 = \frac{m_1}{m_2} \cdot 100$$

Sachant que :

R : Rendement de Gel de silice en pourcentage.

m_1 : La masse du gel de silice obtenue en gramme.

m_2 : La masse du sable ou de cendre utilisée en gramme.

IV.8. Le microscope électronique à balayage :**IV.8.1. Définition :**

Le microscope électronique à balayage (MEB) (ou SEM Scanning Electron Microscope) est un appareil, pouvant fournir rapidement des informations sur la morphologie et la composition chimique d'un objet solide. Son utilisation est courante en biologie, chimie, métallurgie, médecine, géologie... Les premiers appareils ont été mis au point dans les années 40 mais les premiers appareils commerciaux ont été disponibles vers le milieu des années 60.

Le microscope électronique à balayage de l'ECAM est un Philips XL30i. Il est couplé à un système de microanalyse (EDX) de marque PGT[1].

IV.8.2. Principe du microscope :

Un microscope électronique à balayage se compose de:

- Une colonne optique électronique montée sur la chambre échantillon

- Un circuit de pompage pour l'obtention d'un vide secondaire
- Des détecteurs permettant de capter les différents signaux émis par l'échantillon
- Un écran vidéo pour l'observation des images
- Une électronique pour gérer l'ensemble des fonctions.

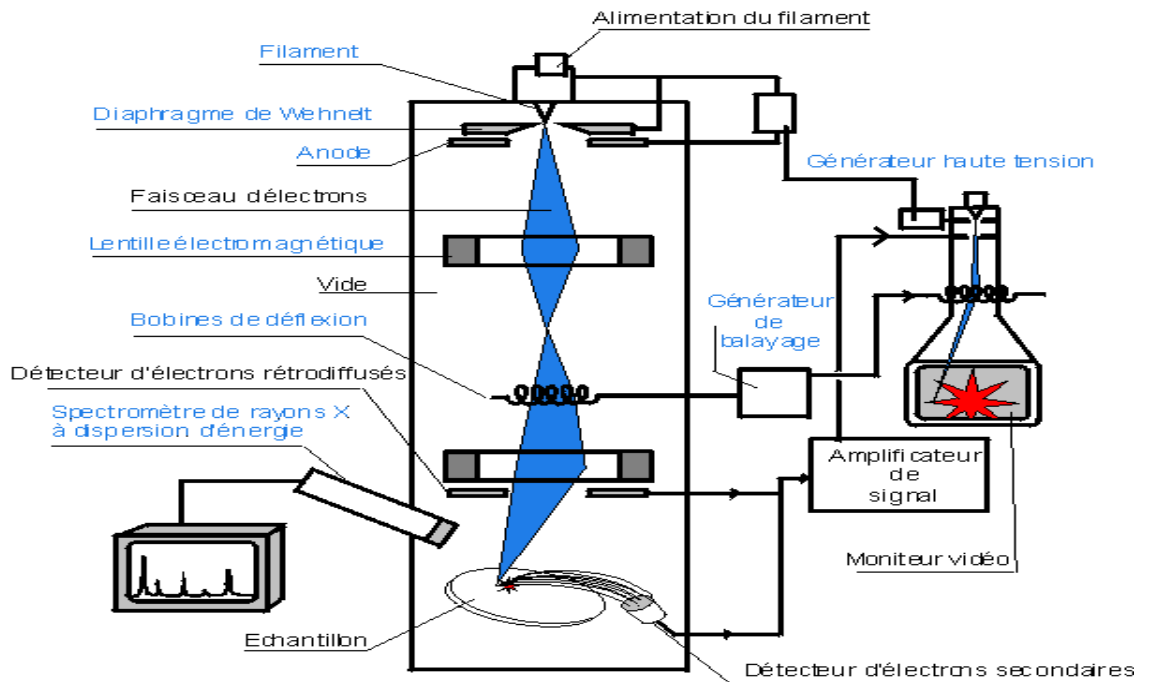


Figure IV.6 : Principe de microscope électronique à balayage

Le canon produit un faisceau d'électrons grâce à un filament de tungstène chauffé par un courant. Ce faisceau est accéléré par la haute tension (jusqu'à 30 kv) créée entre le filament et l'anode. Il est ensuite focalisé sur l'échantillon par une série de 3 lentilles électromagnétiques en une sonde de moins de 4 nm.

Le faisceau en touchant la surface de l'échantillon produit des interactions dont les suivantes:

- des électrons secondaires,
- des électrons rétrodiffusés,
- des rayons x...

Ces interactions pourront être collectées par un détecteur adéquat pour être ensuite converties en un signal électrique. Par un système de bobines de déflexions semblable à celui d'une télévision le faisceau peut être guidé de façon à balayer la surface de l'échantillon selon une

trame rectangulaire. Le moniteur permettant l'observation est lui même balayé en synchronisation avec le faisceau d'électron de la colonne. Le signal recueilli par le détecteur est utilisé pour moduler la brillance du moniteur permettant l'observation [1].

IV.9. rayons X à dispersion d'énergie(EDX) :**IV.9.1 principe de l' EDX :**

L'analyse dispersive en énergie EDX (Energy Dispersive X-ray spectrometry) permet d'obtenir une analyse quantitative ou qualitative, suivant les conditions, des éléments chimiques dans un échantillon solide et dans un volume micrométrique (une sphère de quelques centaines de nanomètres à quelques micromètres), en comptant le nombre de photons X émis par ce dernier pendant un temps déterminé quand il est bombardé par un faisceau d'électrons[2].

Références Bibliographiques

[1] www.ecam.fr/materiaux-structures/microscope-electronique-a-balayage/le-microscope/

[2] <<https://mea.edu.umontpellier.fr>

Chapitre V

Résultats et discussions

V.1.Introduction :

Ce chapitre est consacré à étudié l'évaluation du rendement du gel de silice dans déférentes zones et différentes parties du palmier dattier, avec déférentes masses.

Des analyses ont été réalisera avec microscope électronique à balayage (MEB) et des microanalyses par la sonde EDX du MEB pour caractériser le gel de silice obtenue à partir de sable et du palmier de notre région de sud pour l'évaluation qualitative et quantitative du gel.

V.2.Calcul et évaluation du rendement :

Les tableaux des résultats :

Le tableau V.1 représente la masse et le rendement du gel de silice selon des différentes régions avec différentes concentrations.

Tableau V.1 : Les résultats de rendement de gel de silice selon les régions

Les régions	La masse de gel de silice			Le rendement %		
	1mol	3 mol	5mol	1mol	3mol	5mol
Sebseb	12	23,10	21,01	24	46,2	42,02
El-Sawareg	10,42	20,5	17,73	20,84	41	35,46
El gamgoma	16,95	17,83	11,3	33,9	35,66	22,6
Sebseb HCl récupérer		11,57			46,28	

Dans le tableau V.2 les résultats obtenus sont représenté d'une manier d'estimer le rendement de nano silice selon les régions de chaque palmier et selon les parties de palmier dans le tableau V.3.

Tableau V.2: Rendement de nano silice selon la région.

Les régions	La masse de nano silice	Le rendement de nano silice
Sebseb	2,43	48,6

El-Sawareg	3,15	63
El gangoma	3,68	73,6

Tableau V.3 : Rendement de nano silice selon les parties de palmier.

Parties de palmier	La masse	Le rendement
Les racines	13,45	26,9
Les feuilles	3,71	7,42
Le cornaf	1,6	3,2

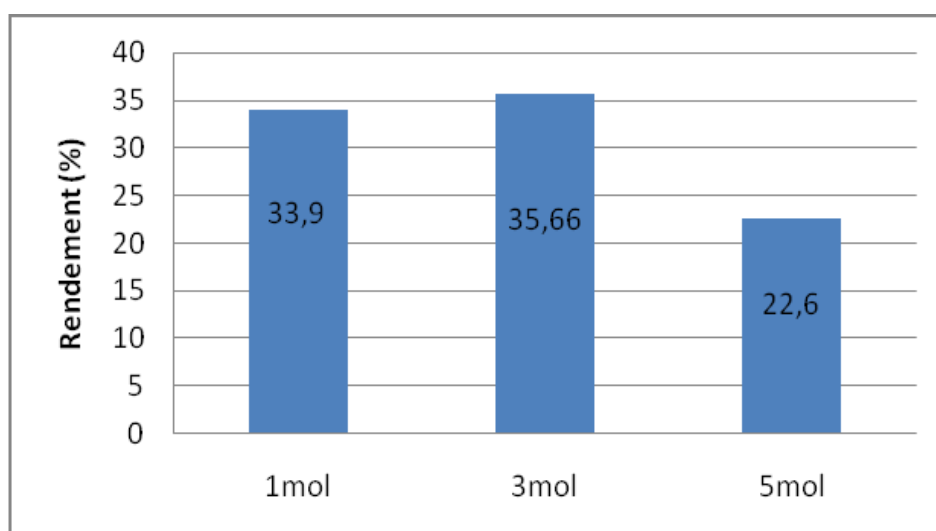


Figure V. 1 : Pourcentages du rendement du gel de silice dans la zone El gangoma avec des différentes concentrations.

