

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



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

Filière : Génie Minier

Option : Valorisation des Ressources Minérales

Thème

Amélioration de la capacité de rétention de métaux lourds dans les matrices cimentaires Stabilisation / Solidification par liant hydraulique, ciment, en utilisant comme ajout les grignons d'olives.

Présenté par :

AITEUR Fouzia & RAAD Fatima

Soutenu le 03/07/2023 devant le jury composé de :

Nom & Prénom	Grade	Qualité	Lieu d'exercice
M ^{me} AZIZOU Zahia	MCB	Présidente	U.A.M.Bejaia
M ^{me} BOUNAB Samia	MCA	Examinatrice	U.A.M.Bejaia
M ^r MOUSSACEB Karim	Professeur	Encadrant	U.A.M.Bejaia
M ^{elle} TALHA Abir	Doctorante	Co-Encadrant	U.A.M.Bejaia

Année Universitaire : 2022-2023

Remerciements

A l'occasion de fin d'études à l'université Abderrahmane Mira, le mémoire de fin d'études a été achevé par la volonté de Dieu Tout-

Puissant après beaucoup d'efforts, et de ce point de vue nous adressons nos sincères remerciements à tous ceux qui ont contribué pour faire réussir cette étude.

Nous adressons également nos remerciements à M^{lle} Talha Abir, doctorante au département mines et géologie, qui est hautement qualifiée dans le domaine et qui a également eu le mérite de nous avoir dirigés et aidés de toutes les manières afin d'atteindre notre objectif.

A notre encadreur Monsieur Professeur MOUSSACEB Karim Nous avons l'honneur d'être parmi vos étudiants qui ont bénéficiés de votre riche expérience dans le domaine de l'enseignement et de la recherche scientifique, merci pour votre disponibilité permanente, vos conseils, vos orientations. Merci de bien recevoir nos remerciements pour le grand honneur que vous avez fait d'accepter d'encadrer notre travail.

Aux membres de jury

Nous adressons également, nos sincères remerciements aux Docteur M^{me} AZIZOU et au Docteur M^{me} BOUNAB, membres du jury, pour avoir accepté d'évaluer notre travail et pour nous avoir enrichis de vos suggestions qui nous seront sans aucun doute utiles dans notre avenir professionnel.

Aux chers parents

Nous adressons nos sincères remerciements à nos parents pour le soutien financier et moral durant notre période d'études, sans oublier nos frères et sœurs qui nous ont encouragé chacun à sa manière.

Nos remerciements vont également à tous ceux qui ont participé de près ou de loin pour faire aboutir notre travail.

Merci à tous.



A. Fouzia & R. Fatima -

Dédicaces

Je viens avec grand plaisir pour dédier ce modeste travail.

A l'être le plus cher de ma vie, Ma mère,

A celui qui m'a fait de moi ce qui je suis aujourd'hui, Mon père ...

Merci pour vos efforts, vos sacrifices durant toute ma vie, votre encouragement, votre soutien pour me persévérer jusqu'à l'aboutissement de ce travail.

A vous mes frères : Ferhat, Malek, Mouloud et mes sœur Hayat, Rbiha, Souhila qui m'ont toujours soutenu et encouragé tout au long de mes études.

Au nom de l'amitié qui nous réunit, Au nom de nos souvenirs inoubliables, A ceux qui sont chers : Loubna et Ibtissem.

A mes amis

Toute la promo 2018/2023, tout particulièrement Basma, chahra.

A Fatima ma chère amie avant d'être binôme ...Merci pour ton soutien moral, ta patience et ta compréhensions tout au long de ce projet.

Merci pour ton amour, ton encouragement, en souvenir de nos éclats de rire et des bons moments, en souvenir de tout ce qui on a vécu ensemble, j'espère de tout mon cœur que notre amitié durera éternellement.

A vous chers lecteurs



A. Fouzia -

Dédicaces

*Je viens avec grand plaisir pour dédier ce modeste travail.
A mon support dans ma vie, qui m'a appris, m'a encouragé et m'a
dirigé vers la Gloire, Qui m'a bénie par ses prières... ma mère
A mon père parti trop tôt, j'espère que du monde qui est sien
maintenant il apprécie cet humble geste comme preuve de
reconnaissance de la part de sa fillette qui toujours prié pour le salut
de son âme.*

*A mon TRÈS CHER mari (ounas Nadir) En reconnaissance de son
soutient et surtout de sa patience et immense compréhension. Merci
d'être présents dans ma vie" je t'aime".*

*A MES FRÈRES ET SOEURS : Younes, bazza, etwarda, souhila,
Yasmina pour leurs aides et encouragements.*

*A LES neveux et les nièces DE MA SOURS ET MON FERE : Aris,
Manel, Mouloud, Mouhamd, Layth, Emília.*

Aux les belles sœurs : Wiza, Tita

A la belle - mère : Fatima.

*A Fouzia ma chère amie avant d'être binôme ...Merci pour ton
soutien moral, ta patience et ta compréhensions tout au long de ce
projet.*

*Merci pour ton amour, ton encouragement, en souvenir de nos
éclats de rire et des bons moments, en souvenir de tout ce qui on a
vécu ensemble, j'espère de tout mon cœur que notre amitié durera
éternellement.*



R. Fatima -

Sommaire

Sommaire

Remerciements

Dédicaces

Sommaire

Liste d'abréviation

Liste des tableaux

Liste des figures

Introduction Générale..... 1

Chapitre I

Recherche bibliographie

PARTIE 1 : DECHETS ET METAUX LOURDS..... 4

I.1. DECHETS..... 4

I.1.1. Définitions des déchets 4

I.1.2. Constitution chimique du déchet..... 4

I.1.3. Différents types des déchets..... 5

I.1.3.1. Déchets ultimes 5

I.1.3.2. Déchets inertes 5

I.1.3.3. Déchets assimilés 5

I.1.3.4. Déchets verts 5

I.1.3.5. Déchets organiques 5

I.1.4. Critères d'admissibilités des déchets au centre de stockage 5

I.1.5. Gestion des déchets 6

I.1.6. Hiérarchie de bonne gestion des déchets..... 7

I.2. METAUX LOURDS..... 7

I.2.1. Définition 7

I.2.2. Sources d'émission des métaux lourds 7

I.2.2.1. Plomb 7

I.2.2.2. Nickel 8

PARTIE I.2 : LE CIMENT 9

I.1. Définition du ciment 9

I.1.1. Constituants de base du ciment 9

I.1.1.1. Calcaires 9

I.1.1.2. Argile..... 10

I.1.1.3. Gypse..... 10

I.1.2. Familles du ciment 10

Sommaire

I.1.3. Principales catégories des ciments Algériens.....	11
I.1.3.1. Techniques de fabrication du ciment	11
I.1.3.1.1. Préparation de la matière première.....	11
A. Extraction des matières premières	11
B. Concassage.....	11
I.1.3.1.2. Obtention du ciment	12
A. Broyage du ciment.....	12
B. Stockage du ciment	13
C. Conditionnement et expédition	13
PARTIE I.3 : GRIGNON D’OLIVE	15
I.1. Définition des grignons d’olives	15
I.1.1. Les différentes méthodes d’extractions de grignon d’olive	15
I.1.2. Types de grignon d’olive.....	17
I.1.3. Valorisation des grignons d’olive	17
I.2. PROCEDE DE STABILISATION / SOLIDIFICATION	18
I.2.1. Définition	18
I.2.2. Stabilisation.....	19
I.2.3. Solidification	19
I.3. Applications	19
I.4. Stabilisation/solidification à base de liants hydraulique	19
I.5. Avantage de la stabilisation et solidification au liant hydraulique –ciment.....	20

Chapitre II

Protocoles expérimentaux

II.1. Matériels et formulations des matériaux stabilisés / solidifiés	23
II.1.1. Ciment Portland CEM I 42.5 N – LH / SR5.....	23
II.2. Formulation des matériaux	24
II.3. Mise en œuvre de la solidification	26
II.3.1. Préparation des échantillons	26
II.4. Essais mécaniques.....	26
II.4.1. Mesure de résistance à la compression et à la flexion	26
II.4.1.1. Objectif de l’essai	26
II.4.1.2. Principe de l’essai	26
II.4.1.3. Moulage des éprouvettes.....	26
II.4.1.4. Essai de rupture par flexion	26

Sommaire

II.5. Analyse granulométrique	27
II.5.1. Analyse granulométrique par tamisage.....	27
II.5.2. Différents coefficients à calculer	27
II.6. METHODES PHYSIQUES D'ANALYSES.....	28
II.6.1. Analyse par diffraction des rayonnements X (DRX).....	28
II.6.1.1. Principe et mode opératoire	28
II.6.2. Spectroscopie infrarouge transformée de Fourier (IRTF)	29
II.7. Méthodes chimiques d'analyses	30
II.7.1. Analyse par Fluorescence X (FX).....	30

II Chapitre III

Résultats et discussions

Introduction	32
III.1. MATIERES PREMIERES	32
III.1.1. Ciment	32
III.1.1.1. Analyse Infrarouge (IR) du ciment.....	32
III.1.1.2. Analyse par diffraction des rayons X (DRX)	33
III.1.2. Grignon d'olive.....	33
III.1.2.1. Analyse Infrarouge (IR) du GO.....	33
III.1.2.2. Analyse par diffraction des rayons X (DRX) du GO	34
III.2. Analyse granulométrique.....	35
III.2.1. Caractéristique de sable normalisé	35
III.2.2. Caractéristique de GO	37
III.2.3. Analyse granulométrique des formulations	39
III.3. RESISTANCES MECANIQUES	48
III.4. Caractérisation par la Fluorescence X (FX)	49
III.5. Caractérisation de matériau Stabilisé/Solidifié.....	52
III.5.1. Caractérisation de matériau par des rayons X (DRX)	52
Conclusion	52
Conclusion Générale	53
Références bibliographiques.....	55

Liste d'abréviation

Liste d'abréviation

ADEME : Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie

Al : Aluminium.

As: Aesenic.

CPA: Ciment Portland Artificiel.

Cr : Chromuim.

DRX : Diffracto gramme des rayons X.

E.L : Eléments Léger.

E/C : Rapport Eau / ciment.

ECDE : Entreprise des ciments et dérivés d'ech – chelif.

Fe : Fer .

FX : Fluorescence X.

GO: grignon d'olive.

IR : Spectrométrie infrarouge.

K : Potassuim.

Mn: Manganese.

Ni: Nichel.

Pb: Plomb.

PSS: Procédé Stabilisation / solidification.

Rb : Rubiduim.

Rc : Résistance à la compression.

Rf : Resistance à la flexion.

RMPC : Remblai minier en pate cimenté.

S : Sulfir.

S.C.A.E.K : Société des Ciments de AinElkebira.

S/S: Stabilisation / Solidification.

Sb: Antimony.

SI : Silicon.

Sr: Strontium.

Ti : Titanium.

W: Tungsten

Zn : Zinc.

Zr : Zirconuim.

Liste des tableaux

Liste des tableaux

Tableau I-1: Critères d'admission des déchets ultimes au centre de stockage	6
Tableau I-2: Propriétés chimiques du Nickel.....	8
Tableau I-3: Types de grignon d'olive.....	17
Tableau II-1: Caractéristiques techniques du ciment.....	23
Tableau II-2: Elaboration des mortiers avec les différentes quantités du déchet et de grignon	24
Tableau III-1: La granulométrie de sable normalisé.	35
Tableau III-2: Résultats des coefficients.	36
Tableau III-3: Caractéristiques physico- chimiques.....	37
Tableau III-4: Granulométrie du GO.	37
Tableau III-5: Granulométrie de F1.	39
Tableau III-6: Résultats des coefficients.	41
Tableau III-7: La granulométrie de F6.	42
Tableau III-8: Résultats des coefficients.	44
Tableau III-9: La granulométrie de F7.	45
Tableau III-10: Résultats des coefficients	47
Tableau III-11: Résistances mécaniques à la flexion et à la compression à 28 ^{ème} jour de cure.	48
Tableau III-12: Quantification des éléments chimiques par FX.	50

Liste des figures

Liste des figures

Figure I-1 : Concassage des matières premières au niveau de la carrière.....	12
Figure I-2 : Intérieur d'un broyeur à boulets.	13
Figure I-3 : Différentes étapes de fabrication du Ciment.....	14
Figure I-4 : Grignon d'olive.....	15
Figure I-5 : Obtention de grignon d'olive par le système de presse	16
Figure I-6 : Système continu d'extraction avec centrifugation à 2 phases.....	16
Figure I-7 : Piégage mécanique des métaux lourds.....	20
Figure II-1 : Image d'un sac de ciment utilisé.	24
Figure II-2 : Le moule utilisé dans la préparation des monolithes.....	26
Figure II-3 : Rupture des éprouvettes	27
Figure II-4 : Schéma d'un spectromètre de diffraction des rayons X.....	28
Figure II-5 : Image de l'appareil de la diffraction des rayonnements X (DRX).....	29
Figure II-6 : Image de l'appareil du spectrophotomètre IR.	29
Figure II-7 : Image de l'appareil du Fluorescence X (FX)	30
Figure III-1 : Spectre Infrarouge du ciment.....	32
Figure III-2 : Spectre DRX du ciment.	33
Figure III-3 : Spectre Infrarouge du GO	34
Figure III-4 : Spectre DRX du GO	35
Figure III-5 : Courbe granulométrique du sable normalisé.	36
Figure III-6 : Courbe granulométrique du grignon d'olive	37
Figure III-7 : Ouverture des tamis (mm)	41
Figure III-8 : La courbe granulométrique du F6.....	44
Figure III-9 : La courbe granulométrique du F7.....	47
Figure III-10 : Résistances mécaniques à 28 jours.	49
Figure III-11 : Diffracto gramme de matériau S/S	52

Introduction Générale

Introduction Générale

Le domaine sur lequel porte cette recherche a trait à l'environnement et plus particulièrement à l'écologie industrielle et la valorisation des déchets. Chaque civilisation génère des résidus inutilisés qui, avec le temps, deviennent une source de danger pour la vie des êtres humains et l'environnement.

Dans les pays développés les déchets solides (ménagers, agricoles ou industriels) ne cessent de croître en quantité, de devenir plus complexe, voir plus nocifs. A l'origine de pollutions et de nuisances, ils sont aussi source d'énergies et de matières premières.

Cependant, il est indispensable que le choix des modes d'élimination ou de traitement repose sur la quantité et la qualité des déchets. Il existe cinq grandes stratégies de gestion des déchets industriels [1]. Les deux premières concernent l'arrêt de la production d'un déchet donné et l'optimisation du procédé dont il est issu, elles visent une réduction de la quantité des déchets produits. Les deux suivantes ont pour objectif de traiter les déchets, il s'agit du rejetéco-compatible et du recyclage ou de la réutilisation. Elles s'adressent aux déchets dont la quantité a été réduite ou aux "irréductible" par les deux premières voies. Non seulement ces quatre stratégies ne permettent pas de gérer tous les déchets, mais elles conduisent inmanquablement à générer des déchets secondaires. La dernière stratégie consiste à stocker les déchets. Elle s'adresse aux déchets exclus (déchets ultimes dangereux) et aux déchets secondaires issus des quatre précédentes stratégies.

La loi algérienne sur l'élimination et le traitement des déchets ne prévoit aucun procédé de stockage des déchets ultimes de manière définitive. La sévérité des nombreuses normes d'acceptation des déchets ultimes au centre de stockage où en décharge a permis l'essor des procédés physico-chimiques, notamment par l'utilisation de la technique de stabilisation/solidification par liants hydrauliques (notamment le ciment).

