



Université Abderrahmane Mira de Bejaia
Faculté de Technologie
Département des Mines et géologie

Memoire de Fin d'Etudes

En vue de l'obtention du Diplôme de Master en Mines
Option : Valorisation des Ressources Minérales

Présenté par

RAHMOUNI Hicham

OUARI Mohamed Tarek

Thème

*Caractérisation et étude des propriétés d'usage
des tufs de Remila*

Soutenu le 11 / 07 /2016 devant le jury composé de :

Présidente : A. DJEMAA

Promoteur : B. AYADEN

Examinatrice : N. BOUZIDI

Année Universitaire : 2015-2016

*You can win, if you
Want!*

#Modern_talking

Remerciements

Le grand merci vient à Dieu Allah le tout puissant qui lui seul a donné la volonté à réaliser cet humble travail.

Le grand merci à notre promoteur: Mr Brahim AYADEN pour ses conseils et son aide et qui a mis à notre disposition tous les nécessaires pour réaliser ce travail.

Nos vifs remerciements vont au Mr DJAMA pour l'honneur qu'il nous a fait de présider ce jury.

Nous remercions également

Madame N. BOUZIDI d'avoir accepté d'examiner ce travail.

Nous tenons à remercier : nos parents pour leurs pensée et leurs soutien et les enseignants pour l'aide et leurs patience tout le temps de travail, et leurs orientation afin d'accéder à l'objectif tracé.

Et tous les autres sans exception.

Ainsi, à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce modeste travail.

Dédicace

A mes chers parents,
A mes frères, leurs femmes et leurs
enfants

A mes sœurs, et leurs enfants

A mes amis sans exception

Dédicace

Je dédie ce mémoire

À mes chers parents ma mère et mon père

Pour leur patience, leur amour, leur soutien et leurs
encouragements.

À mes frères.

À mes aînés et mes camarades.

Sans oublier tout les professeurs que ce soit du
primaire, du moyen, du secondaire ou de
l'enseignement supérieur.

Ouari mohamed tarek

Liste d'abréviations

Liste d'abréviations

MPa : Méga Pascal

DRX : Diffraction des Rayons X

MEB : Microscope Electronique à Balayage

EDX : Energie Dispersive de rayons X

FX : Fluorescence X

PAF : Perte au feu

C G : Classe granulométrique

S M : Séparation magnétique

FNM : Fraction non magnétique

F M : Fraction magnétique

SMHI : Séparation magnétique de haute intensité

I : Intensité

B M : Bleu de méthylène

U V : Ultra violet

C : concentration

Abs : absorbance

Tr : tour par minute

Rc : Résistance à comprissions

Liste des figures

Liste des figures

Chapitre I. Généralités sur les tufs

Figure I.1. Schéma de circuit de la formation des Tufs calcaires	04
Figure I.2. Tuf volcanique de Remila	06
Figure I.3. Schéma déformation du tuf volcanique.....	07
Figure I.4. Minéral de feldspaths	08
Figure I.5. Minéraux de la muscovite	09
Figure I.6. Minéral de la zéolite naturelle	10

Chapitre II. Conditions géologiques du gisement de tuf de Remila

Figure II.1. Localisation de gisement du tuf de Remila.....	13
Figure II.2. Extrait du caret géologique de la région de Sidi Aich	15
Figure II.3. Diagramme représenté la variation annuelle de la précipitation et la température de la région de Sidi Aich	15

Chapitre III. Méthodologie et matériels utilisés

Figure III.1. Concasseur à mâchoire.....	20
Figure III.2. Deviseur à couloirs (marque Jones).....	20
Figure III.3. Quartage de l'échantillon de tuf de Remila.....	21
Figure III.4. Tamiseuse électrique	22
Figure III.5. Broyeur planétaire	23

Figure III.6. Principe d'un spectromètre de diffraction des rayons X pour les échantillons en poudre.....	25
Figure III.7. Principe de fonctionnement la fluorescence X.....	26
Figure III.8. Diffractomètre de FX de marque Philips	26
Figure III.9. Principe de fonctionnement de MEB	27
Figure III.10. MEB	27
Figure III.11. Principe de la séparation magnétique.....	28
Figure III.12. Séparateur magnétique (SMHI)	28

Chapitre IV. Résultat et discussion

Figure IV.1. Courbe de la distribution granulométrique du tuf de Remila.....	31
Figure IV.2. Rendements pondéraux en fonction des ouvertures des tamis	32
Figure IV.3. Diffractogramme de la tranche (63,125) μm des tufs étudiés	33
Figure IV.4. Diffractogramme de la tranche (500 - 10 ³) μm des tufs étudiés.....	33
Figure IV.5. Histogramme de la composition chimique du tuf de Remila	35
Figure IV.6. Image de MEB sur de tuf brut (Feldspath, Biotite et Mordenite)	36
Figure IV.7. Spectre de dispersion en énergie (EDAX) du tuf brut.....	37
Figure IV.8. Variation de rendement en fonction de l'intensité appliquée (FM).....	38
Figure IV.9. Variation de rendement en fonction de l'intensité appliquée (FNM).....	38
Figure IV.10. Diffractogramme de tuf après la séparation (FNM).....	39
Figure IV.11. Diffractogramme de tuf après la séparation (FM)	40

Chapitre V. Etude des propriétés d'usage des tufs de Remila

Figure V.1. Structure de zéolites	44
--	----

Figure V.2. Mécanisme d'adsorption physique.....	46
Figure V.3. Schéma du mécanisme de transport d'un adsorbat au sein d'un grain	47
Figure V.4. Appareil de UV-Visible de marque Spectro scan	48
Figure V.5. Courbe d'étalonnage de bleu de méthylène	49
Figure V.6. Influence du temps de contact sur l'adsorption de B-M par les tufs traité	50
Figure V.7. Influence du temps de contact sur l'adsorption de B-M par les tufs non traité	50
Figure V.8. Influence de la masse du tuf traité sur l'adsorption de B-M.....	51
Figure V.9. Influence de la masse de tuf non traité sur l'adsorption de B-M	51
Figure V.10. Influence de la granulométrie de tuf traité sur l'adsorption de B-M.....	52
Figure V.11. Influence de la granulométrie de tuf non traité sur l'adsorption de B-M.....	53
Figure V.12. Eprouvette de mortiers de (4*4*4) cm.....	54
Figure V.13. Presse de la résistance à compression des mortiers	55
Figure V.14. Effet du tuf sur la masse volumique des mortiers	56
Figure V.15. Effet du tuf sur la résistance à la compression des mortiers	58
Figure V.16. Evolution de la résistance à la compression en fonction de temps	58

Liste des tableaux

Liste des tableaux

Chapitre IV. Résultats et discussion

Tableau IV.1. Distribution granulométrique du tuf étudié 30

Tableaux IV.2. Principales phases minéralogiques de tuf de Remila..... 34

Tableau IV.3. Composition chimique de tuf obtenue par (FX). 34

Tableau IV.4. Les résultats de l'essai de séparation magnétique. 38

Chapitre V. Mode d'usage des tufs de Remila

Tableau V.1. Variation de l'absorbance en fonction de la concentration de B-M..... 48

Tableau V.2. Influence du temps de contact sur l'adsorption de B-M par les tufs..... 49

Tableau V.3. Influence de la masse du tuf traité sur l'adsorption de B-M 51

Tableau V.4. Influence de la granulométrie de tuf traité sur l'adsorption de B-M..... 52

Tableau V.5. Eprouvette préparé. 55

Tableau V.6. Masses des éprouvettes après 7 jours des tufs bruts..... 56

Tableau V.7. Masses des éprouvettes après 14 jours des tufs bruts..... 56

Tableau V.8. Résultats des l'essai de compression de tuf brut 57

Tableau V.3. Les masses des éprouvettes après 7 jours des tufs bruts 53

Tableau V.4. Les masses des éprouvettes après 14 jours des tufs bruts 53

Tableau V.6. Résultat de l'essai de compression de tuf brut. 54

Table des Matières

Table des matières

Liste d'abréviations

Liste des figures

Liste des tableaux

Introduction générale.....01

Chapitre 1. Généralités sur les tufs

Introduction.....	02
I.1.Classification des tufs.....	02
I.1.1.TUFS CALCAIRES	02
I.1.1.1. Formation des tufs calcaire.....	03
I.1.1.2. Domaines d'utilisation des tufs calcaire	04
I.1.1.3. Tufs calcaire en Algérie	04
I.1.2. TUFS VOLCANIQUES	04
I.1.2.1. Formation des tufs volcaniques	05
I.1.2.2. Types des tufs volcaniques	06
A. Tufssoudés	06
B. Tufsrhyolitiques	06
C. Tufs trachyte.....	06
D. Tufsandésitiques	06
E. Tufsbasaltiques	07
F. Tufultramafiques	07
I.1.2.3. La minéralogie des tufs volcaniques et leurs utilisations	07
A. Feldspaths.....	07
B. Micas	08

C. Zéolites naturelles	09
I.1.2.4. usage des tufs volcaniques	10
A. L’agriculture	10
B. L’industrie	10
C. Construction	10
Conclusion	11

Chapitre II. Conditions géologiques du gisement de tuf de Remila

Introduction.....	12
II.1. Situation du gisement de tuf de Remila	12
II.2. Contexte géologique et géomorphologique	13
II.3 Précipitation et température	14
II.4. Réseau hydraulique et ressources hydriques de la région	15
II.1.5. Milieu vivant	15
II.1.5.3. Infrastructure autour du site	15
Conclusion	16

Chapitre III. Méthodologie et matériels utilisés

Introduction.....	17
III.1. Echantillonnage	17
III.2. Préparation mécanique de l’échantillon	17
III.2.1. Concassage	17
III.2.2. Homogénéisation et quartage	18
III.2.3. Analyse granulométrique par tamisage	20
III.2.4 Broyage.....	21

III.3 Caractérisation minéralogique	22
III.3.1 Principe de la diffraction par rayons X	22
III.4. Caractérisation chimique	23
III.4.2 Principe d'analyse par spectrométrie à fluorescence X	23
III.5 Caractérisation morphologique	24
III.5.1 Analyse par microscopie électronique à balayage (MEB)	24
III.5.2 Principe de l'analyse par microscopie électronique à balayage (MEB)	24
III.6. Essais de séparation des minéraux de Tuf de Remmila	25
III.6.1. principe de la Séparation magnétique (S.M.H.I)	25
III.6.2 Essai de la séparation magnétique	26
Conclusion	27

Chapitre IV. Résultat et discussion

Introduction	28
IV.1. Caractérisation de minerai.....	28
IV.1.1. Analyse granulométrique.....	28
IV.1.1.1 Rendement pondéral en fonction de la granulométrie.....	30
IV.1.2. Caractérisation minéralogique du tuf de Remmila.....	30
IV.1.2.1. Analyse par Diffraction des Rayon X (DRX).....	30
IV.1.3. Caractérisation chimique.....	32
IV.1.3.1. Analyse par fluorescence X (FX).....	32
IV.1.4. Caractérisation morphologique.....	33
IV.1.4.1. Analyse par la microscopie électronique à balayage (MEB).....	33

IV.1.4.2. Micro analyse EDX.....	35
IV.2. Essai de séparation des minéraux de tuf de Remmila.....	35
IV.2.1. Séparation magnétique.....	35
VI.2.3. Analyse des fractions magnétiques et fractions non magnétiques par DRX.....	37
Conclusion.....	38

Chapitre V. Etude des propriétés d'usage des tufs de Remila

Introduction.....	40
V.1. application des tufs de Remila comme adsorbent.....	40
V.1.1. Zéolite naturelle.....	40
V.1.1.1. Propriété physico-chimique de zéolite.....	41
A. Adsorption.....	41
B. Catalyse.....	41
C. L'échange ionique.....	41
V.1.1.2. Utilisation des zéolites naturelle.....	41
V.1.2. Adsorption.....	42
V.1.2.1. Définition.....	42
V.1.2.2. Types d'adsorption.....	43
A. Adsorption physique (physisorption).....	43
B. Adsorption chimique (chimisorption).....	43
V.1.2.3. Facteurs influençant sur le phénomène d'adsorption.....	44
A. Les caractéristiques de d'adsorbant.....	44
B. Les caractéristiques de l'absorbât.....	44

C. Les paramètres physiques.....	44
V.1.2.4. Mécanisme d'adsorption.....	44
V.1.3. Protocole expérimentale et les résultats obtenu.....	45
V.1.3.1 Détermination de la longueur d'onde maximale expérimentale du Bleu de Méthylène	45
V.1.3.2 Détermination de la courbe d'étalonnage pour la solution du Bleu Méthylène	45
V.1.3.3. Paramètres cinétiques influençant l'adsorption du Bleu de méthylène.....	46
A. Effet du temps de contact	46
B. Effet de masse de l'adsorbant.....	48
C. Effet de taille des grains	49
V.2. Utilisation des tufs de Remila comme liant hydraulique.....	51
V.2.1. Objectifs de manipulation.....	51
V.2.2. Confection des éprouvettes en mortier.....	51
V.2.2.1. Confection des éprouvettes.....	51
V.2.2.2. Mesure des propriétés mécaniques (résistance à la comprissions).....	52
V.3. Résultats.....	53
V.3.1.Masse volumique.....	53
V.1.4.2 Résistance à compression.....	55
Conclusion.....	57
Conclusion générale.....	58
Références bibliographique	
Annexes	

Introduction générale

Introduction général

Les tufs volcaniques occupent une place importante parmi les produits du volcanisme basique alcalin et sous-saturé, d'âge fini-tertiaire à quaternaire.

Les Tufs est l'un des roches industriels les plus importants. Grace à ses applications diverses, et sa recherche en différents composants et sa facilité d'exploitation, elle contribue largement aux développements économique et industriel du pays.

Le domaine d'utilisation est polyvalent, fabrication des ciments et céramiques, confection des bétons et des mortiers, adsorption et catalysations des polluants et fertilisation de sol....

Dans ce travail, nous essayons de valoriser et déterminer l'utilité de notre Tuf.

Pour ce faire, notre étude s'articule principalement sur une caractérisation minéralogique, afin de déterminer les principaux minéraux constituant ce Tuf de Remmila, et essayer d'exploiter ces différentes propriétés dans le domaine d'adsorption et confection des mortiers.

Ce mémoire comporte cinq chapitres.

Dans le premier chapitre nous donnons des généralités sur les Tufs et ont fait une comparaison entre les Tufs calcaire et les Tufs selon le mode de formation et leur composition et domaine d'utilisation de chaque type.

Le deuxième chapitre est consacré à la présentation de gisement de Remmila. Selon la géologie de site et les conditions climatiques de la région et même le milieu vicent. et ont essayé de proposer une mode d'ouverture et d'exploitation.

Dans le troisième chapitre nous présentons le matériel utilisé et la procédure expérimentale (protocoles et méthodes), les différentes méthodes d'analyses sont utilisées et une série d'essais menés pour tester les procédés de séparation.

Et dans cinquième chapitre on essayé de donner des généralités sur l'adsorption essentiellement les différents paramètres influant sur l'adsorption et les classes et les modèles les plus utilisés pour la description de ce phénomène et donner la définition de mortier, et appliquer ces Tufs dans le domaine d'adsorption et confection des mortiers.

Chapitre I.

Généralités sur les tufs

Chapitre I. Généralités sur les tufs

Introduction

Les tufs sont des roches non homogènes poreuses, friables, et légères souvent pulvérulentes soit d'origines calcaires, issus de sources ou rivières dites pétrifiantes ou la présence d'une riche végétation accélère le dépôt de calcaire, soit d'origine volcanique, agrégats qu'on trouve sous forme strates grossières, souvent sous une mince couche de terre. Les tufs peuvent offrir des couleurs très variées selon les éléments qui les composent.

I.1. Classification des tufs

Le tuf volcanique, appelé anciennement tuf lithoïde, les grecs employaient le tuf volcanique de l'île de Santorin, par contre les romains se servaient d'un tuf volcanique rouge. Les romains ont beaucoup plus préférés un type de roche, d'où le nom de pouzzolane sous lequel était alors connu tout matériau ayant des propriétés comparables. [1]

Pour son abondance et la facilité de son extraction et de sa taille, le tuf est, au moins depuis les Étrusques et les Romains, un des matériaux les plus employés dans la construction des bâtiments publics et privés. [2]

I.1.1. TUFES CALCAIRES

Les tufs ou bien la croûte calcaire est un matériau composé essentiellement, mais pas exclusivement de carbonates de calcium. Les croûtes existent à l'état poudreux, nodulaire ou très induré ; elles sont dues à la cimentation, à l'accumulation ou au remplacement de quantités plus au moins grandes de sols, roches ou matériaux altérés par du calcaire dans une zone d'infiltration.

Les tufs calcaires sont des roches calcaires ayant un Los Angeles supérieur à 60, une masse volumique inférieure à 2 t/m^3 , une résistance à la compression simple comprise entre 5 et 10 MPa, et dont la teneur en éléments fins passant au tamis de 80 microns, obtenus sur la fraction 0/20 du matériau après extraction, est de l'ordre de 10 à 20 %.

En fait cette description peut s'appliquer à d'autres roches tendres calcaires exemple (craies), les tufs se différencient alors de ces dernières par leur mode particulier de formation. [3]

I.1.1.1. Formation des tufs calcaire

Les tufs calcaires sont des roches formées par l'accumulation d'algues microscopiques, les algues bleues. Elles vivent en colonie et se fabriquent une protection en cristaux calcaires. Pour se développer, elles ont besoin d'eau et d'un climat tempéré.

Elles se développent donc souvent à l'émergence des sources et dans les cours d'eau peu profonds au cours des périodes interglaciaires, selon le type d'algues et les conditions du milieu, les tufs peuvent être friables ou durs et épais; ils peuvent alors servir pour la construction, la lente formation des tufs fossilise par encroûtements successifs et saisonniers des débris de végétaux (feuilles, brindilles, graines...) et d'animaux (coquilles, ossements).

La formation des encroûtements calcaires correspond à certaines conditions climatiques critiques. Pour que les sols s'encroûtent de manière appréciable, les précipitations doivent être capables de solubiliser des quantités importantes de carbonates, sans toutefois excéder un certain seuil au-delà duquel elles pourraient emporter la totalité ou la majeure partie de ces carbonates vers les bassins marins ou lacustres. Ces conditions climatiques peuvent être illustrées par le climat qui règne dans les zones méditerranéennes subhumides et semi arides. [4]

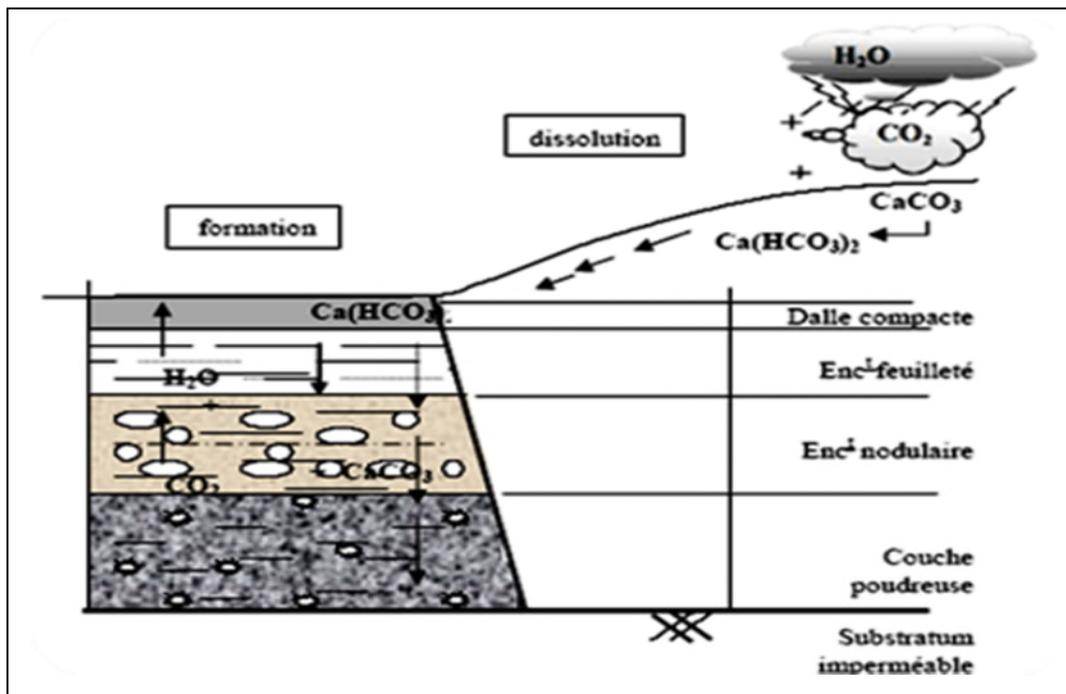


Figure I.1. Schéma de circuit de la formation des tufs calcaires. [4]

I.1.1.2. Utilisations des tufs calcaires

Les tufs calcaires sont utilisés en techniques routières selon leur qualité. Ils sont utilisés le plus souvent sous forme de granulats non liés pour la construction des chaussées de moyen à faible trafic. L'utilisation la plus courante est en assises de chaussée (couche de base et couche de fondation), d'autres usages sont fréquents : accotements, couche de forme, pistes agricoles, etc.

