

REPUBLIQUE AGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE



MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET

DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITTE ECHAHID HAMMA LAKHDAR D'EL-OUED

FACULTE DE TECHNOLOGIE

DEPARTEMENT D'HYDRAULIQUE ET DE GENIE CIVIL

MÉMOIRE

**PRÉSENTE EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLÔME
DE MASTRE EN GENIE CIVIL**

OPTION : MATÉRIAUX EN GÉNIE CIVIL

THEME

**VALORISATION D'UTILISATION LES
TAMIS MOLÉCULAIRES DANS LA
CONSTRCTION**

Encadré par :

- DR .DJIDITarek.
- DR. MANI Mohamed.

Réalisé par :

- FEZZAI Khedidja.
- BASSOU Aama.
- TDJANI Youcef.
- MEKHIBER Nasr Eddine .

Les Examineurs

**DR. KAAB MohamedZohir.
DR.KHELAIFIA Hamad**

Année :2023

REMERCIEMENTS

Tout d'abord, nous tenons à remercier **ALLAH** le clément et le miséricordieux de nous avoir donné la force et le courage de mener à bien ce modeste travail.

Nous remercions très sincèrement notre promoteur Monsieur **Dr. DJDID TAREK** pour tous les efforts qu'il a fourni pour faciliter notre travail et nous aider à accomplir ce mémoire.

Nous remercions tous les membres du jury d'avoir accepté d'être les rapporteurs de notre mémoire.

Nous sincères remerciements le responsable de laboratoires de génie civil ; Monsieur **ABD EL RAHMAN KHACHKOCHE** et à tous les membres des laboratoires qui ont participé indirectement ou directement à ce flux de recherche et à son objectif.

Nous remercions également nos professeurs pour leur aide, leur soutien et leurs encouragements.

Enfin, nous exprimons toutes nos profondes reconnaissances à tous ceux et celles qui de près ou de loin nous ont apporté aide et encouragement.



DÉDICACE

Je dédie ce modeste travail :

- *À deux personnes chères à mon cœur ;
mon père et ma mère.*
- *À mes chères sœurs et mes amis.*
- *Aux professeurs qui nous ont enseigné
à différentes étapes.*
- *À tous ceux que je n'ai pas mentionnés.*

TABLE DES MATIÈRES

Resumé

Nomenclature

Liste des figures

Liste des tableaux

Introduction générale

Chapitre 01 : Recherche Bibliographique

Introduction	1
Le déchet	1
1- DEFINITION DE DECHET.....	2
1.1 Type de déchet	2
1.1.1. Les déchets ménagers	3
1.1 .2 Les déchets industriels	4
1.1.3 Les déchets médicaux	4
1.1.4 Les déchets électroniques	4
1.1.5 Les déchets dangereux.....	5
1.1.6 Les déchets organiques	5
1.2 Utilisation de déchet.....	5
1.2.1 Conversion en énergie	5
1.2.2 Recyclage.....	6
1.2.3 Compostage.....	6
1.2.4 Conservation des ressources naturelle.....	6
1.2.5 Production de matières thermiques.....	6
1.2.6 Protection de l'environnement.....	6
1.3 Le traitement et la valorisation des déchets	6
Traitement mécanique-biologique	6
Incinération.....	6
Valorisation énergétique.....	6
Recyclage.....	6

Compostage.....	7
Stockage en décharge	7
2- Définition de recyclage.....	8
2.1 Types de recyclage.....	8
2.2 Utilisation du recyclage	10
3- Le Tamis Moléculaire	11
1-Définition.....	11
2-La caractérisation des tamis moléculaires	12
3-type des tamis moléculaires	13
4- Utilisation de tamis moléculaire.....	14
Les zéolithes :.....	15
1- Définition	15
2- Classification de zéolithe	16
3- Nomenclature des zéolithe	17
4- Origine de zéolithe	18
5- Les applications et propriété de zéolithe	19
Les Ajouts Minéraux.	20
Introduction :.....	20
1- Classification des ajouts minéraux :	20
1.1 Les ajouts minéraux actifs	21
La pouzzolane :.....	21
pouzzolane naturelle.....	21
Pouzzolane artificielle	22
2- Propriétés et caractéristiques des pouzzolanes.....	22
- Le laitier de haut fourneau	23
- la fumée de silice	24
- Les cendres volantes	25
3- Principaux ajouts minéraux inertes.....	26
4- L'intérêt de l'utilisation des ajouts minéraux dans le génie civil	29
-Intérêt du point de vue économique.....	29
-Intérêt du point de vue technique	30
5- L'utilisation des ajouts en Algérie	30
Conclusion	31

Chapitre02: Caractérisation des Matériaux de Base et Techniques Expérimentales

II. Introduction.....	33
II.1. béton de sable.....	33
II.1.1. Constituants du béton de sable.....	33
II.1.1.1 sable.....	33
II.1.1.2 ciment.....	33
II.1.1.3 Eau de gâchage	33
II.2. Caractérisation des matériaux de base utilisés.....	34
II.2.1. Sable.....	34
II.2.1.1. Analyse granulométrique	34
II.2.1.2. Caractéristiques physiques	35
II.2.1.2 .1. Masses volumiques	35
Masse volumique apparente.....	35
. Masse volumique absolue	35
II.2.1.2.2. Module de finesse	37
II.2.1.2.3. Equivalent de sable	37
II.2.1.2.4, Compacité et porosité.....	38
II.2.1.2.5. Indice des vides.....	38
II.2.2. Ciment.....	39
II.2.3. Eau de gâchage	39
II.2.4. tamis moléculaires	40
II.2.4.1 Préparation des éprouvettes	43
II.3 Caractérisation de mortier état frais	43
II.3.1 Masse volumique apparente réelle	44
II.3.2 Caractérisation du béton État durci.....	45
II.3.2.1 Masse volumique apparente	46
II.3.2.2.Essai de retrait	47
II.3.2 3.Essais ultrason.....	49
II.3.2.4 Essai de rupture par flexion.....	50
II.3.2 .5. Essai de rupture par compression	50
II.3.2.6. Essai d'absorption d'eau par immersion totale	51
. Conclusion.....	52

CHAPITRE 03: Résultats et Discussions

III.1. Introduction	54
III.2. Formulation de mortier.....	54
III.2.1. Méthode expérimentale de formulation.....	54
III.2.1.1. Détermination d'une formule de base (sans fines d'addition)	54
III.3. Caractérisation des bétons de sable à base de poudre de tamis moléculaire.....	55
III.3.2. Caractérisation du béton durci	56
III.3.2.1 Retrait	58
III.3.2.2. Ultrason.....	59
III.3.3. Etude des propriétés mécaniques	60
III.3.3.1 Résistance à la flexion	60
III.3.4.2. Résistance à la compression.....	61
III.4. Conclusion.....	62
Conclusion générale.....	63
Références bibliographiques	

FIGURE	NOM	PAGE
1	Déchet ménager	2
2	Déchets médicaux	3
3	Déchets électroniques	3
4	Déchets dangereux	4
5	Déchets organiques	4
6	Recyclage organique	5
7	Recyclage d'eau	8
8	Recyclage énergétique	9
9	Tamis moléculaire	9
10	Sables utilisés	11
11	Sables utilisés	35
12	Schémas de mesure d'équivalent de sable	39
13	Ciment utiliser	41
14	Eau de gâchage	41
15	tamis moléculaire 4A	42
16	Tamisage de zéolithe à tamis 80 µm	44
17	Mélange les ingrédients ensemble	44
18	Mélange les ingrédients ensemble	44
19	Lubrifier les moules	44
20	Placer le mélange dans les moules	45
21	Prélèvement de l'échantillon	45
22	Appareille de retrait	46
23	Appareille ultrason	47
24	Schémas de l'essai de rupture par flexion	48
25	Procédure de l'essai de rupture par flexion	48
26	Schéma de l'essai de compression	49
27	Procédé de l'essai de rupture par compression	50
28	Procédure de l'essai d'absorption d'eau par immersion totale	51
29	Masse volumique des différents types de bétons étudiés	56
30	Absorption d'eau par immersion à (7.14.28) jours des différents types de bétons étudiés.	57
31	Retrait des différents types de bétons étudiés.	59
32	Résistance à la flexion à (7.14.28) jours des différents types de bétons étudiés	60
33	Résistance à la compression à (7.14.28) jours des différents types de bétons étudiés	61

N °TABLAU	NOM	PAGE
1	Composition chimique type de laitiers de haut fourneau	23
2	Composition chimique type de certaines fumées de silice.	25
3	Composition chimique type de certaines cendres volants	27
4	Utilisation des ajouts dans les cimenteries algériennes	30
5	Résultats d'analyse granulométrique du sable alluvionnaire (100% SA).	34
6	Préconisations en matière de propreté pour les sables utilisés dans les bétons	39
7	Regroupe l'ensemble des résultats relatifs aux essais physiques effectués sur le sable utilisés	40
8	Composition chimique (% massique) du ciment CEM I 42,5 N	40
9	La composition minéralogique montre que le clinker de ce ciment CEM I 42,5 N	40
10	:Le tableau suivant présente quelques familles de tamis moléculaires selon leur capacité d'absorption	42
11	Compositions des bétons étudiés	55
12	Masse volumique à 28 jours des différents bétons étudiés	55
13	Absorption d'eau par immersion	56
14	la masse des éprouvettes avants immersion	57
15	la masse des éprouvettes après immersion	58
16	Les résultats de retrait	58
18	Les résultats d'ultrason	59
19	Evolution de la résistance à la flexion à 7, 14 et 28 jours	60
20	Evolution de la résistance à la compression à(7 .14, 28) jours	61

RESUME

Cette étude vise à améliorer les propriétés physico-mécaniques du béton de sable en utilisant la poudre de zéolithe, dans le but de valoriser les matériaux importés et de réutiliser les déchets industriels dans la construction. L'étude a été menée par la méthode expérimentale en ajoutant des pourcentages de poudre de zéolithe variant de 10 à 40% dans la formulation des bétons de sable.

Ces résultats sont très encourageants pour le développement d'un nouveau béton de sable capable de répondre aux exigences de la construction tout en valorisant les déchets industriels et en réduisant la dépendance aux matériaux importés. L'utilisation de la poudre de zéolithe pourrait également contribuer à réduire l'impact environnemental de l'industrie en valorisant les déchets et en réduisant les émissions de gaz à effet de serre liées à la production du ciment.

Les résultats montrent que la plasticité et la masse volumique des bétons diminuent en fonction de l'augmentation du dosage de la poudre de zéolithe. Cependant, les résultats mécaniques ont montré une amélioration significative, en particulier avec un ajout optimal de 20% de poudre de zéolithe, qui constitue le meilleur compromis entre les propriétés étudiées.

En concluant, cette étude montre que l'ajout de la poudre de zéolithe dans les bétons de sable peut améliorer significativement leurs propriétés mécaniques,

Ces résultats pourraient être utiles dans le développement de nouveaux matériaux de construction plus durables et plus respectueux de l'environnement.

MOTS Cles :

Matériaux importer, déchets industriels, béton de sable, poudre zéolithe, formulation, propriétés physico-mécaniques.

الملخص

هذه الدراسة تهدف إلى تحسين الخصائص الفيزيائية والميكانيكية للخرسانة الرملية باستخدام مسحوق الزيوليت، بهدف تقييم المواد المستوردة وإعادة استخدام النفايات الصناعية في البناء. تم إجراء الدراسة بالطريقة التجريبية عن طريق إضافة نسب مختلفة من مسحوق الزيوليت تتراوح من 10 إلى 40% في تركيب الخرسانة الرملية.

تشير النتائج إلى أن سهولة التدفق والكثافة الحجمية للخرسانة تنخفض بزيادة جرعة مسحوق الزيوليت. ومع ذلك، أظهرت النتائج الميكانيكية تحسناً ملحوظاً، خاصة عند إضافة 20% من مسحوق الزيوليت التي تمثل أفضل توازن بين الخصائص المدروسة..

وتشير هذه النتائج إلى أنه يمكن تطوير خرسانة رملية جديدة تستجيب لمتطلبات البناء وتعزز قيمة إعادة استخدام النفايات الصناعية.

الكلمات المفتاحية:

مواد محلية، نفايات صناعية، خرسانة رملية، مسحوق زيوليت، تركيبة، خواص فيزيائية-ميكانيكية.

ABSTRACT

This study aims to improve the physico-mechanical properties of sand concrete using zeolite powder, with the aim of valorizing imported materials and reusing industrial waste in construction. The study was carried out using the experimental method, adding percentages of zeolite powder ranging from 10 to 40% to sand concrete formulations.

These results are very encouraging for the development of a new sandcrete capable of meeting construction requirements while valorizing industrial waste and reducing dependence on imported materials. The use of zeolite powder could also help reduce the industry's environmental impact by reusing waste and reducing greenhouse gas emissions linked to cement production.

The results show that the plasticity and density of concretes decrease with increasing dosage of zeolite powder. However, the mechanical results showed a significant improvement, particularly with the optimal addition of 20% zeolite powder, which represents the best compromise between the properties studied.

In conclusion, this study shows that the addition of zeolite powder to sand concrete can significantly improve its mechanical properties,

These results could prove useful in the development of new, more durable and environmentally-friendly construction materials.

Keywords:

Local materials, industrial waste, sand concrete , zeolite powder, formulation, physical and mechanical properties.

NOMENCLATURE

S	: Sable.
E/C	: Rapport (eau / ciment).
G/S	: Gravillons sur sables.
V_0	: Constante expérimentale comprise entre 0.7 et 0.8.
Ps (V)	: Porosité du sable d'étendue 80 μm , et Dmax.
E	: Volume d'eau.
V	: Volume de vide piégé.
F	: Surface spécifique exprimée en cm^2/g du constituant.
P	: Densité du constituant exprimée en g/cm^3 .
Rc	: Classe vraie du ciment (MPa).
C	: Dosage en ciment (kg/m^3).
R_b	: Résistance à la compression du béton à 28 jours (MPa).
K_1	: Coefficient pouzzolanique.
V_c	: Volume de ciment.
V_E	: Volume d'eau.
V_{sable}	: Volume de sable.
Si	: Masse de sable.
MVAT	: Masse volumique apparente théorique du béton.
MVAR	: Masse volumique apparente réelle du béton.
MV_{sable}	: Masse volumique absolue du sable.
PT	: Poudre de TAMIS.
SA	: Sable alluvionnaire.
S_A	: Fraction massique du sable alluvionnaire.
Γ	: Masse volumique apparente.

M	: Masse du matériau.
V	: Volume total du matériau.
Γ_s	: Masse volumique absolue.
M_s	: Masse du matériau solide.
V_s	: Volume total du matériau solide.
Mf	: Module de finesse.
ES	: Equivalent de sable.
ES_V	: Equivalent de sable visuel.
ES_P	: Equivalent de sable au piston.
P	: Porosité.
e (%)	: L'indice des vides.
C_3S	: Tri calcium silicate $3CaO SiO_2$.
C_2S	: Dicalcium silicate $2CaO SiO_2$.
C_3A	: Tricalcium aluminate $3CaO Al_2O_3$.
C_4AF	: Tétracalcium Ferro aluminate $4CaO Al_2O_3 Fe_2O_3$.
R_t	: Résistance à la flexion.
F_t	: Charge de rupture de l'éprouvette en traction par flexion.
L	: Longueur entre les axes des deux appuis.
B	: Largeur de la section transversale de l'éprouvette.
R_c	: Résistance à la compression.
F_c	: Force de compression.
A	: La surface transversale de l'éprouvette.
A%	: Coefficient d'absorption d'eau.
P_s	: Masse du matériau sec.
P_h	: Masse du matériau humide.



Introduction Générale

Introduction Générale :

Les tamis moléculaires sont des matériaux poreux de haute technologie qui peuvent être utilisés dans diverses applications industrielles. Dans l'industrie de la construction, les tamis moléculaires sont de plus en plus utilisés pour améliorer les propriétés des matériaux de construction tels que le ciment et le béton. L'ajout de tamis moléculaires peut améliorer les propriétés des matériaux de construction en régulant la taille et la distribution des pores, en augmentant la résistance mécanique, en améliorant la durabilité et en réduisant les coûts de production.

Cette recherche se concentre sur l'utilisation des tamis moléculaires pour améliorer les propriétés des matériaux de construction, en particulier le ciment et le béton. L'objectif de cette recherche est d'explorer les avantages et les inconvénients de l'utilisation des tamis moléculaires, ainsi que les défis et les opportunités liés à leur utilisation dans l'industrie de la construction. Cette recherche examinera également les dernières avancées dans ce domaine, ainsi que les résultats des études précédentes, afin de fournir des recommandations pour l'utilisation future des tamis moléculaires dans la construction.

La suite de cette recherche est divisée en plusieurs parties, notamment l'étude de la littérature, la méthodologie de recherche, les résultats attendus, l'analyse et la discussion, les conclusions et les recommandations.

Cette recherche est importante car elle peut contribuer à l'amélioration de la qualité des matériaux de construction, ainsi qu'à la réduction des coûts de production et à l'optimisation de l'utilisation des ressources.



CHAPITRE 01

Recherche Bibliographique

INTRODUCTION :

Les déchets de construction représentent une importante source de pollution de l'environnement, mais ils offrent également une opportunité pour la récupération et le recyclage des matériaux. Les déchets de construction sont générés lors de la construction, de la rénovation et de la démolition de bâtiments, de routes et d'autres infrastructures.

Le recyclage des déchets de construction peut aider à réduire la quantité de déchets envoyés aux sites d'enfouissement et à préserver les ressources naturelles en réutilisant les matériaux existants. Les matériaux de construction recyclables comprennent le béton, les briques, le bois, le métal, le verre et les plastiques.

Le processus de recyclage des déchets de construction implique la collecte, le tri, le nettoyage et la transformation des matériaux recyclables en nouveaux matériaux de construction. Les avantages du recyclage des déchets de construction incluent la réduction des coûts de gestion des déchets, la réduction de la consommation de ressources naturelles et la réduction de la pollution de l'environnement.

En plus du recyclage, il existe également des opportunités pour la valorisation des déchets de construction. La valorisation implique la récupération et la réutilisation des matériaux pour des usages différents de leur usage initial. Les déchets de bois peuvent être utilisés pour la production d'énergie, les déchets de béton peuvent être utilisés pour la construction de routes et les déchets de métal peuvent être fondus pour produire de nouveaux produits en métal.

La réglementation en matière de gestion des déchets de construction varie d'un pays à l'autre, mais de nombreux pays ont adopté des politiques et des réglementations pour encourager le recyclage et la valorisation des déchets de construction. Les gouvernements locaux peuvent également offrir des programmes de collecte des déchets de construction et des services de recyclage pour aider les entreprises et les particuliers à gérer leurs déchets de manière responsable.

En conclusion, le recyclage et la valorisation des déchets de construction sont des pratiques importantes pour la gestion durable des ressources naturelles et la réduction de la pollution de l'environnement. Les entreprises et les particuliers peuvent contribuer en triant et en recyclant leurs déchets de construction, et en utilisant des matériaux recyclés dans leurs projets de construction et de rénovation.