Le processus de stabilisation consiste à mélanger les déchets avec des agents stabilisants, tels que des liants chimiques ou des matériaux inertes, afin de réduire leur toxicité et leur mobilité. Cela empêche les substances nocives de se dissoudre et de se disperser dans les sols ou les eaux souterraines. La solidification, quant à elle, vise à transformer les déchets liquides ou pâteux en une forme solide, généralement par le durcissement ou le séchage.

Ces techniques sont largement utilisées dans différents domaines, tels que l'industrie chimique, pharmaceutique, pétrolière, ainsi que dans la gestion des déchets dangereux. Elles

Introduction Générale

permettent de réduire les risques de contamination des sites d'enfouissement, de faciliter leur manipulation, leur transport et leur élimination finale.

L'objectif principal du procédé de Stabilisation/Solidification des déchets est de protéger la santé humaine et l'environnement en minimisant les fuites potentielles de substances toxiques. Ces techniques offrent une solution efficace pour traiter les déchets dangereux en les rendant plus stables et moins susceptibles de causer des dommages à long terme.

Ce mémoire est divisé en quatre chapitres répartis comme suit :

Chapitre I: Il sera consacré à une recherche bibliographique sur les généralités, qui se divise à son tour en trois parties qui se présentent comme suit :

- **Partie I.1.**Déchets et les métaux lourds
- **Partie I.2.** Ciments
- **Partie I.3.** Grignon d'olive
- **Partie I.4.** Stabilisation / solidufication

Chapitre II : Il sera consacré à la partie expérimentale en premier lieu nous présentant les matériaux d'étude et les formulations adoptées, ensuite nous décrirons les différentes techniques d'analyses employées afin de caractériser le déchet et d'évaluer l'effet de l'ajout des déchets sur les propriétés mécaniques des formulations étudiées.

Chapitre III : Dans ce chapitre, nous présenterons les résultats obtenus et leurs discussions lors de la campagne expérimentale menée sur le déchet.

Enfin, nous terminons ce mémoire par une conclusion générale, qui rappelle les objectifs des principaux résultats obtenues, et de perspectives.

Chapitre I
Recherche bibliographie

PARTIE 1 : DECHETS ET METAUX LOURDS

I.1. DECHETS

I.1.1. Définitions des déchets

Le mot déchet est issu du latin « Discadre », la racine « dis » souligne la notion d'éloignement et « cadre » signifie tomber, le mot a ensuite évolué pour devenir au XIVE siècle déchet signifiant déchoit. [2]

La définition du déchet peut être abordée sous différents regards :

- **Juridique** : En lois minière algérienne, est considéré comme déchet « tout résidu d'un processus de production, de transformation ou d'utilisation, toute substance, matériau, produit ou plus généralement tout bien meuble abandonné où son détenteur destine à l'abandon ». [2]
- **Economique** : Un déchet est un produit qui a priori n'a aucune valeur marchande ou a une valeur négative. Toutefois, cette définition reste subjective et dépend du détenteur, du lieu et du moment. Ainsi les déchets recyclables possèdent une valeur économique. [2]
- **Environnemental** : Les déchets sont des sources de nuisances dès lors qu'ils n'ont pas été rendus inertes. Les effets sont directs (paysage, brûlage, percolation) ou indirects (risque lors du transport ou lors du traitement). [2]
- **Sanitaire** : les déchets de leur nature (toxicité) et/ou de leur mode de gestion, sont susceptibles de présenter un risque sanitaire (accidents et troubles de la santé). D'un point de vue fonctionnel, les déchets sont caractérisés selon deux critères principaux : leur origine et leur nature. Le même déchet peut ainsi faire l'objet de « classification croisée » selon le critère considéré. [2]

I.1.2. Constitution chimique du déchet

La plupart des déchets sont constitués des mêmes molécules chimiques que celles des matériaux. Ce qui différencie les déchets des autres produits provenant d'un certain nombre de particularités. Certains déchets résultent du traitement involontaire de molécules usuelles avec production de sous-produits de composition, a priori inconnu. Par ailleurs, le déchet peut se retrouver dans un milieu dont il n'est pas issu en tant que produit et de ce fait auquel il n'est pas destiné. Enfin, le mélange au hasard des déchets peut conduire à la formation de produits nouveaux. [3]

I.1.3. Différents types des déchets**I.1.3.1. Déchets ultimes**

Tout déchet ménager et assimilé brut issu du ramassage parallèle à la collecte sélective, le refus de tri, le déchet industriel banal issu des ménages et des déchetteries ainsi que les boues de stations d'épuration. [4]

Aujourd'hui, les déchets ultimes sont fixés dans diverses matrices comme les matières plastiques, les bitumes, les liants hydrauliques ou solidifiants, les vitrifiés et les minéraux naturels reconstitués. Depuis peu, des méthodes de stabilisation dites mécano-biologique qui porte essentiellement sur la partie non fermentescible des résidus de compostage, ont été développées. [5]

I.1.3.2. Déchets inertes

Il s'agit des déchets qui ne se décomposent pas, ne brûlent pas et ne produisent aucune réaction physique, chimique ou biologique de nature à nuire à l'environnement.

I.1.3.3. Déchets assimilés

Les déchets ménagers et assimilés recouvrent les ordures ménagères (OM) qui proviennent des ménages et tous les déchets gérés comme tels par les collectivités locales (déchets des artisans ou commerçants). [4]

I.1.3.4. Déchets verts

Déchets végétaux des parcs et jardins (gazon, branchages...). [4]

I.1.3.5. Déchets organiques

Les termes suivants recouvrent la même notion que bio-déchets ou déchets fermentescibles ou FFOM. Il s'agit des déchets végétaux des parcs et jardins (déchets verts), déchets organiques de la cuisine (restes de repas, épluchures, papiers essuie-tout, papier journal, fleurs coupées, marc de café, filtres à café, sachets de thé, coquilles d'œufs, etc....) et boues. [4]

I.1.4. Critères d'admissibilités des déchets au centre de stockage

La législation Algérienne fixe comme suite, tableau I.1, les critères d'admission des déchets ultimes en centre de stockage, « les déchets admissibles sont essentiellement solides, minéraux avec un potentiel polluant constitué de métaux lourds peu mobilisables. Ils sont très peu réactifs, évolutifs et très peu solubles, de plus ces déchets doivent être stabilisés à

long terme. Un déchet est considéré comme stabilisé quand sa perméabilité à l'eau et sa fraction lixiviable ont été réduites en maximum et quand sa tenue mécanique a été améliorée de façon que ces caractéristiques satisfassent aux critères d'acceptation des déchets stabilisés fixés ». [6]

Tableau I-1: Critères d'admission des déchets ultimes au centre de stockage. [6]

Caractéristiques	Critères d'admission
pH	Entre 4 et 13
Fractions solubles	<10%
DCO	<2000 mg / kg
Phénols	<100 mg / kg
Cr⁺⁶	<5 mg / kg
Cr	<50 mg / kg
Pb	<50 mg / kg
Zn	<250 mg / kg
Cd	<25 mg / kg
Ni	<50 mg / kg
As	<10 mg / kg
Hg	<5 mg / kg

I.1.5. Gestion des déchets

Avant de valoriser un déchet, il faut connaître son origine, l'analyser, caractériser son état actuel et son comportement dans le temps et évaluer sa traitabilité. Il s'agit donc de « mesurer pour connaître et connaître pour agir ». L'approche globale du déchet permettra d'en définir son devenir, à savoir quel type de valorisation choisi. [7]

La gestion des déchets est toutes opérations de pré collecte, de collecte, de stockage, de tri, de transport, de mise en décharge, de traitement, de valorisation, de recyclage et d'élimination des déchets y compris le contrôle de ces opérations ainsi que la surveillance des sites de décharges pendant la période de leur exploitation ou après leur fermeture .

La gestion des déchets concerne tous les types de déchets, qu'ils soient solides, liquide ou gazeux, chacun possède sa filière spécifique. Les manières de gérer les déchets diffèrent selon qu'on se trouve dans un pays développé ou en voie de développement, dans une ville ou dans une zone rurale, que l'on ait affaire à un particulier, un industriel ou un commerçant. La gestion des déchets non toxiques pour les particuliers ou les institutions dans les agglomérations est sous la responsabilité des autorités locales, alors que la gestion des déchets des commerçants et industriels est sous leur propre responsabilité. [8]

I.1.6. Hiérarchie de bonne gestion des déchets

Comme le précise la définition du déchet : quand son propriétaire souhaite (ou se trouve dans l'obligation) de se débarrasser d'un produit, il devient un déchet. Ce déchet, selon la hiérarchie de bonne gestion des déchets, peut être réutilisé par une autre personne après réparation en lui conservant l'usage pour lequel il a été conçu initialement, ou pour un usage « inférieur ».

Ensuite, il peut être recyclé : on récupère les matériaux qui le constituent pour recréer d'autres produits (le compostage est une forme de recyclage de la matière organique). Enfin, ce déchet peut être éliminé en récupérant l'énergie produite (gaz de la fermentation des matières organiques, chaleur de l'incinération). Et, en bout de course, certains déchets sont éliminés en étant confinés en décharge (CET, centre d'enfouissement technique) ou brûlés sans aucune valorisation énergétique. Ces derniers échelons de la hiérarchie sont à décourager et la meilleure façon de le faire est de travailler en amont, par des mesures de prévention. [5]

I.2. METAUX LOURDS

I.2.1. Définition

Un métal est une matière, issue le plus souvent d'un minerai ou d'un autre métal, doté d'un éclat particulier, bon conducteur de chaleur et d'électricité, ayant des caractéristiques de dureté et de malléabilité, se combinant ainsi aisément avec d'autres éléments pour former des alliages utilisables dans l'industrie. On appelle, en général, métaux lourds les éléments métalliques naturels, métaux ou dans certains cas métalloïdes caractérisés par une masse volumique élevée, supérieure à 5 g/cm³. [9]

I.2.2. Sources d'émission des métaux lourds

I.2.2.1. Plomb

Il est susceptible de trouver le plomb sous forme de carbonates pour une faible part et de silicates ou d'oxydes. Pendant l'hydratation du ciment, une partie du plomb précipite sous forme d'oxyde de plomb PbO et/ou d'hydroxyde de plomb Pb(OH)₂. Il peut également se former l'ion complexe Pb(OH)₃. Le plomb sous sa forme cationique (Pb⁺³) est susceptible de s'adsorber sur la surface des grains de ciment ou être intégré aux couches structurales lors de la précipitation des silicates de calcium hydratés (C-S-H) ou être substitué au calcium dans les C-S-H ou l'étranger. [10,11]

I.2.2.2. Nickel

Le nickel est connu de l'homme depuis des millénaires. Les hommes préhistoriques se servaient déjà du nickel contenu dans les météorites pour réaliser des objets usuels. Il a été ensuite utilisé pour la fabrication de pièces de monnaies au début de notre ère. Longtemps confondu avec l'oxyde de cuivre, il n'a été réellement identifié et isolé qu'en 1751 par le chimiste suédois Alex Cronsted. Les débuts de la métallurgie moderne du nickel remontent en 1865, date où les français Garnier et Heurtaux découvrirent les ressources minières de la nouvelle Calédonie. Les premiers procédés thermiques de raffinage du nickel ont été mis au point dans les années 1900. Vers 1950, de nouveaux procédés furent utilisés. Les procédés hydro métallurgique (lixiviations acides ou basiques) pour aboutir de nos jours à une part de marché égale pour ces deux types de traitements[12].

Dans un premier temps, nous nous attacherons à présenter un bref aperçu des minerais excitants. Ensuite nous étudierons une des applications industrielles les plus importantes de nickel : le nickelage, qui permet un dépôt de nickel sur des pièces métalliques. Mais avant cela nous nous tacherons de présenter quelques propriétés chimiques de cet élément dans le tableau I.2

Tableau I-2: Propriétés chimiques du Nickel.[12]

Numéro atomique	28
Masse atomique	58.71 g / mol
Electronégativité de Pauling	1.8
La masse volumique	8.9 g / cm ³ à 20°C
Température de fusion	1453°C
Température d'ébullition	2732°C
Rayon atomique(Van De Waals)	0.124 nm
Rayon ionique	0.069 nm (+2) ; 0.06 nm (+3)
Isotope	5

PARTIE I.2 : LE CIMENT

I.1. Définition du ciment

Le ciment est un liant hydraulique, c'est-à-dire une matière inorganique finement moulue qui, gâchée avec de l'eau, forme une pâte qui fait prise par suite des réactions et processus d'hydratation et qui après durcissement, conserve sa résistance et sa stabilité même sous l'eau. [13]

Dans le langage courant, le terme de ciment peut être source de confusion lorsqu'il est utilisé pour désigner à la fois : [14]

- La poudre de ciment (par exemple telle qu'elle est commercialisée en sac) ;
- La pâte de ciment au moment de son gâchage à l'eau ;
- Le produit obtenu après durcissement ;
- Dans tout ce qui suit, on distinguera ces différents états en appelant. [14] ;
- Ciment anhydre : (sans eau) la poudre de ciment avant son gâchage à l'eau ;
- Ciment hydraté : les composés, insolubles dans l'eau, obtenus par combinaison chimique de l'eau avec le grain de ciment anhydre ;
- Pâte fraîche de ciment : le mélange d'eau et de ciment anhydre avant que l'hydratation n'ait conduit à en faire un solide appelé pâte de ciment durcie ;
- L'expression de : "pâte de ciment durcissant" sera utilisée pour désigner la pâte de ciment dans sa transformation d'un état plus ou moins fluide en un état solide ;

I.1.1. Constituants de base du ciment

On peut théoriquement fabriquer du ciment portland à partir de matériaux quelconques renfermant chaux, silice, alumine et fer. En pratique, les possibilités sont beaucoup plus limitées car on est obligé de choisir, pour des raisons évidentes, des matières premières faciles à extraire, traiter, et combiner. On peut utiliser aussi comme appoint des sous-produits d'autres industries tels le laitier de hauts fourneaux ou les cendres des centrales thermiques.[15]

I.1.1.1. Calcaires

Les calcaires peuvent être de pureté et de duretés variables, ils proviennent du dépôt de CaCO_3 contenu dans les eaux de mer ou des lacs, dépôts provoqués par précipitation chimique ou réalisés par l'intermédiaire d'organismes vivants (mollusques, algues). Certains

de ces dépôts soumis à une pression et à une température suffisante, ont donné des calcaires cristallins. [16]

Les principales impuretés rencontrées dans les calcaires sont : la silice, la magnésie, le fer, les alcalis. La réaction chimique de base de la fabrication du ciment commence avec la décomposition du carbonate de calcium (CaCO_3) en chaux (oxyde de calcium, CaO) accompagnée d'un dégagement du gaz carbonique (CO_2).[17]

I.1.1.2. Argile

L'argile est une roche sédimentaire, composée par une large part de minéraux spécifiques, silicates en générale, d'aluminium plus ou moins hydratés, qui présentent une structure feuilletée.

Cette matière constitue essentiellement de silice, d'alumine et de fer elle peut être sous forme d'argile résiduelle provenant de la décomposition sur place de roches existantes, du fait d'agents physico-chimiques ou d'argile transportée et déposée sous l'effet des mers, des cours d'eaux des glaciers et du vent.[18]

I.1.1.3. Gypse

Le gypse est une espèce minérale composée de sulfate hydrates de calcium de formule $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. Le mot gypse désigne ainsi à la fois une espèce chimique et une roche.