L'utilisation des tufs calcaires dans les travaux publics, elle est utilisée comme matériaux de remblais légers, pour la réalisation de terrains de sport, piste d'athlétisme, amendement de terrains gazonnée. [4]

Utilise aussi comme pierre de construction légère pour l'édification de voilés, dans la maçonnerie des cloisons en charpente (colombages), et, du fait de sa pureté. [5]

I.1.1.3. Tufs calcaire en Algérie

Les encroûtements calcaires sont répartie partout dans le monde on trouve ces formations dans les régions plates à climat aride à semi-aride, favorables à leur formation.

En Algérie, les tufs d'encroûtement calcaires ont servi depuis plus d'un demi-siècle à la construction de milliers de kilomètres de routes économiques et de désenclavement. Ces matériaux couvrent approximativement une superficie de 300.000 km². [4]

Il existe en Algérie 66 unités de production du tuf dans 16 wilayas, la production de tuf est atteint environs de: 12 209 345 m³ en 2008. [6]

I.1.2. TUFs VOLCANIQUES

Les tufs volcaniques sont des produits de projections volcaniques, lapillis ou cendres, stratifiés par l'action de l'eau.

La structure des tufs est poreuse. La masse volumique des tufs est de 1250 à 1350 kg/m³, leur porosité est de 40 à 70 %, la résistance à la compression est comprise entre de 8 à 19 MPa, le coefficient de conductibilité thermique allant de 0,21 à 0,33 W/m C°. [7]



Figure I.2. Tuf volcanique.

I.1.2.1. Formation des tufs volcaniques

Les tufs volcaniques sont des roches formées par l'accumulation de projection volcanique en fragments de quelques millimètres (roches pyroclastique à lapillis dominantes), pouvant contenir des blocs ou des cendres, ces dernières pouvant voyager sur des centaines de kilomètres et de retomber sur le sol sous forme de pluie de cendre. Les fragments éjectés, sous l'effet de la compaction et par la cimentation, ils sont consolidés pour former une roche que l'on nomme de tuf.

Les tufs volcaniques se montrent en niveaux généralement bien stratifiés, dans lesquels on peut observer deux types de granoclassement :

- Granoclassement vertical : la base est plus grossière que le sommet (ce dernier étant plus riche en cendres).
- Granoclassement horizontal : les tufs sont de plus en plus fins lorsque l'éloignement du cratère augmente. [9]

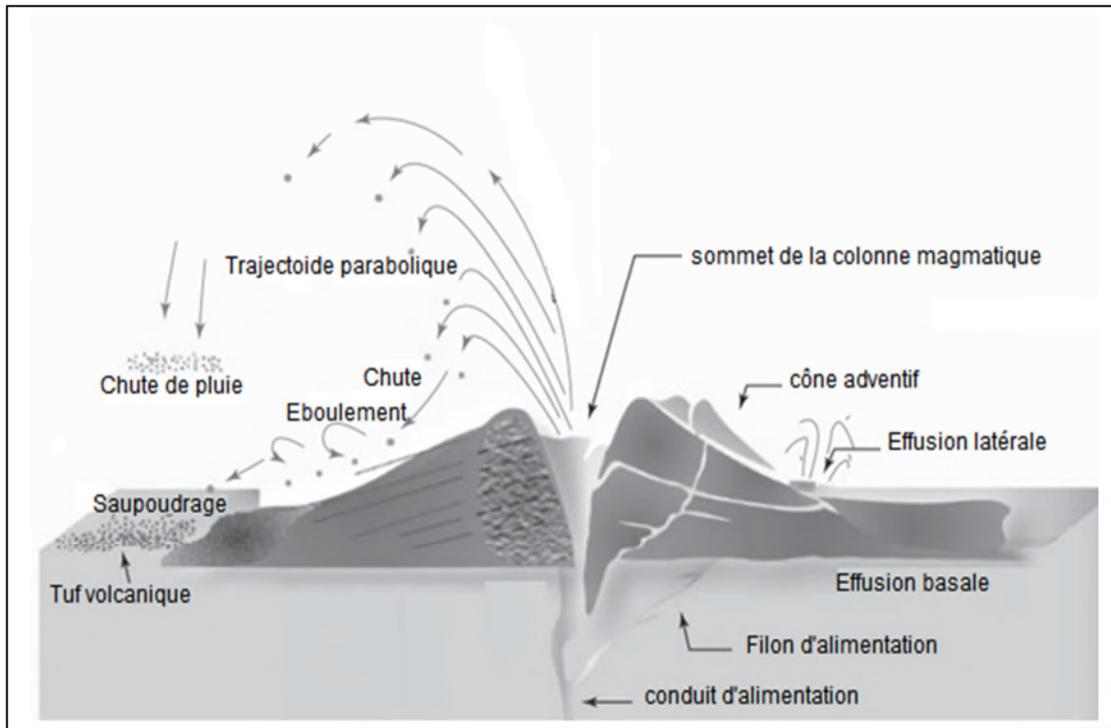


Figure I.3. Schéma explicatif de formation du tuf volcanique. [9]

I.1.2.2. Types des tufs volcaniques

- A. **Tufs soudés** : les tufs soudés sont des roches pyroclastiques, qui sont assez chauds au moment du dépôt pour se souder ensemble. Les tufs soudés peuvent être formés à partir des retombés, ou déposés à partir des courants de densité pyroclastiques, comme dans le cas d'ignimbrites. Lors du soudage, les éclats de verre et les fragments de pierres ponce s'adhèrent ensemble, se déforment, et se compactent.
- B. **Tufs rhyolitiques** : les tufs rhyolitiques contiennent les fragments de la pierre ponce, des fragments vitreux et scories avec du quartz, feldspath alcalin, de biotite, etc. L'Islande, la Hongrie, l'ouest américain, et la Nouvelle-Zélande, sont parmi les régions où ces tufs sont prédominants.
- C. **Tufs trachyte** : tufs trachytiques contiennent peu ou pas de quartz, mais beaucoup de la sanidine ou l'anorthose et parfois l'oligoclase feldspath, de biotite, augite et hornblende occasionnels. Dans les intempéries, ils changent souvent d'argile rouge ou jaune-pierres, riches en kaolin avec le quartz secondaire.
- D. **Tufs andésitiques** : leur couleur ils sont rouges ou brunes; leurs fragments de scories sont de toutes tailles à partir d'énormes blocs jusqu'à la poussière granuleuse. Les cavités sont remplis avec de nombreux minéraux secondaires, comme la calcite, chlorite, quartz, d'épidote, la calcédoine, mais dans les coupes microscopiques, la

nature de la lave d'origine peuvent presque toujours être faite à partir des formes et des propriétés des petits cristaux qui se produisent dans la base décomposée vitreux.

- E. **Tufs basaltiques** : les tufs basaltiques sont répandus tant dans le district où les volcans sont maintenant actif et dans les terres où les éruptions ont depuis longtemps terminés.ils sont noire vert foncé ou de colure rouge, ils variant grandement dans la grossièreté, certaine état plein de ronde bombe spongieuse un pied ou plus de diamètre ou état souvent sous marine, peut contenir de schiste, gris et autre matériaux sédimentaires, il sont occasionnellement fossilifère. En particulier lorsque les laves contiennent la néphéline ou la lucite, sont souvent riche en zéolites.
- F. **Tuf ultramafiques** : les tufs ultramafiques sont extrêmement rares, leurs caractéristiques est l'abondance d'olivine ou de serpentine et de la rareté ou l'absence de feldspath et de quartz. De rares cas peuvent inclure les dépôts surface inhabituelle de kimberlites. La roche principale de kimberlite est un bleu – vert foncé serpentine riche en brèche. Ces brèches ont mises en place en mélange de gaz – solide. En profondeur, une certaine qualité de kimberlite brèche dans des profondes de digues faites de roche nom fragmentés. A la surface, les tufs ultramafiques peuvent survenir dans les dépôts. Les kimberlites sont la source les plus communes ignées de diamants. [10]

I.1.2.3. Minéralogie des tufs volcaniques et utilisations

Les différentes études sur les tufs volcaniques ont montré que les tufs volcaniques comme toutes les roches ignées sont riches en différents minéraux silicatés, nous définissons les principaux minéraux.

- A. **Feldspaths** : Les feldspaths sont les constituants essentiels des roches magmatiques, plutoniques ou effusives (59,5 % des minéraux des roches magmatiques). Leur composition chimique varie avec la nature des roches: les roches acides renferment des feldspaths alcalins, les roches intermédiaires des feldspaths alcalins, et des plagioclases moyens, les roches basiques des plagioclases calciques. [11] Et la majorité des produits de nous utilisons quotidiennement sont fabriqués à base des feldspaths: talque, le verre des boissons, le verre de protection, la laine de verre pour l'isolation, la vaisselle dans laquelle nous mangeons, etc.



Figure I.4. Minéral de feldspaths. [12]

- A. *Micas* : les micas sont des silicates hydratés, plus ou moins alumineux et presque toujours potassiques, qui contiennent en proportion variable du fer et du magnésium. Ils appartiennent à la famille des phyllo silicates et sont monocliniques. [13]



Figure I.5. Minéraux de la muscovite. [13]

Le mica est utilisé pour ses propriétés de résistance au feu, son inertie chimique, son pouvoir couvrant, sa capacité d'isolation acoustique. Sous cette forme il est utilisé comme charge dans des peintures, des enduits, des matières plastiques (pour sa résistance à la traction et à la flexion).

Il est également utilisé pour ses propriétés d'isolant électrique et de résistance à la chaleur. [13]

B. *Zéolites naturelles* : la zéolite est une famille de minéraux (tectosilicates) construits par des aluminosilicates cristallins et des éléments des groupes I et II comme les actions. La formule chimique générale d'une zéolithe est $(\text{AL}_2\text{O}_3, x\text{SiO}_2)$. [14]

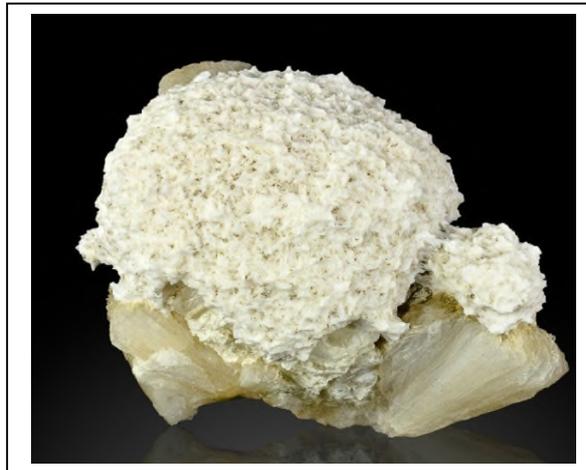


Figure I.6. Minéral de la zéolite naturelle (chabasite). [17]

L'utilisation est basée sur les propriétés des zéolites dépendent fortement de leur composition, de leur type structural (taille et forme des pores) et de diverses autres propriétés spécifiques (hydrophobie, nature des cations de compensation...). [14]

Les tufs continents des zéolites naturelles plus légères, sont utilisées dans la préparation des bétons léger pour la construction. Matériaux plus légers que le sable du fait de leur structure poreuse, elles permettent de réduire la densité des bétons et d'augmenter leur vitesse de cicatrisation en maintenant un niveau élevé de résistance.

De par leurs propriétés chimiques, les zéolites naturelles limitent les attaques alcalines dans les bétons.

Certaines zéolithes sont capables de remplacer avec succès les fumées de silice dans la formulation des ciments, les produits obtenus présentent des caractéristiques chimiques et mécaniques exceptionnelles. [17]

Adsorption : Les zéolites sont utilisé en plusieurs d'autres domaine talques.

- Gaz industriels
- Bio-traitements
- Protection nucléaire

I.1.2.4. Usage des tufs volcaniques

Le tuf volcanique se caractérise par structure poreuse, homogène et léger. Généralement les tufs sont riches en silice avec un pourcentage compris entre 50 % - 70 %

- A. **L'agriculture** : le tuf volcanique poreux est un support d'agrégats en phosphates d'intérêt agronomique. Les matériaux fertilisants phosphatés ont été synthétisés par réaction entre l'acide phosphorique et un tuf volcanique ou mélange tuf volcanique. Pour les différents autres produits élaborés phosphatés, la teneur en P_2O_5 varie de 6 à 18%. [8]. Nous signalons aussi que les tufs sont utilisés pour le drainage, l'amendement des sols comme substrat.
- B. **L'industrie** : les tufs volcaniques sont d'utilisés dans la fabrication de ciment comme ajout, de béton léger et les parpaings comme constituant secondaire (la structure alvéolaire confère une faible densité au béton pour une qualité mécanique donnée), les boisseaux de cheminées, les filtres divers et fosses septiques, sert aussi, comme éléments de décoration.

Elle sert pour le sablage des routes verglacées. Utilisés comme couches de base pour itinéraires routiers hors-gel (la porosité globale de la tuf empêche la formation de lentilles de glaces et évite donc la mise en place de barrières de dégel). [5]

- C. **Construction** : le tuf est un matériau très largement utilisé pour la construction de bâtiments dans les régions à forte activité volcanique et sismique.

Le tuf contenant des zéolithes thermiquement instables a été largement utilisé comme matériau de construction dans les zones d'activité volcanique et tectonique depuis plusieurs siècles, en dépit de sa faible résistance [15]

Conclusion

Le tuf est une substance de grande importance, est utilisée à l'état brute dans divers domaines industrielle, lorsque ils présentent des caractéristiques minéralogique et structurales bien déterminées, son utilisation s'étale vers des domaines plus complexes, lorsque l'industrie pharmaceutique et chimique.

Le tuf de Remila constitue une matière minérale importante qui peut servir on différents secteurs industriels et agricoles dans la région, pour ce la dans le prochaine chapitre nous essayons réutiliser une caractérisation des tufs de Remila pour arrêtes sur les possibilités de son utilisation.

Chapitre II.
Conditions géologiques
du gisement de tuf de
Remila

Chapitre II. Conditions géologiques du gisement de tuf de Remila

Introduction

Le gisement de tuf de Remila est un gisement volcanique caractérisé par sa grande homogénéité, et sa facilité d'extraction. Des études ont été faites montrent que le gisement de Remila est riche en plusieurs minéraux aluminosilicatés qui sont très demandés pour l'usage dans plusieurs activités industrielles locales.

II.1. Situation du gisement de tuf de Remila

Le gisement de tuf est localisé sur la rive droite d'Oued Remila, de la Commune de Tinebdar, à 36 Km du chef lieu de la wilaya de Bejaia et à 10 Km de la ville de Sidi Aich, soit à 1700 m de la piste au Nord de la route nationale RN 26 reliant EL Kseur à Sidi Aich.

Le gisement étudié est mitoyen d'une carrière d'argiles en exploitation dans la région, Une piste mène à cette carrière d'argile en traversant Oued Remila, m. Le gisement de tuf est accessible par la même piste qui se prolonge au nord le long de la rive droite de oued Remila.

[16]

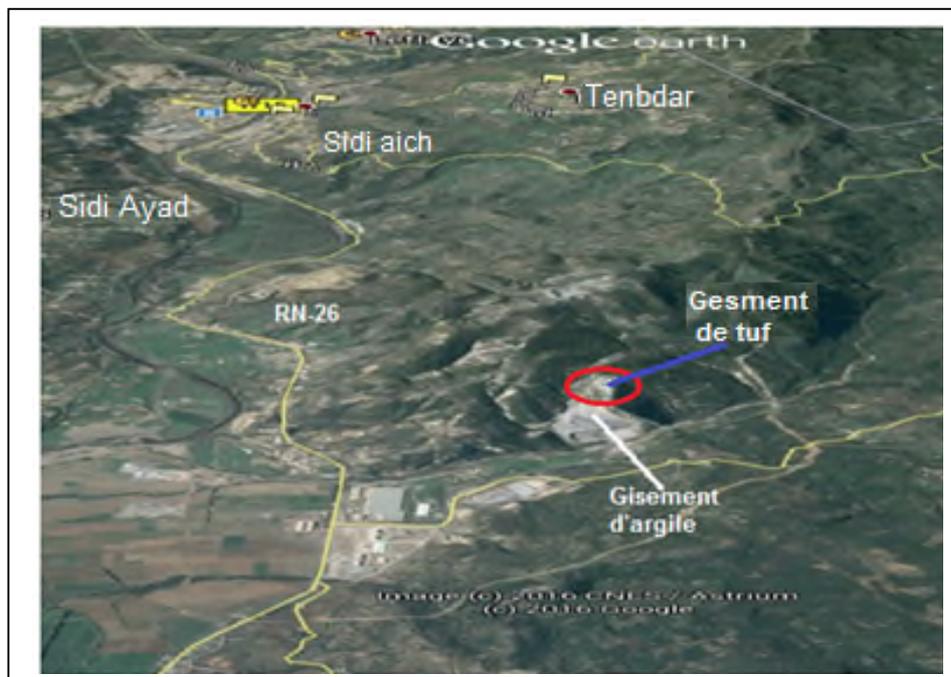


Figure II.1. Localisation de gisement du tuf de Remila. (google éρθ)

II.2. Contexte géologique et géomorphologique

Le gisement de tufs de Remila a fait l'objet d'une étude géologique détaillée au moyen de sondages mécaniques carottés, les dépôts marins du miocène inférieur sont prédominants dans la région d'étude, Ils sont représentés par des argiles compactes, grises à gris jaunâtres, à plasticité moyenne.

Le gisement de tuf se trouve inter stratifié dans ces marnes. Se sont des formations volcaniques constituées de tufs andésitiques de couleurs blanches et disposées en grosses lentilles au sein des sédiments marins de la miocène inférieure à moyenne.

La coupe lithologique du gisement est comme suit :

- De 0 à 0,50 m : Terre végétale et limons.
- De 0,50 à a 3 m : Tufs altérés de couleur gris blanchâtre a jaunâtre.
- De 3 m jusqu'à la fin : Tufs volcaniques compact et homogène.

Ces tufs sont compacts et homogènes, de couleur blanche à légèrement verdâtre et ils présentent une texture microcristalline vers le sommet à cristalline pour les niveaux de base. Les micas noirs sont présents en différentes proportions d'un niveau à l'autre de la série.

La structure du gisement est simple, il s'agit d'un monoclinal à pendage Nord. Il présente également une inclinaison générale vers le Nord-Est. Il est affecté par quelques failles normales sans rejets. Nous signalons un important glissement dans sa terminaison Nord occidentale. Ce dernier a isolé un îlot de tufs au sein des argiles grises du miocène marin. Des fractures ouvertes favorisent le dépôt d'oxydes de fer qui donne localement une teinte jaunâtre à rouille à la formation.

La formation volcanique est caractérisée par une grande homogénéité latérale et verticale. Ils sont exempts de stériles internes. Les stériles externes de couverture sont représentés par la couche végétale.

Le gisement est à sec et ne renferme aucune venue d'eau souterraine. Des précautions doivent cependant être prises pour le drainage des eaux superficielles.

La partie inférieure du gisement doit être sécurisée par rapport aux berges de l'Oued Remila dont les écoulements et les crues sont importants en période hivernale. [16]

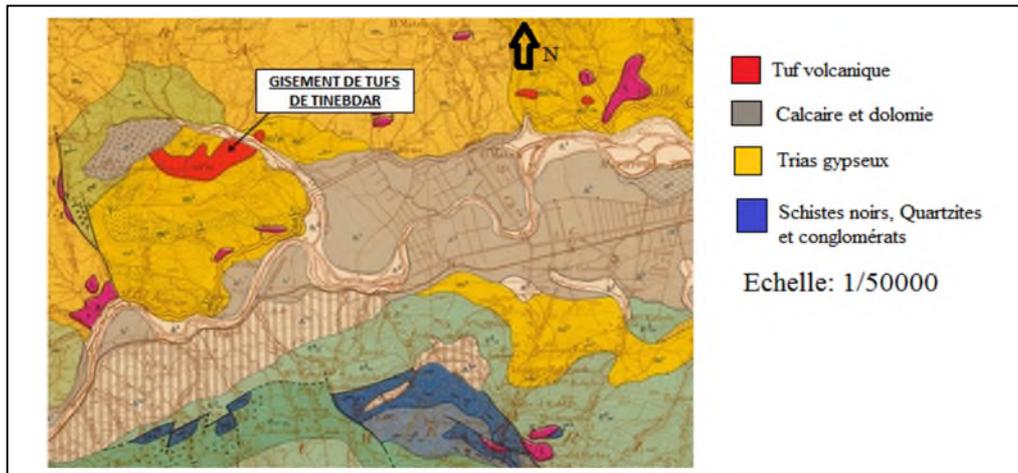


Figure II.2. Extrait du caret géologique de la région de Sidi Aich. [14]

En raison de l'indisponibilité de données au niveau de la localité, nous inspirons des données fournies pour la localité.

La région de Tinebdar est caractérisée par un climat méditerranéen typique, à étage bioclimatique subhumide à humide, cependant il existe un microclimat au niveau de la zone de vallée. Sur les hauteurs, l'hiver est plus froid (neige), l'été est plus frais.

II.3. Précipitation et température

La figure suivante représente la variation de la précipitation et température dans la région de Sidi Aich pendant l'année de 2014.

