

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Mémoire de Master

Présenté à l'Université 8 Mai 1945 Guelma
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département de : Génie Civil & Hydraulique
Spécialité : Génie Civil
Option : Structures

Présenté par :

ZITOUNI Widiane qatr ennada

**Thème : caractérisation mécanique d'un mortier à base
d'un déchet alimentaire aux conditions extrêmes**

Sous la direction de : Dr ; AIDOUUD Assia

Dr ; BOUKOUR Salima

Juin 2023

REMERCIEMENTS

Nous remercions *Allah*, Dieu le Miséricordieux qui nous a éclairé la voix de la Science et de la connaissance et par sa grâce on a réussi à achever ce travail.

Je remercie *Dr AIDOU* *Assia*, Maitre de conférence « A » au Département de Génie civil et d'hydraulique, Université de Guelma. Ainsi que *Dr BOUKOUR Salima*, Maitre de conférence « B » au Département de Génie civil et d'hydraulique, Université de Mila, qui ont encadré ce travail, notamment pour la confiance et l'indépendance qu'elles m'ont accordé mais également pour leurs conseils avisés et l'orientation qu'elles ont su donné au mémoire dans les moments critiques, sans oublier leurs qualités humaines formidables, leur soutien permanent et leur expérience dont j'ai eu l'honneur de profiter à de nombreuses reprises

Je remercie *ma mère et mon père* avec une grande gratitude pour leur soutien et leur amour tout au long de mes années d'études. Vous avez toujours été là pour moi, prêt à me donner un coup de main chaque fois que j'en avais besoin, et grâce à vos conseils, je suis diplômé aujourd'hui et je suis éternellement reconnaissante pour vos efforts, et pour vos mains qui m'ont tenu quand je me sentais fatiguée, il n'y a pas de prix pour ce que vous avez fait pour que je puisse arriver à ce jour, vous êtes toujours dans mon cœur.

Je veux remercier

Remercie aussi le *président* et les *membres du jury* qui ont accepté de juger mon travail.

Ma sincère gratitude à tous les enseignants qui ont participé tout au long de ma formation et surtout ceux du Département de génie civil et d'hydraulique, qui ont contribué directement ou indirectement par leurs conseils et leur aide.

Je veux remercier les techniciennes du laboratoire pédagogique de génie civil et d'hydraulique de l'Université 8 Mai 1945 Guelma, pour leurs disponibilités pour mener à bien nos essais à l'intérieur du laboratoire.

Dédicace

C'est avec profonde gratitude et sincères mots, que je dédie ce modeste
Travail de fin d'étude à :

ZITOUNI Rachid et **AYED Farida** Mes chers parents ; qui ont sacrifié
leur vie pour ma réussite et m'ont Éclairé le chemin par leurs conseils
judicieux, que dieu leur prête bonheur et longue vie.

Au compagnon du chemin, et a l'ami de tous les jours, avec leur bons et
leur mauvais côté : mon cher époux **MRED Abderrezak**.

À mes très chers encadreurs : M^{me} **AIDOUD Assia** et M^{elle} **BOUKOUR
Salima**

A mon très cher **frère** et **sœur** que j'aime beaucoup et je leur souhaite le
bonheur et de chance.

Enfin, je tiens à exprimer mes sincères remerciements à tous ceux qui
m'ont tendu la main et m'ont aidé à mener à bien ce travail.

M^{me} ZITOUNI Widiane Qatr Ennada

Résumé :

La production de déchets ménager et assimilés augmente dans de nombreuses décharges publiques. Leurs détériorations nécessitent une consommation très élevée de l'énergie avec des dégagements des gaz carboniques très néfastes, qui contribuent à la pollution de l'air. Par conséquent, des mesures efficaces sont nécessaires pour garantir une destination des déchets écologiquement durable et économiquement viable. L'incorporation dans des matrices cimentaires peuvent valorisés de nombreux types de déchets ménager et assimilés (surtout dans notre recherche on essaye de visé les déchets alimentaires). La caractérisation physique et mécanique et même chimique de ces nouveaux mortiers est une étape très nécessaire pour leur utilisation, mais leurs misent aux conditions extrêmes d'utilisations sont considérés comme des cas critiques, qu'on doit les étudier pour l'adaptation définitif de ces nouveaux mortiers.

Ce présent travail a pour objectif de caractériser les propriétés mécaniques de deux types de mortier le premier à base de sable de dune et le deuxième à base de sable de carrière, alléger par un déchet alimentaire qui est le marc de café. Le choix des conditions extrêmes était porté sur les cas réel, dont le choix à toucher quatre conditions (mouillage/séchage ; gel/dégel ; chlorure ; température). La caractérisation mécanique était après sept cycle de chaque condition, pour examiner l'aptitude de l'utilisation de ces mortiers aux diverses applications de la construction des bâtiments.

La formulation des mélanges se base sur la substitution de sable par le marc de café, à différentes teneurs pondérales 5, 10, 15 et 20%, La quantité de ciment est fixée à 450 g. Les résultats obtenus montrent clairement l'influence de l'incorporation des déchets alimentaire soit sur les caractéristiques physiques ou mécaniques avec une influence très remarquable après les cycles des conditions extrêmes.

Mots clés : déchets ménager, marc de café, conditions extrêmes, cycle, caractérisation mécanique.

Abstract:

The production of household and similar waste is increasing in many public landfills. Their deterioration requires very high-energy consumption with the release of very harmful carbon dioxide, which contributes to air pollution. Therefore, effective measures needed to ensure an environmentally sustainable and economically viable waste destination. Incorporation into cementitious matrices can recover many types of household and similar waste (especially in our research we try to target food waste). The physical, mechanical and even chemical characterization of these new mortars is a very necessary step for their use, but their exposure to extreme conditions of use considered critical cases, when they must studied for the definitive adaptation of these new mortars.

This present work aims to characterize the mechanical properties of two types of mortar, the first based on dune sand and the second based on quarry sand, lightened by food waste, which is coffee grounds. The choice of extreme conditions based on real cases, including the choice to affect four conditions (wetting/drying; freezing/thawing; chloride; temperature). Mechanical characterization was after seven cycles of each condition, to examine the suitability of using these mortars for various building construction applications.

The formulation of the mixtures based on the substitution of sand by coffee grounds, at different weight contents 5, 10, 15 and 20%. The quantity of cement fixed at 450 g. The results obtained clearly show the influence of the incorporation of food waste either on the physical or mechanical characteristics with a very remarkable influence after the cycles of extreme conditions.

Keywords: household waste, coffee grounds, extreme conditions, cycle, mechanical characterization.

المخلص:

يتزايد انتاج النفايات المنزلية وما شابهها في العديد من القمامة العامة. يتطلب تدهورها استهلاكاً عالياً للطاقة مع إطلاق ثاني أكسيد الكربون الضار جداً، والذي يساهم في تلوث الهواء. لذلك هناك حاجة للتدابير الفعالة لضمان وجهة نفايات مستدامة بيئياً وصالحة اقتصادياً. يمكن الدمج في المصفوفات الاسمنتية استرداد العديد من انواع النفايات المنزلية وما شابهها (خاصة في بحثنا الذي نحاول فيه استهداف نفايات الطعام). يعد التوصيف الفيزيائي والميكانيكي وحتى الكيميائي لهذا الملاط الجديد خطوة ضرورية جداً قبل استخدامه، لكن تعرضها لظروف الاستخدام القاسية تعتبر حالات حرجية، والتي يجب دراستها من اجل التكيف النهائي لهذا الملاط الجديد

يهدف هذا العمل الحالي الى توصيف الخواص الميكانيكية لنوعان من الملاط، الاول يعتمد على الكثبان الرملية والثاني يعتمد على الرمل المحجر، يخفف بفضلات الطعام وهي عبارة عن حبيبات القهوة. ركز اختيار الظروف القاسية على الحالات الحقيقية، بما في ذلك اختيار التأثير على أربعة ظروف (ترطيب /تجفيف؛ تجميد/تذويب؛ كلوريد؛ درجة الحرارة). تم التوصيف الميكانيكي بعد سبع دورات لكل حالة؛ لفحص مدى ملاءمة استخدام هذا الملاط لمختلف تطبيقات تشييد المباني.

تعتمد تركيبة المخاليط على استبدال الرمل بحبيبات البن بمحتويات مختلفة من الوزن 5، 10، 15 و20%، كمية الاسمنت ثابتة عند 450 غرام. تظهر النتائج التي تم الحصول عليها بوضوح تأثير دمج نفايات الطعام على الخصائص الفيزيائية والميكانيكية مع تأثير ملحوظ للغاية بعد دورات الظروف القاسية

الكلمات المفتاحية: النفايات المنزلية، البن المطحون، الظروف القاسية، الدورة، التوصيف الميكانيكي.

Sommaire

SOMMAIRE

INTRODUCTION GENERALE

CHAPITRE I : RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE

« Les mortiers »

I.1.Introduction	1
I.2. Le mortier	1
I.2.1. Définition	1
I.2.2. Constituants des mortiers	2
I.2.2.1. Le Liant	2
I.2.2.2. Le sable	2
I.2.2.3. L'eau de gâchage	2
I.2.2.4. L'adjuvant	3
I.2.2.5. Les ajouts	4
I.2.3. Fabrication des mortiers	4
I.2.3.1. Fabrication à la main	4
I.2.3.2. Fabrication mécanique	4
I.2.4. Les différents types de mortiers	5
I.2.4.1. Selon leur domaine d'utilisation	5
I.2.4.2. Selon la nature du liant	6
I.2.5. Les caractéristiques de mortier	8
I.3. Le sable	9
I.3.1. Définition de sable	9
I.3.2. Les classes de sables	9
I.3.3. Les familles de sables	9
I.3.3.1. Les sables roulés siliceux	9
I.3.3.2. Les sables de concassage calcaires	10
I.3.3.3. Le sable de dune	10
I.3.4. Les sables de dunes	10
I.3.5. Données bibliographiques sur les sables de dunes Algérien	11
I.3.5.1 Compositions granulométriques	11
I.3.5.2 Composition minéralogique	11
I.3.5.3 Caractéristiques physiques	11
I.3.5.4 Composition chimique	12
I.3.6. Les sables concassés	12
I.3.7. Données bibliographiques sur les sables concassés Algérien	13
I.4. Conclusion	15

CHAPITRE II : RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE

« Les déchets alimentaires »

II.1. Introduction	16
II.2. Généralité sur les déchets	16
II.2.1. Définition du terme « déchet »	16
II.2.2. Classification des déchets	16
II.2.2.1. Les déchets urbains	17
II.2.2.1.1. Les déchets ménagers et assimilés	17
II.2.2.1.2. Les déchets encombrants	17
II.2.2.1.3. Les déchets hospitaliers	18
II.2.2.2. Les déchets industriels	18

II.2.2.2.1. Selon leur nature	18
II.2.2.2.2. Selon le mode de traitement et d'élimination	18
II.2.2.2.2.1. Les déchets banals	18
II.2.2.2.2.2. Les déchets spéciaux	18
II.2.2.2.2.3. Les déchets dangereux	19
II.2.2.3. Selon le comportement et les effets sur l'environnement	19
II.2.2.3.1. Les déchets inertes	19
II.2.2.3.2. Les déchets fermentescibles	19
II.2.2.3.3. Les déchets toxiques	19
II.3. Déchets alimentaire	19
II.4. Impact des déchets alimentaire	20
II.5. Valorisation des déchets alimentaire	20
II.6. Gestion de déchet alimentaire	21
II.6.1. Prévenir le gaspillage alimentaire à la source et dans la chaîne d'approvisionnement	21
II.6.2. Redistribuer l'excédent	21
II.6.3. Nourrir les animaux	22
II.6.4. Utilisation industrielle	22
II.7. Les déchets alimentaires en Algérie	22
II.8. Le déchet de marc de café	23
II.8.1. Introduction	23
II.8.2. La chimie du marc de café	24
II.8.2.1. Glucides	26
II.8.2.2. Lipides	26
II.8.2.3. Acides	26
II.8.3. Les types du marc de café	27
II.8.3.1. Arabica	27
II.8.3.2. Robusta	27
II.8.3.3. Libéria	27
II.8.3.4. Excelsa	28
II.8.4. Les caractéristiques du marc de café	28
II.8.4.1. Propriétés physiques du marc de café	28
II.8.4.2. Propriétés chimiques du marc de café	29
II.8.4.3. Propriétés bioactives du marc de café	30
II.9. Les utilisations possibles du marc de café	31
II.9.1. Gommage naturel visage et corps	31
II.9.2. Anti-mauvaises odeurs	31
II.9.3. Nettoyer vos canalisations	31
II.9.4. Engrais organique	31
II.9.5. Activateur de compost	31
II.9.6. Terreau pour semis	31
II.9.7. Répulsif contre les petits ravageurs	32
II.10. Utilisation du marc de café dans le domaine du génie civil	31
II.10.1. Terre cuite	31
II.10.2. Agrégats	31
II.10.3. Isolation thermique et acoustique	31
II.10.4. Stabilisation et renforcement des sols par le marc de café	31
II.10.5. Mortier et ciment pour mortier	33
II.11. Conclusion	33

CHAPITRE III : RESULTATS EXPERIMENTAUX

III.1. Introduction	34
III.2. Matériaux utilisés	34
III.3. Caractéristiques des matériaux	34
III.3.1. Caractéristique des sables et du déchet	35
III.3.1.1. Analyses granulométrique	36
III.3.1.2. Les masses volumiques des sables et du déchet	38
III.3.1.2.1. Masse volumique apparent	38
III.3.1.2.2. Masse volumique absolue	39
III.3.1.2.3. Equivalent de sable	40
III.3.1.2.4. Teneur en eau	42
III.3.1.2.5. Absorption	43
III.3.2. Caractéristiques du ciment utilisé	44
III.3.3. L'eau de gâchage	45
III.3.4. Adjuvants	46
III.3.4. Le déchet du Marc de café	46
III.4. Formulation des compositions	47
III.4.1. Traitement du déchet du Marc de café : (pour la composition à base du sable de dune)	48
III.4.2. Contrôle de la plasticité (étalement)	49
III.4.3. Confection des éprouvettes (malaxage et mise en place)	51
III.4.3.1 Préparation de la pâte	51
III.4.3.2 Confection des éprouvettes	52
III.4.4. Conservation des éprouvettes	53
III.5. Conclusion	54

CHAPITRE IV : CARACTERISATION PHYSICO-MECANIQUE

IV.1. Introduction	55
IV.2. Essais de caractérisation des différents mortiers à 28 jours	55
IV.2.1. Caractérisation physique	55
IV.2.1.1. Absorption par immersion totale	56
IV.2.1.2. Porosité accessible à l'eau	57
IV.2.1.3. Masses volumiques sèche et humide	58
IV.2.2. Caractérisation mécanique	61
IV.2.2.1. Résistance à la traction par flexion trois points	61
IV.2.2.2. Résistance à la compression	63
IV.2.2.3. Module d'élasticité dynamique	65
IV.3. Conclusion	69

CHAPITRE V : INTERPRETATION ET EXPLOITATION DES RESULTATS

V.1. Introduction	70
V.2. Présentations des conditions extrêmes choisis	70
V.2.1. Gel-dégel	70
V.2.2. Milieu d'hiver (mouillage/séchage)	70
V.2.3. Milieu chlorure	70
V.2.4. Environnement d'été (Température)	71

V.3. Influence du déchet alimentaire (Marc de café) sur les propriétés mécaniques du mortier aux conditions extrêmes	71
V.3.1 Effet du déchet (MC)	71
V.3.1.1. Gel-dégel	71
La résistance à la compression	71
La résistance à la traction par flexion	72
Le module d'élasticité dynamique	73
V.3.1.2. Milieu chlorure	74
La résistance à la compression	74
La résistance à la traction par flexion	75
Le module d'élasticité dynamique	76
V.3.1.3. Environnement d'hiver	77
La résistance à la compression	77
La résistance à la traction par flexion	78
Le module d'élasticité dynamique	79
V.3.1.4. Environnement d'été	80
La résistance à la compression	80
La résistance à la traction par flexion	81
Le module d'élasticité dynamique	82
V.3.2 Effet de l'environnement	84
V.3.2.1. La résistance à la compression	84
V.3.2.2. La résistance à la traction par flexion	85
V.3.2.3. Le module d'élasticité dynamique	87
V.4. Conclusion	88
Conclusion générale et perspectives	89
Notations et abréviations	
Liste des figures et des tableaux	
Références bibliographiques	
Annexe	

Introduction générale

Les déchets sont tous les résidus d'un processus de production, de transformation ou de consommation, dont le propriétaire ou le détenteur a l'obligation de se défaire ou de l'éliminer.

L'élimination des déchets comprend les opérations de traitement thermique, physico-chimique et biologique, de mise en décharge, d'enfouissement, d'immersion et de stockage des déchets, ainsi que toutes les autres opérations ne débouchant pas sur une possibilité de valorisation ou autre utilisation du déchet.

La gestion des déchets concerne la collecte, le transport, le traitement, la réutilisation ou l'élimination des déchets produits par l'activité humaine. Elle vise généralement à réduire leurs effets sur la santé, sur l'environnement et sur l'esthétique du paysage. On se préoccupe plus à présent à la réduction de l'effet des déchets sur la nature et de leur valorisation.

Le marc de café usé est un sous-produit de déchet solide directement associé à la consommation de café. Les grains de café sont l'un des produits les plus commercialisés dans le monde. En conséquence, de grandes quantités de marc de café usé (SCG) des cafés sont envoyés dans des décharges. Cela contribue à un problème mondial de perte et de gaspillage de nourriture, qui devrait maintenant atteindre 2,1 milliards de tonnes de nourriture gaspillée et une valeur économique perdue de 1,5 billion de dollars dans le monde d'ici 2030.

Dans notre étude la formulation des mélanges adoptée se base sur la substitution de deux type de sable celui de dune et celui de la carrière, par différent pourcentage (5%, 10%, 15% et 20%) de déchet alimentaire (marc de café). Le dosage de ciment est fixé à 450 g.

Le manuscrit est composé de cinq chapitres :

Le premier chapitre est une analyse bibliographique sur les différents mortiers et ses constitutions, ainsi que leurs classifications et propriétés ...etc).

Le deuxième chapitre est une recherche bibliographique sur les déchets alimentaires, où on a visé **la lumière sur** le déchet du marc de café (définition, impact, valorisation, types, propriétés).

Il est nécessaire que les matériaux soient malaxés correctement afin de produire un mélange homogène possédant par conséquent des propriétés uniformes. Par ailleurs, il faut choisir des essais adéquats pour parvenir à un meilleur contrôle des propriétés rhéologiques et mécaniques des formulations confectionnées. Pour cela, le chapitre III présente les caractéristiques des matériaux utilisés dans cette étude.

Dans le quatrième chapitre, la caractérisation physico-mécanique à 28 jours du nouveau composite était notre premier objectif. Cette caractérisation nous a permis au chapitre qui suit la comparaison des résultats.

Dans le chapitre V on a présenté les différents résultats expérimentaux obtenus durant la période des cycles à quatre différentes conditions extrêmes. Cela dans le but de contribuer ainsi à la valorisation de ce déchet. Aussi d'étudier l'effet de ces conditions extrêmes sur leurs caractéristiques mécaniques afin de pouvoir les utiliser dans certains domaines de construction.

Enfin, une conclusion générale permet de faire une synthèse des principaux résultats obtenus, sans oublier quelques perspectives qui peuvent ouvrir de nouveaux horizons de recherche.

CHAPITRE I : Recherche bibliographique

« Les mortiers »

I.1.Introduction :

Une construction est généralement réalisée par éléments, dont il faut assurer la liaison ou qu'il faut protéger par un revêtement. On doit alors effectuer des scellements ou divers travaux de reprise, de bouchage, etc. Toutes ces opérations se font à l'aide d'un liant toujours mélangé à du sable, de l'eau – et éventuellement un adjuvant – pour obtenir un « Mortier ». [1]

I.2. Le mortier :

I.2.1. Définition :

Le mortier est un matériau de construction obtenu par mélange de liant, de sable et d'eau, éventuellement des adjuvants, réalisé dans des proportions bien définies de manière à obtenir une pâte de plasticité convenable pour la mise en œuvre. [2] Il sert à lier les différents éléments de construction tels que des briques, des pierres, des blocs de béton (parpaings)... ou à exécuter des revêtements et des enduits de façade.



Figure I.1 : Exemple d'un gâchait de mortier. [3]

I.2.2. Constituants des mortiers :

Les mortiers sont en fait des micros - bétons et leurs principes de compositions sont les mêmes.

Ils sont composés de ciment, de sable, d'eau et éventuellement d'adjuvants. On peut l'illustrer par la figure ci-contre : [4]



Figure I.2: Composition d'un mortier. [5]

I.2.2.1. Le Liant :

On utilise généralement des liants hydrauliques qui peuvent être le ciment, cette dernière est une matière pulvérulente à base de silicate et d'aluminate, et de la chaux obtenue par la cuisson.

Généralement, on peut utiliser : Les ciments (normalisés et spéciaux) ; Les liants à maçonner ; Les chaux (hydrauliques naturelles et éteintes). [6]

I.2.2.2. Le sable :

Normalement, les sables utilisés sont les sables appelés "sable normalisé". Les sables de bonne granulométrie doivent contenir des grains fins, moyens et gros. Les grains fins se disposent dans les intervalles entre les gros grains pour combler les vides. Ils jouent un rôle important : Ils réduisent les variations volumiques, les chaleurs dégagées et même le prix. Les dosages se feront en poids plutôt qu'en volume comme c'est souvent le cas, afin d'éviter les erreurs de dosage, par suite de l'augmentation de volume de sable humide. [6]

I.2.2.3. L'eau de gâchage :

L'eau est un des ingrédients essentiels du béton/mortier, elle intervient à toutes les étapes de la vie du matériau par ses propriétés physico-chimiques et mécaniques. L'eau introduite dans le

béton/mortier lors de sa fabrication va remplir deux fonctions essentielles : une fonction physique qui confère au béton/mortier frais des propriétés rhéologiques permettant son écoulement et son moulage et une fonction chimique qui contribue au développement de la réaction d'hydratation. L'aspect fondamental du dosage en eau reste celui de la recherche d'un optimum sur un objectif contradictoire : une meilleure résistance obtenue en réduisant la quantité d'eau et une amélioration de l'ouvrabilité en augmentant la teneur en eau. C'est lors de la recherche de cet optimum que les adjuvants peuvent jouer un rôle. [6]

I.2.2.4. L'adjuvant :

Les adjuvants sont des produits chimiques de plus en plus courants lors de la fabrication du béton. Ajoutés à faible dose lors de la préparation du béton, ces produits améliorent certaines caractéristiques de ce matériau (l'étanchéité ou le temps de prise par exemple). Les différents types d'adjuvants qui existent vous permettront d'obtenir un béton avec les caractéristiques spécifiques que vous souhaitez lui donner. [7]

Les principaux adjuvants sont les suivants :

- Accélérateur de prise
- Accélérateur de durcissement
- Retardateur de prise
- Plastifiant
- Super plastifiant
- Entraîneur d'air
- Pigments [7]



Figure I.3 : Application de béton fluide. [7]

I.2.2.5. Les ajouts :

Dans tous les cas des soins particuliers doivent être pris afin d'obtenir des mortiers sans ressuage, homogènes d'une gâchée à l'autre. Les ajouts que l'on utilise dans les mortiers sont : (poudres fines pouzzolaniques; fibres de différentes natures; colorants; polymères). [6]

I.2.3. Fabrication des mortiers :

I.2.3.1. Fabrication à la main :

Il faut tout d'abord, avec la pelle, mélanger à sec le sable et liant aussi parfaitement que possible et former ensuite au milieu du mélange une cuvette qui recevra l'eau de gâchage. La masse est humectée progressivement puis malaxée à l'aide d'un robot à mortier. [8]

Cependant il faut savoir :

- Que le mélange à sec doit être fait soigneusement pour que le liant soit parfaitement réparti dans toute la masse.
- Que l'eau doit être versée en plusieurs fois, d'abord pour la commodité et la qualité du mélange, ensuite parce qu'il est facile d'ajouter un peu d'eau alors qu'on ne peut pas en enlever. [8]



Figure I.4 : Exemple d'une fabrication des mortiers à la main. [9]

I.2.3.2. Fabrication mécanique :

La fabrication des mortiers se fait à l'aide des engins appelés bétonnières. Avec certains modèles, le mélange doit être fait à sec, en partie avant l'introduction dans les tambour mélangeur où il est mouillé convenablement. D'autres font elles-mêmes le mélange complet : on introduit soit directement dans le tombeur, soit dans une benne, l'ensemble des éléments constitutifs du mortier. L'opération ne dure que quelques minutes, elle est beaucoup plus rapide et moins pénible qu'à la main. [8]



Figure I.5 : Exemple d'une fabrication des mortiers mécanique. [9]

I.2.4. Les différents types de mortiers :

I.2.4.1. Selon leur domaine d'utilisation :

En général, les mortiers diffèrent en fonction de l'application. Les catégories suivantes me viennent à l'esprit :

- Mortier de pose ;
- Mortier de joints ;
- Mortier pour les crépis ;
- Mortier pour le sol ;
- Mortier pour les stucs ;
- Pierres artificielles ;
- Support pour les peintures murales ;
- Mortier d'injection ;
- Mortier pour les mosaïques ;
- Mortier de réparation pour pierres. [10]

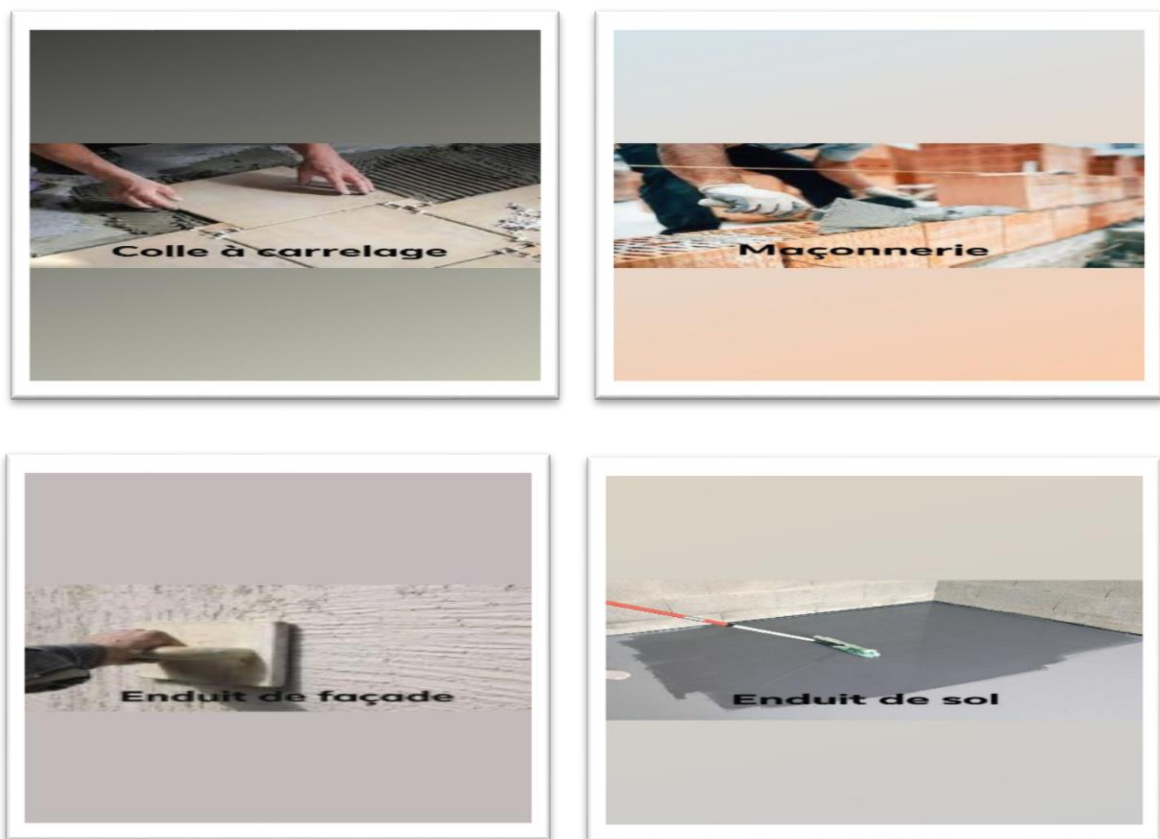


Figure I.6 Applications des mortiers.

I.2.4.2. Selon la nature du liant :

Selon le type de liant, les mortiers peuvent être classés en :

- **Les mortiers de ciment :**

Le ciment portland donne au mortier de maçonnerie sa résistance mécanique, en particulier la résistance initiale, qui est indispensable à une époque où la vitesse de construction est telle que l'on exige qu'un mur puisse supporter une charge importante le lendemain même de sa construction. Les mortiers de ciment portland manquent de plasticité, ont un faible pouvoir de rétention d'eau et sont difficiles à travailler. Le dosage du rapport entre le ciment et le sable est en général volumétrique de 1,3 et le rapport de l'eau sur ciment est environ 0,35. De plus, un dosage en ciment les rend pratiquement imperméables. [11]

- **Les mortiers de chaux :**

C'est le composant traditionnel du mortier, il possède une plasticité et un pouvoir de Rétention d'eau excellent, mais sa résistance mécanique est faible et sa cure est lente. La chaux grasse, obtenue par extinction de la chaux vive en la laissant vieillir, est le produit de qualité que l'on devrait utiliser, mais

le vieillissement prend beaucoup de temps et le travail de la chaux grasse est très salissant. C'est pourquoi il est plus pratique d'utiliser la chaux hydratée sèche. La cure des mortiers de chaux s'effectue lentement par carbonatation sous l'effet du gaz carbonique de l'air ; ce processus peut être fortement ralenti par un temps froid et humide. [11]

- **Les mortiers bâtards :**

Ce sont les mortiers, dont le liant est le mélange de ciment et de chaux, dans les proportions égales, suivant leur domaine d'utilisation éventuelle, les compositions de chaux et ciment peuvent être variées. [11]

- **Les mortiers fabriqués sur chantier :**

Ils sont préparés avec le ciment et le sable du chantier. Le ciment est un ciment courant CPJ et parfois des ciments spéciaux comme le ciment alumineux fondu. On emploie également des chaux hydrauliques et parfois des liants à maçonner. Le sable est le plus souvent roulé (nature silico-calcaires) parfois concassé et le gâchage s'effectue à la pelle ou à l'aide d'une petite bétonnière. Ces mortiers ne sont donc pas très réguliers et les sables peuvent être différents d'une livraison à l'autre, mais de toute façon ils doivent être propre et de bonne granulométrie. Le sable est généralement dosé en poids (ce qui est préférable), soit en volume (cas des petits chantiers). Dans ce dernier cas, il est très important de tenir compte du phénomène de foisonnement des sables. [12]

- **Mortiers de plâtre :**

Réalisés à partir d'enduits et de liants anhydrite, qui sont des liants à base de gypse. [13]

- **Mortier industriel :**

Ce sont des mortiers que l'on fabrique à partir de constituants secs, bien sélectionnés, Conditionnés en sacs, près à l'emploi, contrôlés en usine et parfaitement réguliers. Pour utiliser ce type de mortier, il suffit de mettre la quantité d'eau nécessaire et malaxer pour ensuite les mettre en œuvre. Les fabricants de mortiers industriels proposent une gamme complète de produits répondant à tous les besoins.