I. Les Déchets :

1- DEFINITION :

Les Déchets comprennent tout ce qui est jeté de manière non désirée, que ce soit en raison de son inutilité ou de l'incapacité à le réutiliser ou à le recycler de manière efficace. Les déchets peuvent prendre différentes formes, telles que les déchets organiques, plastiques, papier, électroniques et dangereux. La gestion des déchets est l'un des principaux défis environnementaux auxquels le monde est confronté actuellement, car cela nécessite de travailler à réduire la quantité de déchets produits et à améliorer les méthodes de leur élimination de manière appropriée et durable

2- Type des déchets :

✓ Les déchets ménagers :

Ce sont les déchets solides produits par les ménages, les commerces et les bureaux.



Figure n01 : déchet ménager

✓ **Les déchets industriels :**

Ce sont les déchets produits par les différentes industries.



Figure n02 : déchets industriels

✓ **Les déchets médicaux :**

Ce sont les déchets médicaux produits par les hôpitaux et les centres de santé.



Figure n03 : déchets médicaux

✓ **Les déchets électroniques :**

Ce sont les déchets électroniques tels que les équipements électriques et électroniques devenus obsolètes ou défectueux.



Figure n04 : déchets électroniques

✓ **Les déchets dangereux :**

Ce sont les déchets contenant des matières dangereuses telles que les produits chimiques, les matières radioactives et les batteries.



Figure n05 : déchets dangereux

✓ **Les déchets organiques :**

Ce sont les déchets organiques tels que les aliments, les plantes et les animaux morts.

Il existe d'autres types de déchets qui peuvent être classés de différentes manières selon les normes locales et internationales.



Figure n06:déchets organiques

3- Utilisations

3.1 - Conversion en énergie :

Les déchets organiques et solides peuvent être transformés en énergie par combustion ou pyrolyse, produisant de l'électricité et de la chaleur.

3.2 -Recyclage :

Les déchets tels que le papier, le plastique et le verre peuvent être recyclés pour produire de nouveaux produits.

3.3-Compostage :

Les déchets organiques tels que les aliments, les plantes et les animaux morts peuvent être utilisés pour produire du compost qui est utilisé en agriculture.

3.4 - Conservation des ressources naturelles :

Le recyclage des déchets permet de réduire l'utilisation des ressources naturelles et de produire de nouveaux produits à partir des déchets.

3.5- Production de matières thermiques :

Certains types de déchets solides et dangereux peuvent être utilisés pour produire des matières thermiques utilisées dans diverses industries.

3.6- Protection de l'environnement :

La réduction de l'impact environnemental des déchets peut être réalisée grâce à des méthodes de traitement appropriées et durables.

Il existe de nombreuses autres utilisations pour les déchets, qui dépendent du type de déchet et de la méthode d'élimination utilisée.

4- Le traitement et la valorisation des déchets :

ceux sont des processus importants pour gérer les déchets de manière efficace et durable. Voici quelques exemples de méthodes de traitement et de valorisation des déchets :

4.1- Traitement mécanique-biologique :

Cette méthode de traitement des déchets consiste à trier les déchets, à les broyer et à les mélanger avec des bactéries pour accélérer leur décomposition. Le résultat final est un matériau appelé "compost" qui peut être utilisé comme engrais.

4.2- Incinération :

L'incinération est un processus de combustion des déchets à haute température. Cette méthode est souvent utilisée pour les déchets dangereux et les déchets médicaux.

4.3- Valorisation énergétique :

Les déchets peuvent être utilisés pour produire de l'énergie, notamment grâce à des méthodes comme la combustion des déchets pour produire de l'électricité.

4.4- Recyclage :

Le recyclage est un processus de transformation des déchets en nouveaux produits. Le recyclage est utilisé pour les matériaux tels que le papier, le plastique, le verre et le métal.

4.5- Compostage:

Le compostage est un processus de décomposition des déchets organiques en un matériau appelé compost, qui peut être utilisé comme engrais.

4.6-Stockage en décharge :

Le stockage en décharge est la méthode la plus courante pour éliminer les déchets. Les déchets sont simplement enterrés dans une décharge, mais cette méthode est de moins en moins utilisée en raison de son impact environnemental.

Il existe d'autres méthodes de traitement et de valorisation des déchets, et la méthode utilisée dépend du type de déchet et des réglementations locales et nationales.

II. II-Recyclage :

1- Définition

C'est le processus de transformation des déchets en nouveaux produits ou en matières premières qui peuvent être utilisés à nouveau. L'objectif principal du recyclage est de réduire la quantité de déchets envoyés en décharge ou incinérés, et de préserver les ressources naturelles en réduisant la demande de matières premières. Le recyclage peut être appliqué à différents types de déchets, tels que les déchets ménagers, les déchets industriels, les déchets électroniques, les déchets de construction, etc. Le recyclage est une pratique importante pour réduire l'impact environnemental des déchets et encourager la création d'une économie circulaire.

2- types des recyclages

2.1- Le recyclage des matériaux :

Il s'agit du processus de transformation des matériaux tels que le papier, le plastique, le verre et le métal en nouveaux produits similaires.

- **Le recyclage organique :**

Cela implique le compostage des déchets organiques tels que les restes de nourriture et les déchets de jardin pour produire un engrais organique



Figure n°7 :Recyclage organique

- **Le recyclage énergétique :**

Il s'agit de la conversion des déchets en énergie, tels que la combustion des déchets pour produire de l'électricité ou la production de biocarburants à partir de déchets organiques.

- **Le recyclage de l'eau :**

Cela implique le traitement des eaux usées pour enlever les contaminants et produire de l'eau propre pour une utilisation future.

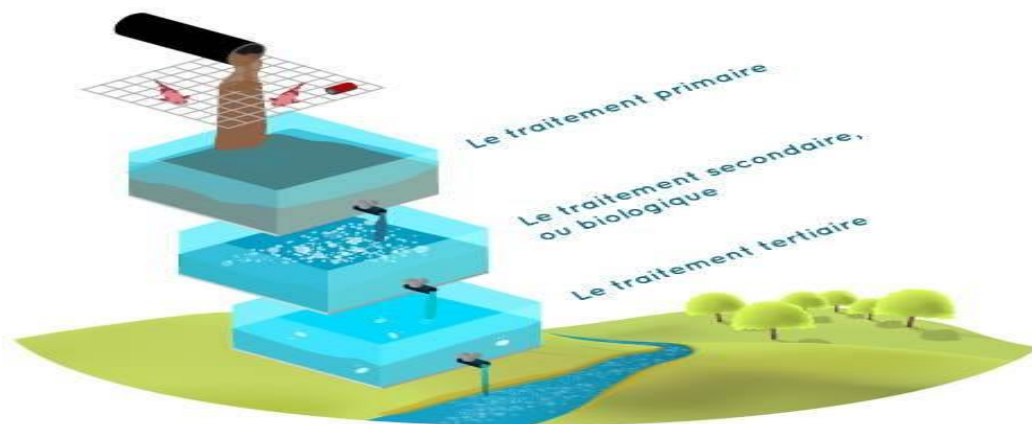


Figure n08 : recyclage d'eau

- **Le recyclage des déchets électroniques :**

Il s'agit du processus de récupération des métaux précieux et d'autres matériaux des équipements électroniques tels que les ordinateurs, les téléphones portables et les téléviseurs pour les réutiliser dans de nouveaux produits.

Il convient de noter que ces types de recyclage peuvent varier selon les réglementations et les normes locales et nationales .

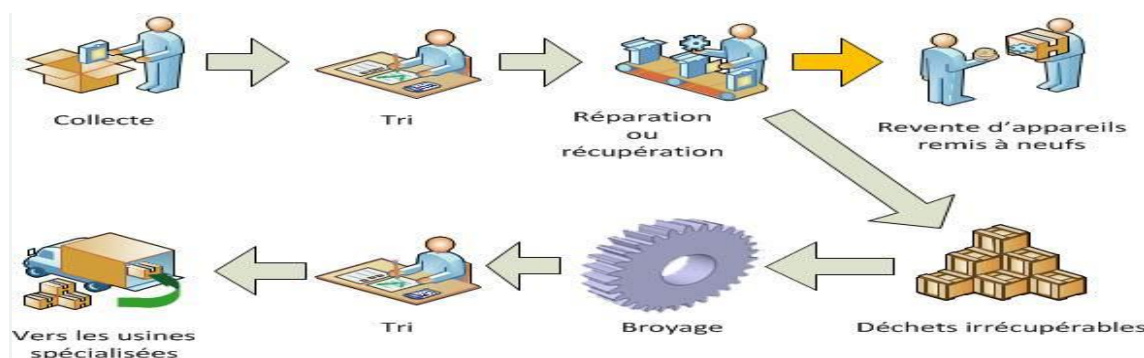


Figure n09 : recyclage énergétique

3- Utilisation du recyclage :

- ✓ La production de nouveaux produits :

Le recyclage permet de transformer les déchets en matières premières qui peuvent être utilisées pour fabriquer de nouveaux produits.

- ✓ La réduction des déchets :

Le recyclage permet de réduire la quantité de déchets envoyés en décharge ou incinérés, ce qui contribue à préserver les ressources naturelles.

- ✓ La réduction de la pollution :

Le recyclage permet de réduire la quantité de déchets qui sont brûlés ou mis en décharge, ce qui réduit la quantité de gaz à effet de serre émis et prévient la pollution de l'air, de l'eau et du sol.

- ✓ L'économie d'énergie :

Le recyclage permet d'économiser de l'énergie, car la production de nouveaux produits à partir de matières recyclées nécessite moins d'énergie que la production à partir de matières premières vierges.

- ✓ La création d'emplois :

Le recyclage crée des emplois dans les industries du recyclage et de la fabrication de nouveaux produits.

Il convient de noter que ces utilisations du recyclage peuvent varier selon les réglementations et les normes locales et nationales.

III .Le Tamis Moléculaire

1- Définition de tamis moléculaire:

Le tamis moléculaire, ou zéolite en anglais, est un matériau poreux cristallin utilisé en chimie et en génie chimique pour la séparation, la purification et la catalyse. Les tamis moléculaires sont composés de structures tridimensionnelles d'atomes d'aluminium, de silicium et d'oxygène, qui forment des pores uniformes de taille nanométrique. Ces pores peuvent être utilisés pour piéger des molécules de taille spécifique en fonction de leur forme et de leur charge, ce qui permet une séparation sélective des mélanges de molécules. Les tamis moléculaires sont utilisés dans de nombreuses applications, telles que la purification de gaz et de liquides, la production de carburant propre, la catalyse chimique et la séparation de produits chimiques dans l'industrie pharmaceutique.



Figure n 10 :tamis moléculaire

2- La caractérisation des tamis moléculaires

La caractérisation des tamis moléculaires comprend plusieurs techniques et méthodes permettant de mesurer leurs propriétés physico-chimiques et leur performance dans différentes applications. Voici quelques-unes des techniques couramment utilisées pour caractériser les tamis moléculaires :

2.1- Analyse texturale :

Cette technique mesure la surface spécifique, la porosité et la taille des pores des tamis moléculaires à l'aide de méthodes telles que la BET (Brunauer-Emmett-Teller) et la DRX (diffraction des rayons X).

2.2- Spectroscopie infrarouge :

Cette technique permet d'analyser la composition chimique des tamis moléculaires en mesurant les vibrations moléculaires à l'aide de la spectroscopie infrarouge.

2.3- Microscopie électronique à transmission :

Cette technique permet d'observer la structure cristalline et la morphologie des tamis moléculaires à l'échelle nanométrique.

2.4- Adsorption de gaz :

Cette méthode permet de mesurer la capacité d'adsorption des tamis moléculaires pour différents gaz, ce qui peut fournir des informations sur leur sélectivité et leur performance dans la séparation de gaz.

2.5- Essais de catalyse :

Les essais de catalyse permettent de mesurer l'activité catalytique des tamis moléculaires dans différentes réactions chimiques, ce qui peut fournir des informations sur leur performance dans des applications telles que la production de carburant et la dépollution.

Il convient de noter que la caractérisation des tamis moléculaires peut varier en fonction des propriétés spécifiques des tamis et des applications visées.

3- Les types des tamis moléculaires

Il existe plusieurs types de tamis moléculaires, chacun ayant des propriétés et des applications spécifiques. Voici quelques exemples de types de tamis moléculaires :

- Tamis moléculaires de type A :

Ce type de tamis moléculaire est principalement utilisé pour la séparation des gaz, tels que l'oxygène et l'azote.

-Tamis moléculaires de type X :

Ce type de tamis moléculaire est utilisé pour la séparation et la purification des gaz, tels que les gaz de pétrole liquéfié (GPL) et les gaz naturels.

- Tamis moléculaires de type Y :

Ce type de tamis moléculaire est utilisé pour la séparation et la purification des gaz, ainsi que pour la catalyse de réactions chimiques.

- Tamis moléculaires de type ZSM-5 :

Ce type de tamis moléculaire est utilisé pour la catalyse de réactions chimiques, telles que la production de carburant à partir de biomasse.

Tamis moléculaires de type MCM :

Ce type de tamis moléculaire est utilisé pour la catalyse de réactions chimiques, telles que la production de carburant à partir de gaz naturel.

Il convient de noter que ces types de tamis moléculaires ne sont que quelques exemples parmi de nombreux autres types existants, chacun ayant des propriétés et des applications spécifiques.

4- Utilisation de tamis moléculaire

Les tamis moléculaires sont utilisés dans de nombreuses applications dans les domaines de la chimie, de la pétrochimie, de la catalyse et de l'industrie des matériaux. Voici quelques exemples d'utilisation des tamis moléculaires :

- ✓ **Séparation des gaz** : Les tamis moléculaires sont utilisés pour séparer les gaz en fonction de leur taille et de leur polarité, ce qui les rend utiles pour la production de gaz naturel, la séparation des gaz de pétrole liquéfié (GPL) et la production d'air liquide.

- ✓ **Catalyse** : Les tamis moléculaires sont utilisés comme catalyseurs dans de nombreux processus chimiques, tels que la production de carburant, la production de produits chimiques à haute valeur ajoutée et la purification des gaz d'échappement.
- ✓ **Adsorption**: Les tamis moléculaires sont utilisés pour adsorber les molécules indésirables, telles que les impuretés dans les produits chimiques et les gaz d'échappement, ainsi que pour la désodorisation de l'air et des liquides.
- ✓ **Déshydratation** : Les tamis moléculaires sont utilisés pour éliminer l'eau des produits chimiques, des gaz et des solvants.
- ✓ **Stockage d'énergie** : Les tamis moléculaires sont utilisés pour stocker l'hydrogène et le méthane, qui sont des carburants propres pour les véhicules et les appareils fonctionnant à l'électricité.

Il convient de noter que ces utilisations des tamis moléculaires peuvent varier en fonction des propriétés spécifiques des tamis moléculaires et des applications visées.

5- Zéolithe :**Définition :**

Les zéolithes sont des minéraux microporeux naturels ou synthétiques ayant une structure cristalline tridimensionnelle régulière. Elles sont principalement composées de silicate d'aluminium et d'ions oxygène, et sont caractérisées par leur capacité à adsorber des molécules en fonction de leur taille et de leur polarité.

Les zéolithes sont utilisées dans de nombreuses applications industrielles, telles que la catalyse, la séparation des gaz, la purification des liquides et la production de carburant propre.

En raison de leur capacité à piéger des molécules spécifiques, les zéolithes sont également utilisées dans des applications telles que la dépollution de l'air et de l'eau.



Figure 11 : zéolite Natural

5.1 Classification de zéolithe :

Il existe plusieurs façons de classer les zéolithes, mais la classification la plus couramment utilisée est basée sur leur structure cristalline. Voici quelques exemples de classes de zéolithes en fonction de leur structure cristalline :

Classe A :

Cette classe de zéolithes a une structure cristalline en forme de cage avec une ouverture de pores de 4 Ångströms. Les zéolithes de classe A sont souvent utilisées pour la séparation et la purification des gaz.

Classe X :

Cette classe de zéolithes a une structure cristalline en forme de cage avec une ouverture de pores de 10 Ångströms. Les zéolithes de classe X sont souvent utilisées pour la séparation des gaz et la production de détergents.

Classe Y :

Cette classe de zéolithes a une structure cristalline en forme de cage avec une ouverture de pores de 12 Ångströms. Les zéolithes de classe Y sont souvent utilisées comme catalyseurs dans des réactions chimiques.

Classe ZSM :

Cette classe de zéolithes a une structure cristalline en forme de chaîne avec une ouverture de pores de 5 Ångströms. Les zéolithes de classe ZSM sont souvent utilisées pour la production de carburant à partir de biomasse et de gaz naturel.

Il convient de noter que cette classification n'est qu'un exemple parmi d'autres et qu'il existe de nombreuses autres classes de zéolithes en fonction de leur structure cristalline et de leurs propriétés physiques et chimiques.

5.2 Nomenclature des zéolithes :

La nomenclature des zéolithes est basée sur des règles établies par l'Union internationale de cristallographie (UIC). Le nom des zéolithes est généralement dérivé de leur structure cristalline, en utilisant une abréviation de la structure suivi d'un numéro. Par exemple :

- **Zéolithe de type A :**

La formule chimique de la zéolithe de type A est $\text{Na}_{12}[(\text{AlO}_2)_{12}(\text{SiO}_2)_{12}] \cdot 27\text{H}_2\text{O}$. Elle est souvent abrégée en Na-A.

- **Zéolithe de type X :**

La formule chimique de la zéolithe de type X est $\text{Na}_{86}[(\text{AlO}_2)_{86}(\text{SiO}_2)_{106}] \cdot 276\text{H}_2\text{O}$. Elle est souvent abrégée en Na-X.

- **Zéolithe de type Y :**

La formule chimique de la zéolithe de type Y est $\text{Na}_{56}[(\text{AlO}_2)_{56}(\text{SiO}_2)_{136}] \cdot 250\text{H}_2\text{O}$. Elle est souvent abrégée en Na-Y.

- **Zéolithe ZSM-5 :**

La formule chimique de la zéolithe ZSM-5 est H-ZSM-5 avec une formule chimique générale de $(\text{SiO}_2)_x(\text{AlO}_2)_y \cdot n\text{H}_2\text{O}$.

Il existe de nombreuses autres zéolithes, chacune ayant une structure cristalline et une formule chimique spécifiques. La nomenclature des zéolithes est importante car elle permet d'identifier et de différencier les différentes espèces de zéolithes en fonction de leur structure cristalline et de leurs propriétés physiques et chimiques.

5.2 Origine de zéolithe :

Les zéolithes ont une origine naturelle et se forment généralement par des processus géologiques lents et complexes. Elles se trouvent souvent dans des zones volcaniques ou sédimentaires où les conditions de température et de pression sont favorables à leur formation. Les zéolithes peuvent également se former dans des dépôts hydrothermaux, où l'eau chaude circule à travers des roches poreuses et réagit avec les minéraux présents pour former des zéolithes.

Les zéolithes peuvent également être synthétisées en laboratoire à partir de réactifs spécifiques. La synthèse de zéolithes a été développée pour produire des zéolithes avec des propriétés spécifiques pour des applications industrielles telles que la catalyse, la séparation des gaz et la purification des liquides.

Il existe également des zéolithes modifiées qui sont des zéolithes synthétisées ou naturelles qui ont été traitées pour modifier leur structure, leur composition ou leurs propriétés de surface. Ces zéolithes modifiées peuvent être utilisées pour des applications spécifiques comme la dépollution de l'air, la production de carburant propre et la purification de l'eau.

En résumé, les zéolithes ont une origine naturelle dans des environnements géologiques spécifiques, mais peuvent également être synthétisées en laboratoire ou modifiées pour des applications spécifiques .