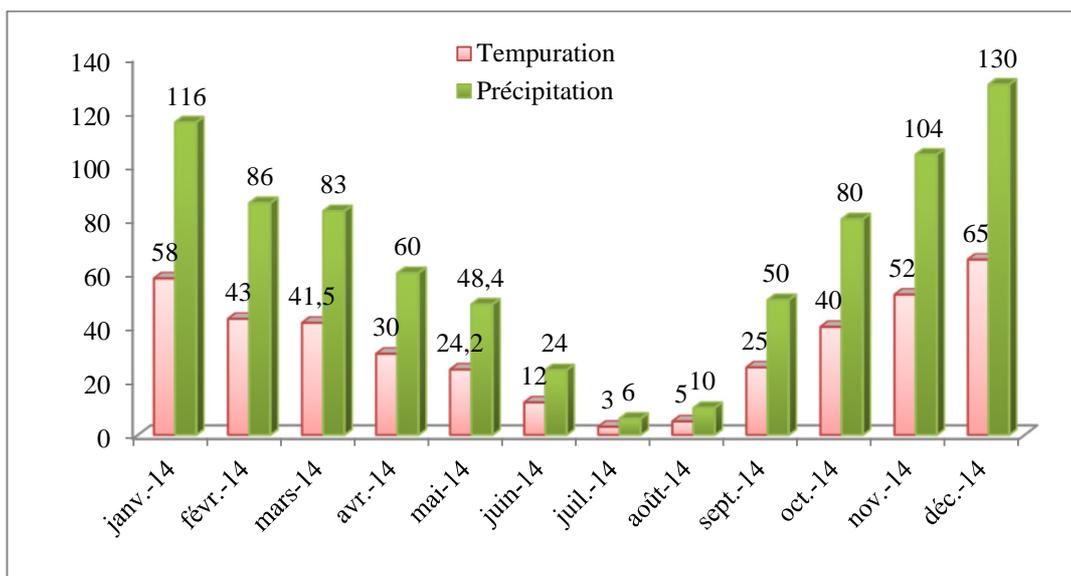


Figure II.3. Diagramme représenté la variation annuelle de la précipitation et la température de la région de Sidi Aich. [18]

Chapitre II. Conditions géologiques du gisement de tuf de Remila

La répartition des précipitations par saison est typiquement méditerranéenne, caractérisée par une période pluvieuse en hiver, allant du mois de novembre jusqu'au mois de mars.

Les températures au niveau de la zone varient entre 11 et 15° l'hiver, et plus de 25° en été.

II.3. Réseau hydraulique et ressources hydriques de la région

L'oued Remila est le cours d'eau le plus important au niveau de la zone d'étude, la zone est déchiquetée par une multitude de ravins à écoulement temporaire drainant les eaux superficielles vers l'exutoire principal qui est la Soummam ou à travers des oueds plus ou moins importants.

A proximité du site d'implantation du gisement de tufs se trouve le cours de l'oued Remila à écoulement permanent, prenant naissance dans la zone de montagne, charriant constamment les matériaux arrachés aux versants.

La nappe aquifère d'oued Soummam est très bien connue et de nombreux forages d'exploitation y sont réalisés.

Elle alimente la majorité des agglomérations et localités situées autour de la vallée, elle est constituée par des alluvions de la plaine d'oued Soummam.

Cette nappe s'étend sur une longueur d'environ 36 km et une largeur allant de 700 à 2000 mètre, soit une aire moyenne de 60 km².

Son alimentation se fait à partir des précipitations, des inter-flux des affluents et des formations gréseuses et carbonatées qui affleurent sur les versants. L'axe de drainage principal étant l'oued Soummam. [19]

II.4. Infrastructure autour du site

A proximité du site de gisement se trouve un gisement d'exploitation d'argile pour briqueterie de Remila et un gisement exploité par la nouvelle briqueterie de la Soummam (Sarl NBS) qui s'approvisionne en argile à partir du même site. [19]

Conclusion

Le gisement de tuf de Remila est caractérisé par une grande valeur économique, aussi caractérisé par la facilité d'extraction et un bon emplacement par rapport ou route nationale.

Chapitre II. Conditions géologiques du gisement de tuf de Remila

L'exploitation du tuf de Remila est possible à ciel ouvert par méthode mécanique doit par du ripage, cette méthode consiste à trancher, et enlever à l'aide d'une ripe, au moyen d'un engin approprié de carrière (Bulldozer), on l'abattage du massif rocheux plus ou moins friable pour autre engins

Les conditions géologiques, climatiques et géographiques sont très favorables pour l'ouverture de ce gisement et son exploitation minière qui parait très rentable.

Chapitre III.

Méthodologie et matériels utilisés

Chapitre III. Méthodologie et matériels utilisés

Introduction

L'objectif de ce chapitre est de faire présenter la méthodologie de travail effectuée, le matériel utilisé, ainsi que les différentes techniques d'analyse et de séparation qui ont été faites pour déterminer la composition minéralogique et chimique des tufs les concentrés obtenus sur lesquels nous allons travailler.

III.1. Echantillonnage

C'est un prélèvement d'une fraction ou d'une matrice pour but de l'analyse physique et chimique ou minéralogique. Les techniques d'échantillonnage sont variées en fonction de la forme géométrique de l'aire (surface) et la nature de l'échantillon, il existe quatre méthodes de l'échantillonnage (méthode aléatoire, méthode diagonale, méthode carrée latin, méthode split lot). [20]

Le but visé est d'obtenir un éventail d'échantillons représentatifs qui reflète toutes les caractéristiques physiques et chimiques de l'ensemble du gisement de Remila.

Pour cela on a prélevé les échantillons à des endroits différents de la carrière. L'outil utilisé est une pioche pour creuser des trous d'environ 10 cm de profondeur et d'un diamètre d'environ 10 cm. Le poids total d'échantillon prélevé est de 30 kg, une quantité suffisante pour les différentes analyses de caractérisation et des essais de séparations à réaliser au laboratoire. Les échantillons prélevés sont mis dans des sacs en plastiques numérotés.

III.2. Préparation mécanique de l'échantillon

III.2.1. Concassage

Le concassage est un traitement mécanique qui sert à réduire le diamètre des grains des matières premières à un diamètre inférieur. À l'aide d'un concasseur à mâchoire de laboratoire de marque Fritsch Pulverisette, l'opération a été faite au niveau de laboratoire de la préparation mécanique la matière première initiale (échantillon) est sous forme de roche, après séchée à l'air libre pendant 24 heures, ensuite concassés à une dimension inférieure à 1 mm.



Figure III.1 Concasseur à mâchoire de laboratoire.

III.2.2. Homogénéisation et quartage

Le quartage est une opération indispensable pour une meilleure représentativité de l'échantillon. Avant cette opération, il est nécessaire de procéder à une homogénéisation qui est un procédé mécanique qui consiste à mélanger l'échantillon de tuf, dont on utilise le diviseur à rifle de marque Jones qui a couloire au niveau du laboratoire de préparation mécanique. 19 kg de tuf sont passé sur le diviseur plusieurs fois jusqu'à l'obtention d'un échantillon finale de 2,8 kg.

Ce procédé obéit à la loi de RECHARDSE exprimée par la relation suivante :

$$Q_i \geq kd^2 \quad (\text{III. 01})$$

$$m \leq \frac{Q_i}{kd^2} \quad (\text{III. 02})$$

$$m = 2^n \quad (\text{III. 03})$$

Avec : Q_i : Masse initiale à quarter.

m : Masse déterminant le nombre de quartage, utilisée comme moyen de vérification.

d : Diamètre de plus gros grain. n : Nombre de quartage.

k : Coefficient de répartition de la minéralisation (matériau hétérogène, $k = 1$). [21]



Figure III.2. Deviseur à couloires (marque Jones).

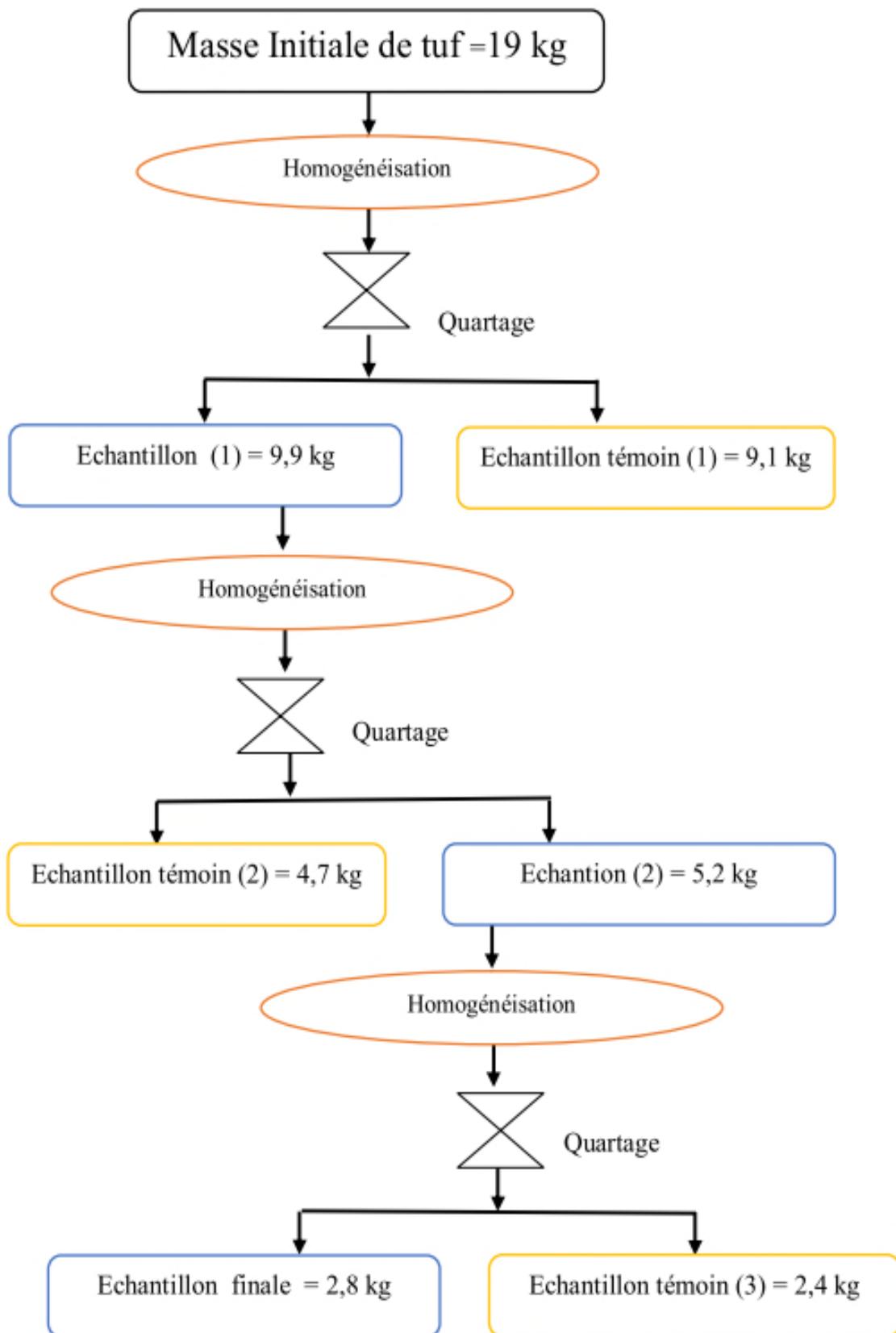


Figure III.3. Quartage de l'échantillon de tuf de Remila.

III.2.3. Analyse granulométrique par tamisage

Le tamisage consiste à répartir les grains d'un échantillon brut à travers une série de tamis de normalisée d'ouverture décroissante, ces ouverture rappelés " mailles " sont de forme carrées faites en toiles métalliques.

Le principe de cette manipulation consiste à prendre une quantité de 2,8 kg de tuf concassé et la versée dans le premier tamis de la série, constituée des tamis d'ouvertures de (4 mm, 2,5 mm, 1mm, 500 μ m, 250 μ m, 125 μ m, 63 μ m), montés dans une tamiseuse électrique et mise en marche pour une durée de 20 minutes.

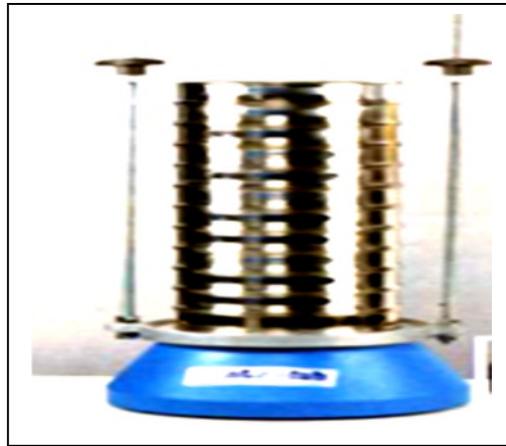


Figure III.4. Tamiseuse électrique.

La pesé des refus des tamis nous à permet de tracer la courbe granulométrique et d'en déduire les différent coefficients :

- Rendement pondérale " **P %** ".
- Rendement cumule des refus " **R %** ".
- Rendement cumule de tamisât " **T %** ".

On détermine aussi D_{10} , D_{30} , D_{50} , D_{60} qui représente respectivement les diamètres des éléments correspondant à 10%, 30%, 50% et 60% de tamisât.

Ses éléments nous permettent d'identifier le coefficient d'uniformité (C_u) et le coefficient de courbure (C_c) de l'échantillon.

*Coefficient d'uniformité (**C_u**)* : (coefficient de HAZEN) permet de savoir si la granulométrie est étalée ou serrée (Uniforme).

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} \quad (\text{III. 04})$$

Cu : Le coefficient de HAZEN ; D'après CAQUOT et KERISEL

- Cu < 2 : La granulométrie est serrée (uniforme).
- Cu > 2 : La granulométrie est étalée.

Coefficient de courbure (Cc) : vient en complément de coefficient de HAZEN dans la classification des sols. Afin de déterminer si la granulométrie est bien graduée (un sol est mal gradué si une fraction des grains prédomine). Le coefficient de courbure est donné par l'équation suivante :

$$C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}} \quad (\text{III. 05})$$

- 1 < Cc < 3 : La granulométrie est bien graduée (continuité bien répartie).
- Cc < 1 et Cc > 3 : La granulométrie est mal graduée (continuité mal répartie). [21]

III.2.4 Broyage

Le broyage est l'opération qui permet la réduction de la l'échantillon de l'état granuleux à l'état de poudre de finesse déterminée, au moyen de divers appareils travaillants par effet de chocs, d'écrasement etc. [21]

Le broyage de l'échantillon est effectué par un broyeur à planétaire de marque Fritsch au laboratoire de préparation mécanique, pour préparer une quantité de 100 g de chaque classe granulométrique, à utilisé dans les analyses chimique et DRX.



Figure III.5 Broyeur planétaire de marque Fritsch.

III.3 Caractérisation minéralogique

La détermination des principales phases minéralogiques constituant de tuf sont déterminées par la méthode des diffractions par rayons X.

III.3.1 Principe de la diffraction par rayons X

La diffraction des rayons X est une méthode d'analyse minéralogique des matériaux cristallisés. Elle s'applique sur des poudres ou des échantillons massifs, elle sert à la détermination de la nature des phases minérales et à leurs quantifications. Actuellement la diffraction des rayons x intervient dans la quasi-totalité des thématiques et constitue un complément indispensable aux observations optiques, microscopiques ou spectroscopiques. La condition de la réflexion est donnée par l'équation de BRAGG :

$$n\lambda = 2d \times \sin\theta \quad (\text{III.06})$$

Avec ; n : ordre de la diffraction (entier).

λ : La longueur d'onde des rayons x.

d : La distance inter réticulaire entre deux plans diffractants d'un cristal ;

θ : L'angle entre le faisceau incident et les plans diffractants, il dépend que du réseau du cristal .

La méthode générale consiste à bombarder le matériau par un faisceau de rayons X monochromatique ($0,1 \text{ \AA} < \lambda < 10 \text{ \AA}$) de longueur d'onde, produit par une anticathode de cuivre, à mesurer l'angle par rapport au rayonnement incident des rayons X diffractés et l'intensité des rayonnements X diffractés au moyen d'un compteur à scintillation. Celui-ci tourne autour du même axe que l'échantillon mais à une vitesse double de celle de l'échantillon. Pour un angle d'incidence θ , l'angle mesure par le déplacement du compteur sera donc de 2θ .

Le traitement des diffractogrammes ou spectres s'effectue à l'aide d'un logiciel basé sur les fiches d'une base de données faisant correspondre les distances inter réticulaires d aux angles 2θ enregistrés. La position des pics de diffraction permet l'identification des structures ou phases cristallines présentes et donc la détermination de la composition cristallographique de l'échantillon analysé. [22]

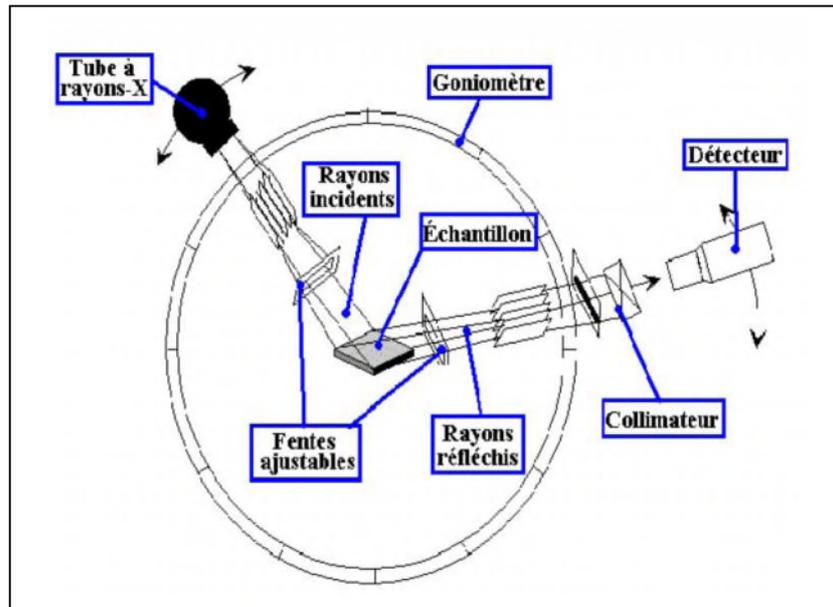


Figure III.6. Principe d'un spectromètre de diffraction des rayons X pour les échantillons en poudre.

III.4. Caractérisation chimique

La caractérisation chimique est effectuée par le spectromètre à Fx ; C'est une méthode non destructive, qui exploite la fluorescence des éléments dans le domaine des rayons X, pour obtenir les renseignements quantitatifs sur la composition chimique de l'échantillon analysé.

III.4.1. Principe d'analyse par spectrométrie à fluorescence X

La spectroscopie de fluorescence X est une émission de rayons X, elle caractérise les éléments atomiques qui composent l'échantillon. L'énergie des photons X est de l'ordre grandeur de l'énergie d'ionisation des électrons de cœur. Lorsqu'un photon X rencontre un atome, il a donc une probabilité d'éjecter un électron de cœur par effet photoélectrique, l'atome est alors dans un état excité. La désexcitation se fait par une transition électronique un électron d'un niveau plus élevé descend pour occuper la case quantique vide (place laissée vacante par l'électron éjecté). Cette transition électronique provoque l'émission d'un photon X.

En analysant le spectre de rayons X émis par la matière, on peut en déduire la composition élémentaire de l'échantillon (concentration massiques) et à partir d'étalonnage, il est possible de déterminer l'épaisseur de revêtements. La technique d'analyse comprend deux parties :

Une source d'excitation provoque l'émission d'un spectre de rayons X caractéristique de la composition de l'objet.

Un détecteur est un analyseur de rayonnement : identifie les raies composant le spectre. [22]

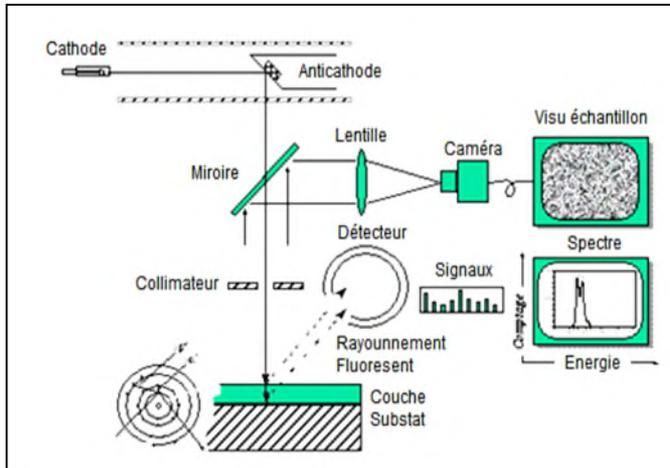


Figure III.7 Principe de méthode de la fluorescence X.

Figure III.8 Diffractomètre de FX de marque Philips.

III.5 Caractérisation morphologique

III.5.1 Analyse par microscopie électronique à balayage (MEB)

La microscopie électronique à balayage (MEB) a été réalisée dans le but de caractériser les échantillons de Tuf, en les explorant à une échelle beaucoup plus réduite (de 1 à 30 mbar). Cette caractérisation a l'avantage de mettre en évidence la variabilité et la composition chimique des différents grains, leur forme, leur état de surface et de libération ainsi que les types d'associations de grains susceptibles d'être rencontrés dans chaque échantillon.

