

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Université Echahid Hamma Lakhdar d'El-Oued

Faculté de Technologies Département de Génie

Civil et Hydraulique



Mémoire de fin d'études

En vue de l'obtention d'un diplôme du **Master** en Génie Civil

Option : Matériaux en génie civil

Thème

ELABORATION D'UN PAVE ECOLOGIQUE ,CARACTERISATIO N ET AVANTAGE ECONOMIQUE

Dirigé par:

-Dr. Djedid Tarek

Présenté par:

- AD yazid
- HAMMIA Adel
- MEGUERHI Ahmed

Membres du Jury:

- Président :Dr Farik Ali
- Examineur :Dr Fethiza Ali Boubakeur
- Soutenue le : 22 Juin 2024

Promotion :Juin2024

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Université Echahid Hamma Lakhdar d'El-Oued

de Technologies Département de Génie

Civil et Hydraulique



Mémoire de fin d'études

En vue de l'obtention d'un diplôme du **Master** en Génie Civil

Option : Matériaux en génie civil

Thème

ELABORATION D'UN PAVE ECOLOGIQUE ,CARACTERISATION ET AVANTAGE ECONOMIQUE

Dirigé par:

-Dr. Djedid Tarek

Présenté par:

- AD Yazid
- HAMMIA Adel
- MEGUERHI Ahmed

Membres du Jury:

- Président : Dr Farik Ali
- Examineur : Dr Fethiza Ali Boubakeur
- Soutenue le : 22 Juin 2024

Promotion : Juin 2024



بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

﴿ أَلَمْ تَرَ أَنَّ اللَّهَ أَنْزَلَ مِنَ السَّمَاءِ مَاءً فَأَخْرَجْنَا بِهِ ثَمَرَاتٍ مُخْتَلِفًا أَلْوَانُهَا ۚ وَمِنَ الْجِبَالِ جُدَدٌ بَيضٌ
وَحُمْرٌ مُخْتَلِفٌ أَلْوَانُهَا وَغَرَابِيبُ سُودٍ ۚ وَمِنَ النَّاسِ وَالدَّوَابِّ وَأَلْأَنْعَامِ مُخْتَلِفٌ أَلْوَانُهُ كَذَلِكَ
إِنَّمَا يَخْشَى اللَّهَ مِنْ عِبَادِهِ الْعُلَمَاءُ ۚ إِنَّ اللَّهَ عَزِيزٌ غَفُورٌ ﴾ فاطر: 28



Remerciements

*Au nom de Dieu le Miséricordieux, nous commençons par exprimer notre immense gratitude envers le Tout-Puissant. Ensuite, nous souhaitons exprimer notre profond remerciement à notre directeur de thèse bien-aimé, le **Dr Tarek Djedid**, pour avoir accepté et soutenu inlassablement, physiquement et moralement, pendant ces quatre mois, dans les bons moments comme dans les moments difficiles. Nous tenons également à le remercier pour sa disponibilité malgré ses nombreuses responsabilités, ses conseils avisés, sa grande confiance en nous et son soutien continu à ce projet. Monsieur **Tarek Djedid**, nous vous disons sincèrement "Merci pour tout".*

*Nous aimerions également exprimer notre reconnaissance à Messieurs **Farik Ali, Mani Mohamed, Miloudi Abdelmouniam, Logbi Abdelazziz, Kaab Med Zouhir, fethiza ali boubeker, khalifi abd el hamid, Ilyes Soulimane, Zerig Tahar, selmi djafar. ben amara brahim.***

*,**Bedadi Laid** et Monsieur **khachkouch mouhamed** pour avoir sacrifié leur temps afin de nous fournir toutes les informations nécessaires tout au long de nos années universitaires. Nous avons beaucoup appris grâce à vous, un grand merci.*

*Nos remerciements s'étendent également à tous les ingénieurs et membres de laboratoire, que ce soit à l'Université Echahid Hamma Lakhdar ou dans des laboratoires privés, y compris Monsieur **Bachi mahmoudi** et tous ceux qui ont contribué à ce travail*

Résumé

Depuis l'introduction du concept de développement durable dans toutes les sciences, y compris dans le domaine de la construction et des travaux publics, les recherches se sont concentrées sur l'étude des moyens de réduire la consommation d'énergie, de préserver les ressources naturelles et de protéger l'environnement tout en maintenant le confort humain.

Dans cette perspective, notre recherche se base sur le remplacement partiel ou total des matériaux naturels par d'autres matériaux recyclables afin d'obtenir un matériau écologique moderne répondant à deux objectifs : la réduction des coûts et la construction d'éléments d'ingénierie multiples favorisant la créativité architecturale. Cette thèse est dédiée à l'étude expérimentale des composites cimentaires légers, notamment les pavés produits par le recyclage des déchets de céramique et de béton, ainsi que l'utilisation du sable des dunes, matériau abondamment disponible en Algérie, particulièrement dans ses régions désertiques.

Le granulat est extrait des éléments de béton et de céramique par broyage, puis filtré pour obtenir le granulat avec des dimensions comprises entre 8 mm et 0,8 mm. De plus, une analyse granulométrique et une mesure du module de finesse du sable des dunes ont été réalisées. Des compositions de composites cimentaires (béton) ont été développées comprenant :

Du granulat de béton (DBA) et céramique (DCR) avec des contenus en volume variant de entre (100 et 0) % ;

Et du sable des dunes pour améliorer les propriétés mécaniques et physiques avec des contenus en volume variant entre (0, 5, 10, 15,) %.

Les résultats obtenus dans cette étude permettront de mieux comprendre l'évolution des propriétés physiques et mécaniques.

À partir de cette étude, nous avons conclu que l'amélioration de l'utilisation des déchets de construction tels que le béton et la céramique, l'exploitation intelligente des matériaux locaux comme le sable des dunes, et le réglage précis des compositions de béton à l'aide de tests en laboratoire peuvent permettre de produire des pavés écologiques présentant une haute résistance à la compression et une excellente perméabilité à l'eau.

Mots clés: Granulats recyclés, déchets de céramique, déchets de béton, sable de dune, Perméabilité, caractéristiques, environnement, valorisation

ملخص

منذ إدخال مفهوم التنمية المستدامة في جميع العلوم، بما في ذلك في مجال البناء والأشغال العامة، تركزت الأبحاث على دراسة الوسائل لتقليل استهلاك الطاقة، والحفاظ على الموارد الطبيعية، وحماية البيئة مع الحفاظ على راحة الإنسان. من هذا المنطلق، تعتمد أبحاثنا على الاستبدال الجزئي أو الكامل للمواد الطبيعية بمواد أخرى قابلة لإعادة التدوير للحصول على مادة بيئية حديثة تحقق هدفين: تقليل التكاليف وبناء عناصر هندسية متعددة تعزز الإبداع المعماري. هذه الأطروحة مخصصة للدراسة التجريبية للمواد المركبة الإسمنتية الخفيفة، وخاصة الأرصفة المنتجة عن طريق إعادة تدوير نفايات السيراميك والخرسانة، وكذلك استخدام رمال الكتبان، وهي مادة متوفرة بكثرة في الجزائر، خاصة في المناطق الصحراوية. يتم استخراج الركام من عناصر الخرسانة والسيراميك عن طريق التكسير، ثم يتم غربلته للحصول على الركام بأبعاد تتراوح بين 8 ملم و 0.8 ملم. بالإضافة إلى ذلك، تم إجراء تحليل للحبيبات وقياس معامل النعومة لرمال الكتبان. تم تطوير تركيبات من المواد المركبة الإسمنتية (الخرسانة) تشمل:

- الركام الخرساني (DBA) والسيراميك (DCR) مع محتويات حجمية تتراوح بين 0% و 100%.
- رمال الكتبان لتحسين الخواص الميكانيكية والفيزيائية بمحتويات حجمية تتراوح بين 0%، 5%، 10%، و 15% (

h. النتائج التي تم الحصول عليها في هذه الدراسة ستساعد في فهم أفضل لتطور الخصائص الفيزيائية والميكانيكية. من خلال هذه الدراسة، خلصنا إلى أن تحسين استخدام نفايات البناء مثل الخرسانة والسيراميك، والاستخدام الذكي للمواد المحلية مثل رمال الكتبان، والتعديل الدقيق لتركيبات الخرسانة باستخدام الاختبارات المعملية، يمكن أن يؤدي إلى إنتاج أحجار رصف بيئية تتميز بمقاومة مقبولة للضغط ونفاذية ممتازة للماء

الكلمات المفتاحية: الركام المعاد تدويره، نفايات السيراميك، نفايات الخرسانة، رمال الكتبان، النفاذية، الخصائص، البيئة، تثمين

Notation et Abréviation

MATET : Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement et du Tourisme.

RILEM : Réunion Internationale des Laboratoires et Experts des Matériaux.
(International Union of Laboratories and Experts in Construction Materials)

ASTM : American Society for Testing and Materials.

EN : Norme Européenne définitive.

NFP : Norme Françaises applicable au bâtiment et génie civil .

AFNOR : Association Française de Normalisation .

CEM II/B-L 42,5N : Ciment portland au calcaire

BTP : Bâtiment et Travaux Publics.

DI : Déchets Inertes

DIB : Déchets Industriels Banals

DIS : Déchets Industriels Spéciaux

DD : Déchets dangereux

BO: Béton ordinaire

R_c: Résistance à la compression

R_t: Résistance à la traction

R_f: Résistance à la flexion

R_u: Résistance de l'ultrason

T : le temps

S : section de l'éprouvette

I : l'indice scléromètre

S : Sable

DBR : gravé Recyclé de Béton

DCR : gravé Recyclé de céramique

C : Ciment

E : Eau

G : Gravier

R_b : classe du béton

E/C : rapport eau sur ciment

ρ : masse volumique apparente(Kg/m³).

γ : masse volumique absolue(Kg/m³).

V : Volume

MF : module de finesse

e (%): indice des vides

C(%) : Compacité

Esv : équivalent de sable visuel

Esp : équivalent de sable par piston

V : la vitesse d'ultrason

σ_t : Contrainte de traction.

F : la charge de rupture.

LA : Coefficient Los Angeles.

a : Dimension de Base du Moule et Éprouvette (en mm²)

f_{c28} : Résistance en Compression à 28 jours

f_{cj} Résistance à la compression du béton à (jour)

LNHC : Laboratoire National Habitat Construction

C3A (tricalcium aluminate) / ***C3S*** (tricalcium silicate)

SO₃ (trioxyde de soufre)

CaCO₃ (carbonate de calcium)

Cl⁻ (ion chlorure).

O₂ (dioxygène)

DRX (diffraction des rayons X).

MO (oxyde métallique)

SiO₂ (dioxyde de silicium)

C-S-H (Calcium-Silicate-Hydrate) .

CH (Calcium Hydroxide)

CaO (oxyde de calcium)

TABLE DE MATIERES

• Dédicacs.....	II
• Remerciement.....	III
• Résumé.....	IV
• ملخص.....	V
• Notation et abréviation	VI
• Table des matières.....	VIII
• Liste des photos.....	XII
• Liste des figures.....	XIII
• Liste des tableaux.....	XIV

CHAPITRE I : Généralités Sur Les Sable De Dune Et Les Déchets En Algérie

I-1-Introduction générale.....	2
I-2- Objectif	2
I-3- Plan de travail	3
I-4- Généralités Sur Les Sable de dune.....	4
I. 4.1. Introduction : -----	4
I. 4.2. Définition : -----	4
I. 4.3. Formation des sables : -----	4
I. 4.4. Intérêt de sable de dune : -----	5
I. 4.5. Utilisation générale du sable : -----	6
I. 4.6. Caractéristiques des sables de dunes du Sahara Algérien : -----	7
I. 4.6.1. Composition minéralogique : -----	7
I. 4.6.2. Composition chimique : -----	7
I. 4.7. Classification suivant la granulométrie: -----	7
I. 4.8. Utilisation du sable de dunes dans le béton : -----	8
I.5.1.Introduction -----	8
I.5.2. Origine de la production de déchets : -----	9
I.5.3. La typologie des déchets : -----	10
I.5.3.1.Déchets ultimes (DU) : -----	10
I.5.3.2.Déchets ménagers et assimilés : -----	10
I.5.3.3.Déchets inertes (DI) : -----	10
I.5. 3.4.Déchets dangereux (DD) : -----	11
I.5. 3.5. Les déchets industriels banals (DIB) : -----	12
I.5.3.6. Les déchets médicaux et pharmaceutiques : -----	12
I.6.1 Définition : -----	12
I.6.2.Les types d'élimination : -----	13
I.6.3. Technique de recyclage : -----	13
I.6.3.1. Procédés du recyclage : -----	13
I.6.3.2. Etapes du recyclage : -----	13
I. 7.1. Définition:-----	14
I. 7.2.Principes de gestion des déchets: -----	15
I.7.3. Méthodes de gestion des déchets : -----	15

I. 7.3.1. L'enfouissement :	15
I.7.3.2. L'incinération :	16
I. 7.3.3. La décharge contrôlée :	17
I.7.3.4. Le compostage :	17
I.7.3.5. Le recyclage :	18
I.8.1. Les Laitiers sidérurgiques :	18
I.8.2. Laitier d'acier :	19
I.8.2.1. Bénéfices de l'utilisation des additions minérales :	19
I.8.3. Fumée de silice :	20
I.8.3.1. Effets de fumé de silice :	21
I.8.4. Cendres volantes :	21
I.8.5. Déchets de verre :	22
I.8.6. Déchets plastiques :	22
I.8.7. Déchets de marbre :	23
I.8.14.1. Les céramiques poreuses :	29
I.8.14.2. Les céramiques vitrifiées :	29
I.8.15. Caractéristiques des céramiques :	30
I.8.16. Produits céramiques dans la construction :	30
1.8.16.1. Les céramiques techniques :	31
1.8.16.2 Les céramiques réfractaires :	31
I.8.17. Fabrication des terres cuites :	31
I.8.18. Recyclage des déchets céramiques :	32
Chapitre II: Le Béton Et Le Processus De Pavage À Base De Granulats Recyclés	
II. 1. Introduction :	39
II. 2. Granulats de béton recyclés pour béton :	39
II. 2.1. Production et propriétés des granulats recyclés :	39
II. 2.2. Processus de fabrication des agrégats recyclés :	40
II.2.3. Composition et propriétés physiques des granulats recyclés de béton :	40
II. 2.4. Propriétés du béton à l'état frais :	41
II. 2.5. Propriétés du béton à l'état durci :	42
II. 3. Granulats de déchets céramiques recyclés pour béton :	43
II. 3.1. Propriétés physiques et utilisation des matériaux céramiques :	43
II. 3.2. Effets de granulats céramiques recyclés à l'état frais :	44
II. 3.3. Effets de granulats céramiques recyclés à l'état durci :	44
Conclusion :	45
III. Caractérisation des matériaux et la méthodologie de confection	
III. 1. Introduction :	47
III.2. Matériaux utilisés :	48
III.2.1. Le ciment :	48
III.2.2. Les granulats (recyclés) :	50
III.2-2.1- L'analyse granulométrique :NF EN 933 -1 :	50
III.3. LES ESSAI :	52

III.3.1.la Masse volumique:-----	52
III.3.2. Absorption d'eau:[NF EN 1097- 6, 2001]-----	55
III.3.3. Porosités :NF EN 1097-3 -----	55
III.3.4 l'Indice de Forme NF EN 933-4 -----	57
III.3.5.Sable (sable de dune 0.08/0.8) :-----	58
III.3.5.1.Composition granulométrique :NF EN 933-1-----	58
III.3.5.2. Equivalent de sable: NFP18-598: -----	60
III.3.5.3..Module de finesse: EN 12620-----	63
III.3.6. Masses volumiques apparentes:-----	64
III.3.7. Masses volumiques absolues: -----	64
III.3.8. Porosités(NFP18554 et18 555):-----	65
III.4.1. L'objectif de la formulation de béton:-----	68
III.4.2. Méthodes de composition des bétons :-----	68
III.5.1. Confectionne cure des éprouvettes: -----	69
III.5.2. L'exécution de malaxage:-----	70
III.5.3. Malaxage du béton: -----	70
III.6.1. Mesure de la consistance (Norme NFP 18415):-----	71
III.6.2. Le compactage -----	71
. III.7.1. Essais non destructifs:-----	72
III.7.1.1.Essai d'auscultation sonique (Ultrasonique) :(NFEN12504-4) -----	72
III.7.1.2 la Porosité : ASTM-C642[24,25,26]-----	73
III.7.1.3. Essai de la perméabilité -----	74
III.7.2. Essais des tructifs : -----	75
III.7.2.1. Essai de compression :[NEP 18-406] -----	75
III.7.2.2. Essai de la Résistance à la fragmentation : NF EN 1097-2(los angles) -----	76
Conclusion : -----	77

Chapitre IV. Résultats Et Analyse Statistique

IV.1.1- Essais sur béton frais :-----	79
IV.1.1.1- Affaissement: nous avons obtenus les résultats présenté sci-dessous:-----	79
IV.1.2. Essais sur bétons durcis :-----	81
IV.1.2.1.ESSAIS NON DESTRUCTIF:-----	81
IV.1.2.1.1. Essais au scultation dynamique (d'ultrason).-----	81
IV.1.2.1.2.Essais porosité :-----	82
Analyse détaillée pour chaque type de béton :-----	84
Conclusions : -----	85
Recommandations : -----	86
IV.1.2.1.3- Essai de perméabilité -----	86
IV.1.2.2. Essais Destructif-----	89
IV.1.2.2.1La Résistance à la compression 28 jours : -----	89
IV.1.2.2.2.Résistance à la fragmentation : NF EN 1097-2(los angles) -----	91

CHAPITRE V. INTÉRÊTS ÉCONOMIQUES DU PRODUIT (PAVÉ)

V.1.Introduction :-----	104
-------------------------	-----

V.2. DESCRIPTION DU PROJET -----	104
V.3. ETUDE DE MARCHE -----	104
V. 3.1 .Analyse de la demande du secteur -----	104
V. 3.2. Analyse de l'offre du secteur -----	105
V. 3.3. Analyse de la concurrence du secteur -----	105
V. 3.4 Distribution et vente de produit sur le marché -----	105
V.4. ETUDE TECHNIQUE -----	105
V.4 .1. Localisation du site du projet -----	105
V.4 .2 Présentation du produit visé -----	105
V.4 .3. Types des pavés -----	106
V.4 .3. Composition des pavés -----	106
V.4 .4. Procédé de fabrication -----	106
V.4.5 .ETUDE FINANCIERE -----	107
V.4.5.1. Cout estimatif du projet -----	107
V.4.5.2. Charges d'exploitation prévisionnelle -----	108
V.4.5.3. Compte des résultats prévisionnels -----	109
V.4.6. Détermination des critères de performance du projet -----	109
Conclusion générale -----	113
Références bibliographiques -----	115
Annexes -----	119

Liste des photos

photo I.1: du sable de dunes[23]-----	6
photo I.3. Enfouissement des déchets -----	16
photo I.4. Incinération en plein air et usine d'incinération. -----	16
photo I.5. Photo d'une décharge contrôlée. -----	17
photo I.5. Compostage de déchets organiques. -----	17
photo I.6. Usine de recyclage des déchets. -----	18
photo I.7. Photo d'un laitier de haut fourneau. -----	19
photo I.8. Photo d'un laitier d'acier. -----	19
photo I.9. Fumé de silice forme de poudre. -----	20
photo I.10. Photo de la cendre volant-----	21
photo I.11. Déchets de verres -----	22
photo I.12. Déchet plastiques.-----	23
photo I.13. Déchets de marbres et déchets de marbre broyés. -----	24
photo I.14. Boues rouges.-----	25
photo I.15. Déchets de pneus usagés.-----	26
photo I.16. Ciment durci. -----	26
photo I.17.Déchets de démolition. -----	27
photo I.18.Industrie du béton -----	28
photo I.19. Briques en terre crue. -----	28
photo I.20. Briques en terre cuite.-----	29
Photo III 1 :déché de béton 'DBR'(laboratoire de G.C).....	46
Photo III 2 : déché de céramique DCR'(laboratoire de G.C).....	48
Photo III 3 : sable de dune (laboratoire de G.C)-----	48
Photo (III.4)– CimentCEMII42,5(MATIN). -----	49
Photo (III.5): sable Analyse granulométrique. (Tamiseuse de la boratoire labo G.C). -----	52
Photo III.6 :Machine d'abrasion Los Angeles (labo M. bachir) -----	56
photo III.7.Essais d'équivalent de sable.(labo de g.c) -----	61
Photo(III.8) Agitateurs pour équivalent de sable.(LABO G.C) -----	62
Photo(III.9) :Le malaxeurutilisé (zone industriel el_oued).-----	70

Photo(III.10):l'affaissement de cône d'Abrams d'un béton.(zone industriel el_oued) -----	71
Photo (III 11): le collage de béton en utilisant marteau Proctor(zone industriel el_oued) -----	72
Photo (III 12):Essai d'ultrason(ultrason de la boratoire edeg.c). -----	72
Photo (III 13):Types d'appareillages de pesée hydrostatique -----	73
Photo (III 14):appareil de pesée hydrostatique(labo mahmoudébachir)-----	73
Photo (III 15): la perméabilité (INTERNATIONAL JOURNAL OF PAVEMENT ENGINEERING)-----	74
Photo (III 16): essai de la perméabilité (laboratoire génie .civile) -----	75
Photo (III 17):La machine pour essai de compression et affichage de la résistance (laboratoire de génie civile) ----	75
Photo (III 18):La machine pour essai Résistance à la fragmentation (laboratoire mahmoudibachir) -----	76

Liste des figures

Figure I.1 : Compositions des déchets du bâtiment.[8]	11
Figure II.1:Formes des granulats recyclés	40
Figure II.2 : Zone de transition à l'interface granulat/pâte d'un béton conventionnel. [20]	43
Figure II.3 : Zone de transition à l'interface granulat/pâte d'un béton recyclé. [20]	43
Figure III. 1 Analyse granulométrique des fractions (2/8) du gravier concassé.et sable de dune	52
Figure III.3. l'analyse granulométrique d'un sable de dune (0.08/0.8)	59
Figure III.2.équivalent de sable	61
Figure IV.1L'effet du taux de variation des proportions de mélange sur la maniabilité.....	80
figure IV.2 auscultation dynamique (ultrason).....	81
figure IV.3 la porosité.....	84
figure IV.4 la perméabilité.....	87
Figure IV.5 : Résistance à la compression à 28 jours.....	90
Figure IV.6 Résistance à la fragmentation	91
Figure IV.8. Solutions	97
FIGUER V1. FICHE TECHNIQUE : CIMENT CEM II /B-L 42.5N.....	119

Liste des tableaux

Tableau III.1. Types de mélange	47
Tableau III. 2 Résultat de l'analyse granulométrique des fractions (2/8) du gravier concassé. et sable de dune	51
Tableau III. 3 Masse volumiques des fractions 2/8 du gravier concassé.	53
Tableau III. 4 Masse volumiques absolue des fractions 2/8 du gravier concassé DBR/DCR	54
Tableau III. 5 Coefficients D'absorption D'eau Des fractions 2/8 Du Gravier Concassé .DBR/DCR	55
Tableau III. 6 La porosité des fractions 2/8 Du Gravier Concassé .DBR/DCR	56
Tableau III.7 : los Angeles des fractions 2/8 Du Gravier Concassé .DBR/DCR	56
Tableau III. 8 : l'Indice de Forme	58
Tableau III.9 : l'analyse granulométrique d'un sable de dune 0.08/0.8.	58
Tableau III.10 Comparaison des résultats.	62
Tableau III.11: Masses volumiques apparentes des sable de dune (0.08/0.8).	64
Tableau III.12 : Masses volumiques absolues de sable de dune (0.08/0.8).	65
Tableau II.13. Porosités (%) du sable.	65
Tableau II.14 Compacité C (%) du sable.	66
Tableau II.15 Indice de vide des fractions sable Concassée de dune (0.08/0.8).	66
Tableau III.16 : Résumé caractéristique des agrégats.	66
Tableau III. 17 : Classement des bétons selon la valeur d'affaissement au cône d'Abrams.	71
Tableau IV. 1 résultat de essai d' Affaissement	80
Tableau IV.2 : Résultat des contrôles non destructifs (auscultation dynamique (d'ultrason).	81
Tableau IV.3 : Résultat des essai de porosité	83
Tableau IV.4 : Résultat des essai de perméabilité	86
Tableaux IV5 Résistance à la compression du béton à 28 jours.	89
Tableaux IV6 : Résistance à la fragmentation : NF EN 1097-2 (los angles).	91
Tableaux IV7 : Constraints.	93
Tableaux IV8 : Responses	94
Tableaux IV9 : Build Information	94
Tableaux IV10 Résultats des essai de laboratoire	94
Tableaux IV11: Final Equation in Terms of Coded Factors.	95
Tableaux (IV12): 10 Solutions found	97

Tableau V.1 : Epaisseur des pavés en fonction du trafic	106
TableauV. 2 : Cout estimatif du projet	107
Tableau V3 : Détermination du chiffre d'affaire annuel	108
TableauV 4 : récapitulatif des charges d'exploitation prévisionnelle.....	108
Tableau V5 : compte des résultats.....	109
TableauV.6. comparatif entre la fabrication de pavés en agrégat naturel et en agrégat recyclé et sable.....	110
TableauV.7 : Détermination du chiffre d'affaire annuelde Pavés en agrégat recyclé et sable	111

CHAPITRE I : Généralités Sur Les Sable De Dune Et Les Déchets En Algérie

CHAPITRE I : Généralités Sur Les Sable De Dune Et Les Déchets En Algérie

I-1-Introduction générale:

Le développement durable apparaît comme une stratégie politique visant à être gagnant sur les trois terrains de l'économie, du social et de l'environnement.

Devant les besoins sans cesse croissant des ressources en matériaux et aux exigences et conditions de préservation de l'environnement dans une vision de développement durable, il est devenu nécessaire et pertinent de prospecter et étudier toutes les possibilités et opportunités de réutilisation et de valorisation des déchets et sous-produits industriels notamment dans le domaine des travaux génie civil.

Le ciment, le béton et d'autres matériaux de construction sont essentiels au développement de nos sociétés, mais leurs procédés de fabrication ont d'importants impacts environnementaux. Des émissions de CO₂ se produisent pendant la production du clinker qui est un composant intermédiaire dans la fabrication du ciment. La production de ciment engendre une forte consommation de matières premières et d'énergie. Il est responsable d'environ 5% des émissions de ce gaz sur la planète. Cette situation doit être prise au sérieux car le béton est appelé à jouer un rôle de plus en plus important dans le développement.

Le besoin universel de conserver les ressources, de protéger l'environnement et de bien utiliser l'énergie doit nécessairement se faire ressentir dans le domaine de la technologie du béton. Par conséquent, on accordera beaucoup d'importance à l'usage de déchets et de sous-produits pour la fabrication du ciment et du béton.

La production des granulats recyclés s'est développée au début des années 80, elle répond au besoin d'une autre source de granulats et de la réduction des volumes de déchets.

L'utilisation des granulats recyclés dans les bétons et mortiers présente plusieurs avantages tant au niveau environnementale, humain, technologique qu'économique qui s'intéresse de plus en plus les industriels.

I-2- Objectif :

L'objectif principal de notre travail est d'utiliser les déchets de béton et de céramique. Ces matériaux, qui sont principalement récupérés à partir de déchets de construction, sont broyés sous

forme de granulats recyclés de taille moyenne, qui peuvent ensuite être mélangés dans des proportions appropriées avec du sable des dunes, de l'eau et du ciment pour former du béton léger.

L'étude consiste également en une évaluation expérimentale de l'effet de l'utilisation de ce granulats recyclé sur les propriétés physiques et mécaniques du béton..

L'étude consiste aussi à l'évaluation expérimentale de l'influence des agrégats moyen recyclés sur les caractéristiques physico-mécaniques du béton.

I-3- Plan de travail :

Pour bien comprendre le sujet et atteindre les objectifs prédéfinis, nous avons élaboré un plan d'affaires composé des parties suivantes :

- Introduction générale : Nous avons fourni un aperçu de la problématique et de l'objectif principal de cette étude.
- Revue de la littérature : Axée sur les travaux antérieurs liés aux granulats recyclés, à leurs utilisations dans certains pays, à leur impact évident dans l'industrie du béton, ainsi qu'aux propriétés du sable des dunes.
- Étude expérimentale : Pour identifier dans un premier temps les propriétés des granulats recyclés.
- Analyse et discussion des résultats : Obtenus, ainsi qu'une
- étude économique du produit.
- Conclusion générale : Avec des recommandations liées aux caractéristiques des granulats recyclés et aux mesures à prendre en compte lors de l'utilisation de ces granulats dans l'industrie du béton.

I-4- Généralités Sur Les Sable de dune

I. 4.1. Introduction :

Nous présenterons une définition générale du sable des dunes, sa structure géologique et le comportement mécanique des matériaux granulaires, puis nous discuterons du comportement du sable des dunes au cisaillement.

Les sables de dunes Qui s'impose du fait de son abondance dans la nature (Sahara), de son coût d'extraction presque nul, et de sa propreté apparente, constitue la solution au problème d'épuisement des ressources naturelles et se présente comme un matériau d'avenir qui peut remplacer par excellence les deux types de sables suscités. [2]

I. 4.2. Définition :

Le sable est une roché sédimentaire ,le constitué principalement de quartz, provenant de la désagrégation de roches sous l'action de divers agents (ventaux courantes, gel).

C'est un matière première qui est souvent le produit de la décomposition du granite du fait de l'altération. Le sable peut avoir plusieurs couleurs en fonction des natures :noir ou blanc.

Les sables, que l'on trouve dans les dunes mouvantes, sont composés de particules siliceuses pratiquement de même taille et de petites dimensions. Ces sables sont accumulés sous forme de dunes mouvantes de hauteur très variable[2]

Le Sahara est constituée d'environ 40 % de montagnes désertiques,15 % de plaines désertiques et 30 % de dunes de sable, le reste étant constitué de sebkhas, de chotts, etc. Le Sahara, quant à lui, couvre environ le tiers du continent africain. Ces chiffres montrent bien l'intérêt que l'on doit apporter à la construction routière dans le Sahara, qui reste fort démunie en infrastructures, et aussi l'importance que l'on doit accorder au sable dans toute investigation visant la valorisation des matériaux locaux dans ces lieux. [3]

I. 4.3. Formation des sables :

Le sable se forme à la suite de phénomènes physiques et chimiques auxquels sont soumises les roches.

Les processus physiques fragmentent les roches en des éléments de taille réduite qui sont les blocs, les graviers, les sables, les limons et les argiles.

Dans le processus de formation des sables l'action physique est prépondérante.

Sous l'action de processus physiques (vent, eau) ou chimiques (action dissolvante de l'eau), ces éléments sont entraînés par les eaux de ruissellement.