Le gypse est le minerai qui permet de fabriquer le plâtre. Il entre aussi dans la composition des ciments. [19]

I.1.2. Familles du ciment

Il existe deux grandes familles du ciment :

- **Les ciments Portland** constitués majoritairement de silice et de chaux et qui utilisés principalement dans les bétons de bâtiments et les ouvrages de génie civil.
- **Les ciments alumineux** qui se composent essentiellement d'alumine et de chaux. Ils sont développés au début du 20^{ème} siècle par Bide. En raison de leur résistance aux attaques chimiques, de leur prise rapide ou de l'absence de chaux, ils sont utilisés en génie civil pour la confection des sols industriels, d'ouvrage d'assainissements ou démisés en service rapides, et dans la réalisation des réfractaires monolithiques utilisés dans l'industrie sidérurgique ou verrière. [20]

I.1.3. Principales catégories des ciments Algériens

Toutes les normes algériennes sont élaborées par : L'institut Algérien de Normalisation (IANOR). Les ciments peuvent être classés en fonction de leur composition et de leurs résistances normales, selon l'arrêté interministériel du 3 Rab eEthani 1424 correspondants au 4 juin 2003 portant sur les spécifications techniques et les règles applicables aux ciments.

I.1.3.1. Techniques de fabrication du ciment

Avant d'arriver aux produits finis que sont les différents types de ciments, le mélange de départ va passer successivement par différentes phases durant lesquelles la matière va subir une transformation chimique et cristalline importante. La fabrication du ciment passe par trois phases essentielles : la préparation de la matière première, la cuisson du cru et l'obtention du ciment et chacune de ces phases est divisée en sous étapes.

I.1.3.1.1. Préparation de la matière première**A. Extraction des matières premières**

Les matières premières sont extraites des parois rocheuses d'une carrière à ciel ouvert par abattage à l'explosif ou à la pelle mécanique ou encore par ripage aux bulldozers. L'ardoise est reprise par dumpers vers un atelier de concassage.[21]

B. Concassage

Les blocs obtenus sont réduits, dans des concasseurs (Figure I.4) situés généralement sur le site même de la carrière. La matière ainsi obtenue est amenée par bande transporteuse ou convoyeur jusque l'usine.[22]

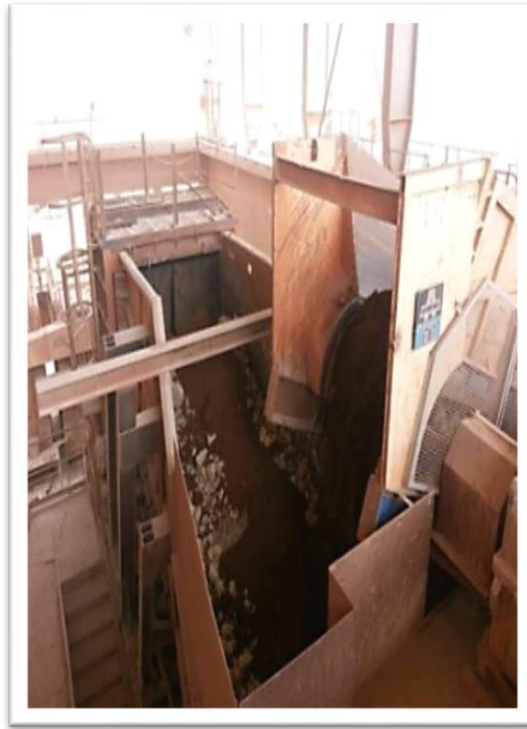


Figure I-1 : Concassage des matières premières au niveau de la carrière.

I.1.3.1.2. Obtention du ciment

A. Broyage du ciment

À la fin de la cuisson, la matière brusquement refroidie se présente sous forme de granules qui constituent le clinker. Celui-ci, finement broyé avec du gypse (environ 5 %) pour régulariser la prise, donne le ciment Portland. Ce broyage s'effectue dans des broyeurs à boulets, (Figure I.6) dispositifs cylindriques chargés de boulets d'acier et mis en rotation (20 tours/minute). D'autres ciments sont obtenus en ajoutant à cette phase de broyage divers constituants : laitier granulé de haut fourneau, cendres volantes, fillers, schistes calcinés, qui sont des matériaux Pouzzolaniques.[20]



Figure I-2 : Intérieur d'un broyeur à boulets.

B. Stockage du ciment

Des systèmes de transport mécaniques et pneumatiques peuvent être utilisés pour acheminer le ciment jusqu'aux silos de stockage.[23]

C. Conditionnement et expédition

Le ciment est chargé directement en vrac dans des camions citernes, des péniches ou des wagons (ou même en bateau) ou envoyé dans un atelier d'ensachage et de séchage.[21]

La figure I.7 résume le processus de fabrication ainsi les compositions dans chaque étape jusqu'à l'obtention du produit fini (Ciment).

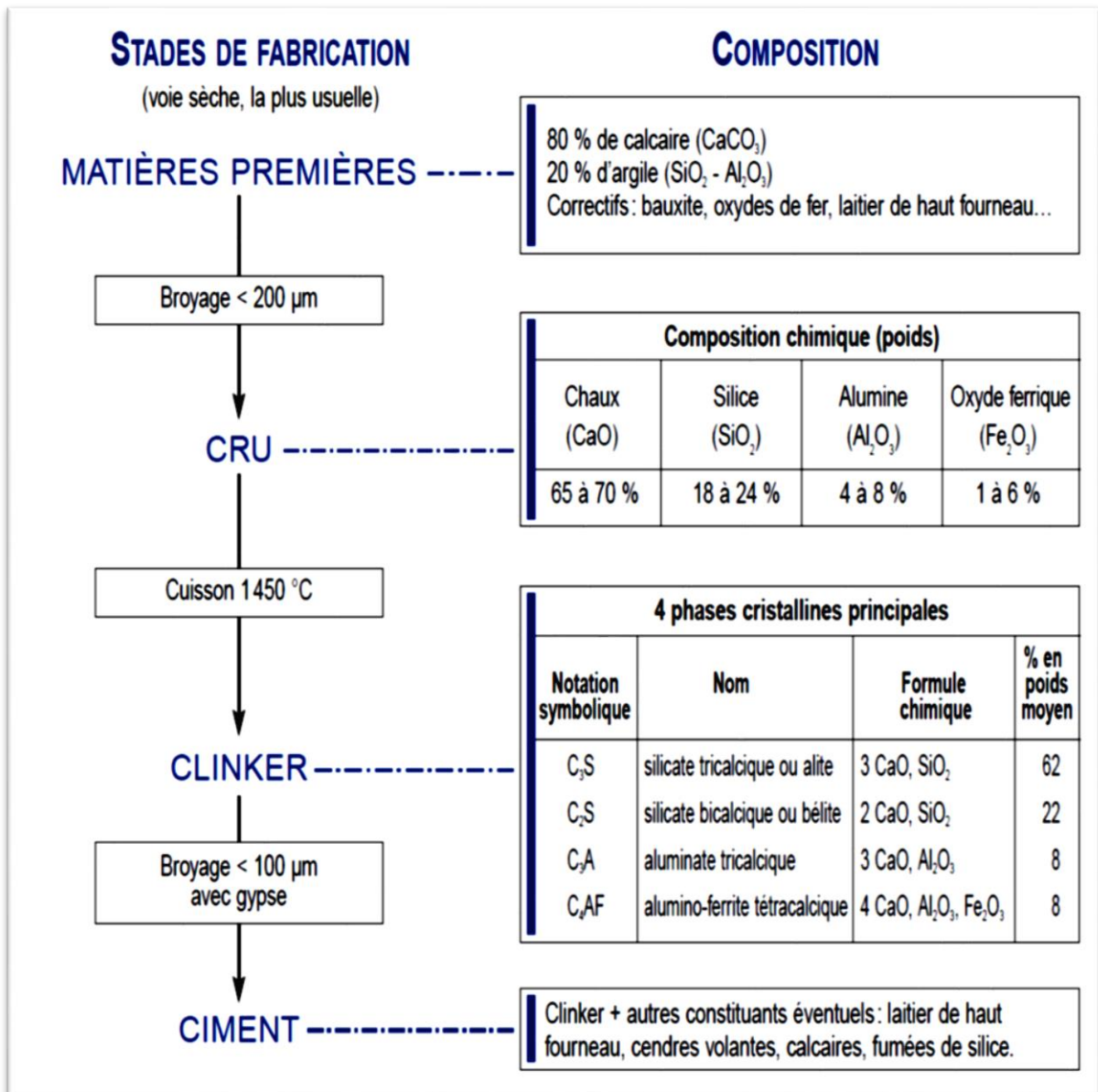


Figure I-3 : Différentes étapes de fabrication du Ciment.

PARTIE I.3 : GRIGNON D'OLIVE

I.1. Définition des grignons d'olives

Les grignons d'olives, figure I.8, sont les résidus solides issus de la première pression de l'olive. Ils sont formés de la pulpe et noyaux d'olives. Le poids des grignons représente environ un tiers du poids des olives fraîches triturées. Ces déchets contiennent en moyenne 28,5% d'eau, 41,5% de coque, 21,5% de pulpe et 8,5% d'huile. [24]



Figure I-4 : Grignon d'olive.

I.1.1. Les différentes méthodes d'extractions de grignon d'olive

Il existe trois types de méthodes pour obtenir le grignon d'olive :

➤ **La méthode d'extraction par presse (système traditionnelle)**

Ce sont des systèmes classiques par pression à l'aide de broyeurs, figure I.9. Le broyage des olives suivi du malaxage se font sous des meules. Une pâte est obtenue au bout d'une demi-heure environ. Elle est composée de grignon et d'un moût contenant l'huile et les margines. [25]



Figure I-5 : Obtention de grignon d’olive par le système de presse.[26]

➤ **Méthode d’extraction par Centrifugation**

Les machines utilisées sont des centrifugeuses horizontales qui opèrent à une vitesse angulaire jusqu’à 3000 fois plus grande que l’accélération gravitationnelle naturelle. La centrifugation en continu comprend les étapes suivantes : effeuillage et lavage, broyage des olives, malaxage de la pâte d’olive, centrifugation avec ou sans addition d’eau pour le système à deux phases et à trois phases, respectivement comme le montrent les deux figures I.10 et I.11 : [4]

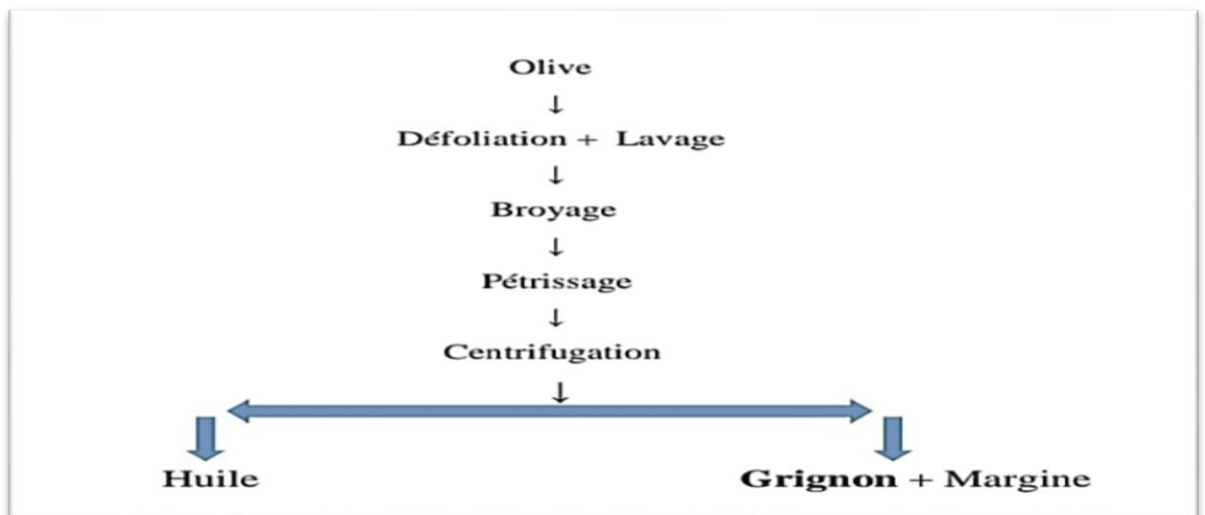


Figure I-6 : Système continu d’extraction avec centrifugation à 2 phases. [27]

I.1.2. Types de grignon d'olive

Tableau I-3: Types de grignon d'olive. [28]

Types	Définitions
Le grignon brut	C'est le résidu de la première extraction de l'huile par pression de l'olive entière, ses teneurs relativement élevées en eau et en huile favorisent son altération rapide lorsqu'il est laissé à l'air libre.
Le grignon épuisé	C'est le résidu obtenu après déshuilage du grignon brut par un solvant, généralement l'hexane.
Le grignon partiellement dénoyauté	Résulte de la séparation partielle du noyau de la pulpe par tamisage ou ventilation

I.1.3. Valorisation des grignons d'olive

Les grignons d'olives ont des applications nombreuses : [28]

➤ **Utilisation dans l'alimentation animale**

Utilisation des grignons d'olive dans l'alimentation animale après addition d'autres composantes (cactus, mélasse, son, minéraux...).

➤ **Utilisation des grignons comme combustible**

Le grignon d'olive est un combustible de valeur calorifique moyenne (2950 kcal/kg).

Après séparation de la pulpe du noyau, la pulpe est transformée en pellets et les noyaux peuvent être utilisés directement dans les chaudières.

➤ **Utilisation des grignons d'olive pour la fertilisation des terres agricoles**

Utilisation du compost des grignons d'olive sur les terres agricoles pour l'amélioration de la fertilité des sols et de la productivité des cultures. L'épandage de ces déchets doit faire l'objet d'une étude préalable afin de préciser les doses et les périodes d'épandage adaptées aux cultures fertilisées.

Cette technique permet d'une part de réduire les coûts de fertilisation et d'autre part de limiter la pollution de ces rejets.

➤ **Extraction de l'huile de grignon**

L'huile de grignons d'olive est l'huile obtenue par traitement aux solvants ou d'autres procédés physiques, Elle est commercialisée selon les dénominations et définitions suivante:

- L'huile de grignons d'olive brute : Elle est utilisée pour la consommation humaine après le raffinage ou destinée à des usages techniques.
- L'huile de grignons d'olive raffinée : c'est l'huile obtenue à partir de l'huile de grignons d'olive brute par des techniques de raffinage n'entraînant pas de modifications de la structure glycéridique initial.
- L'huile de grignons d'olive : est l'huile constituée par le coupage d'huile de grignons d'olive raffinée et d'huiles d'olive vierges propres à la consommation en l'état. [29]

➤ **Utilisation du grignon d'olive comme absorbant**

La préparation du charbon actif à partir du grignon d'olive a fait l'objet de plusieurs recherches pour son pouvoir de bio sorption des métaux lourds et du phénol. C'est une technologie alternative dans le traitement des eaux usées et de la margine. [30]

➤ **Utilisation des grignons dans les matériaux de construction**

La réutilisation des grignons d'olives en tant que matière première dans l'industrie du bâtiment, permettra non seulement de réduire les déchets issus de l'industrie oléicole, mais aussi de compenser le coût des matières premières. Effectivement c'est un moyen écologique et durable toute en préservant les ressources naturelles.