La figure V.1 retrace les pourcentages du rendement du gel de silice dans la zone El gangoma avec des différentes concentrations. Les résultats des calculs effectués attestent d'un rendement pourcentage plus au moins important la concentration en 3M (35,66% pour une masse de 17.83g) par rapport à une concentration de 1M (33,9% pour une masse de 16.95g) et à une concentration de 5 M (22,6% pour une masse de 11.3g).

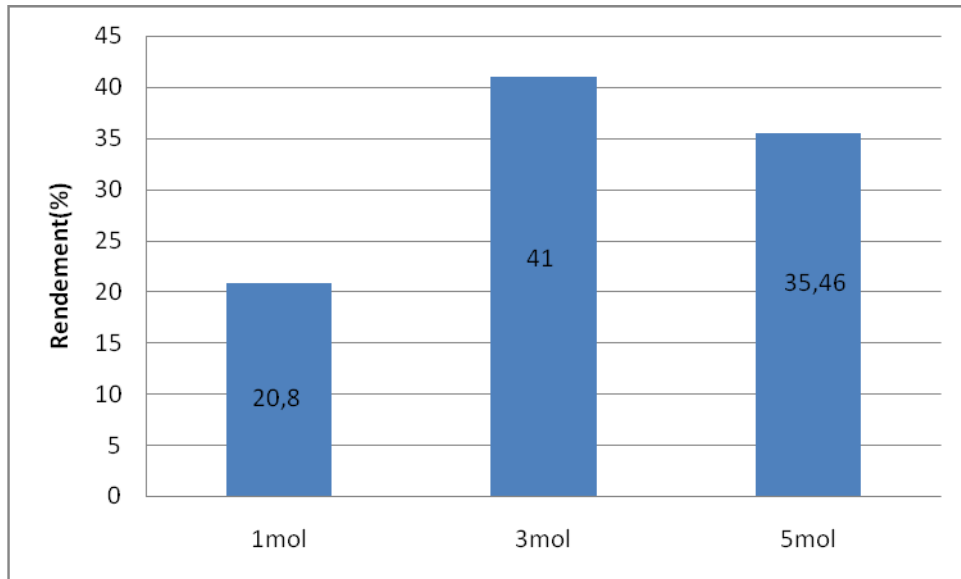


Figure V.2 : Pourcentages du rendement du gel de silice dans la zone El-Sawareg avec des différentes concentrations.

La Figure V.2 souligne Pourcentages du rendement du gel de silice dans la zone El-Sawareg avec des différentes concentrations. Les résultats des calculs témoignent que le rendement en pourcentage du gel de silice dans la région El-Sawareg est plus élevé à la concentration de 3M (41 % pour une masse de 20.5g) par rapport à une concentration de 1M (20.84% pour une masse de 10.42g) et à une concentration de 5 M (35.46% pour une masse de 17.73g).

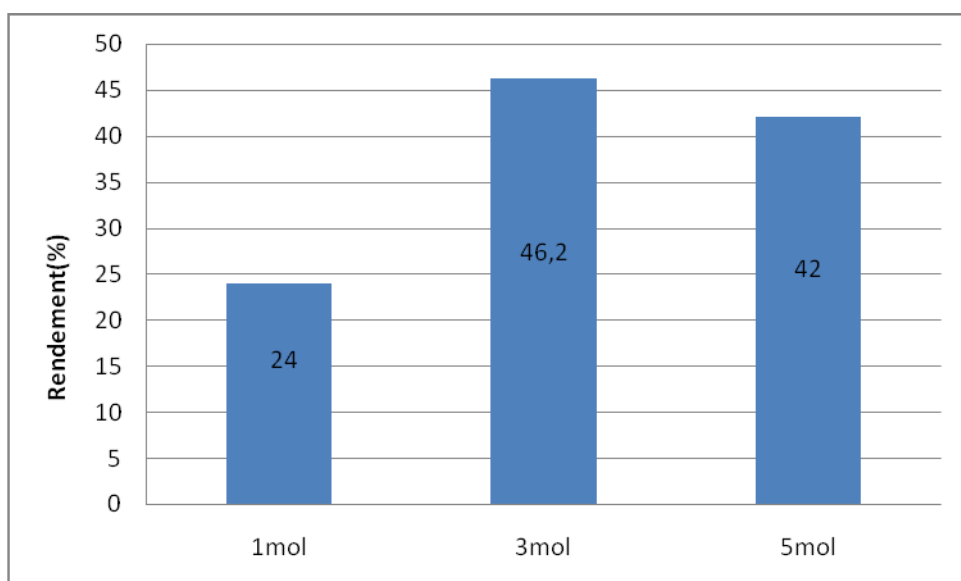


Figure V.3 : Pourcentage de rendement en silice dans la zone Sebseb avec des différentes concentrations.

La Figure V.3 représente les pourcentages du rendement du gel de silice dans la zone Sebseb avec des différentes concentrations. Au terme de cette résultat nous pourrons remarquer quele pourcentage du rendement dans cette région est plus élevé à la concentration en 3M (46.2% pour une masse de12g) par rapport à une concentration de 1M (24% pour une masse de12g) et à une concentration de 5 M (42% pour une masse de21.01g).

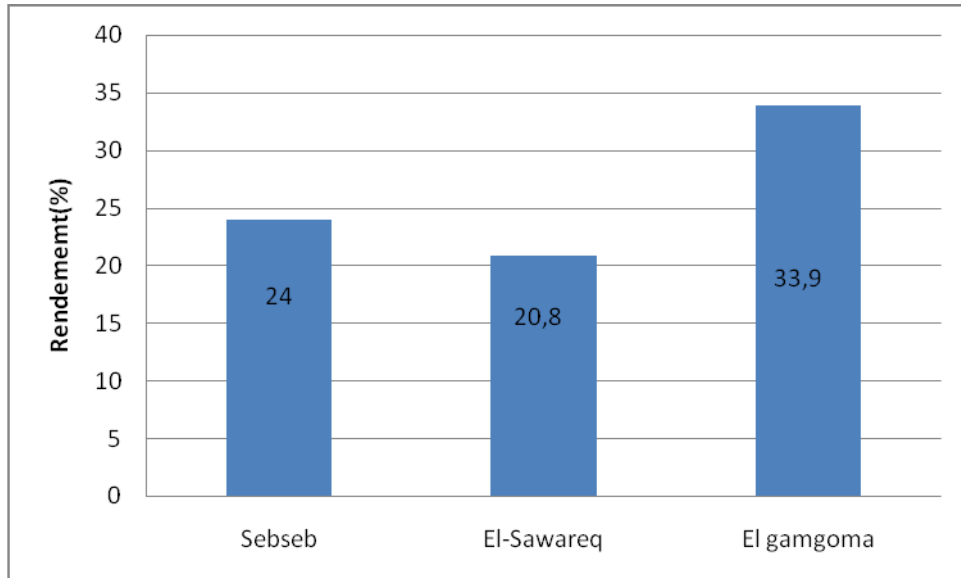


Figure V.4 : Pourcentage du rendement du gel de silice dans des différentes régions à la concentration de 1M.

D’après les résultats représentés par la figure V.3, il est évident qu’à la concentration 1 M le pourcentage du rendement du gel de silice varie d'une région à l'autre. En effet,El gomgoma a le rendement le plus élevé (33.9% pour une masse de16.95g) par rapport à Sebseb (24% pour une masse de12g) et El-Sawareq (20,84% pour une masse de10.42g).

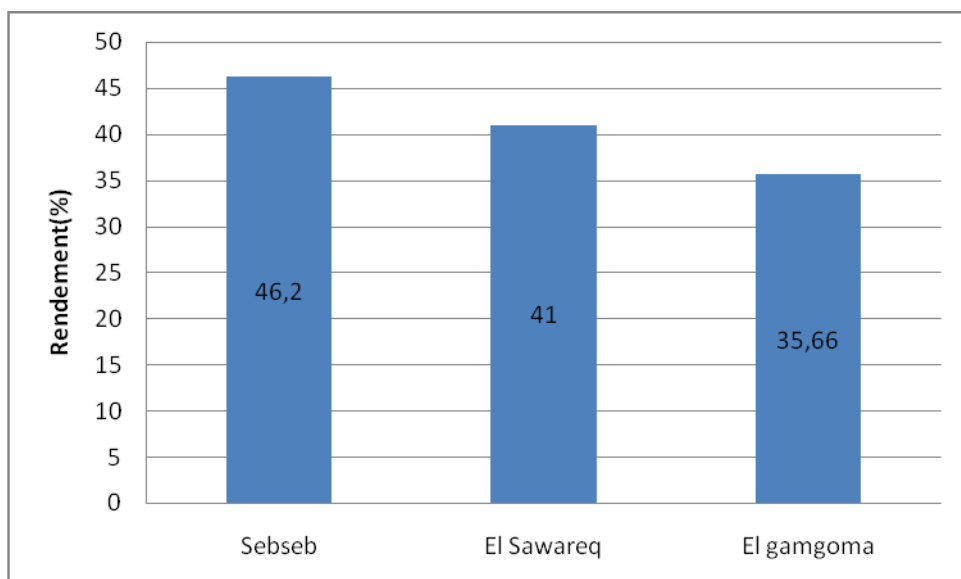


Figure V.5 : Pourcentage du rendement du gel de silice dans les différentes régions à la concentration de 3M.