- Mortiers pour enduits de couleur et d'aspect varié ;
- Mortiers d'imperméabilisation ;
- Mortier d'isolation thermique ;
- Mortier de jointoiment ;
- Mortier de ragréage ;
- Mortier de scellement, mortier pour chapes ;
- Mortier-colle pour carrelages, sur fond de plâtre ou de ciment ;
- Mortier de réparation. [14]



Figure I.7 : Les types de mortiers. [15]

I.2.5. Les caractéristiques de mortier :

Elles sont nombreuses. à savoir :

- **Résister** à l'écrasement en répartissant régulièrement les pressions ;
- **Etre compact** : pour éviter l'infiltration des eaux dans les ouvrages, et accroître la résistance mécanique ;
- **Etre imperméable** : pour obtenir un maximum d'étanchéité des joints de maçonnerie, et des enduits ; Adhérer aux matériaux : pour mieux transmettre les charges, ou créer un écran durable contre les intempéries ;
- **Conserver un volume constant** pendant la prise et le durcissement pour éviter les tassements ou les dislocations des ouvrages ;
- **Résister aux agents agressifs** d'une atmosphère ou d'un sol pollués ;
- **Etre ouvrable**, afin que l'exécutant puisse le mettre en place dans les meilleures conditions ;
- **Conserver toutes ses qualités**, et notamment la permanence de la résistance. De quoi dépendront tous ces qualités ? des constituants : de leur nature ; De leur dosage. [16]

I.3. Le sable :

I.3.1. Définition de sable :

Le sable est un matériau granulaire constitué de petites particules provenant de la désagrégation d'autres roches dont la dimension est comprise entre 0.063 (limon) et 2mm (gravier) selon la définition des matériaux granulaires en géologie. Sa composition peut révéler jusqu'à 180 minéraux différents (quartz, micas, feldspaths) ainsi que des débris calcaires de coquillage et de Coraï [17].

I.3.2. Les classes de sables :

On peut classer les sables selon trois paramètres : [17]

- a) **La granularité** : Permet de séparer les sables en trois catégories (fins ; moyens ; grossiers).
- b) **La propreté et la teneur en fines** : Elle est appréciée par la valeur de l'équivalent de sable.
- c) **La nature minéralogique** : En général, les sables peuvent être classés comme suit : (siliceux ; silico-calcaires ; calcaires).

I.3.3. Les familles de sables :

I.3.3.1. Les sables roulés siliceux (0 /2) : dit ronds, sont issus d'un processus naturel d'érosion. En général, ils sont dragués dans les Oueds. Leur usage est courant depuis des années et est même recommandé. Cependant, les réserves disponibles sont proches de l'épuisement ou protégées par de nouvelles règles environnementales en matière de dragage des Oueds. Ce matériau est donc devenu moins intéressant économiquement [17] (Figure I.7).



Figure I.8 : Sable-siliceux-roulé-d'ÉI-Khledia. [18]

I.3.3.2. Les sables de concassage calcaires : sont le produit d'un processus industriel contrôlé de concassage, de lavage et de criblage appliqué à des roches calcaires exploitées en carrières, la contrainte du coût de revient élevé, le rends économiquement moins intéressant [17]. (Figure I.8).



Figure I.9: Sable de concassage calcaire. [19]

I.3.3.3. Le sable de dune : 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 [17] (Figure I.9).



Figure I.10: Sable de dune. [20]

I.3.4. Les sables de dunes :

Les sables de dune sahariens ont fait l'objet depuis longtemps de campagne de reconnaissance et d'identification scientifique. Dès les années 50, des campagnes d'investigation menées dans le saharien algérien ont mis en évidence des provinces minéralogiques homogènes. Dans ces immensités désertiques, les sables sont caractérisés par une composition minéralogique et granulaire quasi similaires. Depuis et ce à ce jour, plusieurs investigations ont été tentées dans le but de l'utilisation de ce matériau surabondant dans le domaine de la construction, notamment en Algérie et en Afrique qui ont fait l'objet de travaux de recherche [17]

I.3.5. Données bibliographiques sur les sables de dunes Algérien :

I.3.5.1 Compositions granulométriques : Les compositions granulométriques représentées par le pourcentage des tamisât sont reportées dans le tableau I.1.

Tableau I.1: Compositions granulométriques des sables de dune. [21]

tamis (mm)	5,0	2,5	1,25	0,63	0,315	0,16	0,125	0,08
%								
EL Golea	100	100	100	99,76	27,13	18,27	9,57	1,46
EL Oued	100	100	100	99,46	91,42	65,59	9,12	0,65
Biskra	100	100	100	99,37	83,84	-	6,89	1,58
HassiBahbah	100	99,98	99,91	99,30	92,71	68,67	4,34	0,57
Ain Safra	100	99,99	99,97	99,95	95,86	54,23	2,72	0,01

Ces sables ont une granulométrie fine, (les plus gros grains n'atteignent pas 1 mm de taille) [21]

I.3.5.2 Composition minéralogique :

Des tests effectués sur la composition minéralogique des sables provenant des différentes régions ont permis de constater que :

- Le quartz forme plus de 85% du sable : les grains sont généralement arrondis et parfois anguleux.
- La calcite se manifeste par des grains de couleurs différentes variant autour de 5% ; ils ne dépassent en aucun cas les 10%.
- Le gypse se trouve sous forme de grains fins, de couleur blanchâtre avec des pourcentages ne dépassant pas les 2 à 3%.
- On peut également trouver dans certains gisements du feldspath, son pourcentage ne dépasse pas les 4%. [23]

I.3.5.3 Caractéristiques physiques :

On peut regrouper les propriétés moyennes des différents sables étudiés dans le tableau I.2:

Tableau I.2: Propriétés physiques des sables du Sud. [21]

Région	Humidité naturelle en %	Masse volumique apparente (kg/m ³)	Masse volumique absolue (kg/m ³)
EL Golea	0,34	1590	2500
EL Oued	2,60	1420	-
Biskra	1,40	1510	-
HassiBahbah	2,62	1550	-
Ain Safra	0,50	1485	2660

I.3.5.4 Composition chimique :

Les sables de dune sont caractérisés par une teneur relativement importante de silice (SiO₂).

Les résultats des analyses chimiques sont regroupés dans le tableau I.3 :

Tableau I.3 : Compositions chimiques des sables du sud. [21]

Région	EL Golea	EL Oued	Biskra	HassiBahbah	Ain Safra
SiO₂	94-88	86,85	67,90	94,50	96,86
Al₂O₃	1,28	1,15	0,65	1,67	0,89
Fe₂O₃	0,54	0,40	0,50	0,25	0,39
CaO	0,97	5,81	15,88	1,43	0,66
MgO	0,63	0,30	0,60	0,10	0,09
SO₃	0,52	0,24	0,79	0,65	0,29
K₂O	0,25	0,37	0,16	0,22	0,32
Na₂O	0,14	0,08	0,09	0,23	0,02
TiO₂	0,12	-	-	-	0,08
Mno	0,04	-	-	-	0,05
Cl	0,04	0,004	-	-	-
P-F	1,00	4,60	13,33	1,43	-

I.3.6. Les sables concassés :

Le sable est la troisième ressource naturelle la plus consommée après l'air et l'eau. Les sables artificiels sont des sables produits à partir de roche concassée ou de sous-produits de concassage. Les sables concassés sont une bonne alternative économique et écologique. [22]

Les granulats concassés de roche massive sont des granulats naturels extraits de carrières. Ils sont obtenus par abattage et concassage, ce qui leur confère des formes très angulaires. Les roches massives les plus couramment utilisées dans l'industrie du béton, quatre roches sont d'origine

magmatique : granite, porphyre, basalte, diorite ; deux roches sont d'origine métamorphique : quartzite, marbre ; une roche est sédimentaire : le calcaire. [23]

I.3.7. Données bibliographiques sur les sables concassés Algérien :

Dans le tableau qui suit les caractéristiques des granulats issus de roches massives concassées. Nous nous sommes intéressés aux types de roches les plus couramment utilisées dans l'industrie du béton. Parmi les granulats calcaires, il faut distinguer les calcaires durs des calcaires tendres. En effet, un calcaire dur possède des propriétés très proches d'une roche magmatique ou métamorphique tandis qu'un calcaire tendre présente une absorption d'eau, une sensibilité au gel ainsi que des propriétés mécaniques beaucoup moins favorables à la réalisation d'un béton. [24]

Caractéristique	Nature de la roche							
	Type de granulat	Granite	Porphyre	Basalte	Diorite	Quartzite	Marbre	Calcaire
Propriétés physiques								
Masse volumique réelle (tonnes/m ³)	sable gravillon	2,6 2,7 2,8	2,5 2,6 2,7	2,7 2,8 2,9	2,6 2,8 2,9	2,5 2,6 2,7	2,5 2,6 2,7	2,2 2,5 2,7
Absorption eau (%)	sable gravillon	0,7 0,9 1,3	0,4 0,8 1,2	1,2 1,5 1,8	0,3 0,5 0,7	0,6 0,9 1,4	0,2 0,4 0,7	1,2 2,5 3,2
Sensibilité au gel (%)	sable gravillon	0,6 0,8 1,2	0,6 0,8 1,2	0,6 0,8 0,9	0,3 0,5 0,8	0,5 0,7 0,9	0,1 0,3 0,5	0,8 1,4 2,3
Module de Finesse	sable gravillon	<10	<10	<5	<5	<5	<10	0,8 50
Coefficient d'aplatissement (%)	sable gravillon	2,9 3,1 3,3	2, 2,5 3,2	2,7 3,1 3,7	2,2 2,5 2,9	2,5 3,1 3,6	• 2,5* •	2,4 2,9 3,6
Teneur en fines (<80 µm)	sable gravillon	11 14 16	13 14 15	11 14 17	8 10 12	14 15 16	7 12 23	1 7 12
Equivalent de sable (PS en %)	sable gravillon	9 11 17	10 14 18	7 9 12	13 13 15	9 12 16	• 10* •	6 12 19
Valeur de bleu (g de colorant/kg de fraction 0,2 mm)	sable gravillon	58 64 71	53 59 71	65 68 70	62 64 68	48 63 75	• 75* •	67 74 79
Matières organiques (%)	sable gravillon	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,7
Impuretés (%)	sable gravillon	test négatif	test négatif	test négatif	test négatif	test négatif	test négatif	test négatif
Éléments coquilliers (%)	sable gravillon	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Propreté (%)	sable gravillon	sans objet	sans objet	sans objet	sans objet	sans objet	sans objet	sans objet
Propriétés mécaniques								
Los Angeles	gravillon	12 20 32	11 17 25	8 13 17	10 13 16	15 18 25	15 22 32	16 31 49
Propriétés chimiques								
Teneur en soufre total (%)	sable gravillon	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,3	<0,1
Teneur en sulfates (%)	sable gravillon	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Teneur en chlorures (%)	sable gravillon	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02

* valeur unique

Concernant les propriétés physiques, mis à part les calcaires tendres, toutes les roches étudiées ont une masse volumique légèrement plus élevée que celle des granulats alluvionnaires. Parmi ces roches, les basaltes et les diorites se différencient des autres roches par des masses volumiques réelles supérieures. Le coefficient d'absorption d'eau moyen et la sensibilité au gel des granulats concassés de roche massive sont comparables à ceux des granulats alluvionnaires, mis à part pour les calcaires tendres qui sont par définition des roches poreuses. De manière générale, les granulats concassés sont plus anguleux, plus écaillés et plus allongés que les granulats alluvionnaires ; ils ont donc un coefficient d'aplatissement plus élevé. [24]

Concernant la propreté des granulats concassés de roche massive, la valeur de bleu, les teneurs en matières organiques, en impuretés et en éléments coquilliers sont comparables à celles des granulats alluvionnaires. La spécificité des granulats concassés est leur importante teneur en fines (9 à 14 %) et leur équivalent de sable plus faible que celui des granulats alluvionnaires. En ce qui concerne les propriétés mécaniques, les granulats concassés de roche massive ont globalement un Los Angeles plus faible que celui des granulats alluvionnaires, ce qui signifie une meilleure résistance à la fragmentation par chocs. Il faut noter que les granulats de basalte et de diorite sont plus résistants que les autres granulats concassés de roche massive. Les granulats calcaires tendres peuvent avoir un Los Angeles supérieur à 30, ce qui est caractéristique d'une roche peu résistante à la fragmentation par chocs. Enfin, concernant les teneurs en soufre total, sulfates et chlorures, rien ne différencie un granulats concassés de roche massive d'un granulats alluvionnaire. [24]

I.4. Conclusion

En résumé, nous avons présenté une analyse bibliographie qui a compris : premièrement presque tous ce qui concerne les mortiers (types, caractéristique, destination...), puis deuxièmement une aperçu sur les sables de dunes comme source naturel renouvelable et les sables de carrières comme source due au concassage (une bibliographie sur leurs caractéristiques...).

CHAPITRE II : Recherche bibliographique

« Les déchets alimentaires »

II.1. Introduction :

Au départ, un déchet est une chose dont on ne se sert plus, et qu'on jette. Mais souvent ce qu'on jette peut encore être utile.

II.2. Généralité sur les déchets :

Domaine et l'intérêt d'étude et parfois l'origine et l'état du déchet.

Parmi les nombreuses définitions existantes, nous pouvons mentionner celles qui nous paraissent les plus intéressantes :

- Le déchet est un résidu abandonné par son propriétaire, car inutilisable, sale ou encombrant.
- « Est considéré comme déchet, tout résidu d'un processus de production, de transformation ou d'utilisation, toute substance, matériau, produit ou plus généralement, tout bien meuble abandonné ou que son détenteur destine à l'abandon »
- Les déchets sont des résidus de l'emploi de matières solides qui peuvent être putrescibles ou non putrescibles.
- Les déchets sont des matières normalement solides ou semi-solides résultant des activités humaines et animales qui sont indésirables ou dangereuses

La Loi N°01-19 du 12/12/2001 relative à la gestion, au contrôle et à l'élimination des déchets arrête (officiellement) les définitions des différents types de déchets comme suit : [25]

II.2.1. Définition du terme « déchet » :

« **Déchets** : tout résidu d'un processus de production, de transformation ou d'utilisation et plus généralement toute substance, ou produit et tout bien meuble dont le propriétaire ou le détenteur se défait, projette de se défaire, ou dont il a l'obligation de se défaire ou de l'éliminer. ». [25]

II.2.2. Classification des déchets :

Composition varie selon l'époque et le lieu (exemple des déchets ménagers dont la nature est différente qu'ils soient produits à la ville ou à la campagne, l'été ou l'hiver).

Plusieurs classifications ont été proposées. L'une d'entre elles, basée sur le périmètre de collecte, permet de faire un tour d'horizon complet, en distinguant les origines municipales, industrielles et

agricoles. Les limites de cette classification résident dans les nombreuses interférences existant entre ces différentes origines. [26].

Dans notre travail, nous avons opté pour une classification comprenant deux (02) grandes classes de déchets solides en se basant sur la source de déchets :

- ☑ Déchets industriels
- ☑ Déchets urbains.

II.2.2.1. Les déchets urbains :

A partir de la notion « d'ordure ménagère », vocable par lequel on a longtemps désigné les résidus des ménages correspondant, de par leur origine et leur nature, à une certaine limitation en quantité et en dimensions, on a été conduit du fait de l'évolution du niveau de vie répercuté par les caractéristiques quantitatives et qualitatives des déchets, à passer à la notion plus générale de résidus ou déchets urbains. [26]

II.2.2.1.1. Les déchets ménagers et assimilés :

Les déchets ménagers constitués :

- ☞ Des ordures ménagères qu'elles aient été collectées sélectivement ou en mélange
- ☞ Des déchets occasionnels des ménages : déchets encombrants, de jardinage, de bricolage
- ☞ Des déchets des collectivités tels que les déchets verts de nettoyage de voirie, de marchés, etc. ;

Les déchets assimilés, c'est à dire les déchets du commerce, de l'artisanat et de l'industrie relevant des mêmes filières d'élimination que les déchets des ménages, communément appelés « déchets industriels banals ». [26]

II.2.2.1.2. Les déchets encombrants :

Déchets de l'activité domestique occasionnelle des ménages, qui, en raison de leur volume ou de leur poids, ne peuvent être pris en compte par la collecte des ordures ménagères ; ils comprennent notamment les équipements ménagers usagés (électroménager, vieux meubles et literie, textiles et vêtement, gros cartons, vélos), les déblais, les gravats, les déchets verts des ménages. Leur remise se fait dans une déchetterie (espace aménagé, gardé et clôturé),

- ☞ Le public peut apporter ses déchets encombrants et éventuellement d'autres déchets triés en les répartissant dans des contenants distincts en vue de valoriser et traiter (ou stocker) au mieux les matériaux qui les constituent ;
- ☞ Déchets de chantier : bâtiment (bois, matières plastiques, métaux, briques, béton, tuiles) et génie civil (asphalte, revêtements routiers et matériaux d'excavation) ;
- ☞ Matières usagées provenant de collecte séparées : déchets valorisables issus des ménages, de la petite industrie et de l'artisanat (vieux papier, compost, verre, textiles, PET)

➤ Déchets valorisables issus de l'industrie et de l'artisanat essentiellement des métaux (rebus de l'industrie des machines-outils, et électrotechnique, déchets d'aluminium), matières plastiques, pneus usagés et déchets de câbles enrobés de matière plastique. [26]

II.2.2.1.3. Les déchets hospitaliers :

Ce sont des déchets spécifiques des activités de diagnostic médical, de suivi et de traitement préventif et curatif. Ces déchets sont classés comme des déchets dangereux, et doivent être séparés des autres déchets, ils utilisent des emballages à usage unique avant d'enlèvement, des durées maximales d'entreposage sont imposées, le transport de ces déchets répond aux exigences imposées aux matières dangereuses (conditionnement, étiquetage, classement par risque biologique). [26]

II.2.2.2. Les déchets industriels :

On range sous l'appellation générale déchets industriels (DI)" les déchets qui ne peuvent être ni admis en décharge ni ramassés avec les ordures ménagères (OM) en raison de leur toxicité. Leur diversité n'a d'égale que la variété de leurs caractéristiques, puisqu'ils dépendent étroitement des produits finis et des modes de fabrication. "

Les déchets industriels se différencient des déchets des ménages par la variation plus rapide de leur composition et des quantités produites et également par la grande variation de leur caractère toxique en fonction du type d'activités. [26]

II.2.2.2.1. Selon leur nature :

La classification des déchets d'après leur nature aboutit à trois catégories essentielles : Déchets solides, Déchets liquides et Déchets gazeux.

Dans ce qui suit, il ne sera considéré que les déchets solides et semi-solides étant donné le contexte et l'objet du présent guide. [26]

II.2.2.2.2. Selon le mode de traitement et d'élimination :

II.2.2.2.2.1. Les déchets banals :

Cette catégorie regroupe essentiellement des déchets constitués de papiers, plastique, cartons, bois produit par des activités industrielles ou commerciales et déchets ménagers.

II.2.2.2.2.2. Les déchets spéciaux :

Ils peuvent contenir des éléments polluants et sont spécifiquement issus de l'activité industrielle (boues de peintures ou d'hydroxyde métallique, cendres d'incinération etc.). Certains déchets sont aussi dits spéciaux lorsque leur production importante sur un même site entraîne des effets préjudiciables pour le milieu naturel (mâchefers des centrales thermiques, phosphogypse, ainsi que certains déchets provenant des laboratoires universitaires et hospitaliers etc.). [26]

II.2.2.2.3. Les déchets dangereux :

Issus de la famille des déchets spéciaux, ils contiennent des quantités de substances toxiques potentiellement plus importantes et présentent de ce fait beaucoup plus de risques pour le milieu naturel (poussières d'aciéries, rejets organiques complexes, bains de traitement de surface contenant soit du chrome, cyanure ou une forte acidité, les matériaux souillés par les P.C.B., les déchets de C.F.C. et mercuriels. [26]

II.2.2.3. Selon le comportement et les effets sur l'environnement :

II.2.2.3.1. Les déchets inertes :

Pouvant être différenciés suivant leur caractère plus ou moins encombrant, en débris plus ou moins volumineux jusqu'aux carcasses d'automobiles, chars, avions, bus, etc.

II.2.2.3.2. Les déchets fermentescibles :

Débris de matière organique animale et végétale provenant des agglomérations, marchés, abattoirs, hôpitaux leur potentiel fermentescible ; étant en milieu aérobie qu'anaérobie, leur confère des nuisances diverses pour l'environnement et la publique.

II.2.2.3.3. Les déchets toxiques :

Poisons chimiques ou radioactifs qui sont générés soit par des industries, soit par des laboratoires ou tout simplement par des particuliers qui se débarrassent avec leurs ordures de certains résidus qui devraient être récupérés séparément (ex : flacons de médicaments, seringues, piles et autres gadgets électroniques etc.) [26]

II.3. Déchets alimentaire :

- Les déchets alimentaires, aussi appelé « déchets de cuisine et de table », qui représentent l'essentiel des bio déchets produits par les ménages ou les professionnels de la restauration. Il s'agit des déchets de cuisine tels que les restes de repas ou de préparation de repas, ou encore les produits périmés non-consommés. Ils sont notamment issus des ménages, des restaurants, des traiteurs ou des magasins de vente au détail ainsi que des établissements de production ou de transformation de denrées alimentaires.
- Les déchets issus de l'entretien des parcs et jardin, aussi appelé « déchets verts », tels que les tontes de pelouse et fauchage, les feuilles mortes, les tailles d'arbustes, haies et brindilles ou encore les déchets ligneux issus de l'élagage et de l'abattage d'arbres et de haies. [27]

II.4. Impact des déchets alimentaire :

Alors que la perte de nourriture se produit principalement au stade de la production en raison de compétences insuffisantes, de calamités naturelles, d'un manque d'infrastructures appropriées et de mauvaises pratiques.

Le gaspillage alimentaire se produit lorsque des aliments comestibles sont intentionnellement jetés par les consommateurs après que les aliments se sont gâtés ou ont dépassé la date de péremption. Parfois, le gaspillage alimentaire peut également se produire en raison d'une offre excédentaire sur les marchés.

En plus de cela, les détaillants ont tendance à rejeter beaucoup d'aliments parce qu'ils ne sont pas conformes à leurs normes de qualité et d'esthétique. Selon le rapport 2021 sur l'indice des déchets alimentaires du Programme des Nations Unies pour l'environnement (PNUE) , 17 % de la production alimentaire mondiale est gaspillée, 43 % de ces déchets provenant des ménages, 26 % des services alimentaires et 13 % du commerce de détail. [28]

II.5. Valorisation des déchets alimentaire :

La hiérarchie de récupération alimentaire donne la priorité aux actions que les organisations peuvent entreprendre pour prévenir et détourner les aliments gaspillés. Chaque niveau de la hiérarchie de récupération des aliments se concentre sur différentes stratégies de gestion de votre gaspillage alimentaire.

Les niveaux supérieurs de la hiérarchie sont les meilleurs moyens de prévenir et de détourner les aliments gaspillés, car ils créent le plus d'avantages pour l'environnement, la société et l'économie.

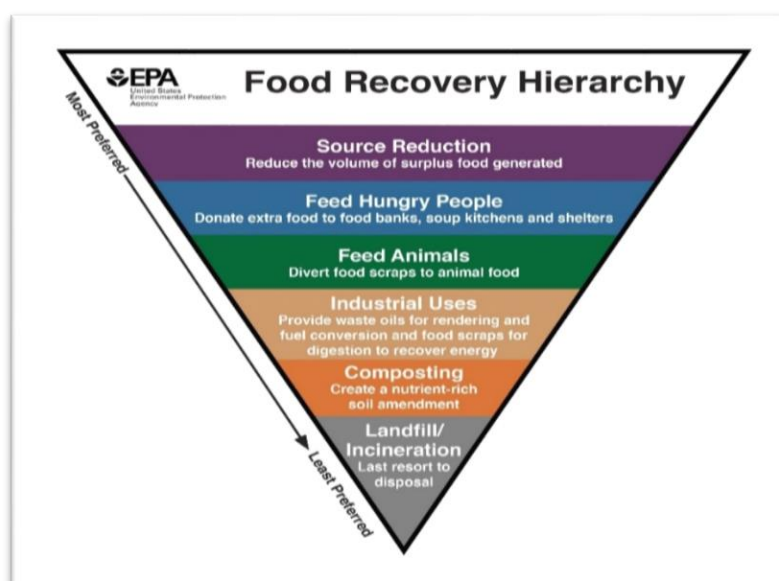


Figure II.1: Hiérarchie de récupération alimentaire. [29]

- Réduction à la source
- Nourrir les personnes affamées
- Nourrir les animaux
- Utilisations industrielles
- Compostage [29]

Les déchets alimentaires regroupent principalement des déchets organiques résultant des repas ou de leurs préparations. Une grande majorité de ces déchets est également considérée comme des biodéchets.

« A PARTIR DU MOMENT OU VOUS PRODUISEZ PLUS DE 10 TONNES DE DECHETS ALIMENTAIRES PAR AN, LA REGLEMENTATION EN VIGUEUR EXIGE QUE VOUS METTIEZ EN PLACE UNE SOLUTION DE TRI ».

On peut distinguer trois catégories de déchets alimentaires :

- Restes de repas : viandes, poissons, fromages, desserts, sauces...
- Préparation de repas : coquilles d'œufs, épluchures de fruits et légumes, marc de café...
- Autres : aliments périmés, ... [30]

II.6. Gestion de déchet alimentaire :

II.6.1. Prévenir le gaspillage alimentaire à la source et dans la chaîne d'approvisionnement :

Le gaspillage alimentaire commence dès la production, se poursuit tout au long de la chaîne d'approvisionnement jusqu'à. Selon les données des Etats-Unis, du Canada, de l'Australie et de la Nouvelle-Zélande, 20 pour cent des fruits et légumes sont perdus pendant la production, 12 pour cent sont perdus au niveau de la distribution et de la vente au détail, tandis que 28 pour cent sont perdus au niveau du consommateur. De même, dans le secteur des fruits de mer, 11 pour cent sont perdus au cours de la production, 5 pour cent pendant la transformation et l'emballage, 9,5 pour cent perdus au niveau de la distribution et de la vente au détail, et 33 pour cent au niveau du consommateur.

L'un des moyens de réduire le gaspillage alimentaire dans les restaurants consiste à acheter en fonction des ventes quotidiennes. Le stockage joue également un rôle important dans la prévention du gaspillage alimentaire. Le fait de conserver les aliments à la bonne température ralentit la croissance bactérienne, ce qui augmente la longévité des aliments. [31]

II.6.2. Redistribuer l'excédent :

Les militants sociaux et les ONG ont toujours encouragé les restaurants et les propriétaires de supermarchés à distribuer la quantité excédentaire de nourriture. Les fabricants et les détaillants de produits alimentaires peuvent contacter les organisations de distribution de produits alimentaires à des fins de don de nourriture. La distribution de l'excès de nourriture sur les tablettes peut servir à

deux fins-nourrir les affames et réduire les pertes de nourriture. Il existe de nombreux programmes de dons d'aliments qui permettent aux supermarchés et aux épiceries de donner des aliments qui ne sont pas propres à la vente mais qui sont propres à la consommation. Le don de tels aliments peut contribuer à réduire le gaspillage alimentaire, qui aurait autrement été rejeté dans les sites d'enfouissement. [31]

D'autres moyens de réduire le gaspillage alimentaire

II.6.3. Nourrir les animaux :

Il existe plusieurs programmes scolaires au Minnesota où ils collectent des restes de nourriture et en font don à des élevages de poulets ou de porcs. En moyenne, ces écoles collectent environ 7 tonnes de déchets alimentaires par jour. Le don de ces déchets alimentaires à des fermes d'animaux, qui autrement auraient été mis en décharge, peut permettre d'économiser environ 975\$ par jour en frais d'élimination des sites d'enfouissement, selon un article. [31]

II.6.4. Utilisation industrielle :

La réduction des déchets grâce à des utilisations industrielles implique des méthodes qui convertissent et récupèrent l'énergie des déchets alimentaires. La digestion anaérobie est l'une de ses méthodes. Ici, les microorganismes décomposent les déchets organiques ou les déchets alimentaires biodégradables en l'absence d'oxygène, et les convertissent en énergie. Plusieurs installations de traitement des déchets sont dotées de digesteurs anaérobies qui non seulement traitent les eaux usées, mais sont également capables de traiter les déchets alimentaires. Le conseil de contrôle de la pollution de l'eau de Los Angeles utilise une méthode dans laquelle il collecte tous les restes de nourriture, les déchets alimentaires et les aliments invendables ou gaspillés dans les restaurants, les épiceries et les convertit en pâte. Cette pâte est ensuite ajoutée au digesteur anaérobie. L'installation de gestion des déchets convertit ensuite cette pâte de déchets alimentaires en biogaz, qui peut ensuite être utilisé comme carburant pour faire fonctionner les machines de l'installation. Ces plans peuvent être étendus à d'autres grandes villes comme New York. [31]

II.7. Les déchets alimentaires en Algérie :

La quantité totale de déchets ménagers produits en Algérie en 2020 est estimée à environ 13,5 millions de tonnes. La croissance démographique et le développement urbain contribuent dans une large mesure à l'augmentation de la quantité de déchets produits ; entre 2016 et 2035, la production de déchets ménagers pourrait doubler, passant de plus de 11 MT en 2016 à 23 MT en 2035 [32]

1. D'où le souci des pouvoirs publics de mettre en place les systèmes les plus adaptés pour une gestion plus efficace des déchets. La part de la fraction organique dans la quantité totale de déchets produits dépasse 50%. Les résultats d'une étude réalisée en 2014 ont confirmé la prédominance de la fraction organique, qui représentait 54,40 % à cette période, ce qui justifie la récupération biologique (compostage et digestion anaérobie) comme solution pour réduire les quantités arrivant dans les décharges ou Centres d'Enfouissement Technique [33]

2. Une autre étude a révélé que le contenu des matières organiques jusqu'à 62% confirmait le potentiel de réduction des coûts significatif offerts par les méthodes de bio traitement [34]
3. Ces résultats ont été confirmés par une plus récente étude de terrain en 2018/2019 notamment que la fraction organique reste la fraction la plus importante des déchets solides municipaux, représentant 53,61%, suivie du plastique (15,31%) et du papier/carton (6,76%).