I.2. PROCEDE DE STABILISATION / SOLIDIFICATION

I.2.1. Définition

La stabilisation / solidification est une méthode de traitement utilisée pour prévenir, retarder ou diminuer le rejet de composants dangereux d'un flux de déchets tels que les boues ou les sédiments. [31- 32].

Les procédés de stabilisation/solidification apparaissent ainsi comme un maillon essentiel des filières de gestion des déchets industriels et urbains [33], Et qui est but de piéger les polluants afin de réduire leur mobilité. Les polluants sont soit liés physiquement, soit inclus dans une matrice stabilisée, soit liés chimiquement. [33]

I.2.2. Stabilisation

La stabilisation implique une transformation des propriétés chimiques des contaminants présents dans la matrice à traiter en diminuant leur solubilité dans l'eau, leur mobilité et, par le fait même, leur toxicité. [33-34]

Est un processus qui lie chimiquement des liquides libres dans lesquels des réactions chimiques se produisent entre les réactifs et le matériau contaminé pour réduire et immobiliser les substances dangereuses par réduction de la solubilité et de la lixivabilité de ces éléments polluants en une forme insoluble de nature physique peuvent ou non être modifiée de manière significative par ce processus (forme stable).[35]

I.2.3. Solidification

La solidification implique une transformation des propriétés physiques de la matrice à traiter par l'ajout d'agents liants qui la compactent, modifient la taille de ses pores et réduisent sa conductivité hydraulique. L'ajout d'agents liants peut maximiser le processus de stabilisation.[35,36]

I.3. Applications

La technologie de solidification/stabilisation s'applique seulement aux matrices contaminées solides, comme les sols, les boues et les sédiments. La technologie de solidification/stabilisation est utilisée dans la zone non saturée jusqu'à une profondeur approximative de 30 m. De plus, elle est habituellement plus facile à mettre en œuvre dans des sols silteux, sablonneux ou graveleux, contrairement à des sols à forte teneur en argile, puisqu'un mélange uniforme est plus facile à obtenir dans ce cas. Les sols contenant de l'argile ont tendance à laisser des lentilles d'argile résiduelles non mélangées et non stabilisées.[37]

I.4. Stabilisation/solidification à base de liants hydraulique

Les liants hydrauliques sont des poudres fines constituées de sels minéraux anhydres réactifs en présence de l'eau. Ils s'hydratent en présence d'eau pour former un matériau solide,

véritable roche artificielle. Parmi ces liants hydrauliques on trouve le ciment : le plus couramment utilisé est le ciment Portland artificiel (CPA-CEMI). Il résulte du broyage du clinker, obtenu par la cuisson (à 1450°C) d'un mélange approprié de calcaire (80%) et d'argile (20%), avec environ 5% de gypse (CaSO_4) pour régulariser la prise.[38]

Le jumelage de ces deux procédés fait de la PSS au ciment une technologie efficace pour réhabiliter les sols contaminés d'origine inorganique ou organique. Elle est particulièrement efficace pour traiter les métaux lourds (Figure II.1). Avec la PSS au ciment, on peut restaurer les sols contaminés in situ, c'est-à-dire sur les lieux mêmes et sans excavation, ou encore ex situ, soit après l'excavation complète des sols contaminés. Il y a un avantage certain à réhabiliter les sols contaminés sur place, car on évite ainsi les risques liés au transport et à la manutention de produits nocifs. Dans la perspective du développement durable, la SS au ciment in situ est bénéfique car elle permet la réutilisation des sols. [39]



Figure I-7 : Piégage mécanique des métaux lourds

I.5. Avantage de la stabilisation et solidification au liant hydraulique – ciment

- La solidification et stabilisation au ciment protège la santé de la population et l'environnement, en fixant des contaminants dangereux dans la matière traitée.
- L'efficacité du ciment comme moyen de stabilisation ou de solidification est démontrée par plus de 50 ans d'utilisation dans des projets de toutes sortes.
- Le ciment c'est produit générique, qu'on peut facilement se procurer n'importe où au payes, en petite ou en grande quantité.

- La matière contaminée traitée au moyen de techniques S/S peut être réutilisée sur place, ce qui permet d'éviter d'avoir à se procurer du remblai pour la remplacer et à payer son transport, ainsi que de réduire la demande à laquelle doivent satisfaire les sites d'enfouissement dont la capacité est limitée.
- L'utilisation du ciment peut réduire l'augmentation de volume comparativement à celle qui découle de l'emploi d'autres réactifs.

Chapitre II
Protocoles expérimentaux

II.1. Matériels et formulations des matériaux stabilisés / solidifiés

II.1.1. Ciment Portland CEM I 42.5 N – LH / SR5

Le ciment, tableau II.1 et figure II.1, utilisé dans les formulations pour la mise en œuvre de la S/S est un ciment gris résistant aux sulfates, résultat de la mouture d'un clinker contenant un faible taux d'aluminates de calcium avec une proportion de gypse inférieure à celle d'un ciment portland composé. Ce dernier a les caractéristiques techniques conformément à la norme NA 442 édition 2013 « NF EN 197-1 : 2012 ».

Tableau II-1: Caractéristiques techniques du ciment.

Composition Chimiques Norme(En 196-2)			Essais physiques Norme (NF EN « 196-3 : 2017 et 196-6 : 2018 »)		Garantie 197-1(2012)	Mesures
Eléments		Mesures	P.S	(g/cm ³)	/	3.21
SiO₂-T	%	20.84	SSB	Cm ² /g	/	3975
Al₂O₃	%	4.50	Début de prise	Minute	≥60	221
Fe₂O₃	%	5.00	Fin de prise		/	343
CaO-T	%	63.49	Expansion A. Chaud	Millimètres	≤10	0.07
Mg O	%	1.37	Refus 45μ	%	/	12.99
SO₃	≤3 %	2.22	Consistance normale	%		25.29
K₂O	%	0.31	Chaleur d'hydratation(LH)	J/g	≤270	245.0
Na₂O	%	0.15	S.C.A.E.K			
Cl	≤0. 1%	0.001				
P.A.F.	≤5 %	0.89				
CaO Libre	%	0.54				
R. Insoluble	≤5 %	0.65				

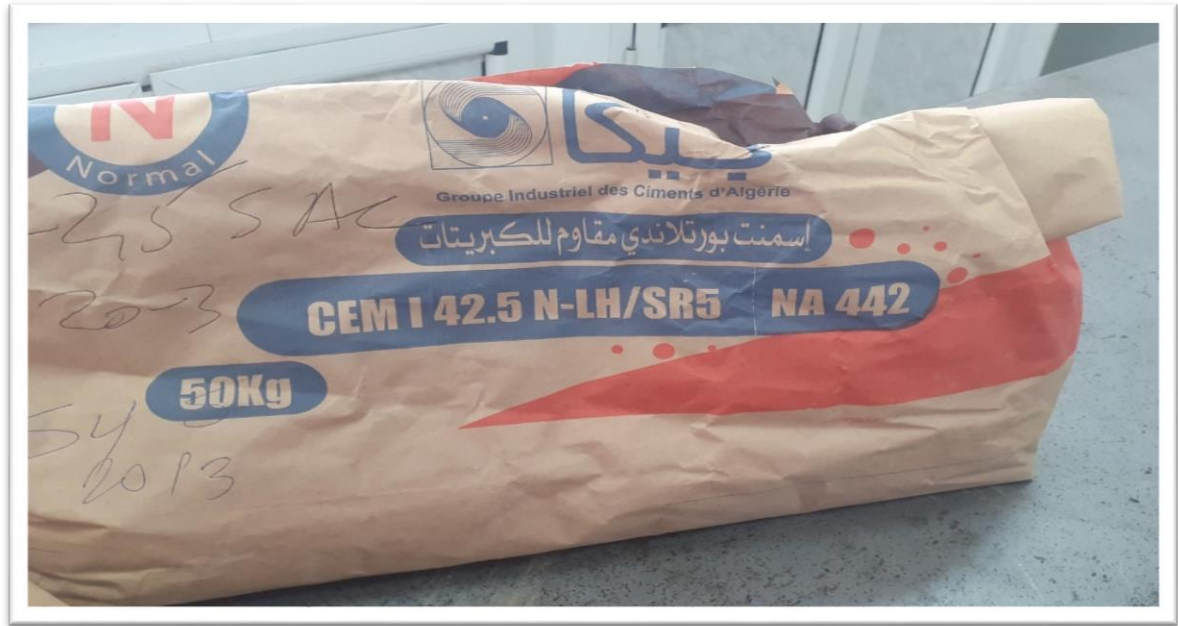


Figure II-1 : Image d'un sac de ciment utilisé.

II.2. Formulation des matériaux

Les formulations retenues, tableau II.2, pour chaque matériau à base de liant hydraulique (CPA) dont les proportions de polluants, CKD et de ciment étaient acceptables d'un point de vue mécaniques, sont déterminées d'après le protocole expérimentale qui est conforme à la norme CEN EN 196-1.

Afin d'étudier les phénomènes physico- chimiques contrôlant le relargage des constituants, notamment ceux influençant la solubilisation, des matériaux présentant des niveaux de basicité différents dopés en déchets purs ont été utilisés.

Tableau II-2: Elaboration des mortiers avec les différentes quantités du déchet et de grignon

Formulations	Ciment(g)	Grignon d'olive(g)	Sable(g)	Déchet(g)	Eau (ml)	E/C
Forme 01	294.648	5.352	1349.865	0.135	147.324	0.5
Forme 02	294.648	5.352	1349.73	0.27	147.324	0.5
Forme 03	257.352	42.648	1349.865	0.135	128.676	0.5

Forme 04	257.352	42.648	1349.73	0.27	128.676	0.5
Forme 05	392.864	7.136	1349.865	0.135	196.432	0.5
Forme 06	392.864	7.136	1349.73	0.27	196.432	0.5
Forme 07	343.136	56.864	1349.865	0.135	171.568	0.5
Form 08	343.136	56.864	1349.73	0.27	171.568	0.5
Form 09	262.78972	22.85128	1349.595	0.405	131.39486	0.5
Form 10	381.21028	33.14872	1349.595	0.405	190.60514	0.5
Form 11	350	0	1349.595	0.405	175	0.5
Form 12	294	56	1349.595	0.405	147	0.5
Form 13	322	28	1350	0	161	0.5
Form 14	322	28	1349.46	0.54	161	0.5
Form 15	322	28	1349.595	0.405	161	0.5
Form 16	322	28	1349.595	0.405	161	0.5
Form 17	350	0	1350	0	175	0.5

II.3. Mise en œuvre de la solidification

II.3.1. Préparation des échantillons

Le ratio eau / ciment, E/C, de ces mélanges est très important, même s'il ne peut pas toujours être optimisé lors de la mise en œuvre du procédé de solidification. Il conditionne la qualité du mortier et la porosité ouverte du matériau (volume des pores, taille et géométrie des pores, distribution poreuse) ainsi que le taux d'hydratation à 28 jours. Un ratio de 0.5 permet de favoriser la diffusion ; ce qui permet d'obtenir une capacité constante sans avoir besoin d'utiliser une « table à chocs » ou une « table vibrante ».[40]

II.4. Essais mécaniques

II.4.1. Mesure de résistance à la compression et à la flexion

II.4.1.1. Objectif de l'essai

Il s'agit de définir les qualités de résistance, c'est-à-dire de déterminer la contrainte de rupture à la traction par flexion et la contrainte de rupture à la compression des mortiers.

II.4.1.2. Principe de l'essai

L'essai consiste à étudier les résistances à la traction par flexion et à la compression d'éprouvettes de mortier.

II.4.1.3. Moulage des éprouvettes

Avec le mortier préparé pour chaque série d'éprouvette, on remplit le moule $4 \times 4 \times 16$ cm³. Le moule utilisé dans la préparation des monolithes est présenté sur figure III.3.



Figure II-2 : Le moule utilisé dans la préparation des monolithes.

II.4.1.4. Essai de rupture par flexion

L'essai de rupture par flexion est effectué sur une éprouvette prismatique de ($4 \times 4 \times 16$ cm³) en mortier placé sur deux rouleaux distant de 100 mm. En veillant à ce que l'axe longitudinal de l'éprouvette soit dans le plan de flexion de l'appareil. On actionne la

machines qui va appliquer une charge progressive et continue et sans chocs à vitesse constante sur l'éprouvette jusqu'au moment de rupture (Figure III.4). Ensuite, on récolte les résultats de la charge de rupture F_f et de la contrainte R_f correspondantes qui sont données directement par la machines d'essai. Cette contrainte est appelée résistances à la traction par flexion et si F_f est exprimée en Newton, R_f est exprimée en MPa.

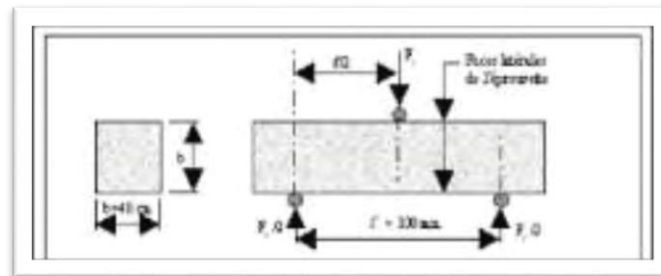


Figure II-3 : Rupture des éprouvettes

II.5. Analyse granulométrique

II.5.1. Analyse granulométrique par tamisage

L'analyse granulométrique permet de déterminer et d'observer les différents diamètres de grains qui constituent un granulat. Pour cela l'analyse consiste à séparer et classer à l'aide de tamis ces grains selon leur diamètre. Les grains ainsi isolés peuvent être pesés pour déterminer la proportion de chacun dans le granulat. [42]

II.5.2. Différents coefficients à calculer

Une fois que les classes granulométriques sont définies, plusieurs coefficients seront calculés en se basant sur les différents paramètres de positionnement, à savoir :

➤ **Module de finesse M_f**

Le module de finesse est une valeur exprimée en pourcentage, qui rend compte de la granularité d'un granulat, en réalité surtout utilisé pour les sables. Son calcul est effectué à la suite du passage du granulat à travers une série normalisée de tamis.

$$M_f = \Sigma \% \text{ de refus cumulée } / 100 \dots \dots \dots \text{III.3}$$

- $1.8 < M_f < 2.2$: le sable est à majorité de grains fins
- $2.2 < M_f < 2.8$: on est en présence d'un sable préférentiel
- $2.0 < M_f < 3.3$: le sable est un peu grossier

II.6. METHODES PHYSIQUES D'ANALYSES

II.6.1. Analyse par diffraction des rayonnements X (DRX)

II.6.1.1. Principe et mode opératoire

La diffraction des rayons X est une méthode d'analyse minéralogique des matériaux cristallisés. Elle s'applique sur des poudres ou des échantillons massifs pour déterminer la nature des phases minérales cristallines. 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 méthode générale consiste à bombarder le matériau par un faisceau de rayons Monochromatique et parallèle à la longueur d'onde $1,54051 \text{ \AA}$, produit par une anticathode de cuivre, à mesurer l'angle par rapport au rayonnement incident des rayons 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 dont l'angle d'incidence égale 2θ mesuré par le déplacement du compteur, figure III.8& II.9. Cela a pour conséquence la production d'un spectre continu sur lequel se détachent les raies caractéristiques de l'échantillon analysé.