Au cours du transport, ils vont subir des variations de taille et de morphologie en fonction du moyen de transport.

Les particules vont se déposer ou être drainées généralement jusqu'à la mer.

C'est ainsi que les sables se retrouvent sur les plages ou dans les lits des cours d'eau [4,5].

Qu'est-ce qu'une dune ?

Une dune est un relief ou un modelé composé de sable. Une dune présente un profil transversal dissymétrique avec une pente douce du côté du vent et une pente plus raide du côté terre. La dune bordière délimite le haut de la plage par un bourrelet sableux de un à quelques mètres de haut. Sa base correspond à la haute mer et peut être endommagée lors des tempêtes. En arrière de ce premier cordon, on peut voir se développer un champ de dunes montrant des formes différentes : dunes alignées, dunes paraboliques, dunes en râteau... plus ou moins fixées par la végétation. [3]

I. 4.4. Intérêt de sable de dune :

L'intérêt d'utilisation de tels agrégats se situe à deux niveaux : technique et économique.

Les aspects économiques Les aspects sont évidents dans la mesure où l'utilisation du sable de dune permet une économie certaine dans le transport des matériaux, puisqu'il est partout disponible en quantité inépuisable. Par ailleurs, son extraction n'engendre pratiquement pas de frais supplémentaires et son mélange avec les autres matériaux sur chantier peut se faire facilement. [6]

Les aspects techniques Le sable peut contribuer à la densification des matériaux. Ceci permet, par la même occasion, l'amélioration de leurs caractéristiques géotechniques en augmentant le frottement interne et en améliorant la portance. Il peut être utilisé pour diminuer la plasticité des matériaux de base [6]

I. 4.5. Utilisation générale du sable :

Le sable est l'une des matières premières dans la construction. Il constitue également la principale matière première de l'industrie du verre.

Le sable, du fait de son abondance et de sa facilité d'exploitation, est utilisé dans de nombreux domaines d'activités.

C'est l'une des principales matières premières utilisées dans le génie civil. Il est utilisé aussi bien dans le domaine routier que dans celui du bâtiment.

- Dans la construction des routes, le sable est utilisé comme matière première de remblai, couche de base et couche de finition.
- Dans le bâtiment, il est employé dans la composition de béton, du mortier et la confection des briques (parpaing sable ciment)
- Comme principal composant de la plateforme sur laquelle sont posés les pavés, pour les chemins et les routes secondaires, les parkings et les garages etc.
- En fonderie, où il est employé pour la réalisation des moules.
- Dans la fabrication des céramiques.
- Largement utilisé pour ses propriétés abrasives (cas du papier de verre recouvert de sable).
- Décapage à la sableuse afin de nettoyer certaines surfaces (la pierre, par exemple) ou pour aplanir des surfaces de métal grossier (avec de la vapeur sous pression chargée de sable).

En milieu naturel, le sable accumule des minéraux lourds alluvionnaires, permettant l'extraction de certains minéraux dont l'or, les diamants, la cassitérite (minerai d'étain), la magnétite (oxyde de fer) ou l'ilménite (oxyde de fer et de titane).

Le sable est un élément important dans le domaine touristique, lorsqu'il est présent sur les plages et les dunes où il est également un élément indispensable à la protection de la côte [15,16].



photo I.1: du sable de dunes[23]

I. 4.6. Caractéristiques des sables de dunes du Sahara Algérien :

I. 4.6.1. Composition minéralogique :

Les sables sont principalement constitués de quartz (silice), avec de faibles proportions de mica, de feldspath et de magnétite.

La couleur du sable est d'autant plus claire que la teneur en silice est élevée. Les sables sont toujours définis en fonction des constituants majoritaires : on parle ainsi de sable quartzeux, feldspathique, ferrugineux, micacé, calcaire, ou encore de sable coquillier.

Toutefois, dans le langage courant, le sable est généralement associé au sable quartzeux

I. 4.6.2. Composition chimique :

Ce sont des sables dont la composition chimique est très simple : plus de 95% de silice, de 1 à 2% de calcaire et des traces de différents oxydes. Du fait de cette constitution, le sable à une couleur blanche légèrement jaune et ocre il se dessèche et perd facilement sa cohésion en surface. [2], fait une étude sur Comportement hydromécanique des sols compactés : Application à la conception d'une barrière ouvragée, il a utilisé deux matériaux, la bentonite et le sable de dune de la région de Laghouat. Les résultats de l'analyse chimique effectuée par LNHC de Djelfa

Symboles Unité Sable de dune Résidu insoluble SiO₂+Silice % 95,87 Sulfates SO₃ % 0,91 Chlorures Cl⁻ % 0,36 Carbonate de calcium CaCO₃ % 2,5

I. 4.6.3. Analyses minéralogiques :

L'analyse par DRX du sable dunaire révèle la présence d'atomes Si et O₂ ce qui correspond à la présence de l'espèce SiO₂ (silice). De plus le pourcentage atomique important de Si nous indique que SiO₂ est l'espèce prépondérante. Les autres valeurs de pourcentages atomiques nous permettent d'établir que le sable dunaire contient aussi quelques traces, en comparaison avec SiO₂, d'espèces calciques et magnésiques les résultats sont présente dans le spectre. [4]

I. 4.7. Classification suivant la granulométrie:

Dans ce type de classification, le critère principal est la taille des particules. La classe des sables varie selon le système de classification ou le domaine d'activité.

Tous les systèmes de classification admettent principalement cinq (5) sous classes qui sont :

- le sable très fins (diamètre des grains de 0,0625 à 0,125 mm).
- le sable fin (de 0,125 à 0,25 mm),
- le sable moyen (de 0,25 à 0,5 mm),

- le sable grossier (de 0,5 à 1 mm),
- le sable très grossier (de 1 à 2 mm).

I. 4.8. Utilisation du sable de dunes dans le béton :

Le sable de dunes était utilisé depuis longtemps dans l'exécution des travaux de remblayage des fouilles de fondations et les travaux routiers, mais l'utilisation comme constituant principal du béton n'apparaît qu'après la naissance du béton de sable en 1853 par F.COIGNET (Rapport général et conclusion de 23e congrès mondial de la route). Cette naissance a donné le courage de commencer une nouvelle investigation qui a étudié la possibilité d'utiliser le sable de dunes comme un constituant principal dans les structures des ouvrages en génie civil ; pour cette raison plusieurs actions de recherches, soit en Algérie ou à l'étranger, ont été engagées et hypothéquées. [5]

I.5. Généralités sur les déchets en Algérie

I.5.1.Introduction

Avant la valorisation d'un déchet, il est essentiel de comprendre son origine, d'analyser et de caractériser son état ainsi que ses propriétés sur le long terme. Cette compréhension exhaustive permettra de déterminer l'évolution potentielle du déchet et de sélectionner une méthode de valorisation appropriée. Dans ce document, nous explorons les méthodes employées pour gérer différents types de déchets ainsi que les techniques primordiales de traitement utilisées à travers le monde. Il est à noter que l'accroissement industriel et le développement urbain se sont souvent poursuivis récemment sans tenir compte adéquatement des précautions environnementales nécessaires.

Les déchets peuvent être abordés de manière différente en fonction de leurs propriétés ,un déchet est défini comme " Tout déchet d'un évolution de production, de transformation, ou d'utilisation, matériau produit ou plus généralement tout bien meuble abandonné et qui sont de nature à produire des effets nocifs sur le sol, la flore et la faune, à dégrader les sites ou les paysages, à polluer l'air ou les eaux, à engendrer des bruits ou des odeurs" La variété de ces propriétés et des points de vue que l'on peut adopter lorsque l'on s'intéresse. D'une façon générale, à porter atteinte à la santé de l'homme et à l'environnement. [1]

Valorisation d'un déchet : La valorisation des déchets est une attitude positive plus économe, plus responsable qui œuvre dans le but de la protection de l'environnement et la santé de l'Homme. De nos jours les déchets constituent un produit qu'il faut exploiter au mieux afin d'entier meilleur profit. La valorisation est non seulement utile, mais aussi souhaitable. Toute

l'activité humaine consiste à créer des richesses en partant d'un produit pour en fabriquer un autre, en transformant les choses pour en créer de nouvelles. Le déchet peut être ce produit qu'il faut savoir utiliser et transformer pour en faire un matériau utile, une véritable matière première ou secondaire [25].

Sens économique : le déchet est défini comme un objet ou une matière dont la valeur économique est nulle ou négative pour son détenteur, à un moment et dans un lieu donné [26]

Pour s'en débarrasser, le propriétaire devra payer un prestataire pour son enlèvement ou s'en charger lui-même. Cette définition de la nullité de valeur est relative car les déchets des uns sont les matières premières des autres voire même des biens pour d'autres personnes ou communautés

Sens sociologique : les déchets s'accompagnent de jugements de valeur négatifs. Ils sont disqualifiés, comportent une connotation malsaine, suscitent souvent de la répulsion voire du dégoût et nécessitent une séparation, une ségrégation, une exclusion, un rejet. [27].

Sens juridique : Sur le plan juridique, la question est surtout de savoir comment une chose est requalifiée comme déchet : la réponse ne concerne pas tant des caractéristiques techniques ou formelles d'une chose mais est liée à l'action de se défaire. Au niveau européen, un déchet correspond à toute substance ou tout objet dont le détenteur se défait ou l'obligation de se défaire en vertu des dispositions nationales en vigueur. . [27].

Une véritable législation en matière de politique Environnementale :

L'Algérie est en train de connaître un développement économique et démographique sans précédent. Le taux élevé d'accroissement de la population a ainsi engendré une urbanisation accélérée, le plus souvent de manière anarchique qui a vu la prolifération de l'habitation précaire. Cela ne s'est pas fait sans conséquences sur l'environnement. Face à la gravité des problèmes environnementaux, le gouvernement algérien a décidé en 2001 de consacrer une enveloppe financière importante, de près de 970 Md, pour atteindre les objectifs inscrits dans le Plan National d'actions pour l'Environnement et le Développement Durable (PNAE-DD), prévu jusqu'en 2010.

Le secteur de l'environnement connaît actuellement des mutations à travers notamment le renforcement du cadre institutionnel et juridique

I.5.2. Origine de la production de déchets :

La production des déchets est assurée pour les raisonnements suivants :

Biologiques : Les déchets d'origine biologique sont définis par le fait que tout cycle de vie produit des métabolites.

Technologiques : Quelles que soient la fiabilité et la qualité des outils et procédés de production.

Écologiques : Les activités de dépollution (eau, air, déchets) génèrent inévitablement d'autres déchets qui nécessiteront eux aussi une gestion spécifique.

I.5.3. La typologie des déchets :

I.5.3.1.Déchets ultimes (DU) :

La loi du 13 juillet 1992 a introduit la notion de déchets ultimes et en donne la définition suivante : « un déchet, résultant ou non du traitement d'un déchet, qui n'est plus susceptible d'être traité dans les conditions techniques et économiques du moment, notamment par l'extraction de la part valorisable ou par réduction de son caractère polluant ou dangereux. »

Les déchets ultimes issus des usines d'incinération d'ordures ménagères et déchets assimilés, dénommés mâchefers, peuvent être transformés après traitement en granulats et utilisés pour réaliser les fondations de route.[5]

I.5.3.2.Déchets ménagers et assimilés :

Ce terme regroupe l'ensemble des déchets produits dans le cadre de notre vie quotidienne : emballages, restes de repas, électroménagers, vieux meubles, déchets verts, vieux vêtements, etc.[6]

I.5.3.3.Déchets inertes (DI) :

Les déchets inertes représentent près de 70 % des déchets du secteur du Bâtiment soit 28 millions de tonnes traitées par an. Nous allons voir quels sont les principaux déchets inertes, que deviennent-ils, comment les traiter efficacement et enfin qui sont les garants d'une valorisation intelligente de ces déchets. L'objectif est également de répondre à la question principale posée : Sont-ils réellement valorisés



photo I.2. Déchets inertes(Usine de céramique lachahab, el-chett El Oued)

Ces déchets sont admissibles dans les installations de stockage et proviennent essentiellement des chantiers de bâtiment et de travaux publics ou d'industries. Ce sont notamment les déchets suivants :

Les bétons, les tuiles et les céramiques, les briques, les déchets de verre, les terres, les enrobés bitumeux Déchets de construction et de démolition en mélange ne contenant pas de substances et ne contenant que des déchets minéraux. [5].

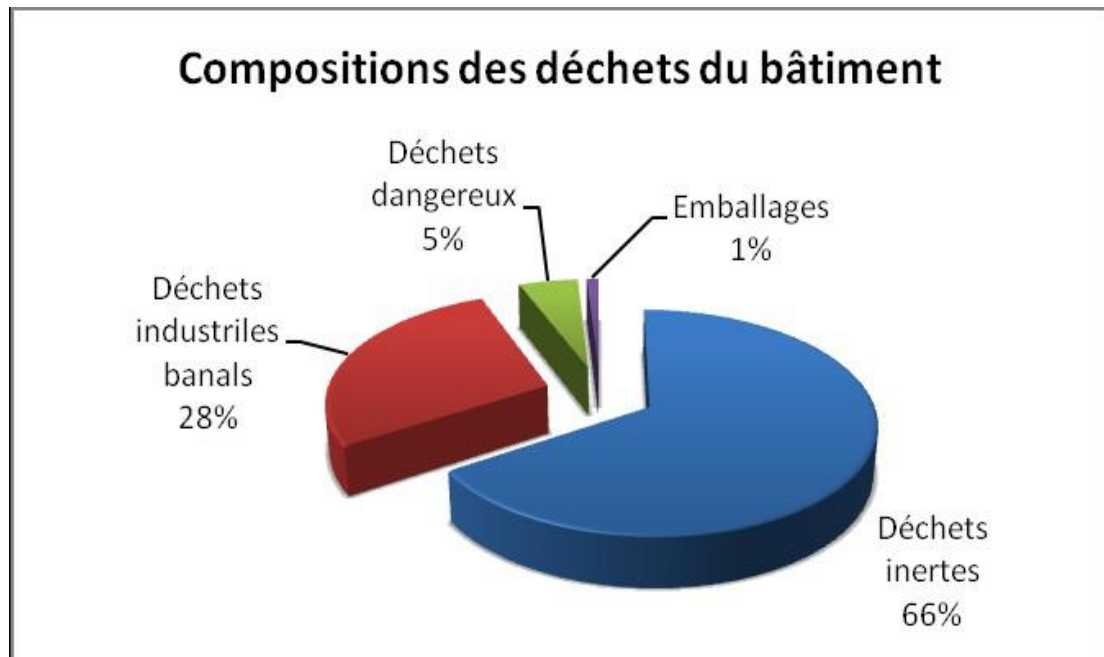


Figure I.1 : Compositions des déchets du bâtiment.[8]

I.5. 3.4.Déchets dangereux (DD) :

A. Déchets industriels spéciaux (DIS) :

Ces déchets figurent en raison de leurs propriétés dangereuses, exemple : déchets contenant de l'arsenic, du plomb, d'hydrocarbures ; provenant de l'industrie pétrolière, etc..

B.Déchets ménagers spéciaux (DMS) :

Ce sont les déchets à risque contenus dans les déchets ménagers, tels que les aérosols, colles, détergents, détachants insecticides, peintures, piles, tubes néon, produits de nettoyage. Il peut s'agir de ce qu'on appelle également les DTQS : déchets toxiques en quantité dispersé. [6]

C. Déchets non dangereux des activités économiques :

Il s'agit de déchets d'entreprises qui s'apparentent, par leur nature et leur composition, les déchets de construction et les déchets des services publics (école, administration, etc.). La loi

considère d'ailleurs qu'ils sont « assimilables aux déchets ménagers » et peuvent ainsi être collectés et éliminés comme des déchets ménagers. [5]

I.5.3.5. Les déchets industriels banals (DIB) :

Ils regroupent l'ensemble des déchets non dangereux produits par les industriels et par les entreprises du commerce, de l'artisanat, des services et de l'administration, de la métallurgie, la peinture, la chimie et la pétrochimie. Les déchets non dangereux et non inertes, dits industriels banals. Ce sont :

- Les bois non traités ou traités avec des produits non dangereux.
- Les plastiques en PVC, polystyrène, polypropylène.
- Les métaux ferreux et non ferreux.
- Les revêtements muraux et de sol textiles.
- Le polystyrène expansé, le polyuréthane.
- Les produits mélangés issus de chantier de réhabilitation.
- Les peintures, vernis, colles, mastics. [6]

I.5.3.6. Les déchets médicaux et pharmaceutiques :

Tout déchet issu des activités de diagnostic, de suivi et de traitement préventif, dans les domaines de la médecine humaine ou vétérinaire et tous les déchets résultant des activités des hôpitaux publics, des laboratoires d'analyses opérant dans ces domaines et de tous établissements similaires. [7]

I.6. Recyclage des déchets :

I.6.1 Définition :

Le recyclage est une méthode de traitement des déchets industriels et des déchets ménagers qui admet de réintroduire, dans le cycle de production d'un produit, des matériaux qui le composent. Le recyclage a deux conséquences écologiques majeures : la réduction du volume de déchets et la préservation des ressources naturelles. Certains procédés sont simples et bon marché mais, à l'inverse, d'autres sont complexes, coûteux et peu rentables. Le recyclage est une activité importante de l'économie et des conditions de vie des pays étendus.

Le recyclage s'inscrit dans la stratégie de traitement des déchets dite des trois R :

- Réduire, qui regroupe tout ce qui concerne la réduction de la production de déchets.
- Réutiliser, qui regroupe les méthodes admettant de donner produit usé un nouvel usage.
- Recycler, qui désigne le procédé de traitement des déchets par recyclage.

Le recyclage apporte une contribution importante à la baisse des quantités de déchets à éliminer par enfouissement et par incinération, mais il n'est pas suffisant pour contrer l'augmentation de la production des déchets ou y suffit à peine.

Pour lutter contre l'augmentation des déchets, le recyclage est donc nécessaire, mais il doit être inclus dans une démarche plus large.

I.6.2. Les types d'élimination :

Selon le type et la nature du déchet obtenu ; on doit choisir le type d'élimination adapté parmi les types suivants :

- Décharge ou réutilisation du déchet.
- Déchet recycle.
- Valorisation énergétique.
- Incinération.
- Déchet recyclable après de contamination.

I.6.3. Technique de recyclage :

I.6.3.1. Procédés du recyclage :

Il existe trois grandes familles de techniques de recyclage : chimique, mécanique et organique.

Le recyclage dit « chimique » utilise une réaction chimique pour traiter les déchets, par exemple pour séparer certains composants. Le recyclage dit « mécanique » est la transformation des déchets à l'aide d'une machine. Le recyclage dit « organique », après compostage ou fermentation, à produire des engrais et du carburant tel que le biogaz. [9]

I.6.3.2. Etapes du recyclage :

La chaîne du recyclage comporte différentes étapes : [8].

Étape 1 : Collecte de déchets :

Les méthodes de recyclage des déchets commencent par la collecte des déchets. Dans les pays développés, les ordures ménagères sont généralement incinérées en centres d'enfouissement pour déchets non dangereux.

Les déchets collectés pour le recyclage ne sont pas destinés à l'enfouissement ni à l'incinération mais à la transformation.

La collecte sélective, dite aussi « séparative » et souvent appelée à tort « tri sélectif » est la forme la plus répandue pour les déchets à recycler.

Le principe de la collecte sélective est le suivant : celui qui jette le déchet le trie lui-même. Les déchets recyclables étant eux déposés dans des lieux où il n'y a pas de taxe.

La suite de la collecte, les déchets, triés ou non, Un tri manuel, par des opérateurs devant un tapis roulant, complète souvent ces opérations automatiques.

Étape 2 : Transformation :

Une fois triés, les déchets sont pris en charge par les usines de transformation. Ils entrent dans la chaîne sous forme de déchets et en sortent sous forme de matière prête à l'emploi.

Étape 3 : Commercialisation et conservation :

Une fois transformées, les matières premières issues du recyclage sont utilisées pour la fabrication de produits neufs qui seront à leur tour proposés aux consommateurs .

I. 7.Gestion des déchets:

I. 7.1. Définition:

La gestion des déchets est la collecte, le transport, le traitement, la réutilisation ou l'élimination des déchets, afin de diminuer leurs effets sur la santé humaine ou l'environnement.

La gestion des déchets concerne tous les types de déchets, qu'ils soient solides, liquides ou gazeux, chacun possédant sa filière spécifique. Les manières de gérer les déchets diffèrent selon qu'on se trouve dans un pays développé ou en voie de développement.

La gestion des déchets non toxiques pour les particuliers ou les institutions dans les agglomérations est habituellement sous la responsabilité des autorités locales, alors que la gestion des déchets des commerçants et industriels est sous leur propre responsabilité. [9]

I. 7.2.Principes de gestion des déchets:

Il y a plusieurs principes de gestion des déchets dont l'usage varie selon les pays ou les régions.

- **La hiérarchie des stratégies (règle des trois R):**

- **Réduire.**

- **Réutiliser.**

- **Recycler.**

La hiérarchie des stratégies a plusieurs fois changée d'aspect ces dix dernières années, mais le concept sous-jacent est demeuré la pierre angulaire de la plupart des stratégies de gestion des déchets : utiliser au maximum les matériaux et générer le minimum de rebuts.

Certaines solutions "repensées" sont parfois peu intuitives. On peut prendre par exemple un cas dans l'industrie textile : afin de réduire la quantité de papier utilisée pour les patrons, il a été conseillé de les découper dans de plus grandes feuilles. Donc, il y a une réduction du résidu global. Ce type de solution n'est bien entendu pas limité à l'industrie textile.

La réduction à la source nécessite des efforts pour réduire les déchets toxiques et autres résidus en modifiant la production industrielle. Les méthodes de réduction à la source impliquent des changements dans les processus de fabrication, Parfois le principe de

«prévention de la pollution» indique en fait la mise en œuvre d'une politique de réduction à la source. L'efficacité des politiques de réduction à la source se mesure à l'importance de la réduction de la production de déchets.

I.7.3. Méthodes de gestion des déchets :

La gestion des déchets consiste en la détermination du type de traitement à mettre à telle ou telle autre catégorie des déchets. Certes pour assurer une bonne gestion des déchets, il faut mettre des moyens sur le plan financier que matériel, C'est ainsi que nous allons examiner successivement les différents modes de gestion des déchets.

Ces procédés sont actuellement au nombre de cinq.

I. 7.3.1. L'enfouissement :

L'enfouissement est une méthode d'évacuation des déchets organiques qui consiste à creuser une fosse profonde de 0,5 à 1m pour y verser des déchets. Ce procédé utilise comme produits

désinfectants ou désodorisants le chlore, la chaux, le mazout, et l'essence. Cette méthode reste très appropriée dans des formations sanitaires.



photo I.3. Enfouissement des déchets

I.7.3.2. L'incinération :

C'est une méthode urbaine d'élimination finale des déchets qui consiste à brûler au moyen d'un feu les déchets produits par les hôpitaux. Elle peut être considérée comme un procédé par excellence de traitement des immondices, c'est une méthode satisfaisante qui présente cependant quelques inconvénients, parmi lesquels on peut citer :

- Elle nécessite une évacuation des cendres après son exécution,
- Elle provoque un danger de pollution de l'environnement par sa fumée,
- Elle nécessite un investissement et un coût d'exploitation élevés pour son construction.



photo I.4. Incinération en plein air et usine d'incinération.

I. 7.3.3. La décharge contrôlée :

La décharge contrôlée est un dépotoir public prévu à l'avance pour l'évacuation des immondices ménagères. Elle a l'avantage d'offrir des éléments pour l'alimentation des jardins ou des plantations d'arbres. Ce procédé n'est pas conseillé pour le traitement des déchets hospitaliers.



photo I.5. Photo d'une décharge contrôlée.

I.7.3.4.Le compostage :

Le compostage est un méthode de décomposition des matières organiques usée de manière à le récupérer sous une autre forme permettant une utilisation ultérieure comme engrais. Il nécessite la préparation suivantes : réception des ordures, triage des ordures, préparation des compostes, décomposition, présentation du produit fini.



photo I.5. Compostage de déchets organiques.

I.7.3.5. Le recyclage :

Etant donné que tout ce qui est brûlé est irrémédiablement perdu en tant que matière première, c'est ainsi que le recyclage, qui a pour avantage de réduire la consommation en matière première pour la fabrication de nouveau bien, permet de minimiser l'impact environnemental des déchets. Cette opération a pour objectif principal d'éviter un souillage des déchets recyclables par des déchets non recyclables. En effet, ceci pourrait les rendre impropres au recyclage. D'autre part, il permet d'orienter les différents déchets vers la bonne destination.



photo I.6. Usine de recyclage des déchets.

I.8. Différents déchets utilisés dans l'élaboration des bétons:

I.8.1. Les Laitiers sidérurgiques :

Le laitier de haut fourneau est un sous-produit de la transformation du minerai de fer. Il est ensuite refroidi lentement à l'air et donne un matériau cristallin et compact. Le laitier refroidi à l'air est utilisé comme granulat pour le béton. La résistance à la compression du béton constitué de granulats de laitier de haut fourneau et celle du béton constitué de gravier et de calcaire concassé indique que le béton de granulats de laitier est plus résistant [10].

Les fines du laitier peuvent être utilisées pour remplacer les grains de sable. Le laitier expansé est utilisé pour la fabrication du béton léger dont la masse volumique apparente est comprise entre 800 et 950 kg/ m³.



photo I.7. Photo d'un laitier de haut fourneau.

I.8.2. Laitier d'acier :

Ce laitier est réalisé par l'élimination des impuretés contenues dans la fonte brute. Ce produit est riche en phosphate ou en calcium et contient du silicate bi calcique. Ce laitier est stocké en piles pendant une période allant jusqu'à un an avant d'être utilisé.

L'utilisation de ces laitiers est assez peu répandue en raison des problèmes de stabilité dimensionnelle. Des procédés de vieillissement se sont développés afin de maîtriser cette instabilité et des initiatives de valorisation, notamment en génie civil. Encore, les risques environnementaux associés à l'utilisation des laitiers dans certaines filières sont encore peu connus.



photo I.8. Photo d'un laitier d'acier.

I.8.2.1. Bénéfices de l'utilisation des additions minérales :

Bénéfices techniques :

- L'incorporation des grains fins améliore la maniabilité et minimise la demande en eau.
- Ils peuvent changer la nature et la texture des hydrates formés.
- Prise et durcissement pour les ajouts qui interviennent dans le processus réactionnel du ciment avec l'eau.

- Il y a une amélioration des propriétés mécaniques et de la durabilité du béton.
- Il y a une diminution de la chaleur d'hydratation dégagée du béton, ce qui diminue la fissuration d'origine thermique.

Bénéfices économiques :

- La plupart des ajouts minéraux sont des sous-produits de différentes industries et leur.
- Coût est souvent égal au coût du transport et de la manipulation.
- Minimise le prix du ciment et du béton.
- Admet un gain appréciable en clinker selon le pourcentage ajouté.
- Diminuer la dépense d'énergie nécessaire pour le broyage.

Bénéfices écologiques et environnementaux :

- Réduction de l'émission du CO₂ par l'industrie cimentière.
- Élimination des sous-produits de la nature.

I.8.3.Fumée de silice :

Aujourd'hui, la fumée de silice est peut-être un matériau de choix pour les ingénieurs qui conçoivent des bétons aptes à résister à des réglemens d'exposition agressive. Utilisée en qualité d'addition et de stabilisateur. Les micros silices sont un sous-produit de la préparation du silicium et du Ferro silicium.

Au cours de ce processus, on vaporise du sable siliceux à l'arc électrique et puis il est condensé sous forme de fumée de silice dont la taille des particules est comprise entre 0.05 et

0.5 μm , ont une très grande surface spécifique.



photo I.9. Fumé de silice forme de poudre.

I.8.3.1.Effets de fumé de silice :

La fumée de silice est l'ajout pouzzolanique le plus réactif. Contrairement aux cendres volantes. Elle se précipite sous forme de silicate de calcium hydraté C-S-H avec l'hydroxyde de calcium CH qui se forme lors de l'hydratation du ciment.

Dans le béton frais les fumées de silice induisent les résultats suivants :

- Faible tendance au ressuage, à la sédimentation.
- Meilleure cohésion interne, légèrement thixotrope.
- Bon pouvoir de rétention d'eau.
- Faibles pertes d'air pour le béton à air entraîné.
- Meilleure adhérence sur le support.
- Réduction du rebond et amélioration de la résistance du béton projeté.
- Augmentation du besoin en eau.
- Consistance plus ferme.
- Le béton frais devient plus.
- L'introduction de pores d'air artificiels est plus difficile.
- Risque accru de fissures liées au retrait précoce.
- Durée de la cure plus importante.[9]

I.8.4.Cendres volantes :

Les cendres volantes pourraient composer de très bons granulats légers. Elles sont issues de la combustion du charbon pulvérisé et poussé dans la chambre de combustion d'un four par des gaz d'échappement. Elles sont préférables à beaucoup d'autres granules légers étant donné qu'elles transmettent une combustion plus efficace, du fait que le carbone contenu dans les cendres produit la quantité de chaleur nécessaire pour éliminer l'humidité des boulettes et pour amener les boulettes à la température de frittage.

Les cendres volantes sont classifiées selon leurs contenus en CaO et du type du charbon brûlé

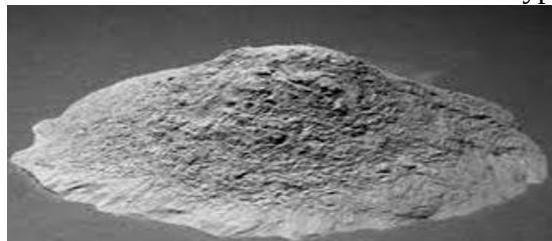


photo I.10. Photo de la cendre volant

I.8.5.Déchets de verre :

Le verre est une matière solide, non cristallin, homogène, provenant du refroidissement progressif de certaines substances après fusion, Le verre est l'un des matériaux les plus utiles. Le problème environnemental que posent les déchets non biodégradables tels que les bouteilles non réutilisables devient une préoccupation majeure au regard des quantités énormes produites dans les grandes villes. L'une des rares voies de recyclage de ces déchets est de les stocker dans les procédés de construction. Ainsi, le verre est un matériau riche en silice et en sodium.

Son utilisation dans une matrice cimentaire entraîne deux réactions à effet contraire : la réaction alcali silice néfaste pour les bétons par les gonflements qu'elle génère, et la réaction pouzzolanique qui est bénéfique.

Des millions de tonnes de verre sont recouvrées chaque année et une voie de recyclage du verre consiste à l'utiliser dans les matériaux de construction. Les granulats sont utilisés en remplacement des graves dans les bétons et lui procurent une résistance moindre. Les poudres sont usées dans les mortiers en substitution du sable mais aussi dans l'industrie du ciment comme fines.



photo I.11. Déchets de verres

I.8.6.Déchets plastiques :

On entend par déchet plastique, les résidus de processus de production, de transformation et de consommation.