Ces données excluent les déchets provenant d'activités agricoles et d'élevage qui sont constitués à plus de 95 % de matière organique et gérés en dehors du cadre formel de gestion des déchets actuellement en place.

II.8. Le déchet de marc de café :

II.8.1. Introduction :

Le café, le deuxième produit le plus échangé et la deuxième boisson consommée dans le monde, est responsable de nombreuses charges environnementales sous la forme de marc de café usé (SCG), un sous-produit du processus de brassage du café. D'autre part, les empreintes carbone et les impacts environnementaux liés aux projets de construction sont très préoccupants. Par conséquent, les chercheurs et les industries ont récemment tenté de s'orienter vers des pratiques de construction vertes. Un aperçu de l'utilisation des SCG, en tant que source prometteuse de bio déchets verts, dans l'industrie civile et de la construction. D'après l'analyse documentaire effectuée, on peut conclure que les SCG ont une utilisation potentielle en tant qu'agrégats dans les matériaux de construction dans une large gamme **d'applications de génie civil**. Cependant, des recherches limitées et le manque de preuves d'applications pratiques réussies dans le domaine signifient que d'autres études approfondies dans ce domaine spécifique sont nécessaires. [35]



Figure II.2 : Résumé graphique. [35]

II.8.2. La chimie du marc de café :

Les principaux constituants du café sont la caféine, le tanin, l'huile fixe, les glucides et les protéines. Il contient 2 à 3 % de caféine, 3 à 5 % de tanins, 13 % de protéines et 10 à 15 % d'huiles fixes. Dans les graines, la caféine est présente sous forme de sel d'acide chlorogénique (CGA). Il contient également de l'huile et de la cire [36]

Les principaux ingrédients chimiques des grains de café sont indiqués ci-dessous :

- Caféine
- Tanin
- Thiamine
- Xanthine
- spermidine
- Gaïacol
- Acide citrique
- L'acide chlorogénique
- Acétaldéhyde
- Spermine

- Putrescine
- Scopolétine

La teneur en glucides du café vert et torréfié (Santos) a été identifiée et mesurée. Le café vert contenait environ 6 à 7% de saccharose sous forme de sucres solubles et une faible quantité de glucose. Les sucres solubles du café torréfié étaient le saccharose, le fructose et le glucose. [36]

Dans la pulpe de café, les tanins condensés sont les principaux composés phénoliques, tandis que dans les graines, les composés phénoliques existent principalement sous la forme d'une famille d'esters formés entre les acides hydroxycinnamiques et l'acide quinique, collectivement reconnus comme acides chlorogéniques (CGA). Les graines de café vert contiennent jusqu'à 14% de CGA, qui sont présents à des concentrations élevées et ont une plus grande influence pour déterminer la qualité du café et jouent un rôle essentiel dans la formation de la saveur du café. Les différents constituants ainsi que les composants du café sont présentés dans le tableau II.1.

Tableau II.1: Les composants du café. [36]

Constituant	Composants
Glucides solubles	Monosaccharides Fructose, glucose, galactose, arabinose (traces)
Oligosaccharides	Saccharose, raffinose, stachyose
Polysaccharides	Polymères de galactose, mannose, arabinose, glucose Polysaccharides insolubles
Hémicelluloses	Polymères de galactose, arabinose, mannose Cellulose Acides et phénols Acides volatils
Acides aliphatiques non volatils	Acide citrique, acide malique, acide quinique
Acides chlorogéniques	Acide mono-, dicaféoyl- et féruloylquinique Lignine Lipides Cire
Huile	Principaux acides gras : Composés N
Acides aminés libres	Principaux acides aminés : Glu, Asp, Asp-NH ₂ Protéines
Caféine	Traces de théobromine et de théophylline Trigonelline Minerals

II.8.2.1. Glucides :

La plupart des glucides présents, tels que la cellulose et les polysaccharides constitués de mannose, de galactose et d'arabinose, sont insolubles. [36]

II.8.2.2. Lipides :

La fraction lipidique semble être très stable, et sa composition est donnée ci-dessous.

L'acide linoléique est l'acide gras prédominant, suivi de l'acide palmitique.

Composition lipidique.

- ☒ Triacylglycérols.
- ☒ Esters diterpéniques.
- ☒ Diterpènes.
- ☒ Esters triterpéniques.
- ☒ Triterpènes (stérois).
- ☒ Composés non identifiés. [36]

II.8.2.3. Acides :

Les acides volatils comprennent les acides formiques et les acides acétiques, tandis que les acides non volatils comprennent les acides lactique, tartrique, pyruvique et citrique. Les constituants mineurs comprennent les acides gras supérieurs et les acides malonique, succinique, glutarique et malique. Les produits de dégradation de l'acide citrique sont les acides itaconique (I), citraconique (II) et mésaconique (III), tandis que les acides fumarique et maléique sont des produits dégradés de l'acide malique : [36]

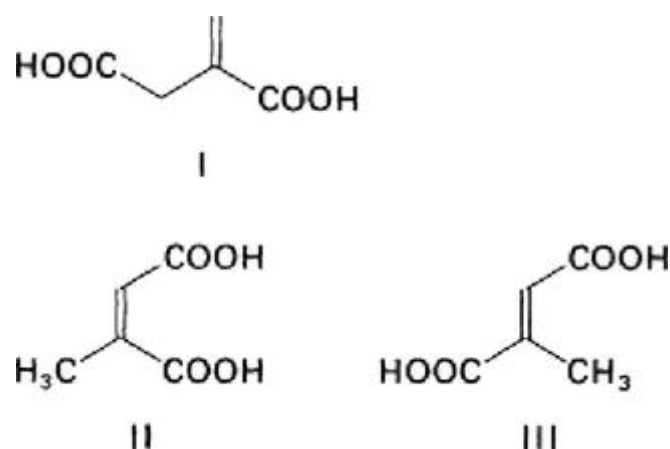


Figure II.3: Acides du café. [36]

Les acides chlorogéniques sont les acides principalement riches du café.

- Trigonelline et acide nicotinique

Le café vert contient jusqu'à 0,6% de trigonelline (acide N-méthylnicotinique) et est décomposé à 50% lors de la torréfaction. Les agents de dégradation comprennent l'acide nicotinique, la pyridine, la 3-méthylpyridine, l'acide nicotinique, l'ester méthylique et d'autres composés. [36]

II.8.3. Les types du marc de café :

Les quatre principaux types de grains de café que l'on trouve actuellement sur le marché sont l'Arabica, le Robusta, l'Excelsa et le Liberica et tous les quatre ont des profils de goût radicalement différents.

II.8.3.1. Arabica :

Connu comme l'un des types de grains de café les plus populaires et les plus connus, les grains d'arabica sont la variété la plus couramment produite et sont considérés comme des grains de qualité supérieure. En fait, plus de 60% des grains de café produits dans le monde sont de la variété Arabica. Ces haricots sont cultivés à haute altitude et doivent se trouver dans une zone où les précipitations sont régulières et beaucoup d'ombre.

II.8.3.2. Robusta :

Le Robusta, qui est le deuxième plus produit au monde. Comme son nom l'indique, le haricot Robusta est à la fois robuste et immunisé contre une variété de maladies. Ce type de grain de café pousse mieux dans un climat chaud avec des précipitations irrégulières et peut également pousser à plusieurs altitudes. Par rapport aux grains d'Arabica, ceux qui poussent sur la plante Robusta contiennent le double de caféine, ce qui signifie qu'ils sont un excellent choix pour un véritable coup de pouce et offrent une saveur plus dure.

II.8.3.3. Libérica :

L'un des types de grains de café les plus difficiles à trouver est le grain Liberica. Ils sont plus gros que les autres grains et sont les seuls au monde connus pour avoir une forme irrégulière. Les haricots Liberica sont également uniques dans leur arôme et certains disent qu'ils ne sont pas seulement fumés, mais qu'ils sont aussi fruités et floraux.

II.8.3.4. Excelsa :

Bien qu'ayant récemment été classé comme membre de la famille Liberica, le grain Excelsa a un goût très différent par rapport au grain de café Liberica. [37]

II.8.4. Les caractéristiques du marc de café :**II.8.4.1. Propriétés physiques du marc de café :**

Le marc de café possède un haut taux d'humidité variant entre 55 et 80 %. Plus l'humidité est grande plus la croissance microbienne est favorisée, donc des stratégies de conservations optimales sont nécessaire afin de récupérer une matière de qualité. Ces stratégies peuvent représenter des coûts économiques supplémentaires pour le transport. En ce qui concerne la morphologie des grains de marc de café, illustre un grain de marc de café issu des commerces et prise par microscopie électronique à balayage. [38]

Le diamètre des grains de marc de café séchés varie entre 50 et 100 μm pour le marc de café commercial. Cependant, ce diamètre augmente avec le taux d'humidité. En effet, lorsque le marc de café devient de plus en plus humide, l'adhésion entre les grains augmente et ces derniers forment des agglomérats de plus grande taille. L'angle de talus quant à lui reste le même, peu importe le taux d'humidité du marc de café. L'angle de talus est une donnée utile pour déterminer les superficies nécessaires des aires d'entreposage du marc de café après l'avoir récupéré. La densité apparente du marc de café est environ de $0,42 \text{ g/cm}^3$ et la densité réelle est d'environ $1,16 \text{ g/cm}^3$.

En ce qui concerne leur porosité, les grains de marc de café ne possèdent pas de micropores. En général, la porosité est de 0,63, peu importe le taux d'humidité et la taille des pores, est d'environ 10 μm . Toutefois, cette porosité peut être augmentée si nécessaire en diminuant la cristallinité du marc de café en dégradant sa matrice cellulose-lignine. Enfin, la surface des grains est de charge négative. Le tableau II.2 présente ces différentes données en fonction du taux d'humidité. [38]

Tableau II.2 : Caractéristiques physiques du marc de café en fonction de l'humidité. [38]

Humidité (%)	Angle de talus (°)	Densité apparente (g/cm^3)	Densité réelle (g/cm^3)	Diamètre (μm)	Porosité
0,00	s.d	s.d.	1.20	50-100	s.d.
15,2	38,7	0.43	1.16	583	0.63
17,7	37.8	0.43	1.16	617	0.63
43,1	37.7	0.41	1.11	880	0.63

Dans la majorité des études sur le marc de café, son pouvoir calorifique est évalué en moyenne à 5000 kcal/kg de matière sèche. Cependant, des études affirment que ce pouvoir est de 5700 kcal/kg. Le

pouvoir calorifique du marc de café est similaire à celui du charbon et est supérieur aux autres biomasses citées dans le tableau II.3. Cependant, celui-ci diminue lorsque le taux d'humidité du marc de café augmente. Aussi, la température de combustion spontanée du marc de café est de 460 °C. Les données présentées ici dépendent de la concentration en oxygène et du taux d'humidité du marc de café. Ainsi, lors de l'entreposage du marc de café, ces données doivent seulement être considérées comme des indicateurs, d'autant plus que le stockage de matière humide peut amener à la formation de méthane. [38]

Tableau II.3 : Le pouvoir calorifique de divers résidus de biomasse. [38]

Matières	Pouvoir calorifique (kcal/kg de matière sèche)
Tiges de jute	4619
Enveloppes de riz	3805
Fibre de coco	4707
Paille de blé	4185
Brindilles de coton	3750
Épis de maïs	3804
Bagasse de canne à sucre	4470
Bois	5450
Marc de café	5700

II.8.4.2. Propriétés chimiques du marc de café :

Le carbone est l'élément majoritaire du marc de café. Le tableau II.4 présente la composition élémentaire du marc de café. [38]

Tableau II.4 : Composition élémentaire du marc de café. [38]

Éléments	Quantités
Carbone (C)	49,7 %
Hydrogène (H)	s.d.
Azote (N)	2,3 %
Oxygène (O)	s.d.
Ratio H/C	s.d.
C/N	22

La composition du marc de café est essentiellement faite de polysaccharides, de lipides, de protéines, de polyphénols et de minéraux. Le tableau II.5 présente la proportion des principaux composés retrouvés dans le marc de café.

Tableau II.5 : Les principaux composés du marc de café. [38]

Éléments	Quantités
Glucides	45,3 %
Lipides	9,3-16,2 %
Protéines	14 %
Minéraux	6800 mg/kg de matière sèche
Polyphénols	13-18 mg acide gallique éq.

Les minéraux sont aussi présents dans le marc de café. Ceux-ci sont en plus grande quantité dans le marc de café à expresso, que dans le marc de café filtre.

Tableau II.6 : Composition des principaux minéraux du marc de café. [38]

Minéraux	Quantités (mg/kg)
Potassium	8824 ± 4662
Phosphore	1534 ± 503
Magnésium	2201 ± 1341
Calcium	349 ± 122
Fer	46 ± 21
Manganèse	27 ± 10
Cuivre	25 ± 12

II.8.4.3. Propriétés bioactives du marc de café :

Le marc de café possède des propriétés bioactives qui sont à considérer. Comme le montre le tableau II.7, le marc de café possède une activité anti-radicalaire semblable selon l'espèce de café. [38]

Tableau II.7 : Activité radicalaire du marc de café. [38]

Concentration	200 ppm	100 ppm	50 ppm
Marc de café arabica	89,2 ± 4,5	87,9 ± 4,1	86,9 ± 5,0
Marc de café robusta	84,3 ± 5,9	83,8 ± 5,1	82,0 ± 5,0

En conclusion, la composition chimique du marc de café est très variée, des glucides aux lipides, en passant par les protéines, et sans oublier les minéraux et les antioxydants. Cette variété de matériaux présents dans le marc de café, laisse entrevoir de nombreuses possibilités de valorisation et d'utilisation.

II.9. Les utilisations possibles du marc de café :

L'utilisation des déchets du marc de café est connue dans plusieurs domaines comme l'agriculture et le cosmétique et autres. On va citer sept usages : [39]

II.9.1. Gommage naturel visage et corps :

Le **marc de café** peut tout à fait s'utiliser dans la salle de bain ! Il fera un excellent gommage, aussi bien pour le visage que pour le corps.

II.9.2. Anti-mauvaises odeurs :

Le **marc de café** élimine les mauvaises odeurs ! Vous pouvez donc en placer une coupelle dans votre frigo si l'odeur d'un aliment, comme le fromage, vous dérange. Vous pouvez également vous laver les mains au marc de café après avoir découpé de l'ail ou de l'oignon pour éliminer l'odeur.

II.9.3. Nettoyer vos canalisations :

Le **marc de café** prévient l'obstruction des canalisations ! Il suffit de le vider dans le siphon de l'évier et de rincer à l'eau chaude. Il limite ainsi le développement des micro-organismes dans la tuyauterie. Les mauvaises odeurs seront par la même occasion éliminées.

II.9.4. Engrais organique :

Le **marc de café** est également un excellent engrais naturel, notamment pour fertiliser les tomates. Vous pouvez donc épandre le **marc de café** au pied de vos plantes ou le mélanger à la terre en binant pour en faire un amendement. Il deviendra un bon allier de votre jardin bio en améliorant la structure de votre sol et sa teneur en éléments nutritifs. Il peut aussi bien être utilisé pour vos plantes d'intérieur que dans votre jardin comme fertilisant pour les arbres fruitiers et les arbustes.

II.9.5. Activateur de compost :

Vous avez un lombricomposteur à la maison ? Les vers de terre adorent le **marc de café** et cela les aidera à digérer la matière organique du compost. N'hésitez donc pas à leur donner ! Il vous aidera à équilibrer votre quantité d'épluchures et améliorera le processus de décomposition du lombricompostage. Le filtre à café est également biodégradable, vous pouvez donc le jeter dans le lombricompost.

II.9.6. Terreau pour semis :

Riche en azote, en phosphore et en potassium, le **marc de café** fera un excellent terreau riche en nutriments pour vos semis. Mélangez en quantité égale le **marc de café** et la terre de jardin et vous obtiendrez un excellent terreau. Votre terre sera idéale pour planter vos légumes ou votre jardin d'ornement. En petite quantité, il peut aussi être mélangé à la terre lorsque vous rempotez vos plantes au printemps.

II.9.7. Répulsif contre les petits ravageurs :

Le **marc de café** peut également éloigner les limaces et les escargots si vous en saupoudrez autour de vos plantes. L'effet sera plus ou moins efficace selon la teneur en caféine de votre marc. Son odeur éloigne les fourmis et les mouches de vos plantes.

II.10. Utilisation du marc de café dans le domaine du génie civil :

En raison de la ressemblance physique du marc de café avec un sol à gros grains, et en raison de sa granulométrie qui se rapproche des sols sableux. L'utilisation du marc de café dans le domaine du génie civil est tout à fait possible comme matériau de construction ou comme améliorant des sols :

II.10.1. Terre cuite : [40]

En raison des réglementations environnementales, la demande de briques à haut pouvoir isolant est en augmentation. La diminution de la conductivité thermique est un facteur déterminant pour limiter la demande énergétique. Une façon d'augmenter la capacité d'isolation de la brique est de générer de la porosité dans la matrice argileuse. L'une des manières les plus conventionnelles de réduire la conductivité thermique dans le matériau céramique est de modifier sa microstructure en incorporant des additifs organiques éclaircissants, pyrogènes, dans la matrice d'argile.

II.10.2. Agrégats : [41]

Fernanda Andreola et al. ont étudié une application innovante pour le marc de café usé (SCG) utilisé pour la formulation d'agrégats céramiques argileux légers (LWA) en remplacement de l'argile rouge dans la formulation du matériau avant la cuisson. Les LWA obtenus à l'aide de SCG présentent des propriétés intéressantes à utiliser par exemple dans les toits verts en tant que couche de drainage.

En particulier, la perte de poids pendant le processus de cuisson (WL%) et WA% confirment une légèreté et une porosité supérieures à celles de l'échantillon contenant de la boue de brasserie (BS).

II.10.3. Isolation thermique et acoustique :

Nuno gama et al. ont étudié l'évaluation des propriétés d'absorption acoustique des mousses de polyuréthane (PUF) produites à partir de glycérol brut (CG) et/ou de marc de café liquéfié polyol dérivé (POL). La teneur en lignine du POL s'est avérée avoir une influence majeure sur la structure et propriétés mécaniques des mousses. En effet, la teneur en POL augmentait la taille des cellules des mousses et leur rigidité, qui ont ensuite influencé sur le coefficient d'absorption acoustique [42]. Tala Moussa et al, ont étudié l'approche pratique pour la gestion du marc de café usé, recyclé pour être réutilisé dans l'industrie du bâtiment comme matériau d'isolation. Ce nouveau bio-composite, associé à un liant végétal issu de la fécule de pomme de terre, est conçu pour être une alternative durable aux composés minéraux ou pétroliers utilisés à cet effet, qui épuise les ressources. Les résultats rapportés ici encouragent le développement de ce type de matériau de construction respectueux de l'environnement en raison de ses bonnes propriétés thermiques et acoustiques [43].

II.10.4. Stabilisation et renforcement des sols par le marc de café : [44]

La stabilisation de sol a pour but d'améliorer les performances des sols en y incorporant de la chaux, du ciment ou du liant hydraulique. Elle est essentielle si l'on souhaite assurer la mise en œuvre d'un terrain portant, stable et surtout de qualité. Arulrajah et al. ont étudié le marc du café stabilisé en tant que matériau de fondation des routes. Les additifs utilisés dans cette recherche incorporent sous-produits industriels tels que les cendres volantes et le laitier d'acier.

II.10.5. Mortier et ciment pour mortier :

Des résultats obtenus par Giada La Scalia et al, montrent que l'ajout de marc de café utilisé peut améliorer l'efficacité des performances techniques et durables des nouveaux mortiers pour différentes applications dans le secteur du bâtiment. La présence de SCG augmente l'absorption d'eau et améliore les performances d'isolation tout en réduisant l'impact environnemental. Les propriétés technologiques considérées sont très prometteuses, comme l'amélioration de l'isolation thermique. En particulier, même l'ajout de seulement 5 % de SCG à une réduction significative de la conductivité thermique et par conséquent à une plus grande performance isolante [45]. Moruf Olalekan Yusuf et al, ont étudié l'incorporation de coffee silverskin (CSS) en remplacement partiel de ciment Portland ordinaire (OPC) dans le mortier, en recherchant ses propriétés fraîches (prise et travail-capacité), résistance à la compression (3, 7, 14 et 28 jours), absorption et caractéristiques microstructurales [46].

II.11. Conclusion :

En résumé, nous avons présenté une deuxième partie de l'analyse bibliographique concernant les déchets alimentaires qui a compris : premièrement une généralité sur les différents déchets ainsi que leurs classifications, puis deuxièmement une vue sur les déchets alimentaires (impacts et gestion...). A la fin on a présenté une analyse bibliographique détaillée (propriétés physiques et chimiques, différentes utilisations et surtout utilisation dans le domaine du génie civil) sur le déchet qui sera utilisé dans la partie expérimentale, qui est le marc de café comme déchet à valoriser.

CHAPITRE III : RESULTATS EXPERIMENTAUX

III.1. Introduction :

Dans toute étude sur les bétons ou autres matériaux, la présentation et la caractérisation des différents matériaux et matériels utilisés est une tâche indispensable pour que le travail soit valable, strict et dans les normes.

L'objectif de ce chapitre est d'étudier l'emploi judicieux des matériaux de construction qui exige la pré-connaissance de leurs diverses propriétés ; physiques et mécaniques, afin d'obtenir le meilleur choix répondant à leur destination. Les informations concernant les matériaux utilisés doivent être récoltées par des techniques fiables tout en préférant les essais normalisés. En plus, il est nécessaire que les matériaux soient malaxés correctement afin de produire un mélange homogène possédant par conséquent des propriétés uniformes.

Par ailleurs, il faut choisir des essais adéquats pour parvenir à un meilleur contrôle des propriétés rhéologiques et mécaniques des formulations confectionnées.

Ajoutons enfin que la caractérisation physique des matériaux et des mortiers sont réalisés dans le Laboratoire Pédagogique du département de Génie Civil et d'Hydraulique de l'Université 8 Mai 1945 - Guelma -

Tandis que la caractérisation mécanique des mortiers sont effectués dans le Laboratoire de Génie Civil et d'Hydraulique (LGCH) de l'université de Guelma.

III.2. Matériaux utilisés :

Nous avons utilisé les matériaux locaux suivant :

- Deux sables
 1. Sable de carrière (SC) Carrière-Ben-Djerah wilaya de Guelma
 2. Sable de dune (SD) de la wilaya d'El Oued.
- Un ciment BC (CEM II/A-M(S-L) 42.5N NA 442) : GICA BETON Ciment Portland composé de la cimenterie « hadjer assoud », Skikda. Groupe industriel des ciments d'Alger.
- Eau de gâchage : l'eau potable du laboratoire Pédagogique du département de Génie Civil et d'Hydraulique.
- Adjuvants Sikaplast de la société SIKA.
- Le déchet alimentaire (Marc de café) (MC) d'un café à la commune de Elfedjoudj, Guelma.

III.3. Caractéristiques des matériaux :

III.3.1. Caractéristique des sables et du déchet :

- On a utilisé deux sable
- Sable de dune provenant de la dune de la Wilaya d'el oued (Figure III.1).



Figure III.1: Photo du sable de dune utilisé.

- Sable de carrière Carrière-Ben-Djerah wilaya de Guelma



Figure III.2: Photo du sable de carrière utilisé.

- Marc de café d'un café



Figure III.3: Photo du sac du marc de café utilisé.



Figure III.4: Photo du déchet du marc de café utilisé.

D'où leurs caractéristiques sont les suivantes :

III.3.1.1. Analyses granulométrique : NA 2607

- **But de l'essai :**

L'analyse granulométrique permet de détecter et miner la grosseur et les pourcentages pondéraux respectifs des différentes familles de grains constituant l'échantillon. Elle s'applique à tous les granulats de dimension nominale inférieure ou égale à 63mm, à l'exclusion des filets.

- **Principe de l'essai de l'analyse granulométrique :**

L'essai consiste à classer les différents grains constituant l'échantillon en utilisant une série des tamis, emboîtées les uns sur les autres, dont les dimensions des ouvertures sont décroissantes du haut vers le bas. Le matériau étudié est placé en partie supérieur des tamis et le classement des grains s'obtient par vibration de la colonne de tamis.

- **Mode opératoire :**

L'opération du tamisage du sable se fait au moyen d'une tamiseuse où on place la série des tamis sur le cercle inférieur du cadre de l'appareil en suite l'ensemble est serré aux montants par la couronne supérieure, à l'aide de deux jeux de ressort et vis de blocage. L'arrangement de grain est arrangé par la vibration et choc de la colonne de tamis.

- **Appareillage spécial pour l'analyse granulométrique (Figure II.5) :**

- ✓ Tamiseuse électrique de marque RETSCH.
- ✓ Série de tamis en mm (5 - 4 - 2 - 1 - 0.500 - 0.250 - 0.125 - 0.63).
- ✓ Balance de précision 0.01.
- ✓ Brosse pour nettoyage des tamis.
- ✓ Etuve.



Figure III.5 : Photo de la tamiseuse électrique utilisée.

Le tableau III.1 ci-dessous regroupe les résultats de l'analyse granulométrique obtenus pour les deux sables et le déchet.

Tableau III.1 : Analyse granulométrique des sables et du déchet.

Nature du sable	Sable de carrière (SC)		Sable de dune (SD)		Déchet du Marc de café (MC)	
	1000 g		1000 g		364 g	
Poids de l'échantillon sec:						
Maille tamis (mm)	Refus (%)	Tamisât (%)	Refus (%)	Tamisât (%)	Refus (%)	Tamisât (%)
5	0.2	99.8	0.05	99.95	2.30	97.7
4	1.31	98.69	0.05	99.95	2.829	97.18
2	26.69	73.31	0.05	99.95	5.274	94.73
1	47.86	52.14	0.06	99.94	11.26	88.74
0.500	82.11	17.89	0.048	99.952	66.34	33.66
0.250	86.75	13.25	58.45	41.55	88.10	11.90
0.125	98.33	1.67	89.9	10.1	95.98	4.02
0.063	99.51	0.49	99.63	0.37	98.51	1.49
Fond	100	0	100	0	100	0

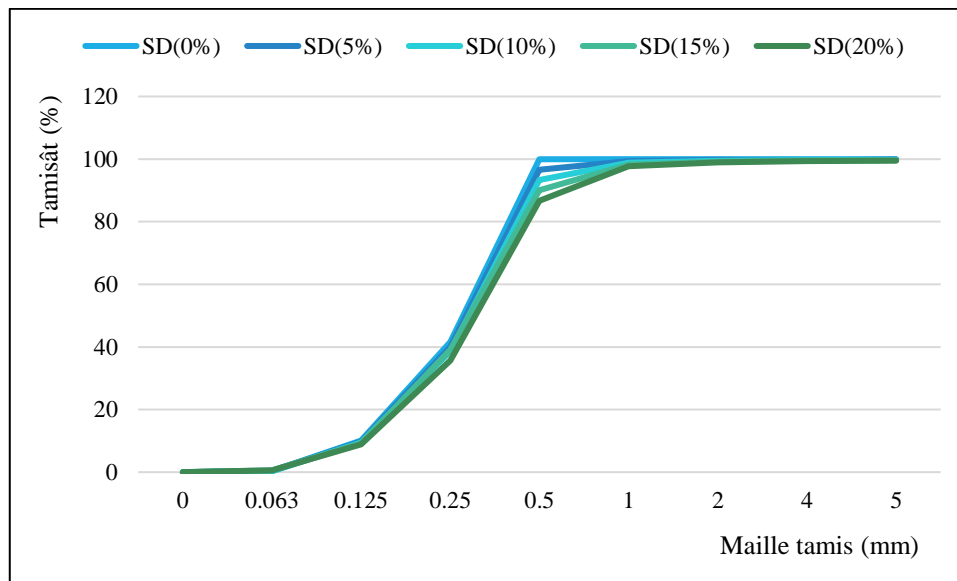


Figure III.6 : Courbes granulométriques du sable de dune à différent teneur en déchet alimentaire.

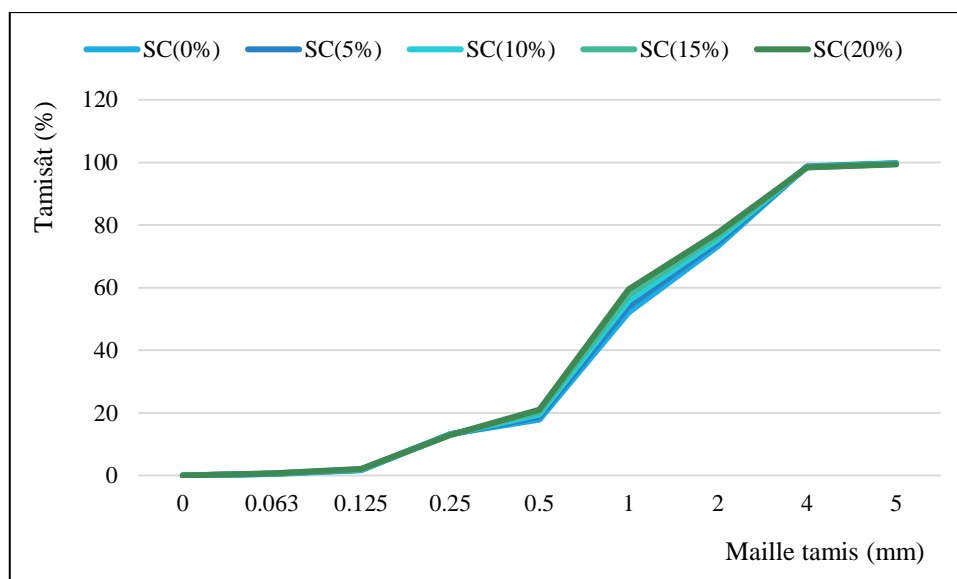


Figure III.7 : Courbes granulométriques du sable de carrière à différent teneur en déchet alimentaire.