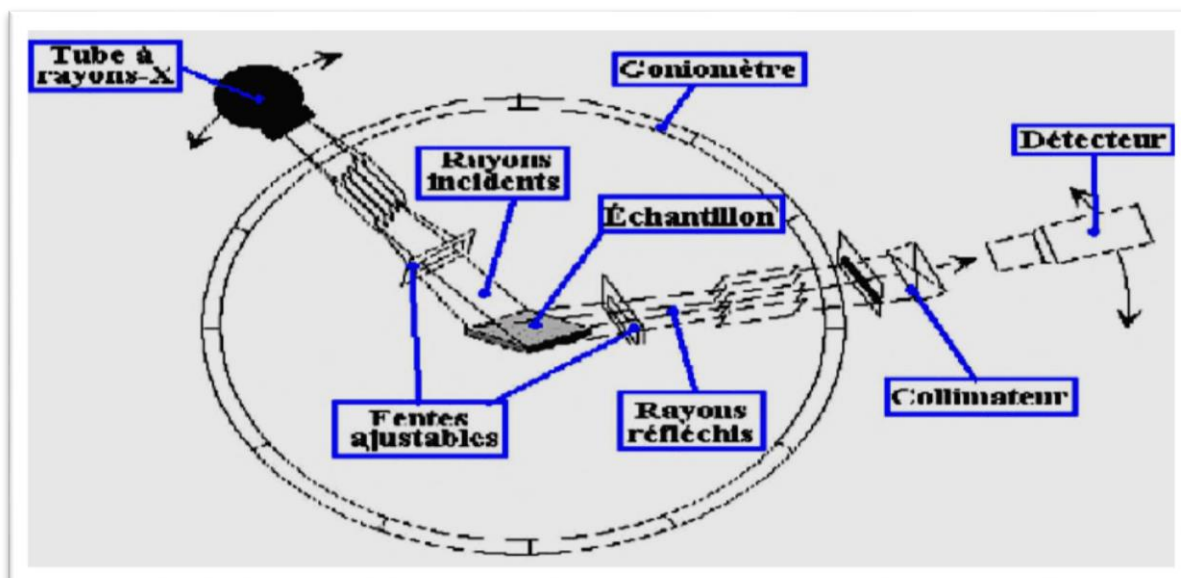


Figure II-4 : Schéma d'un spectromètre de diffraction des rayons X.

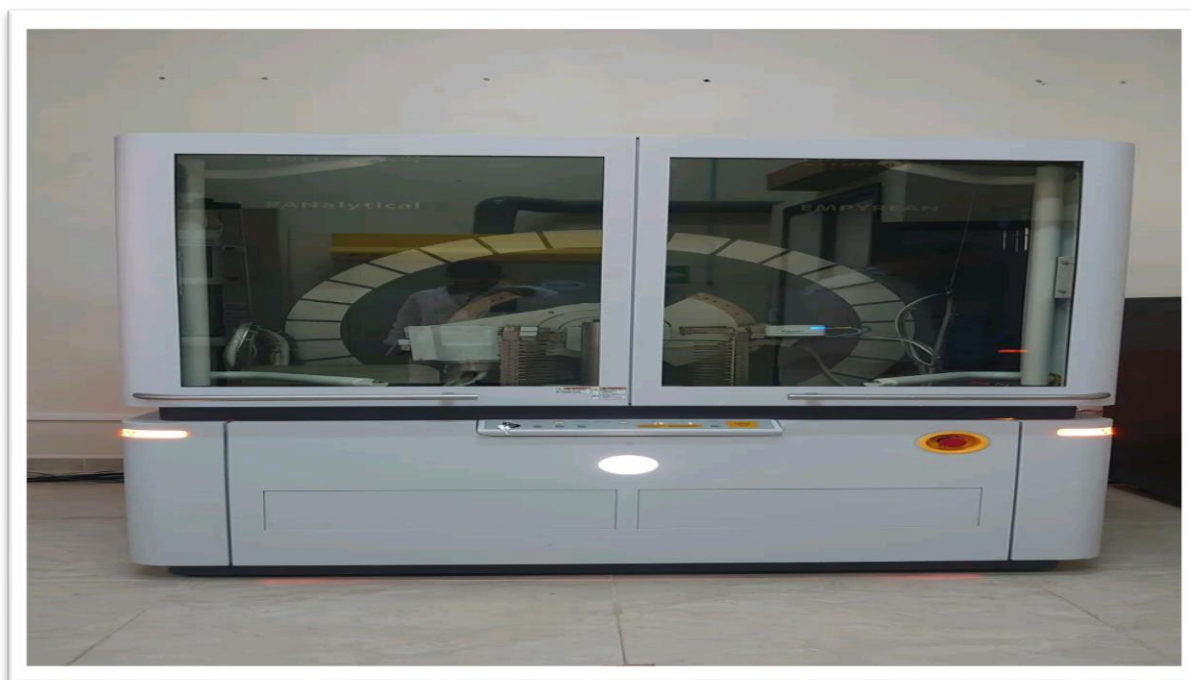


Figure II-5 : Image de l'appareil de la diffraction des rayonnements X (DRX).

II.6.2. Spectroscopie infrarouge transformée de Fourier (IRTF)

L'utilisation de la DRX permet d'étudier les principales phases minérales cristallisées présentes dans la matrice mais ne donne aucune information concernant les phases amorphes présentes dans le matériau. L'analyse des matériaux par IRTF peut nous permettre d'accéder informations concernant les phases amorphes (figure III.10.). La spectrométrie infrarouge à transformer de fourrier est une méthode d'analyse non destructive pour l'échantillon, elle est basée sur l'absorption d'un rayonnement infrarouge par le matériau analysé. Elle permet via la détection des vibrations caractéristiques des liaisons chimiques, d'effectuer l'analyse des fonctions chimiques présentes dans le matériau. [43



Figure II-6 : Image de l'appareil du spectrophotomètre IR.

II.7. Méthodes chimiques d'analyses

II.7.1. Analyse par Fluorescence X (FX)

La fluorescence X est une méthode spectrale d'analyse qui exploite la fluorescence des atomes dans le domaine des rayons X, afin d'obtenir des renseignements quantitatifs sur la composition élémentaire d'un échantillon solide (Figure III.12). Lorsqu'un échantillon est irradié avec une source de photons à grande énergie (5 à 60 keV), une photoluminescence située dans le domaine des rayons X, caractéristique des perpendiculaires au faisceau primaire, se diffracte alors sur un cristal analyseur selon la loi de Bragg. éléments présents, est émise par ce dernier. Cette fluorescence,



Figure II-7 : Image de l'appareil du Fluorescence X (FX)

Chapitre III
Résultats et discussions

Introduction

Dans ce chapitre IV, nous présenterons l'ensemble des résultats obtenus à savoir : caractérisation granulométrique, résistances mécaniques, caractérisation chimique (DRX, FX et IR) et leurs discussions.

III.1. MATIERES PREMIERES

III.1.1. Ciment

III.1.1.1. Analyse Infrarouge (IR) du ciment

La figure IV.1 montre les différentes bandes de vibrations obtenues lors de cette analyse. Une recherche bibliographique a été réalisée afin d'identifier les différentes bandes transmission du spectre du ciment. Il ressort de cette recherche, que les bandes d'absorptions identifiées sur le spectre montrent l'absence de groupements fonctionnels des matières organiques, ce résultat indique que le ciment récupéré d'Ain Elkebira, ne contient pas des matières organiques. Les bandes caractérisées sont présentées sur la figure IV.1.

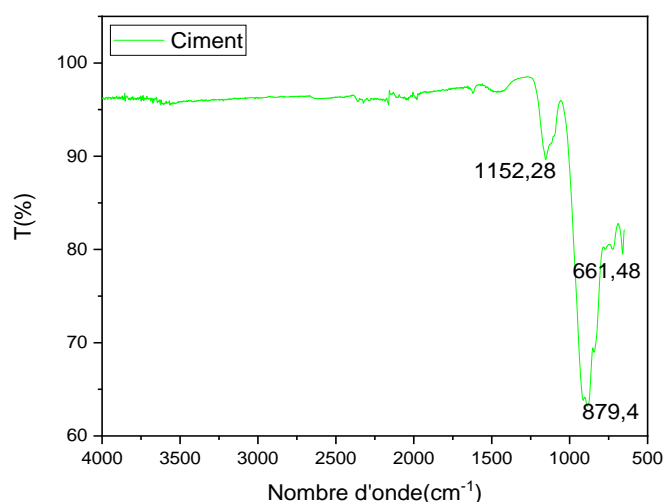


Figure III-1 : Spectre Infrarouge du ciment.

Le spectre IR présente des bandes caractéristiques du gypse, il s'agit des deux doublets à 1152 cm⁻¹ et à 661 cm⁻¹ qui correspondent aux élongations de la liaison S-O des sulfates(SO₄²⁻). Nous pouvons voir aussi une bande vers 879 cm⁻¹ caractéristique des modes de vibrations d'élongation des liaisons C-O, qui signifie la présence du carbonate de calcium (CaCO₃), qui est certainement due à une légère carbonatation.

III.1.1.2. Analyse par diffraction des rayons X (DRX)

La figure IV.2 illustre le spectre DRX du ciment.

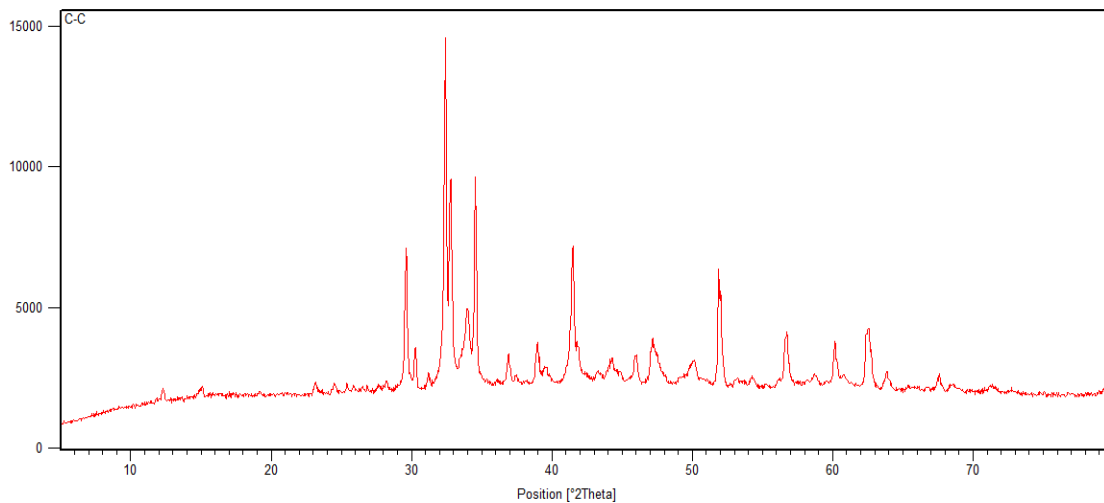


Figure III-2 : Spectre DRX du ciment.

L'analyse DRX du ciment CPA utilisé dans les formulations est illustrée sur la figure IV.2, ci-dessus, elle montre la présence des quatre phases minéralogiques du ciments à savoir : les silicates tricalciques C_3S , les silicates bis calciques C_2S , les aluminates tricalciques C_3A , et les alumino-ferritétra calcique C_4AF .

III.1.2. Grignon d'olive

III.1.2.1. Analyse Infrarouge (IR) du GO

L'analyse par spectroscopie infrarouge est une technique de caractérisation très utilisée pour l'étude des structures. Elle permet d'identifier les groupements fonctionnels présents dans ces composés : anions, groupements moléculaires et molécules d'eau. Les spectres d'adsorptions infrarouges, étant dans la gamme $4000-500\text{cm}^{-1}$.

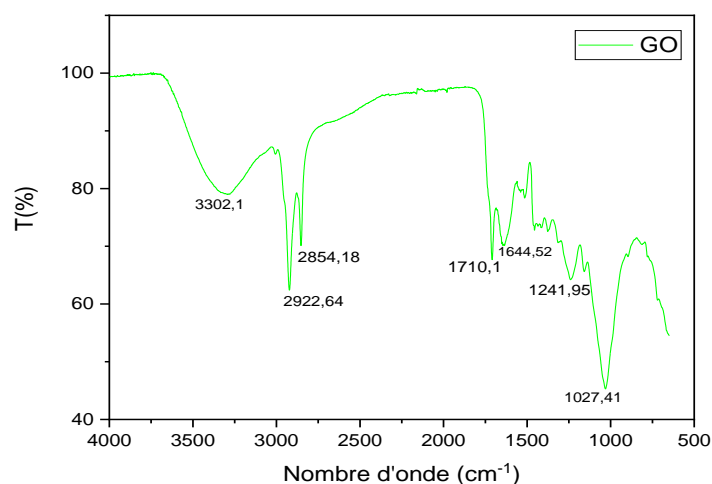


Figure III-3 : Spectre Infrarouge du GO

Une large bande est observée à 3302 cm⁻¹ qui correspond à l'élongation des liaisons OH. Elle peut être attribuée aux vibrations des OH dans des groupes carboxyliques, des alcools ou des phénols.

Les deux pics aigus autour de 2922 et 2854 cm⁻¹ sont dus à des élongations asymétrique et symétrique des -C-H dans les chaînes aliphatiques. La bande observée à 1710 cm⁻¹ peut être attribuée à l'élongation des C=O dans les groupes carbonyles des esters et dans les groupes carboxyliques. Alors que la large bande à environ 1644 cm⁻¹ peut être attribuée à l'élongation des C=C dans des alcènes et des composés aromatiques, avec contribution de l'élongation de C=O dans des cétones (Tena et al., 2017).

Les pics de la zone 1200-1400 cm⁻¹ sont attribués à la déformation angulaire symétrique des méthyles, à la vibration d'élongation symétrique des -COO- et à l'élongation des C-O dans les acides carboxyliques (Francioso et al., 2007). Les bandes entre 850 et 1200 cm⁻¹ sont attribuées à l'élongation des C-O dans les groupes carboxyliques de molécules organiques (Yang et Irudayaraj, 2001 ; Francioso et al., 2007), mais aussi à l'élongation des Si-O, notamment des phases minérales (Haberhauer et al., 2000).

III.1.2.2. Analyse par diffraction des rayons X (DRX) du GO

Ci-dessous le diagramme de diffraction des rayons X de la poudre de noyaux de dattes broyés (Figure IV.4), principalement amorphe avec un petit domaine cristallin.

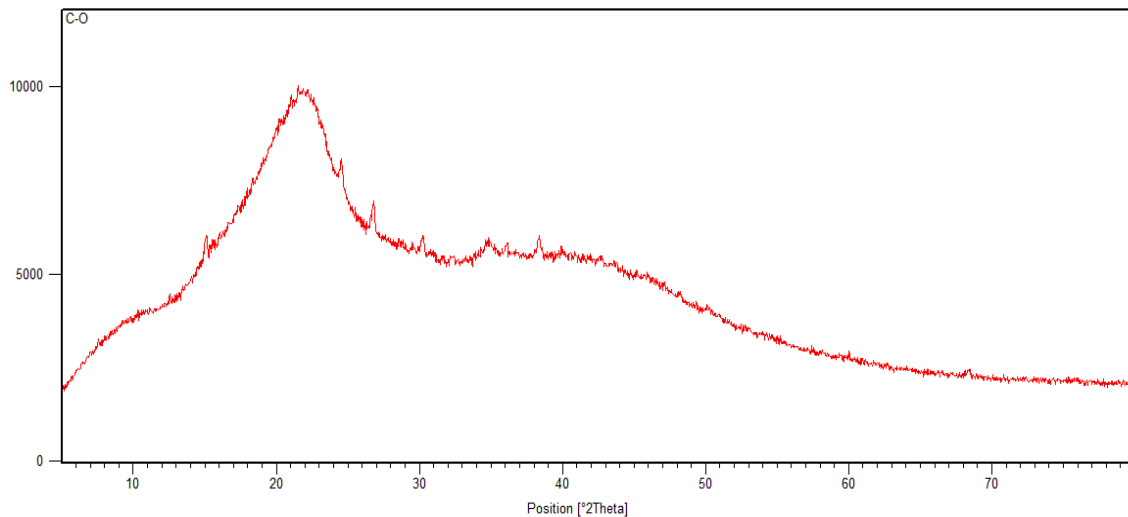


Figure III-4 : Spectre DRX du GO

III.2. Analyse granulométrique

L’analyse granulométrique d’un échantillon consiste à déterminer la proportion des diverses classes de grosseur des particules ; autrement dit, c’est une opération qui montre la répartition des différents grains d’un échantillon en fonction de leurs caractéristiques (taille, diamètre, ...).