Les déchets plastiques peuvent saisis dans des matrices cimentaires. Ensuite, des études antérieures ont montrées qu'il était possible d'utiliser les déchets plastiques dans les bétons comme liant pour la production d'un matériau composite

à haute performance ou sont additionnés dans le béton.. [11]

Il existe plusieurs types de déchets plastiques:

Les déchets plastiques industriels : il s'agit de l'ensemble des déchets issus des processus de production de résines et de transformation des résines en objets fins.

Les déchets de production: ils procèdent des arrêts de réacteur de polymérisations, des purges de réacteurs et des lots déclassés. Ils sont homogènes et présentent la particularité d'avoir un degré de pollution faible. On retrouve, en très grande majorité, les polymères de grande diffusion (PS, PVC, PE).

Les déchets de transformation: ils procèdent de toutes les actions de plasturgie admettant l'obtention de produits finis (soufflage, injection, extrusion, calandrage,...).

On retrouve, précisément, les carottes, les isères et bordures de ces opérations de thermoformage, ou encore, les chutes de démarrage et d'arrêt de machine.



photo I.12. Déchet plastiques.

I.8.7. Déchets de marbre :

Le marbre est une roche métamorphique dérivée du calcaire. Certains types de marbre portent des noms particuliers. Le marbre désigne un carbonate de calcium à tissu compact ou cristallin qui se laisse rayer et réagit aux acides de plus ou moins siliceux ou argileux, il se présente en épaisseur homogène, sa densité est élevée en moyenne de 2,27.

Le classement des marbres est fondé sur les teintes ou les dessins : ils existent des variétés, beiges, bleus, gris, jaunes, rouges, vertes, violettes ou noires.

La production de marbre en France est faible et on constate une régression par rapport à des pays comme l'Italie, le Portugal, et la Grande Bretagne.

Généralités sur les sable de dune et les déchets en Algérie

Les produits marbrières Algériennes sont extraits et transformés conformément aux normes européennes. Les méthodes utilisées en Algérie pour le travail du marbre sont ceux usés dans le monde :

- Sciage des masses au fil hélicoïdal, au fil diamanté et haveuse pour l'abatage et le tranchage des masses brutes de marbres naturels en carrières.
- Transformation des produits finis au moyen de lames et disques, débitages secondaires et ponçages avec des pierres ponce.

Le marbre Algérien est utilisé aujourd'hui par l'entreprise nationale du marbre 'ENA marbre' qui ordonne de dix unités de production implantées dans cinq Wilayas. [12]



photo I.13. Déchets de marbres et déchets de marbre broyés.

I.8.8. Boues rouges:

Les boues rouges sont des résidus industriels issus du processus d'extraction d'aluminium à partir de la bauxite. Elles sont stockées soit au fond des océans, soit près des usines.

Elles sont de consistance assez plastique pour être formées en boules, chauffées à des températures de 1260 à 1310°C, elles sont transformées en granulats denses et résistants pouvant entrer dans la composition de bétons de résistances convenables.



photo I.14. Boues rouges.

- gestion spécifique.
- Chimiques : toute réponse chimique est régie par le principe de la conservation de la matière sera un sous –produit qu’il faut gérer si on n’en a pas l’usage évident.
- Accidentelles : Les inévitables dysfonctionnements des systèmes de production et de consommation sont à l’origine des déchets.

I.8.9 Pneus usagés :

Les matériaux cimentaires ont une capacité de déformation très limitée ainsi qu’une faible résistance à la traction, ce qui les rend sensibles à la fissuration, notamment la fissuration due au retrait.

Ainsi, l’incorporation de granulats en caoutchouc issus du broyage de pneus usagés dans un béton confère au composite obtenu une plus grande capacité de déformation avant localisation de la microfissure. Il en résulte que le composite cimentaire incorporant des granulats en caoutchouc a une grande résistance à la fissuration dû au retrait.

Ensuite, les pneumatiques usagés constituent un gisement de matières premières secondaires. La valorisation de ce déchet industriel est à ses premiers balbutiements. Un premier chantier expérimental a été initié par le département ministériel, concernant l’utilisation des pneus réformés en tant que soutènement d’un talus de remblai dans un projet routier.

Les travaux déjà mettre au point ont permis de mettre en œuvre 3500 pneus mis à disposition par Michelin Algérie. [12]



photo I.15. Déchets de pneus usagés.

I.8.10.Ciment durci :

Dans le cas où un sac de ciment est en contact avec l'eau, la poudre se cristallise.

Cette recristallisation du ciment est suivie d'une réaction d'hydrolyse. Ces deux réactions sont rapides et provoquent le durcissement du ciment. Le ciment ainsi durci devient automatiquement un déchet.

Il peut être concassé et utilisé comme granulats de béton. Ce déchet est produit accidentellement ou par négligence, il est donc raisonnable d'éliminer le ciment durci et d'œuvrer pour empêcher sa production.



photo I.16. Ciment durci.

I.8.11.Déchets de démolition :

Le béton compose presque 75%, en poids de tous les matériaux de construction. Il s'ensuit donc que la plus grande partie de rebuts de démolition est constituée de béton, les sinistres fournissent chaque année des millions de tonnes de débris de béton.

Actuellement, les producteurs de granulats recyclés ont une politique de sélection des matériaux de démolition. Donc, on distingue cinq catégories de matériaux de démolition en fonction de leur nature:

- a) Les bétons armés sans enduit ni plâtre.
- b) Les matériaux composés de tuiles, de briques, de pierres de graves, etc.
- c) les matériaux mélangés avec une faible teneur en plâtre, plastique, bois etc.
- d) les mauvais matériaux avec une teneur en plâtre, bois, plastique.
- e) les autres matériaux n'entrant pas dans les classes précédentes

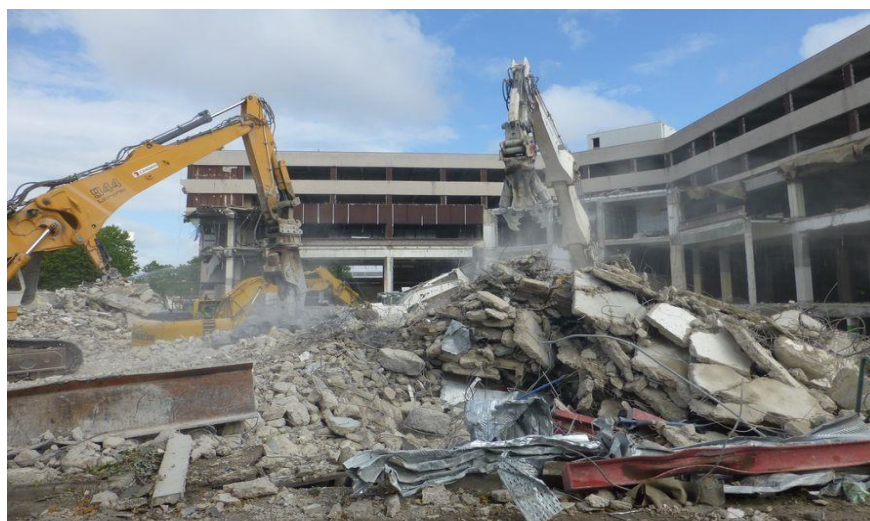


photo I.17.Déchets de démolition.

I.8.12.Déchets de production de l'industrie du béton :

Les granulats de déchets de production ont deux origines :

- a) Les débris de béton générés tout au long des étapes de la production ; ils résultent du nettoyage des installations de préparation et du transport du béton frais ; il peut également s'agir de béton provenant de gâchées non utilisées ou inutilisables.
- b) Les produits imparfaits, mal formés, partiellement cassés ou d'aspect non conforme ; à ces produits imparfaits s'additionnent les produits ayant fait le concept d'essais de résistance à la rupture.



photo I.18.Industrie du béton

I.8.13.Déchets de briques :

Les déchets de briques sont originaires de la fabrique des produits rouges. Ces produits comptent parmi les plus anciens matériaux de construction.

Les briques ont généralement une forme parallélépipède rectangle. Il existe deux types de briques : briques en terre crue et briques en terre cuite.

- **Briques en terre crue:**

Les briques en terre crue (figure 1.19) composent un matériau de base pour la construction de murs et de voûtes. En principe, les briques sont, fabriquées à base de terre, de paille et d'eau.

Le mélange est coulé dans des moules en bois, pour obtenir des briques de (40.20.10) cm³.

Les briques sont séchées à l'air pendant plusieurs jours, avant d'être utilisées. [12]



photo I.19. Briques en terre crue.

- **Briques en terre cuite:**

Les briques en terre cuite (figure I.20) se composent d'argile, d'adjuvants naturels (sable, sciure de bois) et d'eau.

L'argile est réalisée puis séchée et cuite à une température d'environ 1000°C, pour devenir ce que l'on appelle des briques en terre cuite. [13]

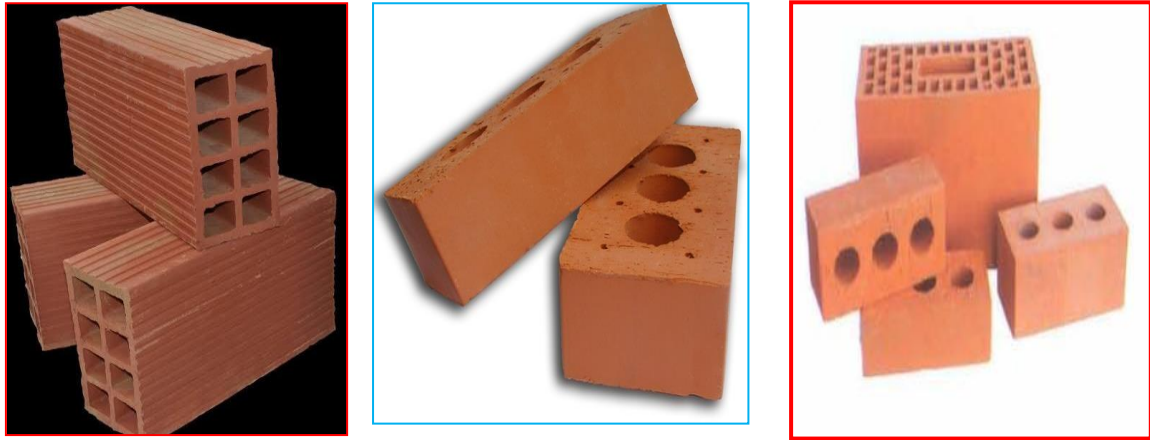


photo I.20. Briques en terre cuite.

La fabrication des produits génère des quantités considérables de déchets. Selon les statistiques disponibles, la quantité de rebuts dans cette manufacture représente environ 10% de la production totale.

I.8.14. Déchets de céramique :

On distingue deux catégories de céramiques (hors céramique technique):

I.8.14.1. Les céramiques poreuses :

- **la poterie ou terre cuite^b**, la plus ancienne, brute et poreuse, de coloration souvent rouge, orangé ou brune due à la présence d'oxyde de fer dans la pâte. La terre cuite est cuite entre 850 et 1 000 °C,
- **la faïence**, apparue dès le VIII^e siècle au Moyen-Orient. Après le façonnage et séchage, les pièces en faïence sont cuites une première fois entre 800 et 1 050 °C selon le type de faïence : c'est la cuisson du biscuit. La pièce biscuitée est poreuse, ce qui permet d'émailler. La pièce subit une dernière cuisson à 980 °C pour fixer l'émail,
- **les produits réfractaires**, à base d'argiles réfractaires, de kaolin et de chamottes, faits pour résister à de hautes températures ;

I.8.14.2. Les céramiques vitrifiées :

- le grès, particulièrement résistant, composé d'une argile à très forte teneur en silice. Cuite une première fois entre 800 et 1 000 °C, la pièce reste poreuse, c'est le « dégourdi ». Le

dégourdi permet d'émailler facilement grâce à la porosité de la pièce. La deuxième cuisson, à 1 280 °C, permet l'auto-vitrification de la terre et la fixation de l'émail,

- la porcelaine, résultat de l'évolution de la céramique chinoise, produite en Occident à partir du XVIII^e siècle, à base de kaolin. Elle se caractérise par son exceptionnelle dureté et son aspect translucide. Elle est cuite à 800-900 °C pour le dégourdi et 1 250-1 400 °C pour la pièce finale.

I.8.15.Caractéristiques des céramiques :

Les céramiques sont caractérisées par des liaisons fortes, ce qui se traduit dans la pratique par:

- Une très bonne tenue en température ;
- Une excellente rigidité élastique ;
- Une bonne résistance à la corrosion ;
- Une bonne résistance à l'usure.
- Ces matériaux ont de hauts points de fusion, ils sont fragiles peu ductiles.

I.8.16.Produits céramiques dans la construction :

Les produits céramiques prennent une part importante dans le domaine de génie civil, car, suivant leur mode de fabrication, ils ont des propriétés variées, bien différentes les unes des autres. A la base de tous les procédés de fabrication, il y a l'argile, qui, mélangée à l'eau, donne une pâte dont la propriété est de durcir à la chaleur. En faisant varier les différents composants de la pâte, la quantité d'eau et le degré de chaleur, on modifie les caractéristiques du matériau, qui devient plus ou moins dur, plus ou moins poreux, etc [13].

carrelage aux dessins réguliers. Toutefois, il ne faut pas perdre de vue que ce genre de revêtement se tache facilement et qu'il n'a pas une grande résistance à l'usure. Il est prudent de le protéger par un 23 vernissage ou un encaustiquage permanent. De plus, les carreaux de terre cuite étant poreux, ils craignent le gel. Leur utilisation à l'extérieur n'est donc pas à envisager [13].

• Terres cuites :

Composé d'argiles légèrement calcaires, le mélange est cuit à une température relativement basse (800 à 1000 °C). La terre cuite ainsi obtenue est un matériau ordinaire, peu dur et poreux, qui résiste mal aux chocs. Elle est utilisée pour le gros œuvre sous forme de briques (pleines ou creuses), de tuiles, de boisseaux de cheminée et autres éléments comme les hourdis de planchers et de toitures. La terre cuite est un bon isolant. Ses teintes variées — dont les couleurs chaudes vont du beige clair au brun-rouge — sont un atout majeur pour réaliser des revêtements de sols ou de murs très décoratifs. On utilise, pour ces revêtements, des carreaux ou des dalles de terre cuite, aux formes et aux dimensions multiples (carré, hexagone, trèfle, losange...) qui permettent d'exécuter un carrelage aux dessins réguliers. Toutefois, il ne faut pas perdre de vue que ce genre de revêtement se tache facilement et qu'il n'a pas une grande résistance à l'usure. Il est prudent de le protéger par un 23 vernissage ou un en causticage permanent. De plus, les carreaux de terre cuite étant poreux, ils craignent le gel. Leur utilisation à l'extérieur n'est donc pas à envisage [13].

- **Terres cuites vernissées :**

Ce sont des terres cuites de même composition que les précédentes, mais dont la surface est recouverte d'un vernis ou d'un léger émaillage qui les protège contre l'humidité. Les carreaux de terre cuite vernissée sont ainsi d'entretien plus facile, mais leur teinte naturelle est parfois modifiée par le vernissage [13].

1.8.16.1. Les céramiques techniques :

Une seconde branche de matériaux céramiques a vu le jour au cours du XX^e siècle. Ce sont les céramiques techniques dotées de nouvelles propriétés (tenue à très haute température, tribologie, conductivité thermique, etc.). Elles se rencontrent dans les applications médicales (prothèses d'articulation, dentaire), sanitaires (filtration) ou industrielles (plaquettes d'usinage, pièces d'usure). La céramique technique utilise des matériaux à base d'oxydes, de carbures, de nitrides, etc.

On peut donner cette définition actualisée d'un matériau céramique : un matériau solide à température ambiante qui n'est ni métallique, ni organique. Les objets en céramique sont réalisés par solidification à haute température d'une pâte humide plastique (verres minéraux), ou frittage (agglutination par chauffage) d'une poudre sèche préalablement comprimée, sans passer par une phase liquide (céramiques polycristallines) ; par assimilation, on désigne sous le terme « céramique » les objets ainsi fabriqués.

1.8.16.2 Les céramiques réfractaires :

utilisées pour isoler les fours industriels (chaux, verre, ciment, incinérateur, fonderies), sont aussi des céramiques techniques de par le haut degré de technicité, la densité et les formulations complexes mais se rapprochent des type de matière premières et de fabrication "terre cuite".

1.8.17.Fabrication des terres cuites

La fabrication de nombreux types de céramiques se fait en plusieurs étapes. On commence par l'acquisition de la matière première, soit l'argile, le dégraissant et les matériaux pour la décoration. Ensuite, la pâte doit être préparée, puis façonnée. Une fois l'argile façonnée, l'objet est séché une première fois. Ensuite, les objets sont recouverts d'un enduit approprié au type d'objet.

On peut donc recouvrir les objets en céramique d'engobe, de glaçure ou d'émail. Les objets sont ensuite cuits³ La cuisson est, avant tout une opération soumettant une pâte argileuse à une température suffisamment élevée pour lui faire subir une transformation irréversible de déshydratation⁴

Parmi les usages les plus répandus de la céramique actuellement, on peut distinguer :

la céramique de bâtiment, qu'on peut répartir de cette manière :

- les briques de maçonnerie, tuiles, blocs, boisseaux, voûtains, donc tous les éléments d'infrastructure de parement ou de couverture en terre cuite, sauf exception sans enduit ;
- les carreaux de faïence ou de grès employés dans les travaux de carrelage ;
- la porcelaine sanitaire, employée dans les appareils sanitaires;
- la céramique industrielle ;
- la bijouterie ;
- la céramique d'art.

I.8.18. Recyclage des déchets céramiques :

La production et la consommation de céramique augmentent d'année en année, suivies par des dizaines de millions de tonnes de déchets céramiques. Dans le même temps, les dommages causés par les déchets de céramique ont également été largement critiqués. Avec la diffusion généralisée de concepts tels que le développement vert et le développement durable, il est particulièrement important de transformer les déchets céramiques en ressources recyclables.

Il existe actuellement deux manières principales de réutiliser les déchets céramiques. L'un est le traitement direct pour recombinaison divers déchets de matériaux céramiques en décorations ; l'autre consiste à les recycler comme matières premières pour fabriquer différents produits. Les applications spécifiques sont les suivantes :

(A) Artisanat recyclé

En utilisant les déchets de céramique et autres déchets générés au cours du processus de production comme matières premières principales, divers arts décoratifs en céramique sont préparés grâce à une conception et une recombinaison personnalisées. La texture, le motif, la couleur de la céramique elle-même et les motifs irréguliers produits après la rupture de la céramique ont une valeur esthétique unique. Ces déchets de céramique sont combinés et traités grâce à une conception esthétique pour produire des objets artisanaux qui peuvent non seulement protéger l'environnement, mais également protéger l'environnement.

D'une beauté unique, c'est un bon matériau décoratif vert. Cette méthode de recyclage a un coût d'utilisation relativement faible, un processus de production simple et peut être conçue pour répondre aux besoins individuels des personnes, elle a donc une grande valeur promotionnelle.

(B) Comme matières premières pour la transformation des matériaux de construction

Les principaux composants des déchets céramiques solides sont les silicates, les déchets céramiques ont donc une certaine activité. Après traitement, ses performances peuvent répondre aux exigences des matériaux mélangés actifs et peuvent être utilisées comme matériaux mélangés à base de ciment. De plus, les déchets solides céramiques peuvent également être ajoutés sous forme de granulats aux matériaux en béton. L'utilisation de résidus de déchets céramiques peut non seulement économiser du ciment et réduire les coûts, mais également réduire la température interne du béton, améliorer sa résistance ultérieure et améliorer sa résistance à la corrosion. Les déchets céramiques sont devenus un élément indispensable et important dans la production de béton à hautes performances.

(C) Recycler les métaux lourds

Les déchets de céramique contiennent une variété de métaux précieux, notamment de l'argent et du palladium, qui sont très précieux pour le recyclage. À l'heure actuelle, les principales méthodes d'extraction des métaux précieux des déchets céramiques comprennent l'extraction liquide-liquide, la dissolution de l'acide nitrique-réduction du carbonate de sodium, etc. Le recyclage des métaux précieux des déchets pour produire des ressources renouvelables de haute qualité élimine non seulement les déchets, mais génère également des avantages économiques considérables.

(D) Carreaux de céramique recyclés

Les déchets de céramique peuvent également être réutilisés dans la production de céramique elle-même. Par exemple, les déchets de boue et d'eau peuvent être ajoutés aux ingrédients des carreaux de céramique après avoir été recyclés et déferés. Le corps vert non émaillé peut également être mis en suspension et réutilisé. Les déchets de pâte verte émaillée peuvent être mélangés à de la boue et réutilisés sans affecter la qualité de la cuisson de l'émail. Les déchets cuits à haute température peuvent être broyés et réutilisés pour recréer de la céramique. Actuellement, les céramiques recyclées à partir de déchets céramiques sont principalement utilisées pour produire des briques en céramique, des briques perméables, des briques anciennes, des plaques de céramique poreuses, etc.

(E) Autres utilisations

Les déchets de céramique peuvent être utilisés pour fabriquer des matériaux ignifuges et calorifuges, et peuvent également être utilisés pour fabriquer de nouveaux matériaux de construction

en céramique, tels que des matériaux insonorisant, des matériaux absorbant les chocs, des matériaux de stockage d'eau, etc.

Les déchets céramiques piézoélectriques peuvent être mélangés dans des matériaux d'amortissement et d'amortissement des vibrations tels que l'asphalte et le caoutchouc pour améliorer les performances d'amortissement des vibrations du matériau.

I. 9. La gestion des déchets en Algérie

En Algérie Six wilayas : Alger, Béjaïa, Skikda, Annaba, Tlemcen et Oran, produisent à elles seules 283 000t/an de déchets spéciaux et détiennent 1,9 million de tonnes en stock soit 95% du stock détenu au niveau national. La région Est, avec les deux wilayas industrielles, et leurs industries pétrochimiques, sidérurgiques El -Hadjar, et le complexe mercure de Azzaba, génèrent annuellement, à elles seules 45 % des déchets spéciaux. La région Centre quant à elle génère 77 000 t/an de déchets spéciaux et stocke 378 000t. Les substances dites toxiques, peuvent après pénétration dans l'organisme, affecter l'un ou l'autre organe, parfois entraîner la mort de l'individu (plomb, mercure etc.). Cette atteinte à la santé peut être aiguë ou chronique, c'est à dire survenir après un laps de temps plus ou moins long avec des risques cutanés : le contact de certaines substances avec la peau (irritantes, allergènes, corrosives), peut affecter celle-ci de façon plus ou moins grave (Oki, 2010). En Algérie, les déchets spécifiques potentiellement polluants pouvant contenir des éléments toxiques en quantités variables et présenter de ce fait des risques pour l'environnement s'ils ne sont pas traités ou stockés correctement.

A cet effet il faut souligner que l'incinération brûle les ordures : c'est un moyen particulièrement commode d'élimination des résidus urbains. Les déchets des ménages sont un combustible relativement médiocre : ils brûlent assez mal car ils dégagent des fumées et des odeurs ; il faut prendre des précautions pour éviter la pollution.

La température idéale de combustion est de 900 °C En-dessous de 900°C, tout ne brûle pas, et on peut sentir des odeurs désagréables. Au-delà de 900°C, le matériel utilisé s'abîme rapidement.

La chaleur de la combustion peut être récupérée, soit pour du chauffage, soit pour produire de l'électricité.

Dans cette optique, il y a lieu de noter que la civilisation moderne produit des masses colossales de déchets solides de diverses origines (domestique, industrielle, hospitalière, agricole) et si, bien souvent les déchets ne sont gênants que du fait de leur caractère encombrant et inesthétique, ils peuvent également être toxiques et causer de graves pollutions.

Chaque type de déchet appelle des traitements et une gestion spécifique, appropriés au risque qu'il présente. En effet, les déchets radioactifs doivent présenter des caractéristiques précises pour être entreposés ou stocker. Ils sont donc traités (stabilisation des produits, réduction des volumes), puis conditionnés (selon leurs caractéristiques radioactives : niveau et type de rayonnement émis, période ; physiques : solides, liquides ou mixtes ; chimique) Le but de toute gestion saine des déchets est la préservation de la santé des populations et de l'environnement dans lequel elles vivent ; il est nécessaire de minimiser la quantité de refus et de faire en sorte que les rejets soient inoffensifs pour le milieu naturel.

La caractérisation des déchets permet justement d'évaluer, au préalable, leur potentiel risque pour ce milieu et de choisir le mode de traitement optimal pour ces refus. (Guide du traitement des +déchets, 2007).

I.10. La valorisation des déchets en Algérie

En Algérie, jusqu'à la fin d'année 2001, il y avait d'entrée l'ingénierie et les instruments juridiques à la pratique de la gestion des déchets dans le secteur d'environnement. Actuellement, la situation socio-économique en Algérie comme celle des pays en développement sont encore en train de travailler sur l'élimination progressive des décharges ouvertes et à établir les décharges contrôlées. Cela a été confirmé par la déclaration du ministre de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement (Boudjemaa, 2015), ce qui indique que l'Algérie a installé 124 centres d'enfouissement techniques (CET) ou installations de stockage des déchets sur le territoire national. La politique de gestion des déchets s'inscrit dans la Stratégie Nationale Environnementale (SNE), ainsi que dans le Plan National d'Actions Environnementales et du Développement Durable (PNAE-DD) qui s'est concrétisée par la promulgation de la loi 01-19 du 12 décembre 2001 relative à la gestion, au contrôle et à l'élimination des déchets, traitant des aspects inhérents à la prise en charge des déchets (Kehila, 2014), et dont les principes sont:

- La prévention et la réduction de la production et de la nocivité des déchets à la source ;
- L'organisation du tri, de la collecte, du transport et du traitement des déchets ;
- La valorisation des déchets par leur réemploi et leur recyclage ;
- Le traitement écologiquement rationnel des déchets ;
- L'information et la sensibilisation des citoyens sur les risques présentés par les déchets et leurs impacts sur la santé et l'environnement ;

• l'institution d'outils de gestion : Programme National de Gestion Intégrée des Déchets solides Ménagers (PROGDEM) et Plan National de Gestion des Déchets Spéciaux (PNAGDES). Cependant, la gestion des déchets urbains en Algérie est loin d'être efficiente. Les collectivités locales éprouvent encore beaucoup de difficultés dans la collecte, le transport et le traitement de ces déchets, malgré les efforts déployés (Kehila, 2014). Cependant il existe quelques stations et entreprises impliqués dans le traitement des déchets en Algérie, nous citons comme titre d'exemple

o NETCOM qui est un établissement de nettoyage et de collecte des ordures ménagères à Alger

o RASKALAT est une entreprise de récupération/recyclage de métaux ferreux et non ferreux basée à Bouinane, Wilaya de Blida.

o CET HAMICI qui est un centre d'enfouissement technique situé au niveau de mehalma dans la wilaya de Boumer des. o EPWG CET, (EPIC) : Établissement Public de wilaya de Gestion des Centre d'Enfouissement Technique –Constantine.

I.11. Intérêt du recyclage dans le génie civil :

Maintenant, en Algérie et dans plusieurs pays, la plupart des granulats utilisés sur le marché sont des granulats naturels originaires de carrières ou de l'extraction des lits des fleuves ou des fonds marins.

Ces produits offrent l'avantage d'une qualité relativement constante et d'un approvisionnement continu.

Le recyclage des déchets offre une source d'approvisionnement en matières premières Choix aux autres sources.

Recycler des déchets dans une utilisation comme granulats pour les routes ou la construction admet :

- Une économie de la ressource naturelle.
- une réduction du transport des matériaux.
- Une mise en œuvre rapide minimisant la gêne pour les habitants.
- La réduction des quantités de matériaux mis en décharge. [14]

Conclusion :

Cette étude vise à contribuer à réduire l'épuisement des ressources naturelles dans le futur. L'exploitation de ces granulats recyclés peut remplacer les granulats naturels, ce qui

Généralités sur les sable de dune et les déchets en Algérie

permet de résoudre le problème de pénurie et de contribuer à prolonger la durée de vie des carrières existantes et en même temps. l'élimination des déchets dans des décharges désignées.

La réutilisation de ces matériaux dans l'industrie du béton revêt une importance économique, technique et environnementale. Il est cependant nécessaire d'approfondir la connaissance des caractéristiques de ces déchets (granulats recyclés) destinés au béton ou au mortier selon leur origine, facilitant ainsi leur valorisation.

**CHAPITRE II: LE BÉTON
ET LE PROCESSUS DE
PAVAGE À BASE DE
GRANULATS RECYCLÉS**

Chapitre II: Le Béton Et Le Processus De Pavage À Base De Granulats Recyclés

II. 1. Introduction :

Les granulats sont considérés comme des éléments essentiels dans la composition du béton ordinaire ou des bétons spéciaux.

L'utilisation des granulats recyclés a une grande importance du point de vue environnement car d'un côté elle permet de récupérer les matériaux résultants de la démolition des constructions due aux catastrophes naturelles ou la démolition du vieux bâti. De l'autre côté ; leur réutilisation admet de protéger la nature de l'exploitation excessive de réserve des granulats ordinaires.

La réutilisation des déchets de démolition a été effectuée la première fois après la deuxième guerre mondiale en Allemagne [15].

actuellement, plusieurs recherches ont été menées dans beaucoup de pays développer l'utilisation des déchets de démolition comme de nouveau béton.

II. 2. Granulats de béton recyclés pour béton :

Déchets de construction et de démolition Les granulats recyclés sont le produit du traitement des déchets de construction et de démolition (DCD) issus du secteur du bâtiment et des travaux publics. En 2014, en France, un peu plus de 220 Mt de DCD ont été générés. Ce chiffre représente environ 70% de la quantité des déchets générés par tous les secteurs confondus [56]. Le secteur des travaux publics produit 4 fois plus de déchets que celui du bâtiment (185 contre 42 Mt). 80% de ces déchets sont des déchets inertes (75% pour le bâtiment et 93% pour les travaux publics).

Par définition, les déchets inertes sont des déchets qui ne se décomposent pas, ne sont pas combustibles et qui ne produisent aucune réaction physique ou chimique. Ils sont composés majoritairement de matériaux meubles non pollués, terres, graves et matériaux rocheux, bétons, etc.

II. 2.1. Production et propriétés des granulats recyclés

Les DCD résultent des travaux de construction, de démolition, de déconstruction, d'excavation et de réhabilitation. Différentes techniques sont mises en œuvre en fonction du type et de l'envergure du chantier, de la capacité des entreprises, etc. [2]. Par exemple, pour des travaux de démolition, peuvent être utilisés une gamme d'outils ou de moyens allant des simples outils manuels jusqu'au foudroyage par dynamitage. Une déconstruction sélective permet une meilleure valorisation des déchets inertes en raison de la présence limitée de plâtre, de plastique, de bois et/ou de céramique.