5.3 Les applications et propriété de zéolithe :

Les zéolithes sont des minéraux microporeux naturels ou synthétiques qui ont une structure cristalline en trois dimensions. En raison de leurs propriétés uniques, les zéolithes ont de nombreuses applications dans l'industrie et la recherche scientifique.

Voici quelques-unes des applications et propriétés les plus courantes de la zéolithe :

- ✚ **Adsorption** : Les zéolithes sont connues pour leur capacité à adsorber des molécules dans leurs pores. Elles sont utilisées pour purifier l'eau et l'air, pour la séparation des gaz, pour l'élimination des odeurs et des polluants, ainsi que pour la production d'hydrocarbures.

- ✚ **Catalyse** : Les zéolithes sont également utilisées comme catalyseurs dans de nombreuses réactions chimiques, telles que la transformation des hydrocarbures en carburants, la production de produits chimiques, et la conversion du gaz naturel en gaz de synthèse.

- ✚ **Échange d'ions** : Les zéolithes sont capables d'échanger des ions avec leur environnement, ce qui les rend utiles pour l'élimination des ions indésirables dans l'eau ou pour l'augmentation de la teneur en ions souhaitables dans les sols.

- ✚ **Matériaux de construction** : Les propriétés de la zéolithe, telles que sa capacité à adsorber l'humidité et à contrôler la température, la rendent utile pour la production de matériaux de construction tels que les bétons légers.

- ✚ **Médecine** : Les zéolithes sont également utilisées en médecine pour leurs propriétés anti-inflammatoires et antibactériennes. Elles sont utilisées pour le traitement des ulcères, des brûlures et d'autres maladies.

- ✚ **Énergie** : Les zéolithes sont utilisées pour stocker l'énergie en tant que matériau de stockage de la chaleur et pour la production d'énergie à partir de sources renouvelables.

En résumé, les zéolithes sont des matériaux polyvalents ayant de nombreuses applications dans différents domaines, tels que la purification de l'eau et de l'air, la catalyse, la construction, la médecine et l'énergie.

IV .LES AJOUTS MINIREAUX

Introduction :

On peut fabriquer des bétons en utilisant seulement du ciment Portland. Cependant la substitution partielle d'une certaine quantité de ciment par un ou plusieurs ajouts minéraux lorsqu'ils sont disponibles à des prix compétitifs peut être avantageuses, non seulement du point de vue économique, mais aussi du point de vue rhéologique et parfois du point de vue résistance et durabilité.

La plupart des ajouts minéraux ont en commun de contenir une forme de silice vitreuse réactive qui, en présence d'eau, peut se combiner à la température libérée par l'hydratation du C₂S et du C₃S avec la chaux pour former un silicate de calcium hydraté du même type que celui qui est formé durant l'hydratation du ciment Portland (NF P 18-508). On peut écrire donc une réaction pouzzolanique de la façon suivante:

Pouzzolane+chaux+eau \square Silicate de calcium hydraté

Il faut noter qu'à la température de la pièce, cette réaction est généralement lente et peut se développer sur plusieurs semaines. Cependant plus la pouzzolane est fine et vitreuse, plus sa réaction avec la chaux est rapide .

L'hydratation du ciment Portland libère une grande quantité de chaux par suite de la réaction d'hydratation du C₂S et du C₃S (30 % de la masse anhydre du ciment). Cette chaux contribue à la chute de résistance de la pâte de ciment hydratée. Elle peut même être responsable des problèmes de durabilité puisqu'elle peut être assez facilement lessivée par l'eau, ce lessivage augmente alors la porosité de la pâte de ciment. Le seul aspect positif de la présence de chaux dans un béton est qu'elle maintient un PH élevé qui favorise la stabilité de la couche de l'oxyde de fer qu'on retrouve sur les armatures d'acier.

Quand on fabrique des bétons, si on utilise 20 à 30% de pouzzolane, théoriquement, on pourrait faire réagir toute la chaux produite par l'hydratation du ciment portland pour la transformer en C-S-H. Cependant, les conditions dans lesquelles on utilise le béton sont très différentes de cette situation idéale et la réaction pouzzolanique n'est jamais complète.

Ces matériaux étant des sous-produits industriels, leurs compositions chimiques sont en général moins bien définies que celle du ciment Portland .

1- Classification des ajouts minéraux :

Selon la norme [ENV 2006] paragraphe 3.1.5, les ajouts minéraux dans les ciment sont classés en actifs et inertes. On distingue quatre classes d'ajouts minéraux:

1.1- Les ajouts minéraux actifs

❖ 1.1.1- Lapouzzolane

Les pouzzolanes sont des matériaux, naturels ou artificiels, capables de réagir en présence d'eau avec l'hydroxyde de chaux pour donner naissance à des composés nouveaux, stables, peu solubles dans l'eau et possédant des propriétés liantes.

Les normes françaises donnent les définitions suivantes des pouzzolanes entrant dans la fabrication des ciments

a- pouzzolane naturelle

Est un produit d'origine volcanique essentiellement composé de silice, d'alumine et d'oxyde de fer ayant naturellement des propriétés pouzzolaniques. Elle peut être d'origine volcanique: verre volcanique, ponce, rhyolite, tufs, zéolite ou d'origine sédimentaire: terre à diatomées, diatomites.

b- Pouzzolane artificielle

C'est une matière essentiellement composée de silice, d'alumine et d'oxyde de fer ayant subi un traitement thermique pour lui assurer des propriétés pouzzolaniques. Les roches traitées thermiquement: argiles, schistes, latérite, bauxite et m...

Le professeur **Massaza** classe les pouzzolanes en trois catégories:

- Les constituants actifs: phase vitreuse plus ou moins altérée, opale, terre de diatomées, zéolites cristallisées.
- Les constituants inertes: phase cristallisée autre que les zéolites.
- Les constituants nocifs: substances organiques et argiles gonflantes .

1.1.2 Propriétés et caractéristiques des pouzzolanes:

Les pouzzolanes sont des roches " acides " ayant des teneurs élevées en silice et en alumine (Entre 70 et 80% pour les deux composants ensemble), puis en fer, en alcalins, en magnésium et en chaux.

Les pouzzolanes naturelles d'origine sédimentaire ont des teneurs en silice encore plus élevées. (Cas de squelette siliceux de micro-organismes).

Les quantités de chaux sont limitées, ce qui explique par ailleurs, la capacité des pouzzolanes à fixer la chaux.

Les pouzzolanes sont formées surtout d'éléments vitreux. Elles sont plus au moins réactives. La réactivité est l'aspect chimique de fixation de la chaux.

L'activité pouzzolanique s'explique par une attaque lente de la silice et de l'alumine des pouzzolanes par l'hydroxyde de chaux (portlandite).

Des tests chimiques basés sur la quantité de chaux absorbée ou sur la vitesse de fixation sont suffisants pour déterminer la réactivité pouzzolanique.

D'autre part, la connaissance séparée des propriétés de chacun des constituants ne permet pas de prévoir le comportement des mélanges. Seuls les résultats des essais de l'évolution des résistances mécaniques dans le temps permettent de conclure.

Tous les matériaux appelés «pouzzolanes» ne possèdent pas forcément cette propriété. On peut dans certains cas, activer les pouzzolanes par certains procédés:

- Ajout de produits chimiques.
- Broyage à une finesse plus élevée.
- Traitement thermique.

En plus de ces caractéristiques, on cite les propriétés suivantes:

- **Propriétés hydrauliques:** La pouzzolane réagit avec l'eau, en présence d'une quantité suffisante de chaux, pour former des hydrates stables, peu solubles et résistants à long terme.

- **Propriétés physiques de remplissage:** En plus de leur effet pouzzolanique, elles jouent un rôle de remplissage des pores des produits hydratés et de correcteurs granulaires, ce qui améliore la compacité et diminue la perméabilité.

❖ Laitier de haut fourneau:

Le laitier de haut fourneau, ou le laitier broyé comme il voudrait peut-être mieux l'appeler est un sous-produit de la fabrication de la fonte brusquement refroidi par aspersion d'eau, c'est un matériau hydraulique lorsqu'il est activé. Il se présente sous forme de nodules dont la composition chimique comporte de l'oxyde de calcium dans des proportions de l'ordre de 40 à 50 %, de la silice entre 25 à 35%, de l'alumine entre 12 à 30% ainsi que du magnésium et d'autres oxydes en très faibles quantités, tous ces éléments étant pratiquement les mêmes que ceux du clinker.

D'un point de vue chimique (tableau.1), les laitiers ont une composition relativement constante à laquelle le métallurgiste porte une certaine attention. Puisque tout écart par rapport à cette composition chimique optimale se traduit par une augmentation des coûts énergétiques assez importants et donc à des coûts de production plus élevés pour la fabrication de la fonte. Le laitier est fondu à une densité beaucoup plus faible (de l'ordre de 2.8) que celle de la fonte (qui est supérieure à 7.0) de telle sorte que le laitier fondu flotte au-dessus de la fonte fondue au bas du haut fourneau si bien que l'on peut soutirer ces deux liquides séparément.

Tableau 1: Composition chimique type de laitiers de haut fourneau.

OXYDES	Laitier français	Laitier snord USA	Laitier algérien
%SiO ₂	29 à 36	33 à 42	38 à 42
%Al ₂ O ₃	13 à 19	10 à 16	8 à 12
%CaO	40 à 43	36 à 45	48 à 52
%Fe ₂ O ₃	4	0.3 à 2.0	2.0
%MgO	6	3 à 12	4.7

Le laitier peut être mélangé avec du ciment après avoir été séparé ou après avoir été broyé avec le clinker. Le laitier retient moins bien l'eau de gâchage que le ciment Portland et craint donc davantage la dessiccation. Par contre il résiste normalement mieux à l'action destructrice des sulfates, à la dissolution de chaux par les eaux pures ainsi que par celles contenant du gaz carbonique. La réactivité du laitier peut être augmentée de trois façons :

- Broyage poussé.
- Chaleur (étuvage, autoclavage).
- Produits chimiques (la chaux, la soude (Na OH) ou des sels de soude, le sulfate de calcium (gypse) .

❖ la fumée de silice

La fumée de silice est un sous-produit de la fabrication du silicium, de différents alliages de Ferro silicium ou de zircon. Le silicium et les alliages de silicium sont produits dans des fours à arc électrique où le quartz est réduit en présence de charbon (et de fer pour la production de Ferro silicium). Durant la réduction de la silice dans l'arc électrique, un composé gazeux, SiO se forme et s'échappe vers la partie supérieure du four, il se refroidit, se condense et s'oxyde sous forme de particules ultrafines de silice SiO_2 . Ces particules sont récupérées dans un système de dépoussiérage.

D'un point de vue chimique, la fumée de silice est essentiellement composée de silice (Tableau 2). La teneur en SiO_2 de la fumée de silice varie selon le type d'alliage produit. Plus la teneur en silicium de l'alliage est élevée plus la teneur en SiO_2 de la fumée de silice est élevée. Les fumées de silice produites durant la fabrication de silicium métal contiennent en général plus de 90% de SiO_2 . La fumée de silice est produite lors de la fabrication d'un alliage Fe-Si à 75% à une teneur en silice généralement supérieure à 85%.

D'un point de vue structural, la fumée de silice est essentiellement composée de silice vitreuse. D'un point de vue morphologique, les particules de fumée de silice se présentent sous forme de sphères ayant des diamètres compris entre $0.03 \mu\text{m}$ et $0.3 \mu\text{m}$ (le diamètre moyen habituel se situant en dessous de $0.1 \mu\text{m}$), de telle sorte que la dimension moyenne des sphères de fumée de silice est 100 fois plus faible que celle d'une particule de ciment avec un diamètre moyen de l'ordre de $1/10$ de micron.

Tableau 2 Composition chimique type de certaines fumées de silice.

Composés	Silicium (grise)	Ferrosilicium (grise)	Blanche
%SiO ₂	93.7	87.3	90.0
%AL ₂ O ₃	0.6	1.0	1.0
%CaO	0.2	0.4	0.1
%Fe ₂ O ₃	0.3	4.4	2.9
%MgO	0.2	0.3	0.2
%Na ₂ O	0.2	0.2	0.9
%K ₂ O	0.5	0.6	1.3
%Perte au feu	2.9	0.6	1.2

Les caractéristiques très particulières de la fumée de silice en font une pouzzolane très réactive à cause de sa teneur élevée en silice, de son état amorphe et de son extrême finesse. Les effets bénéfiques de la fumée de silice sur la microstructure et les propriétés mécaniques du béton sont dus essentiellement à la rapidité à laquelle la réaction pouzzolanique se développe et à l'effet physique particulier aux particules de fumée de silice qui est connu sous le nom d'effet filler.

Ces deux effets entraînent à la fois une forte augmentation de la compacité et une amélioration des résistances mécaniques du fait de la réaction pouzzolanique des fumées de silice. Ajoutons cependant que la fumée de silice est un matériau peu économique. La fumée de silice est aussi appelée micro silice ou fumée de silice condensée, mais le terme fumée de silice est le plus généralement utilisé. La densité de la fumée de silice est généralement de 2.2, mais aussi un peu plus élevée lorsque la teneur en silice est plus faible. Elle est moins dense que le ciment Portland dont la densité est 3.1.

Ce produit se présente sous la forme d'une poudre ultra fine de couleur claire ou grise. Lorsque l'on considère les propriétés du béton aux fumées de silice, il importe de garder à l'esprit qu'on utilise ces dernières de deux manières différentes:

Comme substitue du ciment, pour réduire les quantités de ciment utilisées, en général pour des raisons d'économie.

Comme ajout, pour améliorer les propriétés du béton, aussi bien à l'état frais qu'à l'état durci.

❖ Lescendresvolantes :

Les cendresvolantes sontdes particulestrèsfines récupéréesparles systèmes dedépoussiérages des gaz des chaudières des centrales thermiques. Les cendres volantes peuventavoir différentes compositions chimiques et différentes compositions de phase parce queCelles – ci sont reliées exclusivement au type d'impuretés qui sont contenues dans le charbonque l'on brûle dans la centrale thermique. Des charbons provenant de la même source etutilisé danslamêmecentralethermiqueproduisentdescendresvolantestrèssemblables.

Cependant, comme on peut le voir dans le tableau 3. La composition chimique descendres volantes qui proviennent de différentes usines peut varier beaucoup. Les particules descendres volantes peuvent avoir des formes très différentes les unes des autres. Elles peuventavoir une forme sphérique, avec une distribution granulométrique semblable à celle du cimentPortland, elles peuvent contenir des sphères creuses et même dans certains cas, elles peuventcontenirseulementdesparticulesangulaires.

Les cendresvolantessedivisententtroiscatégories :

- Lescendressilico-alumineuses(cendredehouille).
- Lescendressulfocalciques(cendredelignite).
- Des cendres non typifiéesde composition irrégulièreou de propriétés assez incertaines.

Tableau.3Composition chimique type de certaine scendres volants

Composés	ClasseF	ClasseF	ClasseC	Sulfo– calcique	Sulfo- calcique
SiO₂	59.4	47.4	36.2	24.0	13.5
Al₂O₃	22.4	21.3	17.4	18.5	5.5
Fe₂O₃	8.9	6.2	6.4	17.0	3.5
CaO	2.6	16.6	26.5	24.0	56
MgO	1.3	4.7	6.6	1.0	1.8
Na₂O	2.2	0.4	2.2	0.8
SO₃	2.4	1.5	2.8	8.0	15.1
Perteau feu	2.0	1.5	0.6
SiO₂+Al₂O₃+Fe₂O₃	90.7	74.9	60	59.5	22.5
Chaux libre	28.0

La plupart des particules ont un diamètre compris entre 1µ m et 100µm, leur surface spécifique Blainese situe généralement entre 250 et 600m²/kg. La grande surface spécifique des cendres volantes signifie que le matériau réagit facilement avec l'hydroxyde de calcium.

D'une façon générale, l'introduction des cendres volantes dans le béton diminue la porosité et la perméabilité. Elle diminue la sensibilité du béton aux eaux agressives, en fixant progressivement la chaux. La cendre volante permet au béton de conserver sa compacité et de rester imperméable.

Il est reconnu que l'emploi des ciments aux cendres volantes entraîne une diminution du retrait hydraulique et thermique du béton.

En plus des propriétés décrites, lorsque 'elles sont utilisées comme une fraction liante, les cendres.

Volantes jouent également d'autres rôles dans le béton tels que l'amélioration de l'ouvrabilité, la diminution de la proportion d'eau pour le béton frais et l'imperméabilité des surfaces.

1.2- Principaux ajouts minéraux inertes:

Selon certains chercheurs, les particules de clinker de dimensions supérieures à $60\mu\text{ m}$ ne subissent pas une hydratation complète même au cours du durcissement à long terme, pour cette même raison les particules de clinker de telle dimension pourraient être remplacées par celles de matériaux inertes (NFP18-305).

En outre, les particules les plus fines d'un ajout inerte servent à remplir les pores de la pâte de ciment, ils jouent le rôle de microagrégats.

Ces sont des matériaux quasiment inertes, organiques naturels ou synthétiques spécialement sélectionnés qui, par leur composition granulométrique améliorent les propriétés physiques du ciment Portland (ouvrabilité, pouvoir de rétention d'eau, ...). Parmi ces additifs on distingue les fillers calcaires et la poussière.

❖ Fillers calcaires:

Les produits désignés dans le commerce comme fillers sont des poudres fines à granulométrie contrôlée, dont les plus gros grains ne dépassent pas 80 microns obtenus par broyage ou par pulvérisation de certaines roches (calcaires, basalte, bentonite, cendres volantes, ...). Les fillers se différencient les uns des autres par:

- leur origine, leurs compositions chimiques et minéralogiques, leurs défauts de structure, les impuretés qu'ils contiennent.

- leur finesse, la forme des grains.
- leur dureté, leur porosité.
- Un filler est dit calcaire s'il contient au moins 90% de carbonate de calcium.

Dans les autres cas, le filler est désigné par le nom de la roche d'origine.

Les différents résultats montrent que les fillers calcaires ajoutés à un CPA peuvent jouer plusieurs rôles:

- Un rôle de remplissage en substitution du ciment dans les éléments fins de la courbe granulométrique (béton ouvrables retenant mieux l'eau).

- Un rôle rhéologique par leur pouvoir fluidifiant sur la pâte interstitielle.

- Un rôle chimique et physique conduisant à l'accélération de l'hydratation du C_3S et du C_3A et à la formation de carboaluminates : germes de cristallisation et points d'ancrage des hydrates.

- Un rôle physique en permettant un arrangement initial différent ce qui réduit l'épaisseur de la pâte et le granulats.

❖ Lapoussière:

La poussière est une matière à particules fines, récupérée à la sortie du four, lors de son passage avec la fumée, sa finesse est comprise entre 7000 et 9000 cm²/g. Le ciment composé avec la poussière a des caractéristiques mécaniques et une résistance au gel-dégel comparable à celle des ciments sans ajouts. Le temps de prise, le fluage et le retrait augmentent avec l'augmentation du pourcentage d'ajout.

1. 3- L'intérêt de l'utilisation des ajouts minéraux dans le génie civil:

- Intérêt du point de vue économique:

L'introduction des ajouts dans la confection du ciment présente un facteur bénéfique car la consommation en clinker baisse en fonction des taux d'ajouts. En effet, le clinker étant obtenu par transformation de la crue (argile + calcaire) nécessite une dépense d'énergie très importante pouvant être réduite par l'introduction de cet ajout. La réaction pouzzolanique étant à base de produits de faible coût et la durabilité est garantie puisque les romains utilisent déjà ce mécanisme chimique dans leurs ciments pour la confection d'ouvrages qui ont fait leur preuve depuis de nombreux siècles.