III.2.1. Caractéristique de sable normalisé

Les résultats de granulométrie sont résumés dans le tableau III.1.

Tableau III-1: La granulométrie de sable normalisé.

Ouverture des tamis (mm)	2.00	1.60	1.00	0.50	0.16	0.08
Refus cumulés (%)	0	12	31	62	88	99
Passant Cumules(%)	100	88	69	38	12	1

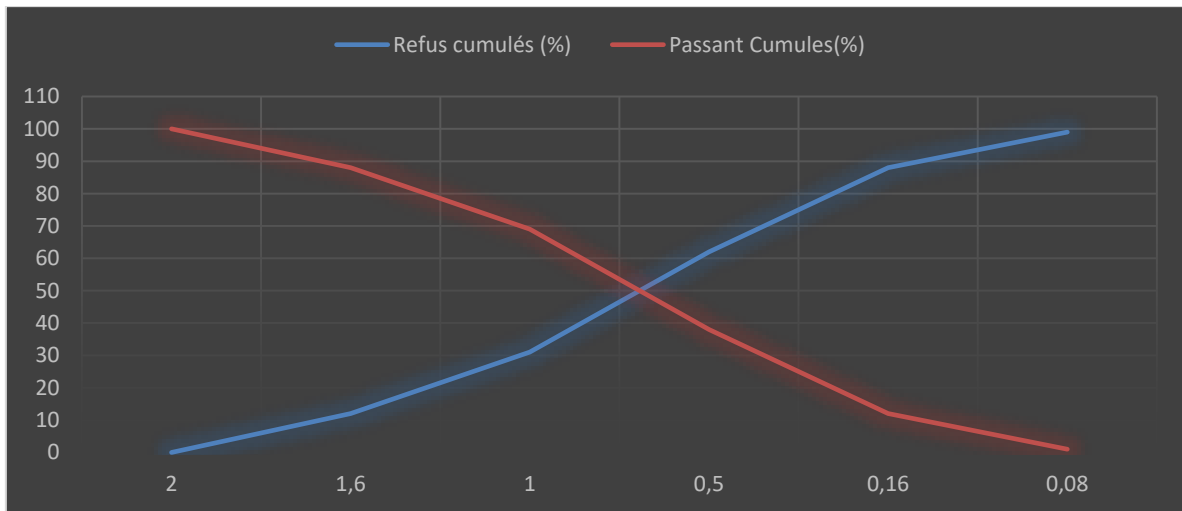


Figure III-5 : Courbe granulométrique du sable normalisé.

➤ Calcul des différents coefficients

Tableau III-2: Résultats des coefficients.

Refus cumulé x (%)	10	16	30	60	84
Diamètres Dx (mm)	2.5	1.6	1	0.5	0.16
Coefficients					
	Hazen (Cu)	Courbure (Cc)	Ecart Type (σ)	Module de Finasse (Mf)	
Résultats	0.2	0.8	0.3	2.92	
Observation	La granulométrie est uniforme ou encore serrée	La granulométrie est mal graduée	Le classement est mauvais	Le sable est un peu grossier	

Les résultats de caractéristiques physico-chimiques sont résumés ci-dessous.

Tableau III-3: Caractéristiques physico- chimiques

Masse volumique	2645 kg/m ³
Absorption en eau	0.18%
Module de finesse	2.92
Teneur en chlorure	<48ppm
SiO ₂	98.55%
AlO ₃	55%
Fe ₂ O ₃	0.08%
PAF	950°C = 0.16

III.2.2. Caractéristique de GO

Les résultats de granulométrie sont résumés dans le tableau III.4. [3]

Tableau III-4: Granulométrie du GO.

Ouverture des tamis (mm)	2	1.00	0.5	0.250	0.125	0.063	<0.063
Refus cumulés (%)	56.47	80.43	90.30	95.23	98.03	99.67	100
Passant Cumules(%)	43.53	19.57	9.70	4.77	1.98	0.33	0

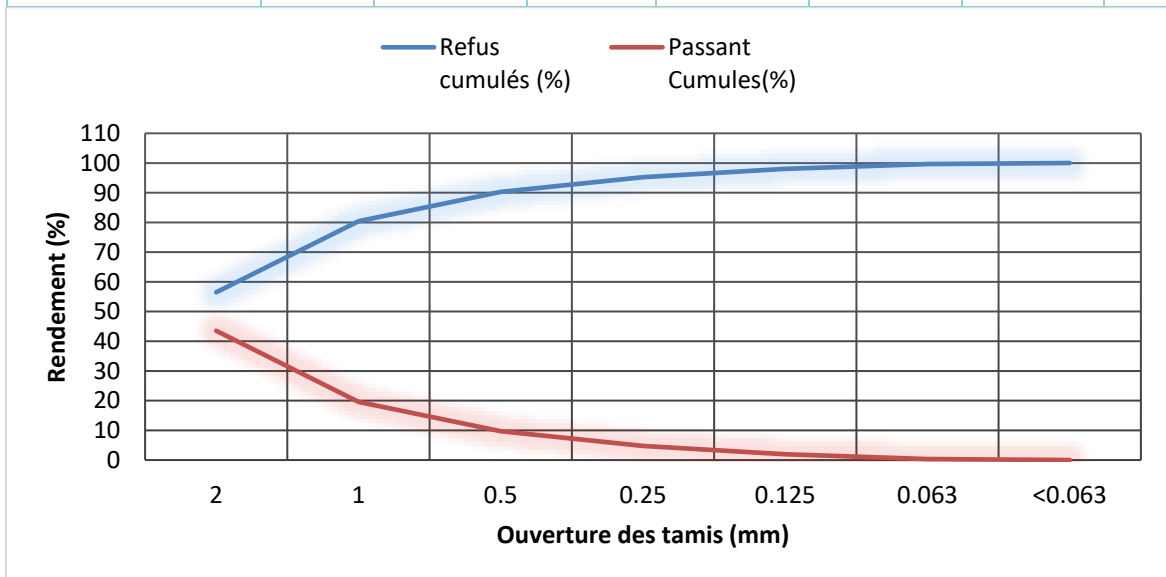


Figure III-6 : Courbe granulométrique du grignon d'olive

Les données que vous avez fournies semblent représenter une courbe granulométrique cumulée pour le grignon d'olive, où les pourcentages cumulés indiquent la proportion totale de particules de taille inférieure ou égale à une certaine taille. La colonne "Refus cumulés (%)" indique la proportion cumulative de particules qui sont retenues au-dessus de chaque taille spécifique, tandis que la colonne "Passant Cumulés(%)" indique la proportion cumulative de particules qui passent à travers chaque taille spécifique. Voici une interprétation basée sur ces données:

- **43.53% Passant à travers 56.47% Refus** : Cela signifie que 43.53% des particules sont de taille égale ou inférieure à 56.47%. En d'autres termes, cette partie du matériau est relativement fine et peut passer à travers une maille ou un tamis de 56.47% de la taille.
- **19.57% Passant à travers 80.43% Refus** : Cette partie représente les particules de taille égale ou inférieure à 80.43%. Ces particules sont plus fines que celles retenues par le tamis de 80.43%.
- **9.70% Passant à travers 90.30% Refus** : Cela indique la proportion cumulative de particules de taille inférieure à 90.30%. La finesse du matériau augmente à mesure que la taille des particules diminue.
- **4.77% Passant à travers 95.23% Refus** : Cette partie représente les particules de taille inférieure ou égale à 95.23%. La majeure partie du matériau est constituée de particules plus petites que cette taille.
- **1.98% Passant à travers 98.03% Refus** : Ces particules sont encore plus fines, représentant une petite fraction du matériau total.
- **0.33% Passant à travers 99.67% Refus** : Une proportion très faible de particules, indiquant une finesse extrême.
- **0% Passant à travers 100% Refus** : Toutes les particules sont retenues par le tamis de 100%. Aucune particule de cette taille ou plus grande n'est présente dans l'échantillon.
- En résumé, cette interprétation met évidence la distribution des tailles de particules dans le grignon d'olive, montrant une prédominance de particules fines avec une diminution progressive de la taille à mesure que l'on se déplace vers la droite de la courbe.

III.2.3. Analyse granulométrique des formulations

➤ Formulation 1 (F1)

Les résultats de granulométrie sont résumés dans le tableau III.5

Tableau III-5: Granulométrie de F1.

Ouverture des tamis (mm)	2	1.00	0.5	0.250	0.125	0.063	<0.063
Refus cumulés (%)	12.15	43.99	64.21	75.20	85.64	91.84	100
Passant Cumulés (%)	87.85	56.00	35.79	24.80	14.36	8.16	0

➤ Tamis de 2 mm :

Refus Cumulés : 12.15% - Cela signifie que 12.15% des particules sont plus grandes que 2mm.

Passant Cumulés : 87.85% - Cela signifie que 87.85% des particules passent à travers le tamis de 2 mm.

➤ Tamis de 1 mm :

Refus Cumulés : 43.99% - 43.99% des particules sont plus grandes que 1 mm.

Passant Cumulés : 56.00% - 56.00% des particules passent à travers le tamis de 1mm.

➤ Tamis de 0.5 mm :

Refus Cumulés : 64.21% - 64.21% des particules sont plus grandes que 0.5 mm.

Passant Cumulés : 35.79% - 35.79% des particules passent à travers le tamis de 0.5mm.

➤ **Tamis de 0.250 mm :**

Refus Cumulés : 75.20% - 75.20% des particules sont plus grandes que 0.250 mm.

Passant Cumulés : 24.80% - 24.80% des particules passent à travers le tamis de 0.250 mm.

➤ **Tamis de 0.125 mm :**

Refus Cumulés : 85.64% - 85.64% des particules sont plus grandes que 0.125 mm.

Passant Cumulés : 14.36% - 14.36% des particules passent à travers le tamis de 0.125 mm.

➤ **Tamis de 0.063 mm :**

Refus Cumulés : 91.84% - 91.84% des particules sont plus grandes que 0.063 mm.

Passant Cumulés : 8.16% - 8.16% des particules passent à travers le tamis de 0.063 mm.

➤ **Tamis inférieur à 0.063 mm :**

Refus Cumulés : 100% - Toutes les particules sont plus grandes que 0.063 mm.

Passant Cumulés : 0% - Aucune particule ne passe à travers le tamis inférieur à 0.063 mm.

En résumé, cette analyse granulométrique montre la distribution des tailles de particules dans l'échantillon en fonction des différents tamis. La plupart des particules semblent être de tailles relativement petites, avec une diminution progressive de la taille à mesure que l'on passe à des tamis de mailles plus petites.

Cela pourrait être utile dans divers domaines tels que la caractérisation des matériaux ou l'optimisation des processus de fabrication.

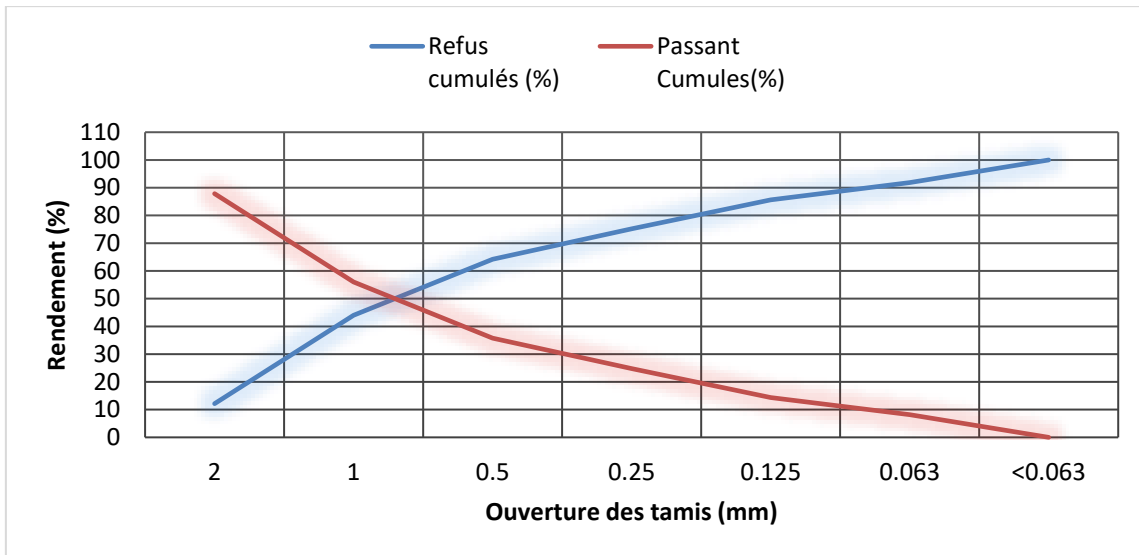


Figure III-7 : Ouverture des tamis (mm)

➤ Calcul des différents coefficients

Les paramètres granulométriques sont consignés dans le tableau III.6

Tableau III-6: Résultats des coefficients.

Refus cumulé x (%)	10	16	30	60	84
Diamètres Dx (mm)	2	2.4	1	0.5	0.125
Coefficients					
	Hazen (Cu)	Courbure (Cc)	Ecart Type (σ)	Module de Finasse (Mf)	
Résultats	0.25	1	0.2	4.7303	
Observation	La granulométrie est uniforme ou encore serrée	La granulométrie est mal graduée	Le classement est mauvais	Le sable est à enlever	

➤ **Formulation 6 (F6)**

Les résultats sont résumés dans le tableau suivant :

Tableau III-7: La granulométrie de F6.

Ouverture des tamis (mm)	2	1.00	0.5	0.250	0.125	0.063	<0.063
Refus cumulés (%)	51.48	72.04	85.91	92.72	96.95	98.57	100
Passant Cumulés (%)	48.52	27.96	14.09	7.28	3.05	1.43	0

Tamis de 2 mm :

Refus Cumulés : 51.48% - Cela signifie que 51.48% des particules sont plus grandes que 2 mm.

Passant Cumulés : 48.52% - Cela signifie que 48.52% des particules passent à travers le tamis de 2 mm.

Tamis de 1 mm :

Refus Cumulés : 72.04% - 72.04% des particules sont plus grandes que 1 mm.

Passant Cumulés : 27.96% - 27.96% des particules passent à travers le tamis de 1 mm.

Tamis de 0.5 mm :

Refus Cumulés : 85.91% - 85.91% des particules sont plus grandes que 0.5 mm.

Passant Cumulés : 14.09% - 14.09% des particules passent à travers le tamis de 0.5 mm.

Tamis de 0.250 mm :

Refus Cumulés : 92.72% - 92.72% des particules sont plus grandes que 0.250 mm.