Le taux de valorisation des déchets inertes peut ainsi atteindre 94% [56], mais les coûts de production sont nettement plus élevés.

II. 2.2. Processus de fabrication des agrégats recyclés :

Les différents intervalles d'élaboration des produits issus du recyclage des matériaux de démolition sont :

- Sélection, stockage et traitement des produits bruts.
- Préparation des matériaux avant concassage.
- Tri manuel.
- Déferrage électromagnétique.
- Concassage et criblage.
- Concassage secondaire.
- Stockage.
- Analyses éventuelles avant utilisation.

II.2.3.Composition et propriétés physiques des granulats recyclés de béton :

Les granulats recyclés de béton diffèrent des granulats naturels par leur composition.

En effet, le granulat recyclé de béton est un matériau composite, dont les deux constituants sont :

- Des granulats naturels concassés partiellement.
- De la pâte de ciment hydraté concassée enrobant les granulats naturels [15].

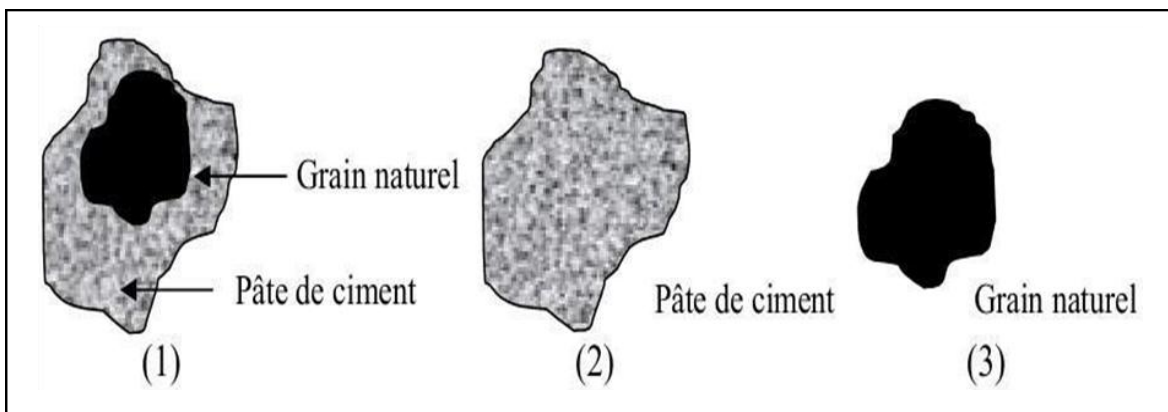


Figure II.1:Formes des granulats recyclés.

Les matières constitutifs de ces granulats recyclés sont présents en proportion différente [17]. Les propriétés de la pâte de ciment sont à la naissance des éventuelles mauvaises propriétés des granulats recyclés constatées [18].

En effet, les propriétés physiques des granulats recyclés dépendent de la quantité et la qualité de pâte de ciment présente sur les granulats concassés [18]. Des études montrent que la densité de ces granulats recyclés est plus faible ou encore que leur capacité d'absorption est plus élevée [18].

De plus, leurs propriétés mécaniques s'avèrent être moins bonnes que celles des granulats naturels [19].

La propriété de la pâte de ciment du béton parent est primordiale dans la définition des propriétés des granulats recyclés selon les auteurs. L'analyse d'une comparaison entre les propriétés physiques et mécaniques des granulats recyclés nous admet de conclure que :

- La masse volumique des granulats recyclés semble plus faible que celle des granulats naturels.
- l'absorption d'eau est importante pour les granulats recyclés. En effet, l'ensemble des études montre que les granulats recyclés de béton sont caractérisés par une forte capacité à absorber l'eau.
- Le coefficient de Los Angeles est élevé comparé à celui exigé par la norme XP P 18- 540- article 10.

Cette tendance est confirmée par les travaux de Sanchez de Juan & Gutierrez qui expliquent que cette valeur élevée du coefficient de Los Angeles est due à la quantité de pâte de ciment présent autour des granulats naturels concassés.

Il est donc nécessaire de contrôler la quantité et la qualité de la pâte de ciment présent sur les granulats d'origine afin de comprendre leur influence sur les propriétés des granulats recyclés et par conséquent. Il convient donc de définir les essais et analyses pertinents afin de caractériser les propriétés des granulats recyclés de béton.

II. 2.4. Propriétés du béton à l'état frais :

Certaines études ont présenté que pour une teneur en eau identique, et ceci plus particulièrement quand le pourcentage de remplacement de granulats excède 50% [Topç 2004] [Seng 2004].

Cette différence est très certainement due à la plus grande porosité des agrégats recyclés par rapport aux agrégats naturels. Aussi, de différentes recherches ont été réalisées en faisant varier les conditions de préparation des granulats.

L'eau peut être ajoutée de différentes façons, soit en pré-saturant les agrégats préalablement au malaxage, soit en compensant en ajoutant directement l'eau d'absorption dans l'eau de gâchage [28].

La masse volumique du béton frais naturel est connue pour être aux alentours de 2400kg.m^{-3} . Dans le cas des bétons formulés à partir de agrégats recyclés, la valeur est nettement inférieure aux alentours de 2150kg.m^{-3} et bien sur ce quel que soit le type de ciment [29].

II. 2.5. Propriétés du béton à l'état durci :

Il n'est pas tout à fait exact de examiner le matériau béton comme étant un composite à deux phases: granulat et matrice cimentaire.

En réalité, la pâte de ciment n'est pas complètement homogène et sa microstructure est modifiée à proximité des agrégats. Cette zone est généralement nommée ITZ (Inter facial Transition Zone). Par conséquent dans le béton frais la porosité et le rapport E/C augmentent de la matrice vers la surface des agrégats.

Cette perturbation, qui est plus significative sur quelques dizaines de microns autour de la surface du granulat entraîne un certain nombre de perturbations:

- Le proportionnellement large espace laissé vacant à proximité de la surface du agrégat combiné à la mobilité des ions résultant des composés anhydres, conduit, pendant l'hydratation, à une cristallisation préférentielle des hydrates correspondants aux ions les plus mouvants (Ca, Na, S).

- Un rapport E/C localement plus élevé induit moins de sites de nucléation, mieux formés et préférentiellement orientés.

- Finalement, comme les pores à remplir sont plus larges, la porosité, à tout âge, sera supérieure au reste de la matrice. Les ions provenant des agrégats peuvent se combiner avec les ions mobiles provenant des grains de ciment.

Ce phénomène de zone de transition et l'influence qu'il peut avoir sur les prouesses mécaniques du béton semblent, d'après Diamond

Dans le cas des bétons fabriqués à partir de agrégats recyclés, il a été montré dans différentes études que la présence d'ancien béton autour des agrégats améliore significativement les performances mécaniques de la zone de transition.

En effet, on examine une bonne réaction entre l'ancien et le nouveau béton et également une bonne résistance à l'abrasion [28.29].

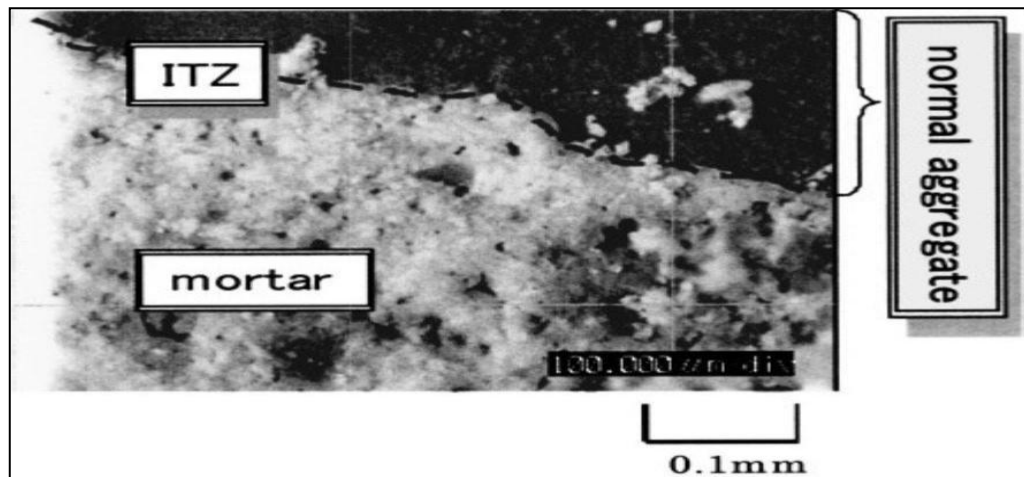


Figure II.2 : Zone de transition à l'interface granulat/pâte d'un béton conventionnel. [20]

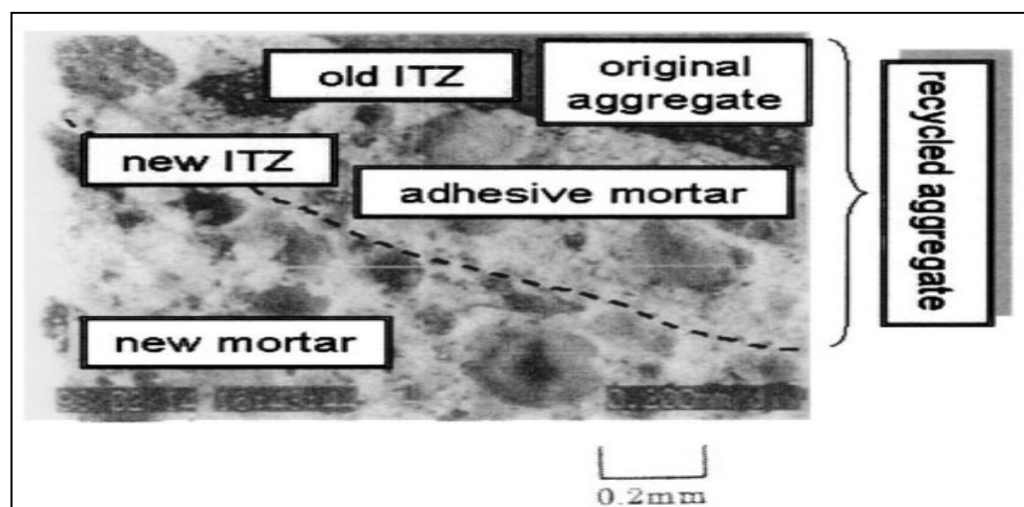


Figure II.3 : Zone de transition à l'interface granulat/pâte d'un béton recyclé. [20]

La micro dureté Vickers de la nouvelle zone de transition augmente lorsque le rapport E/L minime pour les bétons incorporant des agrégats recyclés.

Ainsi que pour les bétons contenant des agrégats naturels. La quantité de béton attaché aux agrégats recyclés ne semble pas avoir de but sur la micro consistance Vickers de la vieille zone de transition. [19]

II. 3. Granulats de déchets céramiques recyclés pour béton :

II. 3.1. Propriétés physiques et utilisation des matériaux céramiques :

Les céramiques peuvent être définies comme des solides inorganiques, non métalliques, résistants à la chaleur, constitués de composés formés à partir d'éléments métalliques et non métalliques [30]. Bien que, différents types de céramiques peuvent avoir des propriétés différentes, en général, la céramique est résistante à la corrosion et dure mais fragile. La plupart des céramiques sont bonnes Isolateurs, il peut supporter des températures élevées et avoir une structure cristalline. Ces propriétés ont conduit à leur utilisation dans pratiquement tous les aspects de la vie moderne.

Les déchets de céramique sont générés en deux catégories différentes selon la disponibilité des matières premières. Le premier est développé par les usines de céramique structurelle, dans cette seule pâte rouge est censé utiliser dans la fabrication de leurs produits tels que les briques et les tuiles. La deuxième est produite à partir de céramique de grès tels que carreaux de mur, carreaux de sol et articles sanitaires. Utilisation de produits céramiques usés dans le béton

Composition a réduit le coût de production du béton [Vieira J.P.B. et al. 2011, Silva J, de Brito J, Veiga R. 2009, Cabral, A.E.B. et al. 2009]. La plupart des céramiques sont dures, chimiquement inertes et réfractaires et ces propriétés rendent la céramique attrayante pour de nombreuses applications. Les céramiques sont utilisées comme réfractaires dans les fours et comme matériaux de construction durables comme les briques, les tuiles, les blocs de cendres et d'autres solides et durs. Plusieurs recherches ont montré que pour les mortiers formulés à partir de granulats recyclés des déchets céramique sanitaire, la valeur est clairement inférieure (aux alentours de 1084kg/m^3) et ce quel que soit la dimension des agrégats recyclés utilisé [Lucas, J. de Brito et al. 2016, J. Silva et al. 2010, C. Neno et al. 2014, P. Penacho et al. 2014]

II. 3.2. Effets de granulats céramiques recyclés à l'état frais :

Les mortiers et le béton contenant du ciment, sable de dune et des déchets céramiques sont plus visqueux que des mortiers ou bétons contenant uniquement du ciment et sable de dune lorsqu'ils sont formulés avec un rapport eau/liant identique. Par contre, l'utilisation de gros granulats recyclés de briques donne une ouvrabilité toujours plus faible que le mélange correspondant avec des agrégats naturels. Ce résultat est attribué à la surface rugueuse des granulats recyclés [Braga et al. 2012].

II. 3.3. Effets de granulats céramiques recyclés à l'état durci :

L'incorporation des déchets céramiques dans les mortiers donne une meilleure hydratation des anhydres du ciment. Elle provoque l'apparition d'une porosité fermée favorable à la résistance mécanique et à la durabilité des matrices cimentaires, due à la formation d'une plus grande quantité de C-S-H et à l'absence de connexion des pores. A ce titre, les déchets céramiques, utilisés en substitution partielle du sable de dune, permettent d'améliorer les performances mécaniques des bétons et des mortiers.

Conclusion :

Nous pouvons également utiliser les déchets comme solution pour les régions où les granulats naturels font défaut dans le domaine de construction.

Les déchets inertes donc, peuvent être transformés en granulats recyclés pour être utilisés, en remblais de diverses natures, en couches de forme sur les chantiers de travaux publics ou encore comme granulats pour le béton.

Parmi ces déchets, les débris de céramiques et les des granulats recyclés de béton de démolition , qui peuvent être utilisés comme granulats pour la fabrication du béton et qui sont jugés, par conséquent, pour être une solution pour les régions où les granulats naturels font défaut et où une réduction dans le poids mort de structure peut être désirable.

CHAPITRE III. CARACTERISATION DES MATERIAUX ET LA METHODOLOGIE DE CONFECTION

III. Caractérisation des matériaux et la méthodologie de confection

III. 1. Introduction

L'objet de ce chapitre est la présentation des matériaux utilisés pour la confection des différents mélanges des bétons étudiés et la méthodologie adoptée lors du travail de recherche expérimentale.

Nous avons utilisé des matériaux recyclés (déchet de béton et déchet de céramique) et matériaux locaux (sable de dune), leurs caractéristiques sont étudiées expérimentalement au laboratoire de génie civil à l'université de Université Echahid Hamma Lakhdar d'El-Oued

Nous avons analysé les caractéristiques des granulats recyclés (béton 'DBR') et des granulats des granulats recyclés (céramique 'DCR').

En effet, notre recherche a pour objet l'étude de la possibilité d'utiliser les déchets de céramique

Et Béton concassée (8-2 mm) comme granulats dans le béton en substitution volumique de sable, avec des taux de substitution, Les mélanges approuvés pour chaque échantillon sont indiqués dans le tableau suivant

Tableau III.1. Types de mélange

mélange	déchet de béton DBR (%)	déchet de céramique DCR (%)	Sable de dune (%)
M1	100	0	0
M2	75	25	0
M3	50	50	0
M4	25	75	0
M5	0	100	0
M6	70	25	5
M7	65	25	10
M8	60	25	15
M9	47.5	47.5	5
M10	45	45	10
M11	42.5	42.5	15
M12	25	70	5
M13	25	65	10
M14	25	60	15

L'analyser les comportements des bétons obtenus à l'état durci. Ce chapitre présente les caractéristiques des matériaux utilisés dans cette étude, ainsi que les différents essais expérimentaux réalisés pour caractériser nos bétons.

III.2. Matériaux utilisés:

- ❖ Un sable de dune (0.08/0.8).mm
- ❖ Un gravier recyclé : déchet de céramique 'DCR' et déchet de béton 'DBR' (2/8).mm
- ❖ Le ciment: ciment portland NA442CEM II/B-L 42.5 N /2024 MATINE
- ❖ Eau de gâchage: L'eau Eau filtrée pour boire (EL OUED)



Photo III 1 : déchet de béton 'DBR' (laboratoire de G.C)



Photo III 2 : déchet de céramique DCR' (laboratoire de G.C)



Photo III 3 : sable de dune (laboratoire de G.C)

III.2.1. Le ciment :

Ciment Portland NA 442CEM II/B-L 42.5 N/2024

Le ciment utilisé dans notre étude est un ciment CEM II 42,5 (MATINE) provenant de la

cimenterie de Lafarge Algérie Usine de M'Sila. Les propriétés physico-chimiques ont été étudiées conformément la norme algérienne (NA442)et européenne(EN197-1).



Photo (III.4)– CimentCEMII42,5(MATIN).

III.2.1.1DOMAINED'APPLICATION:

- Construction des Ouvrages d'Art, infrastructure et superstructure pour bâtiments
- Préfabrication légère
- Béton de haute performance

III.2.1.2 **Dosages** : Sauf pour composition spécifique.

Dosage moyen pour béton courant.

III.2.1.3Conditionnement : Sac et Vrac **Caractéristiques techniques Analyses chimiques:**

Teneur en sulfates (SO₃) = 2,5±0.05%

Teneur en Chlorures (Cl) < 0,1%

Teneur en (MgO)=0.5%

Perte au feu (NA42)= 2.5 ± 0.5

III.2.1.4 Composition minéralogique du clinker (Selon BOGUE):

C3S = $60 \pm 3\%$

C3A: $8 \pm 2\%$

III.2.1.5 Propriétés physiques:

Consistance normale : 26.5 ± 2 % Début de prise = 150 ± 30 min

Fin de prise = 250 ± 30 min Expansion < 3.0 mm

Finesse (SSB): $3700-5200$ (Cm²/g).

III.2.1.6. Résistance à la compression:

02 Jours (EN196-1) ≥ 10 Mpa

28 jours(EN196-1) ≥ 42.5 Mpa

III.2.2. Les granulats (recyclés) :

III.2.2.1- L'analyse granulométrique :NF EN 933 -1

- But de l'essai:

L'analyse granulométrique a pour but de déterminer la grosseur et les pourcentages pondéraux respectifs des différents grains constituant l'échantillon.

- Principe de l'essai:

L'essai consiste à fractionner au moyen d'une série de tamis un matériau en plusieurs classes granulaires de tailles décroissantes. Les dimensions de mailles et le nombre des tamis sont choisis en fonction de la nature de l'échantillon et de la précision attendue.

Les masses des différents refus et tamisât sont rapportées à la masse initiale du matériau. Les pourcentages ainsi obtenus sont exploités sous forme de tableau ou graphique.

Mode opératoire:

Monter la colonne de tamis dans l'ordre décroissant de l'ouverture des mailles en ajoutant

le couvercle et le fond.

- Verser le matériau sec dans la colonne de tamis.
- Agiter automatiquement cette colonne.
- Reprendre un à un les tamis en commençant par celui qui a la plus grande ouverture, en adaptant un fond et un couvercle.
- Nous prenons le poids de chaque tamis à l'aide d'une balance électronique.
- Varier la validité de l'analyse granulométrique imposée par la Norme **NF EN 933 -1** (différence entre la somme des masses de refus et de tamis et de la masse initiale).
- Les résultats des analyses granulométriques des différents sables étudiés sont regroupés dans le tableau suivant :

Tableau III. 2 Résultat de l'analyse granulométrique des fractions (2/8) du gravier concassé et sable de dune

Diamètre Tamis en (mm)	Pourcentage des Tamisât cumulés en(%)		
	Sable de dune	DCR	DBA
8,00		98,80	98,60
6,30		63,05	68,40
5,00		42,30	47,45
4,00		20,50	30,75
3,15		6,15	17,85
2,50		1,60	8,50
2,00		0,55	1,55
0,80	100,00		
0,63	99,75		
0,50	98,15		
0,40	93,70		
0,315	88,75		
0,25	79,50		
0,2	70,25		
0,16	55,35		
0,125	39,35		
0,100	21,85		
0,08	2,35		

Module de finesse (Norme Européenne [EN 12620])=1.17

Figure III. 1 Analyse granulométrique des fractions (2/8) du gravier concassé,et sable de dune

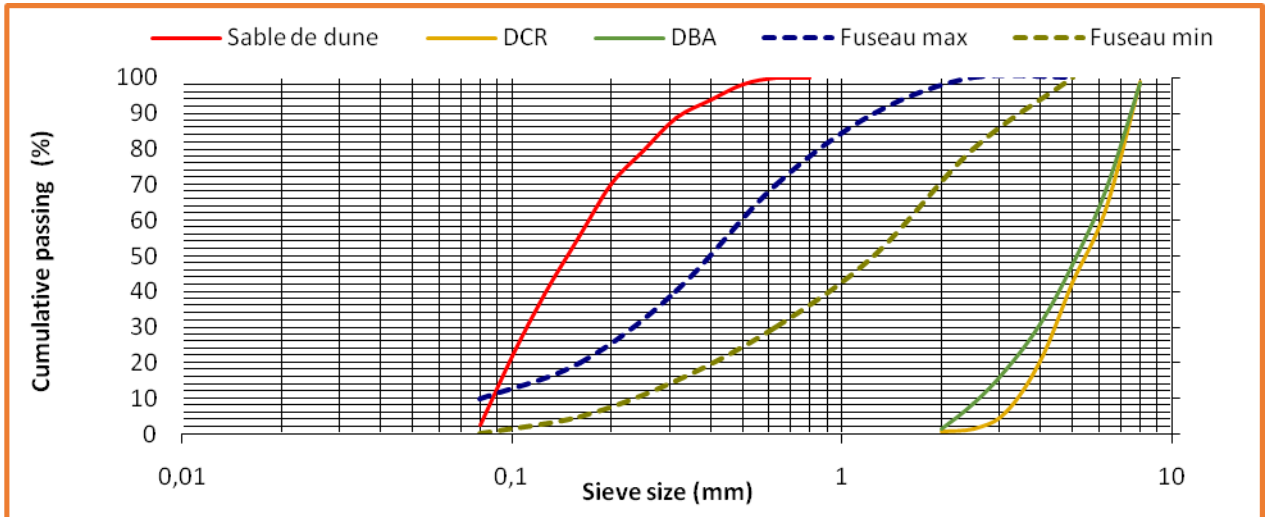


Photo (III.5): sable Analyse granulométrique. (Tamiseuse de la boratoire labo G.C).

III.3. LES ESSAI

III.3.1.la Masse volumique:

La masse volumique d'un corps est la masse de l'unité sur le volume de ce corps.

III.3.1.1. La masse volumique apparente(γ): NF EN 1097-3

C'est le rapport entre la masse et le volume apparent d'un matériau (y compris les vides).

Elle est exprimée en(g/cm³;Kg/m³ ;t/m³).

- Principe:

Il s'agit de remplir une mesure de 1 litre ou plus (2litres, 5 litres) avec le matériau et de déterminer la masse du contenu.

Le mode de remplissage de la mesure, a une influence très importante sur les résultats, il faudra réaliser les essais avec du matériel aussi simple que possible, et très soigneusement.

- Mode opératoire:

- Peser le récipient à vide et noter **M1**.
- Prendre le matériau dans les 2 mains formant entonnoir.
- Placer les 2 mains à 10 cm environ au-dessus de la mesure et laisser tomber

le matériau ni trop vite, ni trop lentement. Verser ainsi le matériau au centre de la mesure jusqu'à ce qu'il déborde autour en formant un cône,

- La règle à eraser.
- Peser le contenu et noter **M2**.
- Il résulte que : $\gamma = (M2 - M1)/V$
- **M=M2-M1**

M1 : masse du récipient vide. **M2** : masse du récipient et sable. **V** : volume de récipient.

Les résultats obtenus sont classés dans les tableaux suivants :

Tableau III. 3 Masse volumiques des fractions 2/8 du gravier concassé.

Fraction	Essai	V(g)	M(g)	$\rho_{app}(kg/cm^3)$	$\rho_{appmoyen}(kg/cm^3)$
Gravier 2/8 DBR	1	1012.59	1104	1.090	1.090
	2		1115	1.101	
	3		1102	1.080	
Gravier2/8 DCR	1	1012.59	821	0.810	0.854
	2		876	0.865	
	3		898	0.886	

III.3.1.2. La masse volumique absolue ou spécifique (ρ): NF EN 1097-6

C'est la masse d'un corps par unité de volume absolu de matière pleine (volume de matière seule sans tenir compte les vides et les pores). Elle est exprimée en (t/m^3 , Kg/m^3 , g/cm^3). le volume de ce corps.

- Principe:

méthode Le volume absolu ou réel d'un corps est généralement déterminé en mesurant le volume d'un liquide que déplace l'introduction de ce corps.

De nombreuses méthodes permettent de déterminer les masses et volumes des matériaux à étudier, dans notre étude on va utiliser la de l'éprouvette graduée.

- Mode opératoire:

- Mettre dans une éprouvette graduée en verre un volume d'eau V_1 (400ml).
- Peser une masse M du corps (400 g) et l'introduire dans l'éprouvette.
- Bien éliminer les bulles d'air
- Lire le nouveau volume V_2 .
- Le volume absolu ou réel est : $V = V_2 - V_1$
- La masse volumique réelle est : $\rho = M / (V_2 - V_1)$

L'opération se fait 03 fois et on prend la moyenne.

Les résultats obtenus sont classés dans les tableaux suivants :

Tableau III. 4 Masse volumiques absolue des fractions 2/8 du gravier concassé DBR/DCR

Fraction	Essai	M1 (g)	V1 (ml)	V2 (ml)	ρabs(g/ml)	ρabs moyen(g/ml)
Gravier 2/8 DBR	1	300	625	500	2.49	2.49
	2				2.49	
	3				2.49	
Gravier2/8 DCR	1		630		2.30	2.27
	2				2.30	
	3				2.22	

III.3.2. Absorption d'eau: [NF EN 1097- 6, 2001]

La connaissance du coefficient d'absorption d'eau d'un granulat permet d'ajuster la teneur en eau de gâchage entrant dans la composition du béton. Des mesures de l'absorption d'eau par les granulats ont donc été menées suivant le mode opératoire de **la norme [NF EN 1097-6, 2001]**. Le coefficient d'absorption d'eau est définie comme le rapport de l'augmentation

de masse de l'échantillon après imbibition par l'eau à la masse sèche de l'échantillon. Le coefficient d'absorption **Abs** est ainsi définie par :
$$Abs = \frac{M_{humide} - M_{sech}}{M_{sech}}$$

M_{humide} – **M_{sèche}** désigne la masse de l'eau absorbée après 48 heures d'immersion. **M**

Sèche la masse sèche de l'échantillon après passage à l'étuve à **105°C**.

Tableau III. 5 Coefficients D'absorption D'eau Des fractions 2/8 Du Gravier Concassé .DBR/DCR

Fraction	Essai	M1 (g)	M2 (ml)	Abs%	Abs% moyen
Gravier 2/8 DBR	1	500	625	0.25	0.27
	2		640	0.28	
Gravier 2/8 DCR	1	500	10650	20.30	20.4
	2		10750	20.50	

III.3.3. Porosités : NF EN 1097-3

La porosité d'un échantillon de granulats est un paramètre important de formulation d'un béton car elle influe sa compacité, ce qui a un impact sur ses propriétés mécaniques. La valeur de la porosité P pour les différents granulats est calculée par l'intermédiaire de l'équation suivante

$$P\% = \left(1 - \frac{\rho_{app}}{\rho_{abs}}\right) * 100$$

Tableau III. 6 La porosité des fractions 2/8 Du Gravier Concassé .DBR/DCR

Graviers	(P%)
Gravier 2/8 DBR	10.12
Gravier 2/8 DCR	37.39

III.2.5. Résistance à la fragmentation :NF EN 1097-2

Introduire l'échantillon (M=5000g)avec la charge de boulets (Diamètre important) 500 rotations (30 à33 tours/min).

Mesurer la masse «m »d'élément<1,6 mm Coefficient de los Angeles «LA»

- Si LA<20:legraviertrèsdur.
- Si 20<LA<30:legraviurdur.
- Si LA>30:legravier friable.

$$LA = \frac{m}{5000} * 100$$

TableauIII.7 : los Angeles des fractions 2/8 Du Gravier Concassé .DBR/DCR

Nature	Fraction	M1(g)	M2(g)	Nombre des boules	LA
G. concassé	Gravier 2/8 DBR	5000	2128	7	42,56
	Gravier 2/8 DCR		1210.5	7	24.21

Résultat :le gravier dur.



Photo III.6 :Machine d'abrasion Los Angeles (labo M. bachir)

III.3.4 l'Indice de Forme NF EN 933-4

Détermination de l'Indice de Forme

Domaine d'Application:

- Cette norme s'applique aux granulats utilisés dans la construction, tels que ceux utilisés pour le béton, les enrobés, les couches de base de chaussées et d'autres matériaux de construction.
- Elle détaille la méthode de détermination de l'indice de forme des granulats grossiers.

Indice de Forme:

- L'indice de forme est une mesure du pourcentage de granulats ayant une forme susceptible d'affecter la performance du matériau dans lequel ils sont utilisés. Il prend en compte le rapport de forme des particules, identifiant celles qui sont significativement plus longues ou plus plates que les autres.

Procédure d'Essai:

- **Préparation de l'Échantillon:** Un échantillon représentatif du granulat est préparé, en s'assurant qu'il est exempt de poussière et d'autres matériaux fins.
- **Tamissage:** L'échantillon est tamisé pour le diviser en différentes fractions granulométriques.
- **Mesure:** Chaque fraction granulométrique est mesurée pour déterminer les dimensions des particules individuelles.
- **Calcul:** L'indice de forme est calculé en fonction du rapport longueur/largeur des particules dans chaque fraction granulométrique.

Équipement:

- Pieds à coulisse ou autres outils de mesure appropriés pour mesurer les dimensions des particules.
- Tamis de tailles spécifiées pour séparer le granulat en différentes fractions.
- Balance pour peser avec précision l'échantillon et les fractions.

Rapport:

- Les résultats sont exprimés en pourcentage, indiquant la proportion de particules dans chaque fraction granulométrique qui répondent aux critères pour être classées comme ayant une forme

défavorable.