Des sous-produits industriels tels que les cendres volantes et fumées de silice condensées sont de plus en plus utilisées dans les pays industrialisés parce qu'ils sont des déchets d'usine. Contrairement aux pouzzolanes naturelles, il n'est pas nécessaire de les pulvériser ou de les soumettre à un traitement thermique avant de s'en servir. Plusieurs pays comme la Chine, la Grèce, l'Italie, l'Inde et le Mexique, utilisent encore des millions de tonnes de pouzzolanes naturelles pour fabriquer des ciments Portland composés. Pour des raisons d'économie d'énergie, il y a tout lieu de croire que l'utilisation de ces matériaux se poursuivra et se développera de plus en plus.

- Intérêt du point de vue technique

L'intérêt technique des ajouts réside en premier lieu dans le fait qu'ils permettent l'obtention d'un ciment dont les performances sont aussi bonnes que celles d'un CPA (ciment Portland) de même classe de résistance. Parfois la chute de résistance à court terme limite leur utilisation en préfabrication. En second lieu, les ciments composés (CPA + ajouts) présentent souvent l'avantage sur le CPA, d'une meilleure résistance aux agressions chimiques.

Le remplissage des vides est lui-même aussi responsable de la durabilité du mortier ou béton obtenu. En effet, les actions chimiques sont réduites quand la portlandite est moins abondante, soit qu'elle est diluée (ciment au laitier), soit qu'elle est consommée (ciment au ciment naturel ou à la pouzzolane naturelle). La réduction de la teneur en clinker s'accompagne par ailleurs d'une réduction proportionnelle du taux de C_3A du mélange et par conséquent d'une réduction des dégradations sulfatiques.

Les ciments composés seront toujours recommandés chaque fois que les bétons seront exposés aux agents agressifs (ouvrages à la mer ou bien exposés aux produits chimiques).

Certains avantages techniques que présente l'utilisation des pouzzolanes dans le béton peuvent pas être atteints lorsqu'un CPA est utilisé seul. Parmi ces avantages, mentionnons une plus grande ouvrabilité, une maniabilité accrue, une meilleure étanchéité à l'eau (l'ajout rend le béton plus compact), une réduction de la chaleur d'hydratation et des risques de fissuration sous l'effet de l'action thermique et une plus grande durabilité au milieu sulfaté ou acide.

3- L'utilisation des ajouts en Algérie

L'industrie cimentaire est d'importance primordiale pour l'Algérie comme tous les pays en voie de développement. Cependant, parmi les moyens efficaces qui existent pour augmenter la production du ciment est celui d'utiliser des ajouts qui sont très peu coûteux et disponibles en grandes quantités en Algérie, comme le laitier d'El – Hadjar, le calcaire et la pouzzolane naturelle de Béni – Saf. Le tableau 4 donne une idée sur les ajouts utilisés dans les cimenteries algériennes.

Tableau 4. Utilisation des ajouts dans les cimenteries algériennes

Entreprise	Cimenterie	Ajouts Utilisés
	Ain Touta	Laitier+calcaire
	Ain El Kebira	Laitier+pouzzolane
	Hamma Bouziane	Laitier+calcaire
	H'djar Essaoud	Laitier
	Tebessa	Laitier
	Meftah	Tuf/Calcaire
	Raïss Hamidou	Poussière
	Sour ELGhozlane	Calcaire/Tuf
ECDE	Chlef	Calcaire
	Béni Saf	Pouzzolane
	Zahana	
	Saida	

Conclusion

Un des arguments souvent avancé en faveur de l'utilisation des ajouts minéraux est qu'ils permettent d'économiser de l'énergie et de préserver les ressources naturelles comparées au ciment Portland. Cet argument est en partie juste, mais le principal argument en faveur de l'incorporation de ces matériaux dans les mortiers et bétons est en réalité qu'ils apportent des avantages techniques considérables. En effet, ils affectent la cinétique de la réaction d'hydratation, améliorent les caractéristiques physiques des mortiers et bétons à l'état frais et contribuent positivement aux résistances mécaniques des mortiers et bétons à l'état durci et ceci en raison de leur composition chimique, de leur réactivité, de leur granulométrie ainsi que de la forme de leurs éléments.

A decorative border resembling a scroll, with rounded corners and a slight shadow, framing the chapter title.

CHAPITRE 02

Caractérisation des Matériaux de Base et Techniques

Introduction

L'emploi judicieux des matériaux de base dans la construction exige la connaissance de leurs diverses propriétés : physiques et chimiques, et qui permet de faire un choix répondant à leur destination.

Nous présenterons dans ce chapitre, la définition du béton de sable et les caractéristiques physico-chimiques des différents matériaux utilisés durant ce projet de recherche (Sables, ciment, poudre de zéolithe, et l'eau de gâchage). Ensuite, nous exposerons les différents essais expérimentaux utilisés pour caractériser les différentes compositions étudiées à l'état frais et durci.

I. Définition le béton de sable

La norme Française AFNOR. NF P18 500 (juin 1995) définit le béton de sable comme suit : « le béton de sable est un béton fin constitué par un liant hydraulique, un (ou plusieurs) sable, des fines et de l'eau ; on utilise habituellement un (ou plusieurs) adjuvant et on peut, éventuellement, admettre une quantité de gravillons. Les ajouts utilisés dans le béton traditionnel peuvent également être incorporés au mélange. L'incorporation de gravillons d/D autorise l'appellation « béton de sable » tant que le rapport massique G/S reste inférieur à 0.7 (G= gravillon ; S= sable) : « on parle alors de béton de sable chargé » [Afnor, (1995)].

1.1 Constituants du béton de sable

1.1.1. Sables

Les sables utilisables sont ceux conformes aux définitions des normes NFP18-541 ($ES \geq 75$ si le sable est roulé et $ES \geq 65$ s'il est broyé) [Benmalek et al., (2009)]. Il peut s'agir d'un sable alluvionnaire, de ballastière ou de concassage 0/D. Aucun critère granulométrique n'est exigible a priori, la seule restriction d'emploi réside dans la propreté. Les sables de plage ou des dunes pourraient donc être utilisés [Benabed et al., (2005)].

1.1.2. Ciment

Le ciment habituellement utilisé pour la confection des bétons de sables doit être conforme à la norme NF P15-301. Les dosages en ciment sont proches des bétons ordinaires (300 à 400 kg/m³). Il est à noter que pour un même usage, le dosage en ciment pour les bétons de sable est généralement plus élevé que les bétons classiques [Sablocrete, (1994)].

1.1.3. Eau de gâchage

Elle est conforme à la norme NFP18-303, la proportion élevée d'éléments fins nécessite un volume de mouillage plus important, élevant le rapport E/C au-dessus de celui des bétons ordinaires ; on utilise la valeur E/C la plus faible possible en augmentant la compacité et en utilisant des plastifiants (adjuvants réducteurs d'eau). L'incorporation de plastifiant réducteur d'eau et la sélection de fillers adéquats peuvent réduire la quantité d'eau dans des proportions non négligeables [Sablocrete, (1994)].

II.2 Caractérisation des matériaux de base utilisés :

II.2.1. Sable

sables utilisés dans cette étude, un sable alluvionnaire (SA) provenant de la région Nord-Ouest de la ville d'El Oued (Djamaa) et ayant un diamètre maximum de 5mm (**Figure II.1. b**).



Figure 12 II.1.b Sables utilisés.

II.2.1.1. Analyse granulométrique

L'analyse granulométrique permet de déterminer la grosseur et les pourcentages pondéraux respectifs des différentes familles de grains constituant l'échantillon. Cet essai est défini par la norme NF P 18 560.

❖ **Sable alluvionnaire****Tableau II.5.** Résultats d'analyse granulométrique du sable alluvionnaire (100% SA).

Dimension N° ouverture Tamis (mm)	Poids des Refus Partiels (g)	Refus cumulés (g)	Pourcentage des Refus cumulés (%)	Pourcentage des Tamisâtes cumulés (%)
5	0.00	0.00	0.00	100.00
4	5.70	5.70	0.30	99.70
3.15	9.40	15.10	0.80	99.20
2.5	14.10	29.20	1.50	98.50
2	21.30	50.90	2.50	97.50
1.6	28.60	79.50	4.00	96.00
1.25	59.20	138.70	6.90	93.10
1	79.00	217.70	10.90	89.10
0.8	190.80	408.50	20.40	79.60
0.63	311.90	720.40	36.00	64.00
0.5	178.00	898.40	44.90	55.10
0.4	591.80	1490.20	74.50	25.50
0.315	141.70	1631.90	81.60	18.40
0.25	110.20	1742.10	87.10	12.90
0.2	99.80	1841.90	92.10	7.90
0.16	100.30	1942.20	97.10	2.90
0.125	32.90	1975.10	98.80	1.20
0.1	17.10	1992.20	99.60	0.40
0.08	5.40	1997.60	99.90	0.10
Fund	2.40	2000.00	100.00	0.00

II.2.1.2. Caractéristiques physiques

Les caractéristiques physiques sont comme suit :

II.2.1.2.1. Masses volumiques

➤ Masse volumique apparent

Cet essai est régi par la norme NFP 18-554, elle est définie comme étant la masse de l'unité de volume apparente du corps, c'est-à-dire celle du volume constitué par la matière du corps et les vides qu'elle contient.

$$\gamma = \frac{M}{V} \text{(II.1.)}$$

Où :

γ : Masse volumique apparente ;

M: Masse du matériau ;

V: Volume total du matériau.

➤ Masse volumique absolue

Cet essai est régi par la norme NFP 18-301, elle est définie comme étant la masse par unité de volume de la matière qui constitue le granulat sans tenir compte des vides pouvant exister entre les grains.

$$\gamma_s = \frac{M_s}{V_s} \text{(II.2.)}$$

Où :

γ_s : Masse volumique absolue .

M_s : Masse du matériau .

V_s : Volume total du matériau solide.

II.2.1.2.2. Module de finesse

Les sables doivent présenter une granulométrie telle que les éléments fins ne soient ni en excès, ni en trop faible proportion. S'il y a trop de grains fins, il sera nécessaire d'augmenter le dosage en eau du béton tandis que si le sable est trop gros, la plasticité du mélange sera insuffisante et rendra la mise en place difficile. Le caractère plus ou moins fin d'un sable peut être quantifié par le calcul du module de finesse (MF). Celui-ci correspond à la somme de pourcentages des refus cumulés, ramenés à l'unité, pour les tamis de modules 0.16 , 0.315 , 0.63 , 1.25 , 2.5 et 5. Ce paramètre est en particulier utilisé pour caractériser la finesse des sables à bétons.

$$M_f = \frac{\sum \text{desrefus(en \% surlestamis } 0.16 ; 0.315 ; 0.63 ; 1.25 ; 2.5 \text{ et } 5)}{100} \quad (\text{II.3.})$$

- ✚ 1.8 et 2.2 : le sable est à majorité de grains fins .
- ✚ 2.2 et 2.8 : on est en présence d'un sable préférentiel .
- ✚ 2.8 et 3.3 : le sable est un peu grossier. Il donnera des bétons résistants mais moins maniables.

II.2.1.2.3. Equivalent de sable

Cet essai, référé par la norme NF P18 598, est utilisé pour évaluer la propreté des sables entrant dans la composition des bétons. On lave l'échantillon selon un processus normalisé et on laisse reposer le tout. Au bout de 20 min, on mesure les éléments suivants (**Figure II.3.**):

- La hauteur h1 : sable propre + éléments fins.
- La hauteur h2 : sable propre seulement.

On déduit l'équivalent de sable qui, par convention, est :

$$ES = \left(\frac{h_2}{h_1} \right) \times 100 (\text{II.4.})$$

Selon que la hauteur h₂ est mesurée visuellement ou à l'aide d'un piston, on détermine : équivalent de sable visuel ESV et équivalent de sable au piston ESP (**Photo N° 04 dans l'annexe**).

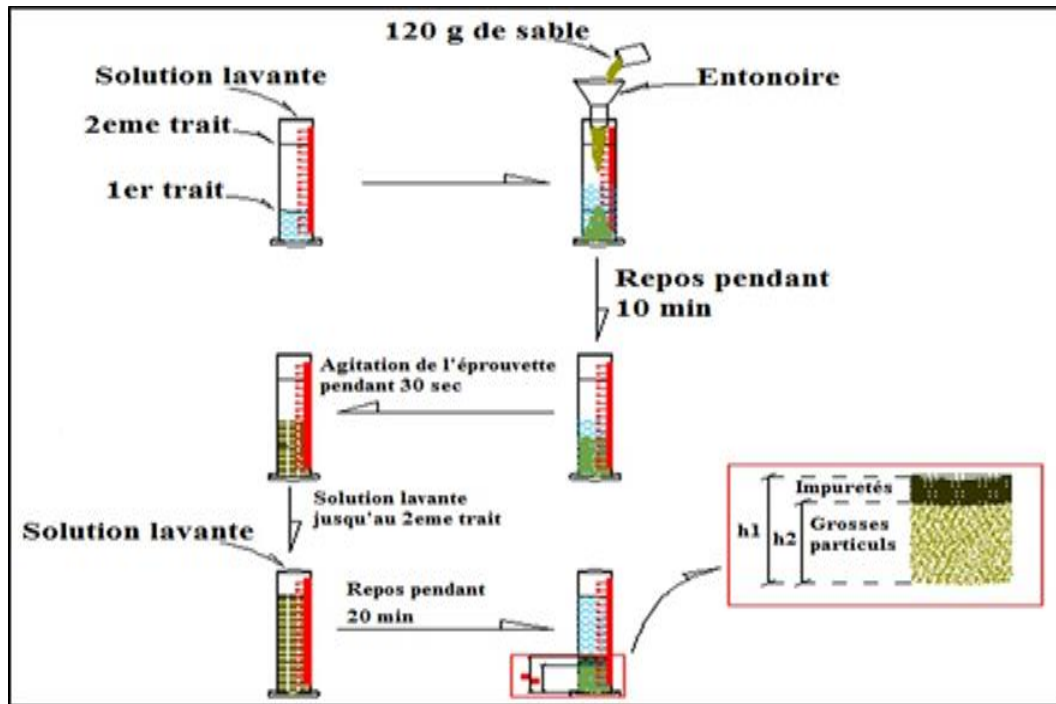


Figure 13II.3. Schéma de mesure d'équivalent de sable.

Selon la norme NF P18 598, les préconisations en matière de propreté pour les sables utilisés dans les bétons sont indiquées sur le (Tableau II.6)

Tableau II.6. Préconisations en matière de propreté pour les sables utilisés dans les bétons.

N°	Equivalent de sable (%)	Observations
1	ESV < 65 ESP < 60	Sable argileux , risque de retrait ou de gonflement debéton.
2	65 < ESV < 75 60 < ESP < 70	Sable légèrement argileux , de propreté admissible.
3	75 < ESV < 85 70 < ESP < 80	Sable propre, convenant au béton à haute qualité.
4	ESV > 85 ESP > 80	Sable très propre , absence de plasticitéde béton.

II.2.1.2.4 Compacité et porosité

La compacité (C_p) est le rapport du volume de la matière solide au volume total. Elle est définie par:

$$C_p = \frac{V_s}{V} = 1 - p = \frac{\gamma}{\gamma_s} \quad (\text{II.5.})$$

Où

p : est la porosité.

II.2.1.2.5. Indice des vides

L'indice des vides est le rapport entre le volume du vide et le volume de solide.

Avec P en pourcent (%). $e = \frac{V_v}{V_s} = \frac{P}{(100-P)} \quad (\text{II.6.})$

II.2.1 .3 Synthèse des résultats

Tableau II.7. Regroupe l'ensemble des résultats relatifs aux essais physiques effectués sur le sable utilisés.

Caractéristiques	D_{max} (mm)	γ (kg/m ³)	γ_s (kg/m ³)	Mf	C_p (%)	ESV (%)	p (%)	e (%)
Sable alluvionnaire	5.00	1716	2649	2.3	64.77	78	35.23	54.39

II.2.2. Ciment

CEM I-CRS-42,5N La composition chimique du ciment utilisé, déterminée par Fluorescence X.

Matière	CAO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	MgO	K ₂ O	SO ₃	Na ₂ O	Cl
Ciment	66,43	5,01	21,74	3,47	1,71	0,68	0,24	0,09	0,01

Tableau08: Composition chimique (% massique) du ciment CEM I 42,5 N

La composition minéralogique montre que le clinker de ce ciment est donné dans le tableau :

Composition	C3S	C2S	C3A	C4AF	CAO LIBRE
%	60,88%	16,43%	7,41%	10,56%	1,38

Tableau09 : La composition minéralogique montre que le clinker de ce ciment CEM I 42,5 N



Figure14 Ciment utiliser

II.2.3. Eau de gâchage

L'eau de gâchage pour les bétons de sable, comme les bétons ordinaires, doit être potable, dépourvue des sels minéraux. L'eau de gâchage (l'eau de robinet). L'eau utilisée pour la confection des bétons de sable est conforme à la norme NF P18 303 .



Figure n 15 :eau de gâchage

II.2.4 Tamis Moléculaire

- Tamis Moléculaire est un minéral à base de silice ayant une structure cristalline tridimensionnelle présentant des cavités et des canaux dont les surfaces peuvent absorber les petites molécules. C'est un solide poreux qui a la propriété d'agir comme un tamis à l'échelle moléculaire. Il s'agit d'une classe d'absorbant qui a la capacité de retenir certaines molécules à l'intérieur de ses spores. Dans l'idéal, il possède des pores de petite taille distribués de manière homogène. Il a de ce fait une grande surface spécifique.

- **Capacités d'absorption**

Tableau n10 : Le tableau suivant présente quelques familles de Tamis Moléculaires selon leur capacité d'absorption .