III.3.1.2. Les masses volumiques des sables et du déchet :

III.3.1.2.1. Masse volumique apparente :

- La masse volumique apparente d'un matériau est la masse volumique d'un mètre cube du matériau pris en tas, comprenant à la fois des vides perméables et imperméables de la particule ainsi que les vides entre particules.
- La masse volumique apparente d'un matériau pourra avoir une valeur différente suivant qu'elle sera déterminée à partir d'un matériau compacté ou non compacté
- La masse volumique apparente sèche P_d est la masse de granulats secs (M_s) occupant un volume apparent (volume des solides : V_s + volume des vides V_v)

- La masse volumique apparente du sable est donnée par la formule suivante :

$$P_{apparent} = M/V_R$$

M1 : La Masse

VR : Le Volume du récipient

Tableau III.2: La masse volumique apparente ($P_{apparent}$) des sables et du déchet utilisés.

Matériaux	Désignation	Essai 1	Essai 2
Sable de carrière (SC)	M [g]	80	100
	$\rho_{app} = \frac{M1}{VR} \text{ [g]/[cm}^3\text{]}$	1.6	1.59
	$\rho_{app}(\text{moy}) \text{ [g]/[cm}^3\text{]}$	1.595	
Sable de dune (SD)	M [g]	80	100
	$\rho_{app} = \frac{M1}{VR} \text{ [g]/[cm}^3\text{]}$	1.5	1.4
	$\rho_{app}(\text{moy}) \text{ [g]/[cm}^3\text{]}$	1.45	
Déchet du Marc de café (MC)	M [g]	30	50
	$\rho_{app} = \frac{M1}{VR} \text{ [g]/[cm}^3\text{]}$	0.46	0.48
	$\rho_{app}(\text{moy}) \text{ [g]/[cm}^3\text{]}$	0.47	

III.3.1.2.2. Masse volumique absolue :

- La masse volumique absolue P_s est la masse par unité de volume de la matière qui constitue le granulat, sans tenir compte des vides pouvant exister dans ou entre des grains
- La masse spécifique est la masse de granulats secs (M_s) rapportée au volume absolu (uniquement volume de solides V_s)
- La mesure du volume des solides ne tient pas compte des pores fermés contenus par les granulats
- La formule qui nous permis la détermination de la masse volumique absolue est :

$$\rho_{Ab} = M/(V_2 - V_1)$$

ρ_{Ab} : Masse volumique absolue ;

M : Masse des grains solides ;

V_1 : Volume de l'eau ;

V_2 : Volume total (grains solide + eau).



Figure III.8: Essai de la masse volumique absolue des deux sables et du marc de café utilisés.

Les résultats obtenus de la masse volumique absolue sont regroupés dans le tableau II.3 ci-dessous :

Tableau III.3: La masse volumique absolue (ρ_{Ab}) des sables et du déchet utilisés.

Matériaux	Désignation	Essai 1	Essai 2	Essai 3
Sable de carrière (SC)	M [g]	150	150	150
	V ₁ [cm ³]	146.765	116.928	118.541
	V ₂ [cm ³]	203.213	173.376	176.602
	ρ_{Ab} [g/cm ³]	2.657	2.657	2.583
	$\rho_{Ab(moy)}$ [g/cm ³]	2.632		
Sable de dune (SD)	M [g]	150	150	150
	V ₁ [cm ³]	137.088	124.186	147.571
	V ₂ [cm ³]	194.342	180.634	204.826
	ρ_{Ab} [g/cm ³]	2.620	2.657	2.620
	$\rho_{Ab(moy)}$ [g/cm ³]	2.632		
Déchet du Marc de café (MC)	M [g]	43	43	43
	V ₁ [cm ³]	141.12	164.506	170.957
	V ₂ [cm ³]	157.248	178.215	187.085
	ρ_{Ab} [g/cm ³]	0.930	1.094	0.930
	$\rho_{Ab(moy)}$ [g/cm ³]	0.985		

III.3.1.2.3. Equivalent de sable : NA 455.

- But de l'essai

L'essai d'équivalent de sable permet de mesurer la propriété d'un sable.

- Mode opératoire
 - Remplir l'éprouvette d'une solution lavent jusqu'au premier repère (10 cm).

- À l'aide d'un entonnoir, verser l'échantillon de sable de (120 ± 1) g dans l'éprouvette et taper fortement à plusieurs reprises avec la paume de la main à fin de libéré les bulles d'air et favorise le mouillage de l'échantillon.
 - Laisse reposer pendant 10 min.
 - Boucher l'éprouvette à l'aide d'un bouchon en caoutchouc et lui imprimer 90 cycles de 20 cm de secousses horizontal en 30 s à la main ou à l'aide de l'agitateur mécanique.
 - Retirer le bouchon de l'éprouvette, le rincer avec la solution lavent au-dessus de l'éprouvette et 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 tout en imprimant au tube un léger piquage.
 - Après 20 min de dépôt, mais avec les déchets de café j'ai eu du mal à lire, je l'ai gardé 3 jours, puis je l'ai lu très dur.
 - Mesurer la hauteur de sable propre seulement ($h'2$) et la hauteur du sable propre y compris le flocculat (éléments fins) ($h1$).
 - Mesurer la hauteur du sable plus précisément avec le piston taré ($h2$).
- L'équivalent de sable visuel (Esv) est défini par :

$$Esv = \left(\frac{h'2}{h1}\right)100\%$$

L'équivalent de sable par piston (Esp) est défini par :

$$Esp = \left(\frac{h2}{h1}\right)100\%$$

Remarque : pour les mesure des hauteurs pour le marc de café elles entaient très difficiles à effectuer à cause de sa légèreté. Pour cela ces lectures étaient après trois jours de repos.



Figure III.9: Résultats d'essais d'équivalent des deux sables et du déchet utilisé.

Les résultats sont regroupés dans le tableau II.4 ci-dessous :

Tableau III.4: Résultats d'essais d'équivalent de sable du marc de café et des deux sables.

Sable de carrière (SC)			
	Essai 1	Essai 2	Essai 3
E_{SV}(%)	80	82.3	83.3
Moyenne (%)	81.86		
E_{SP}(%)	80	80.3	79
Moyenne (%)	79.76		
Sable de dune (SD)			
	Essai 1	Essai 2	Essai 3
E_{SV}(%)	92	93	92
Moyenne (%)	92.33		
E_{SP}(%)	86	73	85
Moyenne (%)	81.33		
Déchet de Marc de café (MC)			
	Essai 1	Essai 2	Essai 3
E_{SV}(%)	80.33	88.69	89.82
Moyenne (%)	86.28		
E_{SP}(%)	58	72	62
Moyenne (%)	64		

Interprétations des résultats :

- **Sable de dune :**

Sable propre : à faible pourcentage de fines argileuses convenant parfaitement pour les bétons de haute qualité.

- **Sable de carrière :**

Sable propre : à faible pourcentage de fines argileuses convenant parfaitement pour les bétons de haute qualité.

- **Marc de café**

Sable légèrement argileux : de propreté admissible pour bétons de qualité courante quant on ne craint pas particulièrement le retrait

III.3.1.2.4. Teneur en eau :

La teneur en eau d'un matériau est le rapport du poids d'eau contenu dans un échantillon du matériau comparativement au poids du même matériau sec.

On définit la teneur en eau comme le poids d'eau par W contenu par unité de poids de matériau sec.

- **But d’essai :**

L’essai de teneur en eau permet de déterminer quel est le pourcentage massique (W%) d’eau dans le sol étudié, c’est-à-dire quelle est la masse d’eau présente par rapport à 100 gramme de sol sec

Tableau III.5: Résultats d’essais de la teneur en eau du marc de café et des deux sables.

Matériaux	Désignation	Essai 1	Essai 2
Sable de carrière (SC)	M humide [g]	50	100
	M sec [g]	47.7	96
	$W = \frac{M \text{ humide} - M \text{ sec}}{M \text{ sec}}$	0.0482	0.0416
	W [%]	4.82	4.16
	W_(moy) [%]	4.49	
Sable de dune (SD)	M humide [g]	74.4	55.2
	M sec [g]	69.3	51.5
	$W = \frac{M \text{ humide} - M \text{ sec}}{M \text{ sec}}$	0.0735	0.0718
	W [%]	7.35	7.18
	W_(moy) [%]	7.27	
Déchet du Marc de café (MC)	M humide [g]	28	17.5
	M sec [g]	23.4	14.4
	$W = \frac{M \text{ humide} - M \text{ sec}}{M \text{ sec}}$	0.1965	0.2152
	W [%]	19.65	21.52
	W_(moy) [%]	20.59	

III.3.1.2.5. Absorption :

- **But de la mesure :**

Certains matériaux granulaires peuvent présenter une porosité interne qui est préjudiciable, en particulier, à la résistance au gel des bétons. En effet, l’eau incluse dans le granulats provoque l’éclatement du béton lorsque celui-ci est soumis de manière prolongée à des basses températures.

- **Principe de la mesure :**

On détermine un coefficient d’absorption, qui est défini comme le rapport de l’augmentation de la masse de l’échantillon après imbibition par l’eau, à la masse sèche de l’échantillon. Cette imbibition est obtenue par immersion de l’échantillon dans l’eau pendant 24 heures.

Le coefficient d’absorption (Ab) est défini par la relation :

$$Ab = \frac{Ma - Ms}{Ms} 100$$

Ms = masse de l’échantillon sec après passage à l’étuve.

Ma = masse de l’échantillon imbibé, surface sèche déterminée comme suit.

Tableau III.6: Résultats de l'essais d'absorption du marc de café et des deux sables.

Matériaux	Désignation	Essai 1	Essai 2
Sable de carrière (SC)	Mh [g]	577.6	639.4
	Ms [g]	509.7	567.8
	Mw [g]	67.9	71.6
	W[%]	13.3	12.6
	W _(moy) [%]	12.95	
Sable de dune (SD)	Mh [g]	839.0	713.9
	Ms [g]	678.9	589.3
	Mw [g]	160.1	123.7
	W[%]	23.5	20.99
	W _(moy) [%]	44.49	
Déchet du Marc de café (MC)	Mh [g]	251.0	232.1
	Ms [g]	103.7	104.2
	Mw [g]	147.3	127.9
	W[%]	142.04	122.74
	W _(moy) [%]	132.39	

III.3.2. Caractéristiques du ciment utilisé :

Dans le tableau III.7 qui suit, les caractéristiques du ciment utilisé pour tous les mortiers confectionnés dans cette étude qui est le ciment Portland (CEM II/A-M(S-L)42.5N NA 442) comme montre la figure II.10.

Le choix du (CEM II/A-M(S-L)42.5N NA 442) s'explique facilement par le fait qu'il s'agit d'un ciment disponible localement. D'une manière générale, le choix du ciment dépend, en particulier, de la résistance souhaitée du béton, des exigences de mise en œuvre et de l'environnement de la structure.

Ses caractéristiques techniques sont représentées ci-après :

Tableau III.7: Caractéristiques chimiques. (Voir annexe)

Eléments	PAF 975°C	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	SO ₃	CaOL	CL ⁻
% en masse	1-2	55-65	22-28	5-6	3-3.6	1-2	0.3-0.6	0.1-0.16	1.8-2.5	0.8-1.8	0-0.01

Tableau III.8: Caractéristiques Mécaniques. (Voir annexe)

	Les jours	En MPa
Compression	02	14-17
	07	30-35
	28	43-51
Flexion	02	3.0-4.0
	07	5.0-6.5
	28	6.5-8.5

**Figure III.10:** Sac de ciment utilisé.

III.3.3. L'eau de gâchage :

Pour mélanger notre mortier, nous avons utilisé l'eau du robinet disponible dans notre laboratoire pédagogique de génie civil et hydraulique de l'Université 8 Mai 1945 de Guelma. Cette eau doit être conforme à la norme NA 1966. Et ne doit pas contenir d'impuretés nocives telles que chlorure, sulfate, matière organique, nitrates, sodium (Na), sels de potassium (K) ... etc.

L'utilisation de l'eau potable dans les mortiers est considérée comme une pratique sécuritaire.



Figure III.11: l'eau utilisée.

III.3.4. Adjuvants : (voir annexe)

SikaPlast® BV-40+ est un plastifiant réducteur d'eau pour haute résistance mécanique non chloré et prêt à l'emploi, à base de polycarboxylates modifiés, qui se présente sous la forme d'un liquide marron.



Figure III.12 : Adjuvants SIKA latex.

III.3.5. Le déchet du Marc de café :

Le déchet alimentaire qu'on a utilisé est du marc de café de type Robusta. Récupérer des poubelles d'un café situé à la commune d'Elefdjouj, wilaya de Guelma. (Figures : III.3 et III.4).

Le choix de ce genre de déchet alimentaire s'explique facilement par le fait qu'il s'agit du deuxième produit le plus échangé et la deuxième boisson consommée dans le monde, est responsable de nombreuses charges environnementales. D'une manière générale, le choix de ce déchet dépend,

en particulier, de sa forme granulaire qui lui favorise d'être utilisé comme sable au confection des mortiers comme le cas dans notre étude.

Ses caractéristiques techniques sont représentées ci-dessus avec les deux sables utilisés.

III.4. Formulation des compositions :

Formuler un mortier ou un béton consiste à choisir des constituants et à les proportionner en vue d'obtenir des propriétés physiques (ouvrabilité,) et mécaniques (résistance à la compression,.....) répondant à des critères techniques et économiques autorisent une meilleure application dans le domaine de la construction.

Dans cette partie, nous avons adapter la méthode de formulation d'un mortier Normalisé (voir tableaux : III.9, III.10).

Cette méthode se base sur une portion de ciment (450 g), trois portions de sable (1350 g), avec un rapport E/C = 0.5 soit pour le mortier à base de sable de dune (MDC0%), soit pour le mortier à base de sable de carrière (MCC0%), et de même pour les quatre autres mortiers à différent teneur en déchets de mac du café pour les deux sables [sable de dune (MDC5%, MDC10%, MDC15%, MDC20%), sable de carrière (MCC5%, MCC10%, MCC15%, MCC20%)].

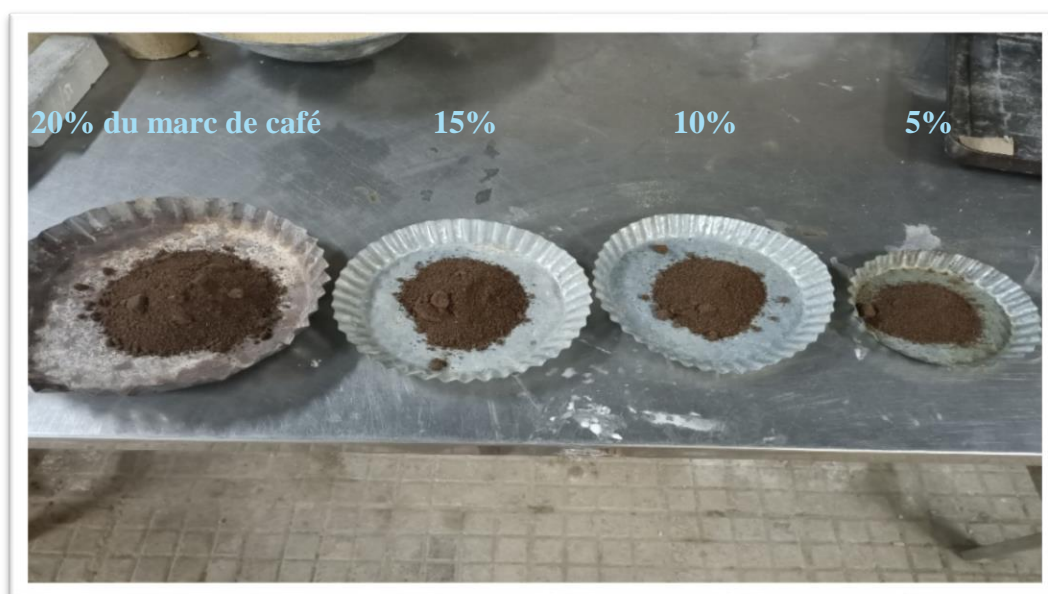


Figure III.13 : Quantité de chaque pourcentage de déchet du marc du café.

Tableau III.9: La première composition de sable carrière.

	MCC 0%	MCC 5%	MCC 10%	MCC 15%	MCC 20%
Ciment [g]	450	450	450	450	450
Sable de carrière [g]	1350	1282.5	1215	1147.5	1080
Eau [g]	225	225	225	225	225
Déchet de Marc de café [g]	0	25.26	50.52	75.78	101.04
Plastifiant [g]	2.025	2.474	3.15	3.82	4.5
$\frac{E}{C} = \frac{\text{Eau}}{\text{Ciment}}$	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5

Tableau III.10: La deuxième composition de sable de dune.

	MDC 0%	MDC 5%	MDC 10%	MDC 15%	MDC 20%
Ciment [g]	450	450	450	450	450
Sable de dune [g]	1350	1282.5	1215	1147.5	1080
Eau [g]	225	225	225	225	225
Déchet de Marc de café [g]	0	25.26	50.52	75.78	101.04
Plastifiant [g]	4.5	4.05	3.15	3.82	4.5
$\frac{E}{C} = \frac{\text{Eau}}{\text{Ciment}}$	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5

III.4.1. Traitement du déchet du Marc de café : (pour la composition à base du sable de dune) :

Un traitement de stabilisation des déchets du marc de café avant le malaxage des pâtes de mortier à base du sable de dune, était obligatoire car après plusieurs tentatives en fixant le rapport E/C à 0.5, et en augmentant les pourcentages du plastifiant. Mais malheureusement on a obtenu des résultats de l'étalement égale à 10 (mortier raide, voir figure III.12) à cause de l'absorption élevé des deux matériaux utilisés (sable de dune et marc de café, voir les résultats de l'essai d'absorption ci-dessus). Ce traitement consistait à faire tremper à l'eau pendant 24 heures avant utilisation, le déchet du marc de café enveloppés dans un torchon après l'avoir pesé bien sûr (Figure III.13). Après 24 heures, il faut la laisser filtrer pendant 10 minutes au moins avant utilisation (Figure III.14).



Figure III.14 : Résultat d'un étalement raide.



Figure III.15 : Stabilisation du déchet du marc de café 24h à l'eau.



Figure III.16 : Filtration du déchet du marc de café pendant 10 minutes.

III.4.2. Contrôle de la plasticité (étalement) :

Nous décrivons dans ce qui suit l'essai de la table à secousses qui nous a permis de mesurer la consistance des éco-mortiers d'étude afin de la contrôler. Nous avons en effet opté pour la confection d'éco-mortiers ayant des consistances semblables.

Cet essai d'étalement est une mesure testant plus particulièrement l'aptitude du béton et mortier à s'étaler par écoulement. La consistance de tous les mortiers étudiés dans ce travail a été évaluée conformément à la norme européenne EN 1015-3.

La valeur d'étalement est mesurée par le diamètre moyen d'un prélèvement de mortier frais, mis en place à l'aide d'un moule donné sur le plateau d'une table à secousses définie, et soumis à un

nombre donné de secousses verticales en soulevant la table à secousses et en la laissant retomber librement d'une hauteur donnée.

Le moule tronconique de diamètre inférieur à 100 mm, de diamètre supérieur à 70 mm et de hauteur 60 mm est placé au centre de la table et après rempli de mortier. Le remplissage se fait en deux couches, chacune étant compactée avec 10 coups de bâton en pilon pour homogénéiser la matière dans l'embase tronconique. L'échantillon est retiré au moyen d'une règle en acier. Le moule est soulevé lentement et verticalement et la table à secousses est actionnée par 15 secousses à une cadence d'une par seconde est appliquée au mortier. Puis l'étalement de l'échantillon est mesuré à 2 endroits diamétralement opposés. L'étalement est calculé par une moyenne de deux diamètres D1 et D2 en mm. D1 et D2 sont respectivement le diamètre de la galette.

$$D_{\text{moyenne}} = \frac{D_1 + D_2}{2}$$

Les valeurs sont arrondies au millimètre près. Pour chacun des mortiers, 3 points de mesures sont effectués et une moyenne permet de définir le diamètre d'étalement du mortier.

Les classes de consistance sont définies en fonction des variations de l'affaissement (Tableau III.11).

Tableau III.11: Valeurs d'étalement. NF EN 1015-6

Consistance d'utilisation	Valeurs d'étalement
Mortier raide	< 14 mm
Mortier plastique	Entre 140 et 200 mm
Mortiers fluide	> 200 mm



Figure III.17 : Un essai d'étalement.

Tableau III.12: Résultats d'étalement pour les deux types de mortier.

	MCMC 0%	MCMC 5%	MCMC 10%	MCMC 15%	MCMC 20%
Etalement (cm)	16.25	17.5	17	18.6	16.9
	MDMC 0%	MDMC 5%	MDMC 10%	MDMC 15%	MDMC 20%
Etalement (cm)	15	14.95	15.65	16.1	17.25

III.4.3. Confection des éprouvettes (malaxage et mise en place) :

Dans ce travail nous avons confectionnés 120 éprouvettes de dimensions (4 x 4 x 16) cm³ dans des moules de dimensions respectives.

III.4.3.1 Préparation de la pâte :

Nettoyage et séchage parfait des instruments (malaxeur, cuve...).

- Introduire 450 g de ciment.
- Introduire 1350g de sable (dune, carrière) ou du mélange sable et déchet du mac de café traité pour le sable de dune et seulement séché pour le sable de carrière.
- Mettre le malaxeur en route, vitesse lente pendant 60 s, introduire régulièrement le sable entre la 30^{ème} et la 60^{ème} Seconde.
- Stopper le malaxeur, mettre la vitesse rapide et relancer le malaxeur pendant 30 s.
- Stopper le malaxeur pendant 1 min 30 s et nettoyer les parois du récipient pendant les 15 premières secondes.
- Ajoutez de l'eau et l'adjuvent.
- Remettre le malaxeur en route, vitesse rapide pendant 60 s.



Figure III.18: Les étapes pour préparer la pâte de mortier témoin (0% MC).



Figure III.19: Les étapes pour préparer la pâte (sable de dune) avec différent pourcentage de déchet du mac du café.



Figure III.20: Les étapes pour préparer la pâte (sable de carrier) avec différent pourcentage de déchet du mac du café.

III.4.3.2 Confection des éprouvettes :

À effectuer immédiatement après préparation du mortier.

- Les moules sont bien nettoyés, et bien montés.
- Enduire les parois latérales des moules d'une légère couche d'huile de décoffrage avant chaque confection des éprouvettes (Figure III.19).
- Introduire la première des deux couches de mortier dans chaque compartiment.
- Etaler la couche en utilisant la plus grande spatule tenue verticalement.
- Serrer la première couche de mortier par 60 chocs (réglage de la machine).
- Introduire la seconde couche de mortier.
- Etaler la couche en utilisant la petite spatule tenue verticalement.
- Serrer la deuxième couche de mortier par 60 chocs (réglage de la machine) (Figure III.20).
- Ôter la hausse et enlever l'excédent de mortier avec la règle plate à araser (Figure III.21).
- Etiqueter les moules pour identifier les éprouvettes (noms, date, caractéristiques).



Figure III.21 :
Lubrification des moules (4 x
4 x 16) cm³.



Figure III.22 : vibration
des moules.



Figure III.23 : Dernière
vibration et rasage.

III.4.4. Conservation des éprouvettes :

- Poser une plaque en verre ou en acier sur le périmètre du moule.
- Placer le moule dans une pièce humide pendant 24 heures.
- Démouler ensuite les éprouvettes avec précautions et marquer les éprouvettes (Figure III.22).
- Conserver les éprouvettes dans l'eau à 20°C (Figure III.23).

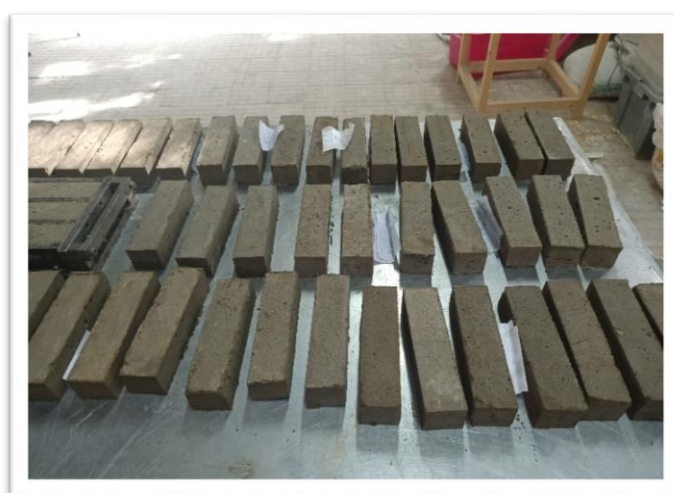


Figure III.24: Démolition des éprouvettes.



Figure III.25: Cure des éprouvettes à l'eau pendant 28 jours.

III.5. Conclusion :

Durant toutes les étapes de réalisation de ce chapitre, le respect du plan du mémoire et des normes des différents essais effectués.

La compréhension de ce sujet conduit à une division en deux volets distincts dans cette étude, dans un premier part les caractéristiques physiques des matériaux utilisés pour la formulation des types du mortier élaboré. D'autre part l'effet du déchet alimentaire (Marc de café) sur les propriétés rhéologique (l'étalement) et sur les propriétés physiques: la masse volumique absolue et apparente, l'absorption, la teneur en eau, la granulométrie.

CHAPITRE IV : CARACTERISATION PHYSICO-MECANIQUE

IV.1. Introduction :

L'objectif de ce chapitre c'est la caractérisation physique et mécanique des nouveaux mortiers écologique, afin de pouvoir étudier l'effet de la substitution du sable par le marc de café. Et afin de répondre aux problématiques posés, un programme expérimental a été envisager. Dix mélanges ont été préparés (cinq par un sable de carrière et cinq par un sable de dune) ; un mortier témoin et quatre autres mortiers pour chaque type de sable, avec des différents dosages volumique du déchet de marc de café qui varie de 5%, 10%, 15% et 20% respectivement pour chaque mortier.

IV.2. Caractérisation des différents mortiers à 28 jours :

IV.2.1. Caractérisation physique :

La caractérisation physique présentée dans ce chapitre est réalisée avec une balance hydrostatique (voir figure IV.1) et une étuve (voir figure IV.2), au laboratoire pédagogique du département de génie civil et hydraulique.



Figure IV.1: Balance hydrostatique.



Figure IV.2: Etuve ventilée.

IV.2.1.1. Absorption par immersion totale

L'absorption d'eau par immersion totale est déterminée selon la norme NBN B 15-215

Le principe de l'essai consiste à déterminer la variation de la masse d'un échantillon de mortier immergé dans un bac d'eau jusqu'à une masse constante, soit la masse M_1 , après séchage à 105°C , soit la masse M_2

L'absorption d'eau par immersion **Ab** est exprimée en pourcentage de la masse sèche et est calculée par la relation suivante :

$$Ab = \frac{M_1 - M_2}{M_2} 100\%$$

Les résultats obtenus sur les éprouvettes de chaque mortier sont exprimés, en pourcentage, sous la forme de la moyenne des valeurs mesurées de chaque mortier.

Tableau IV. 1 : Effet du déchet alimentaire sur l'absorption par immersion totale.

		MMC0%	MMC5%	MMC10%	MMC15%	MMC20%
Absorption par immersion totale (%)	Sable de carrière	9.435	11.477	11.716	15.012	16.334
	Sable de dune	3.705	5.318	10.07	16.658	16.261

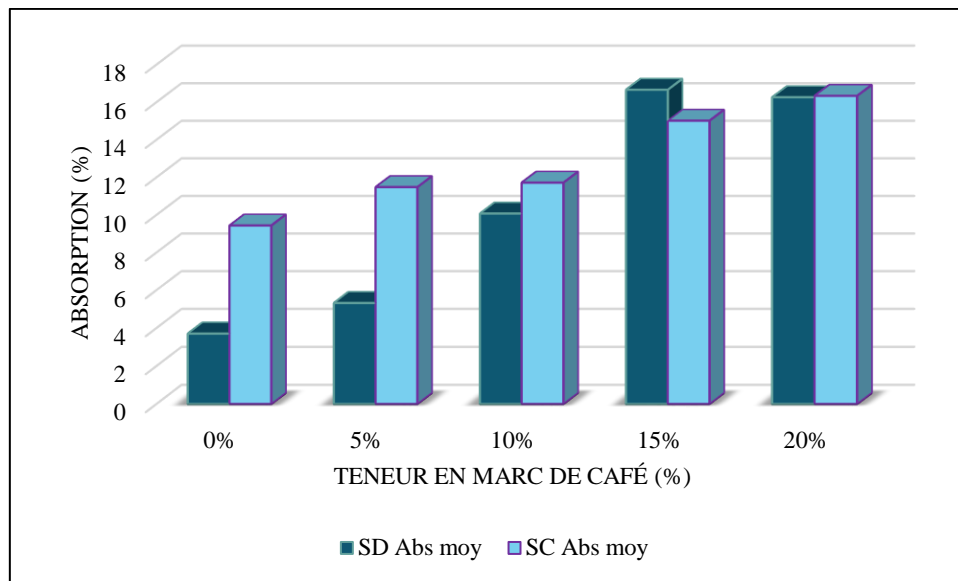


Figure IV.3 : Evolution de l'absorption par immersion totale en fonction de la teneur en déchet alimentaire.

On remarque que :

- L'augmentation de l'absorption par immersion totale en fonction de la teneur en marc de café est remarquée pour les deux type du mortier (MSCMC, MSDMC), mais avec des pourcentages différents par rapport aux mortiers témoins.
- Pour le mortier à base de sable de carrière l'augmentation de l'absorption est presque proportionnel à la teneur du marc de café, par contre l'augmentation de l'absorption pour le mortier à base de sable de dune est presque proportionnelle jusqu'à la teneur du marc de café de 10%. Puis elle marque sa valeur la plus élevée, pour démunie juste un peu à la teneur de 20%.
- Les valeurs de l'absorption du mortier à base de sable de dune sont toujours inférieures à celles du mortier à base de sable de carrière jusqu'à la teneur du marc de café de 10%, pour refléter la règle plus tard.