Passant Cumulés : 7.28% - 7.28% des particules passent à travers le tamis de 0.250 mm.

Tamis de 0.125 mm :

Refus Cumulés : 96.95% - 96.95% des particules sont plus grandes que 0.125 mm.

Passant Cumulés : 3.05% - 3.05% des particules passent à travers le tamis de 0.125 mm.

Tamis de 0.063 mm :

Refus Cumulés : 98.57% - 98.57% des particules sont plus grandes que 0.063 mm.

Passant Cumulés : 1.43% - 1.43% des particules passent à travers le tamis de 0.063 mm.

Tamis inférieur à 0.063 mm :

Refus Cumulés : 100% - Toutes les particules sont plus grandes que 0.063 mm.

Passant Cumulés : 0% - Aucune particule ne passe à travers le tamis inférieur à 0.063 mm.

Cette analyse granulométrique suggère une distribution des tailles de particules où la majorité des particules sont relativement grosses, avec une diminution progressive de la taille à mesure que l'on passe à des tamis de mailles plus petites. La proportion de particules plus fines est significativement plus faible que dans certaines analyses précédentes. Ces informations peuvent être pertinentes pour diverses applications, notamment dans le domaine de la caractérisation des matériaux ou du traitement des sols.

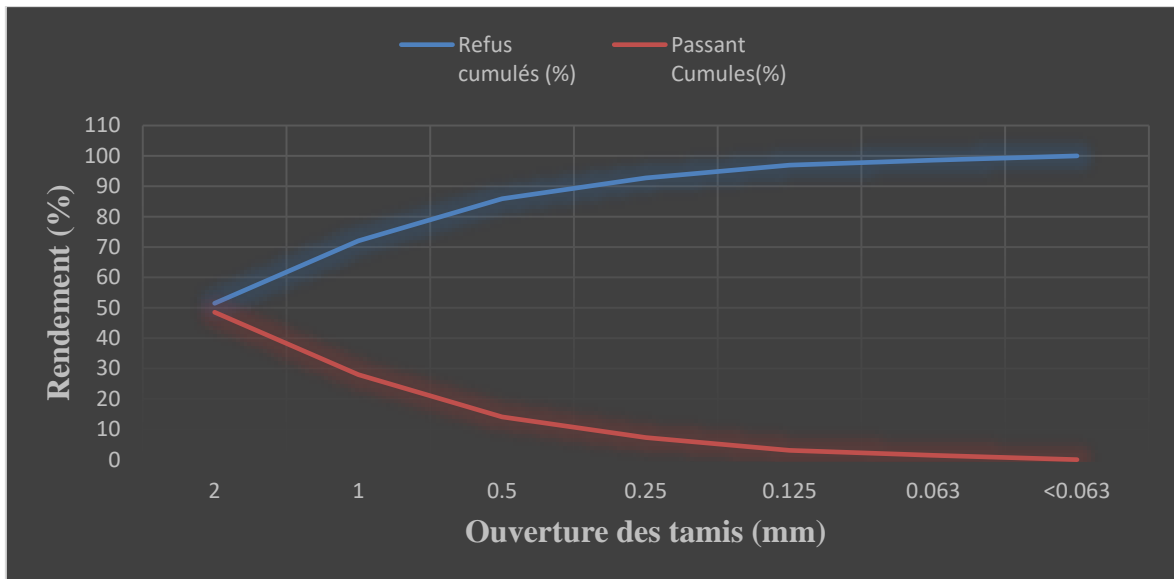


Figure III-8 : La courbe granulométrique du F6.

➤ Calcul les déferents coefficients

Tableau III-8: Résultats des coefficients.

Refus cumulé x (%)	10	16	30	60	84
Diamètres Dx (mm)	0	0	0	2	0.5
Coefficients					
	Hazen (Cu)	Courbure (Cc)	Ecart Type (σ)	Module de Finasse (Mf)	
Résultats	0	0	0	5.9767	
Observation	La granulométrie est uniforme ou encore serrée	La granulométrie est mal graduée	Le classement est mauvais	Le sable est à rejeter	

➤ Formulation 7 (F7)

Les résultats sont résumés dans le tableau suivant :

Tableau III-9: La granulométrie de F7.

Ouverture des tamis (mm)	2	1.00	0.5	0.250	0.125	0.063	<0.063
Refus cumulés (%)	16.16	48.99	73.83	85.76	94.74	98.15	100
Passant Cumules(%)	83.84	51.00	26.17	14.24	5.26	1.85	0

Les données fournies représentent une analyse granulométrique pour différentes tailles de tamis. Voici une interprétation des données :

Tamis de 2 mm :

Refus Cumulés : 16.16% - Cela signifie que 16.16% des particules sont plus grandes que 2 mm.

Passant Cumules : 83.84% - Cela signifie que 83.84% des particules passent à travers le tamis de 2 mm.

Tamis de 1 mm :

Refus Cumulés : 48.99% - 48.99% des particules sont plus grandes que 1 mm.

Passant Cumules : 51.00% - 51.00% des particules passent à travers le tamis de 1 mm.

Tamis de 0.5 mm :

Refus Cumulés : 73.83% - 73.83% des particules sont plus grandes que 0.5 mm.

Passant Cumules : 26.17% - 26.17% des particules passent à travers le tamis de 0.5 mm.

Tamis de 0.250 mm :

Refus Cumulés : 85.76% - 85.76% des particules sont plus grandes que 0.250 mm.

Passant Cumulés : 14.24% - 14.24% des particules passent à travers le tamis de 0.250 mm.

Tamis de 0.125 mm :

Refus Cumulés : 94.74% - 94.74% des particules sont plus grandes que 0.125 mm.

Passant Cumulés : 5.26% - 5.26% des particules passent à travers le tamis de 0.125 mm.

Tamis de 0.063 mm :

Refus Cumulés : 98.15% - 98.15% des particules sont plus grandes que 0.063 mm.

Passant Cumulés : 1.85% - 1.85% des particules passent à travers le tamis de 0.063 mm.

Tamis inférieur à 0.063 mm :

Refus Cumulés : 100% - Toutes les particules sont plus grandes que 0.063 mm.

Passant Cumulés : 0% - Aucune particule ne passe à travers le tamis inférieur à 0.063 mm.

Cette analyse granulométrique suggère une distribution des tailles de particules où la majorité des particules sont relativement grosses, avec une diminution progressive de la taille à mesure que l'on passe à des tamis de mailles plus petites. La proportion de particules plus fines est significativement plus faible que dans certaines analyses précédentes. Ces informations peuvent être pertinentes pour diverses applications, notamment dans le domaine de la caractérisation des matériaux ou du traitement des sols.

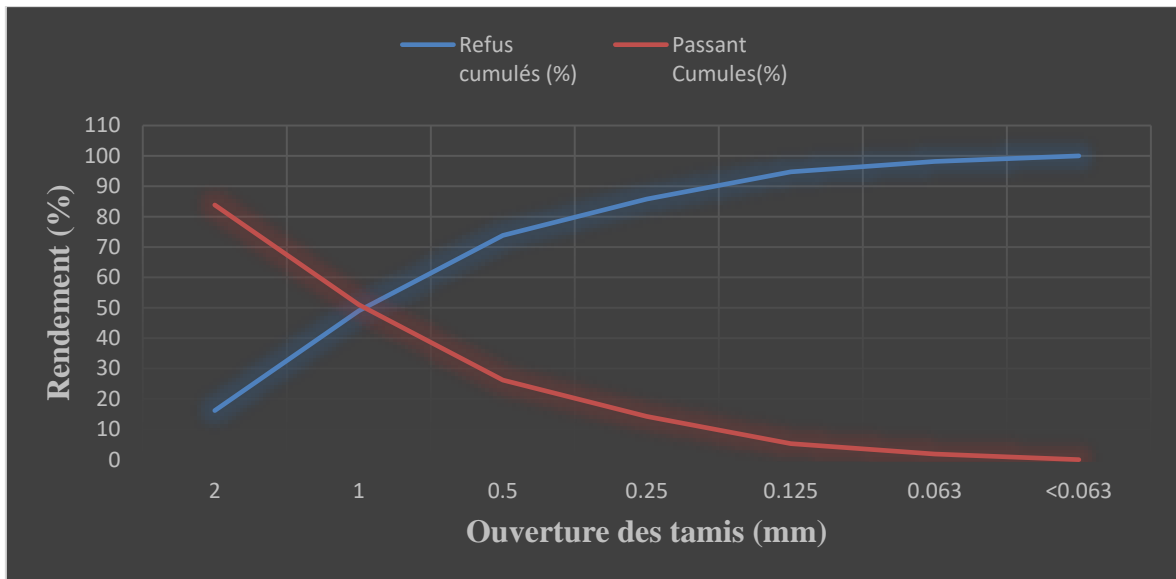


Figure III-9 : La courbe granulométrique du F7.

➤ Calcul les déferents coefficients

Tableau III-10: Résultats des coefficients

Refus cumulé x (%)	10	16	30	60	84
Diamètres Dx (mm)	0	2.5	1	1.5	0.25
Coefficients					
	Hazen (Cu)	Courbure (Cc)	Ecart Type (σ)	Module de Finasse (Mf)	
Résultats	0	0	0.3	5.1763	
Observation	La granulométrie est uniforme ou encore serrée	La granulométrie est mal graduée	Le classement est mauvais	Le sable est à rejeter	

III.3. RESISTANCES MECANQUES

Après 28 jours d'évolution des formulations, on a procédé aux essais de flexion sur les éprouvettes confectionnées. Les moitiés d'éprouvettes issues d'essais de flexion vont subir aussi à leur tour des essais de compression. Les résultats de résistance mécanique à la flexion (Rf) et à la compression (Rc) obtenus sont illustrés dans le tableau III.11

Tableau III-11: Résistances mécaniques à la flexion et à la compression à 28^{ème} jour de cure.

Formulations	Résistances mécaniques à la flexion en (MPa)	Résistances mécaniques à compression en (MPa)
F1	4.59	22.5
F2	4.51	26
F3	0.39	0
F4	0	0
F5	5.89	39.8
F6	6.93	42.1
F7	0.44	0
F8	0.35	0.02
F9	0	0
F10	0.36	0.01
F11	7.04	47.9
F12	0	0.02
F13	0.41	0
F14	0.28	0
F15	0.37	0
F16	0.31	0
F17	6.82	50.5

Interprétation

Certaines formulations (F3, F4, F7, F9, F12, F13, F14, F15, F16) présentent une résistance nulle à la flexion et à la compression, ce qui pourrait indiquer des problèmes dans la formulation ou la fabrication.

D'autres formulations (F1, F2, F5, F6, F8, F10, F11, F17) montrent des valeurs significatives de résistance à la flexion et à la compression, indiquant une meilleure performance mécanique.

L'analyse détaillée des résultats devrait prendre en compte les spécifications requises pour le matériau dans le contexte de son utilisation prévue, ainsi que les normes applicables de l'industrie de la construction.

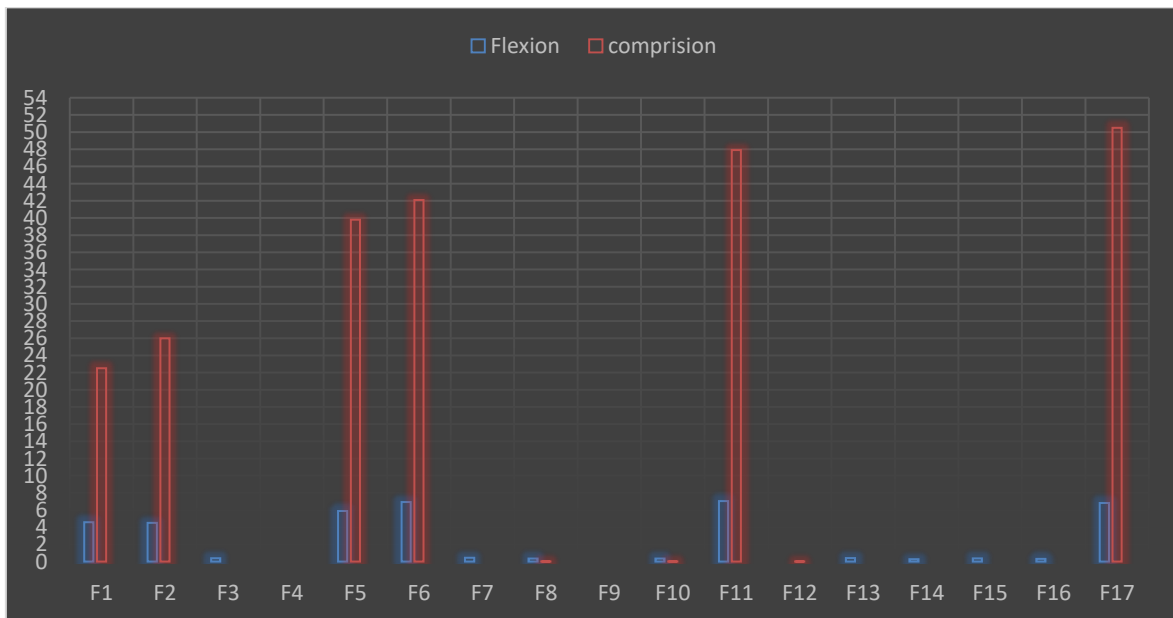


Figure III-10 : Résistances mécaniques à 28 jours.

III.4. Caractérisation par la Fluorescence X (FX)

Les compositions chimiques des dix-sept formulations ont été déterminées par fluorescence X au niveau de plateau technique d'analyses physico-chimiques d'université de A/MIRA- Bejaia. Les résultats obtenus par sont reportés dans le tableau III.

Tableau III-12: Quantification des éléments chimiques par FX.