	Taille des pores	Molécules adsorbées	Molécules non adsorbées	Séchage des
3A	3 Å (0,3 nm)	NH ₃ et H ₂ O	C ₂ H ₆	Liquides polaires
4A	4 Å (0,4 nm)	H ₂ O, CO ₂ , SO ₂ , H ₂ S, C ₂ H ₄ , C ₂ H ₆ , C ₃ H ₆ et EtOH	C ₃ H ₈ et les chaînes carbonées plus longues	Liquides apolaires et gaz
5A	5 Å (0,5 nm)	Les chaînes carbonées normales (linéaires) de type n-C ₄ H ₁₀ , alcools de type C ₄ H ₉ OH et thiols de type C ₄ H ₉ SH	Les isomères et les composés cycliques plus grands que C ₄	
10X	8 Å (0,8 nm)	Les chaînes carbonées ramifiées et les cycles aromatiques		Gaz
13X	10 Å (1 nm)	Di-n-butylamine	Tri-n-butylamine	HMPA

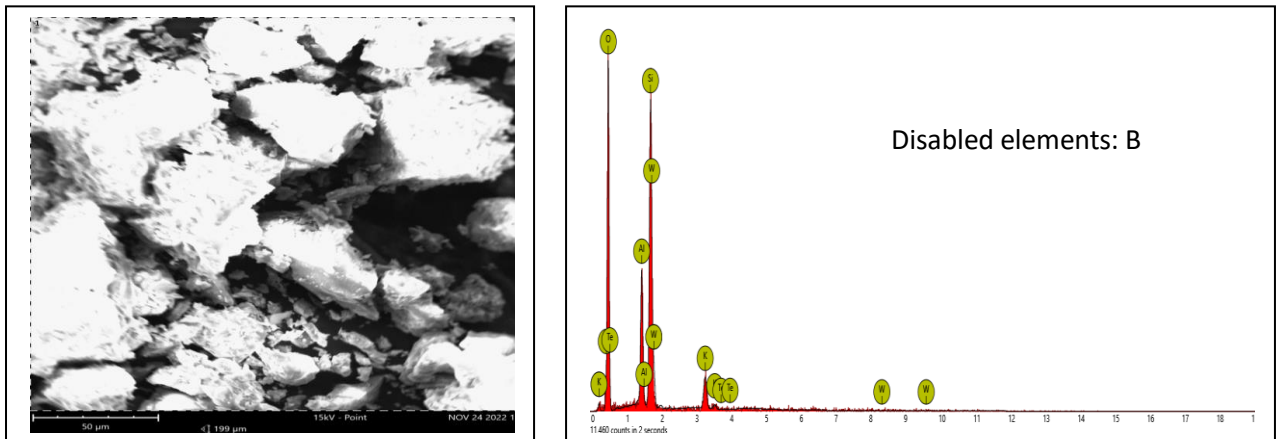


Figure n16: Tamis Moléculaire 4A

2.4.1 La composition chimiques de tamis moléculaire type A

Element Symbol	Element Name	Atomic Conc.	Weight Conc.
O	Oxygen	63.805	48.80
Si	Silicon	28.96	34.89
Al	Aluminium	12.28	14.37
K	Potassium	3.907	7.04
Sr	Strontium	1.62	6.39

❖ Les analyses region



FOV: 199 μm, Mode: 15kV - Point, Detector: SED, Time:
NOV 24 2022 18:55

2.4.2 PREPARATION DES EPPROVETEE:

Nous avons préparé cinq types de mortiers ont été confectionnés :

- 1- composé de ciment témoin CEM I-CRS-42,5N.
- 2- le ciment avec 10% de matériau synthétisé.
- 3- le ciment avec 20% de matériau synthétisé.
- 4- le ciment avec 30% de matériau synthétisé.
- 5- le ciment avec 40% de matériau synthétisé.

Dans le cadre de notre travail, à cause du manque de quantités synthétisées de matériaux, nous avons préparé des éprouvettes normalisées 4 x 4 x 16 cm³ avec un rapport Eau/Ciment de 0,55 et un rapport Ciment/Sable de 1/3.

Les étapes des travaux c'est :

- ✓ Tamisage de zéolithe à tamis 80 μm, le reste est ramené au broyeur.
- ✓ Mesurer la quantités des ingrédients pour claques mélange .

- ✓ Mélange les ingrédients ensemble.
- ✓ Lubrifier les moules.
- ✓ Placer le mélange dans les moules pendant 24 heures.
- ✓ Prélèvement de l'échantillon.



Figure n17 :Tamisage de zeolithe à tamis 80 μm ,



Figure n18 :Mélange les ingrédients ensemble



Figure n19 : Lubrifier les moules



Figure n 20: Placer le mélange dans les moules

figure n21 : Prélèvement de l'échantillon

II.3. Caractérisation du béton frais

3.1- Masse volumique apparente réelle

Cet essai est réalisé pour la détermination de la formulation de base de béton de sable (sans fins d'ajouts). La mesure de la masse volumique du béton frais :

- ✚ Prendre le poids de récipient à vide, soit M_0 (kg).
- ✚ Remplir un récipient d'un échantillon de volume V (m^3) et de poids M_0 (kg) connu par un échantillon du béton frais, sans vibration.
- ✚ Araser et lisser les surfaces et prendre le poids de ce récipient du béton soit M_1 (kg).

La masse volumique (kg/m^3) de béton frais est :

$$\text{MVAR} = \frac{M_1 - M_0}{V} \text{(II.7.)}$$

II.3.2 Caractérisation du béton durci

II.3.2 .1 Masse volumique apparente

C'est la masse de l'unité de volume apparent du corps, c'est-à-dire du volume constitué par la matière du corps et les vides qu'elle contient NF EN 12390-7. Elle est déterminée par pesée de l'échantillon et mesure de son volume.

$$\gamma = \frac{M}{V} \text{(II.8.)}$$

Avec:

γ : Masse volumique, en kilogrammes par mètre cube .

M: Masse de l'échantillon, en kilogrammes .

V: Volume de l'échantillon, en mètres cubes.

II.3.2.2 RETRAIT

Les essais de retrait sont des méthodes utilisées pour évaluer la capacité d'un matériau à subir des changements de dimension en raison de la perte d'eau ou de solvant. Ces essais sont couramment utilisés dans l'industrie des matériaux pour évaluer les propriétés de rétrécissement des matériaux tels que les polymères, les bétons, les mortiers, les céramiques et les composites.



Figure n 22:appareille deretrait

II.3.2.3. ESSAIS DE ULTRASON

- Ultrason :

"Ultrason" est un appareil utilisé en génie civil pour mesurer l'épaisseur et la densité des couches de matériaux dans les structures, telles que les ponts, les routes et les bâtiments. Il est utilisé pour détecter les défauts ou les zones de faiblesse dans ces structures afin de les réparer ou de les renforcer.

Le principe de fonctionnement de l'Ultrason repose sur l'utilisation d'ondes ultrasonores. L'appareil envoie une onde sonore à travers la structure, qui rebondit sur les différentes couches de matériaux et retourne à l'appareil. En mesurant le temps que prend l'onde sonore pour revenir, l'appareil peut déterminer l'épaisseur et la densité des différentes couches.



Figure n23 : appareil ultrason

II.3.2.4 Essai de rupture par flexion

La résistance à la flexion est mesurée sur des éprouvettes prismatiques de dimensions $(40 \times 40 \times 160)$ mm³ à raison de trois éprouvettes par composition. Les éprouvettes sont soumises à un essai de flexion trois (3) points selon les normes EN 13286-47 (**Figure II.10.**), l'essai s'effectue sur une machine automatique de flexion du type " CONTROLAB " ayant une capacité maximale 2000 KN, la vitesse de chargement a été réglée à 0.38 MPa/s jusqu'à la rupture (**Figure II.11.**).

Si F_t est la charge de rupture de l'éprouvette en traction par flexion, le moment de rupture vaut $(F_t.L)/4$ et la contrainte de traction correspondante sur la face inférieure de l'éprouvette est :

$$R_t = \frac{1.5F_t L}{B^3} \text{ (II.9.)}$$

Avec :

R_t : Résistance à la flexion .

F_t : Charge de rupture de l'éprouvette en traction par flexion .

L: Longueur entre les axes des deux appuis .

B: Largeur de la section transversale de l'éprouvette.

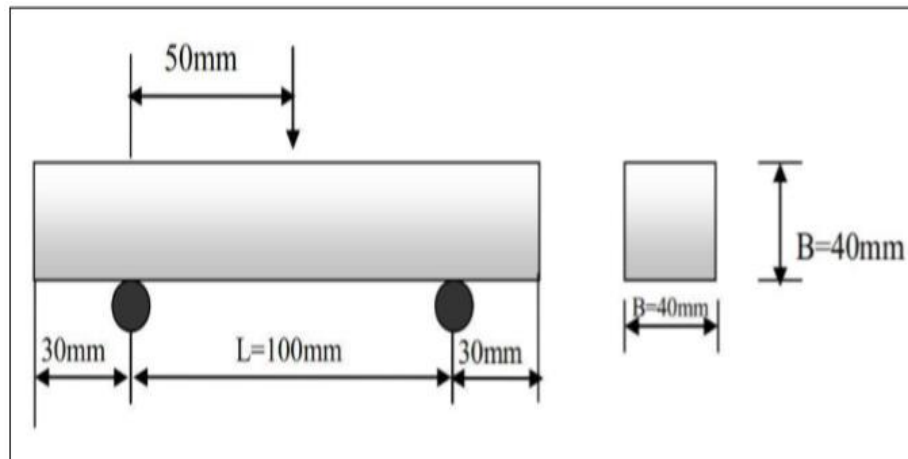


Figure 24 II. Schémas de l'essai de rupture par flexion.



Figure 25 II. Procédure de l'essai de rupture par flexion.

II.3.2.5 Essai de rupture par compression

La résistance à la compression est mesurée sur des éprouvettes prismatiques de dimensions $(40 \times 40 \times 160)$ mm³ à raison de trois éprouvettes par composition (**Figure II.12.**).

Cet essai a été réalisé à l'aide d'une même machine de rupture par flexion (**Figure II.13.**), les éprouvettes ont été centrées entre les deux plateaux sur les faces latérales de moulage. Après la mise en marche de l'appareil, la charge augmente automatiquement à une vitesse constante, permettant aux plateaux de comprimer l'éprouvette jusqu'à la rupture. L'essai a été réalisé conformément à la norme NF P18 406 (**Photo N° 10 dans l'annexe**).

La valeur de la résistance à la compression est donnée par :

$$R_c = \frac{F_c}{A} \text{(II.10.)}$$

Avec :

F_c: Force de compression .

A: Surface transversale de l'éprouvette.

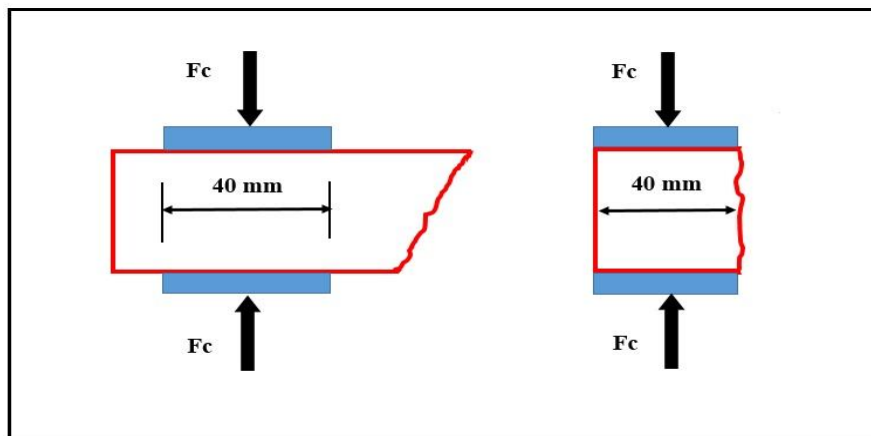


Figure 26II.12. Schémas de l'essai de compression.



Figure 27II.13. Procédé de l'essai de rupture par compression.

II.3.2.6. Essai d'absorption d'eau par immersion totale

L'absorption par immersion totale consiste à déterminer le poids final après saturation et cela pour calculer le volume des vides (porosité) du béton durci.

Cet essai est effectué selon une méthode simple ; les éprouvettes de béton de sable sont pesées après leur passage à l'étuve à 70°C d'où elles ne sont retirées qu'après stabilisation de leur poids (soit P_s), ensuite elles sont entièrement trempées dans l'eau ($20^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$) jusqu'à saturation du matériau, puis retirées et pesées, (soit P_h). Les valeurs sont prises par la moyenne de trois pesées par éprouvettes de chaque composition. La capacité d'absorption d'eau est donnée par la formule suivante :

$$A\% = \frac{P_h - P_s}{P_s} \times 100 \quad (\text{II.11.})$$



Figure II.28. Procédure de l'essai d'absorption d'eau par immersion totale.

II.3.2.6. Essai d'absorption capillarité totale :

L'absorption capillaire est un phénomène qui se produit lorsque les matériaux poreux tels que le béton, la pierre ou la brique absorbent l'eau par capillarité, c'est-à-dire par ascension de l'eau dans les pores du matériau en raison des forces capillaires.

Dans le domaine du génie civil, l'absorption capillaire est une propriété importante des matériaux de construction car elle peut affecter la résistance, la durabilité et l'apparence des structures. Elle est mesurée à l'aide d'un essai normalisé appelé l'essai de l'absorption capillaire, qui est décrit dans la norme NF EN 1925:2018.

Cette norme définit la méthode pour déterminer la capacité d'absorption capillaire des matériaux de construction en mesurant la quantité d'eau absorbée par une surface exposée à l'eau pendant une durée donnée. Cette méthode d'essai est utilisée pour évaluer la qualité des matériaux de construction et pour déterminer leur aptitude à résister à l'humidité et aux conditions climatiques.

Conclusion :

Les bétons de sable pourraient remplacer les bétons ordinaires dans certains domaines d'applications. Des applications très diverses ont déjà été réalisées avec succès. Pour avoir une maniabilité convenable, l'utilisation des adjuvants s'impose alors pour réduire le dosage en eau et augmenter la résistance. Il faut choisir donc des sables de bonne répartition granulaire et allant au plus gros diamètre possible. Pour combler les vides inter-granulaires, il faut prévoir des fines de bonne nature, de finesse élevée et avec des dosages convenables. L'augmentation de la compacité par ajout diminue la maniabilité, d'où la nécessité de trouver un compromis entre la maniabilité et sa compacité.

D'autre part, depuis des décennies, le ciment portland a été toujours le matériau de construction le plus populaire dans le monde. Notre synthèse bibliographique a montré que l'industrie cimentaire nécessite une quantité d'énergie très importante pour la fabrication du ciment Portland. Elle cause aussi un dégagement très élevé du CO₂ et de la poussière causant la pollution de l'environnement.

Enfin, l'incorporation de la poudre de zéolithe dans les bétons et les mortiers permet d'améliorer les caractéristiques physiques et mécaniques de ces derniers. De plus, elle garantit la conservation de la matière première et une protection de l'environnement. La poudre de zéolithe a déjà fait ses preuves dans la confection de bétons ordinaires, néanmoins cela n'a pas encore été concrétisé pour la production du béton de sable. Dans ce qui suit, nous allons étudier l'influence de l'incorporation de la poudre de zéolithe sur les propriétés physiques et mécaniques des bétons de sable étudiés.



CHAPITRE 03
Résultats et Discussions

III.1. Introduction

L'objectif de ce chapitre est alors d'améliorer les propriétés étudiées par l'incorporation des différents pourcentages des TAMIS MOLECULAIRES dans la composition de béton de sable. Dans ce chapitre nous présentons en premier lieu les résultats expérimentaux de la formulation d'un béton de sable sans et avec poudre de zéolithe. En deuxième lieu, nous présentons les principales caractéristiques physico-mécaniques des compositions étudiées.

III.2. Formulation des bétons de sable :

III.2.1. Méthode expérimentale de formulation :

III.2.1.1. Détermination d'une formule de base :

Elle consiste en la mise au point d'une formule sans fines non optimisée sur la base d'un dosage en ciment prédéterminé et d'une maniabilité en rapport avec la mise en œuvre, Cette phase est effectuée par approximations successives de façon à d'obtenir une masse volumique apparente théorique proche de la masse volumique réelle. Il est nécessaire donc de réaliser plusieurs gâchées.

+ Dosage en ciment

Nous avons choisi de travailler avec un dosage de ciment : $M_c = 450 \text{ kg/m}^3$.

+ Dosage en eau

Le béton étant destiné à la projection, on prendra $E/C = 0.55$; ce qui donne un dosage en eau de $M_{\text{eau}} = 247.50 \text{ kg/m}^3$.

+ Détermination du dosage en sable

Après avoir déterminé les valeurs du ciment, de l'eau, d'ajout, le volume du sable s'obtient en complétant la formule d'un mètre cube:

$$[\text{Ciment}] + [\text{eau}] + [\text{aj}] + [\text{sable}] = 1 \text{ m}^3$$

+ Détermination d'une formule de béton de sable à base de poudre de tamis moléculaire :

Les mélanges sont préparés avec des pourcentages de 10% jusqu'au 40% d'un pas de 10% de tamis moléculaire; par rapport à la quantité massique du ciment .

Donc cinq types de bétons ont été choisis pour déterminer l'influence du taux de tamis moléculaire. Ces bétons sont désignés comme suit:

- Béton de sable sans poudre de tamis (**SPT**) .
- Béton de sable avec 10% de poudre de tamis (**PT10**) .
- Béton de sable avec 20% de poudre de tamis (**PT20**) .
- Béton de sable avec 30% de poudre de tamis (**PT30**) .
- Béton de sable avec 40% de poudre de tamis (**PT40**).

Matériaux	SPT	PT10	PT20	PT30	PT40
Ciment (kg/m ³)	450	405	360	315	270
Sable (kg/m ³)	1350	1350	1350	1350	1350
Poudre de tamis(kg/m ³)	0	45	90	135	180
Eau de gâchage (l/m ³)	247.5	247.5	247.5	247.5	247.5

Tableau11 : Compositions des bétons étudiés

III.3. Caractérisation des bétons de sable à base de tamis moléculaire

III.3.1. Masse volumique a l'état durcie.

Les résultats de la masse volumique des différents types des échantillons.

TableauIII .12 . Masse volumique desdifférents échantillons étudiés à 28 j.

Type des bétons étudiés	Masse volumique (Kg/m ³)
SPT	2030
PT10	1990
PT20	2120
PT30	2070
PT40	2065

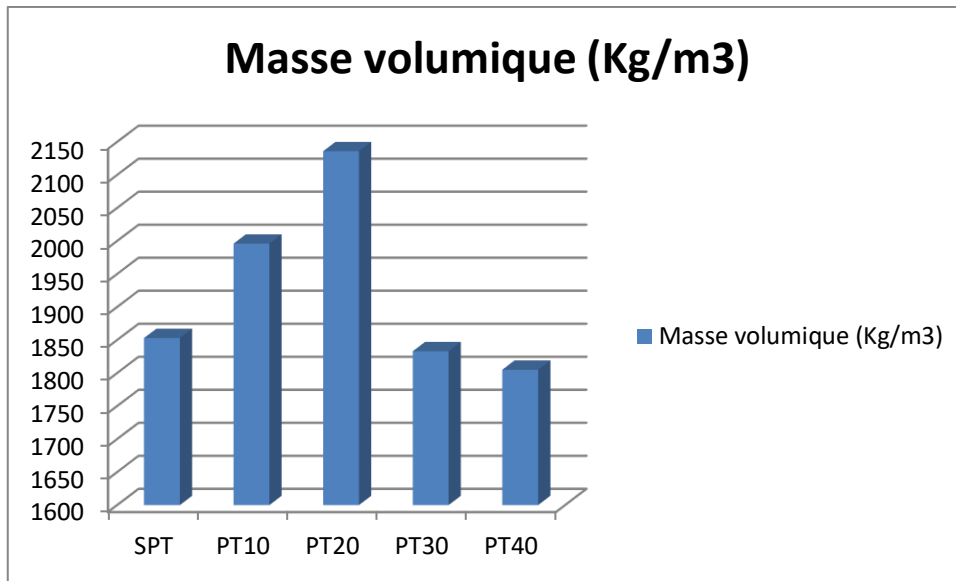


Figure III.29. Masse volumique des différents types des échantillons étudiés.

- ✓ On remarque que la masse volumique augmente avec une augmentation d'un pourcentage PTM pour atteindre une valeur limite à PT20%, puis diminue à nouveau.
- ✓ En raison de la quantité de poudre ajoutée à un échantillon de PT 20 %, la masse volumique a augmenté de 5% par rapport à l'échantillon témoin SPT.

3.2 Absorption d'eau par immersion totale

Nous sommes intéressés par cette caractéristique afin de connaître le comportement des mortiers à base de poudre de zéolithe en présence d'eau. La capacité d'absorption d'eau d'un béton donne une idée sur la présence des pores. Les valeurs de coefficient d'absorption d'eau par immersion totale 7,14 et 28 jours des différents types de bétons étudiés sont rapportées dans le Tableau.