IV.2.1.2. Porosité accessible à l'eau :

La porosité accessible à l'eau est un paramètre de premier ordre dans l'évaluation et la prévision de la durabilité. C'est en effet un indicateur de durabilité au sens du document publié par l'AFGC en 2004.

Parmi les méthodes à disposition, la détermination de la porosité accessible à l'eau par pesée hydrostatique.

Après conservation des éprouvettes (4x4x16) cm³ dans l'eau à température ambiante jusqu'à l'échéance de 28 jours, et en utilisant une balance hydrostatique, soit :

- M_{eau} : la masse de l'éprouvette immergée dans l'eau
- M_{air} : la masse de l'éprouvette dans l'air alors qu'il est encore imbibé (masse saturée dans l'air)
- M_{sec} : la masse de l'éprouvette après séchage à une température 105 ± 5 °C jusqu'à une masse constante.

$$P_0 = \frac{V_0}{V_a} = \frac{M_{air} - M_{sec}}{M_{air} - M_{eau}}$$

Tableau IV. 2 : Effet du déchet alimentaire sur la porosité.

		MMC0%	MMC5%	MMC10%	MMC15%	MMC20%
Porosité (%)	Sable de carrière	19.80	22.59	23.2	26.48	29.336
	Sable de dune	7.265	9.157	16.108	13.891	22.577

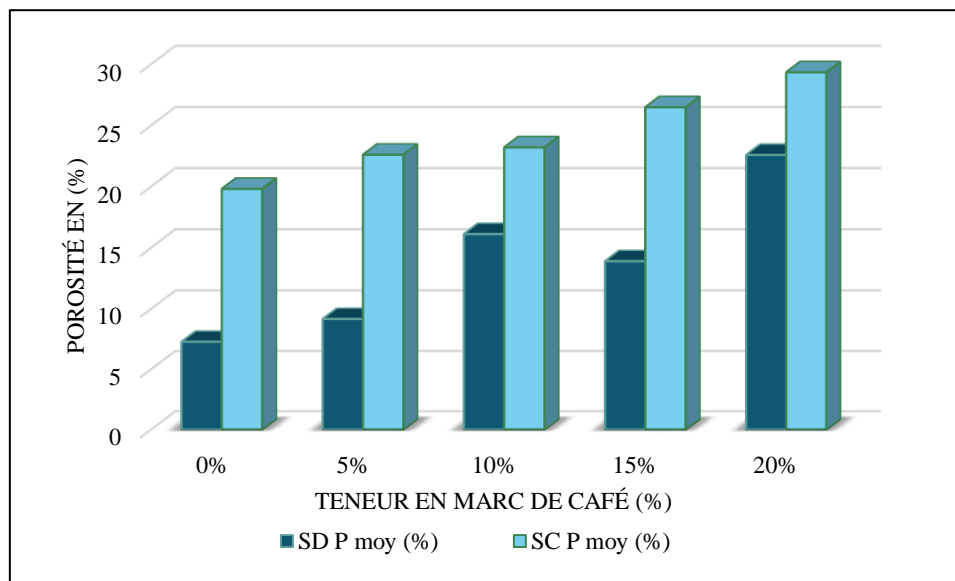


Figure IV.4: Evolution de la porosité en fonction de la teneur en déchet alimentaire.

On remarque que :

- La porosité augmente en fonction de l'augmentation de la teneur en marc de café pour les deux types du mortier (MSCMC, MSDMC), mais avec des pourcentages différents par rapport aux mortiers témoins.
- Pour le mortier à base de sable de carrière l'augmentation de la porosité est presque proportionnel à la teneur du marc de café. De même, l'augmentation de la porosité pour le mortier à base de sable de dune est aussi proportionnelle à la teneur du marc de café, sauf pour le MSDMC15% qui a diminué par rapport au MSDMC10%.
- Les valeurs de la porosité du mortier à base de sable de carrière sont toujours supérieures à celles du mortier à base de sable de dune.

IV.2.1.3. Masses volumiques sèche et humide :

Conjointement avec la détermination de l'absorption d'eau par immersion, il peut être utile de déterminer les masses volumiques humide et sèche de l'éprouvette. Ces déterminations se font selon les directives de la norme NBN EN 12390-7 :2009

Le volume de l'éprouvette est déterminé grâce à une pesée hydrostatique. Après obtention de la masse humide constante, la masse sous eau de l'éprouvette est déterminée.

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

$$V = \frac{M_{\text{humide}} - M_{\text{sous eau}}}{\rho_w (=1000)} \quad \text{Avec :}$$

- M_{humide} , la masse humide de l'éprouvette après immersion et déterminée à l'air ;
- $M_{\text{sous eau}}$, la masse sous eau de l'échantillon déterminée par pesée hydrostatique ;
- ρ_w , la masse volumique de l'eau considérée égale à 1000 kg/m³.

Les masses volumiques humide (MVH) et sèche (MVS) sont alors calculées par les expressions ci-après :

$$MVH = \frac{M_{\text{humide}}}{V} \quad \text{et} \quad MVS = \frac{M_{\text{sèche}}}{V}$$

Tableau IV. 3 : Effet du déchet alimentaire sur les masses volumiques humides et sèches.

		MMC0%	MMC5%	MMC10%	MMC15%	MMC20%
Masse volumique humide (g/cm ³)	Sable de carrière	1.495	1.491	1.483	1.444	1.471
	Sable de dune	1.037	1.053	1.101	1.167	1.163
Masse volumique sèche (g/cm ³)	Sable de carrière	2.099	1.98	1.98	1.764	1.796
	Sable de dune	1.691	1.726	1.602	1.398	1.406

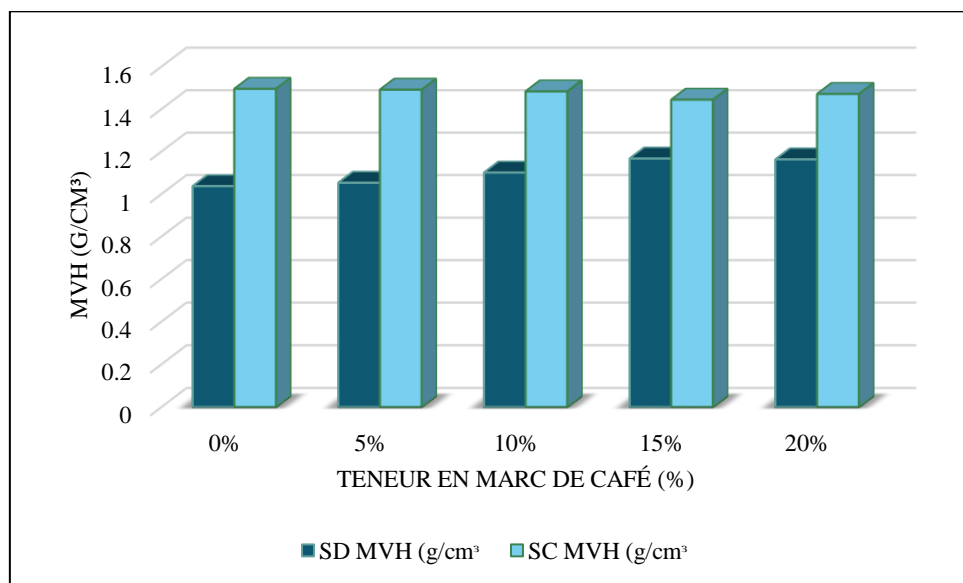


Figure IV. 5 : Evolution des masses volumiques humides en fonction de la teneur en déchet alimentaire.

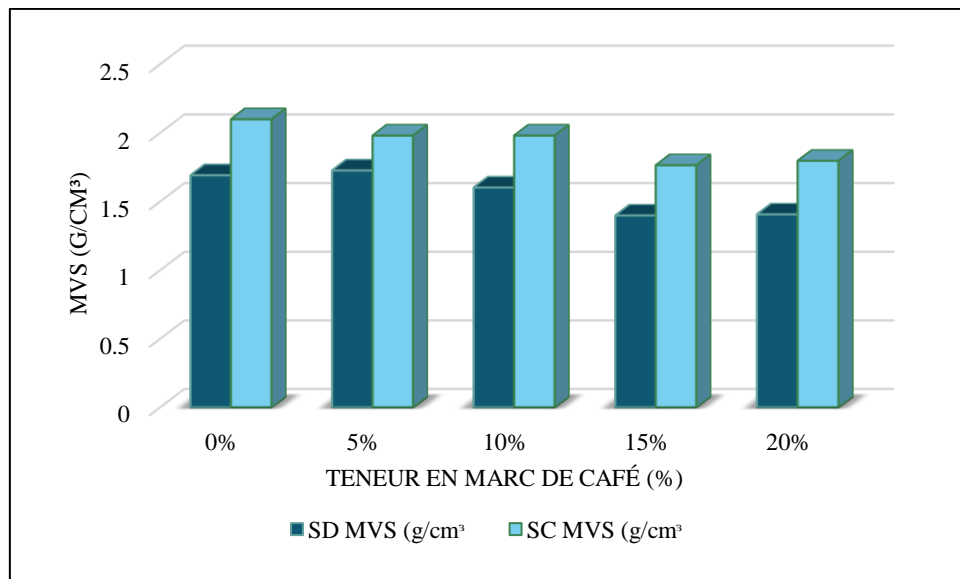


Figure IV. 6 : Evolution des masses volumiques sèches en fonction de la teneur en déchet alimentaire.

Masse volumique humide :

- Pour le mortier à base de sable de carrière MVH est presque constante jusqu'à la teneur en marc de café de 10%, puis elle diminue de (3.41%, 1.6%) pour MSCMC15% et MSCMC20% respectivement par rapport à celle du MSCMC0%. Par contre pour le mortier à base de sable de dune MVH augmente progressivement en fonction de la teneur en marc de café jusqu'à 15% de substitution, puis elle tend à être constante.
- Les valeurs de MVH du mortier à base de sable de carrière sont toujours supérieures à celles du mortier à base de sable de dune.

Masse volumique sèche :

- De même MVS du mortier à base de sable de carrière est presque constante jusqu'à la teneur en marc de café de 10%, puis elle diminue de (15.96%, 14.44%) pour MSCMC15% et MSCMC20% respectivement par rapport à celle du MSCMC0%. Par contre pour le mortier à base de sable de dune MVS est presque constante pour MSDMC0% et MSDMC5% et elle diminue de (5.26%, environ 17%) pour MSDMC10% et MSDMC15-20% respectivement par rapport à celle du MSDMC0%.
- De même les valeurs de MVS du mortier à base de sable de carrière sont toujours supérieures à celles du mortier à base de sable de dune.

En regroupant les résultats de la caractérisation physique du nouveau composite, on remarque que l'augmentation de l'absorption par immersion totale et de la masse volumique humide du mortier à base de sable de dune à 15% de substitution, n'est pas forcément due aux pores, mais elle peut être due à la nature du matériau lui-même (diminution de la porosité et de la masse volumique sèche). Cela confirme les résultats de Moruf Olalekan Yusuf et al [46] sur que le marc de café possède une capacité d'absorption d'humidité très élevée.

Les valeurs des caractéristiques physiques du mortier à base de sable de carrière sont presque toujours supérieures à celles du mortier à base de sable de dune, par ce qu'ils sont influencés par la différence des caractéristiques préliminaires (la granulométrie, l'absorption, la teneur en eau....) de chaque sable ainsi que le traitement suivie dans le cas du mortier à base de sable de dune.

IV.2.2. Caractérisation mécanique :

IV.2.2.1. Résistance à la traction par flexion trois points :

L'essai de traction par flexion est réalisé sur des éprouvettes prismatiques (4x4x16) cm³ selon la norme NF P.18-407, il s'agit de déterminer la résistance à la flexion (3 points) de l'éprouvette soumise à un effort centré exercé à l'aide d'une presse hydraulique.

La résistance à la traction par flexion est calculée à partir de la formule suivante :

$$R_t = \frac{1.5FL}{B^3}$$

R_t : résistance à la traction par flexion en [MPa]

F : la charge appliquée à la rupture en [N]

L : la distance entre les appuis (L = 100 mm)

B : le coté de la section carrée de l'éprouvette (B = 40 mm)

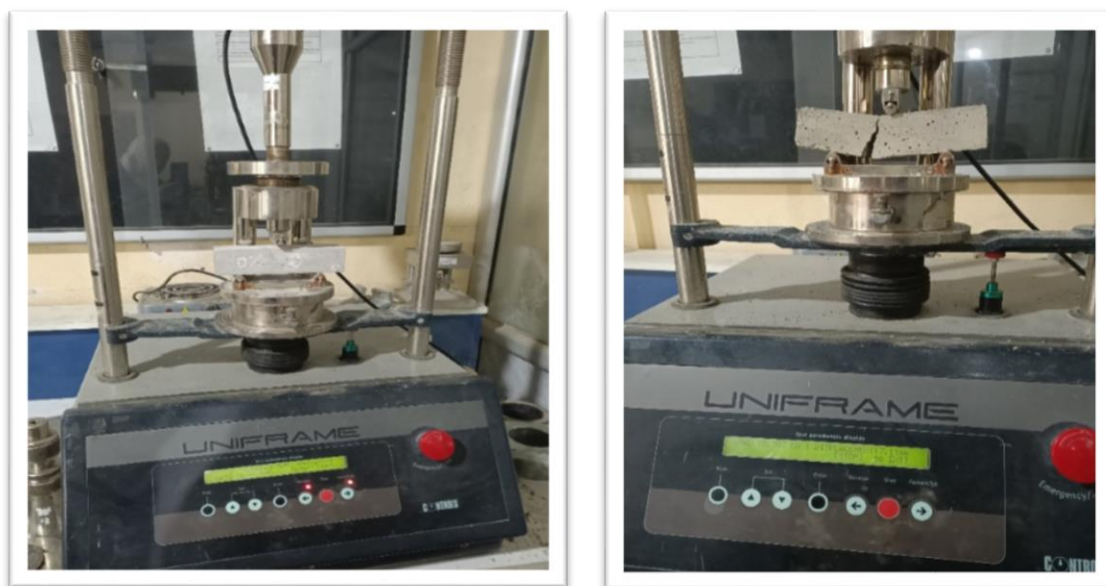


Figure IV.7: L'essai de traction par flexion trois points.

Tableau IV. 4 : Effet du déchet alimentaire sur la résistance à la traction par flexion.

		MMC0%	MMC5%	MMC10%	MMC15%	MMC20%
Résistance à la traction par flexion (MPa)	Sable de carrière	12.066	8.573	8.161	0.339	0.762
	Sable de dune	3.634	1.966	3.206	2.013	1.71

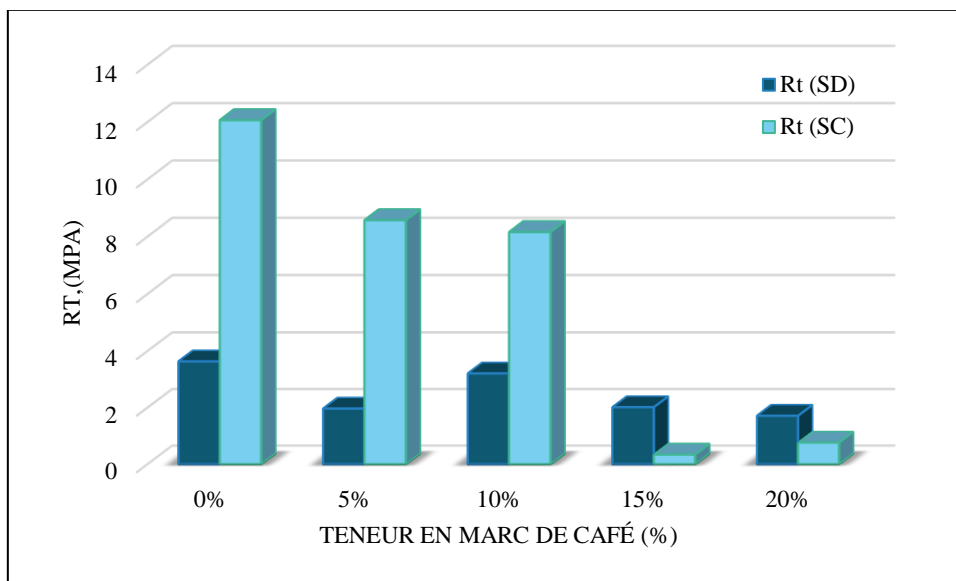


Figure IV.8 : Evolution de la résistance à la traction par flexion en fonction de la teneur en déchet alimentaire.

- Pour le mortier à base de sable de carrière R_t diminue d'un ordre d'environ (29%, 32%) respectivement pour MSCMC5% et MSCMC10% par rapport à celle du MSCMC0%, puis elle tend à s'annuler pour MSCMC15% et MSCMC20% mais le plus remarquable que la chute de la R_t à 15% de substitution est plus grande que celle à 20% de substitution. Par contre pour le mortier à base de sable de dune R_t marque des diminutions de moins de la moitié (environ 45%) à plus de la moitié (53%) pour les trois mortiers (MSDMC5%, MSDMC15%) et MSDMC20% respectivement par rapport à celle du MSDMC0%. Alors que R_t du mortier à 10% de substitution est plus proche de celle du mortier témoin.
- Les valeurs de R_t du mortier à base de sable de carrière sont supérieures à celles du mortier à base de sable de dune jusqu'à 10% de substitution, puis la règle s'inverse au-delà de ce pourcentage de substitution.



Figure IV.9: Distribution de différent pourcentage de déchet de marc de café (sable de carrière)

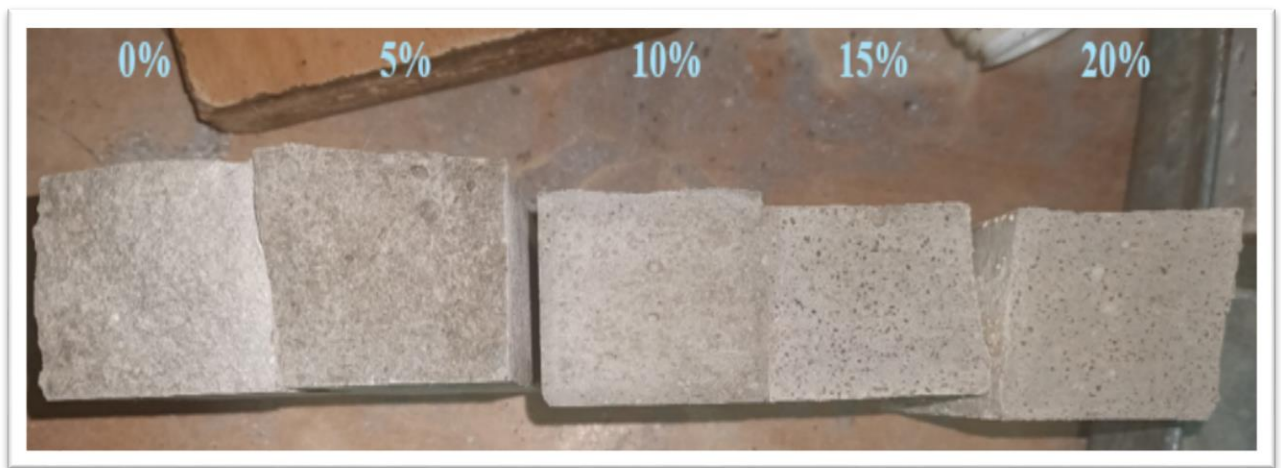


Figure IV.10: Distribution de différent pourcentage de déchet de marc de café (sable de dune)

II.2.2.2. Résistance à la compression :

L'essai de résistance à la compression (Essai d'écrasement) a été effectué par l'application d'un effort de chargement sur une éprouvette cubique (4x4x4) cm³, jusqu'à rupture dans une presse d'essai de compression.

La presse utilisée est une machine de type CONTROLS ayant une capacité maximale de 3000KN. Les échantillons conservés dans l'eau ont été séchés à l'atmosphère de laboratoire pendant 24 heures avant l'âge d'essai.



Figure IV.11: L'essai de résistance à la compression.

Tableau IV. 5 : Effet du déchet alimentaire sur la résistance à la compression.

		MMC0%	MMC5%	MMC10%	MMC15%	MMC20%
Résistance à la compression (MPa)	Sable de dune	23.62	13.55	14.47	11.86	7.61
	Sable de carrière	63.51	52.63	36.57	6.55	8.85

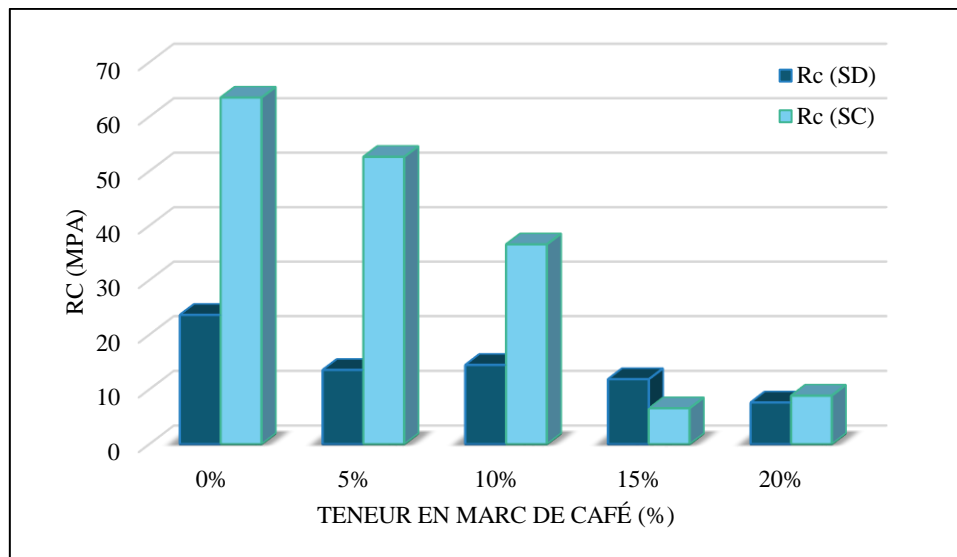


Figure IV.12 : Evolution de la résistance à la compression en fonction de la teneur en déchet alimentaire.

- Pour le mortier à base de sable de carrière Rc diminue progressivement en fonction de la teneur en marc de café jusqu'à 10% de substitution, puis elle chute brusquement pour MSCMC15% et MSCMC20% d'environ (99%, 98.6%) respectivement par rapport au mortier témoin. Mais le plus remarquable que la chute de la Rc à 15% de substitution est toujours plus grande que celle à 20% de substitution. Alors que le mortier à base de sable de dune marque des diminutions de la Rc proportionnelles à la teneur en marc de café.
- Les valeurs de Rc du mortier à base de sable de carrière sont supérieures à celles du mortier à base de sable de dune jusqu'à 10% de substitution, puis la règle s'inverse pour 15% de substitution et se converge pour 20% de substitution.

IV.2.2.3. Module d'élasticité dynamique :

La vitesse sonique est un paramètre qui permet d'obtenir une information qualitative sur le matériau et sur la structure. La vitesse des ondes ultrasoniques à travers le mortier résulte du temps mis par les ondes pour traverser la pâte de ciment durci et les granulats. Elle dépend énormément du module d'élasticité des granulats et de leur quantité dans le béton et le mortier. Le principe de la méthode des ultrasons consiste à mesurer le temps de propagation des impulsions ultrasoniques traversant le mortier. Les principales caractéristiques de tous les appareils disponibles sur le marché comprennent un générateur d'impulsion et un récepteur d'impulsion, comme le montre la Figure IV.13.



Figure IV.13 : Mesure de la vitesse de propagation de sons sur des éprouvettes prismatique (4×4×16) cm³.

Cet essai est réalisé conformément à la spécification de la norme NF EN 12504-. Il est effectué sur des éprouvettes prismatique (4×4×16) cm³ conservées dans l'eau pendant 28 jours et séchées à l'étuve à température de 60°C jusqu'au masse constante.

La surface sur laquelle l'essai est effectué doit épouser parfaitement la forme de l'appareil qui lui est appliqué, et une substance de contact telle une mince couche de gel de contact est indispensable.

Un train d'ondes longitudinales (54KHz) est produit par un transducteur (émetteur) électro-acoustique maintenu au contact d'une surface du mortier soumis à l'essai. Après avoir parcouru une longueur connue dans le mortier, le train de vibrations est converti en signal électrique par un deuxième transducteur (récepteur), et des compteurs électroniques de mesure du temps permettent de mesurer le temps de parcours de l'impulsion.

Après avoir actionné l'appareil on lit le temps de propagation en microseconde (µsec). La distance entre les têtes doit être connue avec une précision de 1% pour calculer la vitesse de propagation à l'aide de l'expression suivante :

$$V = \frac{L}{T}$$

V: La vitesse de propagation des ondes ultrasoniques dans le mortier en m/sec.

L: La distance entre les têtes en m.

T : Le temps de propagation en µsec.

A partir de la vitesse de propagation du son, on peut déterminer quelques paramètres intéressants comme le module d'élasticité dynamique E_{dyn} et la résistance à la compression selon l'expression suivante :

$$E_{dyn} = V^2 \rho \frac{(1 + \nu)(1 - 2\nu)}{(1 - \nu)}$$

V: vitesse du train d'ondes (m/s).

ρ : masse volumique apparente des éprouvettes (kg/m³).

ν : le coefficient de poisson, on prendra $\nu = 0.3$, valeur usuelle pour les mortiers.

E_{dyn} = Module d'élastique dynamique en MPa.

Les mesures ultrasoniques peuvent être interprétées selon les critères décrits dans le tableau IV.6 ci-dessous.

Tableau IV.6: Qualité du béton et vitesse de propagation des impulsions

Qualité	Vitesse de propagation des impulsions m/s
Excellente	Supérieure à 4575
Bonne	3660-4575
Douteuse	3050-3660
Mauvaise	2135-3050
Très mauvaise	inférieure à 2135

Certains facteurs influent toutefois sur la prise de mesures :

- Une augmentation de la vitesse des impulsions se produit à des températures sous le point de congélation à cause du gel de l'eau ; entre 5 et 30°C, la vitesse des impulsions n'est pas subordonnée à la température.
- La présence d'acier d'armature dans le béton a un effet appréciable sur la vitesse des impulsions. Il est par conséquent souhaitable et souvent indispensable de choisir des parcours d'impulsions qui ne sont pas influencés par la présence d'acier d'armature ou d'effectuer des corrections si de l'acier se trouve sur le parcours de l'impulsion.

Tableau IV.7 : Effet du déchet alimentaire sur le module d'élasticité dynamique.

		MMC0%	MMC5%	MMC10%	MMC15%	MMC20%
Module d'élasticité dynamique (MPa)	Sable de carrière	20430	15985	14535	1418	4245
	Sable de dune	13681	9517	9856	5736	4537

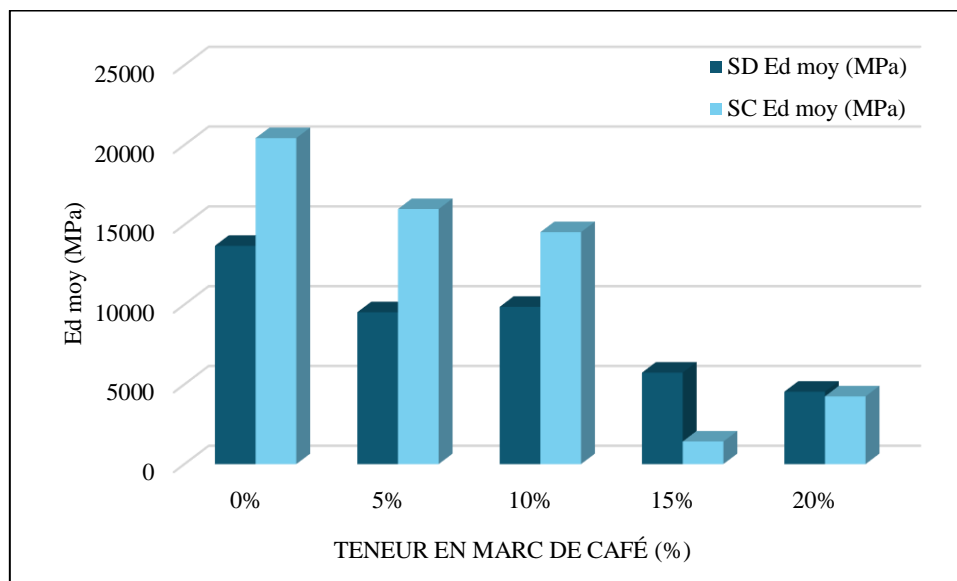


Figure IV.14: Evolution du module d'élasticité dynamique en fonction de la teneur en déchet alimentaire.

- Pour le mortier à base de sable de carrière E_{dyn} diminue progressivement en fonction de la teneur en marc de café jusqu'à 10% de substitution, puis il chute brusquement pour MSCMC15% et MSCMC20% comme R_c . Mais le plus remarquable qu'après la chute à 15% de substitution il commence à augmenter à 20% de substitution. Alors que le mortier à base de sable de dune marque des diminutions du E_{dyn} proportionnels à la teneur en marc de café.
- Les valeurs du E_{dyn} du mortier à base de sable de carrière sont supérieures à celles du mortier à base de sable de dune jusqu'à 10% de substitution, puis la règle s'inverse pour 15% de substitution et se converge pour 20% de substitution.

En regroupant les résultats de la caractérisation mécaniques du nouveau composite, on remarque que la brusque diminution de la résistance à la compression du mortier à base de sable de carrière à 15% de substitution et l'augmentation même légèrement de cette dernière à 20% de substitution, est probablement due à une mauvaise distribution du marc de café dans la matrice (voir figure IV.15), qui peut être due au pourcentage du plastifiant (le mortier à étalement plus élevée, voir chapitre III).