III.5.2 Principe de l'analyse par microscopie électronique à balayage (MEB)

Le principe du microscope électronique à balayage (MEB) consiste en un faisceau d'électrons balayant, point par point, la surface de l'échantillon à analyser qui en réponse, réémet des signaux.

Ces signaux (électrons rétrodiffusés et électrons secondaires) sont analysés par différents détecteurs qui permettent de reconstruire une image en trois dimensions de la surface. Les électrons secondaires sont des électrons arrachés par ionisation.

Les électrons rétrodiffusés sont accélérés dans la colonne, ils pénètrent dans l'échantillon avant de revenir en surface. Les électrons Auger sont des électrons émis lors de la désexcitation d'un atome. Leur faible énergie est caractéristique de l'élément émetteur. [22]

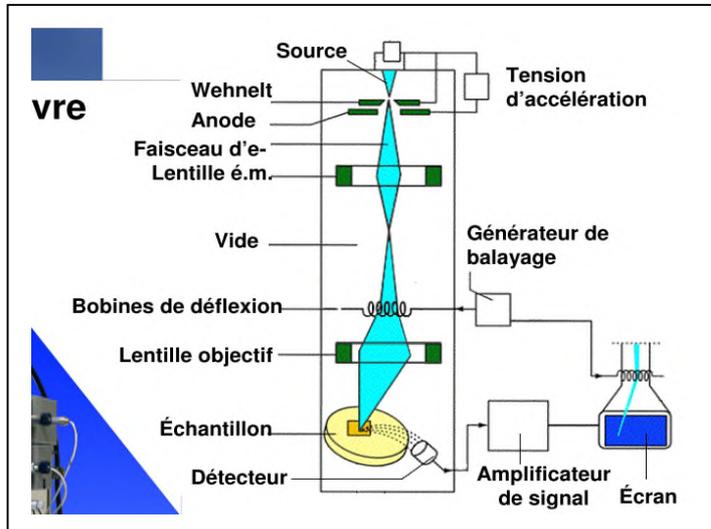


Figure III.9. Principe de fonctionnement de MEB



Figure III.10. MEB

III.6. Essais de séparation des minéraux de tuf de Remila

La séparation est effectuée pour éliminer certaines impuretés ferrugineuses et augmenter la teneur de certains minéraux de valeur.

Les propriétés magnétiques de ces minéraux (impuretés) peuvent-être utilisées pour leur séparation, en appliquant la méthode de séparation magnétique.

III.6.1. Principe de la Séparation magnétique (S.M.H.I)

La séparation magnétique exploite les propriétés magnétiques des matériaux afin d'effectuer leur séparation. La susceptibilité magnétique est la propriété d'un matériau qui détermine son comportement dans un champ magnétique.

La séparation magnétique est accomplie par entraînement des matériaux susceptibles lors de leur passage à travers un champ magnétique. Voir la figure III.12. Ce dernier peut être produit à l'aide d'un aimant permanent ou d'un électroaimant. [23]

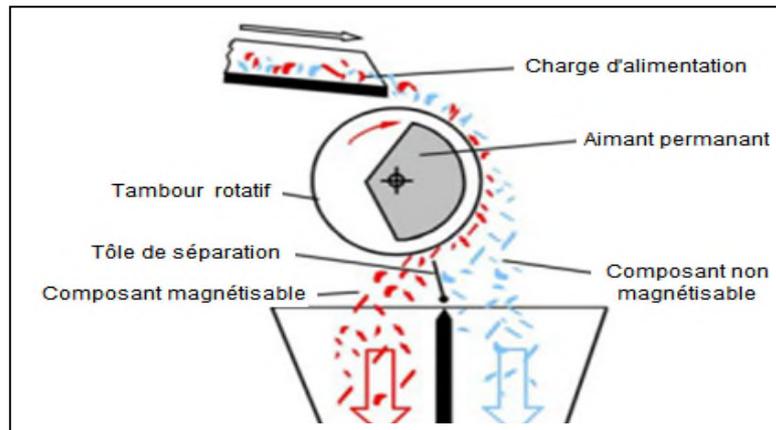


Figure III.11. Principe de la séparation magnétique.

III.6.2 Essais de séparation magnétique

La séparation est réalisée par un séparateur magnétique à retour induit à haut intensité. En prendre Deux échantillon de 50 g chacun, sont préparés à une granulométrie de (125-250) μm et (250-500) μm et soumis on 3 testes de séparation magnétique à différentes intensités soit 50 pour chaque intensités de 4A, 8A et 12 A.

Les essais sont réalisés en se basant sur la variation de l'intensité du courant électrique, et cela nous à permet de savoir quelle est l'intensité électrique la plus adéquate pour la réalisation d'une bonne séparation.

Le séparateur est réglé à une intensité de, $I= 4\text{A}$. 50g de notre échantillon sont alimentés au séparateur par un alimentateur vibrant horizontal, et cela pour chaque tranche cités ci-dessus.

Le procédé de séparation des essais suivants, a eu lieu dans les mêmes conditions du premier essai, mais avec des intensités plus élevée de $I= 8\text{A}$ et $I=12\text{A}$.

Même chose pour les échantillons de deuxième tranche [250-500] μm , en prendre 50 g de l'échantillon, a chaque fois en varié l'intensité de courant.



Figure III.12. Séparateur magnétique (SMHI).

Conclusion

Les échantillons prélevés sont soumis a une préparation mécanique adéquate pour leur préparation aux différente techniques de caractérisation (minéralogique, chimique, morphologique) un autre échantillon est utilisée dans des essais de séparation magnétique.

Les résultats des analyses et l'essai de séparation attendus seront présentés au prochain chapitre avec l'interprétation.

Chapitre IV. Résultats et discussion

Chapitre IV. Résultats et discussion**Introduction**

Dans le présent chapitre, nous allons interpréter les différents résultats de travaux de caractérisation et d'identification des tufs de Remila ainsi que les essais de la séparation magnétique.

IV.1. Caractérisation de minerai**IV.1.1. Analyse granulométrique**

Les résultats obtenus par l'analyse granulométrique par tamisage sont mentionnés dans le tableau suivant, et interprétés sous forme de la courbe granulométrique de la (figure VI.2).

Tableau IV.1 Distribution granulométrique du tuf étudié

Ouverture de tamis (mm)	Masse (g)	Rendement pondéral (%)	Rendement cumulatif (%)	
			Refus (%)	Tamisât (%)
> 4	671,51	24,036	24,036	75,964
4 - 2,5	578,45	20,705	44,741	55,259
2,5 - 1	728,45	26,074	70,815	29,185
1 - 0,5	354,63	12,940	83,755	16,245
0,5 - 0,25	225,89	8,085	91,840	8,16
0,25 - 0,125	144,30	5,165	97,005	2,995
0,125 - 0,063	75,46	2,701	99,706	0,294
< 0,063	6,46	0,31	99,937	0,063
La somme	2785,15	-	-	-

Les pourcentages des refus ou des tamisât cumulés, sont représentés sous la forme d'une courbe granulométrique en portant les ouvertures des tamis en abscisse, et les rendement en ordonnée, sur une échelle arithmétique (figure VI.1). La courbe est tracée de manière3 continue.

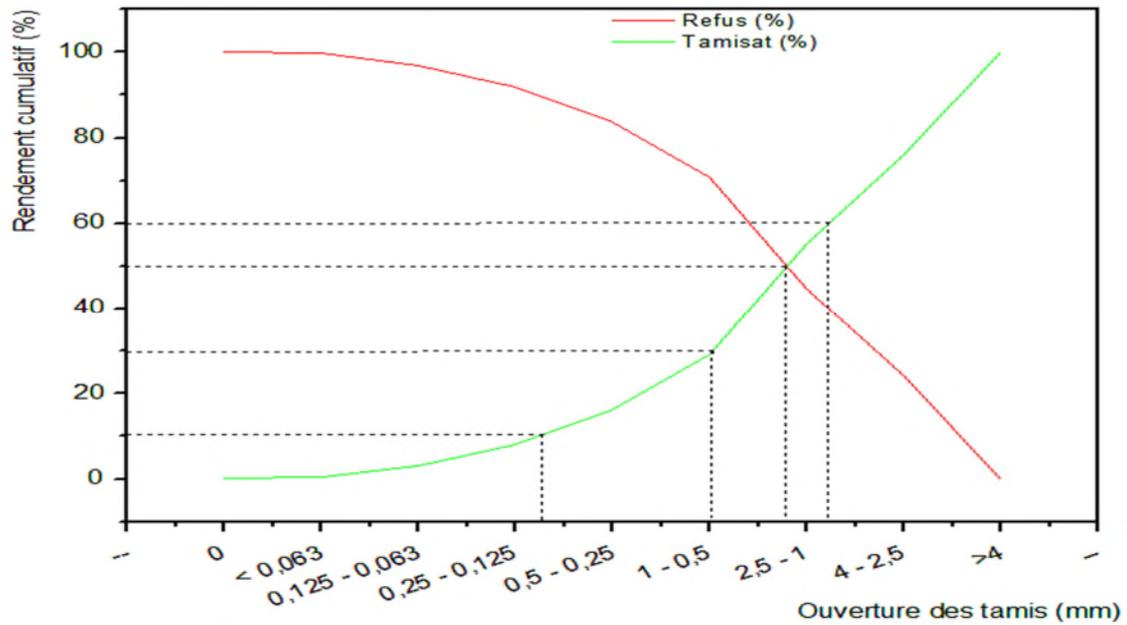


Figure IV.1. Courbe de la distribution granulométrique du tuf de Remila.

D_{10} , D_{30} , D_{50} , D_{60} représentent respectivement les diamètres des éléments correspondant à 10%, 30%, 50% et 60% du tamisât. D'après la courbe nous obtenons par projection.

- $D_{10} = 0,296 \text{ mm}$
- $D_{30} = 1,01 \text{ mm}$
- $D_{50} = 2,125 \text{ mm}$
- $D_{60} = 2,875 \text{ mm}$

Ses éléments nous permettent d'identifier notre échantillon en calculant le coefficient d'uniformité (C_u) et le coefficient de courbure (C_c) comme suit :

Coefficient d'uniformité.
$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} \quad (\text{IV. 01})$$

$$\text{A. N : } C_u = \frac{2,875}{0,296} = 9,71$$

$C_u > 2$: La granulométrie est étalée.

Coefficient de courbure.
$$C_c = \frac{D_{30}^2}{D_{10} \cdot D_{60}} \quad (\text{IV. 02})$$

$$\text{A. N : } C_c = \frac{0,99^2}{0,296 \cdot 2,875} = 1,15$$

$1 < C_c < 3$: La granulométrie est bien graduée (continuité bien répartie).

IV.1.1. Rendement pondéral en fonction de la granulométrie

L'analyse granulométrique par tamisage a montré que le rendement obtenu le plus important est remarqué à la tranche granulométrique (1 - 2,5) mm, et le plus bas rendement obtenu dans la tranche granulométrique $< 0,063 \mu\text{m}$, donc on distingue que la répartition des grains de tuf n'est pas homogène, car la majorité du tamisât se concentre dans les tranches de (4 - 0,5) mm.

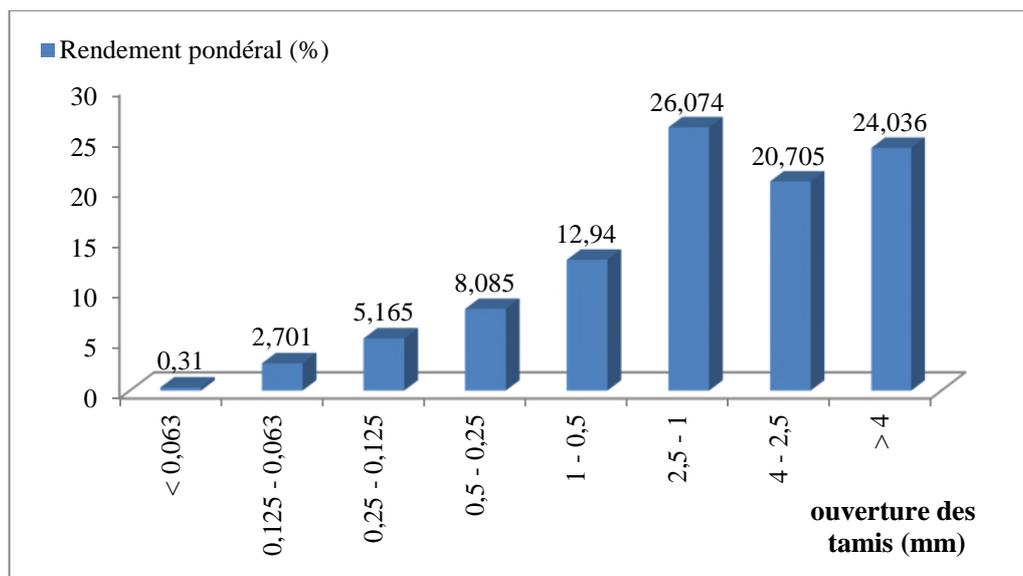


Figure IV.2. Rendements pondéraux en fonction des ouvertures des tamis.

IV.1.2. Caractérisation minéralogique du tuf de Remila

IV.1.2.1. Analyse par Diffraction des Rayon X (DRX)

L'étude minéralogique réalisée par la diffraction des rayons X, à pour but de détermination des différents constituants minéralogiques de notre tuf et de leurs proportions relatives.

L'analyse par la DRX est réalisé sur six (6) échantillons en différentes tranches granulométriques ($063 - 125 \mu\text{m}$, $125 - 250 \mu\text{m}$, $250 - 500 \mu\text{m}$, $500 - 10^3 \mu\text{m}$, $(1 - 2.5) \text{ mm}$, $(2.5 - 4) \text{ mm}$).

Les résultats d'analyse de différentes classes granulométriques obtenus sont présentés par les diffractogrammes de la (figure VI.3) et la (figure VI.4). Et les autres diffractogrammes des tranches $(125-250 \mu\text{m}$, $(250-500 \mu\text{m}$, $(1-2.5) 10^3 \mu\text{m}$, $(2.5-4) 10^3 \mu\text{m}$ sont porté sur l'annexe (I).

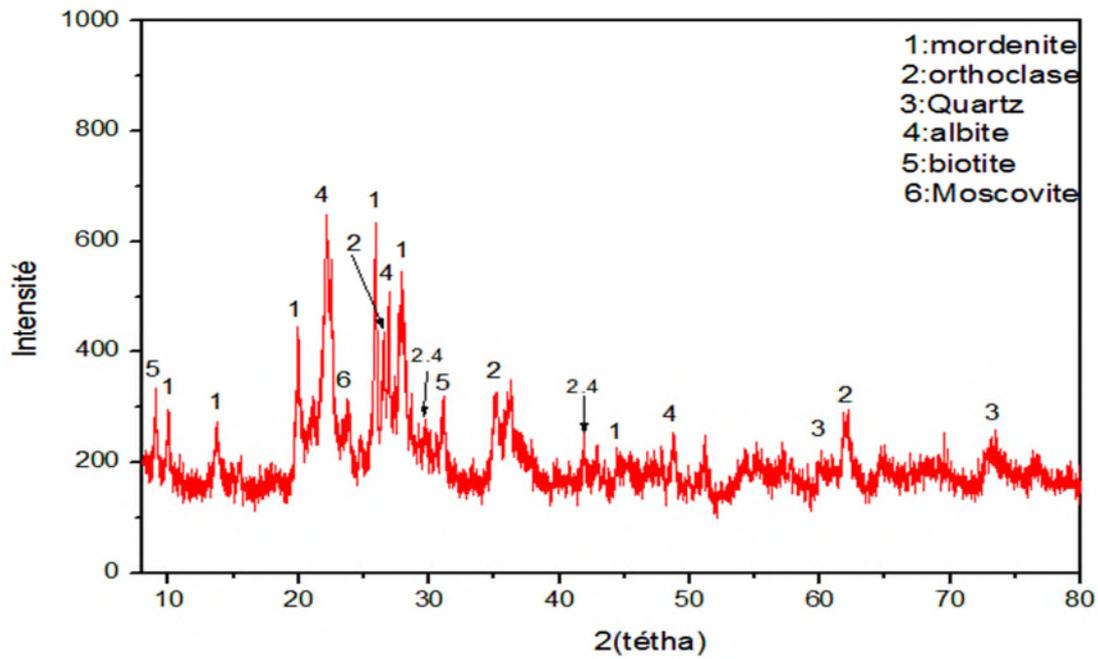


Figure IV.3 Diffractogramme de la tranche (+63, -125) μm des tufs étudiés.

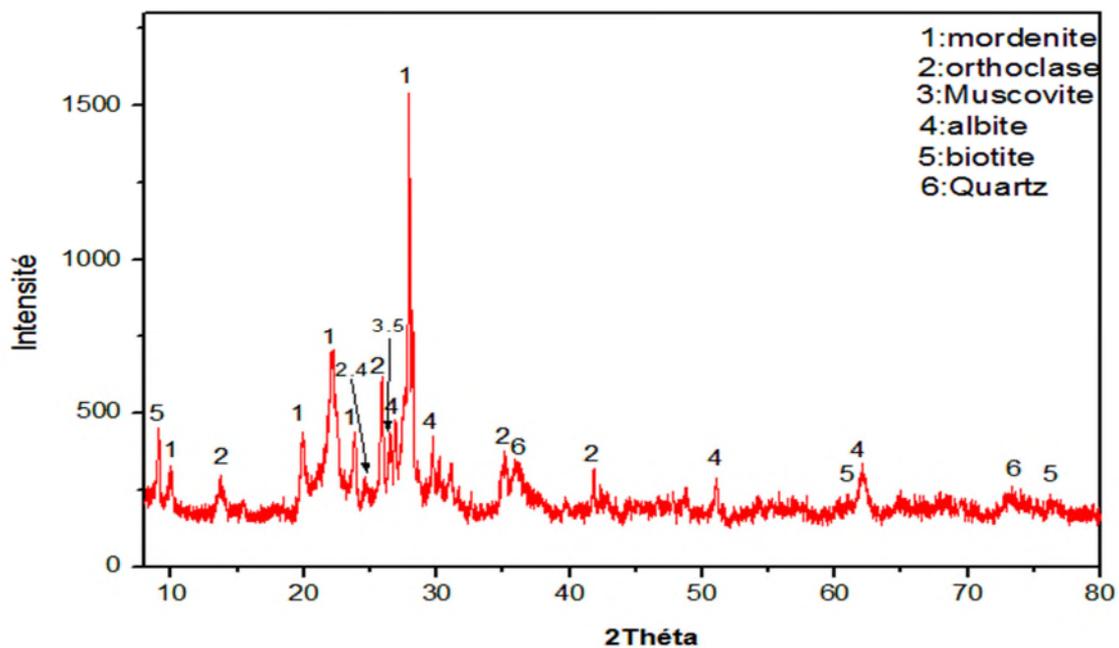


Figure IV.4 Diffractogramme de la tranche (+500, - 10^3) μm des tufs étudiés.

L'analyse par DRX mis en évidence que notre tuf confirmé la présence des pics caractérisant des minéraux aluminu-silicate présenté par la mordenite (zéolite naturelle) ainsi que des feldspaths présents principalement par les minéraux (albit et orthoclase et sanidine), les phase micacées sont représentées essentiellement par la biotite et la muscovite alors que les silice représentée par les quartz.

Le tableau ci-dessous résume les minéraux essentiels et secondaires existents dans les différentes tranches granulométriques analysées.

Tableaux IV.2. Principales phases minéralogiques de tuf de Remila

Minéraux	Mordénite
	Quartz
	Albite
	Orthoclase
	Biotite
	Muscovite

IV.1.3. Caractérisation chimique

IV.1.3.1. Analyse par fluorescence X (FX)

L'analyse par spectroscopie fluorescence de rayon X. est réalisée sur trois échantillons de tuf brut de classes granulométriques différentes (125-250) μm , (250-500) μm et (500-10³) μm .

Les résultats des oxydes obtenus sont mentionnés comme suite dans le (tableau IV.3).

Tableau IV.3. Composition chimique de tuf obtenue par (FX).