Composition chimique (mg/Kg)										
Elémentts	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10
E.L	528	512.6	469.7	494.7	544.2	527.6	484.9	494.7	513.3	463.4
Si	307.3	348.7	406.8	386.3	236.4	272.9	350.7	347.6	389.7	355
K	1203.6	940.7	1226.7	1363.4	1565.8	1218.1	1389	1542.1	861.2	1306.4
Ti	444.1	413.9	393.5	404.6	467.8	380.1	/	/	/	420.4
Fe	9601.8	9217	9090.6	9056.4	11.2	11.1	11.9	12.1	8150.7	13.1
Zn	132.5	99.6	101.3	75.8	119.9	132.1	109.1	115.3	53.7	134.5
Rb	5.1	5.2	4.8	5.2	/	7.7	6.8	/	4.1	/
Zr	20.9	17.8	15.8	17.9	14.5	13.5	39.5	17.5	14.7	20.3
Al	10.8	8834.2	6681.1	6655.3	14.6	11.7	9780.7	8543.6	4713.7	9514.5
S	5727.5	5523.6	5656.9	4650.2	7810.9	6557.6	6092.9	5212.9	4515.7	6457.5
Ca	135.6	112.3	99	95.4	182.1	166.7	133.5	128.4	77.3	148.6
Cr	360.1	375.8	387.4	436	237.7	371.8	529.3	490.7	375.8	534.4
Ni	60.1	116.4	70.8	110.5	131.9	118.5	63.8	125.3	134.3	165.4
As	56.5	36.7	52	33.6	50.9	92.7	68.4	64.8	46	64.3
Sr	602.7	559.3	557.5	485.4	757.9	794	714.4	739.1	510.2	822.8
Pb	124.0	186.2	102.9	160.9	219.1	116.3	157.7	233.1	158.4	246.4
Sb	/	53.4	43.6	50.5	58.7	53.4	/	/	55	57.9
Cu	/	14.4	15.5	/	/	/	/	/	/	/
Mn	/	/	56.9	74.6	/	56.7	/	/	52.6	72.4
W	/	/	59.2	/	/	/	/	/	/	/

Composition chimique (mg/Kg)								
	F11	F12	F13	F14	F15	F16	F17	G.0
E.L	522.3	476	470.6	425.4	500.2	501.4	557	930.2
Si	283.2	384.6	366.2	423	359.4	320.4	255.2	23.5
K	1249.4	1383	1358.2	1318.1	1106.9	1814.7	1148.5	15.9
Ti	/	/	429.1	476.5	/	/	441	/
Fe	10.6	10.4	10.2	13.4	9522	10.2	9485.7	1.15
Zn	107.8	94.5	101.1	110.1	89.7	114.1	102.4	0.45
Rb	5.6	5	/	6.4	/	/	/	0
Zr	27.7	18.7	32.2	15.5	13.9	18.1	18.4	/
Al	13.5	7624.3	9553.5	7522.3	7986.1	11.8	12.8	5.46
S	7586.9	4872.4	6173.8	5065.8	4766.1	7217.7	6832.5	4.51
Ca	160	113.3	133.9	121.6	115.4	145.5	155.9	16
Cr	276.5	491.8	333.6	727.6	386.8	307.8	166	0.04
Ni	156.6	167.5	39	248.3	156.2	169.1	/	0.02
As	37.4	27	52.5	61.2	46.7	32.3	59.3	/
Sr	717.4	589.9	665.6	685.8	615.5	638.7	685.7	0.01
Pb	224.5	462.6	136.5	275.5	170	194.8	121.4	0.03
Sb	/	/	/	/	/	56.4	52.6	/
Cu	/	/	/	/	/	/	13.9	0.73
Mn	67.5	/	74.3	114.5	76.1	69.4	53.3	0.03

III.5. Caractérisation de matériau Stabilisé/Solidifié

III.5.1. Caractérisation de matériau par des rayons X (DRX)

Une caractérisation des phases minéralogiques par diffraction des rayons X (DRX) a été effectuée sur les matériaux S/S mortier choisis et les spectres ainsi obtenu est présenté sur la figure IV.25

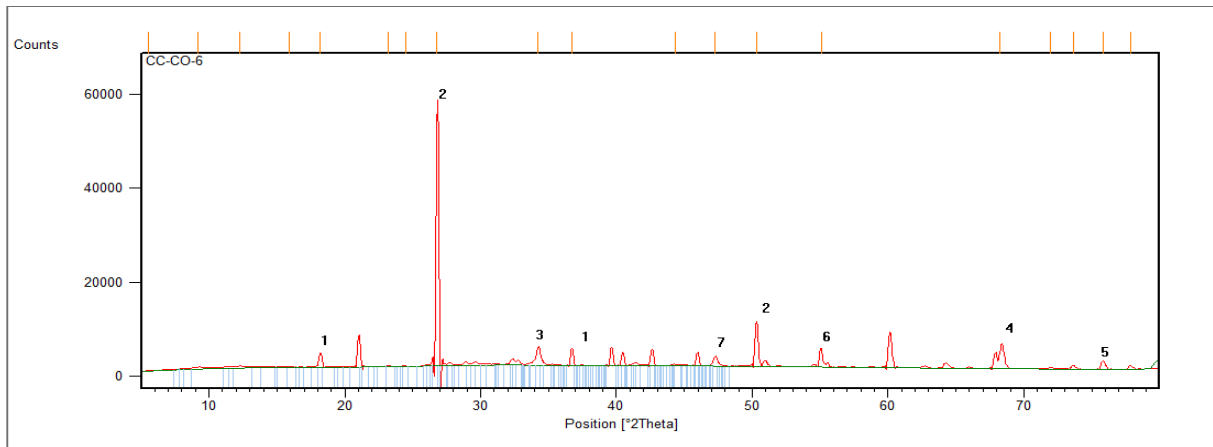


Figure III-11 : Diffracto gramme de matériau S/S

L'analyse DRX des échantillons sélectionnés montre la présence de la portlandite $\text{Ca}(\text{OH})_2$ et de l'ettringite qui sont le résultat de réactions d'hydratations.

Cette analyse, montre aussi la formation d'autres phases complexes, inexistantes dans les matériaux sains, qui montrent l'efficacité du procédé dans le piégeage du nickel et du plomb dans la structure du matériau S/S. Cette formation de nouvelles phases du à l'effet de l'hydratation du ciment et aux divers interactions entre éléments chimiques réduit considérablement le caractère polluant du déchet

Conclusion

La caractérisation par ces analyses chimiques a permis d'identifier les groupements fonctionnels dans les matériaux et le pourcentage des différents éléments.

Conclusion Générale

Conclusion Générale

La gestion des déchets et sous-produits est aujourd'hui un enjeu technique, économique et environnemental pour la société dans son ensemble et les entreprises en particulier.

Notre travail nous a permis d'améliorer nos connaissances sur la faisabilité de la Stabilisation/Solidification des déchets contenant des métaux lourds par liants hydrauliques pour qu'ils soient piéger et rendus non dangereux sur l'environnement. Plusieurs tests et techniques d'analyse (DRX, IR,FX.) ont été réalisés sur nos déchets pour évaluer cette technique de traitement. A travers cette étude plusieurs conclusions ont été tirées ; on cite essentiellement :

- Les résultats de résistances mécaniques (à la compression et à la flexion) sont diminués. La substitution du ciment par du déchet semble donnée des comportements mécaniques intéressants.
- La caractérisation par FX a permis d'identifier le pourcentage des différentes éléments.
- La caractérisation par IR a permis d'identifier les groupements fonctionnels dans les matériaux à savoir OH de la portlandite et les silicates de calcium hydraté.

D'après ces résultats, on peut dire que la méthode Stabilisation/Solidification est efficace.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

- [1] : **MEHU, J. ET PERRODIN, Y.** Etude comparative et critique des normes et procédures retenues au plan international pour évaluer le potentiel polluant de déchets solidifiés. Villeurbanne (Fr) : RE.CO.R.D, 1991.128 p, Rapport N° 91-302.
- [2] : **AZZEGAGH A** : étude de l'efficacité de solidification/stabilisation du déchet brut de l'unité de BCR par un liant hydraulique (ciment), université de Bejaïa, mémoire de fin d'études (MASTER II), Algérie, 2010.
- [3] : **SPERANDIO K** : Identification des facteurs mobilisateurs des stratégies de gestion des déchets ménagers mises en oeuvre par les collectivités locales, thèse de doctorat, l'institut national des sciences appliquées de Lyon, France, 2001
- [4] : **ACKER P** : Techniques de l'ingénieur, traité construction, 1980.
- [5] : **Copyright** © 1998-2008, Lenntech : traitement de l'eau et de l'air. info@lenntech.com
- [6] : **Catherine Fantozzi-Merk**, Thèse en sciences et Technique du déchet, Institut National des Sciences Appliquées de Lyon, 2003.
- [7] : Groupement des métiers de l'imprimerie, décembre 2006 : «le traitement des déchets dans l'imprimerie et l'industrie graphique.
- [8] : **MEZOUARI SANDJAKDINE F** : conception et exploitation des centres de stockage des déchets en Algérie et limitation des impacts environnementaux, thèse, université de Limoges, Mars 2011.
- [9] : les types de déchets et leur stockage, juin 2004, <http://ddaf.oise.agriculture.gouv.fr>
- [10] : **SAADANI S** : comportement des bétons à base de granulats recyclés, mémoire de magister, université des frères MENTOURI Constantine, Algérie, 2009.
- [11] : **CONNER, J.** Chemical fixation and Solidification/Stabilization Of hazardous wastes. New York: Van Nostrand Reinhold, 1990.p692.
- [12] : AFNOR. Liants hydrauliques : définition, classification et spécification des ciments. NF p15-301, Paris : AFNOR ?1981 ? PP 1-11.
- [13] : **BOUHIDEL, Mona.** «Application d'analyse du cycle de vie (acv) pour un développement durable : cas des cimenteries algériennes», Mémoire Magister, 2009.

Références bibliographiques

- [14] : ICR Research-corporate, profiles, International, cement Review, 2008, August, pp. 18-29.
- [15] : **KADEM, D.** Evaluation et comportement des métaux lourds(cd – cr- cu- ni-pb et zn) dans les sols à vocation agricole et à végétation naturelle soumis à une pollution
- [16] : **LOUCOURCELLE, LOUIS.** Nickelage chimique (M1565+. Techniques de l'ingénieur, traité matériaux métalliques.07/1997.13p.
- [17] : **NGÖ,C. et REGENT,A.** Déchets et pollution, édition Dunod, 2004.
- [18] : **S. Catinaud;**« Durabilité à long terme de matériaux cimentaire, avec ou sans fillers calcaires, en contact avec des solutions salines »; Thèse du doctorat; Université de LAVAL Canada; décembre 2000.
- [19] : **C. Avenier, B. Rosier, D. Sommain;** « Ciment naturel »; Grenoble, Glénat éd. ISBN10 : 2723461580, 176 p ; 2007.
- [20] : **BENGUEDOUAR Afeff ;** « Synthèse et caractérisation de silicates de calcium hydrates(C.S.H) hybrides », Mémoire Magister en chimie, Université de YAOUNDE I ,2013
- [21] : **BENGUEDOUARAfeff;**« Synthèse et caractérisation de silicates de calcium hydrates (C.S.H) hybrides », Mémoire Magister en chimie, Université de YAOUNDE I ,2013
- [22] : **Jacqueuse André Hertig,** étude d'impacte sur l'environnement, page 173, 174 ,176, édition 2006.
- [23] : **Professeur Camille Defossé,** chimie du ciment valorisation des déchets en cimenterie (Université Libre de Bruxelles Faculté des Sciences Appliquées Laboratoire de Chimie industrielle), édition 2004.
- [24] : Le site web : <http://fr.wikipedia.org/wiki/Gypse>.
- [25] : **Nicolas BUR ;** « Etude des caractéristique physico-chimique de nouveaux bétons éco respectueux pour leur résistance à l'environnement dans le cadre du développement durable »; Thèse du doctorat; Université de Strasbourg Discipline, 5 septembre 2012.
- [26] : **POLDEN,** Etat De L'art des Procédés De Stabilisation Des Déchet Et Des Sols des Sites Pollués, Septembre 1995, p88.

Références bibliographiques

[27] : **NF EN 197-1 (P15-101-1)**: Ciment-partie1 : composition, spécifications et critères de conformité de ciment courants.

[28] : **Cyril Guérandel** ; « Etude de la qualité du piégeage des matières organiques par la matrice cimentaire vis-à-vis de la lixiviation », Thèse de Doctorat en Chimie analytique, l'Université Paul Verlaine – Metz, 23 Novembre 2009

[29] : **J.M.Auvray**, 'Elaboration et caractérisation à haute température de bétons réfractaire à base d'alumine Spinelle'' thèse de doctorat, université de Limoges Science et technologie de santé 2003.

[30] : http://www.la.refer.org/materiaux/chapitre_deux.html.

[31]: **RACHI LEILA et DENDANI MOHAMED AMINE**. «Influence des différents granulométries des agrégats sur le comportement mécaniques du béton ordinaire ».Université de M'HAMED BOUGARA –BOUMERDES. Mémoire de master. 2017.

[32] : **Neville.A.M** : propriété des bétons traduit par le CRIB, Ed. Eyrolles, 1998.

[33] : **YAHIA Mohamed**. « Contribution à la valorisation d'un déchet de cimenterie(ciment hydraté) pour l'élaboration d'un nouveau ciment ».Université Mohamed Boudiaf - M'sila. Mémoire de master.2015.

[34] : **BeninakChouaib Amine**, « processus de fabrication du ciment, et gestion des poussières » ; Mémoire fin étude, Université Badji Mokhtar Annaba, 2014.

[35] : Groupe Industriel des Ciments d'Algérie : Historique de la production du secteur public de ciment, <http://gica.dz/>

[36] : **GHOMARI. F**. "Science des matériaux de construction". Cour en ligne, site Web - Université de Tlemcen, 2006.

[37] : **Mohammed Rafiq KADRI ; Soumia ROUIGUEB et Hadjer Abir CHIKH**. « Contribution à la réduction des émissions de CO2 et de la consommation énergétique dans l'industrie cimentaire par l'amélioration d'un système de production : Cas de la cimenterie de Béni-Saf ».Université Abou bekrBelkaid – Tlemcen. Mémoire de master.2017.

Références bibliographiques

- [38] : **MOUMENE SARA et ATHAMNIA GHANIA.** « Ciment et cimenterie en Algérie : production et normalisation».Université de Guelma. Mémoire de master.2013.
- [39]: **BENHADDA. A. MALTI. O. BENTIFOUR. M.** "La société des ciments de Beni Saf (SCIBS)". Université Abou BekrBelkaidTlemcen: Rapport de stage, 2017.
- [40] : **Amic. A, Dalmasso. C,** « Unité de valorisation complète de déchets oléicoles par lombricompostage : Production de produits à haute valeur ajoutée : lombricompost, savon, collagène et lombrics », Thèse du doctorat, Université Aix-Marseille(AMU), Faculté des sciences et techniques Saint-Jérôme, 2013.
- [41] : **DavoudTavakoli, Masoumeh Hashempour, Ali Heidri,** «Use of waste materials in concrete», *PertanikaJ.Sci.etTechnol*, 2018, 26(2), 499-522.
- [42] : **B. Hansali, A.Boulaares,** « Enrichissement de l'huile d'olive par des antioxydants naturels (feuilles de pistacialentiscus) », Université Mohamed El Bachir El Ibrahimy, 2019.
- [43] : **Nefzaoui A,** Importance de la production oléicole et des sous-produits de l'olivier. In : Etude de l'utilisation des sous-produits de l'olivier en alimentation animale en Tunisie. Étude FAO production et santé animales 43, Rome, 1984.

Résumé

Cette étude est axée sur l'environnement, plus précisément sur l'écologie industrielle et la valorisation des déchets. Chaque société produit des résidus de déchets, au fil du temps constituent une source de menace pour la vie humaine et l'environnement.

Pour entamer notre travail, nous avons étudié la caractérisation des propriétés physico-chimiques du déchet ultime et la proposition des solutions à cette problématique, parmi lesquelles envisagées un traitement par Stabilisation/Solidification à l'aide de liants hydrauliques.

Cette technique de traitement est employée pour diminuer la surface à travers laquelle se font les transferts ou les pertes de polluants et de limiter la solubilité et/ou la mobilité des constituants. Cette étude est faite à l'aide des différents techniques d'analyse (DRX, IR,...etc.) pour évaluer ce traitement.

D'après ces résultats, on peut dire que la méthode Stabilisation/Solidification est efficace.

Mots clés : déchet, ciment, Stabilisation / Solidification,

Abstract

This study focuses on the environment, more specifically on industrial ecology and waste recovery. Every society produces waste residues; over time constitute a source of threat to human life and the environment.

To begin our work, we studied the characterization of the physicochemical properties of the ultimate waste and the proposal of solutions to this problem, among which envisaged a treatment by Stabilization / Solidification using hydraulic binders.

This treatment technique is used to reduce the surface through which pollutant transfers or losses take place and to limit the solubility and / or mobility of the constituents. This study is made using different analysis techniques (DRX. IR...) to evaluate this treatment..

Keywords : Déchet, Ciment, Stabilisation / Solidification.