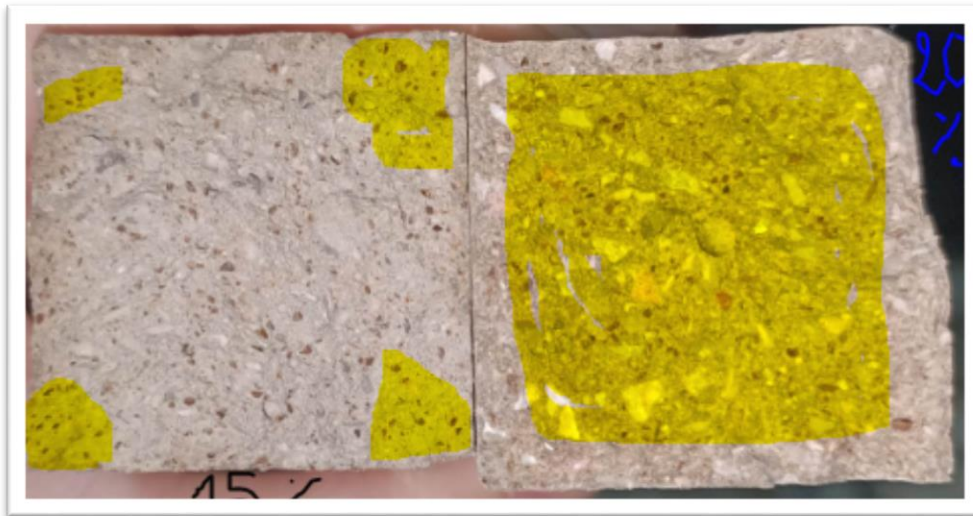


Figure IV.15: Distribution à (15% et 20%) de substitution du déchet de marc de café (mortier à base de sable de carrière)

IV.3. Conclusion

La caractérisation physico-mécanique d'un nouveau composite est une étape très essentielle pour ce genre de valorisation des déchets dans le domaine du génie civil exactement dans les matériaux de construction. Cette caractérisation nous a permis de tirer quelques conclusions qui peuvent être utiles pour d'autres axes de recherche. Dont :

- Pour des caractéristiques physico-mécaniques acceptables à un mortier soit à base de sable de dune ou de carrière il faut limiter le pourcentage de substitution à 10%.
- La substitution de plus de 10% peut être acceptée si on ne cherche pas un mortier porteur, ou on cherche un mortier absorbant.
- La résistance à la traction par flexion du mortier à base de sable de dune jusqu'à 15% de substitution est voisine de celle du mortier témoin, ce qui est dû sûrement au traitement suivi.
- Il faut fixer l'étalement avant l'étude de ce genre de valorisation pour éliminer le problème de la distribution.

CHAPITRE V : INTERPRETATION ET EXPLOITATION DES RESULTATS

V.1. Introduction :

Les matériaux de construction sont exposés tout au long de leur vie à des conditions difficiles qui affectent négativement leurs propriétés physiques et mécaniques, dont nous devons étudier cet effet en ce qui concerne les nouveaux matériaux de construction, qui contiennent généralement des déchets. L'objectif de ce chapitre c'est la caractérisation mécanique des nouveaux mortiers écologique, après l'exposition de ces derniers à des cycles successifs de quatre environnements extrêmes. Afin de pouvoir étudier l'effet de la substitution du sable par le marc de café sur les caractéristiques mécaniques après ces cycles. Le même programme expérimental que le chapitre précédant a été envisager mais les quantités sont multiplier fois quatre.

Les essais ont été réalisés au laboratoires de génie civil et d'hydraulique (pédagogique et recherche) de l'université 8 mai 1945 de Guelma.

V.2. Présentations des conditions extrêmes choisis :

V.2.1. Gel-dégel :

Le gel dégel est un phénomène naturel qui se produit lorsqu'il y a une variation des températures autour du point de congélation. Dans cette expérience, nous avons exposé les différents échantillons du mortier étudié à ces conditions, en les plaçant pendant 4 jours à une température inférieure à zéro, puis en les plaçant à température ambiante pendant la même durée. Et la somme des deux termes est le cycle. Ce cycle est répété sept fois successivement.

V.2.2. Milieu d'hiver (mouillage/séchage):

En hiver, la plupart des bâtiments, en particulier leurs sections non couvertes, sont exposés au facteur pluie, car ils sont parfois mouillés et secs à d'autres moments (mouillage /séchage). Dans cette expérience, nous avons mouillés les différents échantillons du mortier étudié à l'eau du robinet pendant 4 jours, puis en les plaçant à la température ambiante maximum dans notre région (soit 65°C) pendant la même durée. Et la somme des deux termes est le cycle. Ce cycle est répété sept fois successivement.

V.2.3. Milieu chlorure :

Les sections de bâtiments immergées dans l'eau de mer ou l'eau à haute salinité sont exposées à des environnements et des conditions difficiles qui affectent les propriétés de leurs matériaux de construction. Dans cette expérience, nous avons mouillés les différents échantillons du mortier étudié à l'eau du robinet plus 5% de sa masse du chlorure, pour créer un environnement semblable à l'eau

de mer. Cela pendant 4 jours, puis en les plaçant à la température ambiante maximum dans notre région (soit 65°C) pendant la même durée. Et la somme des deux termes est le cycle. Ce cycle est répété sept fois successivement.

V.2.4. Environnement d’été (Température):

En été, la plupart des bâtiments, en particulier leurs sections non couvertes, sont exposés le jour à l’élévation de la température, puis à une abaissement la nuit. Dans cette expérience, nous avons exposés les différents échantillons du mortier étudié à la température ambiante maximum dans notre région (soit 65°C) pendant 4 jours, puis en les plaçant à la température ambiante pendant la même durée. Et la somme des deux termes est le cycle. Ce cycle est répété sept fois successivement.

Remarque : la réalisation de l’environnement à 65°C de température était par l’étuve.

V.3. Influence du déchet alimentaire (Marc de café) sur les propriétés mécaniques du mortier aux conditions extrêmes:

V.3.1 Effet du déchet (MC):

V.3.1.1. Gel-dégel

A. La résistance à la compression

Tableau V.1 : Effet du déchet alimentaire sur la résistance à la compression après 7 cycle gel-dégel.

		MMC0%	MMC5%	MMC10%	MMC15%	MMC20%
Résistance à la compression (MPa)	SC (28jours)	63.51	52.63	36.57	6.55	8.85
	SC (7 cycles)	54.94	44.14	25.96	16.42	24.46
	SD (28jours)	23.62	13.55	14.47	11.86	7.61
	SD (7 cycles)	27.81	23.46	14.05	9.64	6.55

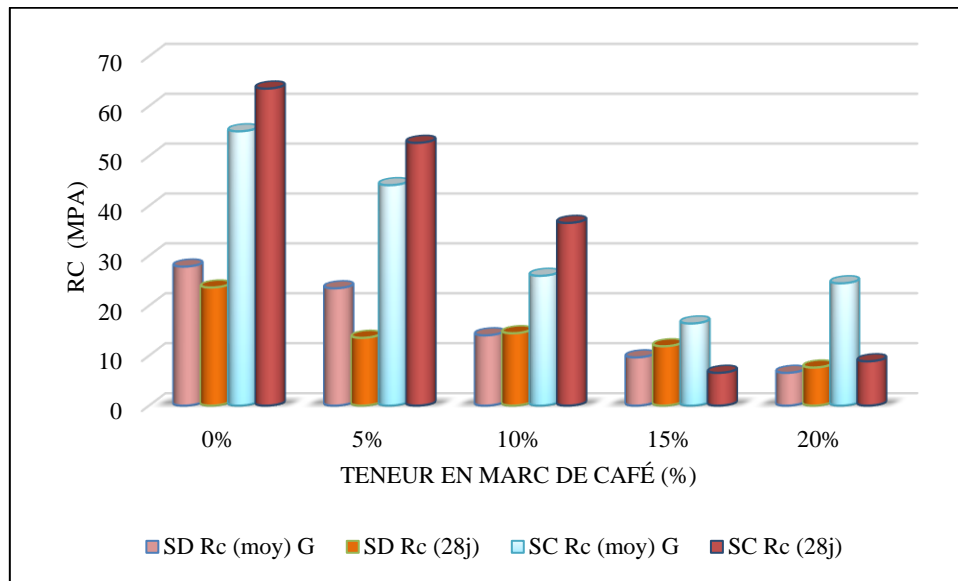


Figure V.1 : Variation de la résistance à la compression en fonction de la teneur en déchet alimentaire après 7 cycle gel-dégel.

- Pour le mortier à base de sable de carrière le rapport $(R_{c/G})/(R_{c28})$ est d'un ordre d'environ 0.8 pour le mortier témoin et MSCMC5% et d'un ordre de 0.68 pour MSCMC10%, puis il augmente à (2.5, 2.76) respectivement pour MSCMC15% et MSCMC20%. Par contre pour le mortier à base de sable de dune le rapport augmente pour les deux mortiers (MSDMC0%, MSDMC5%) et pour diminué pour le reste des mortiers respectivement (0.97, 0.81 et 0.86).
- L'amélioration de Rc du mortier à base de sable de carrière est due surement à la présence d'une certaine quantité de marc de café (15% et plus).

B. La résistance à la traction par flexion

Tableau V. 2 : Effet du déchet alimentaire sur la résistance à la traction par flexion après 7 cycle gel-dégel.

		MMC0%	MMC5%	MMC10%	MMC15%	MMC20%
Résistance à la traction par flexion (MPa)	SC (28jours)	12.066	8.573	8.161	0.339	0.762
	SC (7 cycles)	8.3	7.74	6.31	0.71	5.91
	SD (28jours)	3.634	1.966	3.206	2.013	1.71
	SD (7 cycles)	8.3	6.94	6.31	0.71	5.35

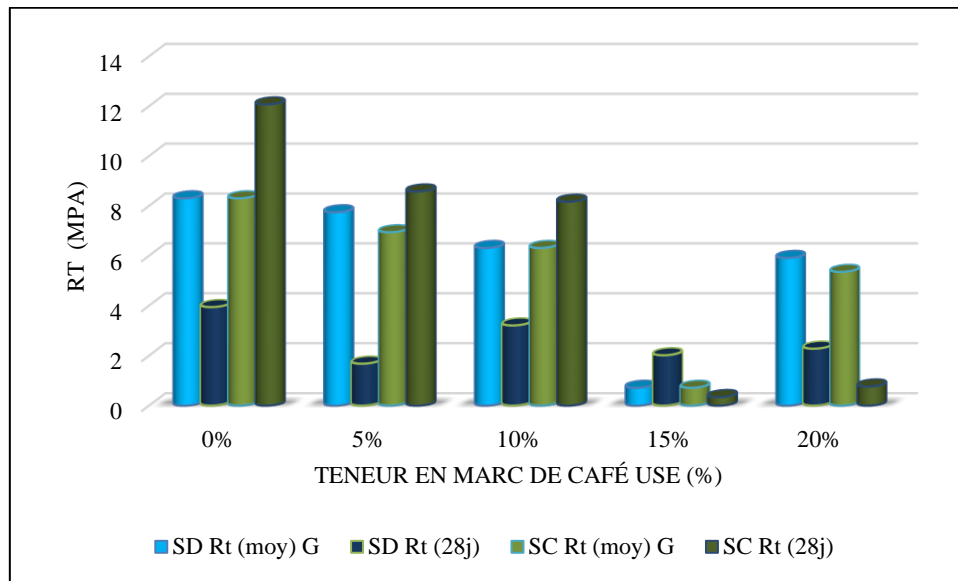


Figure V.2 : Variation de la résistance à la traction par flexion en fonction de la teneur en déchet alimentaire après 7 cycle gel-dégel.

- Pour le mortier à base de sable de carrière le rapport $(R_{t/G})/(R_{t28})$ est d'un ordre d'environ (0.69, 0.9, 0.77) respectivement pour le mortier témoin et deux mortiers (MSCMC5%, MSCMC10%), puis il augmente d'un ordre de 2.09 pour MSCMC15% et un saut de 7.75 pour MSCMC20%. Par contre pour le mortier à base de sable de dune le rapport est toujours positif entre (2, 3), sauf pour MSDMC15% qui est d'un ordre de 0.35.
- L'amélioration de R_t du mortier à base de sable de carrière est due sûrement à la présence d'une certaine quantité de marc de café (15% et plus). Mais l'évolution du rapport a subi une diminution jusqu'à 15% de substitution pour augmenter brusquement au-delà de cette substitution.

C. Le module d'élasticité dynamique

Tableau V. 3 : Effet du déchet alimentaire sur le module d'élasticité dynamique après 7 cycle gel-dégel.

		MMC0%	MMC5%	MMC10%	MMC15%	MMC20%
Module d'élasticité dynamique (MPa)	SC (28jours)	20430	15985	14535	1418	4245
	SC (7 cycles)	21554	17740	12798	3502	10088
	SD (28jours)	13681	9517	9856	5736	4537
	SD (7 cycles)	17480	11775	10399	7584	5851

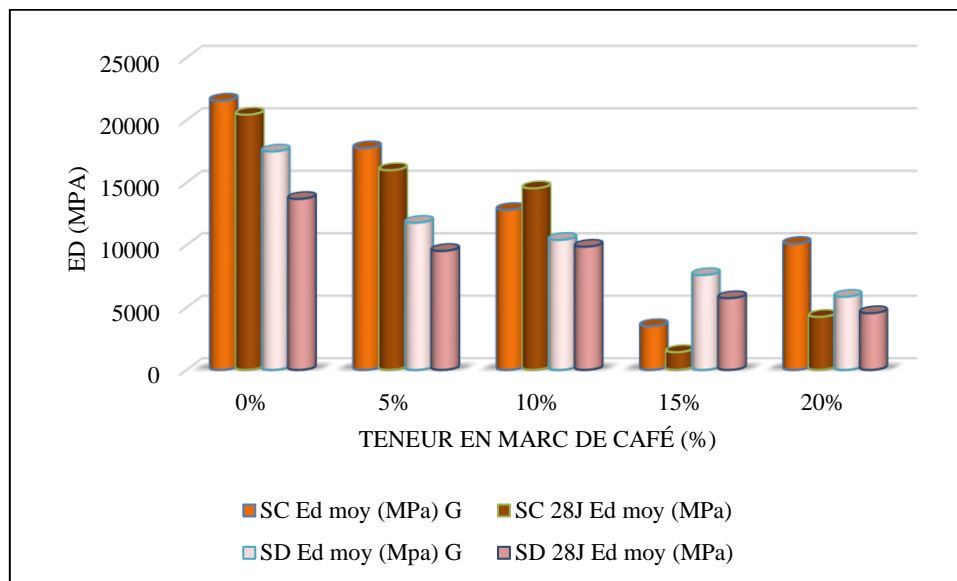


Figure V.3 : Variation du module d'élasticité dynamique en fonction de la teneur en déchet alimentaire après 7 cycle gel-dégel.

- Le rapport $(E_{d/G})/(E_{d28})$ du mortier à base de sable de carrière est d'un ordre de (1.06, 1.11) respectivement pour le mortier témoin et MSCMC5% et d'un ordre de 0.88 pour MSCMC10%, puis il augmente à (2.47, 2.38) respectivement pour MSCMC15% et MSCMC20%. Par contre pour le mortier à base de sable de dune le rapport est toujours positif avec des valeurs différentes.
- On remarque en générale que la présence du marc de café à améliorer le module d'élasticité dynamique des deux types de mortiers après les cycles de gel/dégel.

V.3.1.2. Milieu chlorure

A. La résistance à la compression

Tableau V.4 : Effet du déchet alimentaire sur la résistance à la compression après 7 cycle de milieu chlorure.

		MMC0%	MMC5%	MMC10%	MMC15%	MMC20%
Résistance à la compression (MPa)	SC (28jours)	63.51	52.63	36.57	6.55	8.85
	Sable de carrière	48.72	31.44	24.08	15.89	23.99
	SD (28jours)	23.62	13.55	14.47	11.86	7.61
	Sable de dune	21.76	12.105	11.48	7.044	8.364

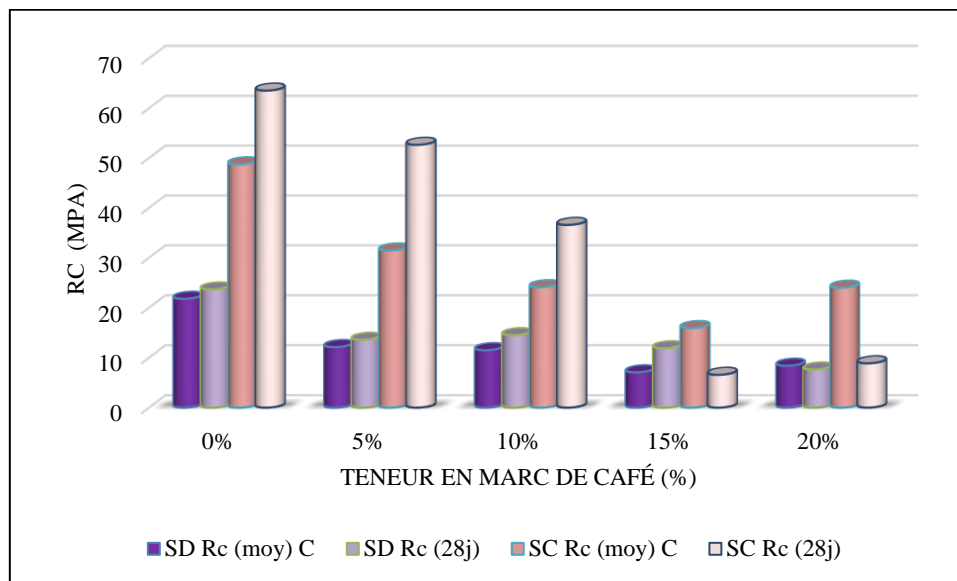


Figure V.4 : Variation de la résistance à la compression en fonction de la teneur en déchet alimentaire après 7 cycle de milieu chlorure.

- Pour le mortier à base de sable de carrière le rapport $(R_{c/ch})/(R_{c28})$ a un ordre décroissant jusqu'au MSCMC10%, puis il augmente progressivement à partir de MSCMC15%. De même pour le mortier à base de sable de dune le rapport décroît jusqu'au MSCMC15%, puis il augmente pour MSCMC20%.
- L'amélioration de R_c pour les deux types du mortier à partir de 15% ou 20% de substitution prouve l'effet favorable du marc de café en présence du chlore.

B. La résistance à la traction par flexion

Tableau V.5 : Effet du déchet alimentaire sur la résistance à la traction par flexion après 7 cycle de milieu chlorure.

		MMC0%	MMC5%	MMC10%	MMC15%	MMC20%
Résistance à la traction par flexion (MPa)	SC (28jours)	12.066	8.573	8.161	0.339	0.762
	Sable de carrière	7.66	6.54	6.04	0.92	5.57
	SD (28jours)	3.634	1.966	3.206	2.013	1.71
	Sable de dune	0.56	1.48	1.99	1.17	1.34

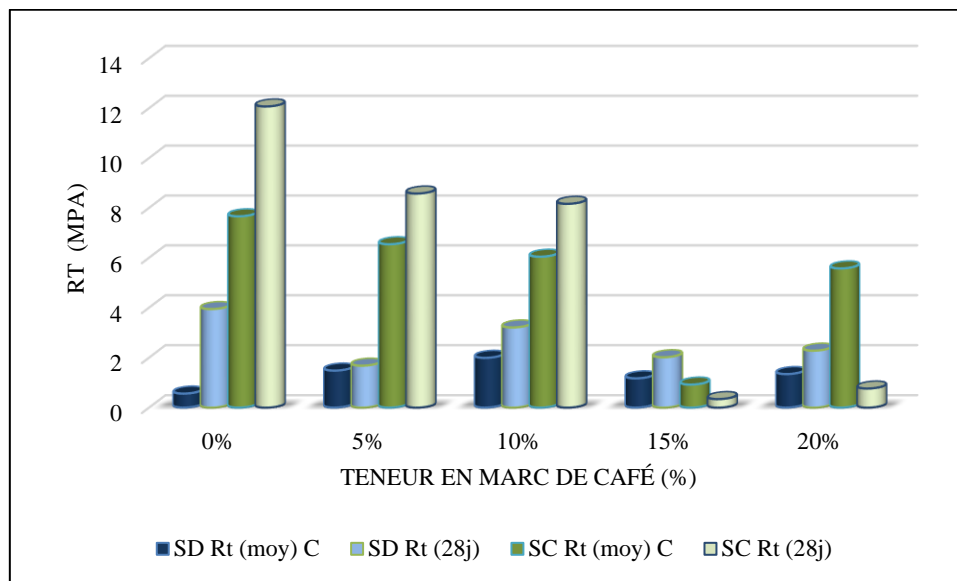


Figure V.5 : Variation de la résistance à la traction par flexion en fonction de la teneur en déchet alimentaire après 7 cycle de milieu chlorure.

- Pour le mortier à base de sable de carrière le rapport $(R_{t/ch})/(R_{t28})$ croit progressivement en fonction du teneur en marc de café jusqu'à MSCMC10%, puis s'accélère à ordre de 2.71 pour MSCMC15% pour atteindre 7.31 à 20% de substitution. Par contre le rapport pour le mortier à base de sable de dune est presque convergent pour les quatre mortiers avec teneur en marc de café, sauf la diminution du rapport du mortier témoin est très remarquable qui confirme la dégradation due à l'attaque par les chlorure.
- La présence du déchet de marc de café en milieu chlorure améliore la R_t pour le mortier à base de sable de carrière et à partir de 15% de substitution.

C. Le module d'élasticité dynamique

Tableau V.6 : Effet du déchet alimentaire sur le module d'élasticité dynamique après 7 cycle de milieu chlorure.

		MMC0%	MMC5%	MMC10%	MMC15%	MMC20%
Module d'élasticité dynamique (MPa)	SC (28jours)	20430	15985	14535	1418	4245
	Sable de carrière	19513	14614	13059	3740	10008
	SD (28jours)	13681	9517	9856	5736	4537
	Sable de dune	14076	10366	9719	6423	6506

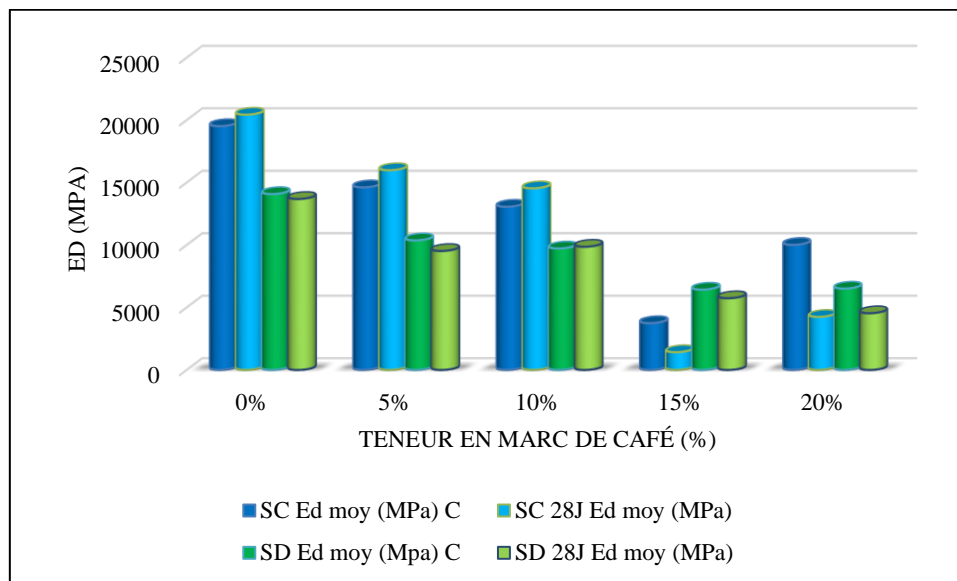


Figure V.6 : Variation du module d'élasticité dynamique en fonction de la teneur en déchet alimentaire après 7 cycle de milieu chlorure.

- Le rapport $(E_{d/ch})/(E_{d28})$ du mortier à base de sable de carrière est d'un ordre de (1.03, 1.09) respectivement pour le mortier témoin et MSCMC5% et d'un ordre de 0.99 pour MSCMC10%, puis il augmente à (2.64, 2.36) respectivement pour MSCMC15% et MSCMC20%. Par contre pour le mortier à base de sable de dune le rapport est presque toujours positif avec des valeurs différentes.
- On remarque en générale que la présence du marc de café à améliorer le module d'élasticité dynamique des deux types de mortiers après les cycles.

V.3.1.3. Environnement d'hiver

A. La résistance à la compression

Tableau V.7 : Effet du déchet alimentaire sur la résistance à la compression après 7 cycle de séchage/mouillage.

		MMC0%	MMC5%	MMC10%	MMC15%	MMC20%
Résistance à la compression (MPa)	SC (28jours)	63.51	52.63	36.57	6.55	8.85
	Sable de carrière	45.43	31.85	29.63	15.96	24.7
	SD (28jours)	23.62	13.55	14.47	11.86	7.61
	Sable de dune	23.32	19.33	12.28	8.58	7.38

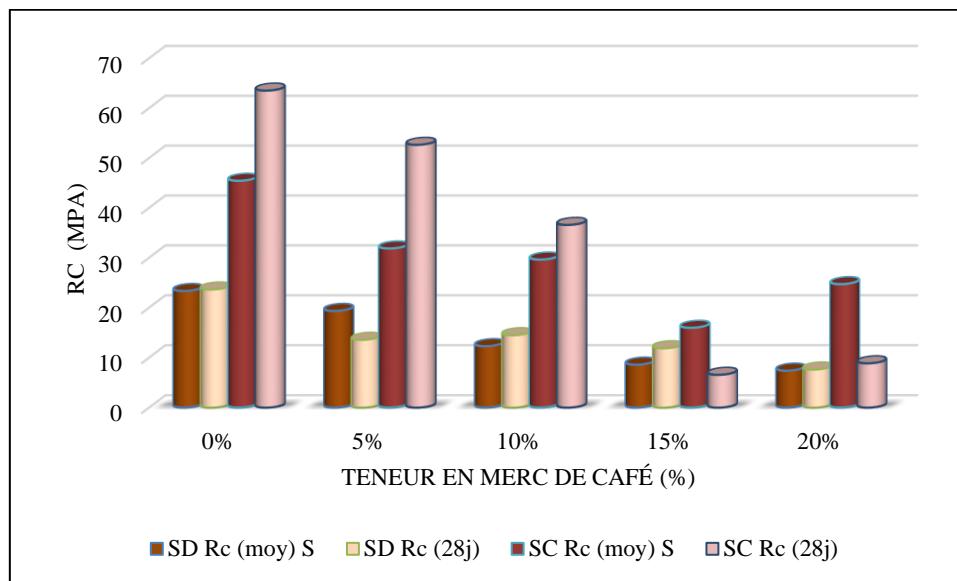


Figure V.7 : Variation de la résistance à la compression en fonction de la teneur en déchet alimentaire après 7 cycle de séchage/mouillage.

- Pour le mortier à base de sable de carrière le rapport $(R_{c/M-S})/(R_{c28})$ marque des valeurs inférieur à 1 jusqu'au MSCMC10%, puis il augmente progressivement à plus de 2 à partir de MSCMC15%. Alors que le rapport $(R_{c/M-S})/(R_{c28})$ pour le mortier à base de sable de dune a marqué des valeurs inférieur à 1 d'un ordre moyen de 0.99 pour tous les mortiers.
- Rc est amélioré que pour 15% ou 20% de substitution des mortiers à base de sable de carrière dans ce milieu de séchage/mouillage.

B. La résistance à la traction par flexion

Tableau V.8 : Effet du déchet alimentaire sur la résistance à la traction par flexion après 7 cycle de séchage/mouillage.

		MMC0%	MMC5%	MMC10%	MMC15%	MMC20%
Résistance à la traction par flexion (MPa)	SC (28jours)	12.066	8.573	8.161	0.339	0.762
	Sable de carrière	7.57	6.18	6.44	0.87	5.01
	SD (28jours)	3.634	1.966	3.206	2.013	1.71
	Sable de dune	2.37	2.41	2.15	2.02	1.63

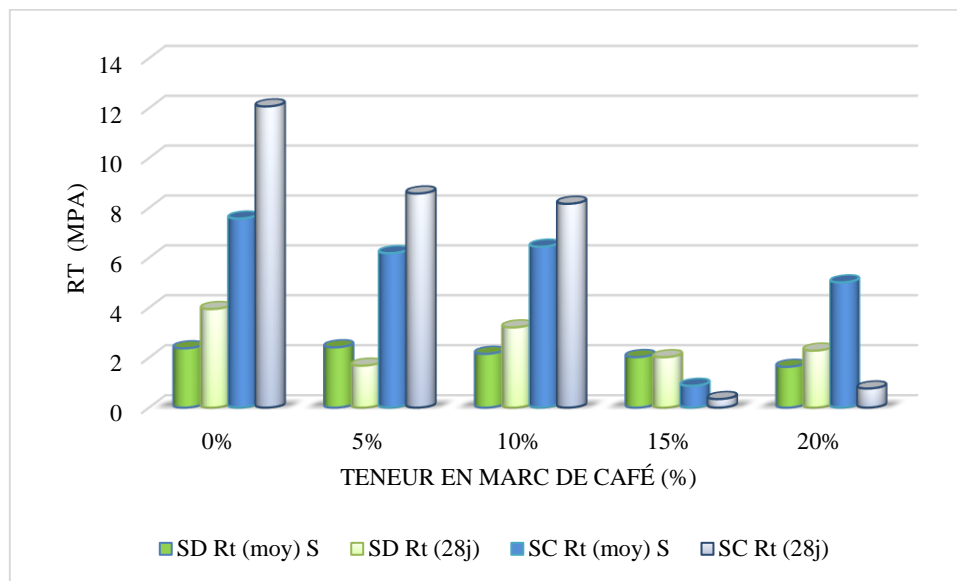


Figure V.8 : Variation de la résistance à la traction par flexion en fonction de la teneur en déchet alimentaire après 7 cycle de séchage/mouillage.

- Pour le mortier à base de sable de carrière le rapport $(R_{t/S-M})/(R_{t28})$ marque des valeurs inférieure à 1, croit progressivement en fonction du teneur en marc de café jusqu'à MSCMC10%, puis s'accélère à ordre de 2.57 pour MSCMC15% pour atteindre 6.57 à 20% de substitution. Alors que le rapport pour le mortier à base de sable de dune a marqué des valeurs inférieures à 1 d'un ordre entre 0.65 et 1.23.
- La présence du déchet de marc de café en milieu séchage/mouillage améliore la R_t pour le mortier à base de sable de carrière et à partir de 15% de substitution.

C. Le module d'élasticité dynamique

Tableau V.9 : Effet du déchet alimentaire sur le module d'élasticité dynamique après 7 cycle de séchage/mouillage.