Importance dans la Construction:

L'indice de forme est crucial car la forme des particules de granulat peut affecter de manière significative la maniabilité, la compaction et la stabilité des matériaux de construction. Les particules avec un indice de forme élevé peuvent entraîner une mauvaise compaction et une augmentation des vides, ce qui peut affecter la résistance et la durabilité du béton ou de l'enrobé.

Comprendre et se conformer à la norme NF EN 933-4 garantit que les matériaux de construction répondent aux normes de qualité nécessaires pour la sécurité et la performance.

Pour des informations détaillées, des procédures et des calculs précis, il est recommandé de se référer au texte complet de la norme NF EN 933-4, qui fournit des directives et des spécifications complètes

Indice de forme $SI\%$ $= (M_2/M_1) \times 100$ arrondi au nombre entier le plus proche

Tableau III. 8 : l'Indice de Forme

Fraction	Gravier 2/8 DBR	Gravier 2/8 DCR
Indice de forme	10.2%	8.2%

NOTE. Si une fraction granulaire d_i/D_i a été réduite, un rapport d'essai approprié peut être utilisé et les valeurs moyennes pondérées calculées comme indiqué en 8.2

Résultat : Le rapport de test est approprié et les valeurs moyennes.

III.3.5.Sable (sable de dune 0.08/0.8) :

III.3.5.1.Composition granulométrique :NF EN 933-1

Analyse granulométrique correspondant à un sable : Faire l'analyse granulométrique du sable en suivant le mode opératoire de l'analyse granulométrique du gravie. Mais différentes séries de tamis.

Tableau III.9 :l'analyse granulométrique d'un sable de dune 0.08/0.8.

les tamis (mm)	sable de dune		
	refus sur tamis (g)	tamisas cumulé(g)	refus cumulé %
8			

6,3			
5			
4			
3,15			
2,5			
2			
0,8	0		
0,63	5	0,25	99,75
0,5	32	1,85	98,15
0,4	89	6,3	93,7
0,315	99	11,25	88,75
0,215	185	20,5	79,5
0,2	185	29,75	70,25
0,16	298	44,65	55,35
0,125	320	60,65	39,35
0,1	350	78,15	21,85
0,08	390	97,65	2,35

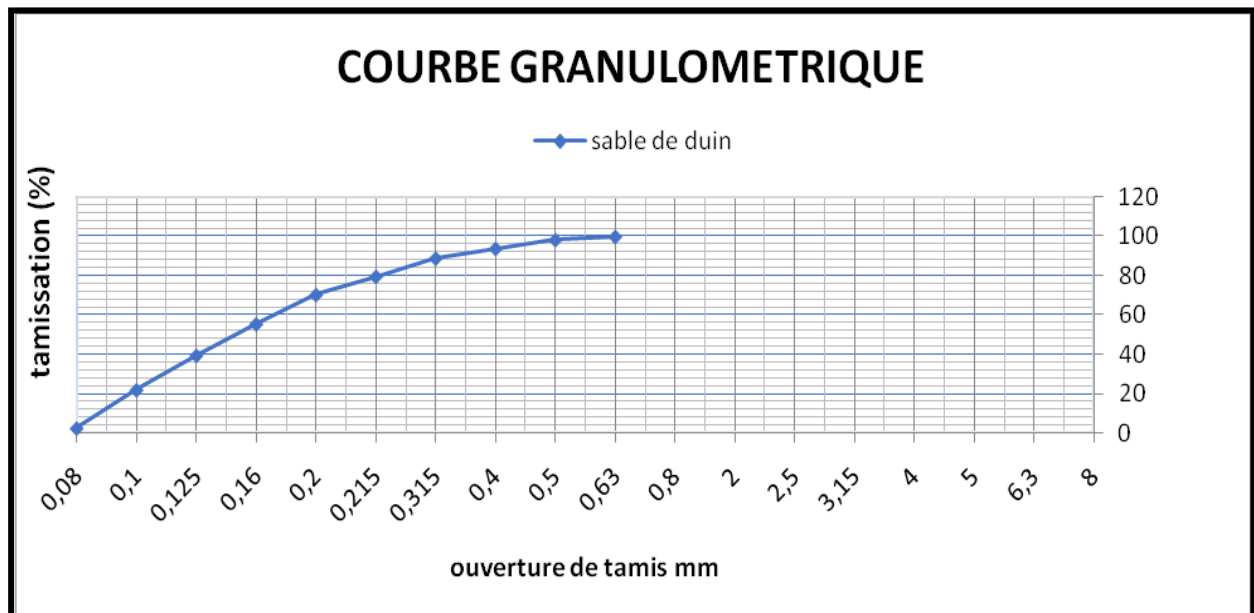


Figure III.3. l'analyse granulométrique d'un sable de dune (0.08/0.8)

III.3.5.2. Equivalent de sable: NFP18-598:

Nous essayons de mettre en évidence la proportion d'impuretés argileuses ou ultra fines contenues dans le sable et le pourcentage de poussières nuisibles et les éléments argileux qui diminuent la qualité du béton et mortier.

a. Mode opératoire:

- Tamiser une quantité de sable (masse supérieure à 500 g).
- Prendre une pesée de 120 g.
- Remplir l'éprouvette de solution la vante jusqu'au premier repère (10cm).
- A l'aide de l'entonnoir verser la prise d'essai (120g) dans l'éprouvette et taper fortement à plusieurs reprises avec la paume de la main afin de chasser toutes les bulles d'air et favoriser le mouillage de l'échantillon.
- Laisser reposer pendant 10 minutes.
- Fermer l'éprouvette à l'aide du bouchon en caoutchouc et lui imprimer 90 cycles de 20cm de cours horizontale en 30 secondes à la main à l'aide d'un agitateur mécanique.
- Retirer ensuite le bouchon, le rincer avec la solution la vante au-dessus de l'éprouvette,
- Rincer ensuite les parois de celle-ci.
- Faire descendre le tube laveur dans l'éprouvette, le rouler entre le pouce et l'index en faisant tourner lentement le tube et l'éprouvette et en imprimant en même temps au tube un léger piquage. Cette opération a pour but de laver le sable et de faire monter les éléments fins et argileux. Effectuer cette opération jusqu'à ce que la solution la vante atteigne le 2ème repère. Laisser ensuite reposer pendant 20 minutes.

A / Equivalent de sable visuel (ESV) :

Après 20 minutes de dépôt de sable, lire la hauteur h1 du niveau supérieur du flocculant jusqu'au fond de l'éprouvette à l'aide d'une réglette.

- Mesurer également avec la règle la hauteur h2 comprise entre le niveau supérieur de la partie sédimentaire et le fond de l'éprouvette.

$$ESV = \frac{h_2}{h_1} * 100$$

Où : $h_2 > h_1$ avec : h_1 : sable propre + éléments fins.

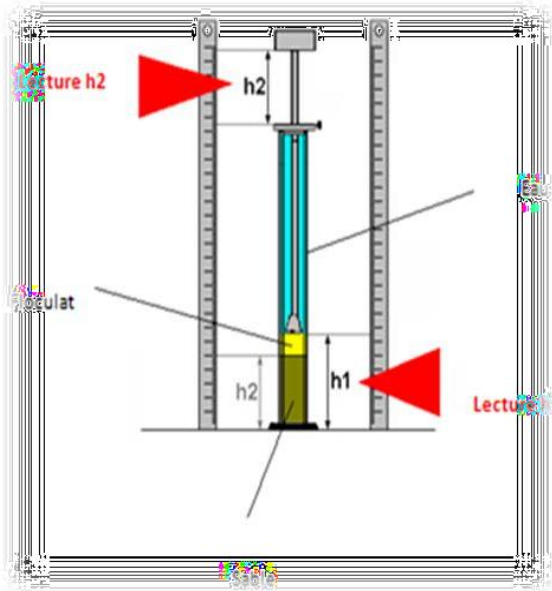


Figure III.2.équivalent de sable



photo III.7.Essais d'équivalent de sable.(labo de g.c)

B/ Equivalent de sable visue (ESP):

- Introduire le piston dans l'éprouvette et laisser descendre doucement jusqu'à ce qu'il repose sur le sédiment. A cet instant bloquer le manchon du piston et sortir celui-ci de l'éprouvette.
- Introduire le réglet dans l'encoche du piston jusqu'à ce que le zéro vienne buter contre la face intérieure de la tête du piston. Soit partie sédimentée.

Où h'_2 : La hauteur du sable ($h'_2 < h_1$)

$$ESV = \frac{h'_2}{h_1} * 100$$

$(ESV)_{\text{moy}} = 85.71\%$

Donc : $85\% < ESV$

$(ESP)_{\text{moy}} = 95.4\%$

$80\% < ESP$

Photo(III.8) Agitateurs pour équivalent de sable.(LABO G.C)



TableauIII.10 Comparaison des résultats.

E.S.V	E.S.P	Nature et qualité du sable
ES<65	ES<60	Sable argileux :Risque de retrait ou de gonflement rejeter pour des bétons de qualité.
65<ES<75	65<ES<70	Sable légèrement argileux de propriété admissible pour des bétons de qualité courante quand on ne craint pas Particulièrement le retrait.
75≤ES≤85	70≤ES≤80	Sable propre à faible pour centrage de farine argileux convient Parfaitement pour des bétons de hautes qualité.
E.S ≥85	E.S >80	Sable très propre: L'absence totale de fines argileuses risque d'entraînerons défaut de plasticité du béton qu'il faudra rattraper par une augmentation du dosage en eau.

Résultats : Sable très propre: L'absence totale de fines argileuses risque d'entraîner défaut de plasticité du béton qu'il faudra rattraper par une augmentation du dosage en eau.,

III.3.5.3..Module de finesse: EN 12620

C'est un facteur très important, qui nous permet de juger la grosseur du sable, il est exprimé par le rapport de la somme des refus cumulés des tamis de mailles:

[0.16-0.315-0.63-1.25-2.5et5(mm)]sur100etcalculéparlarelationsuivante:

Où: **RC** :Refus cumulé.

Les normes soviétiques spécifient le M_f des sables comme suit:

- Sable gros $M_f \geq 2.5$
- Sablemoyen $2 < M_f < 2.5$
- Sablefin $1.5 < M_f < 2$
- Sabletrèsfin $1 < M_f < 1.5$

$$M_f = \frac{\sum R_c}{100} = 1.17$$

$M_f = 1.17$ c'est une sable fine

III.3.6. Masses volumiques apparentes:

Cet essai a pour but de permettre de connaître la masse d'une fraction granulaire lorsque par exemple on élabore une composition de bétons. Ce paramètre permet, en particulier, de déterminer la masse ou le volume des sables malaxés pour l'obtention d'un béton dont les caractéristiques sont imposées.

Principe de l'essai :

Le principe de cet essai c'est de remplir un récipient gradué (200ml) et déterminer la masse du contenu. Récipient gradué. - balance. - sable.

Mode opératoire :

Dans cet essai on va faire les étapes suivantes : On met l'échantillon dans le récipient gradué (d'environ 200 ml), et on pèse le récipient à l'aide d'une balance. Puis on note les masses et les volumes pour calculer la masse volumique. La Masse volumique apparente est donnée par formule suivant :

$$M = M_2 - M_1$$

$$\rho_{app} = \frac{(M_2 - M_1)}{V_r}$$

Tableau III.11: Masses volumiques apparentes du sable de dune (0.08/0.8).

N° d'essais	v(cm ³)	M(g)	ρ_{app} (g/cm ³)	$\rho_{appmoye}$ (g/cm ³)
01	1012.59	1616	1.60	1.593
02		1603	1.59	
03		1614	1.59	

III.3.7. Masses volumiques absolues:

C'est la masse de l'unité de volume absolu de corps, c'est-à-dire de la matière qui constitue le corps sans tenir compte du volume vide. La masse volumique absolue du sable est calculée d'après la :

Formule:

$$\rho_{abs} = \frac{M}{(V_2 - V_1)}$$

Tableau III.12 :Masses volumiques absolues de sable de dune (0.08/0.8).

<i>N° d'essai</i>	M(g)	V1(ml)	V2(ml)	$\rho_{abs}(g/ml)$	$\rho_{absM}(g/ml)$
1	300	630	500	2.50	2.50
2	300	630	500	2.50	
3	300	630	500	2.50	

III.3.8. Porosités(NFP18554 et18 555):

C'est la masse de l'unité de volume absolu de corps c'est-dire de la matière qui constitue lecorps sans tenircomptedu volumevide.

$$P\% = 1 - \left(\frac{\rho_{app}}{\rho_{abs}} \right) * 100$$

TableauII.13.Porosités (%)du sable.

PorositéP(%)
36.28%

Compacité:

La compacité d'un matériau est une proportion de son volume réellement occupé par lamatièresolidequileconstitue,c'est-à-dire.Lerapportduvolumeabsoludesgrainsauvolumeapparentdumatériau. La compacité donnée par la formule:

$$C = \frac{\rho_{app}}{\rho_{abs}} * 100 = 100 - P$$

Tableau II.14 Compacité C (%) du sable.

Compacité C (%)
63.72

Indice des vides:

$$I = \frac{P}{C}$$

Tableau II.15 Indice de vide des fractions sable Concassée de dune (0.08/0.8).

Fraction	Indice de vide
sable de dune	0.569

Tableau III.16 : Résumé caractéristique des agrégats.

Propriété	DBR	DCR	Sable de dune
Taille nominale maximal (mm)	8	8	0.63
Module de finesse (Norme Européenne [EN 12620])	/	/	1.17
(Equivalent de sable) Esv Visuel (%)	/	/	85.71
(Equivalent de sable) Esp : au piston (%)	/	/	95.4
Masse volumique apparent (g/cm ³)	1.09	0.854	1.593
Masse volumique absolue (g/cm ³)	2.4	2.27	2.5
Absorption d'eau (%)	0.27	20.4	/

Porosité d'eau (%)	10.12	37.39	/
Perte de masse par abrasion à Los Angeles (%)	42,56	24.21	/
Indice de forme	10.2	8.2	/
Dosage de ciment (kg/m3)	335		
Pourcentage appliqué E/C	0.52		
L'essai d'affaissement au cône d'Abrams (cm)	4-8		

III.4. La formulation des bétons :

III.4.1. L'objectif de la formulation de béton:

L'Objectif d'une formulation est d'avoir les performances requises pour un béton:

- Une consistance adaptée à sa destination, généralement définie par l'affaissement au cône d'Abrams, noté h ;
- les qualités de résistance à différentes échéances, le plus souvent à 28 jours ; notée f_{cm28} (résistance moyenne) ;
- des qualités de durabilité qui conduisent à imposer une résistance caractéristique minimum, un dosage minimum en liant équivalent et un rapport maximum
- formulation du béton doit permettre de respecter les deux premières exigences au moindre coût, le plus souvent donc à partir d'un dosage en ciment le plus faible possible éboutent vérifiant que le dosage minimal est atteint.
- Des logiciels permettent de traiter toute la partie non expérimentale du travail formulation. Même avec des outils, il est indispensable de comprendre comment les différents paramètres influent sur les qualités du béton, car ces paramètres sont trop nombreux et trop variables pour qu'ils puissent être pris en compte dans toute leur complexité (sans compter que des produits comme les adjuvants sont en constante évolution). C'est l'objet des paragraphes qui suivent de présenter ces paramètres de manière à rendre d'autant plus efficaces les outils de calcul (et les essais qui demeurent incontournables) pour et lui qui cherche à résoudre un problème de formulation de béton.

III.4.2. Méthodes de composition des bétons :

Le calcul de la composition du béton a pour but de déterminer le dosage en ciment, granulats (fins et gros) et en eau pour un dosage de 1m^3 de béton frais, afin d'obtenir un mélange homogène et d'une capacité élevée, ainsi qu'une résistance mécanique acceptée.

Il existe plusieurs méthodes de détermination la composition du béton proposé et appliqué dans les différents pays du monde, parmi ces méthodes on peut citer

- Méthode de BOLOMEY(méthode à granularité continue).
- Méthode de FAURY
- Méthode de JOISEL
- Méthode de VALETTE
- Méthode de DREUXGORISSE
- Méthode des volumes absolus
- Méthode générale du CES(centre d'essai déstructures)

L'objectif de toutes les méthodes de formulation des bétons est de déterminer la combinaison de matériaux à utiliser pour produire le béton qui aura les propriétés désirées et qui sera le plus économique possible.

Dans notre travail nous utiliserons la méthode **pratique générale**

III.5. Etude de béton :

III.5.1. Confectionne cure des éprouvettes:

14 spécimens de pavés (10 cm de largeur × 8 cm de hauteur × 20 cm de longueur) et trois spécimens cylindriques(10 cm de diamètre x 10 cm de hauteur) ont été coulés pour chaque mélange, ce qui donne un total de 84 pavés et 42 spécimens cylindriques. Un marteau Proctor standard de 2,5 kg a été utilisé pour compacter les échantillons. Les efforts

de compactage appliqués sur les pavés et les éprouvettes cylindriques étaient respectivement de 20 coups (10 coups par

couche en deux couches égales) et 10 coups en une seule couche. On a tenté de contrôler la densité de chaque échantillon en fonction de la valeur de densité projetée pour atteindre la porosité cible, mais sans changer le nombre de coups.

Les échantillons ont été démoulés après 48 h et durcis pendant 28 jours à température ambiante (environ $24 \pm 2^{\circ}\text{C}$) et à une humidité relative de $50 \pm 5 \%$.

III.5.2. L'exécution de malaxage:

L'objectif du malaxage est de répartir dans l'espace de façon homogène, par l'action de soutil des brassages, les éléments des constituants mis en présence dans le malaxeur.

La maîtrise des dosages des différents constituants est nécessaire pour maintenir la constance et l'homogénéité du béton fabriqué.

La préparation de béton est faite par l'appareil dit le malaxeur, les étapes de préparation de béton sont:

On verse la quantité de gravier, et ensuite la quantité de sable, on allume le malaxeur pour le malaxage granulaire et on verse ensuite la quantité de ciment, et finalement la quantité de l'eau, on prend 30 secondes pour le malaxage, après cette durée, on arrête le malaxage et on réalise l'essai au cône d'Abrams pour déterminer l'affaissement du béton préparé.

III.5.3. Malaxage du béton:

Il est essentiel que les constituants de base (C ; S ; G et E) soient mélangés correctement afin de produire un béton frais dont la surface de tous les granulats sera enrobée de pâte de ciment et qui sera alors homogène à grande échelle et possédera par conséquent des propriétés uniformes.

Le malaxage est effectué dans des malaxeurs ou à la main. Dans notre cas on a utilisé le malaxeur. (Malaxeurs à béton : [NA EN12390-2])

-Les malaxeurs à béton doivent, non seulement assurer un malaxage uniforme des constituants du béton, mais ils doivent également décharger le béton sans modifier cette homogénéité.



Photo(III.9) :Le malaxeur utilisé (zone industriel el_oued).

III.6. Programme des essais:

III.6.1. Mesure de la consistance (Norme NFP 18415):

Le contrôle de l'ouvrabilité est effectué grâce à l'essai d'affaissement au cône d'Abrams qui consiste à Remplir le cône en trois couches, tassées avec une tige d'acier pointue de 16mm de diamètre à raison de 25 coups par couche;

- Soulever le moule avec précaution et mesurer l'affaissement en cm.

Tableau III. 17 : Classement des bétons selon la valeur d'affaissement au cône d'Abrams.

Classe de consistance	Définition	Affaissement(mm)
S1	Ferme	10 à 40
S2	Plastique	50 à 90
S3	Trèsplastique	100 à 150
S4	Fluide	160 à 210
S5	Trèsfluide	≥220

🚧 Notre béton dans la class S2:3à8 (cm)alors béton Ferme et plastique.



Photo(III.10):l'affaissement de cône d'Abrams d'un béton.(zone industriel el_oued)

III.6.2. Le compactage

Les pavés ont été utilisés pour mesurer la densité durcie, la porosité, le taux d'infiltration et

la résistance à la compression. Les échantillons prismatique ont été utilisés pour le test **Cantabro** réalisé dans la machine d'abrasion de Los Angeles (LA).



Photo (III 11): le collage de béton en utilisant marteau Proctor(zone industriel el_oued)

III.7.Essais à l'état durci:

. III.7.1. Essais non destructifs:

III.7.1.1.Essai d'auscultation sonique (Ultrasonique) :(NFEN12504-4)

L'essai consiste à émettre une onde dans une éprouvette de béton et de mesurer le temps et la vitesse de cette onde en parcourant une distance connue, on peut par la suite déduire graphiquement la résistance à la compression du béton.



Photo (III 12): Essai d'ultrason (ultrason de la boratoire edeg.c).

III.7.1.2 la Porosité : ASTM-C642[24,25,26]

Il existe plusieurs méthodes d'évaluation de la porosité du béton parmi cette méthode ,la norme **ASTM** désignation **C642** et la norme **NF P18-459** (mars 2010).

Le but de cette méthode est de déterminer pourcentage de volume des pores contenus dans l'éprouvette ,afin de connaitre l'influence de la structure interne sur du béton

Photo (III 13):Types d'appareillages de pesée hydrostatique



Photo (III 14):appareil de pesée hydrostatique(labo mahmoudébachir)



- Séchage la étuve a 105⁰C de l'échantillon, pendant au moins 24 heures, jusqu' a obtention d'une masse constante, afin de faire évaporé toute la quantité d'eau évaporable. Cette masse est note **Msec**.
- Émersiondel'échantillondansl'eaupendant24
- Chauffage jusqu' a évolution pendant 5heures,puis pesage de l'échantillonnage l'air (soit **Mair** ce point) puis pesage a l'eau (pesée hydrostatique, soit **Meau**ce point).



Calcul de la porosité accessible à l'eau

$$P_0 = \left[1 - \left(\frac{M_s - M_i}{\rho_w \times V_t} \right) \right] \times 100$$

P0= la porosité (%),

Vt = volume total de l'échantillon (m3),

pw = densité de l'eau (kg.m-3),

Ms = poids sec au four, (kg),
Mi = masse de l'échantillon sous l'eau (kg).

III.7.1.3. Essai de la perméabilité

L'objectif de ce test de perméabilité est de déterminer la teneur en eau débit du béton. La perméabilité à l'eau du béton perméable est une propriété importante pour évaluer la faisabilité de

l'utiliser pour un revêtement perméable. La perméabilité peut être mesurée en versant/maintenant la quantité connue d'eau sur la surface perméable du béton et en déterminant la quantité infiltrée en mm/s, comme .

Des tests de perméabilité sont effectués pour le béton perméable dans de deux manières, telles que les méthodes à tête tombante et à tête constante.

Dans la présente étude, le test de perméabilité à chute de pression est réalisé en laboratoire sur un cube de béton perméable. Dans le test de perméabilité à la chute de pression, l'écoulement de l'eau s'effectue à travers

un échantillon de cube de béton relié à un instrument de mesure creux tuyau en haut de l'échantillon. Pour un fixe durée, l'eau est collectée à l'aide d'un collecteur pot et le volume d'eau passant à travers l'échantillon est mesuré .

500 ml d'eau ont été versés par le haut des échantillons cubiques à l'aide d'un cylindre de 50 mm et la quantité d'eau a été égouttée.

à travers les poreux du béton en 30 s a été enregistrée, La jonction entre le béton perméable l'échantillon et la partie extérieure du tuyau creux sont scellés correctement avec de la cire pour éviter les fuites sur les côtés



Photo (III 15): la perméabilité (INTERNATIONAL JOURNAL OF PAVEMENT ENGINEERING)

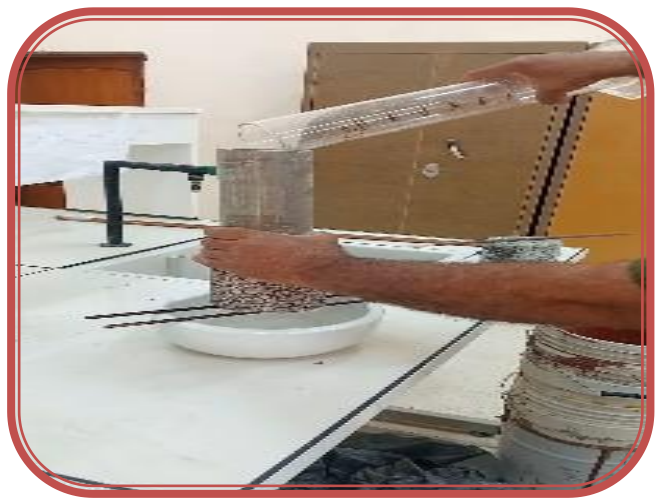


Photo (III 16): essai de la perméabilité (laboratoire génie .civile)

III.7.2. Essais destructifs :

III.7.2.1. Essai de compression :[NEP 18–406]

La caractérisation du comportement en compression est effectuée conformément à la norme (NFP 18-406), sur des éprouvettes cylindrique de dimensions (10x10 cm³) respectivement ,mûriesà l'eau. Les résultats de la résistance à la compression f_{cj} Obtenus à 28 jours représentent la moyenne de deux échantillons. La machine utilisée pour l'écrasement uni axial des cubes est une presse hydraulique dont la capacité maximale est de 1500 kn en compression.

L'expression des résultats sera donnée par la relation $f_{cj} = FS$ (en Mpa) où F est la charge maximale et la surface de compression de l'éprouvette.



Photo (III 17):La machine pour essai de compression et affichage de la résistance (laboratoire degénie civile)

III.7.2.2. Essai de la Résistance à la fragmentation : NF EN 1097-2(los angles)

La norme NF EN 1097-2, qui concerne la résistance à la fragmentation par la méthode de l'Essai Los Angeles, est utilisée pour évaluer la durabilité des granulats utilisés dans les matériaux de construction, en particulier dans les revêtements routiers. Voici une explication détaillée de ce que cela implique :

Objectif de la norme : La norme vise à mesurer la résistance d'un échantillon de granulats à l'abrasion et à l'usure, simulant les conditions réelles d'utilisation où les agrégats sont soumis à des forces mécaniques répétitives.

Méthodologie de l'Essai Los Angeles : L'essai se déroule en plaçant un échantillon de granulats dans un tambour rotatif qui contient des billes métalliques. Ce tambour tourne à une vitesse spécifique pendant un certain nombre de révolutions. Les billes métalliques entrent en collision avec les agrégats, provoquant une abrasion et une fragmentation des granulats.

Paramètres mesurés : Après un nombre défini de révolutions, l'échantillon est tamisé pour mesurer la perte de masse due à l'abrasion. Cette perte de masse est un indicateur de la résistance des granulats à la fragmentation et à l'usure.

Interprétation des résultats : Les résultats de l'essai permettent de classer les granulats en fonction de leur résistance à l'abrasion. Cela aide les ingénieurs et les concepteurs à sélectionner les granulats appropriés pour les applications spécifiques, telles que les revêtements routiers où la durabilité est cruciale.

Application pratique : La norme NF EN 1097-2 est largement utilisée dans l'industrie des matériaux de construction pour garantir la qualité et la durabilité des infrastructures. Les spécifications et les limites de perte de masse définies dans la norme aident à assurer la performance à long terme des matériaux utilisés dans les projets de construction



Photo (III 18):La machine pour essai Résistance à la fragmentation (laboratoire mahmoudibachir)

Conclusion :

Ce chapitre présente les caractéristiques des matériaux de bases utilisés pour la confection des différents types de béton de notre étude expérimentale.

On a présenté les différents essais pour caractériser les matières premières utilisées dans notre étude ainsi que la méthode de formulation et les dosages de différents constituants du béton.

La partie expérimentale consiste à valoriser les agrégats recyclés, ensuite étudié les comportements des bétons frais et évalué les performances des bétons durcis.

Les résultats des essais effectués sur le béton à l'état frais et à l'état durci sont présentés et discutés dans le chapitre suivant.

CHAPITRE IV. RÉSULTATS ET ANALYSE STATISTIQUE

Chapitre IV. Résultats Et Analyse Statistique

.Introduction

Ce mémoire avait pour but d'étudier le comportement des granulats recyclés, issus du concassage de béton et de céramique ainsi que leur utilisation dans la confection du béton. Les travaux ont donc contribué à l'amélioration des connaissances sur les propriétés physiques et mécaniques de ces matériaux et leur influence sur le comportement du béton.

Dans ce chapitre nous allons analyser les résultats obtenus après la fin des essais expérimentaux.

Des propriétés du béton, sur les échantillons confectionnés.

Ensuite, nous mesurons la vitesse de propagation des ultrasons à travers le béton car cela nous renseigne sur l'homogénéité du béton, les résistances du béton, et en faisant des interrelations entre ces paramètres et la vitesse des ultrasons et la résistance de l'auscultation dynamique

IV.1.Les résultats des essais effectués sur bétons:

IV.1.1- Essais sur béton frais :

IV.1.1.1- Affaissement: nous avons obtenus les résultats présentés ci-dessous:

Pour les différents gâchés, l'affaissement au cône d'Abrams est pris entre 3cm et 8cm (La majorité des essais sur les éprouvettes de béton étaient **Ferme**). Cela nous aide dans le processus de moulage de la pavé

En observant les résultats de l'essai d'affaissement, nous avons constaté que la plupart des affaissements étaient proches, c'est-à-dire de 3 à 5 cm, ce qui est acceptable pour les pavés. Cependant, nous avons trouvé dans l'échantillon M8 (60/25/15) un affaissement de 8 cm. Cela est dû au fait que le pourcentage de fines particules (sable des dunes) augmente la fluidité du mélange, en plus du fait que le pourcentage de gravier recyclé provenant du béton est élevé dans ce cas, ce qui entraîne une diminution de l'absorption de l'eau de mélange, contrairement aux mélanges contenant un pourcentage de gravier recyclé provenant de la céramique qui absorbe plus d'eau.