Tableau III.13. Absorption d'eau par immersion.

Compositions	As (%)		
	7j	14j	j28
SPT100%	4.09	4.13	4.19
PT10%	2.98	3.3	3.5
PT20%	2.30	2.47	2.7
PT30%	4.11	4.36	4.7
PT40%	5.60	5.80	6.9

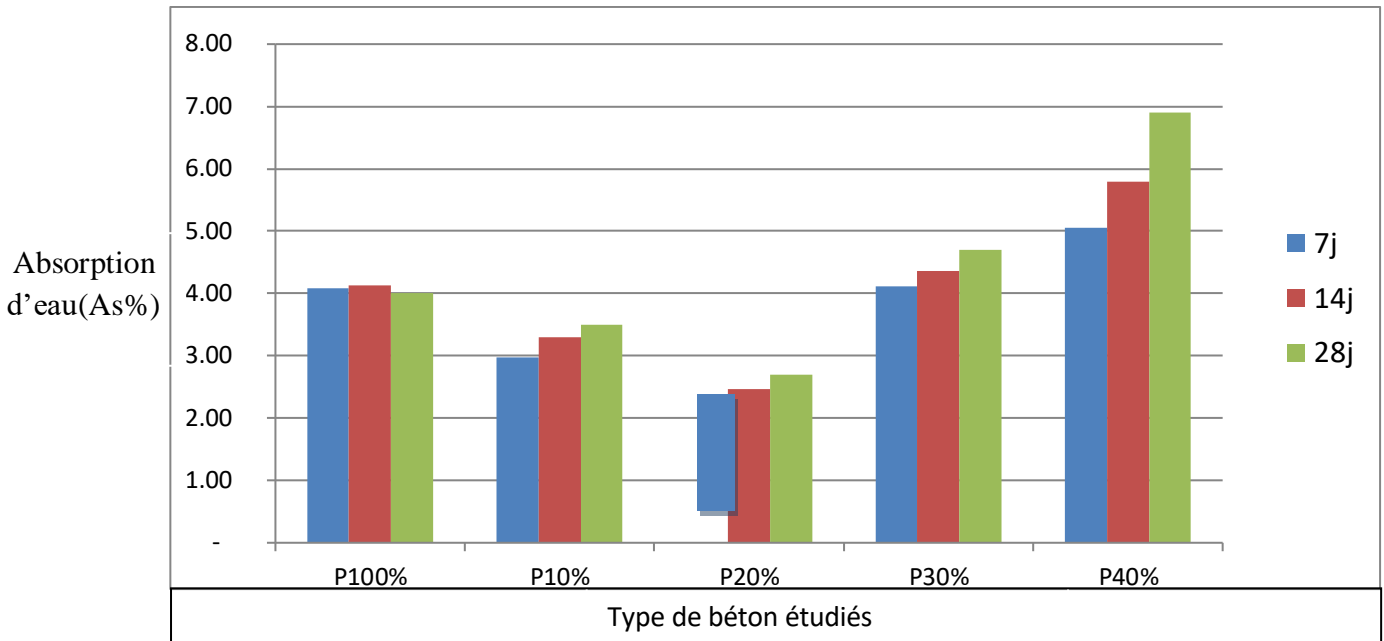


Figure III30.. par immersion

✓ On remarque que chaque fois que la proportion de poudre PTM dans les échantillons augmenter, le taux d'absorption diminue, atteignant un minimum au niveau de l'échantillon PT20%, puis il commence à augmenter en augmentant le pourcentage de poudre.

✓ En comparant l'échantillon de témoin SPT et l'échantillon PT20%, le taux d'absorption d'eau a diminué d'environ 33 %.

✓ De là, nous concluons que l'ajout de 20 % de la poudre PTM permet de réduire les vides à l'intérieur du béton de sable.

3.3. Relation entre la masse volumique et l'absorption d'eau :

La relation entre la masse volumique et l'absorption d'eau des composites étudiés. Elle montre que, l'augmentation de coefficient d'absorption suivi par une diminution de valeur de la masse volumique.

3.4 .Absorption Capillaire :

✓ **La masse des éprouvettes avant immersion**

TYPE	Moyenne
SPT100%	518.5
PT10%	515.5
PT20%	495.5
PT30%	517.5
PT40%	519

Tableau III.14.la masse des éprouvettes avant immersion✓ **La masse des éprouvettes après immersion**

	10 min (g)	20 min	30 min	60 min	90 min	24 h	48 h
SPT100%	522.5	524.5	526.5	527.5	529.5	543.5	547
PT10%	520	522	524.5	526	528	540.5	542.5
PT20%	500.5	502	503.5	505	507.5	514	523.5
PT30%	516	520	522.5	524.5	526	543.5	552.5
PT40%	554	559	561	563.5	567.5	577	583

Tableau III.15.la masse des éprouvettes après immersion

	10min	20min	30min	60min	90min	24h	48h
SPT100%	0.5625	1.27	0.483	0.906	1.031	1.90	2.12
PT10%	0.75	0.87	1.03	1.125	1.25	2.03	2.125
PT20%	0.71	0.81	0.90	1	1.1	1.5	2.1
PT30%	0.46	0.75	0.90	1	1.11	2.18	2.56
PT40%	1.55	2.08	2.50	2.78	3.03	3.6	3.70

Tableau III.16.absorption capillarité

✚ Nous remarquons à partir des resultants obtenus que le taux d'absorption élevé pour toutes les types, sauf pour le typePT20 qui diminuait progressivement avec le temps, ce qui signifie que le taux de vide est faible.

3.5 RETRAIT :

Les valeurs de retrait mesurées par jour pour les différents types de béton étudiés sont présentées dans (**III.17.Tableau.**)

III.17.Tableau : Les résultats de retrait

	100%	10%	20%	30%	40%
3	0.644	0.169	0.127	0.413	0.238
7	0.638	0.166	0.111	0.245	0.220
14	0.633	0.138	0.083	0.220	0.204
28	0.717	0.255	0.0835	0.310	0.340

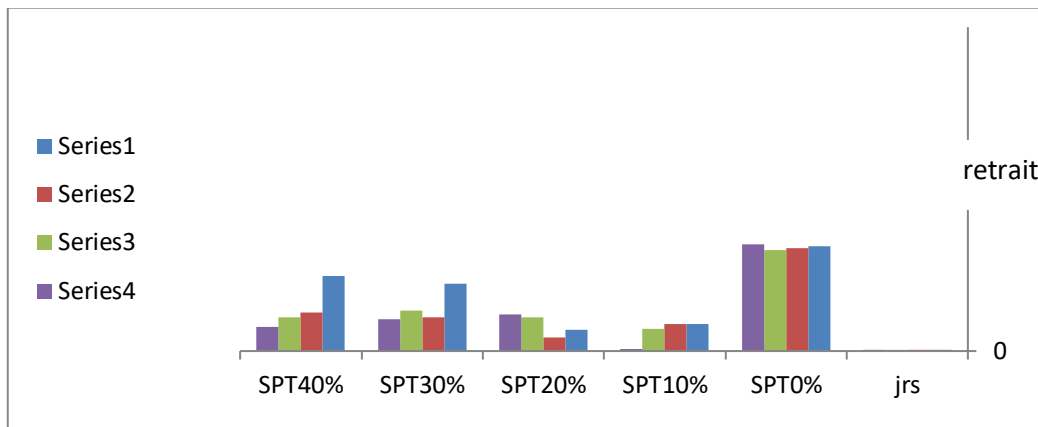


Figure III31 :retrait des différents types de bétons étudiés.

- ✚ Nous notons que le pourcentage de retrait dans l'échantillon PT20% est le plus petit de tous les autres échantillons, car il a diminué de 88 % par rapport à l'échantillon de témoin (SPT).
- ✚ Poudre des tamis moléculaires provoque un raffinement des pores, ce qui engendre alors des dépressions capillaires plus importantes

3.6 ULTRASON :

Les résultats d'ultrason pour chaque type dans les tableaux suivants

TYPE	7J		14J		28J	
	TEMPS(us)	VITASSE(m /s)	TEMPS(us)	VITASSE(m /s)	TEMPS(us)	VITASSE(m /s)
SPT	53	3019	42.3	3601	43 ,4	3687
PT 10	53 .5	2991	40.8	3501	44 .6	3587
PT 20	52	3077	43.9	3645	43.2	3704
PT30	62	2581	44.9	3330	43.4	3687
PT 40	60	2667	46.1	3471	50.4	3175

Tableau n III.18 :Les résultats d'ultrason :

En remarque que le type de béton de sable (PT20) qui donne la meilleure vitesse par rapport notre type dans les jours (7, 14 et 28) donc le vide intérieure de cette type (PT20) est diminuer.

4. Etude des propriétés mécaniques

III 4.1. Résistance à la flexion

Le Tableau présente les valeurs moyennes de la résistance à la flexion mesurées jusqu'à 28 jours des différents types de bétons étudiés.

Tableau III.19 Evolution de la résistance à la flexion à 7, 14 et 28 jours.

Résistance à la flexion en (MPa)			
Compositions	07 jours	14 jours	28 jours
SPT	3.75	4.85	5.6
PT10	1.652	2.521	6.7
PT20	1.534	3.1	6.5
PT30	1.24	1.454	6
PT40	1.003	1.425	5.3

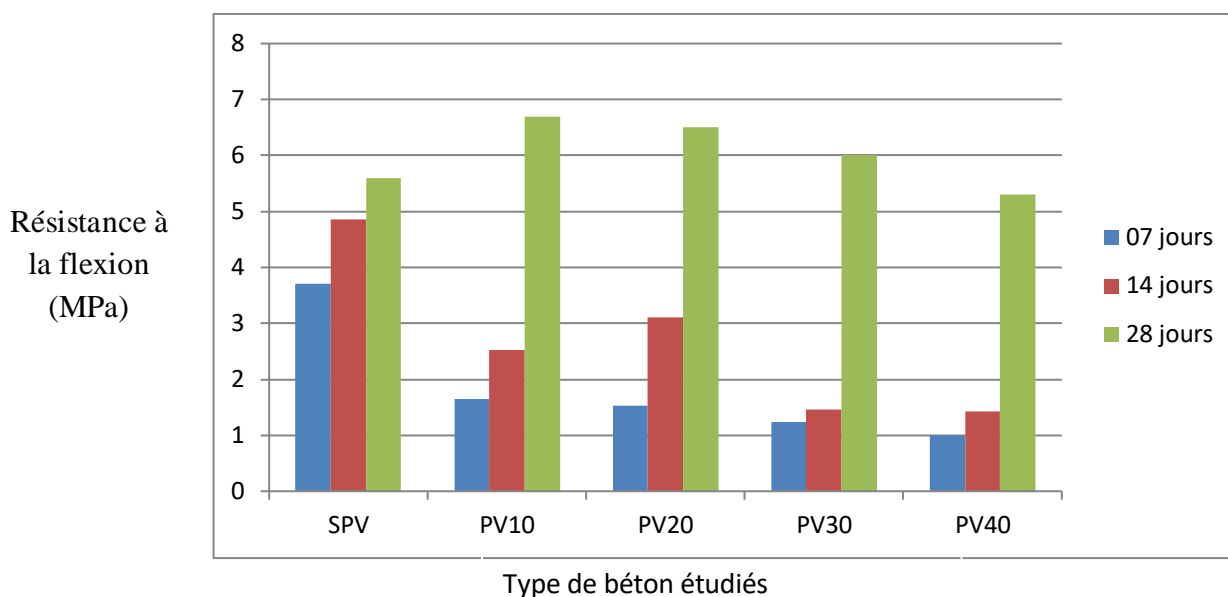


Figure III32. Résistance à la flexion des différents types de bétons étudiés.

- ✚ Nous constatons à partir des résultats que la résistance à la traction est plus élevée pour les deux types PT20 et PT10 par rapport aux autres types.
- ✚ Alors que la résistance à la flexion a augmenté de 16 % par rapport à l'échantillon témoin (pour les deux types PT20 et PT10).

III. 4.2. Résistance à la compression

Les valeurs de la résistance à la compression mesurées jusqu'à 28 jours des différents types de bétons étudiés sont présentées dans le (Tableau III..)

Tableau.III20. Evolution de la résistance à la compression à (7, 14, 28) jours.

Résistance à la compression en (MPa)			
Compositions	7 jours	14 jours	28 jours
SPT100%	26.14	31.5	34.6
PT10%	22.35	24.684	26.2
PT20%	19.25	28.66	33.895
PT30%	16.25	22.361	24.1
PV40%	11.68	15.668	17.4

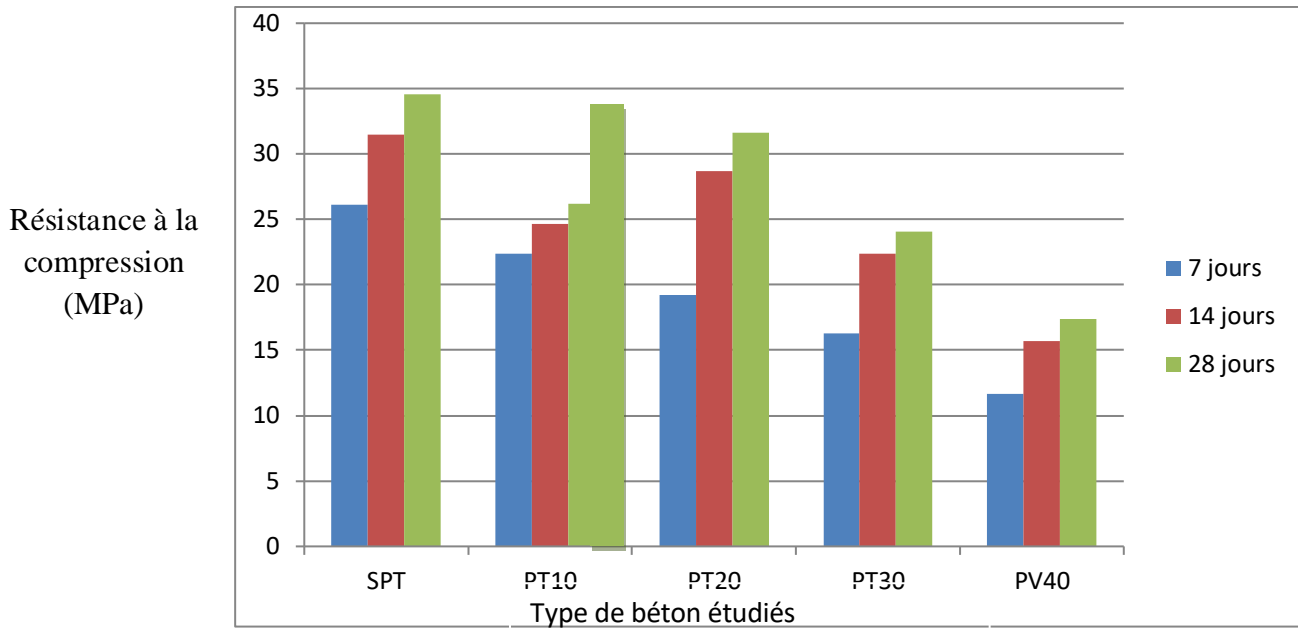


Figure III33 : Résistance à la compression des différents types de bétons étudiés

- ✚ Nous constatons à partir des résultats que la résistance à la compression est plus élevée pour un certain type PT20 par rapport aux autres types.
- ✚ De plus, la résistance à la compression de l'échantillon PT20 est presque égale à la résistance à la compression de l'échantillon témoin.

CONCLUSION :

A partir des résultats obtenus, nous pouvons conclure que :

- ❖ L'étude de maniabilité du béton de sable avec la poudre de zéolithe, a montré que celle-ci diminue lorsque le dosage de poudre augmente.
- ❖ À travers les résultats des essais effectués sur les échantillons, nous concluons que le pourcentage idéal qui peut être intégré est PT20% de la quantité de ciment, ce qui a donné des propriétés meilleures en termes de durabilité (porosité ; retrait...) et de propriétés mécaniques (résistance à la compression et à la flexion....)

A decorative border resembling a scroll, with rounded corners and a vertical strip on the left side that looks like a scroll's edge. The border is light blue and frames the central text.

CONCLUSION

Générale

CONCLUSION GENERAL

Ce travail étudie l'exploitation des matériaux importés et la réutilisation des divers déchets. Il a pour objectif l'étude de l'influence de poudre de tamis moléculaire type A sur les propriétés physico-mécaniques des bétons de sable. Les matériaux étudiés sont des matériaux importés, de déchet et de matériaux artificiels. le sable utiliser s'est le sable alluvionnaire (sable rouge de djamaa) et le déchet comprennent la poudre de zéolithe, tandis que le matériau artificiel est le ciment.

Cette étude a été effectuée en trois chapitres, une étude bibliographique, une caractérisation des matériaux utilisés et les essais nécessaires et à la fin une analyse et discussion des résultats obtenus.

L'étude bibliographique a montré que la tendance à l'exploitation des matériaux importer. Également, le recyclage des déchets et la recherche d'ajouts sont d'autant plus importants et résoudre des problèmes économiques et techniques. L'incorporation de la poudre de zéolithe dans les bétons permet d'améliorer les propriétés de ces derniers, garantit la conservation de la matière première et une protection de l'environnement.

La caractérisation des matériaux utilisés pour la formulation de notre béton de sable montre que ces matériaux répondent aux exigences d'utilisation dans la recherche de propriétés rhéologiques et mécaniques du béton de sable acceptable. Le deuxième lieu d'étude expérimentale est consacré sur la conception des formulations du béton de sable à base de poudre de zéolithe.