		MMC0%	MMC5%	MMC10%	MMC15%	MMC20%
Module d'élasticité dynamique (MPa)	SC (28jours)	20430	15985	14535	1418	4245
	SC (7 cycles)	18073	14575	13423	4044	9765
	SD (28jours)	13681	9517	9856	5736	4537
	SD (7 cycles)	14775	12366	9604	7102	5927

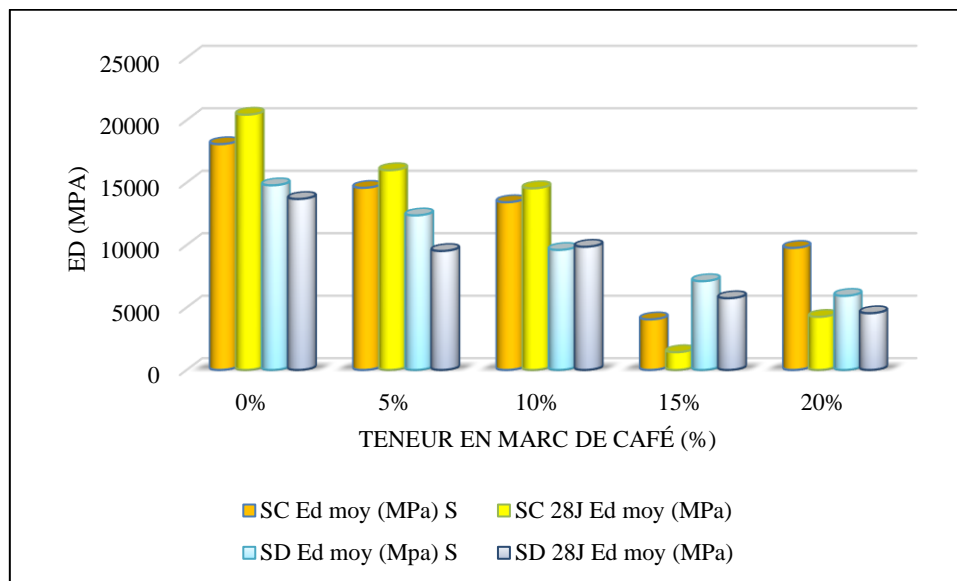


Figure V.9 : Variation du module d'élasticité dynamique en fonction de la teneur en déchet alimentaire après 7 cycle de séchage/mouillage.

- Pour le mortier à base de sable de carrière le rapport $(E_{d/S-M})/(E_{d28})$ marque des valeurs inférieure à 1 jusqu'au MSCMC10%, puis il augmente progressivement à plus de 2 à partir de MSCMC15%. Alors que le rapport $(E_{d/S-M})/(E_{d28})$ pour le mortier à base de sable de dune a marqué des valeurs supérieures à 1 d'un ordre moyen de 1.18 pour tous les mortiers.
- De même E_d est amélioré comme R_c et R_t que pour 15% ou 20% de substitution des mortiers à base de sable de carrière dans ce milieu de séchage/mouillage.

V.3.1.4. Environnement d'été

A. La résistance à la compression

Tableau V.10 : Effet du déchet alimentaire sur la résistance à la compression après 7 cycle d'environnement d'été.

		MMC0%	MMC5%	MMC10%	MMC15%	MMC20%
Résistance à la compression (MPa)	SC (28jours)	63.51	52.63	36.57	6.55	8.85
	Sable de carrière	47.39	31.55	22.3	13.11	22.39
	SD (28jours)	23.62	13.55	14.47	11.86	7.61
	Sable de dune	29.875	24.245	14.39	12.33	7.935

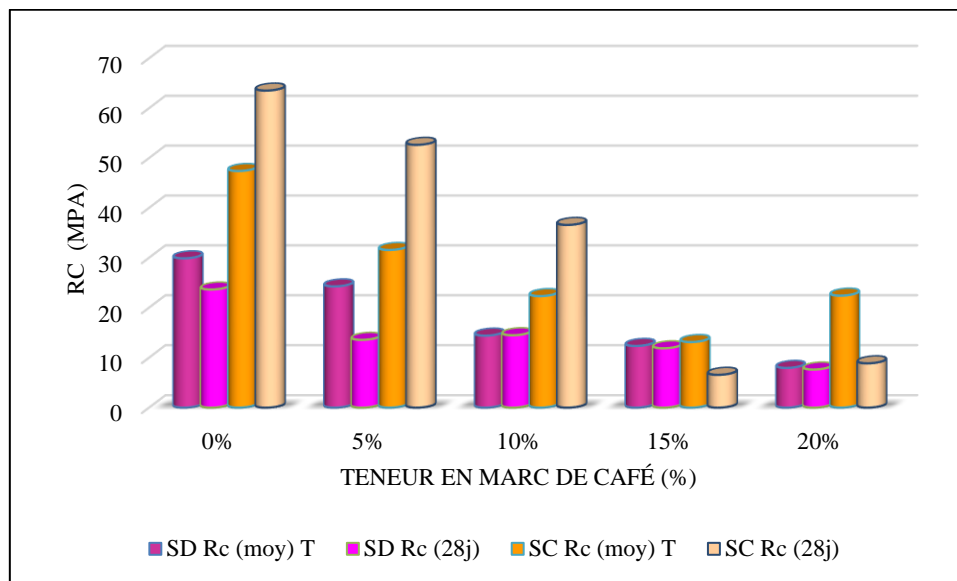


Figure V.10 : Variation de la résistance à la compression en fonction de la teneur en déchet alimentaire après 7 cycle d’environnement d’été.

- Pour le mortier à base de sable de carrière le rapport $(R_{c/T})/(R_{c28})$ marque des valeurs inférieure à 1 jusqu’au MSCMC10%, puis il augmente progressivement à plus de 2 à partir de MSCMC15%. Alors que le rapport $(R_{c/M-S})/(R_{c28})$ pour le mortier à base de sable de dune a marqué des valeurs inférieure à 1 d’un ordre moyen de 0.99 pour tous les mortiers.
- Rc est amélioré que pour 15% ou 20% de substitution des mortiers à base de sable de carrière dans ce milieu de séchage/mouillage.

B. La résistance à la traction par flexion

Tableau V.11 : Effet du déchet alimentaire sur la résistance à la traction par flexion après 7 cycle d’environnement d’été.

		MMC0%	MMC5%	MMC10%	MMC15%	MMC20%
Résistance à la traction par flexion (MPa)	SC (28jours)	12.066	8.573	8.161	0.339	0.762
	Sable de carrière	8.85	6.46	5.79	0.26	5.68
	SD (28jours)	3.634	1.966	3.206	2.013	1.71
	Sable de dune	5.53	4.7	4.31	3.62	2.33

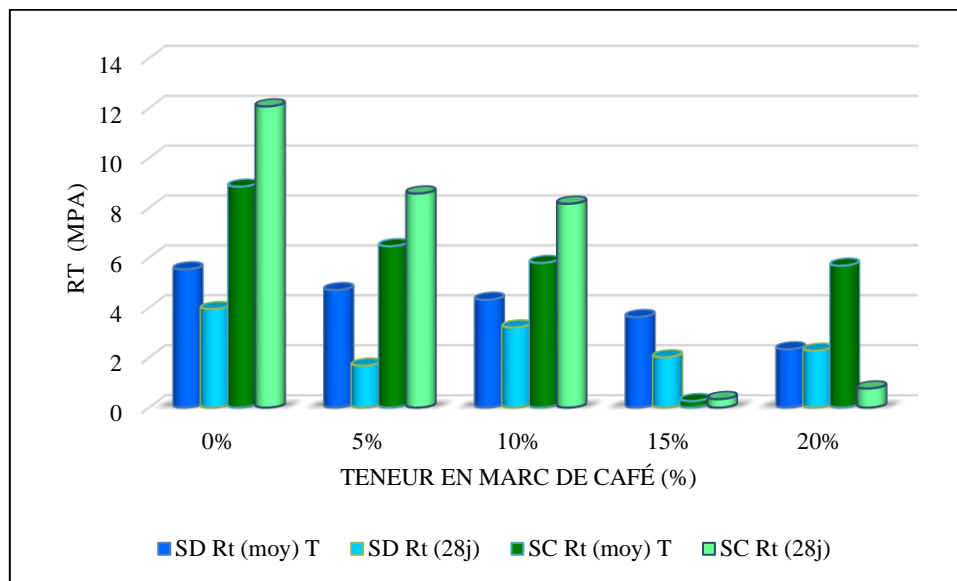


Figure V.11 : Variation de la résistance à la traction par flexion en fonction de la teneur en déchet alimentaire après 7 cycle d’environnement d’été.

- Pour le mortier à base de sable de carrière le rapport $(R_{1T})/(R_{128})$ marque des valeurs inférieure à 1 jusqu’à MMC15%, puis il marque un saut de 7.45 à 20% de substitution. Alors que le rapport pour le mortier à base de sable de dune a marqué des valeurs supérieures à 1 d’un ordre entre 1.34 et 2.39.
- La présence du déchet de marc de café en milieu de température d’été a amélioré la R_t pour le mortier à base de sable de carrière et à 20% de substitution. Ainsi que les mortiers à base de sable de dune mais avec des petites valeurs.

C. Le module d’élasticité dynamique

Tableau V.12 : Effet du déchet alimentaire sur le module d’élasticité dynamique après 7 cycle d’environnement d’été.

		MMC0%	MMC5%	MMC10%	MMC15%	MMC20%
Module d’élasticité dynamique (MPa)	SC (28jours)	20430	15985	14535	1418	4245
	Sable de carrière	20203	13864	11871	2194	8775
	SD (28jours)	13681	9517	9856	5736	4537
	Sable de dune	15589	12838	9685	6826	5377

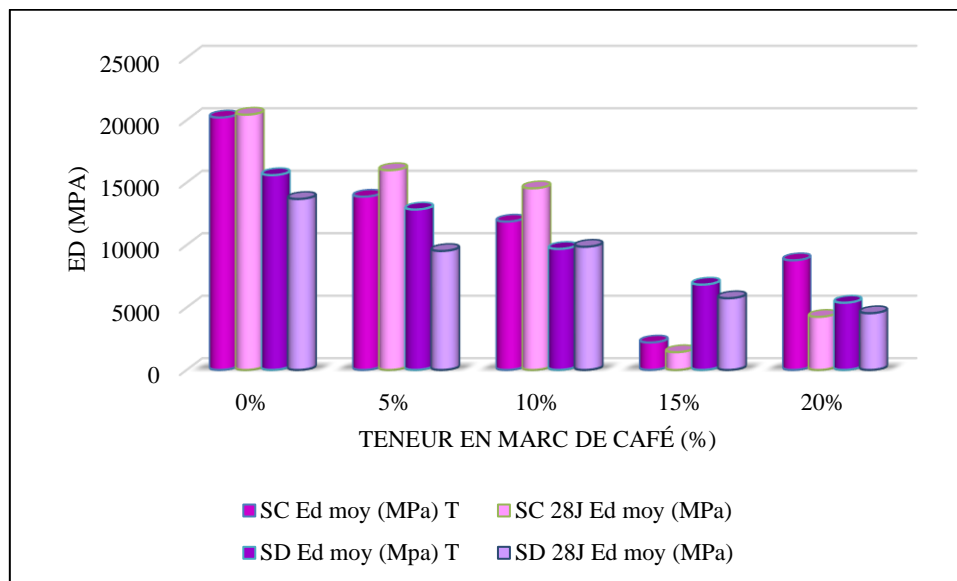


Figure V.12 : Variation du module d'élasticité dynamique en fonction de la teneur en déchet alimentaire après 7 cycle d'environnement d'hiver.

- Pour le mortier à base de sable de carrière le rapport $(E_{d/T})/(E_{d28})$ marque des valeurs inférieure à 1 jusqu'au MSCMC10%, puis il augmente progressivement à plus de 2 à partir de MSCMC15%. Alors que le rapport $(E_{d/T})/(E_{d28})$ pour le mortier à base de sable de dune a marqué des valeurs supérieures à 1 d'un ordre moyen de 1.17 pour tous les mortiers.
- De même E_d est amélioré comme R_c et R_t que pour 15% ou 20% de substitution des mortiers à base de sable de carrière dans ce milieu de la température d'été. Et s'améliore légèrement pour tous les mortiers à base de sable de dune.

En regroupant les résultats de la caractérisation mécaniques du nouveau composite soumise à quatre environnements différents, on remarque que l'amélioration de ces caractéristiques mécaniques pour le mortier à base de sable de carrière à 15% et 20% et la légère amélioration pour toutes les mortiers à base de sable de dune. Et probablement due au comportement chimique et mécanique du marc de café dans ces conditions extrêmes par exemple :

- À la décaféination (extraction du caféine) soit naturelle à l'eau (gel/dégel et mouillage/séchage) ou avec solvant (chlorure) [47].
- À la torréfaction (cas de la température) [48].
- Au comportement du déformation plastique à la compression du grain du marc de café [49].

V.3.2 Effet de l’environnement :

V.3.2.1. La résistance à la compression

Tableau V.13 : Effet de l’environnement sur la résistance à la compression du mortier à déchet alimentaire.

		environnement	MMC0 %	MMC5 %	MMC10 %	MMC15 %	MMC20 %
Résistance à la compression (MPa)	Sable de carrière	A 28 jours	63.51	52.63	36.57	6.55	8.85
		Gel-dégel	54.94	44.14	25.96	16.42	24.46
		Milieu chlorure	48.72	31.44	24.08	15.89	23.99
		D’hiver	45.43	31.85	29.63	15.96	24.7
		D’été	47.39	31.55	22.3	13.11	22.39
	Sable de dune	A 28 jours	23.62	13.55	14.47	11.86	7.61
		Gel-dégel	27.81	23.46	14.05	9.64	6.55
		Milieu chlorure	21.76	12.105	11.48	7.044	8.364
		D’hiver	23.32	19.33	12.28	8.58	7.38
		D’été	29.875	24.245	14.39	12.33	7.935

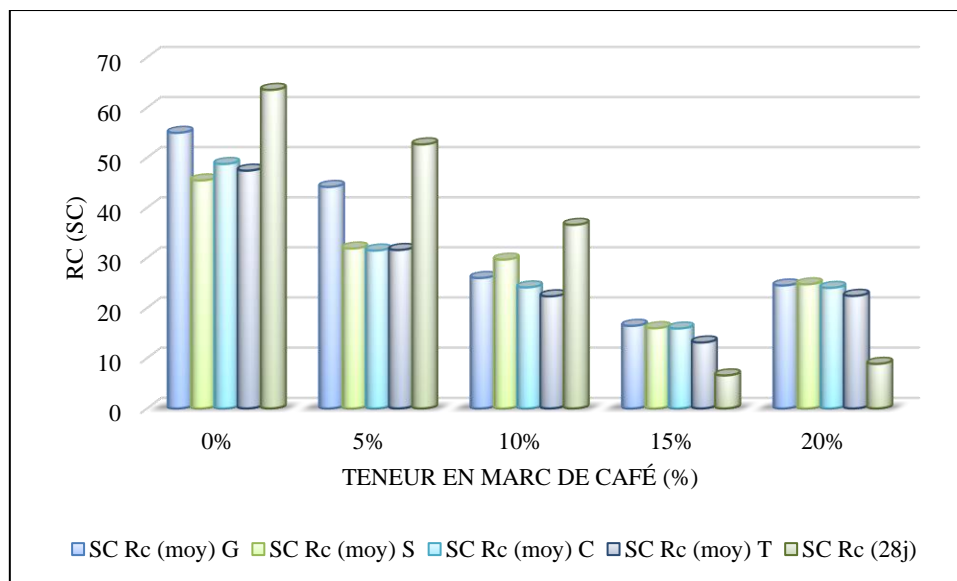


Figure V.13 : Influence de l’environnement sur la résistance à la compression du mortier à déchet alimentaire (sable de carrière).

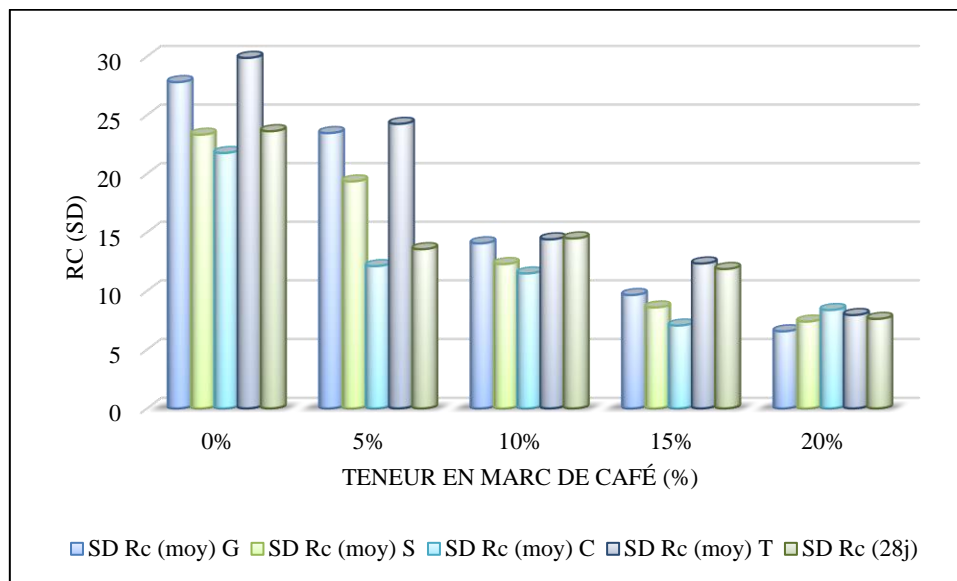


Figure V.14 : Influence de l'environnement sur la résistance à la compression du mortier à déchet alimentaire (sable de dune).

- Le gel/dégel est considéré comme le meilleur environnement pour le mortier à base de sable de carrière, par ce qu'elle marque les valeurs maximales de Rc par rapport aux autres environnement quel que soit la teneur en marc de café. Alors que pour le mortier à base de sable de dune l'environnement la plus adapté est celle de l'été (température) avec des valeurs supérieures de Rc par rapport aux autres environnement quel que soit la teneur en marc de café.

V.3.2.2. La résistance à la traction par flexion

Tableau V.14 : Effet de l'environnement sur la résistance à la traction par flexion du mortier à déchet alimentaire.

		environnement	MMC0 %	MMC5 %	MMC10 %	MMC15 %	MMC20 %
Résistance à la traction par flexion (MPa))	Sable de carrière	A 28 jours	12.066	8.573	8.161	0.339	0.762
		Gel-dégel	8.3	7.74	6.31	0.71	5.91
		Milieu chlorure	7.66	6.54	6.04	0.92	5.57
		D'hiver	7.57	6.18	6.44	0.87	5.01
		D'été	8.85	6.46	5.79	0.26	5.68
	Sable de dune	A 28 jours	3.634	1.966	3.206	2.013	1.71
		Gel-dégel	8.3	6.94	6.31	0.71	5.35
		Milieu chlorure	0.56	1.48	1.99	1.17	1.34
		D'hiver	2.37	2.41	2.15	2.02	1.63
		D'été	5.53	4.7	4.31	3.62	2.33

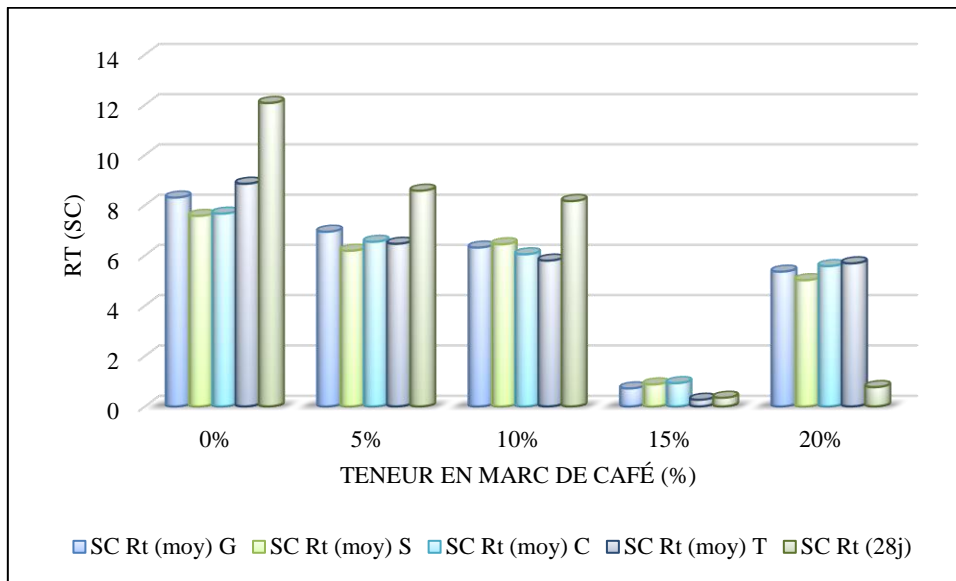


Figure V.15 : Influence de l'environnement sur la résistance à la traction par flexion du mortier à déchet alimentaire (sable de carrière).

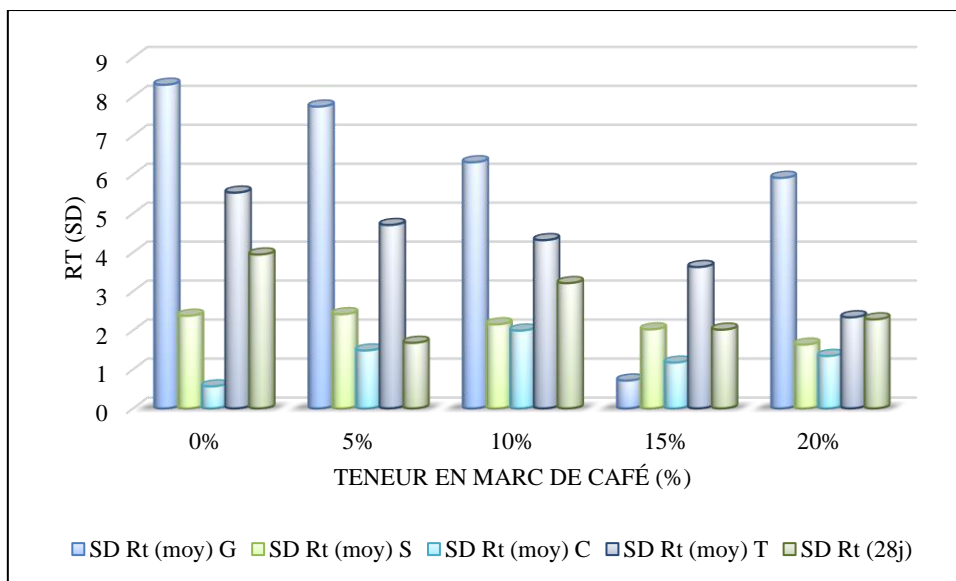


Figure V.16 : Influence de l'environnement sur la résistance à la traction par flexion du mortier à déchet alimentaire (sable de dune).

- On peut considérer le gel/dégel comme le meilleur environnement pour le mortier à base de sable de carrière, bien qu'il existe certaines valeurs supérieures à ses valeurs, mais en général c'est la meilleur. Et de même pour le mortier à base de sable de dune l'environnement la plus adapté est celle du gel/dégel, sauf pour la teneur 15% qui marque sa valeur maximale à l'environnement de l'été (température).

V.3.2.3. Le module d'élasticité dynamique

Tableau V.15 : Effet de l'environnement sur le module d'élasticité dynamique du mortier à déchet alimentaire.

		environnement	MMC0 %	MMC5 %	MMC10 %	MMC15 %	MMC20 %
Module d'élasticité dynamique (MPa)	Sable de carrière	A 28 jours	20430	15985	14535	1418	4245
		Gel-dégel	21554	17740	12798	3502	10088
		Milieu chlorure	19513	14614	13059	3740	10008
		D'hiver	18073	14575	13423	4044	9765
		D'été	20203	13864	11871	2194	8775
	Sable de dune	A 28 jours	13681	9517	9856	5736	4537
		Gel-dégel	17480	11775	10399	7584	5851
		Milieu chlorure	14076	10366	9719	6423	6506
		D'hiver	14775	12366	9604	7102	5927
		D'été	15589	12838	9685	6826	5377

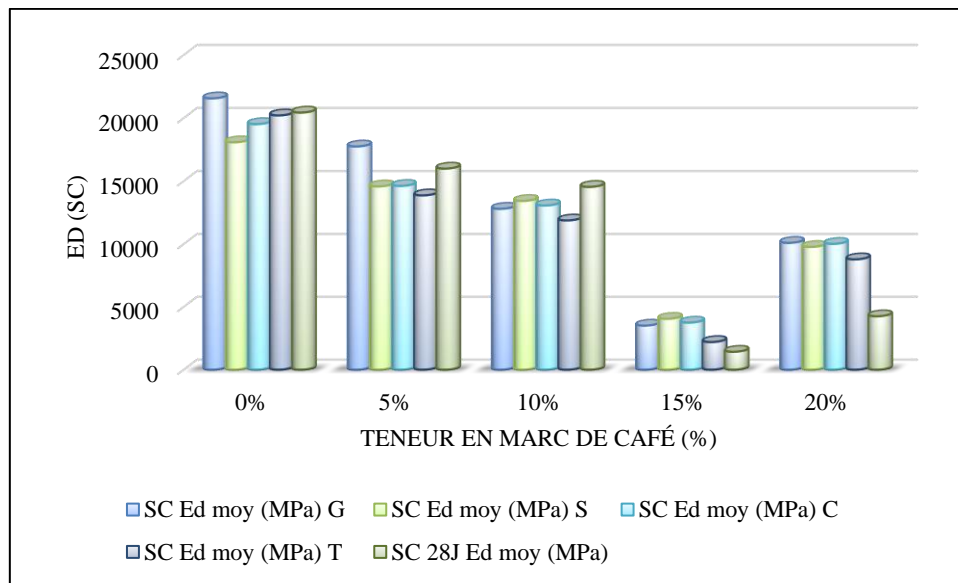


Figure V.17 : Influence de l'environnement sur le module d'élasticité dynamique du mortier à déchet alimentaire (sable de carrière)

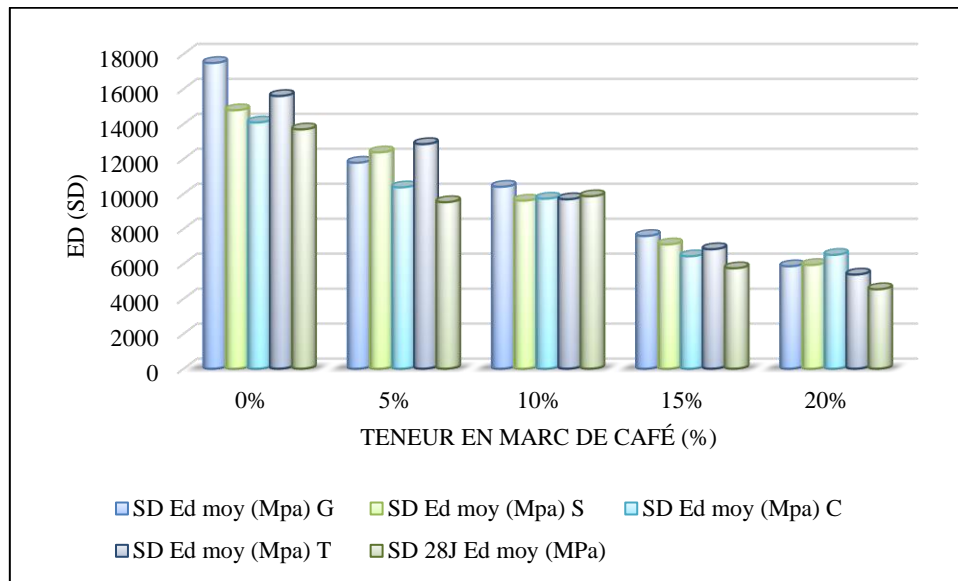


Figure V.18 : Influence de l'environnement sur le module d'élasticité dynamique du mortier à déchet alimentaire (sable de dune).

- On peut considérer le gel/dégel comme le meilleur environnement pour les deux types du mortier, bien qu'il existe certaines valeurs supérieures à ses valeurs, mais en général c'est le meilleur environnement.

V.4. Conclusion :

L'étude de deux types de mortier dans les quatre environnements à conditions extrêmes nous a permis de connaître l'efficacité de l'utilisation de marc de café comme substitution du sable. Cette efficacité est en comparaison avec les résultats que nous avons atteint dans le chapitre précédent. Où on a conclu qu'il faut limiter le pourcentage de la teneur en marc de café à 10%, alors que dans ce chapitre l'amélioration des caractéristiques mécaniques est remarquées pour les mortiers à (15% et plus) de substitution, surtout pour le mortier à base de sable de carrière pour les quatre conditions extrêmes et exactement au phénomène gel/dégel.

CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES

Cette étude a mis en exergue la caractérisation de deux types de mortier, dont le premier est à base de sable de carrière et le deuxième est à base de sable de dune à différent teneur en déchet de marc de café. Ces mortiers sont soumis aux quatre environnements qui assure des conditions extrêmes. Dont le choix du déchet s'est porté sur la quantité de consommation mondiale et algérienne en plus sur sans classification parmi les déchets alimentaires qui menace l'environnement. D'après les résultats obtenus on peut conclure :

Caractérisation physico-mécanique à 28 jours :

- ☞ Augmentation de l'absorption par immersion totale et de la masse volumique humide du mortier à base de sable de dune à 15% de substitution, et diminution de la porosité et de la masse volumique sèche à cause de la capacité d'absorption d'humidité très élevé du marc de café.
- ☞ Le traitement de stabilisation du déchet alimentaire (marc de café) dans le cas du mortier à base de sable de dune, en plus de la différence des caractéristiques préliminaires des deux sables utilisés ont influencés les valeurs des caractéristiques physiques. Dont celles du mortier à base de sable de carrière sont presque toujours supérieures à celles du mortier à base de sable de dune.
- ☞ Une brusque diminution de la résistance à la compression du mortier à base de sable de carrière à 15% de substitution et une légère augmentation de la résistance à 20% de substitution. Cette diminution nous a conduit à suggérer que cette résultat est due à la mauvaise distribution du marc de café dans la matrice à cause du pourcentage du plastifiant.
- ☞ Limiter le pourcentage de substitution du sable par le marc de café à 10% pour avoir des caractéristiques physico-mécaniques acceptables d'un mortier porteur ou absorbant.
- ☞ La résistance à la traction par flexion du mortier à base de sable de dune jusqu'à 15% de substitution est avoisinante de celle du mortier témoin.