	Oxyde	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	K ₂ O	Cl ⁻	PAF
Classe granulométrique	(10 ³ -500) μm	63,41	16,68	2,118	6,42	2,56	0,29	3,228	0,006	5,231
	(500-250) μm	64,06	16,24	4,79	6,82	2,65	0,34	3,172	0,008	5,92
	(250-125) μm	61,35	14,46	3,45	7,49	2,69	0,38	2,78	0,010	7,382

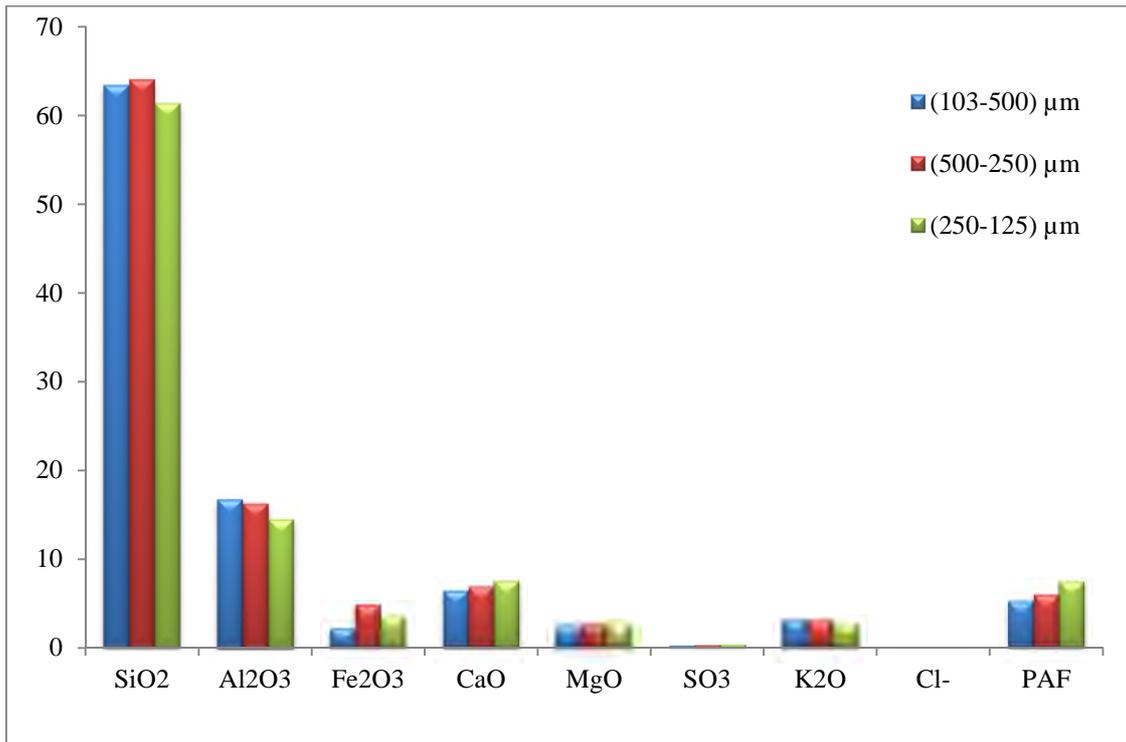


Figure IV.5. Histogramme de la composition chimique du tuf par tranche.

D'après les résultats en remarque que les teneurs de différents oxydes sont presque les mêmes pour toutes les classes granulométrique, avec prédominance de la silice (SiO₂) de teneur comprise entre (61,53 et 64,06) % et la alumine (Al₂O₃) comprise ente (14,46 et 16,24) %.dans les tranche granulométrique fine c'est-à-dire en (125, 500) µm. Et on remarque une légère augmentation de la teneur de l'oxyde de fer (Fe₂ O₃) dans les tranche intermédiaire (250, 500) µm, alors que les reste des oxydes sont de teneur faible.

Les valeurs du rapport SiO₂/AlO₂ sont comprises entre 3 et 5, cela s'explique par la forte teneur en silice, l'analyse chimique par FX a montré que le tuf est basique car (SiO₂ < 66 %).

IV.1.4. Caractérisation morphologique

IV.1.4.1. Analyse par la microscopie électronique à balayage (MEB)

La morphologie de l'échantillon de tuf étudié est déterminée par microscope électronique à balayage (MEB), des images ont été obtenues voir (figures IV.06) montré que les différentes minéraux présent dans l'échantillon analysé, et leur répartition.

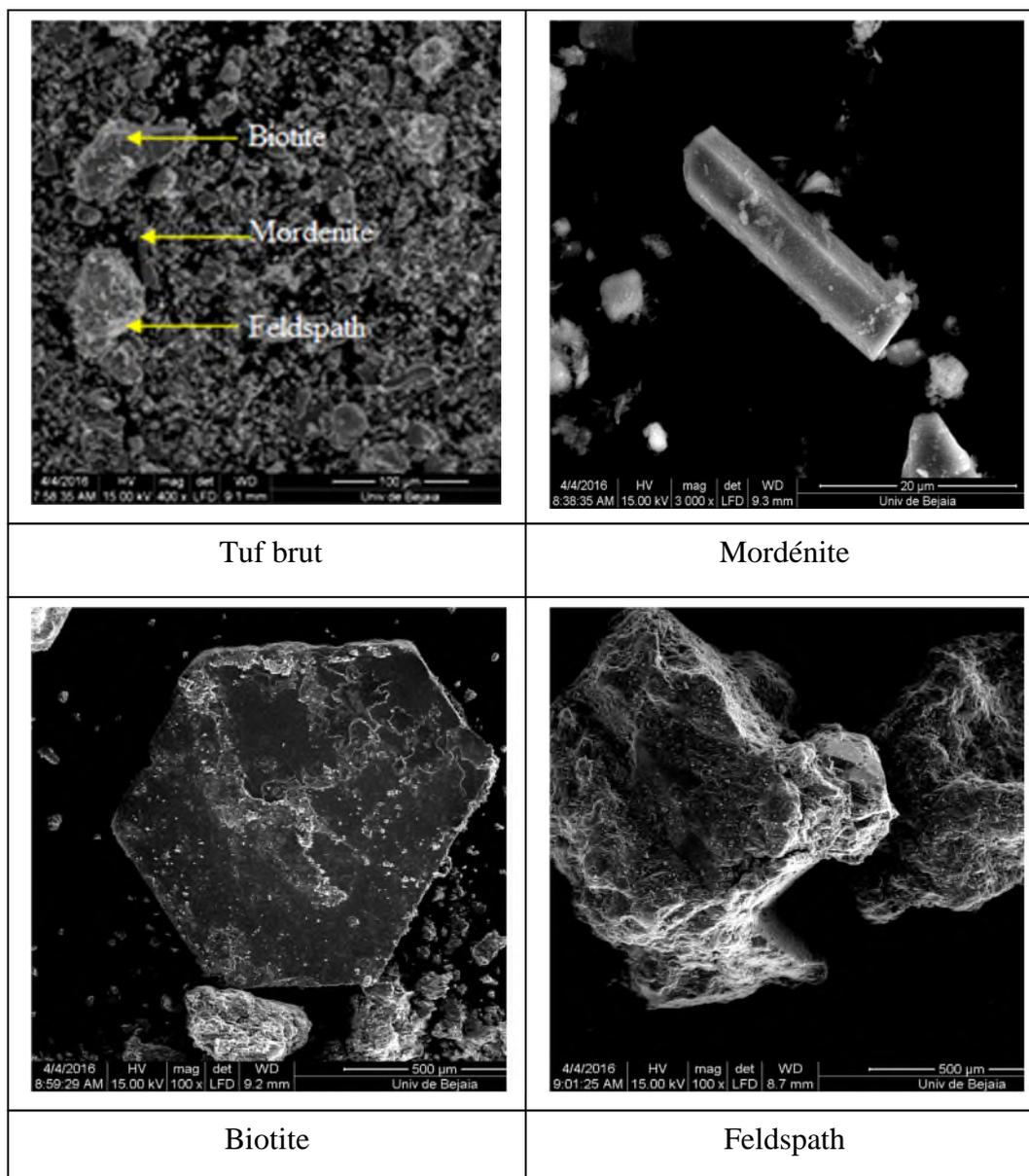


Figure IV.6. Images de MEB de tuf brut (feldspath, biotite et mordénite)

Les images de MEB présentées ci-dessus au dessus montrant que l'échantillon de la fraction globale brut est hétérogène, et de structure poreuse avec des tailles et forme des grains défiante et aléatoire.

A l'échèle de 100 μm il existe plusieurs minéraux classé selon la forme et la taille des cristaux et même aussi la couleur des grains, dans notre cas on remarque l'existence des trois principaux minéraux décèles par les analyse DRX précédente (mordénite, biotite et feldspath).

IV.1.4.2. Micro analyse EDX

Les analyses semi qualitatives par EDX de l'échantillon de tuf volcanique de Remila à l'état brute, à montré la présence des éléments suivants : Al, Si, Mg, Na, K, Fe, P et Ti (figure.VI.10) avec une concentration de Si et de Al plus élevée, alors que les autres éléments présent, sont à des concentrations plus faibles. .

Ces résultats confirment ceux des analyses chimiques précédant qui ont révélés la présence de ces éléments cité ci-dessus.

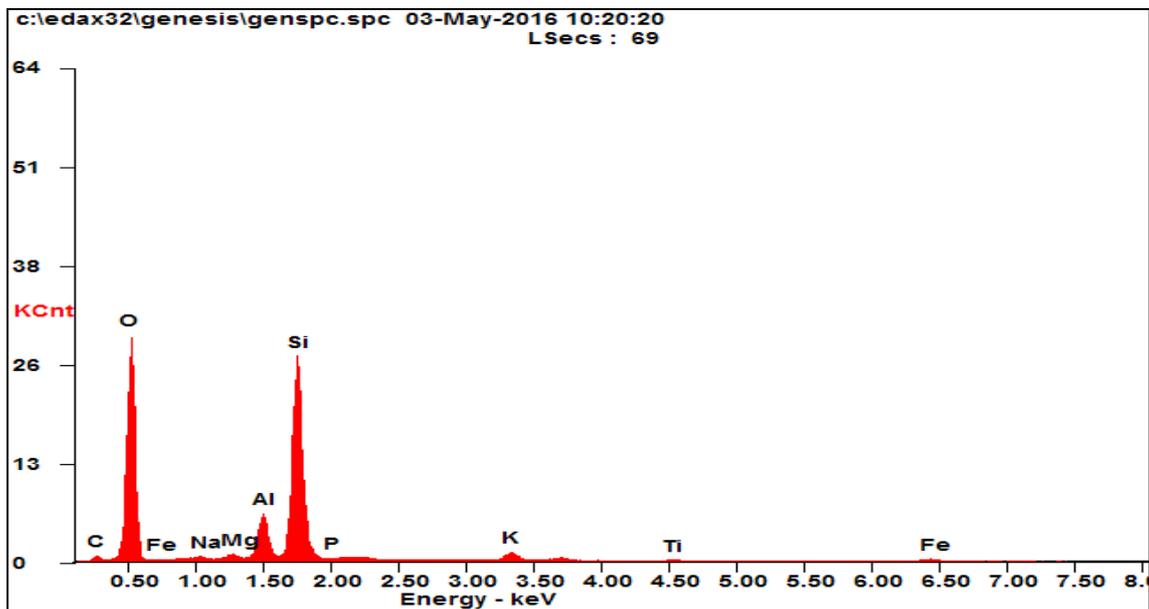


Figure IV.7. Spectre de dispersion en énergie (EDX) du tuf brut (zone globale)

IV.2. Essai de séparation des minéraux de tuf de Remila

Suivant les résultat de la caractérisation de notre tuf, on a remarque l'existence des fractions qui présentent des propriétés magnétiques, qui peuvent être utilisé pour la séparation magnétique.

IV.2.1. Séparation magnétique

La séparation magnétique à haute intensité est réalisé au niveau du laboratoire de minéralurgie du département des mines à l'université de Annaba, pour but d'élimination de la phase ferreuse présentée par les micas (biotite et muscovite).

La séparation est réalisée sur deux tranches granulométriques (125 - 250) μm et (250 - 500) μm , à des intensités électriques de 4, 8 et 12 Ampère .

Les résultats de l'essai de séparation magnétique est représenté dans le tableau suivant :

Tableau.IV.4 Résultats des l'essais de la séparation magnétique.

Classe granulométrique	Poids	Intensité électrique (A)										
		4A		8A		12A						
125 µm - 250 µm	50g	FM	FNM	FM	FNM	FM	FNM					
		Rendement(%)	12.7g	36.4g	28.54g	20.74g	35.2g	13.21g	26.42			
250 µm - 500 µm	50g	FM	FNM	FM	FNM	FM	FNM					
		Rendemen(%)	11.3g	38.11g	26.77g	23.07g	31.13g	18.27g	22.6	76.22	53.54	46.16

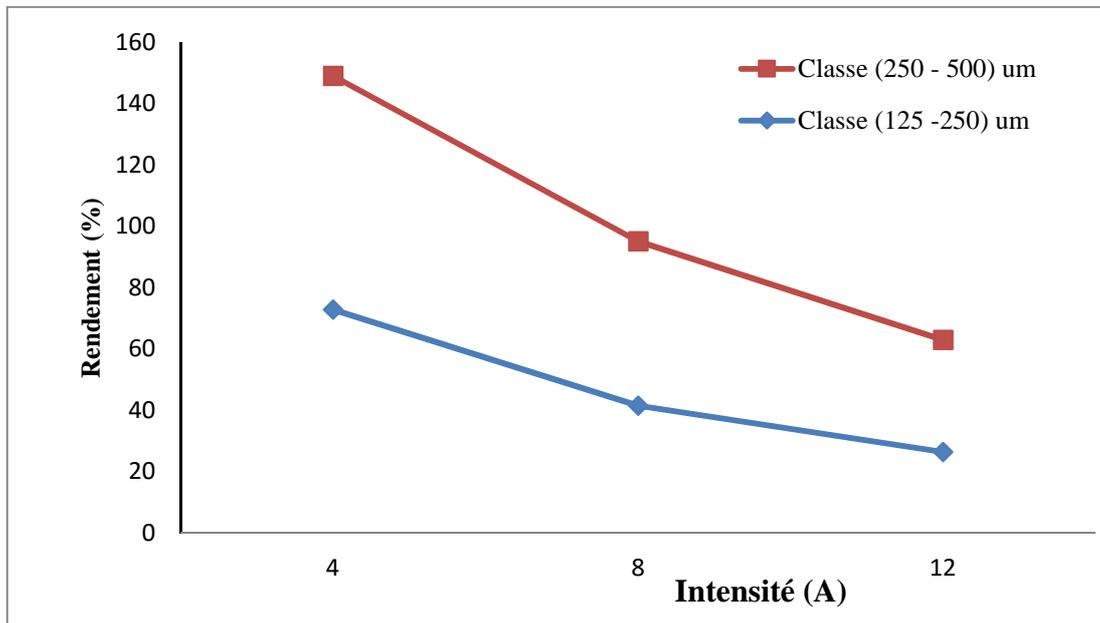


Figure IV.8. Variation de rendement en fonction de l'intensité appliquée (FM).

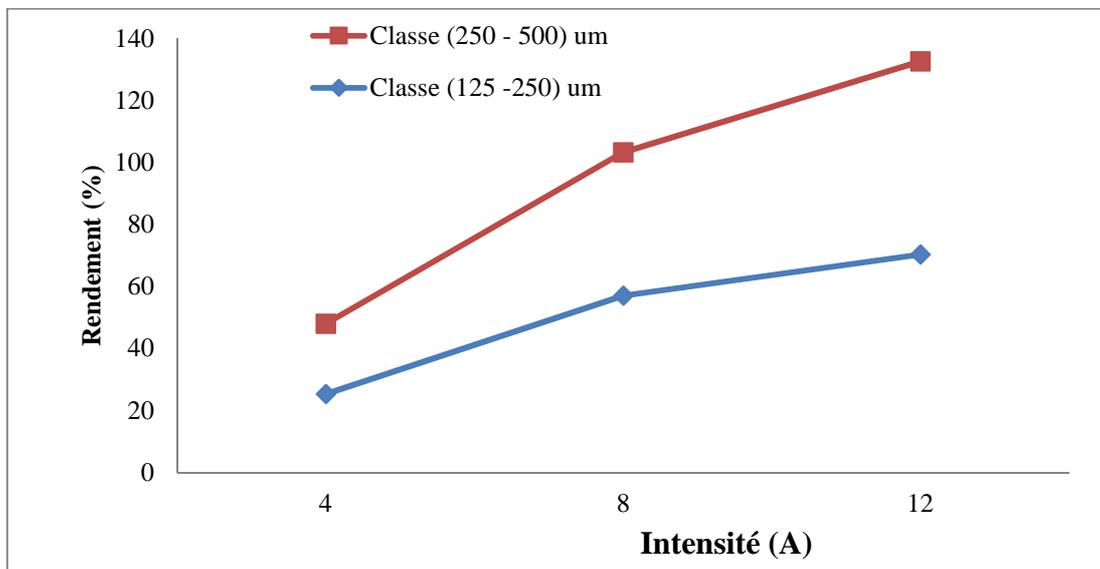


Figure IV.9. Variation de rendement en fonction de l'intensité appliquée (FNM).

La séparation magnétique à haute intensité (SMHI), appliquée sur les tufs volcaniques de Remila à différentes intensités de courants de courant électrique à donné les résultats suivants :

La récupération de la fraction magnétique (FM) dans la tranche (125 - 250) μm et (250 - 500) μm est relativement le même, pour toutes les intensités appliquées.

On remarque aussi que lorsqu'on augmente l'intensité de courant le rendement de la fraction magnétique est augmenté. Contrairement à fraction non magnétique. La Rendement de la fraction magnétique à 4A est compris entre (22 et 25) % et pour 8A est comprise entre (57 et 53) % et dans l'intensité de 12A est comprise entre (70 et 62) %. Et contrairement pour la fraction magnétique.

VI.2.3. Analyse des fractions magnétiques et non magnétiques par DRX

Une série d'analyses minéralogiques par DRX ont été faites sur les concentré (FNM) et les rejets (FM) de séparation magnétique de tuf de granulométrie de (125 - 250) μm dont l'objectif de déterminer les phases minéralogiques de la fraction magnétique et la fraction non magnétique de notre échantillon. Voir les figures (IV.10) et (IV.11).

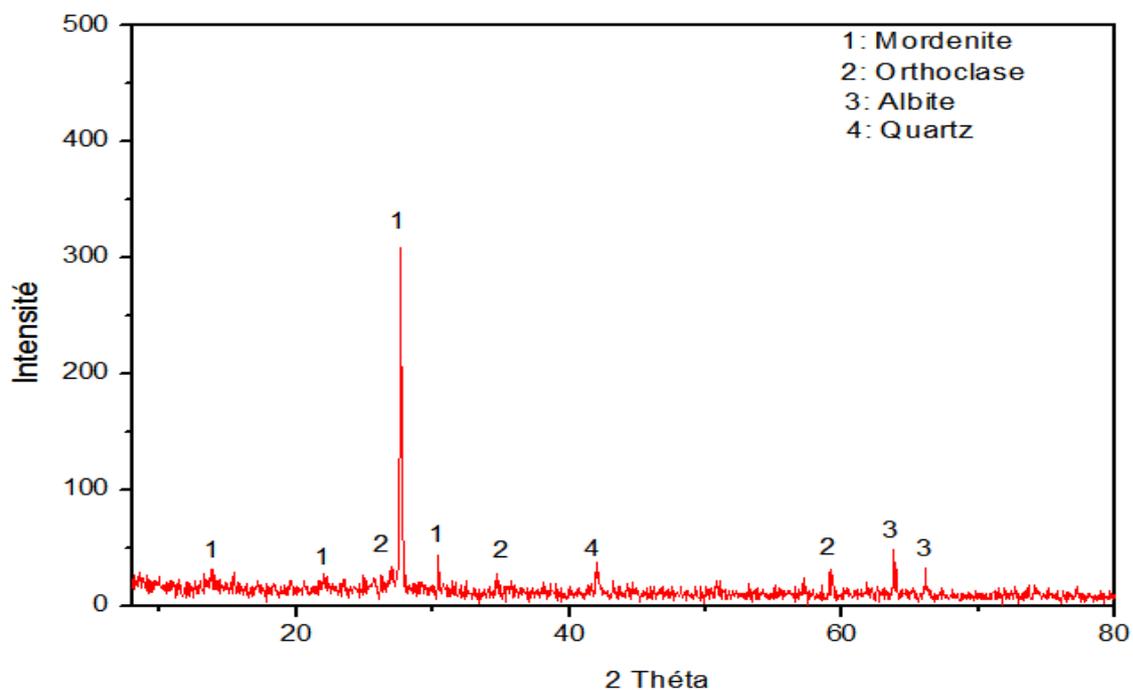


Figure IV.10. Diffractogramme de la (FNM).

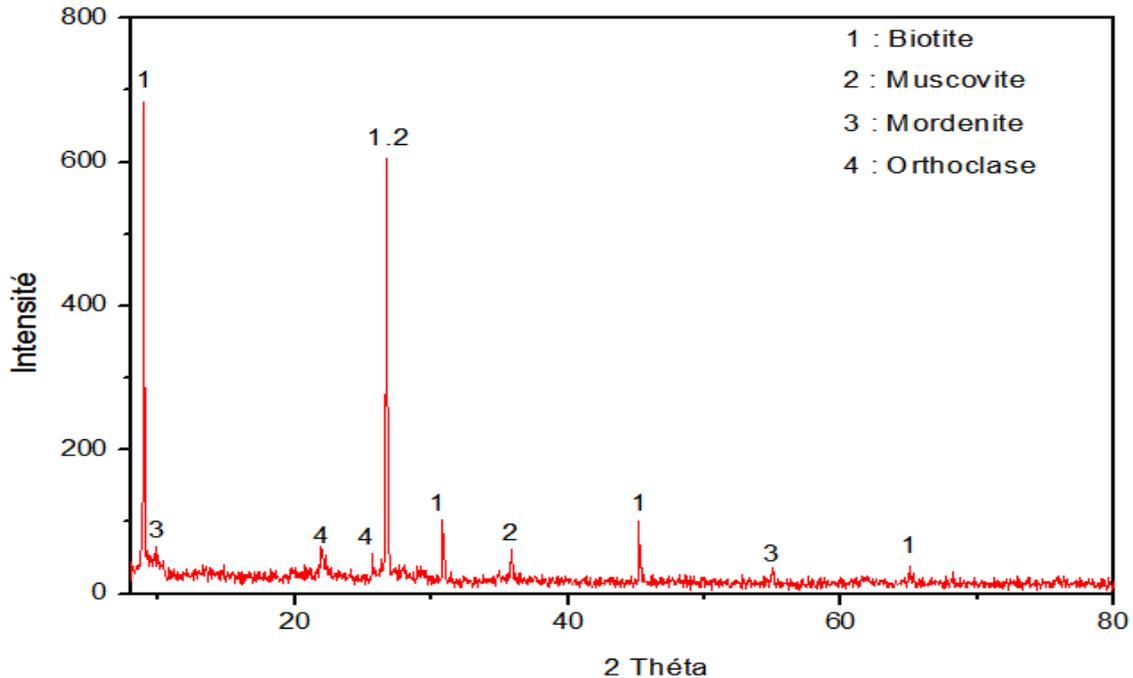


Figure IV.11. Diffractogramme de la (FM)

Les analyses de DRX de la fraction non magnétique à montré la présence de quatre phases principales présentées, par la mordenite et les feldspaths (orthoclase et albite) même aussi le quartz. L'absence de la biotite confirmer les bons résultats de la séparation magnétique effectués.