D'après les résultats représentés par la figure V.5, nous pourrions remarquer que le pourcentage du rendement du gel de silice le plus élevé est au niveau de la région Sebseb. Notons à ce titre (46.2% pour une masse de 23.10g), au niveau de la région El-Swareq quant à lui représente (41% pour une masse de 20.5g) tandis que la région El-gangoma retrace un pourcentage de rendement minimale qui s'élève à (39.9% pour une masse de 17.83g).

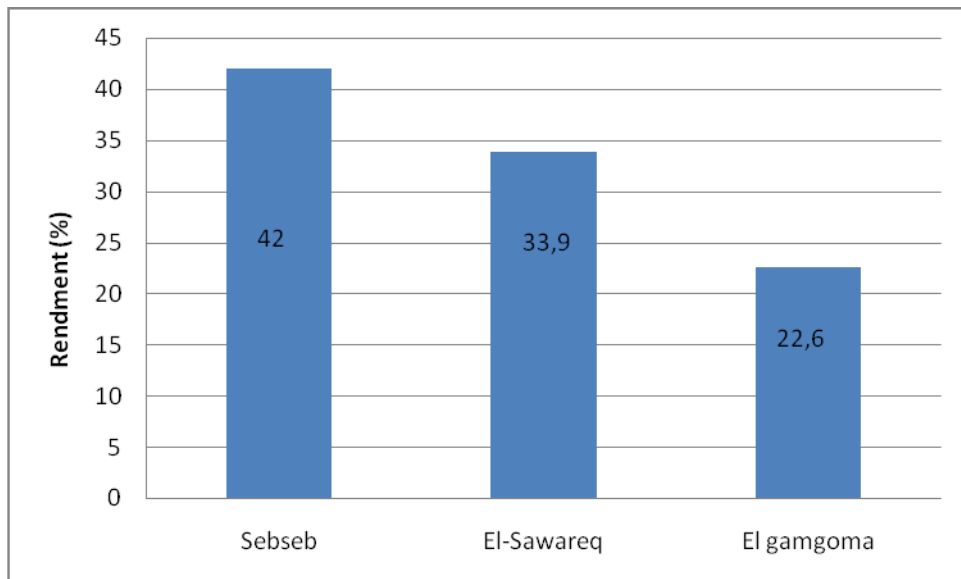


Figure V.6 : Pourcentages du rendement du gel de silice dans les différentes régions à concentration de 5M.

Les pourcentages du rendement du gel de silice dans les différentes régions à concentration de 5M sont présentés dans la figure V.6. En effet, les résultats soulignent que le pourcentage du rendement du gel de silice dans la région Sebseb est le plus élevé. Avec un pourcentage de rendement (42% pour une masse de 21.01g), elle marque une valeur maximale à celle déjà enregistrée. Suivi par la région El-swareg avec un pourcentage de rendement de (35.46% pour une masse de 17.73g). Ainsi que la région d'El-gangoma avec une valeur minimale de (22.6% pour une masse de 11.3g).

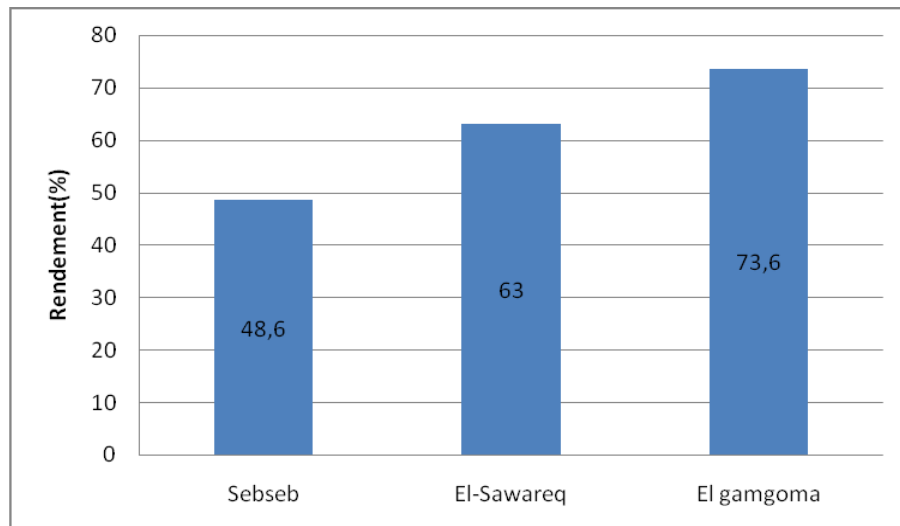


Figure V.7: Pourcentages du rendement en nano silice dans les différentes régions.

D'après la Figure V.7 nous remarquons que le pourcentage de rendement en nano silice dans la région El gangoma est le plus élevé avec un pourcentage de (73.6% pour une masse de 3.68g) par rapport à El-Sawareq qu'elle marque une valeur de (63% pour une masse de 3.15g) alors que la région Sebseb présente un pourcentage de (48.6% pour une masse de 243g).

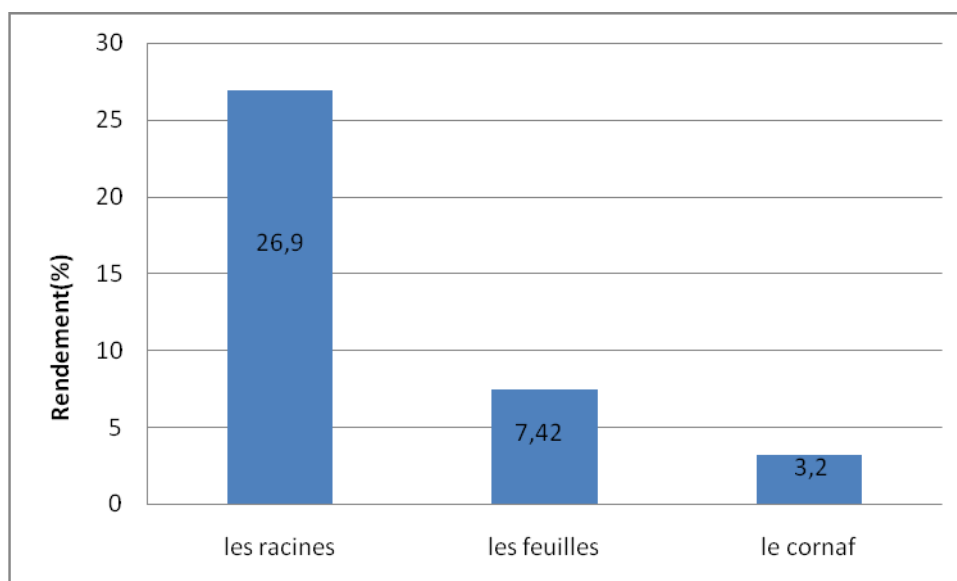


Figure V.8 : Pourcentage du rendement du gel de silice dans des différentes parties du palmier dattier

La Figure V.8 représente les pourcentages du rendement du gel de silice dans des différentes parties du palmier dattier. D'après cette figure on remarque que le pourcentage du rendement du racines est beaucoup plus élevé (26,9 % pour une masse de 13.45g) par rapport aux feuilles (7,42 % pour une masse de 3.71g) et la cornafs (3,2 % pour une masse de 1.6g).

V.3. Les résultats des analyses EDX des échantillons du gel de silice : (xerogel) :

Tableau V.4 : le pourcentage d'éléments qui composent l'échantillon selon les analyses EDX

Element Symbol	Atomic Conc.O	Atomic Conc.Si
sable 1	69.52	22.16
sable 2	60.55	15.71
sable 3	59.63	15.46
résidus racines	26.00	5.50
résidus feuilles	30.64	0.55
résidus cornaf	23.32	3.02

Le tableau **V.4** montre les résultats EDX accompagnant le microscope électronique à balayage.

Pour le sable :

L'échantillon de sable1 (Sebseb) contient 69.52 % d'oxygène et 22.16% de silicium, tandis que l'échantillon de sable2 (El gangoma) contient 60.55 % d'oxygène et 15.71 % de silicium. Quant à l'échantillon de sable3 (El-Sawareg) contient 59.63% d'oxygène et 15.46% de silicium.

Pour le résidu du palmier dattier.

Les racines contiennent 26% d'oxygène et 5.50% de silicium et un rapport de dioxyde de silicium de 38,86%. Les feuilles contiennent 30.64% d'oxygène, 0.55% de silicium et Le « cornaf » contient 23.32%d'oxygène, 3.02%de silicium.