Quant à l'échantillon M2 (75/25/0), l'affaissement est élevé en raison de ce que nous avons mentionné précédemment, à savoir le pourcentage élevé de gravier recyclé provenant du béton (75 %) par rapport au pourcentage de gravier recyclé provenant de la céramique (25 %)

Tableau IV. 1 résultat de essai d' Affaissement

mélange	[Déché de béton(%)]/[Déché de céramique(%)]/[Sable de dune (%)]	l'affaissement (cm)
M1	100/0/0	4
M2	75/25/0	7
M3	50/50/0	5
M4	25/75/0	4
M5	0/100/0	3,5
M6	70/25/5	4
M7	65/25/10	4
M8	60/25/15	8
M9	47,5/47,5/5	3
M10	45/45/10	3
M11	42,5/42,5/15	3
M12	25/70/5	5
M13	25/65/10	5
M14	25/60/15	3

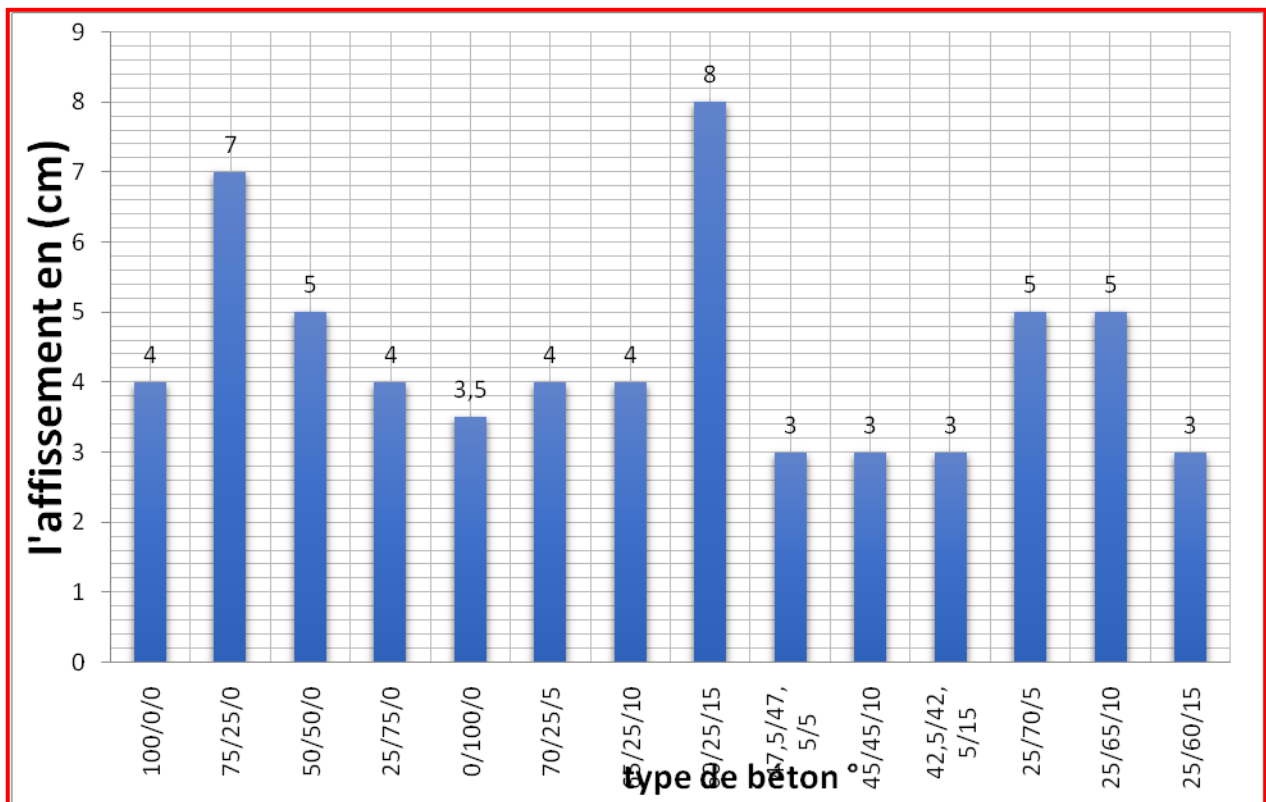


Figure IV.1L'effet du taux de variation des proportions de mélange sur la maniabilité

IV.1.2. Essais sur bétons durcis :

IV.1.2.1.ESSAIS NON DESTRUCTIF:

IV.1.2.1.1. Essais au scultation dynamique (d'ultrason).

Tableau IV.2 présentent les vitesses des ondes ultra sonores obtenues à travers des éprouvettes prismatique 10x8x20 cm. ..

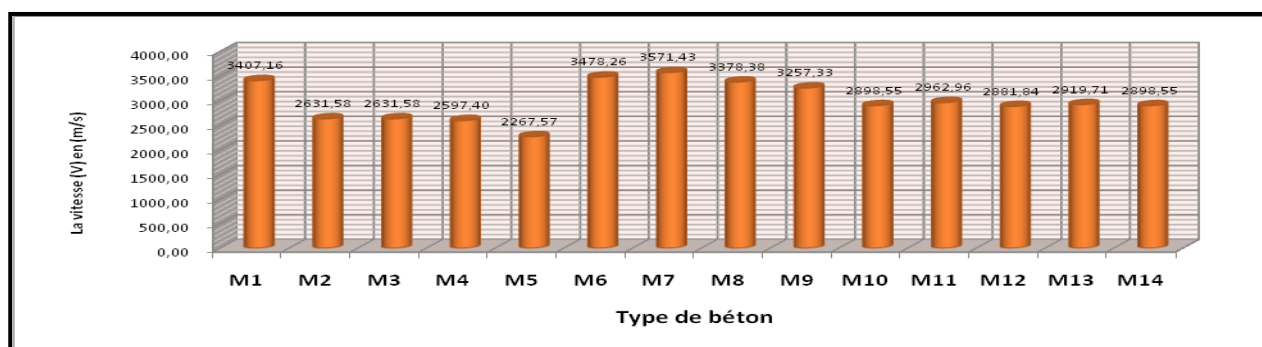
Tableau IV.2 :Résultat des contrôles non destructifs (auscultation dynamique (d'ultrason).

Mélange	type de béton :[Déchets de béton(%)]/[Déchets de céramique(%)]/[Sable de dune (%)]	Le temps ((μ s))	La vitesse (V) en (m/s)
M1	100/0/0	58,70	3407,16
M2	75/25/0	76,00	2631,58
M3	50/50/0	76,00	2631,58
M4	25/75/0	77,00	2597,40
M5	0/100/0	88,20	2267,57
M6	70/25/5	57,50	3478,26
M7	65/25/10	56,00	3571,43
M8	60/25/15	59,20	3378,38
M9	47,5/47,5/5	61,40	3257,33
M10	45/45/10	69,00	2898,55
M11	42,5/42,5/15	67,50	2962,96
M12	25/70/5	69,40	2881,84
M13	25/65/10	68,50	2919,71
M14	25/60/15	69,00	2898,55

La classification des bétons selon la vitesse ultrasonique (ou la vitesse de propagation des ondes ultrasoniques) est une méthode non destructive utilisée pour évaluer la qualité et les propriétés mécaniques du béton. La vitesse des ondes ultrasoniques dans le béton dépend de plusieurs facteurs, notamment la densité, l'élasticité, la présence de fissures, l'humidité, et l'homogénéité du matériau. Voici une classification typique basée sur la vitesse ultrasonique :

Très bonne qualité : Vitesse ultrasonique : > 4500 m/s

figure IV.2 auscultation dynamique (ultrason).



Caractéristiques : Béton très dense et homogène avec peu ou pas de fissures. Indique un matériau de haute résistance et durabilité.

Bonne qualité :

Vitesse ultrasonique : 3500 - 4500 m/s

Caractéristiques : Béton de bonne qualité, relativement dense et homogène. Peut présenter quelques fissures mineures mais reste très solide.

Qualité moyenne :

Vitesse ultrasonique : 3000 - 3500 m/s

Caractéristiques : Béton de qualité moyenne, avec une densité et une homogénéité modérées. Peut avoir quelques fissures et une certaine porosité

Résultat

La figure IV.5 représente l'évolution de la vitesse de propagation des ondes ultrason des différents bétons étudié dans le temps. , mais avec des valeurs différentes, ces valeurs dépendent essentiellement à la composition du béton ;la vitesse d'ultrason nous donne des informations sur la compacité et l'homogénéité du béton et par conséquent une bonne indication sur le comportement mécanique de ces bétons.

Ces résultats sont en coordination avec ceux obtenue à partir des essais d'écrasement (figure IV.5), d'où les bétons qui ont des vitesses élevées ont logiquement des résistances élevées. Les meilleurs résultats sont obtenus avec M7(65/25/10)et .M6(70/25/5)

IV.1.2.1.2.Essais porosité :

1. La densité et la porosité durcies de chaque pavé ont été déterminées selon la norme ASTM C1754.(2012). Cette
2. procédure a été réalisée à l'âge de 28 jours. Pour déterminer la densité durcie, les masses des éprouvettes ont été
3. mesurées puis divisées par le volume apparent de chaque éprouvette. Après avoir mesuré leurs masses sèches, les
4. spécimens ont été immergés dans un bain-marie pendant 2 hours. Les masses immergées ont été mesurées avec une
5. balance hydrostatique. La porosité (P) a ensuite été calculée comme suit (Équation

$$P_0 = \left[1 - \left(\frac{M_s - M_l}{\rho_w \times V_t} \right) \right] \times 100$$

6. P0 = porosité ouverte (%), Vt = volume total de l'échantillon (m3), pw = densité de l'eau

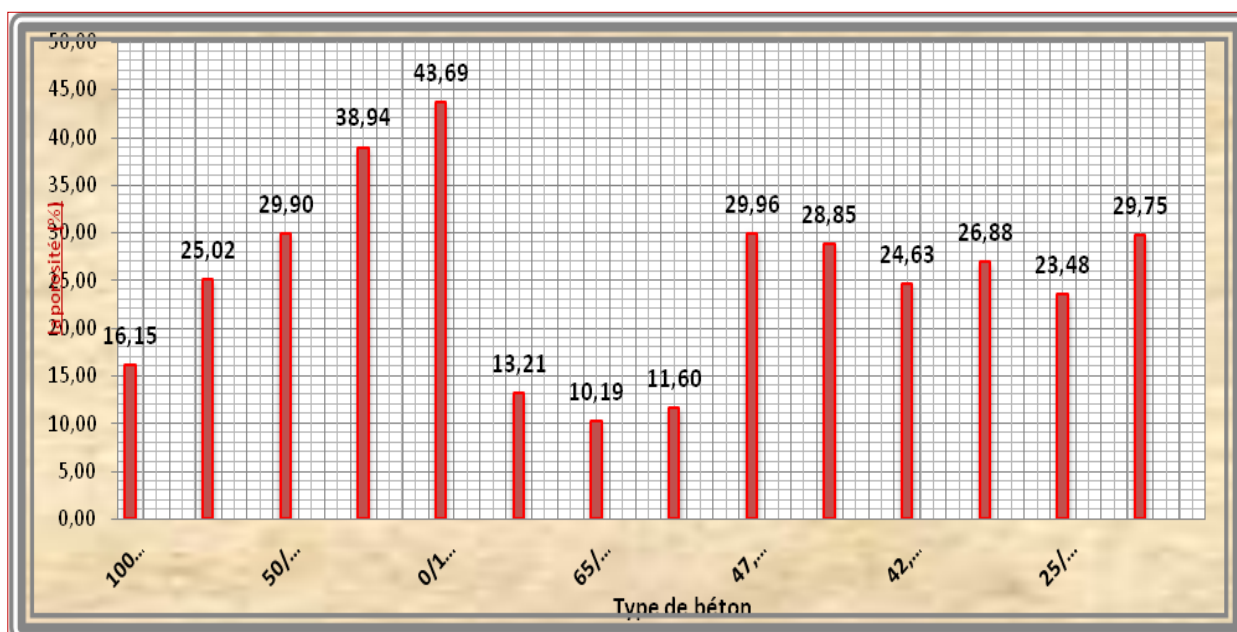
(kg.m⁻³),

7. Ms = poids sec au four, (kg), Mi = masse de l'échantillon sous l'eau (kg).

Tableau IV.3 : Résultat des essai de porosité

mélange	[Déchets de béton(%)]/[Déchets de céramique(%)]/[Sable de dune (%)]	masse d'éprouvette après l'étuvage(Ms)	masse d'éprouvette saturée d'eau (Mair)	(Mi) poids à l'eau immersion (g)	: taux de porosité (p0)	moyenne de taux de porosité (V0)
M1	100/0/0	3247,0	3439,5	1877,0	14,3750	16,15
		3234,0	3408,0	1881,0	15,4375	
		3079,0	3277,0	1777,0	18,6250	
M2	75/25/0	2992,0	3288,5	1934,0	33,8750	25,02
		2868,0	3147,8	1660,0	24,5000	
		3196,0	3515,5	1863,0	16,6875	
M3	50/50/0	2735,0	3050,0	1618,0	30,1875	29,90
		2744,0	3065,4	1628,0	30,2500	
		2767,0	3084,8	1635,0	29,2500	
M4	25/75/0	2298,0	2669,0	1336,0	39,8750	38,94
		2315,0	2685,0	1346,0	39,4375	
		2404,0	2785,0	1404,0	37,5000	
M5	0/100/0	2043,0	2433,0	1165,0	45,1250	43,69
		2102,0	2495,0	1197,0	43,4375	
		2148,0	2550,0	1228,0	42,5000	
M6	70/25/5	3289,0	3624,0	1864,0	10,9375	13,21
		3170,0	3424,0	1788,0	13,6250	
		3127,0	3394,0	1768,0	15,0625	
M7	65/25/10	3336,0	3558,0	1877,0	8,8125	10,19
		3349,0	3567,0	1884,0	8,4375	
		3207,0	3463,0	1820,0	13,3125	
M8	60/25/15	3282,0	3551,0	1881,0	12,4375	11,60
		3440,0	3749,0	1999,0	9,9375	
		3321,0	3593,0	1920,0	12,4375	
M9	47,5/47,5/5	2761,0	3082,0	1593,0	27,0000	29,96
		2658,0	2967,0	1532,0	29,6250	
		2534,0	2979,0	1466,0	33,2500	
M10	45/45/10	2831,0	3137,0	1622,0	24,4375	28,85
		2610,0	2904,0	1520,0	31,8750	
		2667,0	2966,0	1551,0	30,2500	
M11	42,5/42,5/15	2810,0	3126,0	1630,0	26,2500	24,63
		2883,0	3193,0	1652,0	23,0625	
		2862,0	3173,0	1655,0	24,5625	
M12	25/60/15	2670,0	3019,0	1520,0	28,1250	29,75
		2560,0	2940,0	1400,0	27,5000	
		2515,0	2893,0	1365,0	28,1250	
M13	25/65/10	2690,0	3067,0	1490,0	25,0000	23,48
		2734,0	3005,0	1490,0	22,2500	
		2703,0	3061,0	1474,0	23,1875	
M14	25/60/15					
		2671,0	3025,0	1515,0	27,7500	
		2510,0	2844,0	1444,0	33,3750	

figure IV.3 la porosité



Analyse détaillée pour chaque type de béton :

1. M1(16,15%)

- Béton contenant uniquement 100% de DBR.
- Porosité relativement faible.

2. M2(25,02%)

- 75% de DBR et 25% de DCR.
- La porosité augmente avec l'ajout de DCR.

3. M3(29,90%)

- Proportions égales de DBR et de DCR.
- La porosité augmente davantage avec une augmentation de la proportion de DCR.

4. M4 (38,94%)

- 25% de DBR et 75% de DCR.
- Porosité élevée, indiquant l'impact significatif de la DCR sur l'augmentation de la porosité.

5. M5(43,69%)

- 100% de DCR.
- La porosité la plus élevée dans ce groupe, indiquant que la DCR contribue largement à l'augmentation de la porosité.

6. M6(13,21%)

- Ajout de 5% de sable de dunes avec 70% de DBR et 25% de DCR.
- La porosité diminue avec l'ajout de sable de dunes.

7. M7(10,19%)

- Augmentation de la proportion de sable de dunes à 10%.
- La porosité diminue de manière significative, montrant le rôle du sable de dunes dans la réduction de la porosité.

8. M8(11,60%)

- Augmentation de la proportion de sable de dunes à 15%.
- La porosité augmente légèrement par rapport à la proportion précédente mais reste relativement faible.

9. M9(29,96%)

- Proportions égales de DBR et de DCR avec l'ajout de 5% de sable de dunes.
- La porosité reste élevée, indiquant un impact limité du sable de dunes sur la réduction de la porosité lorsque la proportion de DCR est élevée.

10. 45/45/10 (28,85%)

- Ajout de 10% de sable de dunes avec des proportions égales de DBR et de DCR.
- La porosité diminue légèrement.

11. M11(26,88%)

- Ajout de 5% de sable de dunes avec une proportion élevée de DCR.
- La porosité reste élevée mais inférieure aux proportions élevées de DCR sans sable de dunes.

12. M12(23,48%)

- Augmentation de la proportion de sable de dunes à 10% avec une proportion élevée de DCR.
- La porosité diminue.

13. M13(24,63%)

- Proportions égales de DBR et de DCR avec 15% de sable de dunes.
- La porosité est similaire aux autres proportions intermédiaires.

14. M14(29,75%)

- Augmentation de la proportion de DCR à 60% avec 15% de sable de dunes.
- La porosité reste élevée, indiquant un impact plus important de la DCR sur l'augmentation de la porosité même avec une proportion élevée de sable de dunes.

Conclusions :

- **DBR** : Contribue efficacement à la réduction de la porosité, surtout lorsqu'il est utilisé en proportions élevées.
- **DCR** : Augmente significativement la porosité, ce qui peut être utile dans les applications nécessitant une porosité plus élevée.

- **Sable de dunes** : Aide à réduire la porosité lorsqu'il est ajouté en proportions spécifiques, mais son effet est limité lorsque la proportion de DCR est élevée.

Recommandations :

- Pour utiliser un béton avec des propriétés de faible porosité, il est préférable d'augmenter la proportion de DBR et de réduire celle de DCR.
- Lorsque le besoin de modifier la porosité pour atteindre un équilibre spécifique des propriétés mécaniques et physiques est nécessaire, le sable de dunes peut être utilisé de manière stratégique.
- D'autres essais peuvent être effectués pour optimiser les proportions et déterminer les effets précis de chaque matériau sur les propriétés finales du pavé.

IV.1.2.1.3- Essai de perméabilité

Tableau IV.4 : Résultat des essai de perméabilité

mélange	[Déchets de béton(%)]/[Déchets de céramique(%)]/[Sable de dune (%)]	Quantité d'eau	Quantité d'eau)	Constante	moyen taux de
		prélevée (ml)	passant (ml)	temps (s)	perméabilité (ml/s)
M1	100/0/0	500	436,33	30	14,54
M2	75/25/0	500	404,67	30	13,49
M3	50/50/0	500	402,67	30	13,42
M4	25/75/0	500	402,33	30	13,41
M5	0/100/0	500	411,67	30	13,72
M6	70/25/5	500	395,33	30	13,18
M7	65/25/10	500	385,00	30	12,83
M8	60/25/15	500	382,33	30	12,74
M9	47,5/47,5/5	500	429,33	30	14,31
M10	45/45/10	500	412,00	30	13,73
M11	42,5/42,5/15	500	395,00	30	13,17
M12	25/70/5	500	415,00	30	13,83
M13	25/65/10	500	406,67	30	13,56
M14	25/60/15	500	429,67	30	14,32

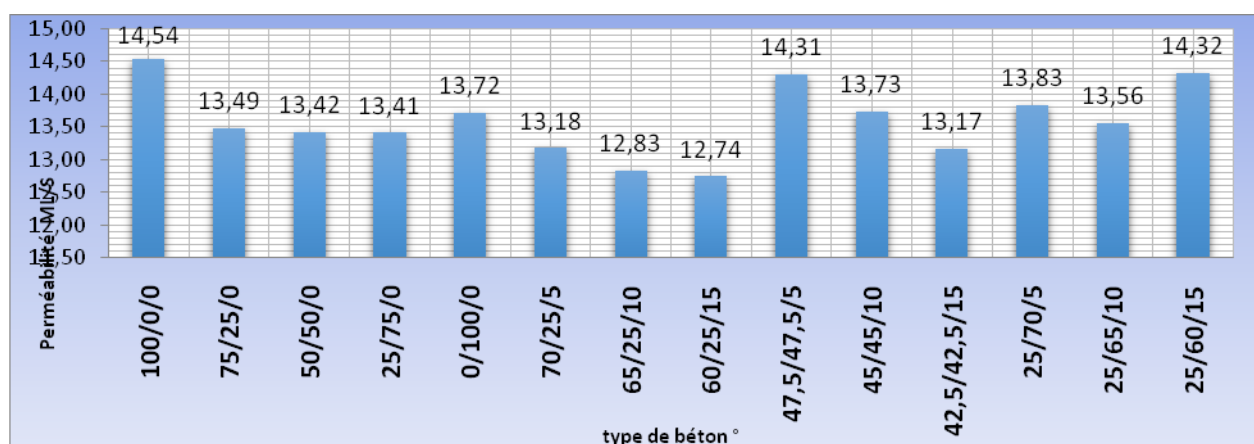


figure IV.4 la perméabilité

Analyse détaillée pour chaque type de béton :

1. M1(14,54 mL/s)

- Béton contenant uniquement 100% de DBR.
- Taux de perméabilité le plus élevé dans ce groupe, indiquant une bonne capacité de drainage.

2. M2(13,49 mL/s)

- 75% de DBR et 25% de DCR.
- La perméabilité diminue légèrement par rapport au béton contenant uniquement du DBR.

3. M3 (13,42 mL/s)

- Proportions égales de DBR et de DCR.
- La perméabilité diminue encore davantage avec l'augmentation de la proportion de DCR.

4. M4 (13,41 mL/s)

- 25% de DBR et 75% de DCR.
- La perméabilité reste relativement stable mais légèrement inférieure aux proportions plus faibles de DCR.

5. M5 (13,72 mL/s)

- 100% de DCR.
- Taux de perméabilité relativement élevé, indiquant que la DCR maintient une bonne capacité de drainage.

6. M6 (13,18 mL/s)

- Ajout de 5% de sable de dunes avec 70% de DBR et 25% de DCR.
- La perméabilité diminue légèrement avec l'ajout de sable de dunes.

7. M7 (12,83 mL/s)

- Augmentation de la proportion de sable de dunes à 10%.
- La perméabilité diminue davantage, montrant l'effet du sable de dunes sur la réduction de la perméabilité.

8. **M8 (12,74 mL/s)**

- Augmentation de la proportion de sable de dunes à 15%.
- La perméabilité continue de diminuer légèrement par rapport aux proportions précédentes.

9. **M9 (14,31 mL/s)**

- Proportions égales de DBR et de DCR avec l'ajout de 5% de sable de dunes.
- Taux de perméabilité élevé, montrant un bon équilibre entre les matériaux recyclés et le sable de dunes.

10. **M10 (13,73 mL/s)**

- Ajout de 10% de sable de dunes avec des proportions égales de DBR et de DCR.
- La perméabilité est légèrement supérieure à celle de la proportion de 5% de sable de dunes.

11. **M11 (13,17 mL/s)**

- Ajout de 5% de sable de dunes avec une proportion élevée de DCR.
- La perméabilité diminue légèrement mais reste relativement stable.

12. **M12 (13,83 mL/s)**

- Augmentation de la proportion de sable de dunes à 10% avec une proportion élevée de DCR.
- La perméabilité augmente légèrement, montrant une variabilité avec l'augmentation de la proportion de sable de dunes.

13. **M13 (13,56 mL/s)**

- Proportions égales de DBR et de DCR avec 15% de sable de dunes.
- La perméabilité est légèrement inférieure par rapport à une proportion de sable de dunes de 10%.

14. **M14 (14,32 mL/s)**

- Augmentation de la proportion de DCR à 60% avec 15% de sable de dunes.
- Taux de perméabilité élevé, montrant un bon équilibre entre les matériaux recyclés et le sable de dunes.

Conclusions :

- **DBR** : Contribue efficacement à un taux de perméabilité élevé, surtout lorsqu'il est utilisé en proportions élevées.
- **DCR** : Maintient également un bon taux de perméabilité, mais avec une légère diminution par rapport au DBR.
- **Sable de dunes** : Tendance générale à réduire la perméabilité lorsqu'il est ajouté en proportions plus élevées, bien que certains mélanges montrent une légère augmentation.

Recommandations :

- Pour un béton avec une haute perméabilité, il est préférable d'utiliser une proportion élevée de DBR.
- Les mélanges contenant des proportions égales de DBR et de DCR avec une faible proportion de sable de dunes (5%) offrent un bon équilibre entre perméabilité et utilisation de matériaux recyclés.

IV.1.2.2. Essais Destructif

IV.1.2.2.1 La Résistance à la compression 28 jours :

La résistance mécanique du béton après durcissement dépend du rapport E/C, de la qualité et nature de sable, du mode de conservation du béton et de l'échéance de l'essai. Cette résistance mécanique est caractérisée par la résistance à la rupture par compression.

Pour la détermination de la résistance à la compression, des éprouvettes cylindrique 10×10 ont été réalisés. Les essais ont été effectués sous une presse hydraulique en respectant les prescriptions des règles suivantes :

- L'éprouvette est centrée sur le plateau de la presse.
- Aucune matière n'est interposée entre l'éprouvette et les plateaux de la presse.
- La charge est appliquée d'une manière continue jusqu'à la rupture de l'éprouvette.

Tableaux IV5 Résistance à la compression du béton à 28 jours

: [Déchets de béton(%)]/[Déchets de céramique(%)]/[Sable de dune (%)]		Résistance à la compression en (Mpa)			
		épr 1	épr 2	épr 3	Moyenne
M1	100/0/0	4,31	6,77	6,94	6,01
M2	75/25/0	6,88	5,18	5,68	5,91
M3	50/50/0	4,19	6,01	4,5	4,90
M4	25/75/0	4,85	4,37	3,37	4,20
M5	0/100/0	5,33	5,72	5,27	5,44
M6	70/25/5	7,21	7,6	7,16	7,32
M7	65/25/10	10,43	10,58	9,44	10,15
M8	60/25/15	8,32	7,16	5,66	7,05
M9	47,5/47,5/5	5,05	5,36	6,39	5,60
M10	45/45/10	10,93	8,95	6,27	8,72
M11	42,5/42,5/15	13,28	9,7	12,45	11,81
M12	25/70/5	12,59	9,49	8,48	10,19
M13	25/65/10	9,93	10,79	9,07	9,93
M14	25/60/15	8,24	6,72	9,53	8,16

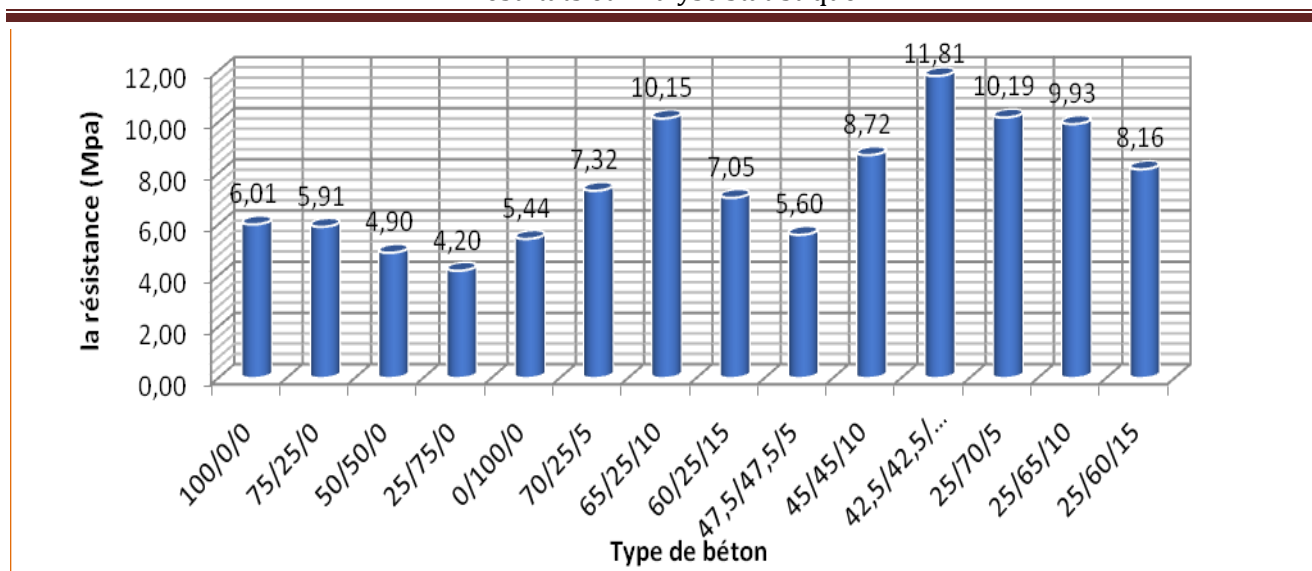


Figure IV.5 : Résistance à la compression à 28 jours.

comme le montre le Tableaux IV5 , les valeurs les plus élevées de résistance à la compression moyenne et caractéristique ont été obtenues par M11(42,5/42,5/15) et M12(25/70/5) et M7(65/25/10).(11,81/10,15/10,19) MPa, respectivement). Ces valeurs restent faibles compte tenu des exigences des pavés en béton traditionnels – résistance minimale à la compression pour les piétons et les véhicules utilitaires : 30 MPa en Inde (IS : 15658,2006),35 MPa au Brésil (NBR 9781, 2013), 49 MPa au Royaume-Uni (BS, 6717-1:1993,2003)et 55 MPa aux USA (ASTM C936,2020);d'autres pays autorisent des résistances inférieures pour les piétons, comme 15 MPa en indonésien (SNI03-0691-1996, 1996)et le Sri Lanka (SLS : 1425, 2011).Une spécification standard brésilienne pour les chaussées en béton perméables NBR 16416 (ABNT,2015)nécessite une résistance à la compression de 20 MPa pour les pavés destinés aux piétons et à la circulation légère. Cependant, il manque d'autres spécifications standards internationales pour les revêtements de sol ou les pavés en béton perméables, telles que la résistance minimale, le seuil de conductivité hydraulique ou l'épaisseur optimale. Selon Ibrahim et Abdul Razak (2016),une résistance inférieure pourrait être acceptable pour les sentiers et les allées piétonnières puisque le béton perméable ne sera pas soumis aux charges des véhicules.[20]

IV.1.2.2.2. Résistance à la fragmentation : NF EN 1097-2(los angles)

Tableaux IV6 : Résistance à la fragmentation : NF EN 1097-2(los angles)

mélange	[Déchets de béton(%)]/[Déchets de céramique(%)]/[Sable de dune (%)]	masse d'éprouvette après l'étuvage(M1)	Masse de l'éprouvette après l'abrasion	Perte de Cantabro (M1 –M2) *100/ M1(%))
M1	100/0/0	3417	2656,5	22,26
M2	75/25/0	3041	2077	31,70
M3	50/50/0	2828	1879,9	33,53
M4	25/75/0	2433,6	1577,2	35,19
M5	0/100/0	2014	1382,6	31,35
M6	70/25/5	3275	2583,7	21,11
M7	65/25/10	2888	2663	7,79
M8	60/25/15	3394,2	2821,4	16,88
M9	47,5/47,5/5	2739,1	2374,2	13,32
M10	45/45/10	2806,8	2194	21,83
M11	42,5/42,5/15	2978,7	2588,4	13,10
M12	25/70/5	2640,3	2276,2	13,79
M13	25/65/10	2718,4	2143	21,17
M14	25/60/15	2763,2	2341,2	15,27

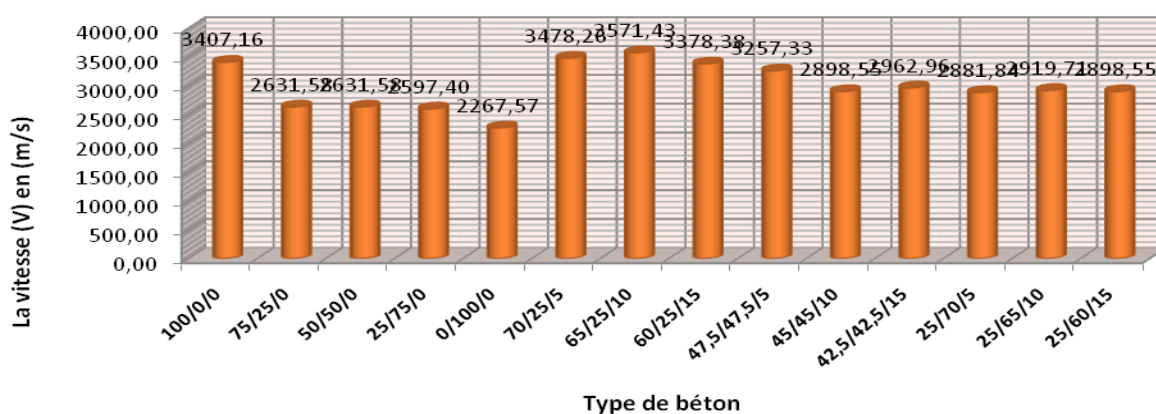


Figure IV.6 Résistance à la fragmentation

Analyse :

Mélanges sans sable de dune (M5 et 100/0/0) :

Perte de masse : 22.26% et 31.35% respectivement.