Les analyses de DRX de la fraction magnétique à montré la présence de deux phases principales présentées par la biotite et la muscovite. Aussi on remarque une présence de la mordenite et l'orthoclase.

L'augmentation du rendement de fraction magnétique est due à la présence de mordenite et les feldspaths par suite de l'augmentation de l'intensité électrique de 4 à 12 A.

Conclusion

D'après les résultats obtenus des analyses effectuées sur le tuf volcanique on conclue :

L'analyse minéralogique par DRX montre que les phases minéralogiques essentielles de tuf de Remmila sont ; la mordenite (Zéolite naturel) et les feldspaths.

L'analyse chimique par FX montrant que notre tuf est riche en silice et en alumine.

Les résultats de MEB montrant que la fraction globale de tuf volcanique présente une texture hétérogène, et montré aussi que la texture très poreuse ça donne la possibilité d'utiliser notre tuf comme adsorbant.

Les essais de la séparation magnétique donnent des bons résultats à l'intensité de 12A avec toutes les tranches granulométriques.

Les analyses minéralogiques par DRX de notre échantillon montrent que les fractions magnétiques sont la biotite et la muscovite et les fractions non magnétiques sont mordenite et les feldspaths.

Suite à notre caractérisation le tuf de Remila présente des caractéristiques intéressantes pour son utilisation dans divers domaines.

Chapitre V. Etude des propriétés d'usage des tufs de Remila

Chapitre V. Etude des propriétés d'usage des tufs de Remila

Introduction

D'après les études de caractérisation minéralogique, chimique et morphologique présenté au chapitre précédent, nous constatons que le tuf de Remila est riche en minéraux silicates dont les feldspaths et les mordenite présentés à des proportions très élevées, cette composition en ces minéraux paraît très favorable pour diverses applications industrielles agricoles et environnementales.

On présente dans ce chapitre, nous essayons d'exploiter les propriétés de ces minéraux par leur usage comme l'adsorption et pour améliorer la qualité des bétons et des mortiers.

V.1. Application des tufs de Remila comme adsorbant

Le tuf de Remila contient plus de 50 % de mordenite de type de zéolite naturelle, caractérisée par une structure très poreuse.

V.1.1. Zéolite naturelle

Les zéolites ont été décrites la première fois par le minéralogiste CRONSTADE en 1756 après avoir découvert un minéral (stilbite) qui perdait de l'eau quand il était chauffé sans que sa structure aluminosilicate, les zéolites sont considérées comme un groupe des minéraux à part, composé d'une grande variété d'espèces minérales.

La zéolite est une famille de minéraux (tectosilicates) construits par des aluminosilicates cristallins et des éléments des groupes I et II comme les actions. La formule chimique générale d'une zéolithe est



Où les cations M de valence n neutralisent les charges négatives du squelette aluminosilicate.

Ces minéraux sont constitués par un réseau de tétraèdres de SiO_4 et AlO_4 connecté par des atomes d'oxygène formant une architecture tridimensionnelle avec des canaux et des cavités de dimension moléculaire (2 à 12 Å), favorisant des échanges cationiques et la circulation des molécules entre des espaces entre cristallin et le milieu qui l'entoure. [14]

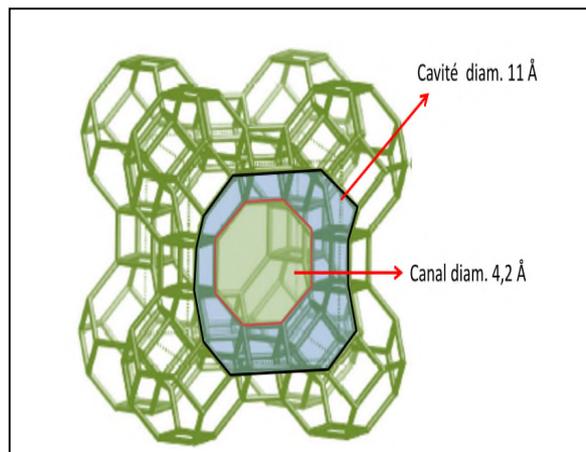


Figure V.1. Structure de zéolites. [28]

Les propriétés physico-chimiques des zéolites dépendent de leur type structural (taille des grains largeur des canaux, surface spécifique dimension des pores ainsi leur composition chimique, le rapport (Si/Al) de la charpente et du nombre des cations mobile. Ces propriétés conduisant à un certain nombre d'application dans les domaines de l'échange ionique l'adsorption et catalyse.

V.1.1.1 Propriété physico-chimique de zéolite

- A. Adsorption :** les propriétés d'adsorption des zéolites liées à leur porosité, et à leur surface spécifique sont exploitées dans nombreuse application en phase liquide ou gaze.
- B. Catalyse :** les zéolites présente à l'intérieur de leur structure des sites capable de catalyser des réactions chimiques.
- C. L'échange ionique :** la substitution d'un ion Si^{+4} par un ion Al^{+3} d'un la charpente d'une zéolite crée une charge négative qui doit être compensées par un cation. [14]

V.1.1.2 Utilisations des zéolites naturelles

Les zéolites peuvent servir d'agents déshydratants en raison de leur caractéristique à se déshydrater facilement.

Les zéolites adsorbent l'eau afin que ses cations puissent reprendre leur place dans un lieu à coordinence plus élevée.

Les zéolites peuvent également être utilisées comme échangeuses d'ions. Une zéolite possédant des ions Na^+ peut être employée pour adoucir l'eau tout simplement en

échangeant ces ions avec les ions Ca^{+} de l'eau dure. On utilise aussi les zéolites dans les lave-vaisselles en l'ajoutant aux détergents afin de capter les polyphosphates qui sont néfastes à l'environnement. Les zéolites sont aussi utilisées comme catalyseurs, leurs cavités fournissent une grande surface interne permettant de loger 100 fois plus de molécules que la quantité des catalyseurs amorphes.

La zéolite est une molécule qui est stable et peut être produite avec une reproductibilité plus grande que leur compétiteur. Le tamis moléculaire que représente la zéolite peut être exploitée pour contrôler les molécules ayant accès aux sites actifs et ainsi produire des catalyses très sélectives.

Dans toutes ces utilités, l'utilisation première de la zéolite est comme adsorbant. Les zéolites déshydratées ont des structures poreuses ouvertes et offrent une grande surface interne qui permet d'adsorber de grandes quantités de substances autres que l'eau, la dimension des pores permet de sélectionner les molécules à être adsorbées. Sa capacité de tamisage est exploitée dans la purification ou la séparation de milieux. La structure des zéolites peut facilement être déterminée par les rayons-X. [27]

V.1.2. ADSORPTION

Le procédé de séparation par adsorption constitue aujourd'hui une des technologies les plus importantes, elle est largement utilisée pour la dépollution et la purification dans des domaines très variés, par exemple les industries pétrolières, pétrochimiques et chimiques, aux applications environnementales et même pharmaceutiques.

Dans ce qui suit nous allons donner quelques généralités sur l'adsorption pour mieux définir l'importance de ce processus, expliquer sa cinétique, ses caractéristiques et les éléments influant l'adsorption.

V.1.2.1. Définition

L'adsorption peut être définie comme une opération fondamentale de Génie Chimique qui exploite l'aptitude de certains solides à concentrer spécifiquement à leur surface les constituants d'une solution permettant ainsi leur séparation. [29]

C'est un processus complexe au cours duquel des molécules viennent se fixer sur la surface de l'adsorbant. Les forces mises en jeu, sont des interactions physique ou chimique selon la

nature du système. Le solide est appelé adsorbant et la substance qui s'adsorbe, adsorbat. [24]

V.1.2.2. Types d'adsorption : La nature des forces mises en jeu permet de distinguer deux types d'adsorption :

A. Adsorption physique (physisorption) ou adsorption de Van der Waals : l'adsorption physique est un phénomène réversible qui résulte de l'attraction entre les molécules d'adsorbant composant la surface du solide et les molécules du soluté de la phase fluide, ces forces attractives sont de nature physique, comprenant les forces dites de Van Der Waals ne détruisant pas l'individualité des molécules et lorsqu'elles opèrent, correspondent à des énergies faibles qui sont de l'ordre de quelques kilojoules par mole. [29] Ce phénomène consiste essentiellement dans la condensation de molécules sur la surface du solide et il est favorisé en conséquence par un abaissement de la température. [25]

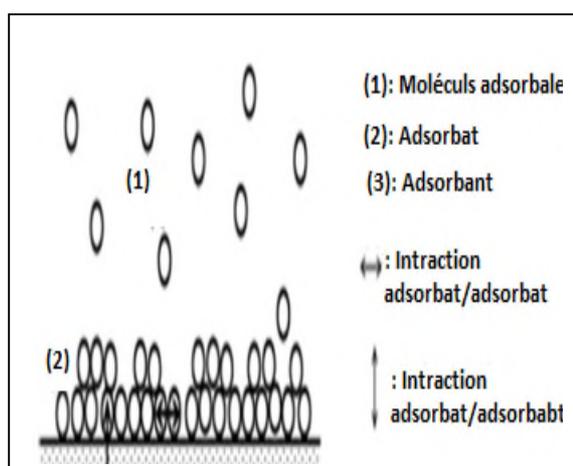


Figure V.2. Mécanisme d'adsorption physique. [29]

B. Adsorption chimique (chimisorption) : ou consiste en une interaction chimique. Les énergies de liaison mises en jeu sont de l'ordre de 40 kJ. mole⁻¹ et plus. C'est un phénomène qui, par sa spécificité, son énergie d'activation et sa chaleur dégagée, s'apparente à une réaction chimique entre molécule en solution et la surface du support. Il y a formation de fortes liaisons entre adsorbant et adsorbant (covalent par exemple). La couche adsorbée est au mieux mono moléculaire. Ce phénomène est plus lent que la physisorption et nécessite une énergie d'activation. [26]

V.1.2.3. Facteurs influençant le phénomène d'adsorption

L'équilibre d'adsorption, entre un adsorbant et un adsorbat dépend de nombreux facteurs dont les principaux sont :

- A. Les caractéristiques de l'adsorbant:** polarité, volume poreux, surface spécifique, fonctions superficielles.
- B. Les caractéristiques de l'absorbât:** polarité, solubilité, poids et saturation moléculaire.
- C. Les paramètres physiques:** température, pH, vitesse d'agitation, ...ets.

V.1.2.4. Mécanisme d'adsorption

Lors d'un transfert d'une phase liquide contenant l'adsorbat vers une phase solide avec rétention des solutés à la surface du solide appelé adsorbant. L'adsorption peut être décomposée en quatre étapes (figure V.3).

Etape 1 : Transfert de la particule (très rapide).

Etape 2 : Déplacement de l'eau liée jusqu'à être en contact du solide (Rapide).

Etape 3 : Diffusion à l'intérieur du solide sous l'influence du gradient de concentration (Lente).

Etape 4 : Adsorption dans un micropore (Très rapide).

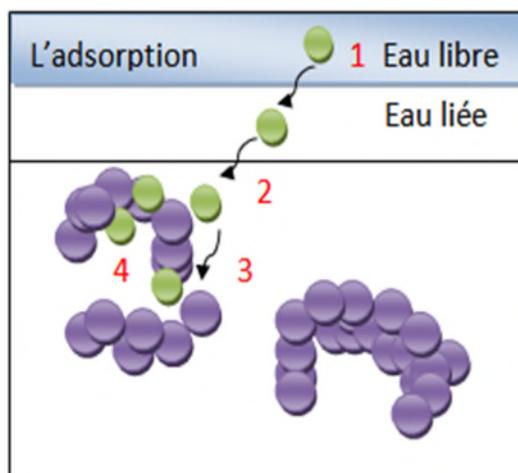


Figure .V.3. Schéma du mécanisme de transport d'un adsorbat au sein d'un grain. [28]

Au cours de l'adsorption d'une espèce sur un solide, le transfert de masse des molécules se fait de la phase fluide vers le centre de l'adsorbant. Ce processus s'opère au sein d'un grain d'adsorbant en plusieurs étapes.

V.1.3. Protocol expérimentale et les résultats obtenus

V.1.3.1 Détermination de la longueur d'onde maximale expérimentale du Bleu de Méthylène

Nous versons une solution de 100 mg/l, dans une cuve de 3 cm de longueur mise dans un spectrophotomètre d'U.V-Visible. Les valeurs obtenues après ce balayage nous ont permis de tracer le spectre de l'absorbance en fonction de la longueur d'onde. Ainsi, la longueur d'onde λ_{\max} du bleu de méthylène correspondante à l'absorption maximale qui est de l'onde 664 nm.



Figure V .4. Appareil de UV-Visible de marque Spectro scan.

V.1.3.2. Détermination de la courbe d'étalonnage pour la solution du Bleu Méthylène

Avant d'entamer nos réactions d'adsorption, il a été nécessaire d'élaborer une courbe d'étalonnage à partir de différentes concentrations de bleu de méthylène. Pour cela, on prépare une solution mère à 100 mg/l, ensuite on effectue des dilutions à partir de cette solution mère dans des volumes de 25 ml et des concentrations allant de 5 à 100 mg/l. Par la suite, on fait passer chaque solution dans le spectrophotomètre U.V-Visible. La courbe obtenue est représentée sur la (figure V.5)

Tableau V.1. Variation de l'absorbance en fonction de la cocentration de B-M.

C (mg/l)	5	10	20	40	60	80	100
Abs (nm)	2.47	2,48	2,49	2,521	2,548	2,591	2,595

La courbe de la variation de l'absorbance en fonction de la cocentration de bleu de méthylène.

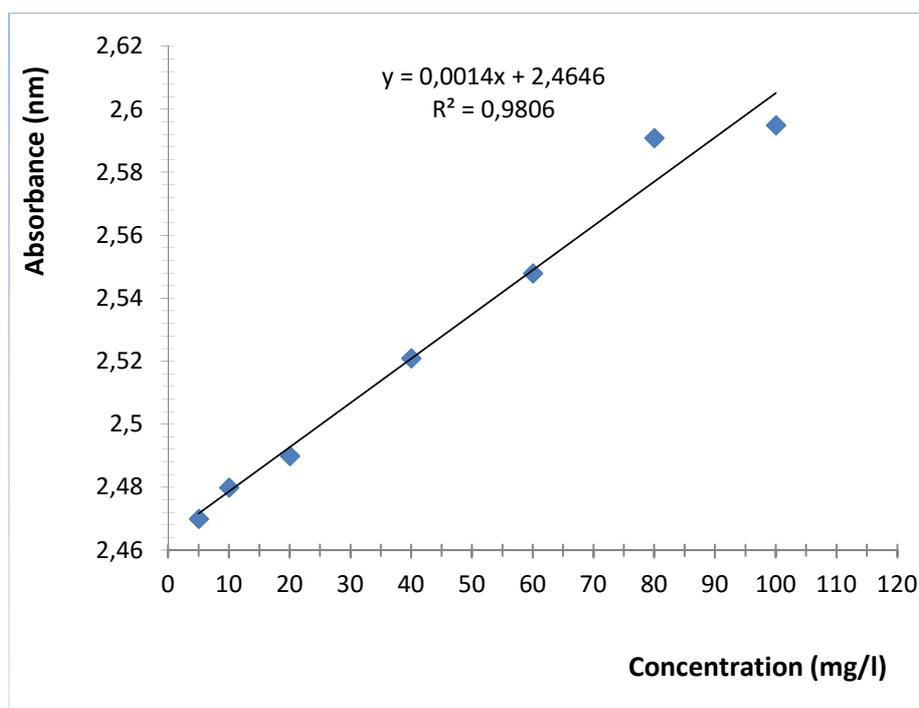


Figure V.5. Courbe d'étalonnage de bleu de méthylène.

V.1.3.3. Paramètres cinétiques influençant l'adsorption du Bleu de méthylène : plusieurs paramètres peuvent influencés le processus d'adsorption, dont nous avons choisi trois paramètres selon nous besoins.

- A. Effet du temps de contact :** l'étude de l'influence du temps de contact sur la taux de fixation de bleu de méthylène sur les tufs a permis de déterminer le temps d'équilibre correspondant à un état de saturation de l'adsorbat. Les autres paramètres de réactions sont pris comme suit ; une vitesse d'agitation de 400 tr/mn, une masse de 50 mg de tuf traité et 50 mg pour les non traité et 200 ml du bleu de méthylène de concentration à 60 mg/l. Les résultats d'expérience sont présentés dans les (figures 6 et 7).

Tableau V.2.Influence du temps de contact sur l'adsorption de B-M par les tufs

Temps (mm)	10	20	30	40	50	60	70	120
Taux (%)	20	40	60	80	100	100	100	100
Taux (%)	12,5	25	37,5	50	62,5	75	87,5	100

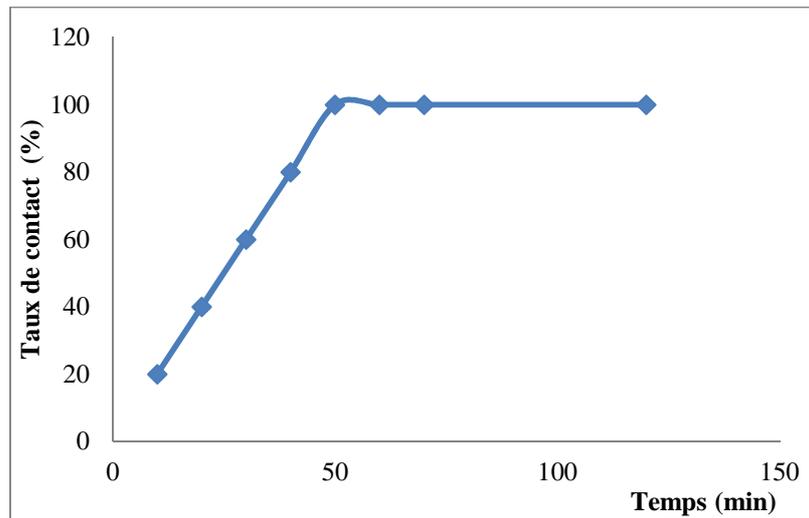


Figure V.6. Influence du temps de contact sur l'adsorption de B-M par les tufs traité.

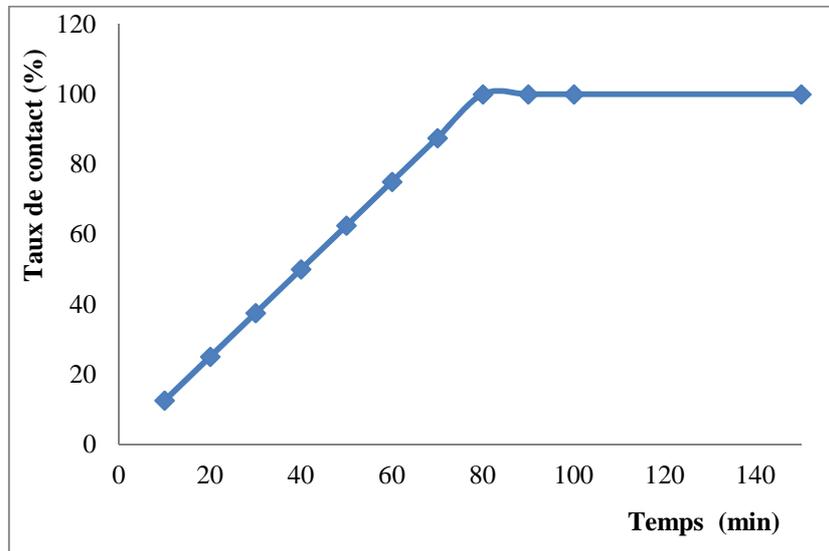


Figure V.7. Influence du temps de contact sur l'adsorption de B-M par les tufs non traité.

D'après les résultats figure (V 6- V 7) on remarque une augmentation du taux de l'adsorption en fonction de temps de contact. Pour les tufs traités le temps d'équilibre atteint

les 50 mn et pour les tufs non traité le temps d'équilibre atteint 80 mn. Ces variations montrés que l'adsorption est le plus rapide pour les tufs traités.