Tableau V.5 : le pourcentage d'éléments qui composent du gel de silice selon les analyses EDX

Element Symbol	Atomic Conc.O	Atomic Conc.Si
GEL sable 1	80.49	18.01
GEL sable 2	80.45	17.05
GEL sable 3	79.6	17.20
GEL résidus racine	51.96	12.96
GEL résidus feuille	55.93	6.63
GEL résidus cornaf	54.93	3.67

Le tableau V.5 montre les résultats EDX accompagnant le microscope électronique à balayage.

Gel de silice (sable) :

Le gel de sable Sebseb contient 80.49% d'oxygène et 18.01% de silicium, tandis que gel sable El gangoma contient d'oxygène 80.45% et 17.05% de silicium, Quant à gel sable El-Sawareg contient 79.6 % d'oxygène et 17.20 % de silicium,

Pour gel de silice (résidus du palmier dattier) :

Le gel résidus racines contiennent 51.96% d'oxygène et 12.96% de silicium, le gel résidus feuilles contiennent 55.93 % d'oxygène, 6.63% de silicium et Le gel résidus cornafs contient 54.93% d'oxygène, 3.67% de silicium

Tableau V.6 : le pourcentage d'éléments qui composent de nano silice selon les analyses EDX

Element Symbol	Atomic Conc.O	Atomic Conc.Si
Nano silice 1	85	16
Nano silice 2	60.3	15.20
Nano silice 3	61.2	10

Le tableau V.6 montre les résultats EDX accompagnant le microscope électronique à balayage.

Pour les nanoparticules de silice extraites des sables de Sebseb, El-Sawareg et El Gangoma et où l'on note ce qui suit :

La nano silice Sebseb contient 85 % d'oxygène et 16 % de silicium, tandis que la nano silice El gangoma contient 60,3 % d'oxygène et 15,20 % de silicium, et la nano silice El-Sawareg contient 61,2 % d'oxygène et 10 % de silicium.

V.4.Résultats au microscope électronique à balayage :

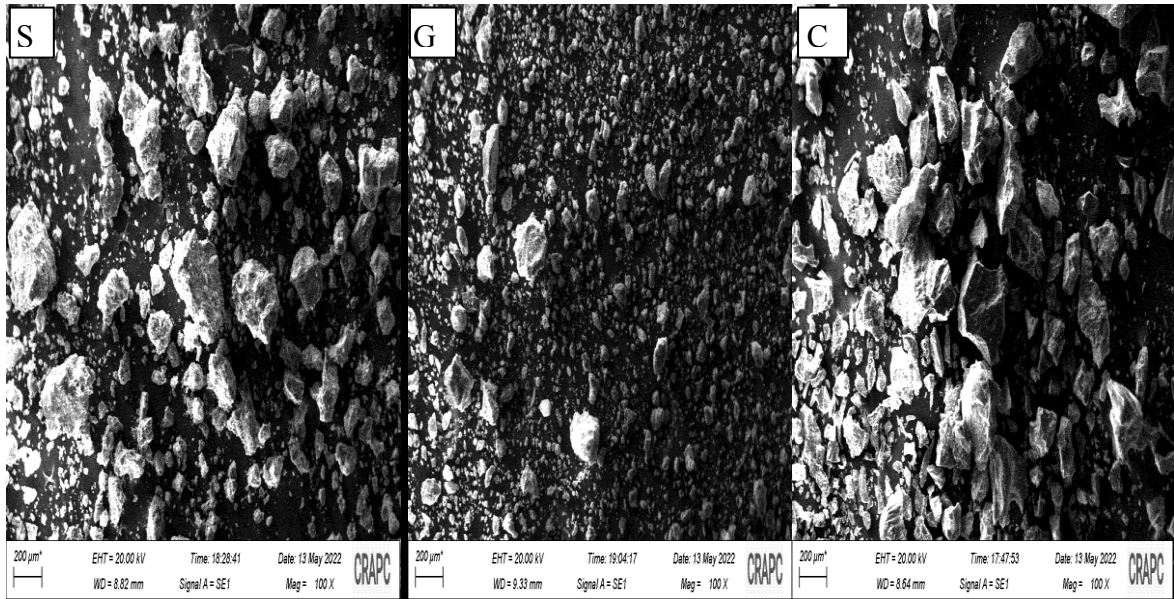


Figure V.9 : Micrographies SEM d'échantillons du gel de silice (Xerogel) obtenus par Sol-gel à partir de sables de Ghardaïa (S= Sebseb ,G= El Gamgoma ,C= El Souareg).

La figure montre les résultats SEM des échantillons de gel de silice analysés, à travers l'échelle (200 μm), il a été observé que l'image se composait de grains de formes différentes formant des agglomérats avec certains pores

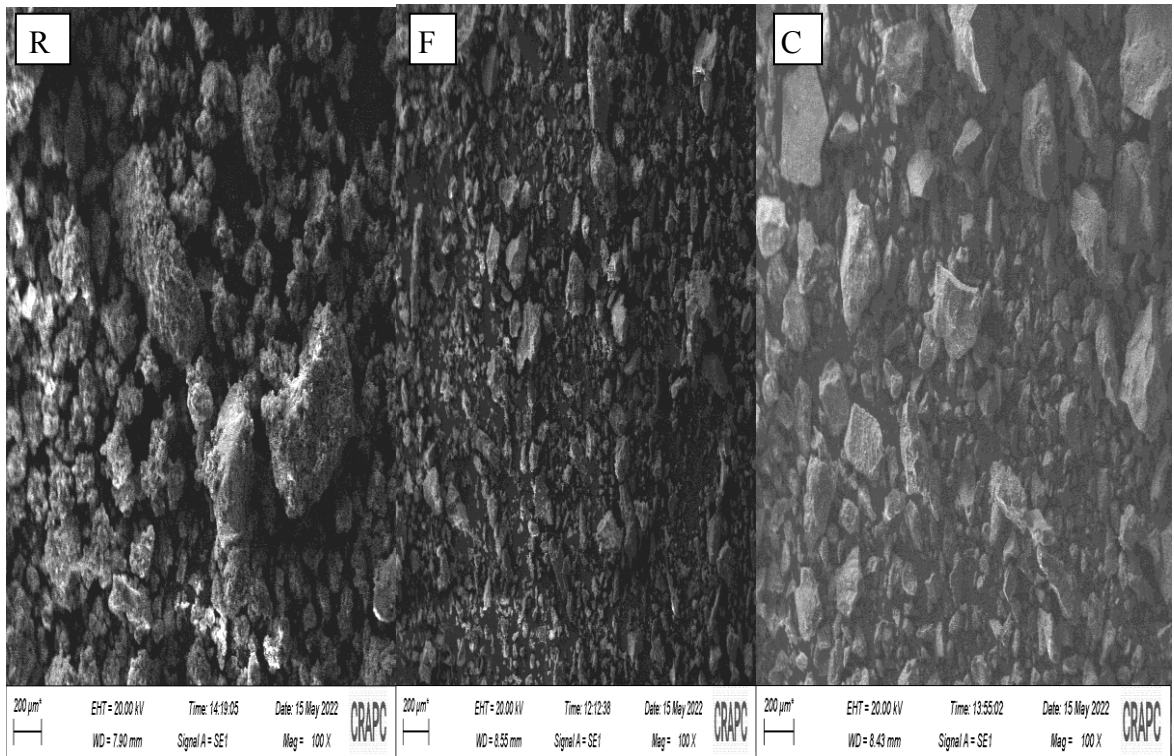


Figure V.10 Micrographies SEM d'échantillons du gel de silice Xerogel obtenus par Sol-gel à partir du palmier dattier de Ghardaïa (R= racine , F= Feuille , C= Cornaf).

La Figure V.10 montre les résultats SEM d'échantillons de gel de silice extraits des racines, des feuilles et de cornaf de palmier, on observe que l'image se compose de granules de différentes formes qui forment des agglomérats avec certains pores.