A la fin de partie expérimentale, on présente une série d'essais expérimentaux effectués sur le béton à l'état frais et à l'état durci. A partir de l'étude de l'influence de poudre de zéolithe sur diverses caractéristiques du béton de sable étudiés, on a pu conclure les points suivants :

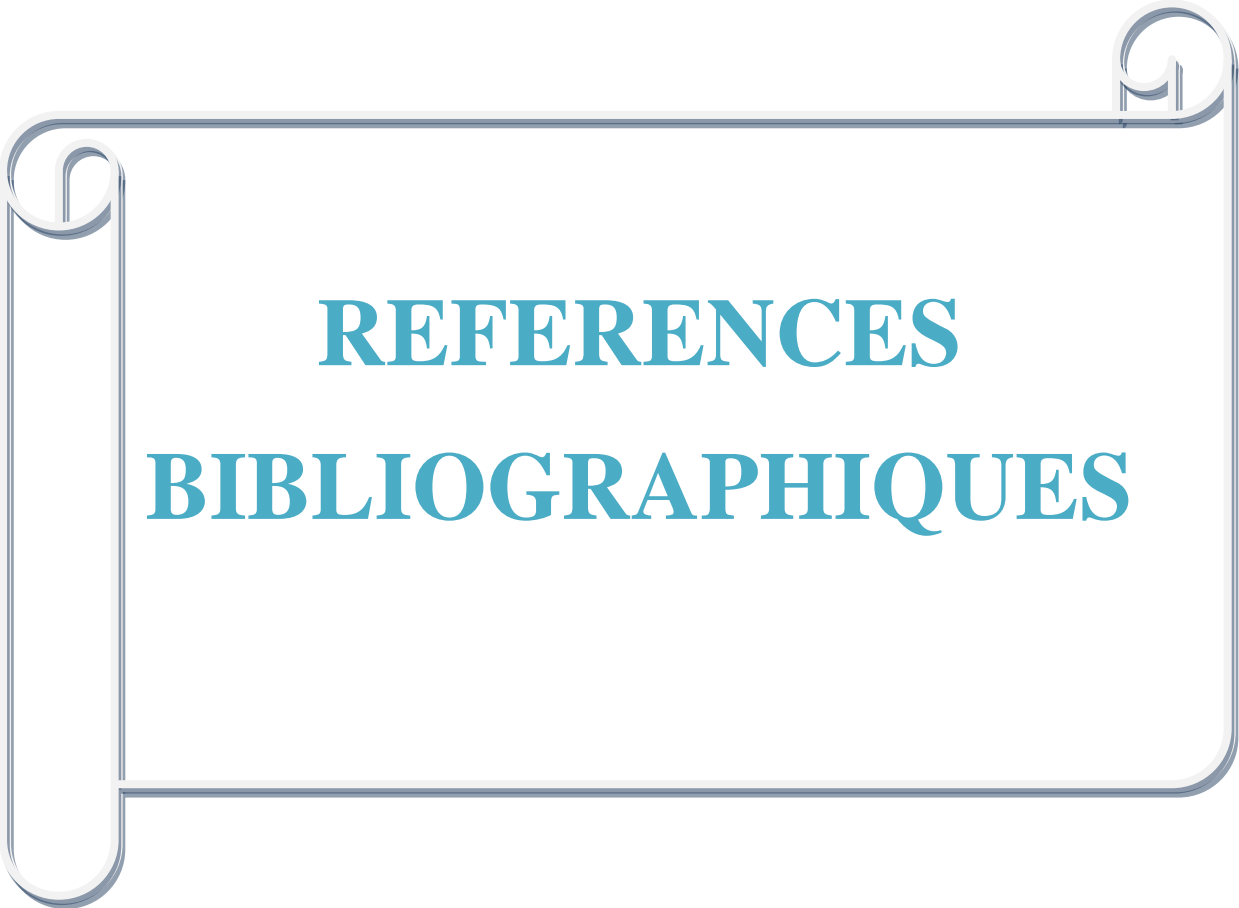
- ✚ Avec le rapport (E/C) est fixe, l'étude de la maniabilité des bétons étudiés a montré qu'il varie avec une augmentation de taux de poudre de zéolithe.
- ✚ L'ajout de poudre de zéolithe au béton de sable a donné une faiblesse de masse volumique. L'augmentation du pourcentage de poudre de zéolithe suivi par une diminution de la masse volumique du composite. Les valeurs des masses volumiques sont proches de la gamme des bétons légers.
- ✚ L'absorption d'eau par immersion totale a augmenté avec l'augmentation du pourcentage de poudre de zéolithe dans les types (10% .30%. 40%). Ce qui montre l'effet négatif de la présence de poudre de zéolithe pour la réduction des vides. Par contre les types pt 20% SPT100% diminuent.
- ✚ Les propriétés mécaniques du composite ont montré que l'introduction de poudre de zéolithe ont donné une amélioration remarquable par rapport au béton de référence. Le dosage de 20% de poudre de zéolithe a donné le meilleur résultat dans la résistance à la compression

- ✚ Et le dosage de 10% et 20% de poudre de zéolithe a donné le meilleur résultat dans la résistance à la flexion.

D'une façon générale, les résultats trouvés pour le pourcentage de 20% de poudre de zéolithe sont très encourageants et ouvrent des perspectives de recherche prometteuses.

Enfin, on propose quelques recommandations pouvant améliorer davantage les propriétés du béton de sable à base de poudre de zéolithe, à savoir :

- Étudier la possibilité d'utiliser de poudre des tamis moléculaires dans les bétons innovants .
- Étudier l'influence de poudre des tamis moléculaires sur les réactions chimiques.
- Étudier la possibilité de fabriquer ce matériel en Algérie.



REFERENCES
BIBLIOGRAPHIQUES

REFERENCE

1. " Jean-Pierre Simonin : "Matériaux poreux : Caractérisation et modélisation
2. " Jiri Cejka, Herman van Bekkum et Avelino Corma : "Introduction to Zeolite Science and Practice.
3. " Scott M. Auerbach, Kathleen A. Carrado et Prabir K. Dutta : "Handbook of Zeolite Science and Technology.
4. "Handbook of Zeolite Science and Technology" par Scott M. Auerbach, Kathleen A. Carrado, et Prabir K. Dutta (2003)
5. "Introduction to Zeolite Science and Practice" par Jiri Cejka, Herman van Bekkum, et Avelino Corma (2010)
6. "Microporous Framework Solids" par Avelino Corma, F. Rey, et J.B. Parra (2004)
7. "Zeolites and Catalysis: Synthesis, Reactions and Applications" par J. Čejka, H. van Bekkum, A. Corma, et F. Schüth (2010)
8. "Zeolites in Industrial Separation and Catalysis" par Santi Kulprathipanja (2010)
9. . FREDRIK KOTINE "Les déchets : enjeux, techniques et gestion" "Dunod"2013 ".
10. . BATRICK "Le guide du compostage : tout savoir pour réussir son compost" Mioulane " "Rustica Editions"2019.:
11. . DI BIANCO "La gestion des déchets en entreprise : prévention, tri, recyclage" . "Dunod"2018 ".
12. . FRONCOIS BAZEOSO "Déchets : enjeux de société, techniques et gestion" . "L'Harmattan"2015 " ".
13. . FRONCOIS KOKHE "Gestion des déchets : principes, technologies, mise en oeuvre" "Dunod"2019.
14. . GI BIOLONGUE "Les déchets : origines, traitement, valorisation" "Dunod"2012 ".
15. . JAN LOCK FRECHE "Le traitement des déchets ménagers et assimilés" "Tec Doc" " 2010.
16. . KRISTOF BRUIS "Les déchets : comprendre et agir" "Eyrolles"2019.
17. . NADIA DJOUVANI "Les déchets électroniques et électriques : enjeux, défis et perspectives" " "Presses des Mines"2017
18. . STIVANE BITTI "Les déchets ménagers : tri, collecte, valorisation " 60" Millions de Consommateurs" page -54-57 . N° 546. mars 2020.
19. . JAN PIARE BOUKLIEH "La gestion des déchets : enjeux, techniques, coûts""Presses de l'ENAC"2015 " .
20. Anne-Marie Royer-Pantin1- : "Le grand guide du recyclage"

REFERENCE

21. Brigitte Gothière et Laetitia Royant : "Le guide pratique du recyclage"
22. Catherine Levesque et Évelyne Lafleur : "Le recyclage, un geste pour la planète"
23. David S. Sholl et RyongRyoo : "MolecularSieves: From Basic Research to Industrial Applications".
24. David S. Sholl et RyongRyoo : "MolecularSieves: From Basic Research to Industrial Applications"
25. David S. Sholl et RyongRyoo : "MolecularSieves: From Basic Research to Industrial Applications"
26. Emmanuelle Grundmann et Isabelle Delannoy : "Recyclage : Des déchets aux ressources"
27. François Rouquerol, Jean Rouquerol et Kenneth S.W. Sing : "Adsorption by Powders and PorousSolids: Principles, Methodology and Applications".
28. François Rouquerol, Jean Rouquerol et Kenneth S.W. Sing : "Adsorption by Powders and PorousSolids: Principles, Methodology and Applications"
29. Gérard Férey et Christian Serre : "Caractérisation physico-chimique des matériaux poreux"
 - 29.1.1. <http://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/guide-pratique-reduire-dechets-menagers.pdf>
30. J. G. W. Smith : "Natural Zeolites: Occurrence, Properties, Applications".
31. J.B. Nagy et P. Massiani : "ZeoliteCharacterization and Catalysis: A Tutorial"
32. J.B. Nagy et P. Massiani. : "ZeoliteCharacterization and Catalysis: A Tutorial"
33. JiříČejka, A. Corma et F. Schüth : "Industrial Applications of MolecularSieves: Catalysis and Adsorption"
34. Jiri Cejka, Herman van Bekkum et AvelinoCorma : "Introduction to Zeolite Science and Practice"
35. Jiri Cejka, Herman van Bekkum et AvelinoCorma : "Introduction to Zeolite Science and Practice"
 - 35.1.1. Les déchets dangereux : <https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/sites/default/files/Dechets%20dangereux%20-%20Guide%20de%20bonnes%20pratiques.pdf>
 - 35.1.2. Les déchets électroniques : <https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/sites/default/files/Guide%20pratique%20-%20Dechets%20Electroniques.pdf>

REFERENCE

- 35.1.3. Les déchets industriels
: <https://www.ineris.fr/sites/default/files/publication/INERIS-Guide-dechets-industriels-2019.pdf>
- 35.1.4. Les déchets médicaux
: https://www.sante.gouv.fr/IMG/pdf/guide_de_gestion_des_dechets_des_etablissements_de_sante.pdf
- 35.1.5. Les déchets organiques
: <https://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/guide-pratique-valorisation-dechets-organiques.pdf>
36. Michel Soustelle : "Caractérisation des solides et des matériaux"
37. Pietro Tundo, Marcella Bonchio et Fabio Aricò : "MolecularSieves: Principles of Synthesis and Identification"
38. Pietro Tundo, Marcella Bonchio et Fabio Aricò. : "MolecularSieves: Principles of Synthesis and Identification"
39. SantiKulprathipanja : "Zeolites and Catalysis: Synthesis, Reactions and Applications".
40. SantiKulprathipanja : "Zeolites and Catalysis: Synthesis, Reactions and Applications"
41. SantiKulprathipanja : "Zeolites and Catalysis: Synthesis, Reactions and Applications".
42. SantiKulprathipanja : "Zeolites and Catalysis: Synthesis, Reactions and Applications".
43. Scott M. Auerbach, Kathleen A. Carrado et Prabir K. Dutta : "Handbook of Zeolite Science and Technology"
44. Scott M. Auerbach, Kathleen A. Carrado et Prabir K. Dutta : "Handbook of Zeolite Science and Technology"
45. Scott M. Auerbach, Kathleen A. Carrado et Prabir K. Dutta : "Handbook of Zeolite Science and Technology"
46. Sylvie Droulans et Philippe Schiesser : "Recyclage : Comprendre pour agir"
47. Valentin Valtchev et Svetlana Mintova : "Les tamis moléculaires : Structure, propriétés et applications"
48. Yves Brechet et Michel Perez : "Méthodes d'analyse et de caractérisation des matériaux"



ANNAXE



Photo N° 01 : Tamisage de poudre

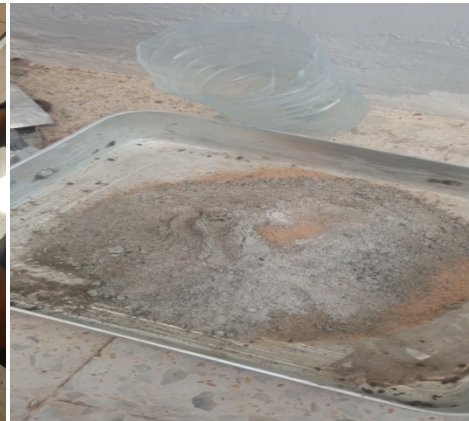


Photo N° 02 : PREPARATION DE ECHANTILLON

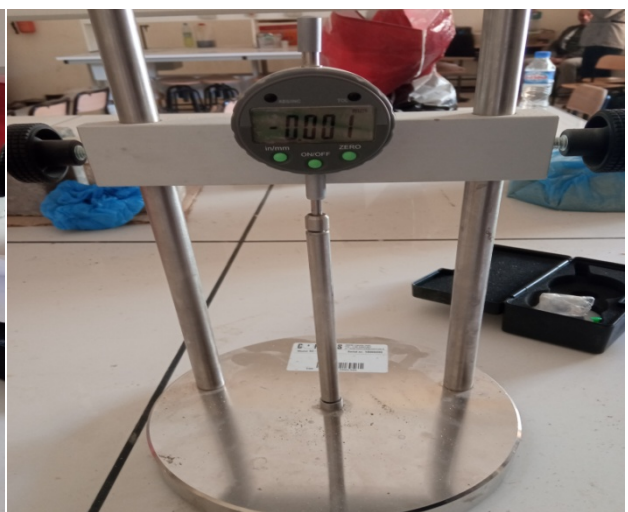
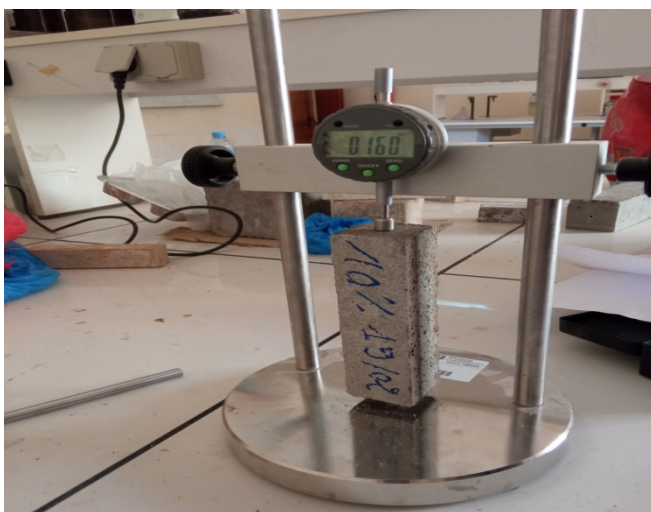


Photo N°03 : mesure de retrait



A



B



C

Photo N° 04. Equivalent de sable



Photo N° 05 : Essai a la comprissions



Photo N° 06 : ESSAI A LA FLIXION



Photo N° 07: Absorption par émerision



Photo N° 08 : chauffage des échantillons



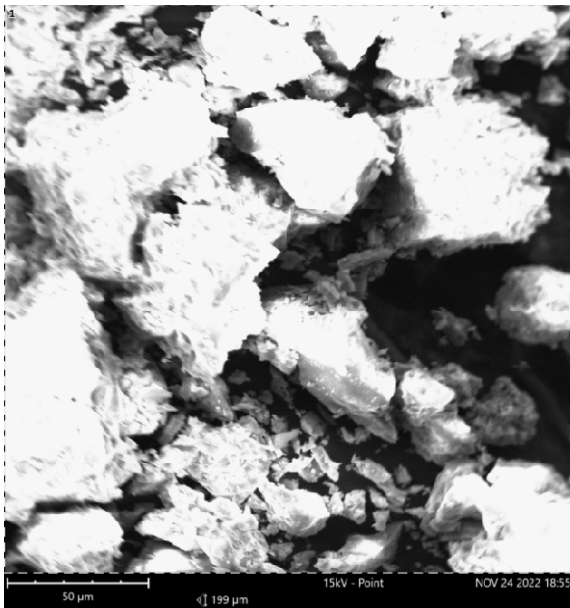
Photo N° 09 : absorption capillarité



Photo N° 10 : mesure la vitesse

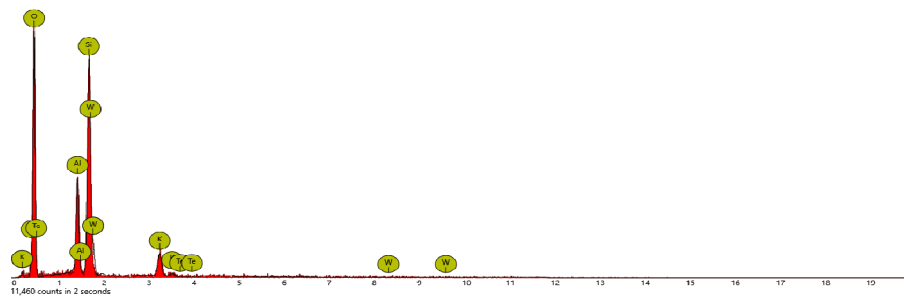
➤ Analyse RX

1. region



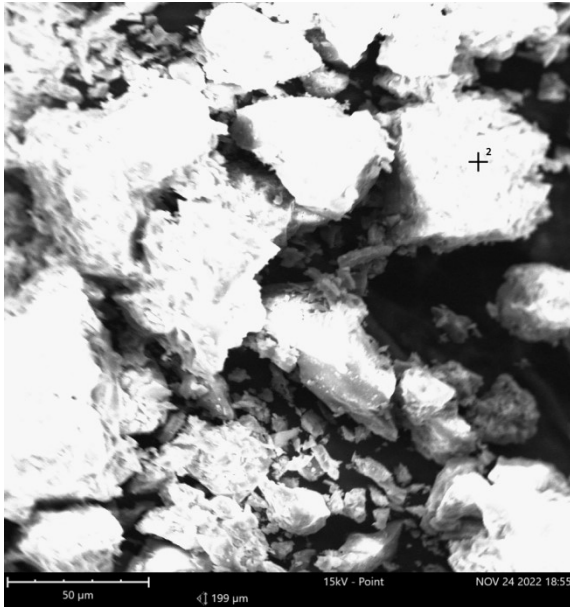
Element Number	Element Symbol	Element Name	Atomic Conc.	Weight Conc.
8	O	Oxygen	69.87	56.33
14	Si	Silicon	18.74	26.53
13	Al	Aluminium	8.66	11.77
19	K	Potassium	2.73	5.37

FOV: 199 μm, Mode: 15kV - Point, Detector: SED, Time: NOV 24 2022 18:55



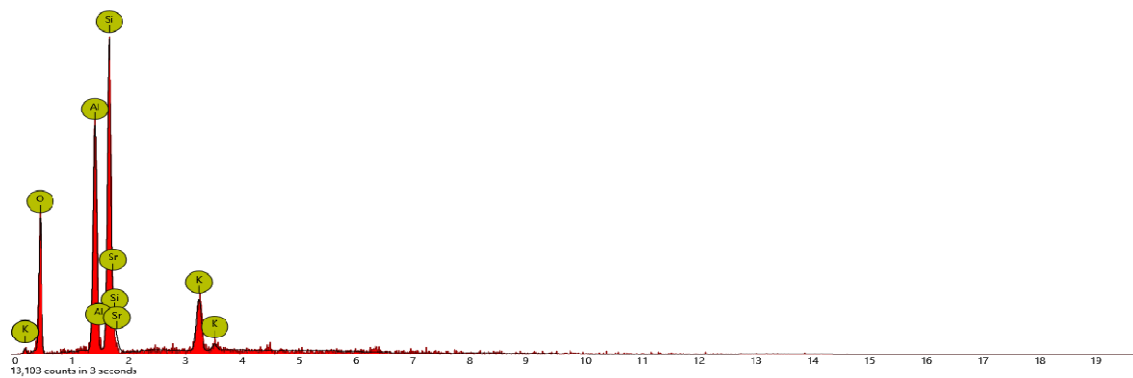
Disabled elements: B

2. spot



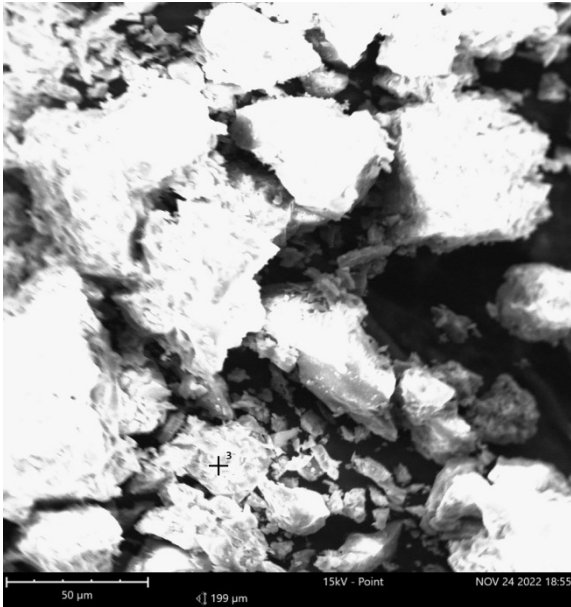
Element Number	Element Symbol	Element Name	Atomic Conc.	Weight Conc.
8	O	Oxygen	49.24	33.22
14	Si	Silicon	25.40	30.08
13	Al	Aluminium	17.37	19.76
19	K	Potassium	6.15	10.15
38	Sr	Strontium	1.84	6.79