B. Effet de masse de l'adsorbant: ce test consiste à l'évaluation de la concentration de notre adsorbat bleu de méthylène en fonction de masse de l'adsorbant. Une série des expériences ont été réalisés afin de déterminer la masse optimale de l'adsorbant (tuf volcanique). On prend des masses de (50, 100, 150 et 200) mg de tuf traité et non traité, puis en verse dans des solutions de 75 ml de bleu de méthylène à une concentration de 60 mg/l, avec une vitesse de 400 tr/mn pendant 120 mn. Les résultats sont présentés dans les figures (8 et 9).

Tableau V.3.Influence de la masse du tuf traité sur l'adsorption de B-M

Masse (mg)	50	100	150	200
C (g/l) Tuf traité	40,1	33,2	20	5,12
C (g/l) Tuf non traité	40	25,34	20	9,8

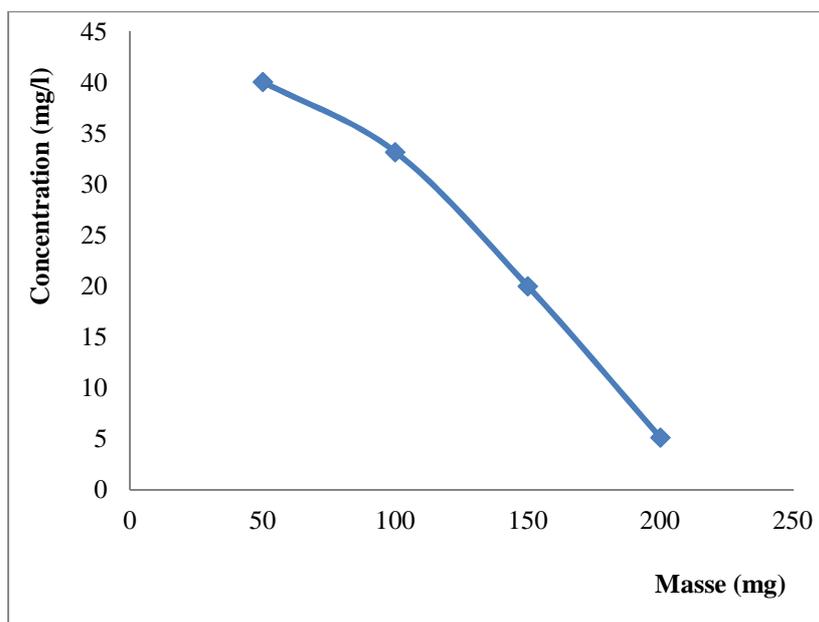


Figure V.8. Influence de la masse du tuf traité sur l'adsorption de B-M.

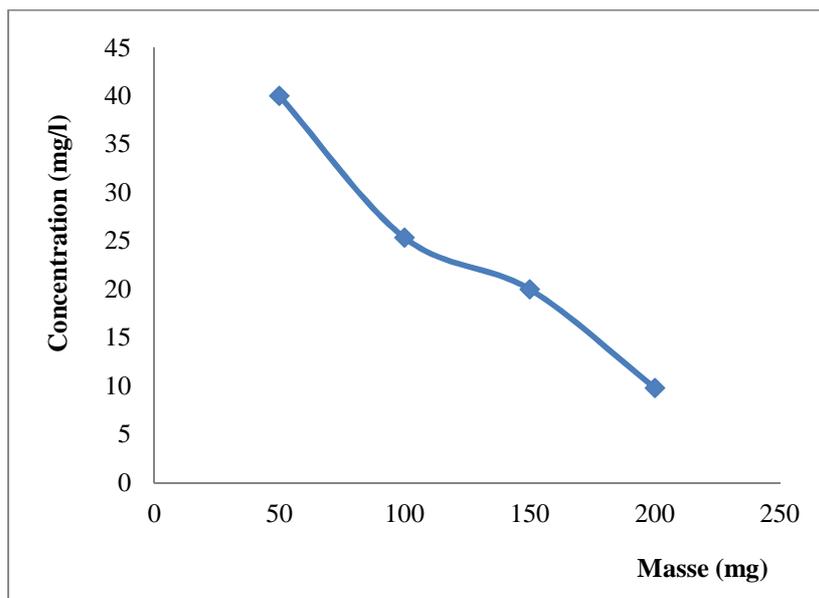


Figure V.9. Influence de la masse de tuf non traité sur l'adsorption de B-M.

D'après les résultats en remarque que la concentration de bleu de méthylène est diminué en fonction de l'augmentation de la masse de tuf. Nous constatons une diminution continue pour les tufs traité on la concentration passer de 33,2 mg/l à 17 mg/l pour la différence de 50 mg (suit de 100 mg à 17 mg), traduisse que pour le tuf non traité la diminution est ralentie (de 25 mg/l à 17 mg/l) pour différence de 50 mg et jusqu'à la de 200 mg la concentration raster à 10 mg/l, suit la double de la concentration du tuf traité à la même masse d'adsorbons.

C. Effet de taille des grains: IL présente l'évaluation de la concentration de notre adsorbant en fonction de la taille des grains de l'adsorbant. Une série des expériences an été réalisé afin de déterminer la granulométrie le plus efficace pour le phénomène d'adsorption. Pour cela nous prenons une masse de 50 mg de tuf (traité et non traité) de trois tranches différentes (+63, -125) μm , (+125, -200) μm et (+200,-500) μm , et les versés dans des solutions de 75ml de bleu de méthylène et des concentrations de 60 mg/l, avec une vitesse de 400 tr/mn pendant 120 mn. Les résultats sont présentés dans les figures (V 8 ET V 9).

Tableau V.4.Influence de la granulométrie de tuf traité sur l'adsorption de B-M.

Taille (μm)	63	125	200
C(g/l) de tuf traité	24,95	24,95	33,2
C (g/l) tuf non traité	34,12	33,3	33,3

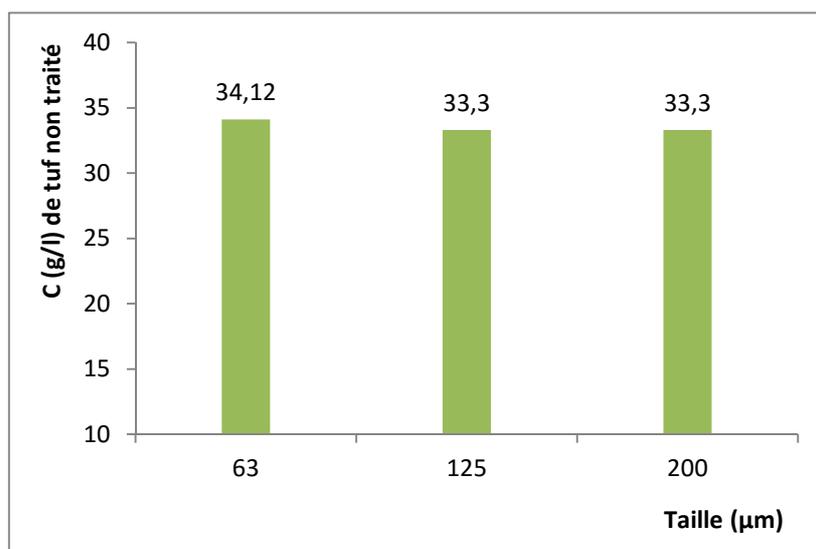


Figure V.10. Influence de la granulométrie de tuf non traité sur l'adsorption de B-M.

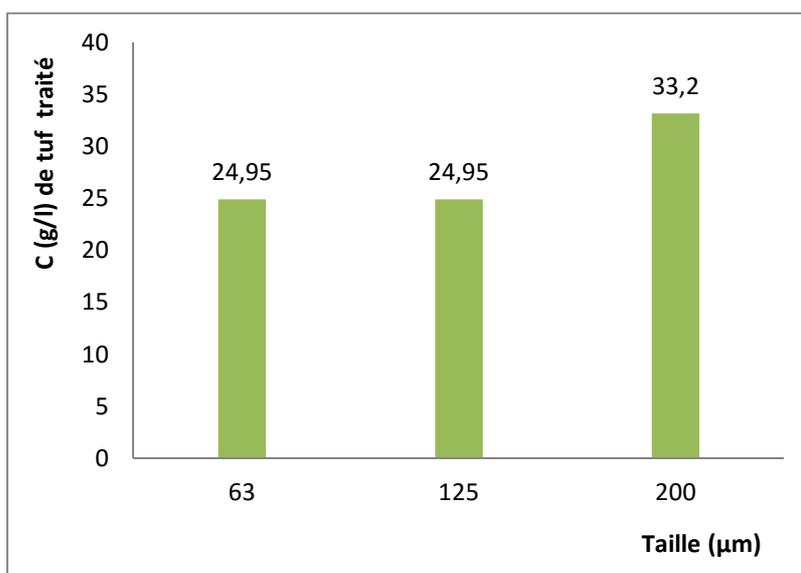


Figure V.11. Influence de la granulométrie de tuf traité sur l'adsorption de B-M.

D'après les résultats montrés par les courbes des figures (V10-V11). L'adsorption de bleu de méthylène est plus important pour les tufs traité, ou les concentrations on diminué de 60 mg/l jusqu'à 23 mg/l pour les fractions de 63 µm jusqu'à 200 µm et pour la fraction grossière (+200) µm on remarque que la quantité de bleu de méthylène adsorbé est moins (soit 33 mg/l), pour les tufs non traité les concentrations soit diminué de 60mg/l à 35 mg/l pour tous les tranches.

V.2. Utilisation des tufs de Remila comme liant hydraulique

Les tufs de Remila présente des propriétés qui peuvent être favorable pour d'utilisation dans des domaines des bétons et des mortiers, pour améliorer leur qualité physico-mécanique et précisément leur densité (béton légers).

V.2.1. Objectifs de manipulation

Les mortiers est le mélange des éléments secs avec le rapport Eau/Ciment=0,5.

Les mortiers est résultat d'un mélange sable, liant (ciment ou chaux) et l'eau dans des proportions données, qui son différente selon les réalisations. [30]

L'objectif par la préparation des mortiers qui contiens des pourcentages différente en tuf brute et traité, et d'examiner l'influence de l'utilisation de ces tufs sur densité (masse volumique) de mortiers et des bétons et sa résistance à comprissions des mortiers.

V.2.2. Confection des éprouvettes en mortier

L'essai consiste à préparer des éprouvettes témoins de mortier à l'aide d'un sable de carrière et autres éprouvettes qui contiennent des pourcentages différent en tuf brute et traité, pour estimer le degré de résistance entre les éprouvettes témoins et les autres éprouvettes.

V.2.2.1 Confection des éprouvette: on introduire dans le cuve de malaxeur 830 g de sable de carrière et 277 g de ciment (portland), puis mis malaxeur de type laboratoire de marque HOBART, en marche à vitesse lente, pondant 2 minutes, pour l'homogénéisation maximale à l'état sec.

Nous introduisons 138,5 ml d'eau dans la cuve de malaxeur et on fait en marche le malaxeur à une vitesse rapide et continue pendant 2 minutes.

On arrête le malaxeur, nous versons le mortier dans des moules prismatique (4*4*16) cm. La mise en place est réalisé par une table vibrante pour bien répartir la pâte dans les moules pondant 1 minute, à la fin en règle par une raclette les surfaces des éprouvettes, et on laisse pondant 24 h séché avant le démoulage. Et maitre dans l'eau pendant 7 et 14 jours. On prépare 3 éprouvette témoins.



Figure V.12. Eprouvettes de mortier.

De même manière de préparation des éprouvettes témoins. On prépare 12 éprouvettes des mortiers qui contiennent des tufs bruts à des pourcentages (10%, 20%, 30%).

Le tableau suivant montre les quantités des constituants utilisés pour la confection de ces éprouvettes.

Tableau V.5. Eprouvettes de mortier préparé.

Constituants	pourcentages utilisés			
	0% (témoins)	10%	20%	30%
Sable (g)	830	747	644	581
Ciment (g)	277	277	277	277
Eau (g)	138,5	138,5	138,5	138,5
Tuf brut (g)	0	83	166	249

V.2.2.2 Mesure des propriétés mécaniques (résistance à la compression) : les essais de la résistance mécanique à compression sont réalisés sur des éprouvettes prismatiques (4*4*4) cm après leur conservation dans l'eau pendant (7 et 14) jours. Par un presse de compression de marque DIGI MAX.



Figure V.13. Presse de mesure de la résistance à compression des mortiers.

On prend des éprouvettes témoins, et les éprouvettes qui contiennent le tuf à des pourcentages (10%, 20%, 30%), on applique une force de manière continue à une vitesse de 3KN/S, jusqu'à la rupture, et cela pour chaque type, et on fait la comparaison entre la résistance des éprouvette témoins et les autres éprouvettes.

On retient pour charge de rupture la charge maximale enregistrée au cours de l'essai. La résistance correspondant R_c en MPa.

$$R_c = \frac{F_{max}}{S} \quad (V.1)$$

- F_{max} : Charge maximale KN.
- S : Section de l'éprouvette m^2 .

V .3. Résultats

V .3.1.Masse volumique

Le volume de l'éprouvette est déterminé par la relation suivante :

$$V=L*L*L \Rightarrow V =64 \text{ cm}^3$$

Les résultats obtenus de la variation du masse des éprouvettes à 7 jours est présenté dans le tableau suivant.

Tableau V.6. Masses des éprouvettes après 7 jours des tufs bruts.

% de tuf	0%		10%		20%		30%	
Epreuve	1	2	1	2	1	2	1	2
Masse (g)	150,50	151,03	149,40	149,80	135,60	138,04	129,00	131,60
M.V (g/cm ³)	2,351	2,359	2,334	2,340	2,118	2,156	2,015	2,056

Les résultats obtenus de la variation du masse des éprouvettes à 14 jours est présenté dans le tableau suivant.

Tableau V.7. Masses des éprouvettes après 14 jours des tufs bruts

% de tuf	0%		10%		20%		30%	
Epreuve	1	2	1	2	1	2	1	2
Masse (g)	149,2	143,3	142,5	142,0	139,1	137,3	135,9	130,8
M.V(g/cm ³)	2,33	2,23	2,22	2,21	2,17	2,14	2,12	2,04

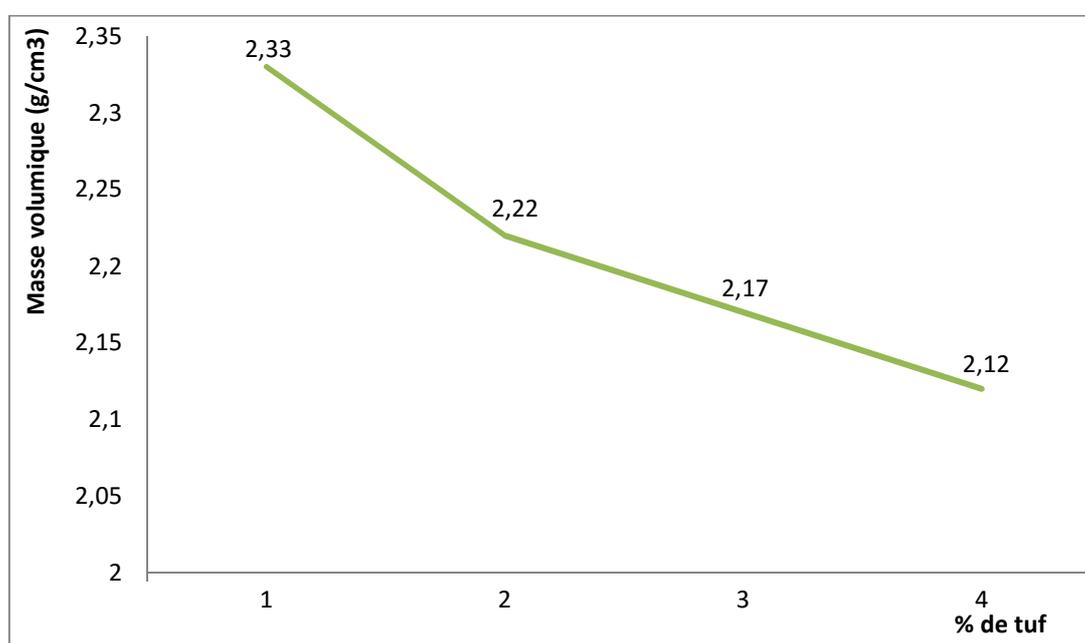


Figure V.14. Effet du tuf sur la masse volumique des mortiers.

D'après les résultats en remarque que la masse volumique de mortier est en diminution à chaque fois que on ajout un pourcentage de tuf volcanique au mortier, ça montre que les tufs sont de structure poreuse très légers, ont le même rôle de pouzzolane qui contribue à alléger les mortiers et les bétons

V 3.2. Résistance à compression

La résistance à compression est calculée par la relation (V.1).

La surface de l'éprouvette

$$S=4*4 \Rightarrow S=16\text{cm}^2$$

Les résultats obtenus de l'essai de compression des éprouvette à 7et 14 jours sont présenté dans le tableau suivant.

Tableau V.6. Résultats des essais de la résistance à la compression (RC) de tuf brut.

Jours	Type d'éprouvette	Charge (KN)	Résistance (MPa)	RC Moyenne (MPa)
7 jours	0%	30 ,20	1,8875	1,8625
		29,40	1,8375	
	10%	47,10	2,9437	2,9031
		45,80	2,8625	
	20%	30,90	1,9312	1,2125
		27,30	1,7062	
30%	16,60	1,0375	1,1406	
	19,90	1,2437		
14 jours	0%	34,80	2,1750	2,1250
		33,20	2,0750	
	10%	47,80	2,9875	3,0031
		48,30	3,0187	
	20%	32,70	2,2937	2,0999
		30,50	1,9062	
30%	21,70	1,3562	1,3987	
	23,10	1,4437		

La (figure V.14) présente l'effet de la variation de la proportion des tufs sur la résistance à la compression.

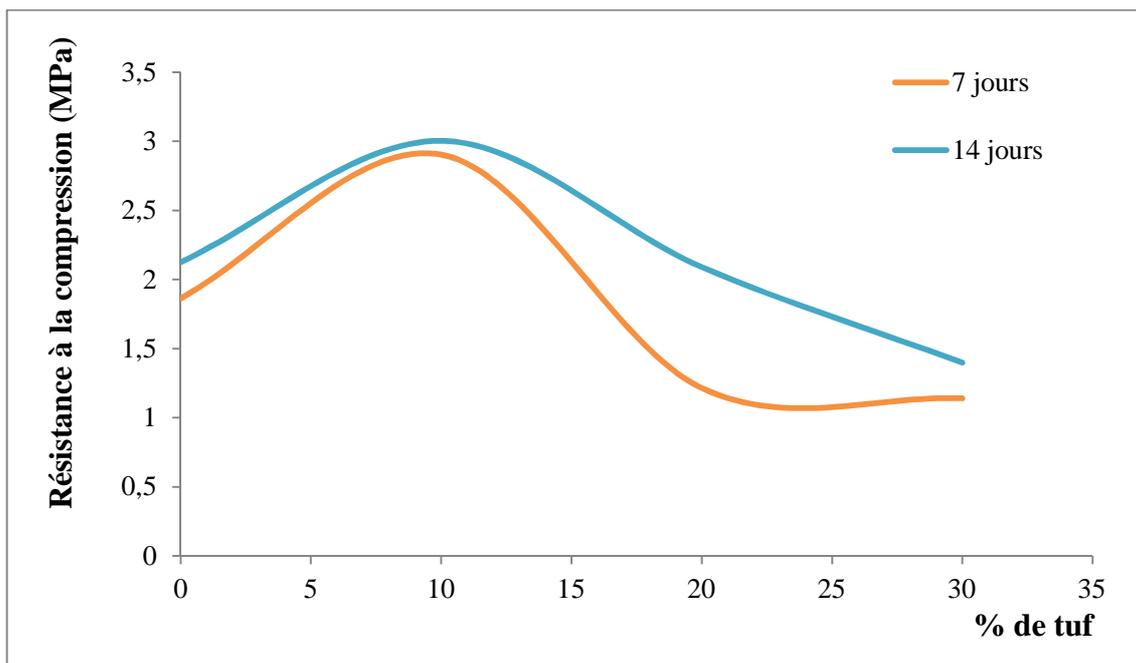


Figure V.15. Effet du tuf sur la résistance à la compression des mortiers.