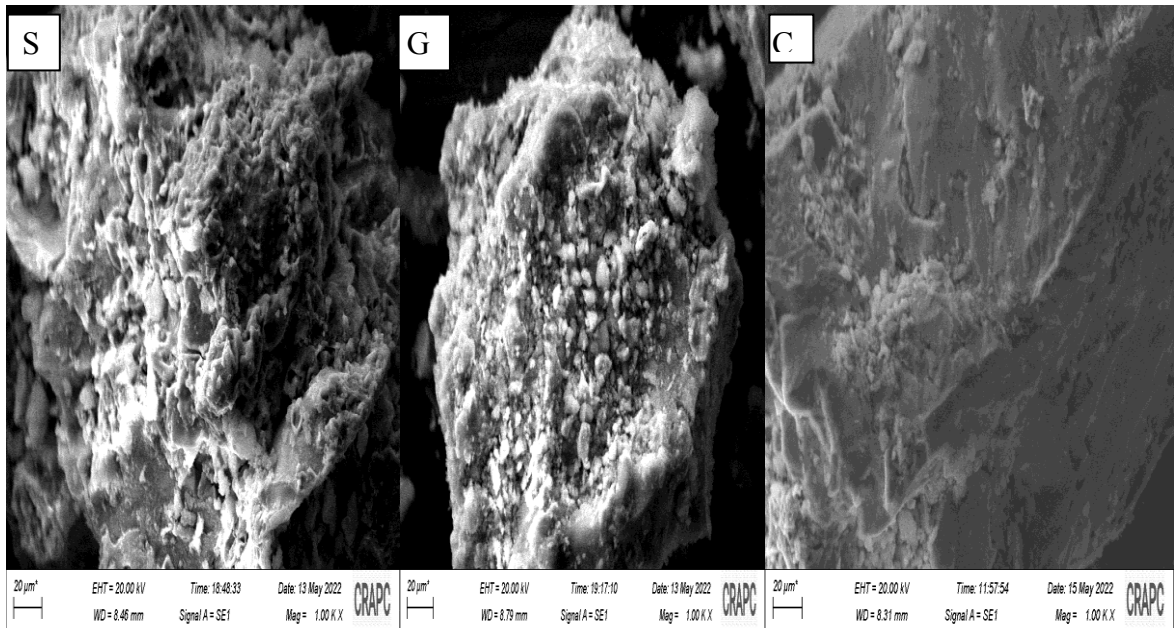


Figure V.11 :Micrographies SEM d'échantillons de nanoparticules de silice Xerogel obtenus par Sol-gel à partir de sables de Ghardaïa (S= Sebseb , G= El-Gamgoma et C= El-Souareg).

La Figure V.11 montre des images microscopique de nanoparticules de silice extraites des sables de Sebseb , El-Gamgoma ,El-Souareg . On a noté que ces grains sont de forme sphérique et de tailles différentes , à travers l'échelle du dessin, il est clair que la taille de ces grains est dans le domaine nanométrique.

Conclusion générale

Conclusion générale

Le but de ce travail est de produire du gel de silice à partir de déchets de palmier et de sable, ou nous avons adopté trois parties de palmier (les racines, les feuilles et le cornaf) de la région de Sebseb et trois zones différentes de sable. Les résultats ont été que nous avons obtenu du gel de silice à partir de tous ces sources avec des rendements variables. Le rendement le plus élevé était de 46,2%, puis de 41% puis de 35,66%.

Comme pour les résidus de palme, le rendement était dans des proportions variables, dont le plus faible était le cornaf, les feuilles puis les racines de 3,2%, 7,42%, 26,9%.

Nous avons fait des analyses EDX pour connaître les proportions et les types d'atomes dans les échantillons avant et après la préparation du gel de silice.

Nous avons pris des photos avec un microscope électronique à balayage.

Nous avons conclu que nous pouvions produire du gel de silice à partir de nos ressources naturelles, que ce soit notre richesse végétale représentée par les résidus de palme ou le sable, tenir compte de la sélection du meilleur sable à utiliser dans l'extraction de gel plus efficace, ainsi que de l'adoption des déchets de palme en l'adoptant comme une source d'énergie et en l'exploitant dans la production du gel de silice.

En conséquence, ce travail peut être apprécié comme une première étape dans la réflexion pour produire ce matériau vital au moindre coût au lieu de l'importer, sachant qu'il est impliqué dans des milliers d'industries locales et mondiales, ou notre époque est connue aujourd'hui comme l'ère du silicium.

Annexes

Annexe

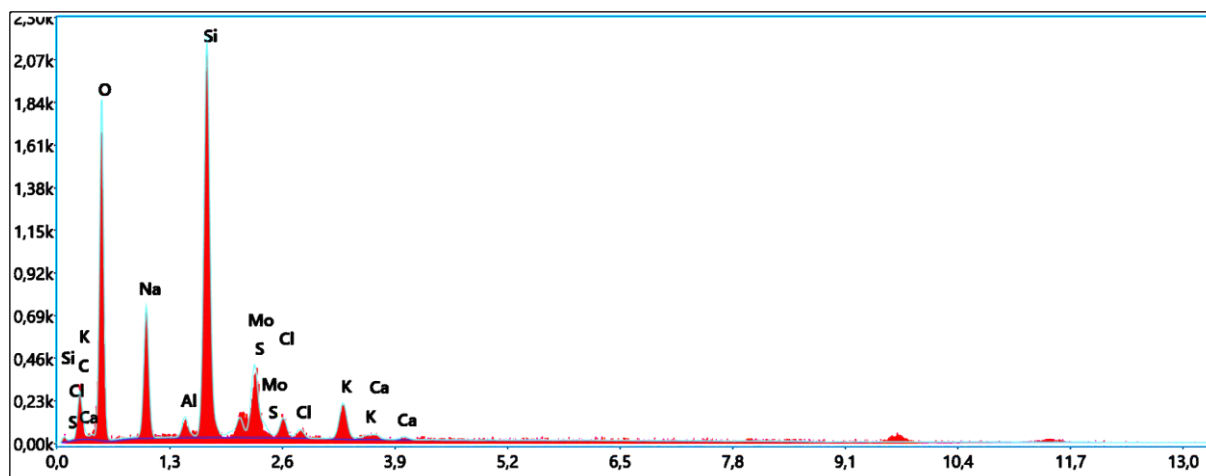
Annexe 01 : Montre le pourcentage d'éléments qui composent l'échantillon selon les analyses EDX

Résultats quantitatifs intelligents

Elément	% de masse	% atomique	Intensité totale	Erreur %	Kratio	Z	A	F
CK	12.07	19.73	13.98	13.42	0,0225	1.1027	0.1692	1.0000
OK	42.33	51.96	122.01	9.60	0,1072	1.0571	0.2395	1.0000
NaK	11.78	10.07	54.08	8.70	0,0451	0.9617	0.3976	1.0018
AlK	1.05	0.77	8.96	13.16	0,0061	0.9426	0.6131	1.0061
SiK	18.53	12.96	192.77	4.55	0,1308	0.9636	0.7299	1.0038
Mol.	9.04	1.85	37.99	6.17	0,0627	0.7374	0.9396	1.0007
SK	0.00	0.00	0.01	99.99	0,0000	0.9443	0.7689	1.0084
CK	1.40	0.78	10.55	13.00	0,0101	0.8985	0.7994	1.0061
KK	3.28	1.65	22.13	8.15	0,0261	0.8946	0.8836	1.0075
CaK	0.50	0.25	2.99	30.14	0,0042	0.9111	0.9077	1.0097