Analyse : Les proportions élevées de DCR (0/100/0) montrent une perte de masse relativement plus

élevée par rapport aux proportions élevées de DBR (100/0/0). Cela suggère que le DBR pourrait être plus résistant à l'usure.

Mélanges avec augmentation des proportions de DCR (75/25/0, 50/50/0, M4) :

La perte de masse augmente de 31.70% à 35.19%.

Analyse : L'augmentation de la proportion de DCR contribue à une augmentation de la perte de masse, indiquant que le DCR est moins résistant à l'usure par rapport au DBR.

Mélanges avec ajout de sable de dune (70/25/5, 65/25/10, 60/25/15) :

La perte de masse varie de 7.79% à 21.11%.

Analyse : L'ajout de sable de dune réduit considérablement la perte de masse, en particulier dans le mélange M7 qui montre le pourcentage de perte le plus faible (7.79%). Cela indique que le sable de dune peut améliorer la résistance du béton à l'usure.

Mélanges équilibrés (47.5/47.5/5, 45/45/10, 42.5/42.5/15) :

La perte de masse varie de 13.10% à 21.83%.

Analyse : L'équilibre entre le DBR et le DCR avec l'ajout de sable de dune montre des résultats variés, mais tous sont inférieurs aux mélanges contenant uniquement du DBR ou du DCR. Cela souligne l'importance de l'équilibre entre les matériaux pour améliorer la résistance à l'usure.

Mélanges avec augmentation des proportions de sable de dune (25/70/5, 25/65/10, 25/60/15) :

La perte de masse varie de 13.79% à 21.17%.

Analyse : L'augmentation des proportions de sable de dune avec réduction du DCR montre une amélioration de la résistance à l'usure, mais tous les mélanges ne donnent pas des résultats optimaux comme le 65/25/10.

résultat :

Les avantages potentiels du sable de dune : L'ajout de sable de dune montre une nette amélioration de la résistance du béton à l'usure, notamment dans les mélanges équilibrés comme le 65/25/10.

Les défis potentiels : La dépendance totale à un seul matériau (DBR ou DCR) montre des résultats moins résistants à l'usure. L'équilibre entre les matériaux et l'utilisation de proportions étudiées de sable de dune peuvent considérablement améliorer la résistance à l'usure

Conclusion

Utiliser DBR (Déché de béton), DCR (Déchéde céramique) et du sable de dune dans les mélanges de béton vise à atteindre un équilibre optimal entre la perméabilité et l'utilisation des matériaux recyclés. Voici la reformulation scientifique de ces informations :

DBR (Déchéde béton) :

DBR contribue significativement à réduire la porosité du béton, surtout lorsqu'il est utilisé à des proportions élevées. Il renforce la résistance du béton et améliore sa résistance à la corrosion en améliorant les propriétés des matériaux utilisés.

DCR (Déchède céramique) :

DCR augmente considérablement la porosité, ce qui peut être bénéfique dans les applications nécessitant des niveaux élevés de perméabilité. DCR est idéal pour améliorer des propriétés telles que l'adhérence et la régulation du flux du béton.

Sable de dune :

Le sable de dune contribue à réduire la porosité lorsqu'il est ajouté à des proportions spécifiques, bien que son effet soit limité lorsque le taux de DCR est élevé. Il renforce la durabilité et la résistance mécanique du béton.

Mélanges équilibrés (proportions égales de DBR et DCR avec une faible proportion de sable de dune) :

Les mélanges contenant des proportions égales de DBR et DCR avec une faible proportion de sable de dune, comme 5%, offrent un équilibre parfait entre perméabilité et utilisation de matériaux recyclés. Ces mélanges permettent d'obtenir des performances équilibrées du béton avec une excellente résistance à la corrosion et une haute durabilité.

L'utilisation judicieuse de ces composants dans des proportions équilibrées permet d'améliorer efficacement les propriétés du béton selon les besoins et les exigences spécifiques de chaque application

. Cependant, pour assurer une étude scientifique et statistiquement fondée, nous avons utilisé le logiciel Expert Design, conçu avec l'aide du Dr. Tarek Jadid

IV.2. Analyser les résultats à l'aide du logiciel Expert Design

Tableaux IV7 : Constraints

Name	Goal	LowerLimit	UpperLimit	LowerWeight	UpperWeight	Importance
A: pourcentage de granulats recyclés	istarget = 25	0	100	1	1	5
B: pourcentage de ceramique	istarget = 65	0	100	1	1	5
C: pourcentage de sable de dune	istarget = 10	0	15	1	1	5
Perméabilité	maximize	12.7444	14.5444	1	1	1
Résistance à la compression	maximize	4.19667	11.81	1	1	1
Vitesse ultrasonique	maximize	2267.57	3571.43	1	1	1
Porosité	is in range	10.19	43.69	1	1	1
Abrasion	istarget = 7.79086	7.79086	35.1907	1	1	5

Tableaux IV8 : Responses

Response	Name	Units	Observations	Minimum	Maximum	Mean	Std. Dev.	Ratio
R1	Perméabilité	m/s	14.00	12.7444	14.5444	13.59	0.5387	1.14
R2	Résistance à la compression	MPa	14.00	4.19667	11.81	7.53	2.34	2.81
R3	Vitesse ultrasonique	m/s	14.00	2267.57	3571.43	2984.45	386.24	1.58
R4	Porosité	%	14.00	10.19	43.69	25.16	9.81	4.29
R5	Abrasion	%	14.00	7.79086	35.1907	21.31	8.68	4.52

Tableaux IV9 : Build Information

File Version	13.0.5.0		
Study Type	Response Surface	Subtype	Randomized
Design Type	Box-Behnken	Runs	14.00
Design Model	Quadratic	Blocks	No Blocks
Build Time (ms)	2.00		

Tableaux IV10 Résultats des essai de laboratoire

	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Response 1	Response 2	Response 3	Response 4	Response 5
Run	A:pourcentage de granulats recyclés	B:pourcentage de ceramique	C:pourcentage de sable de dune	Perméabilité	Résistance à la compression	Vitesse ultrasonique	Porosité	Abrasion
	%	%	%	m/s	MPa	m/s	%	%
1	100	0	0	14.5444	6.00667	3407.16	16.15	22.2564
2	75	25	0	13.4889	5.91333	2631.58	25.02	31.7001
3	50	50	0	13.4222	4.9	2631.58	29.9	33.5255
4	25	75	0	13.4111	4.19667	2597.4	38.94	35.1907
5	0	100	0	13.7222	5.44	2267.57	43.69	31.3505
6	70	25	5	13.1778	7.32333	3478.26	13.21	21.1084

Résultats et Analyse statistique

7	65	25	10	12.8333	10.15	3571.43	10.19	7.79086
8	60	25	15	12.7444	7.04667	3378.38	11.6	16.8758
9	47.5	47.5	5	14.3111	5.6	3257.33	29.96	13.3219
10	45	45	10	13.7333	8.71667	2898.55	28.85	21.8327
11	42.5	42.5	15	13.1667	11.81	2962.96	24.63	13.103
12	25	70	5	13.8333	10.1867	2881.84	26.88	13.7901
13	25	65	10	13.5556	9.93	2919.71	23.48	21.1669
14	25	60	15	14.3222	8.16333	2898.55	29.75	15.2721

Tableaux IV11: Final Equation in Terms of Coded Factors

Perméabilité	=
+13.42	
-6.06	A
-2.91	B
+3.39	AB
+15.47	AC
+18.59	BC
+69.44	ABC
-13.58	A ² B
+30.79	A ² C
+42.10	B ² C
+0.7714	A ² B ²
-13.14	A ² BC
+6.78	A ² C ²
Résistance à la compression	=
+5.74	
-13.96	A
-13.91	B
Vitesse ultrasonique	=
+2609.21	
-3486.13	A
-4133.96	B

-237.32	AB
+2489.61	AC
+2316.93	BC
Porosité	=
+32.72	
+62.81	A
+80.88	B
+4.12	AB
-39.60	AC
-35.07	BC
Abrasion	=
+33.21	
+111.47	A
+114.82	B
+6.06	AB
-57.22	AC
-57.52	BC

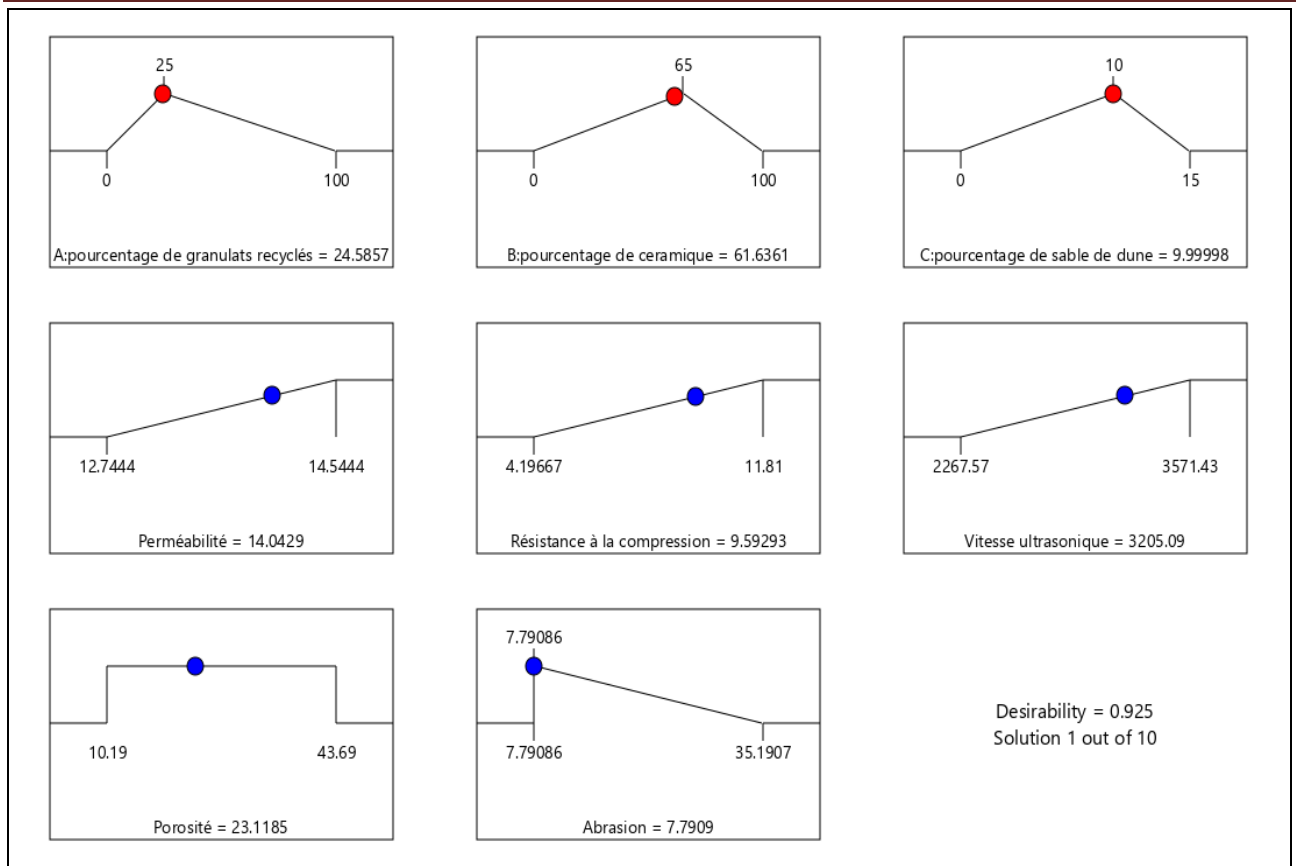


Figure IV.8. Solutions

Tableaux (IV12):10 Solutions found

Number	pourcent age de granulats recyclés	pourcent age de ceramiqu e	pourcent age de sable de dune	Perméabil ité	Résista nce à la compre ssion	Vitesse ultrasoniqu e	Porosité	Abrasio n	Desirabil ity	Desirability (w/o Intervals)	
1	24.586	61.636	10.000	14.043	9.593	3205.091	23.118	7.791	0.925	0.945	Selected
2	25.300	60.913	10.000	14.132	9.595	3213.245	22.870	7.791	0.922	0.948	
3	24.402	62.073	9.775	14.013	9.523	3208.263	23.163	7.791	0.920	0.939	
4	24.998	61.534	9.714	14.091	9.506	3216.416	22.952	7.791	0.919	0.944	
5	25.000	62.226	9.035	14.113	9.313	3231.577	22.886	7.791	0.907	0.932	
6	24.808	62.782	10.000	13.859	9.212	3118.751	24.881	10.330	0.902	0.919	
7	41.247	45.113	10.000	14.235	9.539	3398.737	17.345	7.791	0.833	0.856	
8	41.031	49.605	4.400	15.329	8.349	3459.040	17.770	7.888	0.722	0.736	
9	58.621	32.796	7.186	13.389	8.115	3459.982	15.261	12.149	0.610	0.640	
10	61.823	30.404	6.824	13.259	7.887	3455.870	15.100	13.193	0.574	0.600	

Résultats et Analyse statistique

Factor Coding: Actual

Perméabilité (m/s)

● Design Points

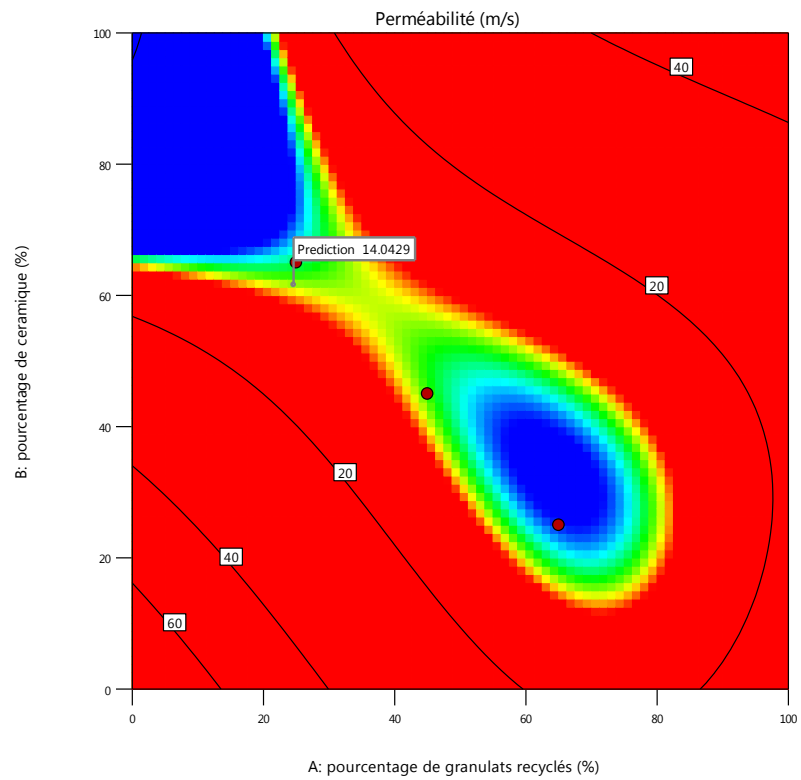
12.7444 14.5444

X1 = A

X2 = B

Actual Factor

C = 9.99998



Factor Coding: Actual

Perméabilité (m/s)

Design Points:

● Above Surface

○ Below Surface

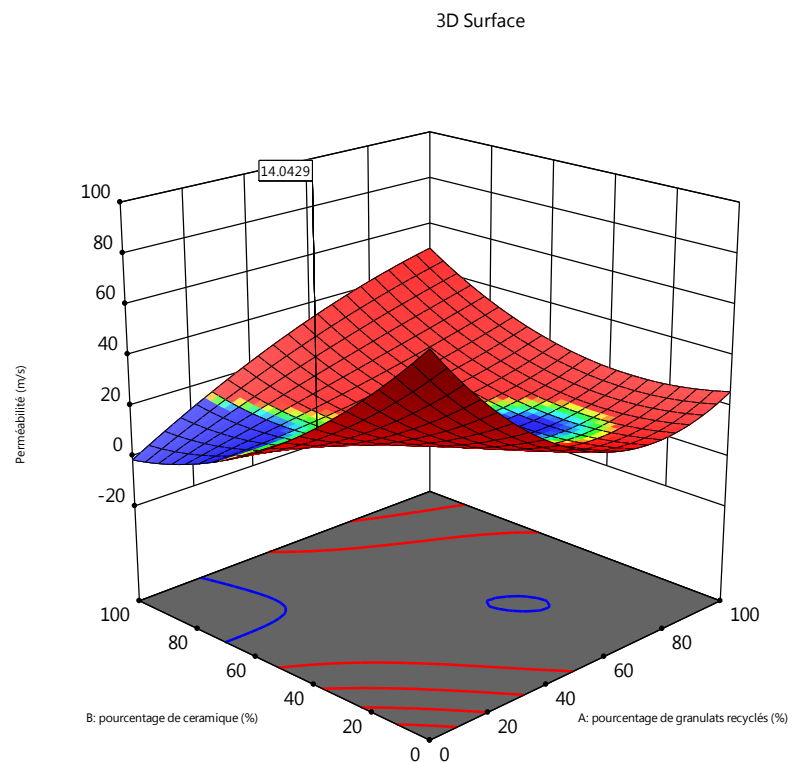
12.7444 14.5444

X1 = A

X2 = B

Actual Factor

C = 9.99998



Résultats et Analyse statistique

Factor Coding: Actual

Résistance à la compression (MPa)

● Design Points

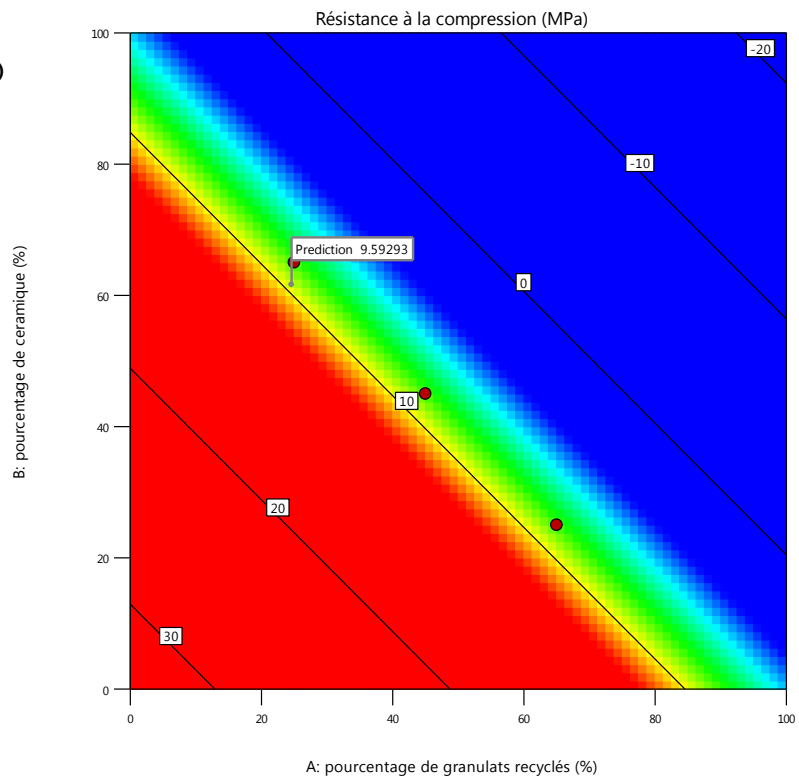
4.19667 11.81

X1 = A

X2 = B

Actual Factor

C = 9.99998



Factor Coding: Actual

Résistance à la compression (MPa)

● Design Points

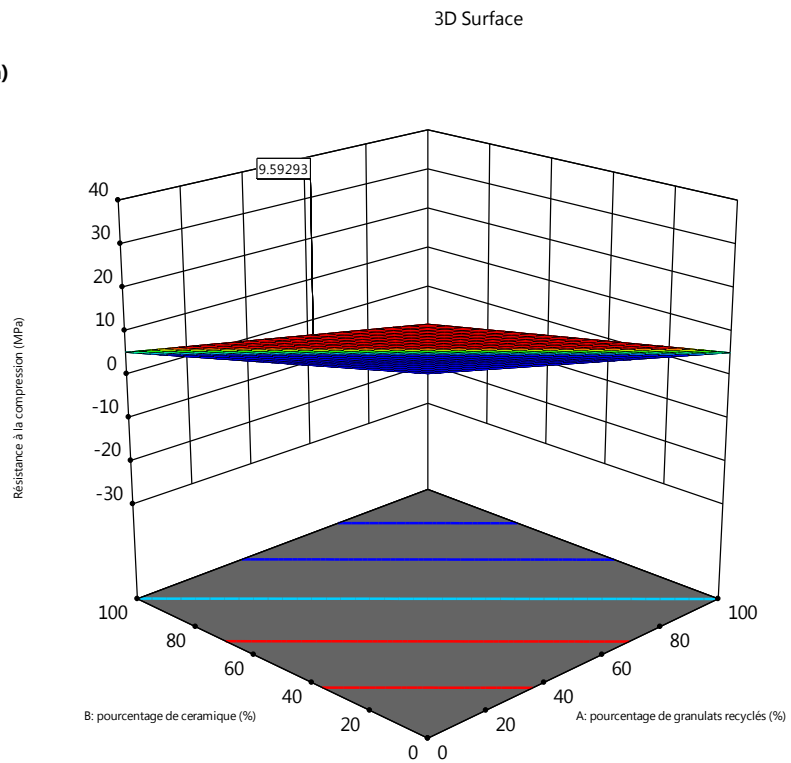
4.19667 11.81

X1 = A

X2 = B

Actual Factor

C = 9.99998



Résultats et Analyse statistique

Factor Coding: Actual

Vitesse ultrasonique (m/s)

● Design Points

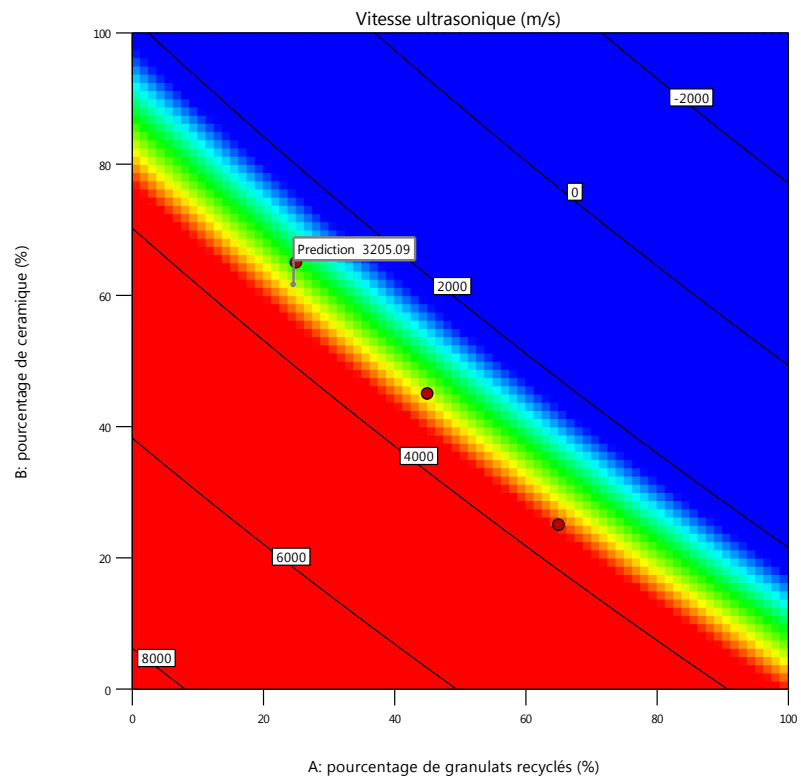
2267.57 3571.43

X1 = A

X2 = B

Actual Factor

C = 9.99998



Factor Coding: Actual

Vitesse ultrasonique (m/s)

Design Points:

● Above Surface

○ Below Surface

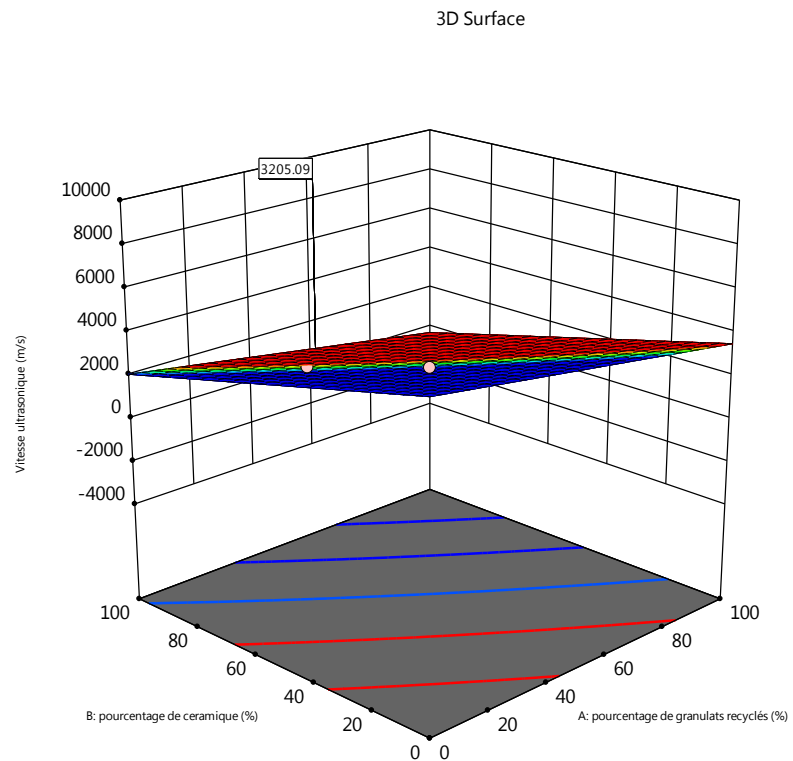
2267.57 3571.43

X1 = A

X2 = B

Actual Factor

C = 9.99998



Résultats et Analyse statistique

Factor Coding: Actual

Porosité (%)

● Design Points

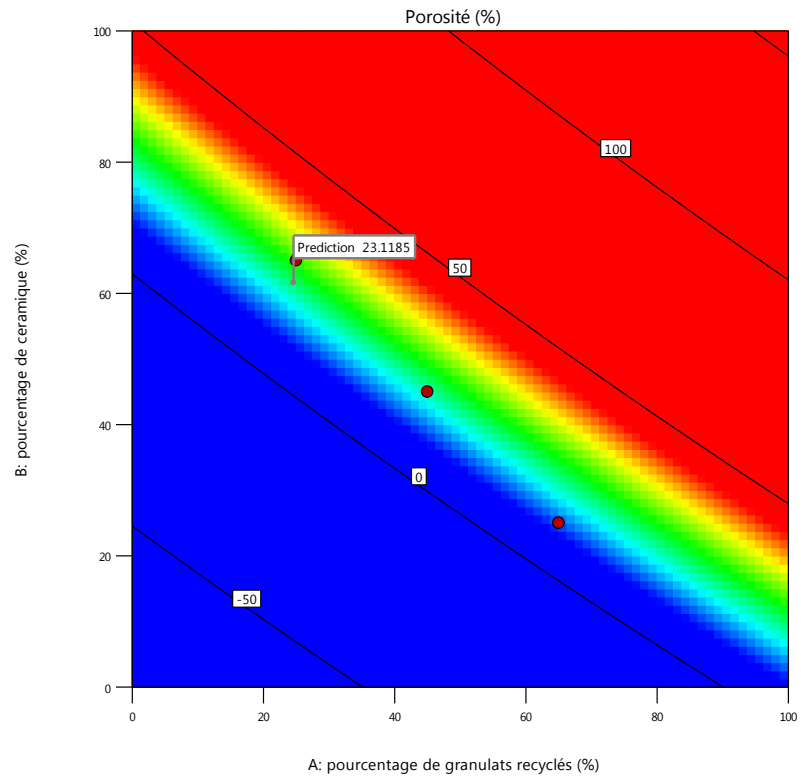
10.19 43.69

X1 = A

X2 = B

Actual Factor

C = 9.99998



Factor Coding: Actual

Porosité (%)

Design Points:

● Above Surface

○ Below Surface

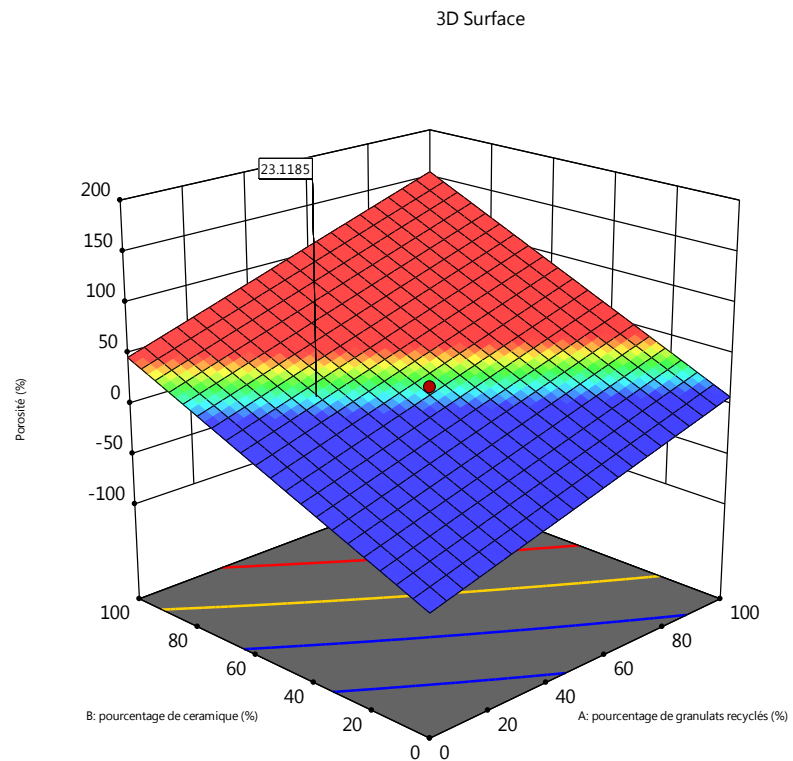
10.19 43.69

X1 = A

X2 = B

Actual Factor

C = 9.99998



Résultats et Analyse statistique

Factor Coding: Actual

Abrasion (%)

● Design Points

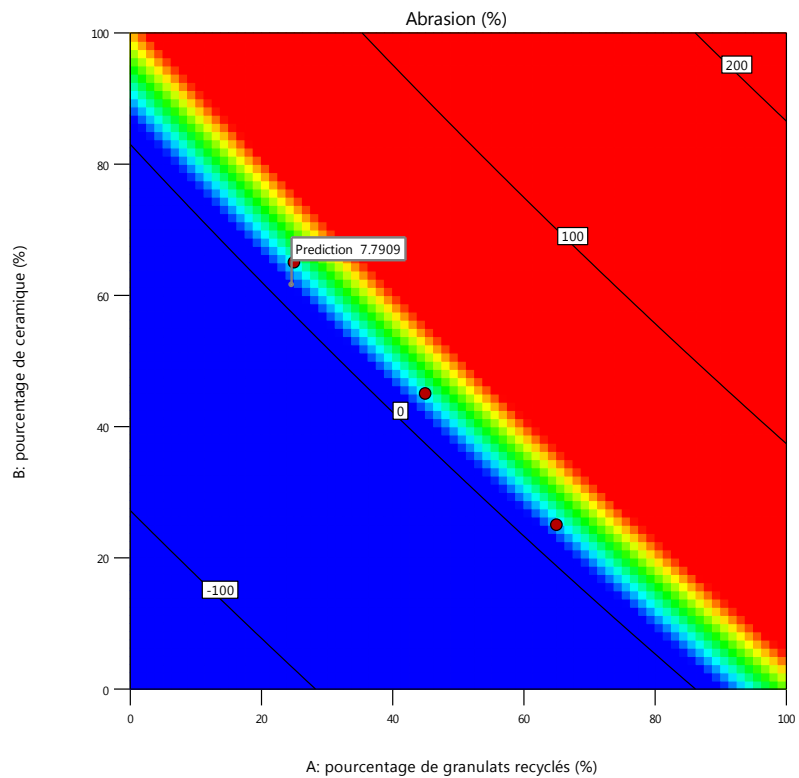
7.79086 35.1907

X1 = A

X2 = B

Actual Factor

C = 9.99998



Factor Coding: Actual

Abrasion (%)

Design Points:

● Above Surface

● Below Surface

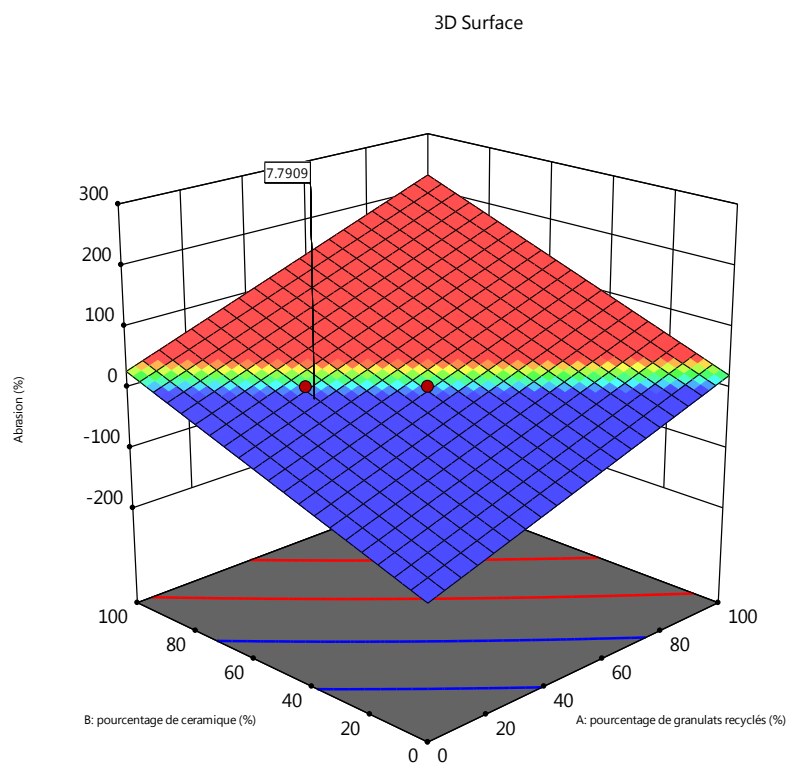
7.79086 35.1907

X1 = A

X2 = B

Actual Factor

C = 9.99998



Résumé :le meilleur choix qui a donné par le logiciel Expert Design est

M13 : (25/65/10)

CHAPITRE V. INTÉRÊTS ÉCONOMIQUES DU PRODUIT (PAVÉ)

CHAPITRE V. INTÉRÊTS ÉCONOMIQUES DU PRODUIT (PAVÉ)

V.1.Introduction :

L'objectif de ce travail, consiste à élaborer un projet de valorisation des déchets céramiques et des déchets de béton de démolition pour la fabrication des pavés pour piéton.

Et pour évaluer la rentabilité de ce projet, nous nous baseront sur des critères des choix d'investissement des projets. Entre autres ; le taux interne de rentabilité TRI, l'indice de profitabilité, la valeur actuelle nette VAN et le délai de récupération DR.

Pour atteindre cet objectif, nous allons commencer par décrire le projet, ensuite nous allons faire une étude du marché, récolter les données techniques nécessaires. Enfin, on va déboucher par une évaluation financière du projet.[30]

V.2. DESCRIPTION DU PROJET

A l'heure actuelle, la gestion des déchets céramiques et béton de démolition est l'une des problématiques environnementales que fait face la ville. Ainsi pour y répondre nous devons repenser nos modes de production et consommation des produits (bien et service). Ce qui va nous conduire à valoriser les déchets cités y afférents.

Ainsi, l'objectif de notre travail consiste à élaborer un projet de valorisation ces déchets pour la fabrication des pavés pour piéton dans la ville. Il va s'agir de fabriquer des pavés pour piéton à base des déchets céramiques et bétons de démolition , qui ces derniers seront soumis au marché local. .[31]

V.3. ETUDE DE MARCHE

L'élaboration d'un Business Plan implique l'étude des plusieurs rubriques qu'il faut en tenir compte. Parmi eux, l'étude de marché est importante. Car cette étude permet, de mettre en valeur la demande du secteur dans lequel on œuvre, l'évaluation de l'offre du secteur et ainsi que l'analyse concurrentielle. .[32]

V. 3.1 .Analyse de la demande du secteur

Dans le secteur des bâtiments et travaux publics, la demande des pavés est constituée normalement par la consommation locale, voir même nationale.

La demande nationale peut être assimilée à la consommation nationale. Elle est de plus en plus importante surtout en zone urbaine à cause des infrastructures plus avancés et plus évolués qu'en zone rurale. Pour ce faire le marché ciblé de notre projet sera constitué de : l'Etat, les entreprises œuvrant dans le secteur des bâtiments et travaux publics, et les particuliers. .[33.34]

V. 3.2. Analyse de l'offre du secteur

Localement nous n'avons pas des entreprises qui produisent des pavés pour piéton à base des déchets céramiques. Ce qui nous donne une lueur d'espoir à élaborer un projet dans ce secteur. C'est qui fera que ce secteur puisse contribuer à long terme au développement durable de notre pays. .[35]

V. 3.3. Analyse de la concurrence du secteur

Aujourd'hui, il existe des grands producteurs qui tendent à dominer le marché des pavés pour la couverture de sol et de revêtement des chaussées. Nous pouvons citer ; ETS EL GUEDRA-MAT SIDI SLIMANE TOUGGOURT, EURL PMSA, SARL PAVES DE LUXE ADRAR, AGGLOLUX SARL M'SILA, etc. Toutes ces entreprises, ils utilisent les matières premières locales sans pour autant utiliser les déchets plastiques comme liants.

Ce qui nous montre que le secteur est porteur d'emplois et saturé ce qui augmente considérablement l'intensité concurrentielle. .[36]

V. 3.4 Distribution et vente de produit sur le marché

Notre projet intégrera les circuits de distribution existant et ceci grâce à des contrats et des cahiers de charges bien déterminés attribuant des privilèges aux collaborateurs (l'Etat, les entreprises de construction et les particuliers). Et La vente des produits se fera sur la base de la loi de l'offre et de la demande.

V.4. ETUDE TECHNIQUE

V.4 .1. Localisation du site du projet

Le site d'implantation de notre projet sera dans une zone Industrielle. Cette zone présente des caractéristiques favorables au marché de production des matériaux de construction, en l'occurrence le pavé pour piéton. Le choix de cette zone se justifie par plusieurs critères, entre autre ; l'existence d'un réseau de transport et de communication, l'existence d'un marché de consommation. .[36]

V.4 .2 Présentation du produit visé

Le produit visé dans ce projet, est le pavé pour piéton. Pour le cas d'espèce ce pavé sera élaboré à base des bétons de démolition ou des céramiques recyclés comme granulats en lieu et place du granulats naturels ou des autres granulats usuels. .[36]

qu'est-ce qu'un pavé

Un pavé est un bloc en pierre, en béton ou en terre cuite, couramment employé comme revêtement de chaussée accueillant un trafic occasionnel ou continu, de zones piétonnes, de parkings, d'aires industrielles Les pavés permettent d'une façon générale, de répondre aux trois besoins suivants :

- ❖ Le besoin fonctionnel : assurer ou contribuer à la lisibilité de l'espace public en matérialisant des zones dédiées ou des limites élaborées par les urbanistes.

- ❖ Le besoin architectural: leurs formes, couleurs favorisent une esthétique ou une perception architecturale des aménagements urbains; .[34.35]
- ❖ Le besoin structurel : de par leurs caractéristiques mécaniques à résister aux sollicitations, ils pourront résister à des trafics routiers plus ou moins importants.

V.4 .3. Types des pavés

Les pavés sont classés en fonction du type de trafic selon les normes NF P 98-082, NF P 98-335 . Le tableau 1 donne l'épaisseur des pavés en fonction du trafic.

Tableau V.1 : Epaisseur des pavés en fonction du trafic.

Classe trafic	Type de trafic	Epaisseur minimum des pavés (mm)
T5	Voies piétonniers, véhicules de service et/ou livraison, parkings résidentiel ou urbain	50 ou 60
T4	Voies urbains et parkings poids lourds	80
T3		80
T2		100
T1	-	100

V.4 .3.Composition des pavés

Les matières premières qui entrent dans l'élaboration des pavés écologiques sont :

- ❖ Les déchets de céramiques recyclés;
- ❖ Les déchets de béton de démolition ;
- ❖ le sable de dune;

V.4 .4.Procédé de fabrication

Le procédé de fabrication de notre produit comprend les étapes suivantes:

- ❖ Collecte des céramiques;
- ❖ Triage des céramiques;
- ❖ Préparation des matières premières;
- ❖ Pesage des matières premières;
- ❖ Moulage et compactage;
- ❖ Refroidissement;
- ❖ Démoulage

V.4.5 .ETUDE FINANCIERE

L'objectif de cette étude est d'évaluer la rentabilité financière de notre projet sur base des critères de performance de projet, entre autres ; la valeur actuelle nette (VAN), le taux de rentabilité interne (TRI), le délai de récupération (DR) et l'indice de profitabilité.

V.4.5.1.Cout estimatif du projet

Les investissements sont constitués par des dépenses d'immobilisation suivantes :

- ❖ Les immobilisations incorporelles: elles vont contribuer à la valeur juridique de l'entreprise, ces immobilisations comprennent les frais de premier établissement (frais d'étude, formalité administratives,...).
- ❖ Les immobilisations corporelles: Ils concernent essentiellement le prix du terrain, les bâtiments, machines, matériels, etc. Le tableauV 2 présente le cout estimatif du projet : .[37..38]

TableauV. 2 : Cout estimatif du projet

Investissements initiaux	Quantité	Montant en DA
Frais initiaux		511000
Frais d'établissement		28000
Formalité administrative		21000
Bâtiment industriel		126000
Terrain		28000
Puit de forage	2	56000
Matériels d'exploitation		1132346.6
Concasseurs des granulats	10	140000
Moules métalliques	10	4200
Truelles	20	490
Bêches	10	840
Bassins de lavage des céramiques	3	525
Groupe électrogène Industriel	1	63000
Balances	6	327936
Tamis (250 microns)	10	2562

Intérêts économiques du produit (Pavé)
--

Camionnettes	2	502152
Bureau et chaise	2	12600
Etagère d'exposition	3	1050
Ordinateur	2	8400
Aléas techniques et imprévu		4200
TOTAL		2970301.6

Tableau V3 : Détermination du chiffre d'affaire annuel

Désignation	Quantité	Prix unitaire (DA)
Pavé	252000	8
Total	2016000	

V.4.5.2.Charges d'exploitation prévisionnelle

Le tableauV 4 illustre les charges d'exploitation prévisionnelle.

TableauV 4 : récapitulatif des charges d'exploitation prévisionnelle

Désignation	Année 1	Année 2	Année 3	Année 4	Année 5
	Montant en DA	Montant en DA	Montant en DA	Montant en DA	Montant en DA
Achats	288834	288834	288834	288834	288834
Intrants	48720	48720	48720	48720	48720
Sables	171360	171360	171360	171360	171360
Gravillons	40320	40320	40320	40320	40320
Huile de lubrification	37800	37800	37800	37800	37800
Frais personnel	1604400	1604400	1604400	1604400	1604400
Carburant pour					
camionnette	14560	14560	14560	14560	14560

V.4.5.3. Compte des résultats prévisionnels

Les résultats inscrits dans le tableau ci-dessous, ont pour unité monétaire USD,

Le tableau V5 représente le compte des résultats prévisionnels

Tableau V5 : compte des résultats

RUBRIQUES	ANNEE 1	ANNEE 2	ANNEE 3	ANNEE 4	ANNEE 5
Recettes prévisionnelles	1764000	2016000	2772000	3276000	3780000
Charges prévisionnelles	2205994	2205994	2205994	2205994	2205994
Résultat brut d'exploitation	-441994	-189994	566006	1070006	1574006
Amortissement	657338.64	657338.64	657338.64	657338.64	657338.64
Résultat net d'exploitation	-1099332.64	-847332.64	-87552.64	412667.36	65476.24
Impôt société (35 %)	-384766.42	-296566.42	-31966.42	144433.57	320833.52
Résultat net	-714566.21	-462566.21	293433.78	293433.78	1301433.78
Amortissement	657338.64	657338.64	657338.64	657338.64	657338.64
Cash-flow brut	-57227.57	194772.42	950772.42	1454772.42	1958772.42
Cash-flow net	-57227.57	194772.42	950772.42	1454772.42	1958772.42

V.4.6.Détermination des critères de performance du projet

Pour évaluer la rentabilité de notre projet, nous nous sommes basé sur les critères de choix d'investissement ;

- ❖ VAN (Valeur actuelle nette)
- ❖ TRI (Taux de rentabilité interne)
- ❖ Indice de profitabilité
- ❖ Délai de récupération.[38.39]

TableauV.6. comparatif entre la fabrication de pavés en agrégat naturel et en agrégat recyclé et sable

Facteur	Pavés en agrégat naturel	Pavés en agrégat recyclé et sable	Différence de marge bénéficiaire
Matières premières	- Agrégat naturel (gravier, pierre concassée)	- Agrégat recyclé (béton concassé, pierre concassée)	
Sable	- Disponible	- Disponible	
Ciment	- Disponible	- Disponible	
Eau	- Disponible	- Disponible	
Additifs chimiques	- Selon les besoins (comme les retardateurs ou les accélérateurs)	- Selon les besoins (comme les retardateurs ou les accélérateurs)	
Équipements	- Malaxeurs à béton, moules, équipements de compression	- Malaxeurs à béton, moules, équipements de compression	
Énergie utilisée	- Électricité, carburant	- Électricité, carburant	
Processus de production	- Mélange des matières premières avec de l'eau et du ciment	- Mélange des matières premières recyclées avec du sable et du ciment	
Moulage	- Coulage du mélange dans des moules	- Coulage du mélange dans des moules	
Compression	- Compression des moules pour atteindre la densité requise	- Compression des moules pour atteindre la densité requise	
Séchage	- Séchage naturel ou à l'aide de fours	- Séchage naturel ou à l'aide de fours	
Qualité et durabilité	- Dépend de la qualité de l'agrégat naturel	- Dépend de la qualité des matériaux recyclés et des proportions utilisées	
Impact environnemental	- L'extraction d'agrégats naturels peut affecter l'environnement	- Le recyclage réduit les déchets et conserve les ressources naturelles	
Coût final	- Dépend des prix des matières premières et des	- Dépend des prix des matières premières recyclées et des coûts	

Intérêts économiques du produit (Pavé)
--

	coûts de production	de production	
Normes et spécifications	- Doit respecter les normes locales et internationales de construction	- Doit respecter les normes locales et internationales de construction	
Durée de vie	- Peut être plus longue en raison de l'utilisation de matériaux naturels	- Peut être légèrement plus courte en fonction de la qualité des matériaux recyclés	
Apparence	- Peut être plus homogène et attrayant	- Peut présenter certaines variations d'apparence	
Entretien	- Généralement faible	- Peut nécessiter un entretien plus régulier	
Différence de marge			

Tableau V.7 : Détermination du chiffre d'affaire annuel de Pavés en agrégat recyclé et sable

Désignation	Quantité	Prix unitaire (DA)
Pavé	252000	5
Total	1260000	

CONCLUSION

En guise de conclusion, l'objectif visé par ce travail consistait à élaborer un plan d'affaires pour un projet de valorisation des déchets céramiques pour la fabrication des pavés pour piétons. En effet, après avoir réalisé une brève description du projet, une étude de marché, une étude technique et une analyse financière, nous avons pu évaluer la rentabilité de notre projet. Cela prouve amplement que notre projet est viable et également rentable. De plus, l'écart de profit entre les deux cas est de **37,5 %**.

Conclusion générale

Conclusion générale

L'utilisation des granulats recyclés dans les bétons et mortiers présente plusieurs avantages tant au niveau environnementale, humain, technologique qu'économique qui s'intéresse de plus en plus les industriels.

Ce mémoire avait pour but d'étudier le comportement des granulats recyclés, issus du déché de Béton et Céramique . Les travaux ont donc contribué à l'amélioration des connaissances sur les propriétés physiques et mécaniques de ces matériaux qu'on peut les résumer dans les points suivants.

La résistance à la compression est maximale dans le cas où le pourcentage en sable de dune est de 15%

L'utilisation des granulats recyclés permet d'obtenir des forces de compression acceptables dans le béton, avec une augmentation de plus de 10 MPa. De plus, le béton contenant des granulats recyclés présente de bonnes caractéristiques de perméabilité, dépassant les 14 mm/S.

La valorisation des déchets de construction pour leur utilisation dans la production de béton et l'intégration du sable de dune dans les applications de génie civil sont essentielles pour optimiser l'utilisation des ressources locales.

Les études montrent que les déchets de béton et de céramique présentent des propriétés mécaniques acceptables, telles que la résistance à la compression.

La qualité et les performances du béton dépendent significativement des proportions et de la qualité des matériaux utilisés dans sa composition.

Les essais en laboratoire jouent un rôle crucial dans la détermination précise de ces proportions, assurant ainsi un meilleur rendement et une meilleure durabilité du béton.

La perméabilité du béton utilisé pour les pavés peut offrir une solution technique efficace pour gérer les eaux pluviales sur les routes et les trottoirs.

En résumé, en optimisant l'utilisation des déchets de construction, en intégrant judicieusement des matériaux locaux comme le sable de dune, et en ajustant rigoureusement les formulations de béton à l'aide de tests de laboratoire, il est possible d'améliorer significativement les performances et la durabilité des infrastructures urbaines.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

- [1] KHEMISSI R., « Caractérisation et choix d'une filière de traitement des déchets ménage réassimilés de la ville d'Oran » thèse de Magister Université d'Oran, 2014.
- [2] Mohamed Habib BEN DHIA Docteur en mécanique appliquée à la construction (Université Pierre et Marie Curie Paris VI) Maître assistant École Supérieure des Sciences et Techniques de Tunis
- [3] Gilpin Robinson Jr R, Menzie DW, Hyun H. « Recycling of construction de brisas aggregate in the Mid-Atlantic Region »,
- [4] LNHC de Djelfa
- [5] De Juan M.S. and Gutiérrez P.A., Study on the influence of attached mortar content on the properties of recycled concrete aggregate, Construction and Building Materials, 23(2), pp. 872-877, 2009
- [6] Mehdi C. « Les déchets de chantier et le recyclage des matériaux dans le secteur du bâtiment » thèse de fin de formation 2007.
- [7] STAMBOULI M. « Valorisation de débris de verre dans les infrastructures routières : Application au verre industriel, verre ménager et verre mixte », Mémoire de master recherche, 2016.
- [8] CHELABIH, TALEBZ. , « Amélioration des propriétés mécaniques du plâtre de construction avec des déchets plastiques et verre ». Mémoire de master, université de Bouira 2017
- [9] MAEL A, XAVIER GH, CHRISTIAN M, DORIS N. « Lexique à l'usage des acteurs de la gestion des déchets », Collection « Références » du Service de l'Économie, de l'Évaluation et de l'Intégration du Développement Durable (SEEIDD) du Commissariat Général au Développement Durable (CGDD), Mai 2012.
- [10] EL HAFIANE S. Gestion des déchets solides au niveau de la Commune Urbaine d'Agadir et leur impact sur le milieu naturel, mémoire de fin d'étude, Marrakech, mars 2012
- [11] <https://www.fr.wikipedia.org/wiki/Recyclage>. Consulté le 12/06/2022
- [12] BOURMATTE N. « Granulats recyclés de substitution pour bétons hydrauliques », thèse de doctorat, université des Frères Mentouri Constantine, Mars 2017.
- [13] RAMACHANDRAN V-S., utilisation des déchets et sous-produits comme granulats du béton, CBD-215-F, conseil national de recherches Canada, juin 1981.
- [14] Khalaf FM, De Venny AlnaS. « Recycling of demolished masonry rubble as coarse aggregate in Concrete: review ». ASCE J Mater Civil Eng 2004 :331-40

- [15] BELKBIRH.«Elaboration d'un béton autoplaçant léger à base de déchets de plastique», mémoire de DEUA, Université de Boumer des, 2011.
- [16] Tabsh, S. W. ET Abd elfatah, A. S. (2009). Influence of recycled concrete aggregates on strength properties of concrete. *Construction & Building Materials*, volume 23, numéro 2, p.1163-7.
- [17] Mamery Serifou « Béton à base de recyclât : influence du type de recyclât et rôle de la formulation». Université de Bordeaux département de GENIE CIVIL, Option Géomatériaux-2013.
- [18] Padmini A.K., Ramamurthy K. and Mathews M.S., Influence of parent concrete on the properties of recycled aggregate concrete, *Construction and Building Materials*, 23 (2), pp. 829-836, 2009
- [19] BONNETS, TURATSINZEA et GRANJUJ-L., effets de l'incorporation de granulats en caoutchouc, issus du broyage de pneus usagés sur la résistance à la fissuration d'un mortier de ciment, *Annales du bâtiment et des travaux publics*, décembre 2004-N°6
- [20] NIGRIG.«Nouvelle élaboration d'un liant hydraulique», thèse de doctorat, Université 8 Mai 1945 Guelma, 2018.
- [21] Rao, A., Jha, K. N. ET Misra, S. (2007). Use of aggregates from recycled construction and demolition waste in concrete. *Resources, Conservation and Recycling*, volume 50, numéro 1, p.71-81.
- [22] Ibrahim, HA, et Abdul Razak, H.(2016). Effet de l'incorporation de clinker d'huile de palme sur les propriétés du béton perméable. *Construction et matériaux de construction*, 115, 70-77. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.03.181>
- [23] (<https://www.almrsal.com/post/1030530>)
- [24] Techniques de stabilisation des déchets industriels spéciaux (les) Livre AGENCE DE L'ENVIRONNEMENT ET DE LA MAITRISE DE L'ENERGIE Edité par ADEME - 1996
- [25] Techniques de stabilisation des déchets industriels spéciaux (les) Livre AGENCE DE L'ENVIRONNEMENT ET DE LA MAITRISE DE L'ENERGIE Edité par ADEME – 1996
- [26] Kofoworola, O.F., 2007. Recovery and recycling practices in municipal solid waste management in Lagos, Nigeria, *Waste Management* 27 (9), 1139–1143.
- [27] DES DÉCHETS ET DES HOMMES Dominique Lhuillier, Yan Cochin Desclee De Brouwer Sociologie Clinique 16 Mars 1999 Sciences humaines & sociales > Psychologie / Psychanalyse > Psychologie branches et domaines
- [28] Zhao et al-2014-Advanced Functional Materials
- [29] Katz, A. (2003) Properties of Concrete Made with Recycled Aggregate from Partially Hydrated Old Concrete. *Cement and Concrete Research*, 33, 703-711. [http://dx.doi.org/10.1016/S0008-8846\(02\)01033-5](http://dx.doi.org/10.1016/S0008-8846(02)01033-5)

Références bibliographiques

- [30] The use of ceramic waste aggregates in concrete: a literary review Conference: CONCRETE 2014 PROGETTO E TECNOLOGIA PER IL COSTRUITO ABDERREZAK S. (2000), Gestion des déchets solides en Algérie. Séminaire sur la gestion intégrée des déchets solide, Alger. pp31-34.
- [31] AFNOR NF DTU 52.1 P1-2. (2010), Revêtements de sol scellés partie 1-2, Cahier des critères généraux de choix des matériaux, Normes Françaises, pp40.
- [32] Biron, M., (2012), Thermoplastics and Thermoplastic Composites. 2nd éd., Burlington : Elsevier Science.
- [33] Business plan d'un projet d'exploitation agricole ; DIAP TOURE ; pp 34
- [34] Buyck M., (2018), Gestion des déchets plastiques en station d'épuration en Wallonie, Université de liège.
- [35] Cerib. (2009), Voirie et aménagements public, Guide de confection des ouvrages réalisés à partir des pavés, dalles, bordures et caniveaux préfabriqués en béton, p92.
- [36] Projet d'Appui au Développement de l'Horticulture Urbaine et Périurbaine (HUP) à Lubumbashi (RDC) ; Grégoire MUTCHAIL MUTOMB ; pp8.
- [37] Kaunda R. (2019), Cours d'évaluation des projets d'investissements, Faculté des sciences économiques et de gestion/UNILU, p36-66.
- [38] Mada H. (2014), Valorisation à l'échelle pilote des déchets plastiques pour la fabrication de matériaux de construction, Université de Madagascar, Faculté des sciences des matériaux, p5462, 64-67.
- [39] Mukalay F., (2021), Cours d'analyse économique des projets, Faculté polytechnique/UNILU

Annexes



Annexes

FIGURER V1. FICHE TECHNIQUE : CIMENT CEM II /B-L 42.5N



ماتين MATINE

ALGÉRIE





Ciment portland au Calcaire

NA442 CEM II/B-L 42,5 N

Matine Ciment gris pour bétons de haute-performance destiné à la construction des Ouvrages d'Art, infrastructure et superstructure pour bâtiments

Matine
NA442 CEM II/B-L 42,5 N

Matine est certifié, conforme à la norme Algérienne (NA442 – 2013) et Européenne (EN 197-1)

AVANTAGES PRODUIT

- Une résistance initiale élevée pour vos ouvrages nécessitant un décoffrage rapide
- Favorise la maniabilité du béton et le maintien de sa rhéologie
- Une Classe Vraie qui offre une haute performance au béton.
- Meilleure durabilité du béton.

MEMBRE DE
 HOLCIM

APPLICATIONS RECOMMANDÉES



- Construction des Ouvrages d'Art, infrastructure et superstructure pour bâtiments
- Préfabrication légère
- Béton de haute performance



FORMULATION CONSEILLÉE



	Ciment 	Sable (sec) 	Gravillons (sec) 	Eau (litres) 
		0/5	8/15mm 15/25mm	
Dosage pour béton C25/30	X 1 	+  X7	+  X5 +  X4	+ 25 L

Remarque: un bidon = 10 Litres

CARACTÉRISTIQUES TECHNIQUES



• Analyses chimiques

	Valeur
Perte au feu (%) (NA5042)	10.0±2
Teneur en sulfates (SO3) (%)	2.5±0.5
Teneur en oxyde de magnésium MgO (%)	Max 5%
Teneur en Chlorures(NA5042) (%)	< 0,1

• Temps de prise à 20° (NA 230)

	Valeur
Début de prise (min)	150±30
Fin de prise (min)	230±50

• Composition minéralogique du Clinker (Bogue)

	Valeur
C3S (%)	60±3
C3A (%)	8±2

• Résistance à la compression

	Valeur
2 jours (MPa)	≥ 10.0
28 jours (MPa)	≥ 42.5

• Propriétés physiques

	Valeur
Consistance Normale (%)	26.5±2.0
Finesse suivant la méthode de Blaine (cm²/g) (NA231)	3 700 - 5 200
Retrait à 28 jours (µm/m)	< 1 000
Expansion (mm)	≤ 3.0

CONSIGNES DE SÉCURITÉ



1- PROTÉGEZ VOTRE PEAU : Portez les équipements adaptés dans vos chantiers: casques, lunettes, gants, genouillères, chaussures et vêtements de sécurité.

2- MANUTENTION : levez le sac en pliant les genoux et en gardant le dos droit.

MEMBRE DE
HOLCIM



Conditionnement:



LAFARGE ALGÉRIE

Bureau n°02, 16ème étage, tour Geneva,
les Pins maritimes, Mohammadia, Alger.
tél: + 213 (0) 21 98 54 54
Fax: + 213 (0) 23 92 42 94
www.lafargealgerie.com
dz.satisfaction-clients@lafargeholcim.com
Tél: 021 98 55 55

LAFARGE
لافارج