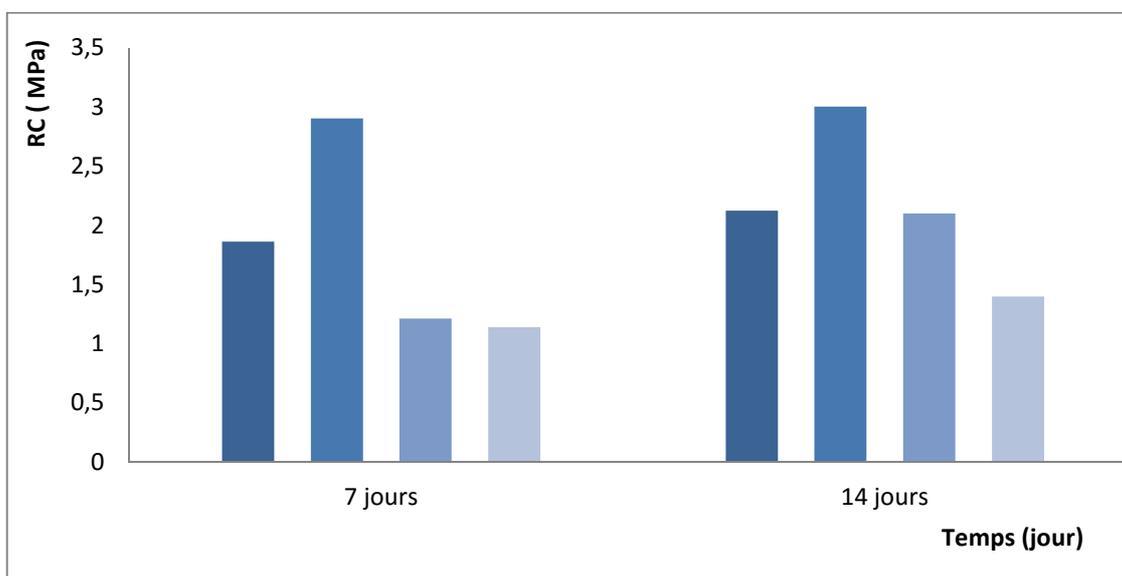


Figure V.16. Evolution de la résistance à la compression en fonction de temps.

D'après la (figure V.15) on remarque que ces mortiers développent des résistances qui restent toujours on évolution et cela à tous les âges. (Soit à 7 et à 14 jours).

D'après la (figure V.14) La résistance à la compression des éprouvettes qui contient 10 % de tuf brut à augmenter à 2.90 MPa par apport aux éprouvettes témoins qui ont 1.86 MPa ce qui

résulte que le tuf volcanique constitue une source de grande importance pour améliorer la qualité des mortiers et des bétons.

On remarque que l'ajout de tuf brut au mortier à des quantités de 20% et 30% réduit la résistance à la compression.

De 7^{ème} jours au 14^{ème} jours on observe une augmentation de la résistance des éprouvettes de mortiers à 10% de tuf volcanique de 3.0031 MPa ce que montre que l'ajout de tuf volcanique au mortier avec une quantité de 10 % par rapport au sable est suffisant pour améliorer la résistance à la compression.

Conclusion

D'après le travail effectué on conclue que :

Le tuf traité à une capacité d'adsorption plus que les tufs brut.

Le rendement d'adsorption est augmenté lorsque ont augmenté la masse de tuf pour les tufs traite et non traite.

D'après tout ça on conclue que les tufs volcaniques sont possibles d'utiliser dans le domaine d'adsorption comme absorbant.

L'ajoute de tuf volcanique élaboré à 10 % dans la fabrication des mortiers améliore leur qualité et leur résistance par apport aux éprouvette témoins que les autres pourcentages.

Conclusion générale

Conclusion générale

Ce mémoire traite la caractérisation tuf de Remila, et l'essai de traitement par la séparation magnétique, et le parti principal de notre recherche est étude les propriétés d'usage par l'essai d'utilisé ces tufs dans deux domaine principal (confection des mortiers et l'adsorption). Pout atteindre ces objectifs, l'étude est scindée en cinq chapitre.

Le premier chapitre concernant la recherche bibliographique pour obtenir des informations sur les tufs et fait une compressant entre les tufs volcanique et les tufs calcaires selon le mode de formation et domaine l'utilisation. Et les principaux composent.

En deuxième chapitre on conclue que Les tufs volcaniques étudié est favorable pour l'exploitation plus encore, il se situe dans une zone proche de la route pour assurer le transport de la matière, et loin des habitations pour ne pas causer des gênes aux habitants.

En quatrième chapitre l'analyse minéralogiques par DRX montré que les de Remila sont riche en mordenite (type de zéolite naturelle) et l'orthoclase et l'albit (type des feldspaths), même aussi le quartz et la biotite, les analyse chimique montré que ces tufs sont riche en silice et en alumine, et les analyses morphologiques par MEB montré que la structure de tuf est très peureuse.

Les tests de séparation des minéraux ont obtenu à des bons rendements de séparation magnétique à haute intensité. Les analyses de DRX après la séparation montrée l'existence de la fraction non magnétique présente par la mordenite et les feldspaths dans la fraction magnétique à des hautes intensités.

Dans le cinquième chapitre les différentes expériences montrée que les tufs de Remila sont possible d'utilisé dans le domaine d'adsorption comme absorbant, pour les tufs traité et les tufs non traité avec un rendement plus pour les tufs traité, (Les tufs traité atteint à l'équilibre à 50 minute par contre les tufs non traité à 80 minute).

La confection des mortiers à base des tufs volcanique montrée que l'ajout de produit 10% augmente la résistance à la compression. Même la masse volumique diminué lorsque en ajout les tufs .

Références

bibliographiques

Références bibliographiques

- [1] **V. Firian et Y. Houst.** Les Matériaux pouzzolaniques et leur utilisation, laboratoire des matériaux pierreux de l'EPF Lausanne, (1980).
- [2] **B. ALLOUL.** Étude géologique et géotechnique des tufs calcaires et gypseux d'Algérie en vue de leur valorisation routière, Thèse de 3e cycle, Université Pierre-et-Marie- Curie, Paris-VI , (1972)
- [3] **A. KHELLOU A.** Modélisation du comportement des matériaux sable gypso-calcaire. (2015)
- [4] **I.GOUAL.** Comportement mécanique et hydrique d'un mélange de tuf et de sable calcaire de la région de Laghouat Application en construction routière, Thèse de doctorat. (2012)
- [5] **Schumann Walter.** Guide des pierres et minéraux. (2007)
- [6] **Bilan** de l'activité minière année, ministre d'énergie et des mines. (2007)
- [7] **Matériaux** de construction en pierres naturelles. Sétif (2011)
- [8] **BELKACEMI et KACEL.** Caractérisation et élaboration d'un schéma de traitement de tuf de Remila. (2014)
- [9] **BRGM Avergune** La pouzzolane. philipo Rocher géologie.
- [10] **P. JOYE.** Géologie appliqué au gène civil. (2005)
- [11] **LUC HAROIS.** SCT-1111 Minéralogie
- [12] **Duneau, M. Janot.** La magie des matériaux. ISBN 2-7381-0346-4. Éditions Odile Jacob. France. (1996)
- [13] **EUROFEL.** Association Européenne des producteurs de feldspath (membre d'IAM-Erupe)
- [14] **S. ICHALAL.** Caractérisation physique chimiques et valorisation du tuf du gisement de Tinbdare (Algérie). (2013)
-

[15] **Construction** déformant pour limiter les dégâts lors de séismes et éruption volcanique (université de Strasbourg).

[16] **CETIM**. (Centre d'études et des services technologiques de l'industrie des matériaux de construction) «Rapport géologique de gisement de tuf Remmila». (2003).

[17] **Panaceo**. Résumé d'études scientifiques sur le mode d'action de la zéolite.

[18] **Audit** environnemental de carrière d'argile de Remila (2010).

[19] **SOMACOB Bejaia**. Etude environnemental carrière d'argile. (2014)

[20] **F. Kohler**. Technique d'échantillonnage.

[21] **K. MOUSSACEB**. Optimisation du système de gestion de l'homogénéisation du cru et du processus technologique de fabrication du ciment dans le système carrière usine de fabrication, application aux cimenteries Algériennes, laboratoire de technologie des matériaux et de génie de procédés, Thèse Doctorat, université de Bejaia. (2007)

[22] **L. Paul BEDARD**. Méthodes physiques de séparation et d'identification des minéraux. (2007)

[23] **F.BALADAH**. Revalorisation des rejets barétique issus des gites et les impacts environnementaux. (2012)

[24] **H. MAIZA**. Modélisation des cinétiques d'adsorption dans le cas du phénol et du bleu de méthyle sur le charbon actif en grain, Ingénieur d'état, Ecole Nationale Supérieur Polytechnique, p. 3, 4. (2009)

[25] **S. Arris**. Etude Expérimentale De L'élimination Des polluants Organiques Et Inorganiques Par Adsorption Sur Des Sous-Produits, Thèse de doctorat, Université de Constantine, p. 30. (2009)

[26] **M. Nevskaia, A. Guerrero-Ruiz**. Comparative study of the adsorption from aqueous solutions and the desorption of phenol and nonylphenol substrates on activated carbons, Journal of Colloid and Interface Science vol. 234, p.316–321. (2001)

[27] **B.CAROLYNE.** Etude de l'influence de la technologie des micros particules avec les zéolites sur le traitement d'une eau usée de désencrage, p19, 27. (2000)

[28] **Web minéral,** Matériaux poreux (2015)

[29] **R. CHERRAYE.** Préparation par voie chimique d'un charbon actif à partir des déchets de café (Effet de taux d'adjuvant). (2012)

[30] **A. SALMIA, S. FOUATHIA.** Elaboration de la chaux dolomitique à partir de la dolomoie de Teiouelt et ces propriétés d'usage. (2015).

Annexes

Annexe 01

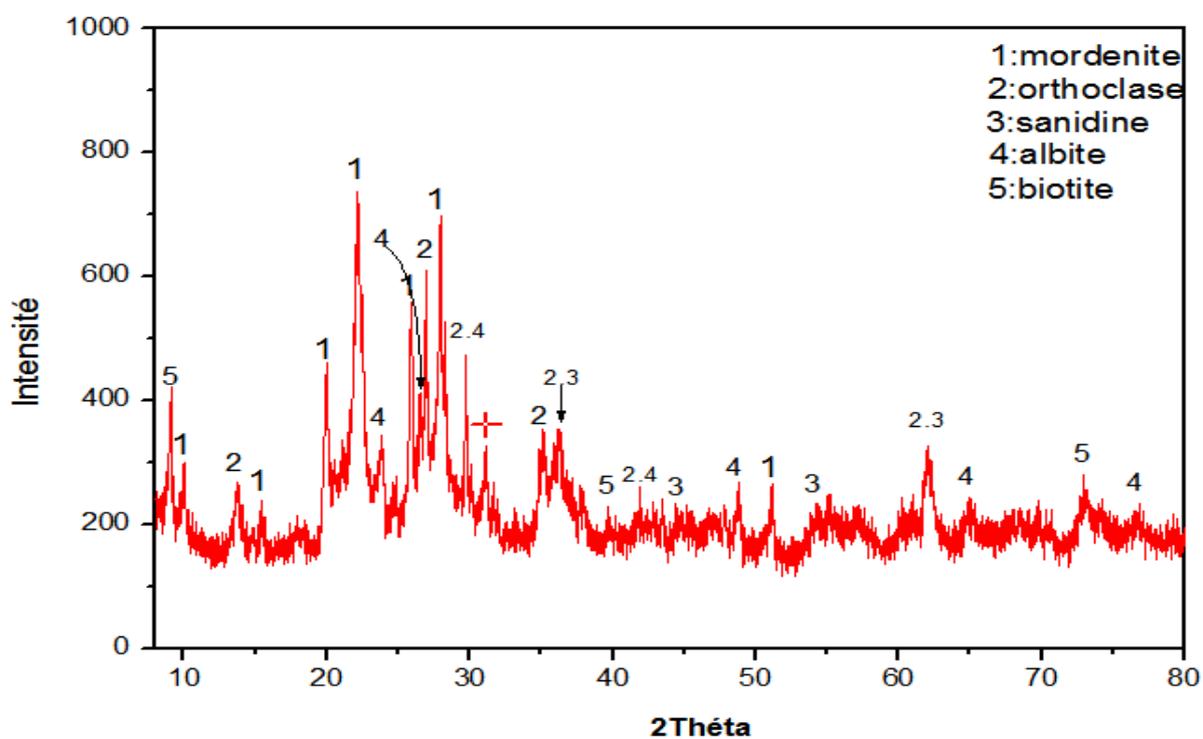


Figure 1. Diffractogramme de la tranche (+125-250) μm des tufs étudiée.

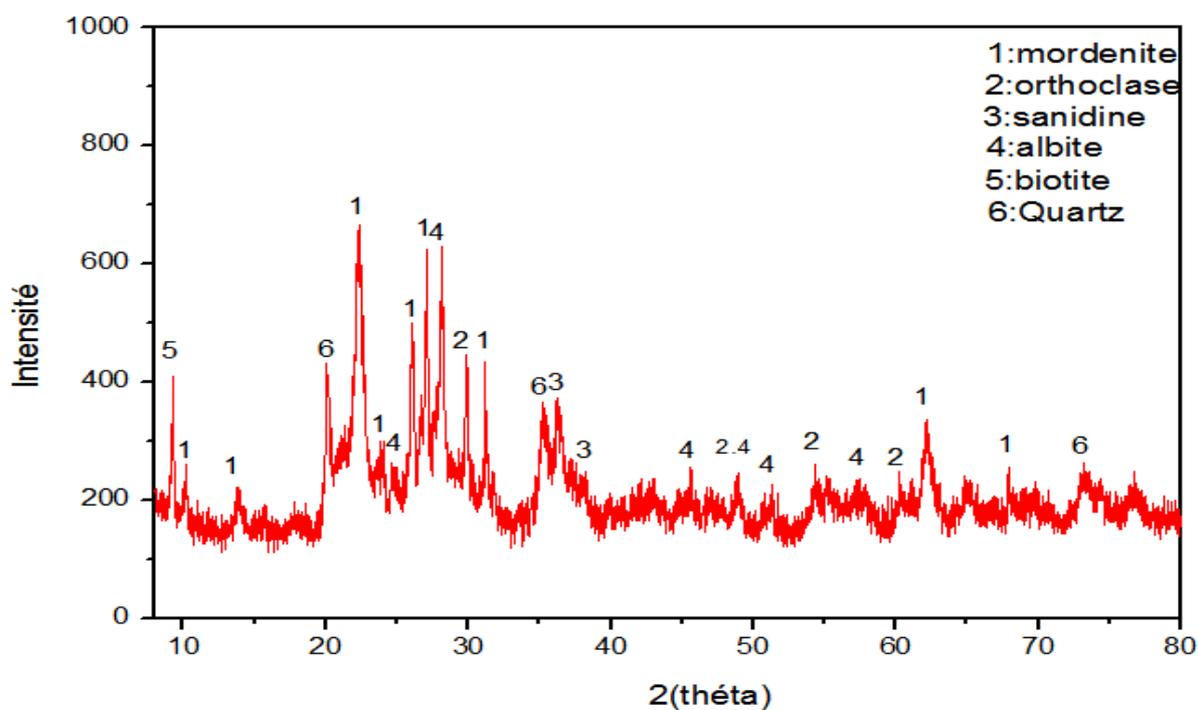


Figure 2. Diffractogramme de la tranche (+250 -500) μm des tufs étudiée.

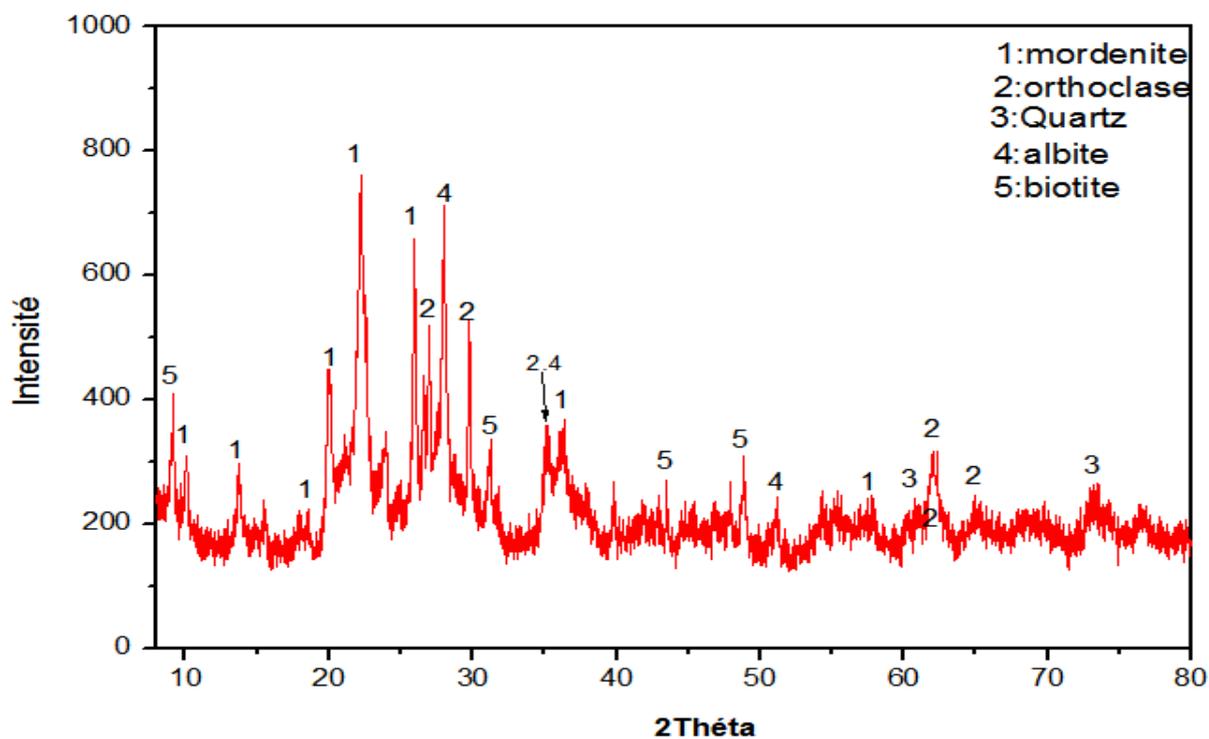


Figure 3. Diffractogramme de la tranche (+1 -2,5) mm des tufs étudiée

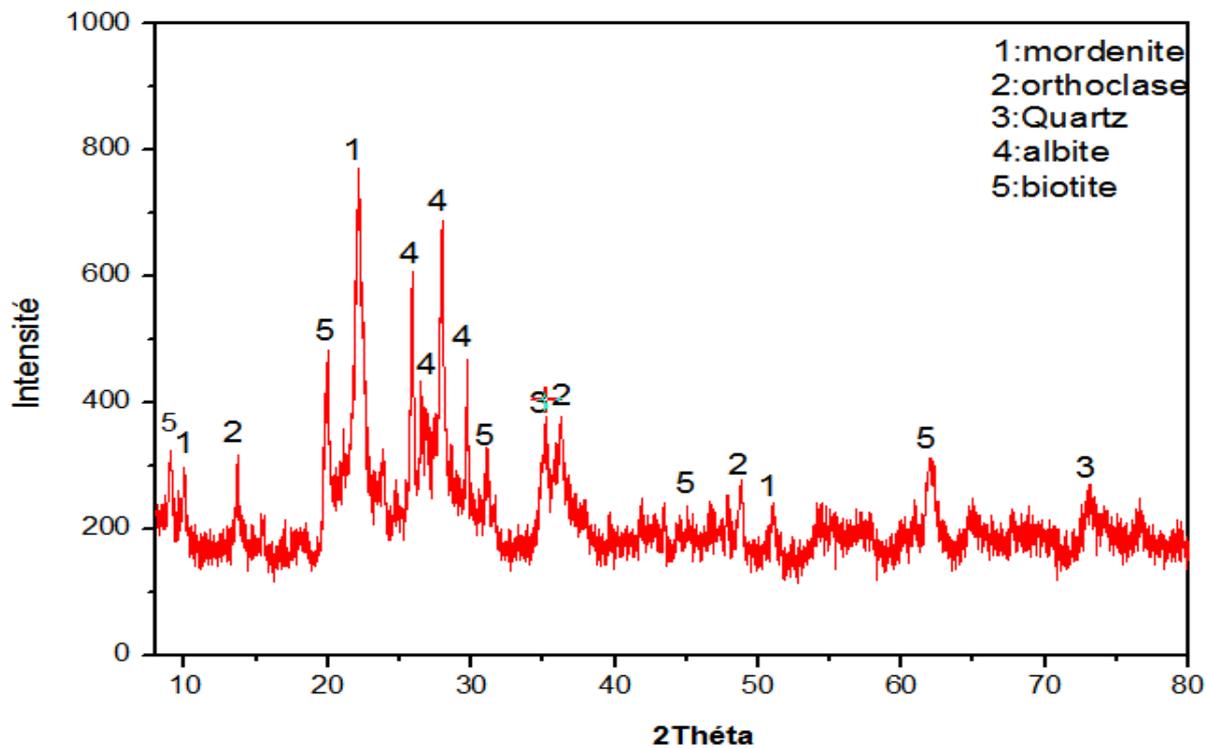


Figure 4. Diffractogramme de la tranche +2,5 -3) mm des tufs étudiée.

Résumé

Le tuf de Remila, est une roche riche en éléments essentiels tel que les zéolithes présentée par la Mordenite et les Feldspaths. Donc l'objectif de cette recherche est de tester les possibilités de trouver un domaine pour leur valorisation après leurs enrichissement par élimination des micas par des procédés physiques (la séparation magnétique). Le tuf de Remila constitue un bon adsorbons après son traitement par séparation magnétique, et leur porosité élevée permet de l'utiliser dans la préparation des mortiers et des bétons légers. Bien sûr, nous avons procédé à une étude préalable d'identification et de caractérisation minéralogique et chimique (analyse granulométrique, et diffraction par rayon X, fluorescence X, microscope électronique à balayage).

Mots clés : Tuf volcanique, séparation magnétique, adsorption, mortiers.