Annexe

Annexe 02 : Un des spectres EDX de l'échantillon étudié



Annexe03 : Images au microscope électronique à balayage

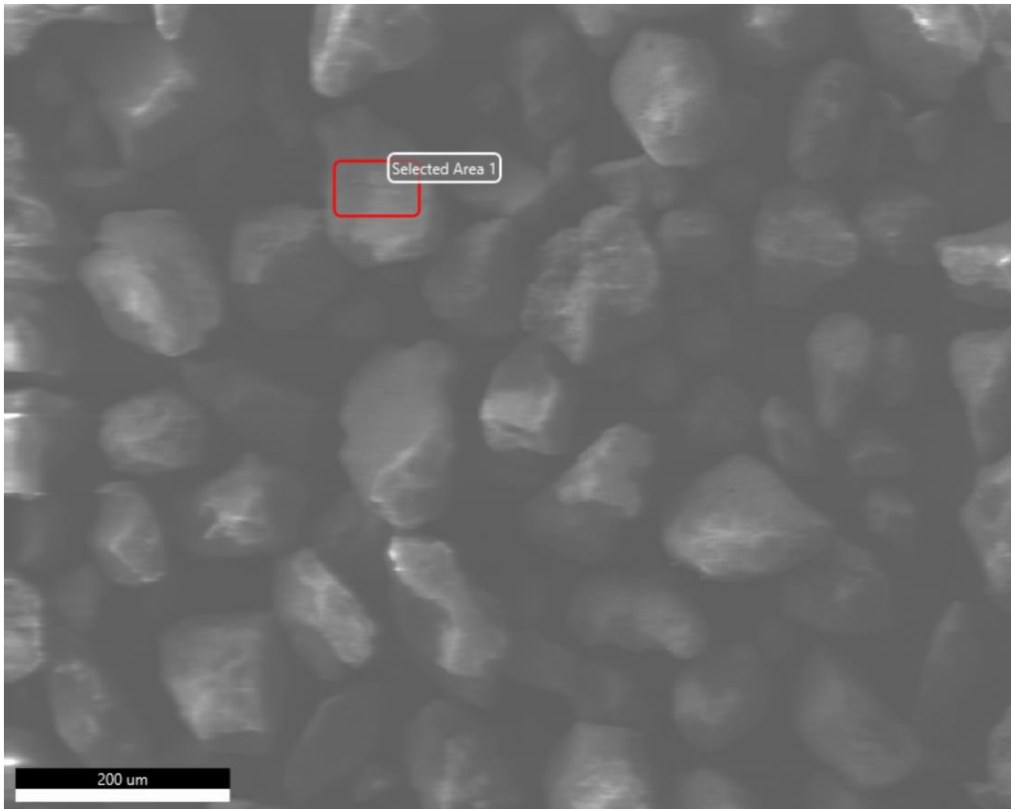


Figure 1: Sable sabsab

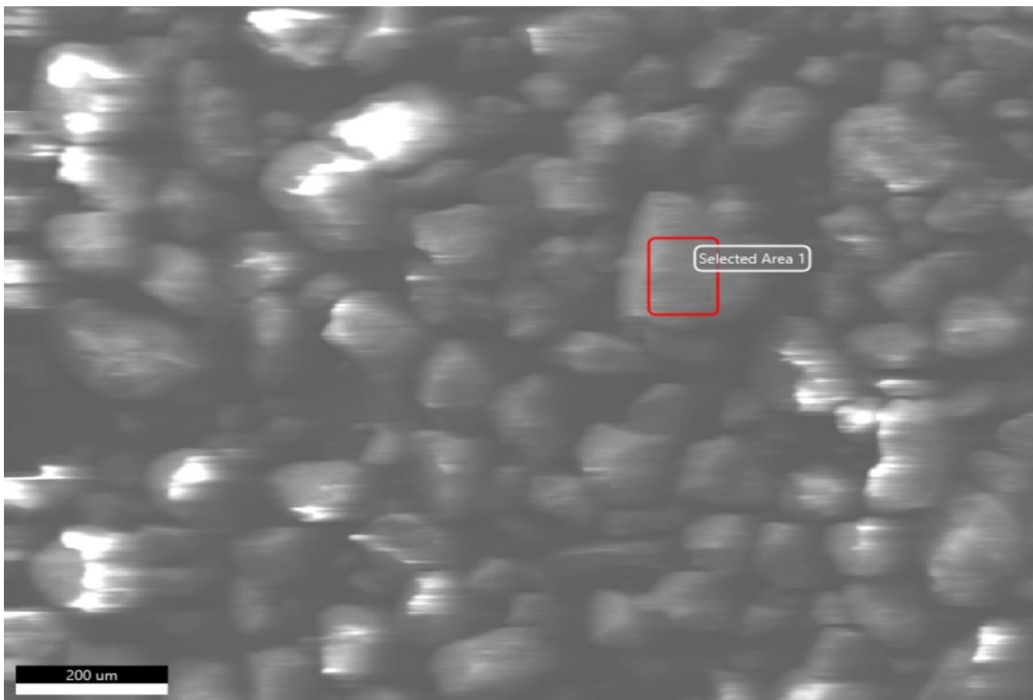


Figure 1: Sable El gomgoma