FOV: 199 μm, Mode: 15kV - Point, Detector: SED, Time: NOV 24 2022 18:55



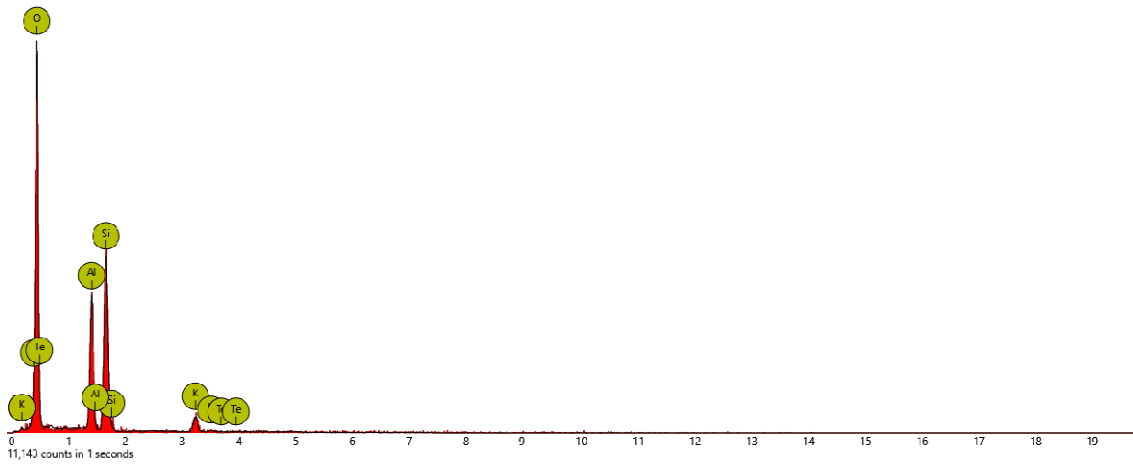
Disabled elements: B

3. spot



Element Number	Element Symbol	Element Name	Atomic Conc.	Weight Conc.
8	O	Oxygen	75.00	62.88
14	Si	Silicon	13.00	19.13
13	Al	Aluminium	10.38	14.68
19	K	Potassium	1.61	3.31

FOV: 199 μm, Mode: 15kV - Point, Detector: SED, Time: NOV 24 2022 18:55

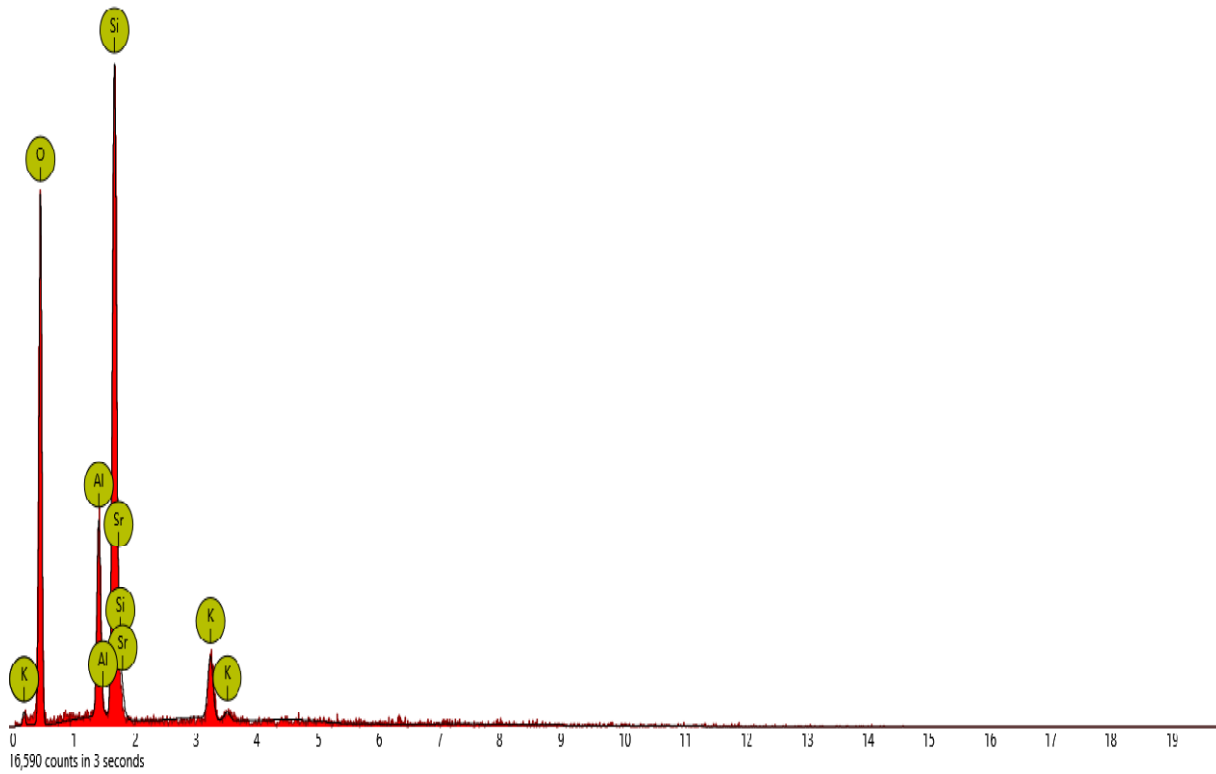


Disabled elements: B

4.

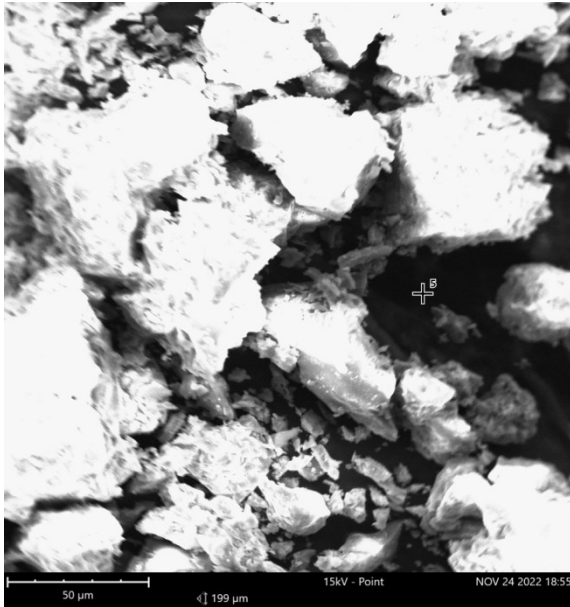
Element Number	Element Symbol	Element Name	Atomic Conc.	Weight Conc.
8	O	Oxygen	66.78	50.37
14	Si	Silicon	21.44	28.39
13	Al	Aluminium	7.00	8.91
38	Sr	Strontium	1.54	6.38
19	K	Potassium	3.23	5.95

FOV: 199 µm, Mode: 15kV - Point, Detector: SED, Time: NOV 24 2022 18:55



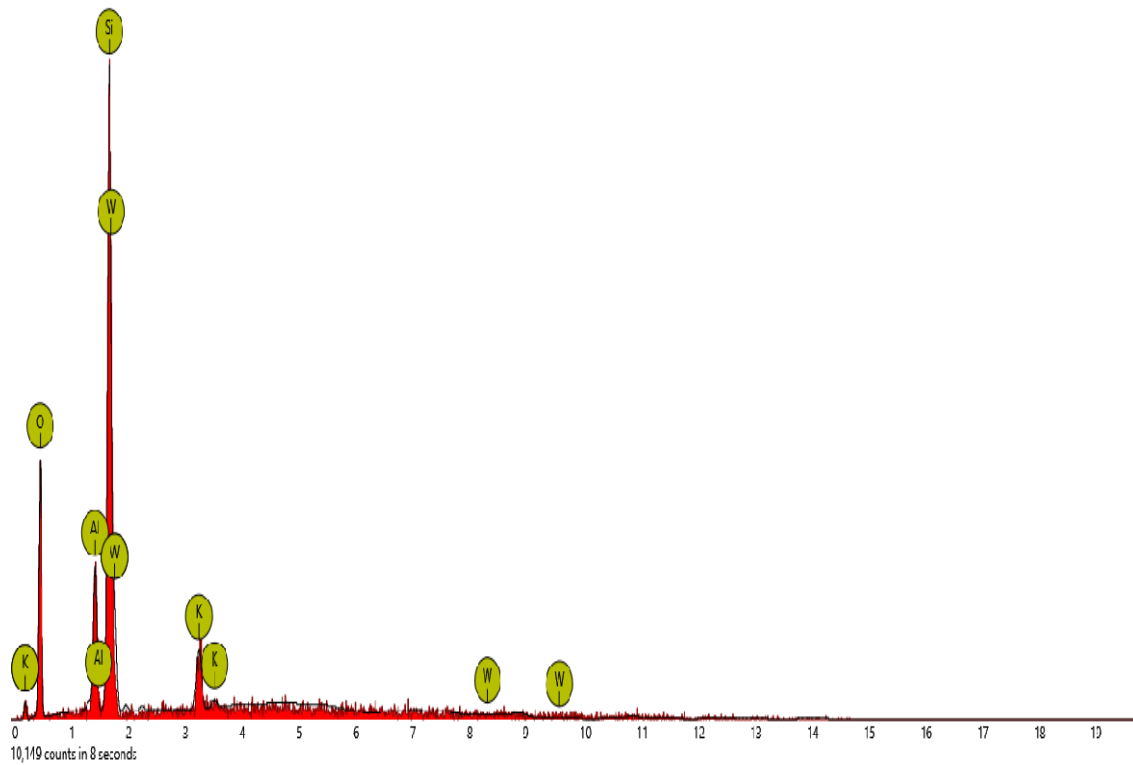
Disabled elements: B

5. spot



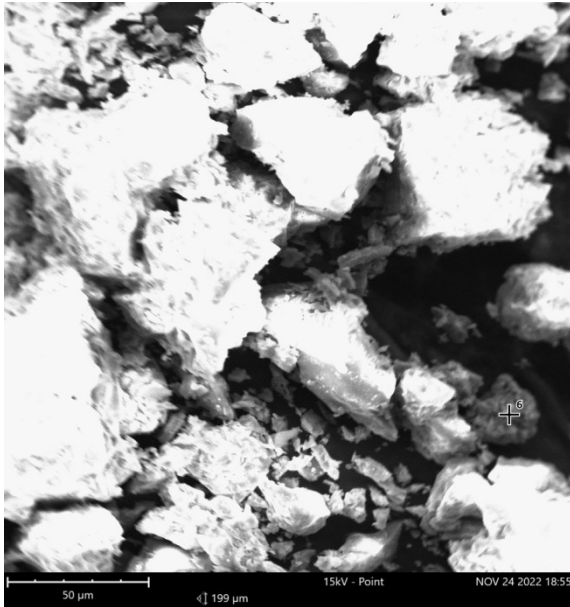
Element Number	Element Symbol	Element Name	Atomic Conc.	Weight Conc.
8	O	Oxygen	56.16	41.40
14	Si	Silicon	31.98	41.38
13	Al	Aluminium	7.40	9.20
19	K	Potassium	4.45	8.01

FOV: 199 μm, Mode: 15kV - Point, Detector: SED, Time: NOV 24 2022 18:55



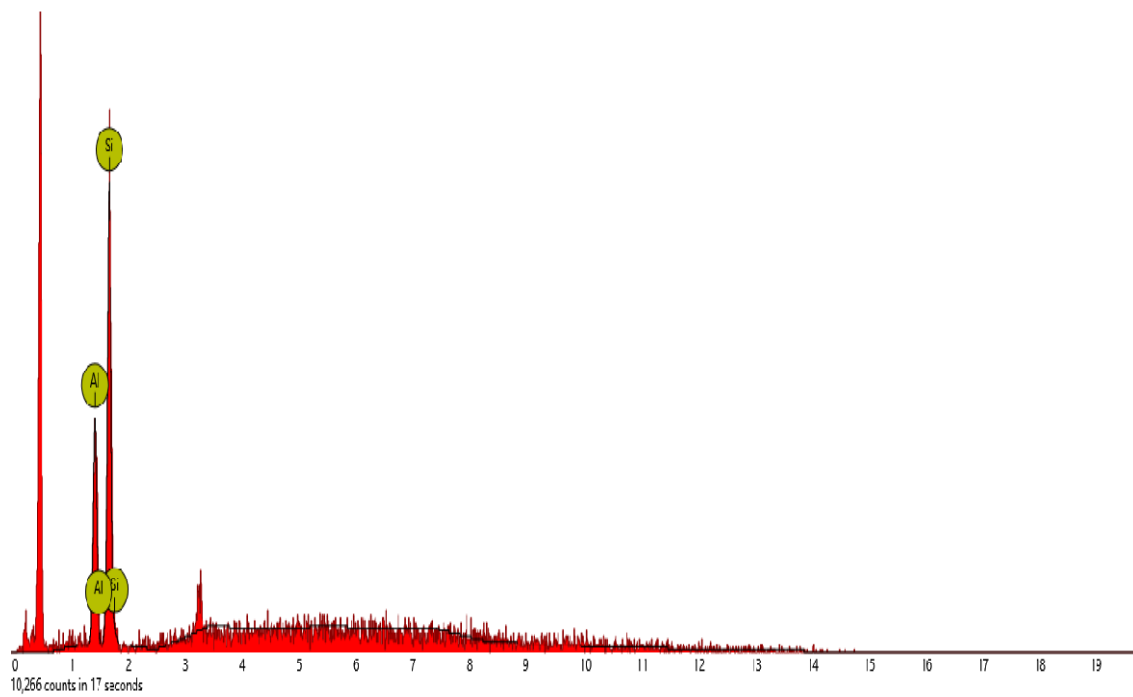
Disabled elements: B

6. spot



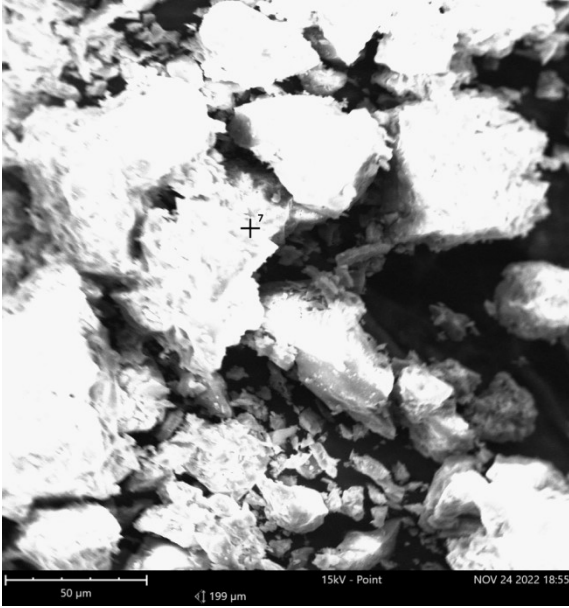
Element Number	Element Symbol	Element Name	Atomic Conc.	Weight Conc.
14	Si	Silicon	72.65	73.44
13	Al	Aluminium	27.35	26.56

FOV: 199 μm, Mode: 15kV - Point, Detector: SED, Time: NOV 24 2022 18:55



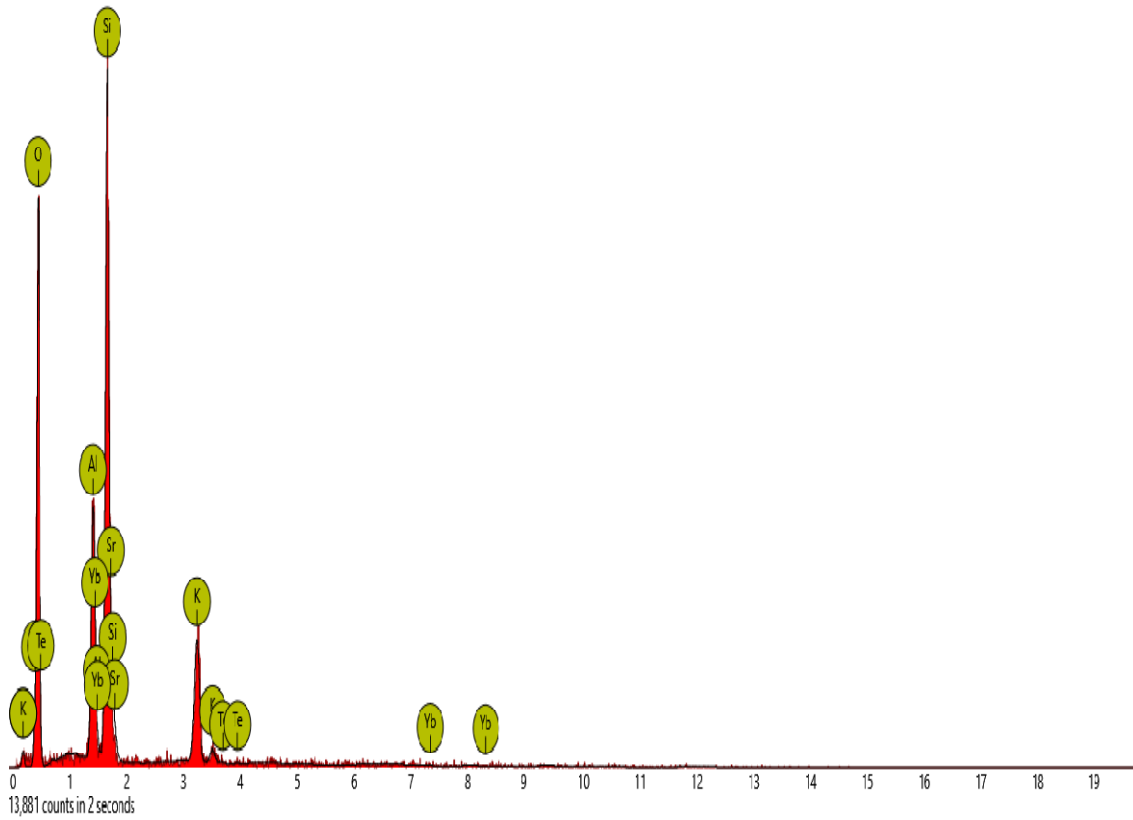
Disabled elements: B

7. spot



Element Number	Element Symbol	Element Name	Atomic Conc.	Weight Conc.
8	O	Oxygen	65.78	48.64
14	Si	Silicon	19.52	25.34
13	Al	Aluminium	7.84	9.77
19	K	Potassium	5.26	9.50
38	Sr	Strontium	1.48	6.00
52	Te	Tellurium	0.13	0.76

FOV: 199 μm, Mode: 15kV - Point, Detector: SED, Time: NOV 24 2022 18:55



Disabled elements: B