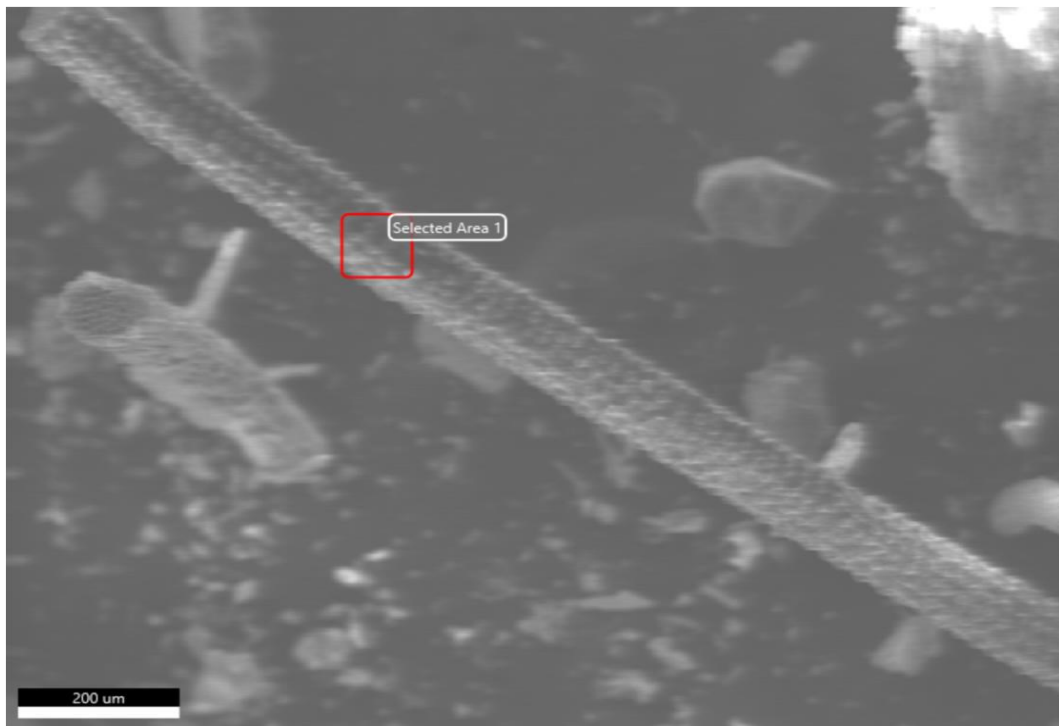


Figure 3: les racines

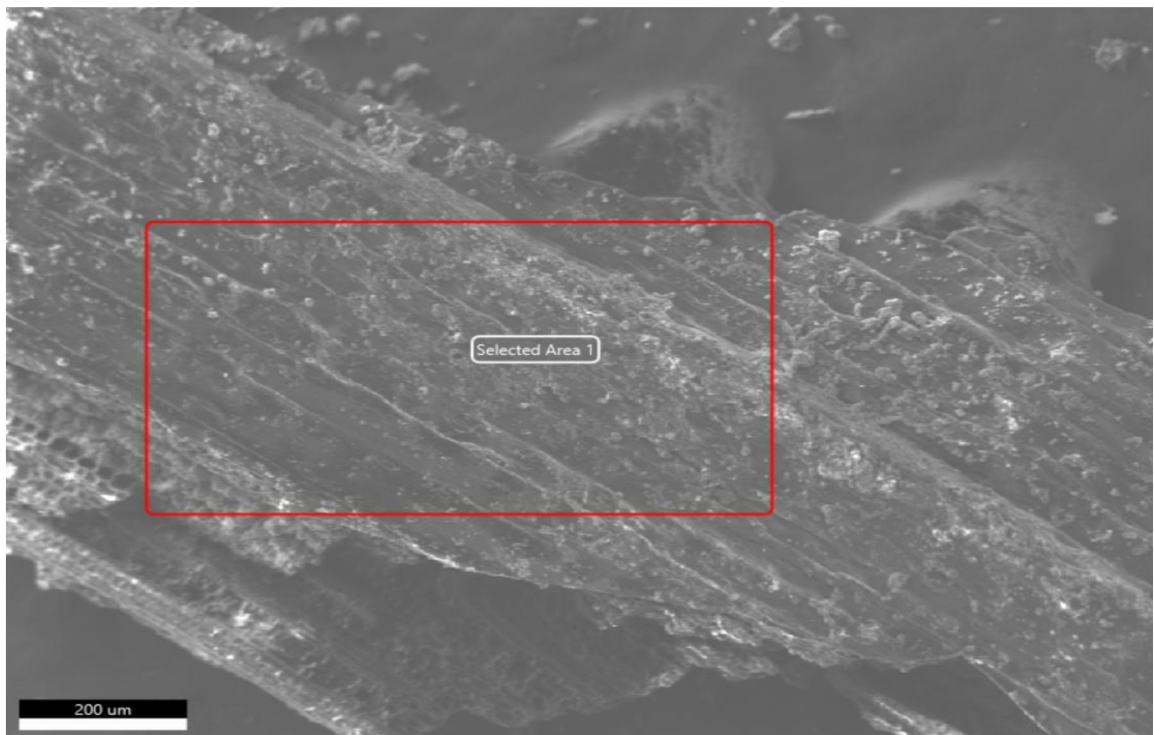


Figure 4: les feuilles

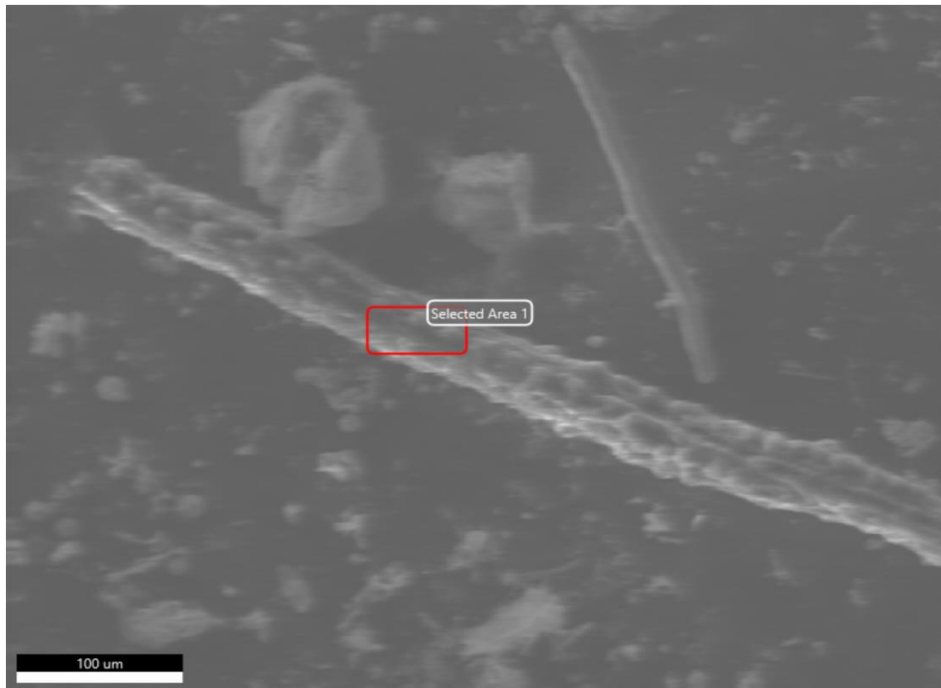


Figure 5:le cornaf

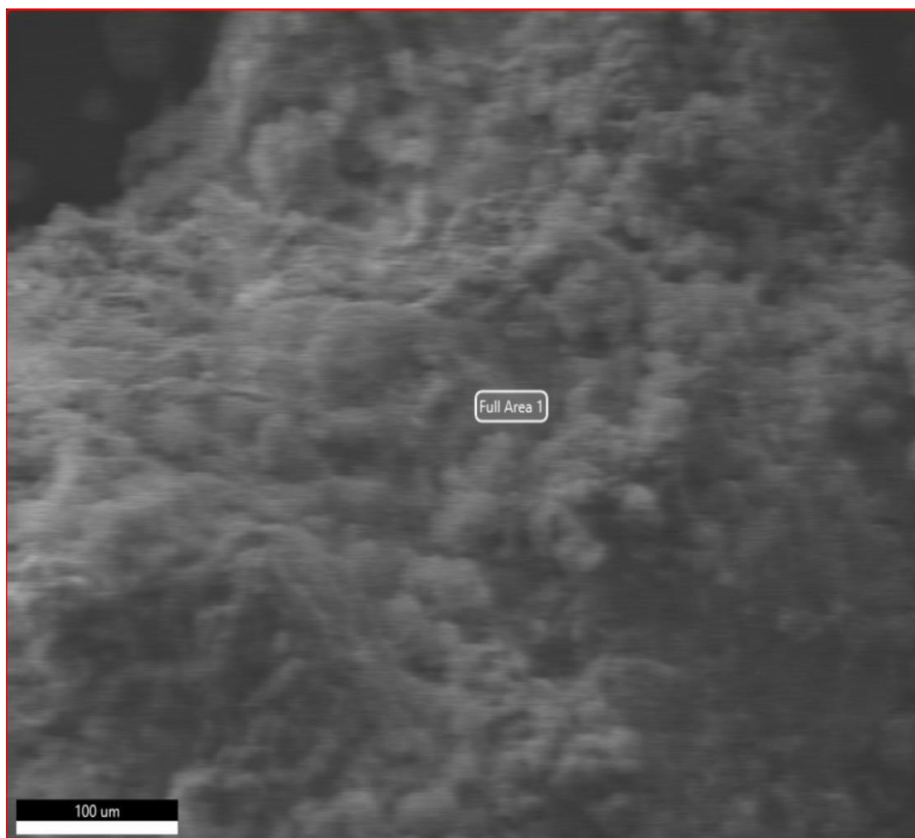


Figure 6: gel de silice à partir des racines.

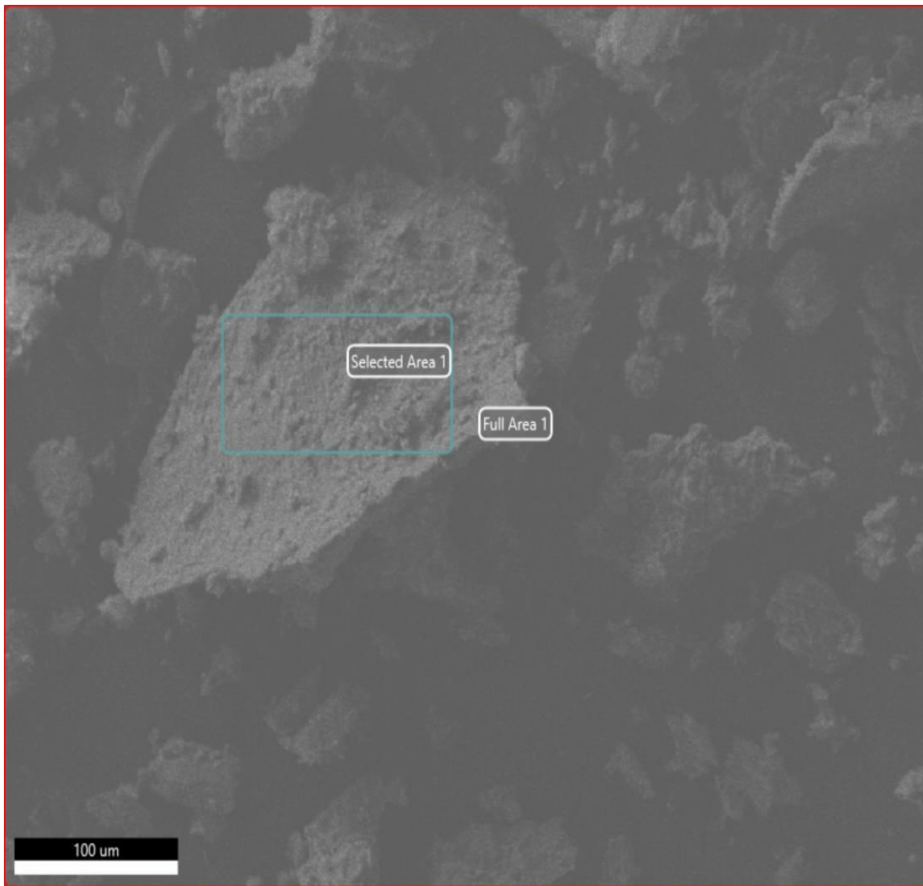


Figure 7: gel de silice à partir des feuilles

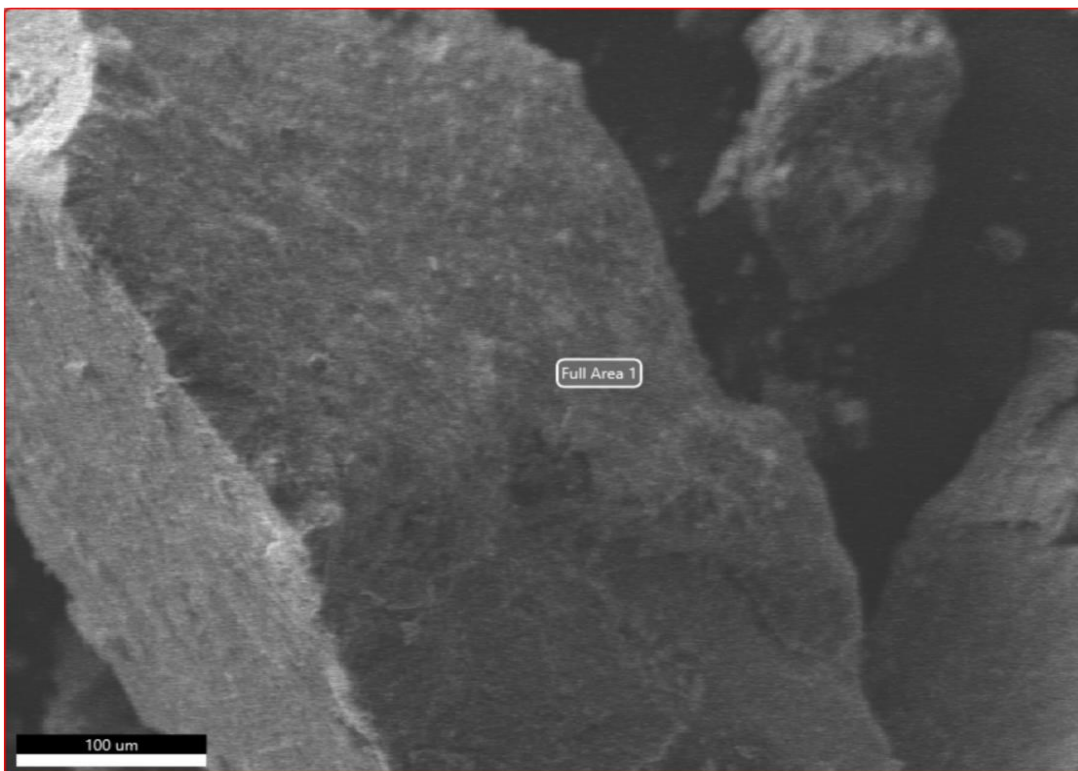


Figure 8: gel de silice à partir de cornaf

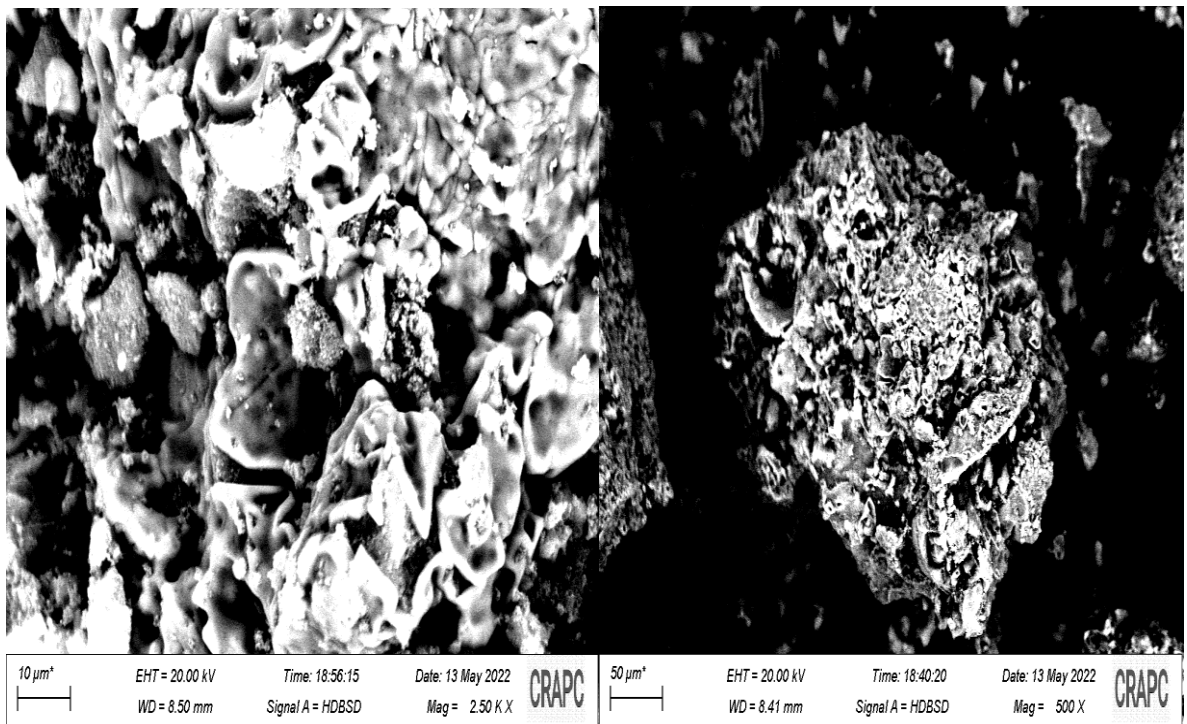


Figure 9:Gel Nano silice (sebseb)

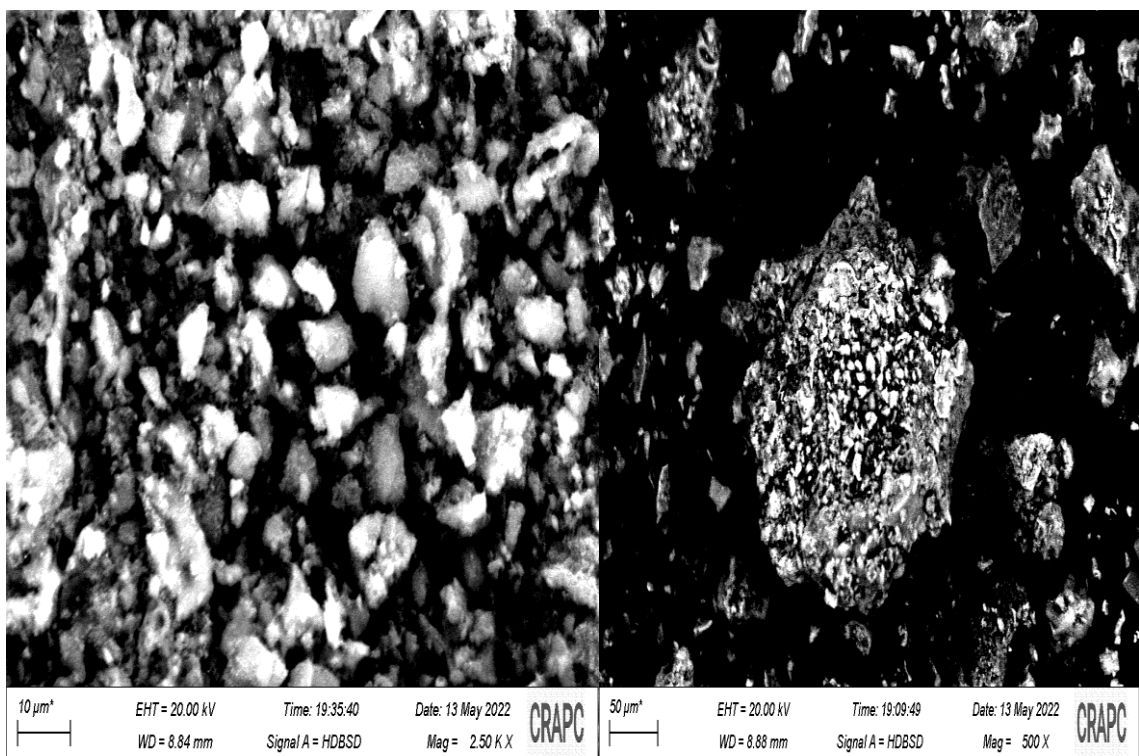


Figure 10:Gel nano silice (El gangoma)

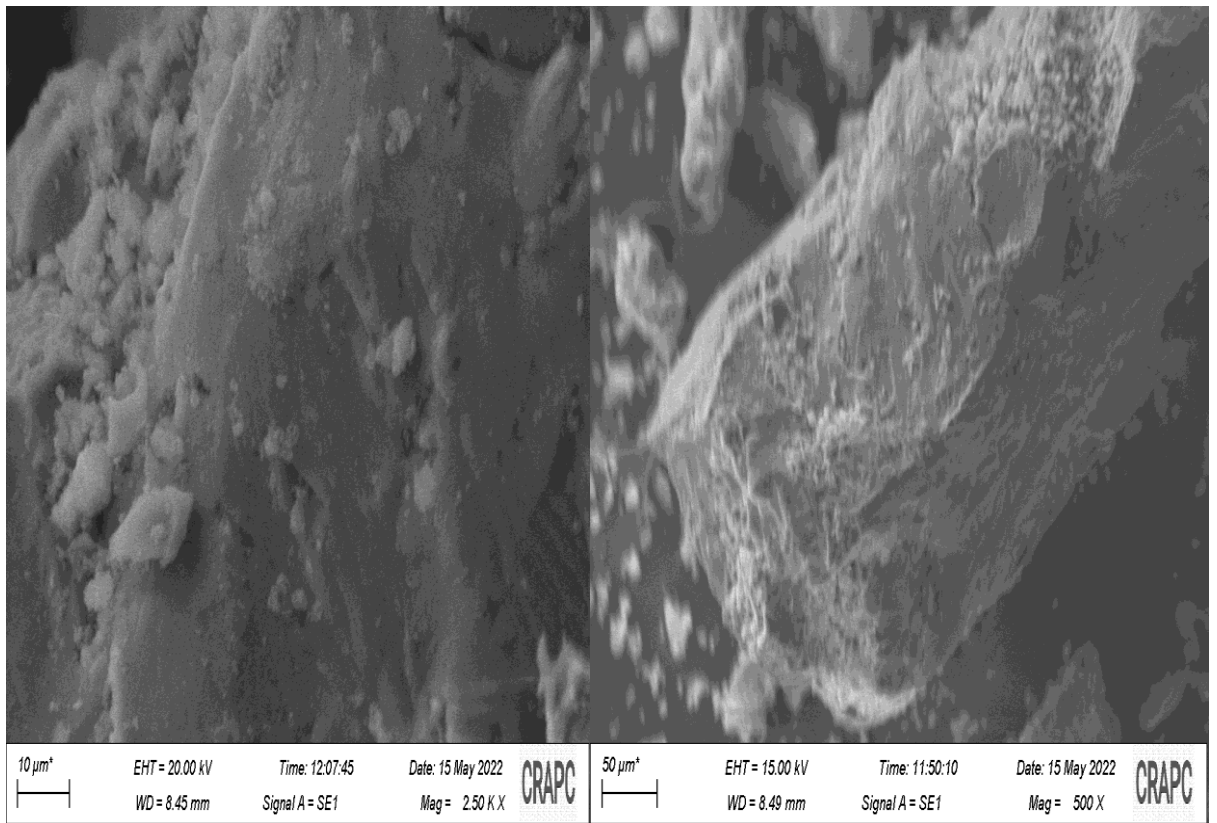


Figure 11: Gel nano silice (El-Souareg)