Caractérisation mécanique après sept cycles aux conditions extrêmes de quatre environnements:

- ☞ Une amélioration très remarquable des caractéristiques mécaniques du mortier à base de sable de carrière à 15% et 20% et une légère amélioration pour toutes les mortiers à base de sable de dune.
- ☞ Le gel/dégel est considéré comme le meilleur environnement pour le mortier à base de sable de carrière pour les trois caractéristiques mécaniques étudiées (R_c , R_t et E_{dyn}). Alors que pour le mortier à base de sable de dune l'environnement le plus adapté est celui de l'été (température) si on cherche des résistances à la compression élevée, mais si on cherche des meilleurs résultats des trois caractéristiques mécaniques ensemble (R_c , R_t et E_{dyn}) on peut considérer le gel/dégel comme le meilleur environnement.
- ☞ Les valeurs des modules d'élasticité dynamique reflètent en générale les valeurs des résistances à la compression. Soit à 28 jours, soit après les sept cycles.

PERSPECTIVES :

- ☞ Etude pour l'amélioration des caractéristiques physico-mécaniques à 28 jours pour les mortiers à (15% et plus) de substitution, en utilisant par exemple (différents traitements, adhérent.....).
- ☞ Etude de la microstructure surtout des mortiers à (15% et plus) de substitution.

Notations et Abréviations

DI :	Déchets industriels
OM :	Les ordures ménagères
Ex :	Exemple
PNUE :	Programme des Nations Unies pour l'environnement
ONG :	Les organisations non gouvernementales
MT :	Millions de tonnes métriques
CGA :	Acide chlorogénique
ég :	Egaliseur
ppm :	جزء من المليون
PUF :	Polyuréthane
LGCH :	Laboratoire de Génie Civil et d'Hydraulique.
SC :	Sable de carrière
SD :	Sable de dune
BC :	(CEM II/A-M(S-L) 42.5N NA 442) : Ciment Portland de classe 42.5N.
NA :	Norme Algérienne.
MC :	Marc de café
M1 :	La Masse
VR :	Le Volume du récipient
ρ_{app} :	Masse volumique apparente $[kg]/[cm^3]$.
ρ_{app} (moy) :	La masse volumique apparente moyenne $[kg]/[cm^3]$.
ρ_{Ab} :	Masse volumique absolue $[kg]/[cm^3]$.
M :	Masse des grains solides [kg].
V1 :	Volume de l'eau $[cm^3]$.
V2 :	Volume total (grains solide + eau) $[cm^3]$.
Esv :	L'équivalent de sable visuel (%).

Esp : L'équivalent de sable par piston (%).
 h'₂ : Hauteur de sable propre seulement [cm].
 h₁ : Hauteur du sable propre y compris le flocculat (éléments fins) en [cm].
 h₂ : Hauteur du sable plus précisément avec le piston taré en [cm].
 W : Teneur en eau [%]
 MVH : Masse Volumique Humide [g/cm³].
 MVS : Masse Volumique Sèche [g/cm³].
 M_{humide} : Masse humide de l'éprouvette.
 M_{sous eau} : Masse sous eau de l'éprouvette.
 MDC : Mortier à base de sable de dune et marc de café (chap III)
 MCC : Mortier à base de sable de carrière et marc de café (chap III)
 E : Eau.
 C : Ciment.
 min: Minute.
 s: Seconde.
 MSCMC : Mortier à base de sable de carrière et marc de café (chap IV-V)
 MSDMC : Mortier à base de sable de dune et marc de café (chap IV-V)
 Rt : Résistance à la traction par flexion en [MPa]
 F : La charge appliquée à la rupture en [N]
 L : La distance entre les appuis (mm)
 B : Le coté de la section carrée de l'éprouvette (mm)
 Rc : La résistance à la compression en [MPa]
 E_{dyn} : Module d'élastique dynamique en MPa.
 V: Vitesse d'ondes ultrasonique (m/s).
 ρ : Masse volumique apparente des éprouvettes (kg/m³).
 ν : Le coefficient de poisson, on prendra $\nu = 0.3$, valeur usuelle pour les mortiers.

LISTE DES FIGURES

CHAPITRE I : *RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE*

« *Les mortiers* »

Figure I.1	Exemple d'un gâchait de mortier	1
Figure I.2	Composition d'un mortier.	2
Figure I.3	Application de béton fluide.	3
Figure I.4	Exemple d'une fabrication des mortiers à la main	4
Figure I.5	Exemple d'une fabrication des mortiers mécanique	5
Figure I.6	Applications des mortiers.	6
Figure I.7	Les types de mortiers.	8
Figure I.8	Sable-siliceux-roulé-d'Él-Khledia	9
Figure I.9	Sable de concassage calcaire.	10
Figure I.10	Sable de dune	10

CHAPITRE II : *RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE*

« *Les déchets alimentaires* »

Figure II.1	Hierarchie de récupération alimentaire.	20
Figure II.2	Résumé graphique	24
Figure II.3	Acides du café.	26

CHAPITRE III : *RESULTATS EXPERIMENTAUX*

Figure III.1	Photo du sable de dune utilisé.	35
Figure III.2	Photo du sable de carrière utilisé.	35
Figure III.3	Photo du sac du marc de café utilisé.	36
Figure III.4	Photo du déchet du marc de café utilisé.	36
Figure III.5	Photo de la tamiseuse électrique utilisée.	37

Figure III.6	Courbes granulométriques du sable de dune à différents teneurs en déchet alimentaire.	38
Figure III.7	Courbes granulométriques du sable de carrière à différents teneurs en déchet alimentaire.	38
Figure III.8	Essai de la masse volumique absolue des deux sables et du marc de café utilisés.	40
Figure III.9	Résultats d'essais d'équivalent des deux sables et du déchet utilisé.	41
Figure III.10	Sac de ciment utilisé.	45
Figure III.11	l'eau utilisée.	46
Figure III.12	Adjuvants SIKA latex.	46
Figure III.13	Quantité de chaque pourcentage de déchet du marc du café.	47
Figure III.14	Résultat d'un étalement raide.	49
Figure III.15	Stabilisation du déchet du marc de café 24h à l'eau	49
Figure III.16	Filtration du déchet du marc de café pendant 10 minutes	49
Figure III.17	Un essai d'étalement.	50
Figure III.18	Les étapes pour préparer la pâte de mortier témoin (0% MC).	51
Figure III.19	Les étapes pour préparer la pâte (sable de dune) avec différent pourcentage de déchet du mac du café.	52
Figure III.20	Les étapes pour préparer la pâte (sable de carrier) avec différent pourcentage de déchet du mac du café.	52
Figure III.21	Lubrification des moules (4 x 4 x 16) cm ³ .	53
Figure III.22	Vibration des moules.	53
Figure III.23	Dernière vibration et rasage.	53
Figure III.24	Démolition des éprouvettes.	53
Figure III.25	Cure des éprouvettes à l'eau pendant 28 jours.	54
CHAPITRE IV : CARACTERISATION PHYSICO-MECANIQUE		
Figure IV.1	Balance hydrostatique.	55
Figure IV.2	Etuve ventilée.	56
Figure IV.3	Evolution de l'absorption par immersion totale en fonction de la teneur en déchet alimentaire.	57
Figure IV.4	Evolution de la porosité en fonction de la teneur en déchet alimentaire.	58

Figure IV.5	Evolution des masses volumiques humides en fonction de la teneur en déchet alimentaire.	59
Figure IV.6	Evolution des masses volumiques sèches en fonction de la teneur en déchet alimentaire.	60
Figure IV.7	L'essai de traction par flexion trois points.	61
Figure IV.8	Evolution de la résistance à la traction par flexion en fonction de la teneur en déchet alimentaire.	62
Figure IV.9	Distribution de différent pourcentage de déchet de marc de café (sable de carrière)	63
Figure IV.10	Distribution de différent pourcentage de déchet de marc de café (sable de dune)	63
Figure IV.11	L'essai de résistance à la compression.	64
Figure IV.12	Evolution de la résistance à la compression en fonction de la teneur en déchet alimentaire.	65
Figure IV.13	Mesure de la vitesse de propagation de sons sur des éprouvettes prismatique (4×4×16) cm ³ .	66
Figure IV.14	Evolution du module d'élasticité dynamique en fonction de la teneur en déchet alimentaire.	68
Figure IV.15	Distribution à (15% et 20%) de substitution du déchet de marc de café (mortier à base de sable de carrière)	69

CHAPITRE V : INTERPRETATION ET EXPLOITATION DES RESULTATS

Figure V.1	Variation de la résistance à la compression en fonction de la teneur en déchet alimentaire après 7 cycle gel-dégel.	72
Figure V.2	Variation de la résistance à la traction par flexion en fonction de la teneur en déchet alimentaire après 7 cycle gel-dégel.	73
Figure V.3	Variation du module d'élasticité dynamique en fonction de la teneur en déchet alimentaire après 7 cycle gel-dégel.	74
Figure V.4	Variation de la résistance à la compression en fonction de la teneur en déchet alimentaire après 7 cycle de milieu chlorure.	75

Figure V.5	Variation de la résistance à la traction par flexion en fonction de la teneur en déchet alimentaire après 7 cycle de milieu chlorure.	76
Figure V.6	Variation du module d'élasticité dynamique en fonction de la teneur en déchet alimentaire après 7 cycle de milieu chlorure.	77
Figure V.7	Variation de la résistance à la compression en fonction de la teneur en déchet alimentaire après 7 cycle de séchage/mouillage.	78
Figure V.8	Variation de la résistance à la traction par flexion en fonction de la teneur en déchet alimentaire après 7 cycle de séchage/mouillage.	79
Figure V.9	Variation du module d'élasticité dynamique en fonction de la teneur en déchet alimentaire après 7 cycle de séchage/mouillage.	80
Figure V.10	Variation de la résistance à la compression en fonction de la teneur en déchet alimentaire après 7 cycle d'environnement d'été.	81
Figure V.11	Variation de la résistance à la traction par flexion en fonction de la teneur en déchet alimentaire après 7 cycle d'environnement d'été.	82
Figure V.12	Variation du module d'élasticité dynamique en fonction de la teneur en déchet alimentaire après 7 cycle d'environnement d'hiver.	83
Figure V.13	Influence de l'environnement sur la résistance à la compression du mortier à déchet alimentaire (sable de carrière).	84
Figure V.14	Influence de l'environnement sur la résistance à la compression du mortier à déchet alimentaire (sable de dune).	85
Figure V.15	Influence de l'environnement sur la résistance à la traction par flexion du mortier à déchet alimentaire (sable de carrière).	86
Figure V.16	Influence de l'environnement sur la résistance à la traction par flexion du mortier à déchet alimentaire (sable de dune).	86
Figure V.17	Influence de l'environnement sur le module d'élasticité dynamique du mortier à déchet alimentaire (sable de carrière)	87
Figure V.18	Influence de l'environnement sur le module d'élasticité dynamique du mortier à déchet alimentaire (sable de dune).	88

LISTE DES TABLEAUX

CHAPITRE I : RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE

« Les mortiers »

Tableau I.1	Compositions granulométriques des sables de dune.	11
Tableau I.2	Propriétés physiques des sables du Sud.	12
Tableau I.3	Compositions chimiques des sables du sud.	12

CHAPITRE II : RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE

« Les déchets alimentaires »

Tableau II.1	Les composants du café	25
Tableau II.2	Caractéristiques physiques du marc de café en fonction de l'humidité.	28
Tableau II.3	Le pouvoir calorifique de divers résidus de biomasse.	29
Tableau II.4	Composition élémentaire du marc de café.	29
Tableau II.5	Les principaux composés du marc de café.	30
Tableau II.6	Composition des principaux minéraux du marc de café.	30
Tableau II.7	Activité radicalaire du marc de café.	30

CHAPITRE III : RESULTATS EXPERIMENTAUX

Tableau III.1	Analyse granulométrique des sables et du déchet.	37
Tableau III.2	La masse volumique apparente ($P_{apparent}$) des sables et du déchet utilisés.	39
Tableau III.3	La masse volumique absolue (ρ_{Ab}) des sables et du déchet utilisés.	40
Tableau III.4	Résultats d'essais d'équivalent de sable du marc de café et des deux sables.	42
Tableau III.5	Résultats d'essais de la teneur en eau du marc de café et des deux sables.	43
Tableau III.6	Résultats de l'essais d'absorption du marc de café et des deux sables.	44
Tableau III.7	Caractéristiques chimiques.	44

Tableau III.8	Caractéristiques Mécaniques.	45
Tableau III.9	La première composition de sable carrière.	48
Tableau III.10	La deuxième composition de sable de dune	48
Tableau III.11	Valeurs d'étalement NF EN 1015-6	50
Tableau III.12	Résultats d'étalement pour les deux types de mortier.	51
CHAPITRE IV : CARACTERISATION PHYSICO-MECANIQUE		
Tableau IV. 1	Effet du déchet alimentaire sur l'absorption par immersion totale.	56
Tableau IV. 2	Effet du déchet alimentaire sur la porosité.	58
Tableau IV. 3	Effet du déchet alimentaire sur les masses volumiques humides et sèches.	59
Tableau IV. 4	Effet du déchet alimentaire sur la résistance à la traction par flexion.	62
Tableau IV. 5	Effet du déchet alimentaire sur la résistance à la compression.	64
Tableau IV. 6	Qualité du béton et vitesse de propagation des impulsions.	67
Tableau IV. 7	Effet du déchet alimentaire sur le module d'élasticité dynamique.	68
CHAPITRE V : INTERPRETATION ET EXPLOITATION DES RESULTATS		
Tableau V.1	Effet du déchet alimentaire sur la résistance à la compression après 7 cycle gel-dégel.	71
Tableau V.2	Effet du déchet alimentaire sur la résistance à la traction par flexion après 7 cycle gel-dégel.	72
Tableau V.3	Effet du déchet alimentaire sur le module d'élasticité dynamique après 7 cycle gel-dégel.	73
Tableau V.4	Effet du déchet alimentaire sur la résistance à la compression après 7 cycle de milieu chlorure.	74
Tableau V.5	Effet du déchet alimentaire sur la résistance à la traction par flexion après 7 cycle de milieu chlorure.	75

Tableau V.6	Effet du déchet alimentaire sur le module d'élasticité dynamique après 7 cycle de milieu chlorure.	76
Tableau V.7	Effet du déchet alimentaire sur la résistance à la compression après 7 cycle de séchage/mouillage.	77
Tableau V.8	Effet du déchet alimentaire sur la résistance à la traction par flexion après 7 cycle de séchage/mouillage.	78
Tableau V.9	Effet du déchet alimentaire sur le module d'élasticité dynamique après 7 cycle de séchage/mouillage.	79
Tableau V.10	Effet du déchet alimentaire sur la résistance à la compression après 7 cycle d'environnement d'été.	80
Tableau V.11	Effet du déchet alimentaire sur la résistance à la traction par flexion après 7 cycle d'environnement d'été.	81
Tableau V.12	Effet du déchet alimentaire sur le module d'élasticité dynamique après 7 cycle d'environnement d'été.	82
Tableau V.13	Effet de l'environnement sur la résistance à la compression du mortier à déchet alimentaire.	84
Tableau V.14	Effet de l'environnement sur la résistance à la résistance à la traction par flexion du mortier à déchet alimentaire.	85
Tableau V.15	Effet de l'environnement sur le module d'élasticité dynamique du mortier à déchet alimentaire.	87

Références Bibliographiques

- [1] <http://193.194.86.69/facultes/ft/externe/departements/gc/cours/mortiers.pdf>
- [2] <https://elearning-facsct.univ->
- [3] <https://q=photo+Exemple+d%E2%80%99un+g%C3%A2chait+de+mortier&tbm=isch&source=iu&ictx=1&vet=1&fir=-BiMRQWFswLD2M%252Cn37a->
- [4] MICHEL VENUAT, " La pratique des ciments mortiers et bétons ", Tome 1, Caractéristiques des liants et des bétons, Mise en oeuvre des coulis et mortiers, Editions du Moniteur
- [5] M KHELIL. N ; M OULD OUALI.M. « Etude comparative de l'utilisation du sable de dune en substitution du sable de rivière : cas des mortiers normalisés », Thèse de Master en Génie Civil, Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou (2019), p 8
- [6] HEMIL Samir ; NOUGARI Ayoub Zakaria. « Effet combiné des billes du polystyrène et les fibres plastique sur les mortiers au ciment blanc », Thèse de Magister en Génie Civil, Université Mohamed Boudiaf - M'SILA (2018), 99 p
- [7] <http://www.guidebeton.com/adjuvants-beton>
- [8] <http://forum-btp.blogspot.com/2013/09/les-mortiers.html>
- [9] <https://www.pavebeton.fr/comment-faire-du-mortier/>
- [10] BOUALI Khaled « Elaboration et caractérisation thermomécanique des mortiers à base d'ajouts de déchets de briques réfractaires » mémoire de magister BOUALI Khaled Université du BOUMERDES. 2013/2014
- [11] SYLVER.P «science des matériaux», université pierre et marie curie 2005 ,20
- [12] www.infociments.fr > CT-G11
- [13] M KHELIL .N ; M OULD OUALI .M. « Etude comparative de l'utilisation du sable de dune en substitution du sable de rivière : cas des mortiers normalisés »,Thèse de Master en Génie Civil, Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou (2019), p 4
- [14] Mémoire ALMALEKI Abdulrahman caractérisation expérimentale des mortiers a base des déchets de briques 13 Juin 2018.
-

- [15] M KHELIL .N ; M OULD OUALI .M. « Etude comparative de l'utilisation du sable de dune en substitution du sable de rivière : cas des mortiers normalisés », Thèse de Master en Génie Civil, Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou (2019), p 5
- [16] BOUGUERRA Anwar., BAHACHE fatma. « Effet de l'incorporation de l'entraîneur d'air sur les caractéristiques du mortier à base de la poudre de verre et fibres métalliques », Mémoire de Master Académique, Université Mohamed Boudiaf - M'sila (2021).
- [17] KHACHBAT Mohamed ettahir - ARDJANI Kamel « caractérisation d'un mortier à base de sable de dune avec caoutchouc », Mémoire Master, Université 8 Mai 1945 Guelma - (2020), 98 p
- [18] https://www.researchgate.net/figure/7-Sable-siliceux-roule-dEl_khledia_fig6_324494533
- [19] https://fr.123rf.com/photo_24523728_carri%C3%A8re-de-calcaire-avec-deconcassage-et-de-criblage-moderne.html.
- [20] <https://www.pourlascience.fr/sd/physique/les-dunes-gardent-une-distance-desecurite19686.php>
- [21] BELMECHERI Oum Habiba. « Etude d'un composite à base de sable de dune, Ciment et granulats en billes de polystyrène expansé », Mémoire Master Académique, Université Amar Telidji de Laghouat (2012), 161 p
- [22] <https://www.cdegroupp.com/fr/applications/sables-agregats/sables-concasses>
- [23] <https://moodle.univ-ouargla.dz>
- [24] <http://thesis.univ-biskra.dz/2295/3/Chapitre%2001.pdf> :
- [25] <https://moodle.univ-ouargla.dz>
- [26] <https://moodle.univ-ouargla.dz/course/info.php?id=12688>
- [27] <https://www.ecologie.gouv.fr/biodechets#:~:text=Il%20s'agit%20des%20d%C3%A9chets,les%20produits%20p%C3%A9rim%C3%A9s%20non%2Dconsomm%C3%A9s.>
- [28] <https://moveforhunger.org/the-environmental-impact-of-food-waste>
- [29] <https://www.epa.gov/sustainable-management-food/food-recovery-hierarchy>
- [30] <https://www.easyrecyclage.com/blog/comment-traiter-dechets-alimentaires/>
- [31] <https://altametrics.com/fr/blog/food-waste-management-6-strategies-to-reduce-the-impact-of-food-waste.html>
-

- [32] AND-Rapport sur l'état de la gestion des Déchets en Algerie-2020
- [33] AND-Caractérisation des déchets ménagers et assimilés dans les zones nord, semi-aride et aride d'Algerie – 2014
- [34] GIZ – Rapport sur la gestion des déchets solide en Algerie, D-waste, consultant pour Sweep-Net en coopération avec GIZ – 2014
- [35] <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652621000573>
- [36] <https://www.intechopen.com/chapters/71528>
- [37] <https://www.cafedirect.co.uk/shop/coffee-bean-types-and-their-characteristics/>
- [38] Francky Carassou « Une récupération spécifique du marc de café aurait-elle une plus-value pour la communauté? : cas de l'Île de Montréal », Centre universitaire de formation en environnement et développement durable, UNIVERSITÉ DE SHERBROOKE, (2015).
- [39] <https://www.econo-ecolo.org/usages-marc-cafe/>
- [40] A. Mansour Khodjaa, S. Rehab Bekkoucheet J. Eslami, A.Amiour « Les performances mécaniques et acoustiques du marc de café en tant que matériau de construction ». 2^{ème} SEMINAIRE NATIONAL DE GENIE CIVIL (SNGC2022) Université Mohamed Chérif Messaadia, Souk-Ahras 04 - 05 Décembre 2022
- [41] Fernanda Andreola et al, (2019) “Spent Coffee Grounds in the Production of Lightweight Clay Ceramic Aggregates in View of Urban and Agricultural Sustainable Development”, *Materials* 2019, 12, 3581; doi:10.3390/ma12213581.
- [42] Teck-Ang Kua et al., (2016), “Engineering and environmental evaluation of spent coffee grounds stabilized with industrial by-products as a road subgrade material”, *Clean Technologies and Environmental Policy* · January 2017.
- [43] Moussa, T.; Maalouf, C.; Bliard, C.; Abbes, B.; Badouard, C.; Lachi, M.; do Socorro Veloso Sodr , S.; Bufalino, L.; Bogard, F.; Beaumont, F.; et al. “Spent Coffee Grounds as Building Material for Non-Load-Bearing Structures”. *Materials* 2022, 15, 1689. <https://doi.org/10.3390/ma15051689>
- [44] Teck-Ang Kua et al., (2016), “Engineering and environmental evaluation of spent coffee grounds stabilized with industrial by-products as a road subgrade material”, *Clean Technologies and Environmental Policy* · January 2017.
- [45] Giada La Scalia, Manfredi Saeli, Pier Paolo Miglietta, Rosa Micale “Coffee biowaste valorization within circular economy: an evaluation method of spent coffee grounds potentials for mortar production” *The International Journal of Life Cycle Assessment* (2021) 26:1805–1815 <https://doi.org/10.1007/s11367021-01968-0>

- [46] Moruf Olalekan Yusuf, Zeyad M. A. Mohammed, Adeshina A. Adewumi, Mutasem Taisir Shaban, Meshrif Omar Meshrif AlBaqawi and Hatim Dafalla Mohamed “Strength and Microstructure of Coffee Silverskin Blended Mortar” *Recycling* 2022, 7, 59. <https://doi.org/10.3390/recycling7040059>
- [47] <https://cafewilliamspartivento.com/est-ce-que-le-cafe-decafeine-contient-des-produits-chimiques/>
- [48] <https://www.crack-cafes.fr/post/torrefaction-chimie>
- [49] Sébastien Hubert « Transitions de phases solides induites par un procédé de compression directe : application à la caféine et à la carbamazépine », Thèse de doctorat, Université Claude Bernard Lyon 1 (2012), 264p https://theses.hal.science/tel-00903563/file/TH2012_Hubert_Sebastien.pdf
-
-

Annexe

CIMENT PORTLAND COMPOSE CEMII/A-M(S-L)42,5N

CARACTERISTIQUE CHIMIQUE		CARACTERISTIQUE PHYSIQUE			CARACTERISTIQUE MECANIQUE	
ELEMENTS	% EN MASSE	NORME NA			NORME NA	EN Mpa
PAF 975° C	1 - 2	NA230	CONSISTANCE NORMALE	≥ 25	NA 442	COMPRESSION
CaO	55 - 65	NA230	DEBUT DE PRISE	≥ 60	NA 234	02 jours 14-17
SiO2	22 - 28	NA230	FIN DE PRISE	150 - 250		07 jours 30-35
Al2O3	5 - 6	NA232	EXPANSION A CHAUD	≤ 10mm		28 jours 43-51
Fe2O3	3 - 3,6	NA231	SSBlaine cm ² /g	3300 - 4000	FLEXION	
MgO	1 - 2	NA5042	CHALEUR D'HYDRATATION	220-245 J/G ciment	02 jours	3,0-4,0
K2O	0,3 - 0,6	NA 5061			07 jours	5,0-6,5
Na2O	0,1 - 0,16				28 jours	6,5-8,5
SO3	1.8 - 2,5	COPOSITION POTENTIELLE EN %		% DES CONSTITUANTS		
CaOL	0,8 - 1,8	C3S	57-63	CLINKER	≥ 74%	
CL ⁻	0 - 0,01	C2S	14-18	GYPSE	4 - 6%	
		C3A	7 - 10	CALCAIRE	6-10%	
		C4AF	10 - 12	LAITIER	6-10%	
Teneur en Cr6+ = 0,19 ppm						

DOMAINE D'UTILISATION

Utilisation courante de ce type de ciment :

- Fondations (béton de propreté et béton de semelle en milieux moyennement ou non agressifs).
- Ouvrage en béton armé (Murs, Linteaux, Poteaux et dalle de compressions).
- Dallage en béton, Montage de mure et maçonnerie et Scellements de carrelage (Dalles, pierres et carrelage).
- Chape (mortier de ciment).

PRECAUTION D'EMPLOI

Ce type de ciment est employé avec précaution pour :

- Travaux à la méré (Ouvrages en milieux moyennement agressifs vis-à-vis des sulfates, terrains gypseux, eaux industrielles). emploi
- Bétonnage au dessous de 5° C (il est conseillé d'utiliser des ciments de résistance initiale élevée R)

NB: Ce type de ciment ne convient pas pour :

- Travaux en eaux à haute teneur en sulfates (Ouvrages en milieux fortement agressifs vis-à-vis des sulfates), emploi obligatoire du ciment CRS.

STOCKAGE :

Eviter :

- Un stockage prolongé au-delà de trois (03) mois.
- Un stockage dans des endroits humides.

EMBALLAGE :

- Le ciment est emballé dans des sacs en papier kraft à 02 plis, le système de fermeture garantie l'inviolabilité du sac.

ATTENTION

- Un contact prolongé du ciment avec la peau peut être irritant.

NOTICE PRODUIT

SikaPlast® BV-40+

Plastifiant/Réducteur d'eau pour hautes résistances mécaniques.

INFORMATIONS SUR LE PRODUIT

SikaPlast® BV-40+ est un plastifiant réducteur d'eau pour haute résistance mécanique non chloré et prêt à l'emploi, à base de polycarboxylates modifiés, qui se présente sous la forme d'un liquide marron.

DOMAINES D'APPLICATION

SikaPlast® BV-40+ permet d'obtenir des bétons plastiques ayant de fortes résistance mécaniques à court et à long terme.

- bétons à hautes performances,
- bétons précontraints,
- bétons préfabriqués étuvés.
- bétons avec des granulats concassés,
- bétons retarder en surdosage.

Pour les bétons étanches, le SikaPlast® BV-40+ diminue l'absorption capillaire des bétons et augmente leur compacité. Il permet donc de réduire la pénétration de l'eau et peut être utilisé dans les cas suivants: bétons enterrés, réservoirs, piscines, etc.

A dosage élevé, le SikaPlast® BV-40+ augmente le temps de prise du béton. La température jouant un rôle important, il est bon de procéder à des essais. SikaPlast® BV-40+ est compatible avec nos entraîneurs d'air Sika® Aer Liquid. Cette combinaison conduit à :

- l'amélioration des résistances aux cycles gel-dégel,
- la possibilité de coulage en continu (béton extrudé, béton routier),
- l'amélioration des résistances de tous bétons situés dans les zones de marnage.

CARACTÉRISTIQUES / AVANTAGES

SikaPlast® BV-40+ est un plastifiant réducteur d'eau à haute performance qui confère au béton les propriétés suivantes :

- haute réduction d'eau,
- maintien prolongé de la rhéologie,
- robustesse vis-à-vis de la ségrégation,
- bel aspect de parement au décoffrage.

DESCRIPTION DU PRODUIT

Conditionnement	Bidon de 5 kg Bidon de 10 kg Fût de 220 kg Cubiteinaire de 1000 kg
Aspect / Couleur	Liquide marron
Durée de Conservation	12 mois dans son emballage d'origine intact.
Conditions de Stockage	Dans un local fermé, à l'abri de l'ensoleillement direct et du gel, entre 5 et 30 °C. Le produit peut geler, mais, une fois dégelé lentement et réhomogénéisé, il retrouve ses qualités d'origine. En cas de gel prolongé et intense, vérifier qu'il n'a pas été déstabilisé.
Densité	1,040 ± 0,015
Valeur pH	4,7 ± 1

Teneur Totale en Ions Chlorure $\leq 0,1 \%$

Équivalent Oxyde de Sodium $\leq 0,5 \%$

RENSEIGNEMENTS SUR L'APPLICATION

Dosage	Plage d'utilisation recommandée : 0,3 à 1,5 % du poids de liant selon les performances recherchées. Dosage usuel du SikaPlast® BV-40+ : 0,3 % à 1 %.
Distribution	SikaPlast® BV-40+ est ajouté, soit, en même temps que l'eau de gâchage, soit en différé dans le béton préalablement mouillé avec une fraction de l'eau de gâchage.

VALEURS DE BASE

Toutes les valeurs indiquées dans cette Notice Produit sont basées sur des essais effectués en laboratoire. Les valeurs effectives mesurées peuvent varier du fait de circonstances indépendantes de notre contrôle.

ÉCOLOGIE, SANTÉ ET SÉCURITÉ

RESTRICTIONS LOCALES

Veillez noter que du fait de réglementations locales spécifiques, les données déclarées pour ce produit peuvent varier d'un pays à l'autre. Veuillez consulter la Notice Produit locale pour les données exactes sur le produit.

INFORMATIONS LÉGALES

Les informations, et en particulier les recommandations concernant les modalités d'application et d'utilisation finale des produits Sika sont fournies en toute bonne foi et se fondent sur la connaissance et l'expérience que Sika a acquises à ce jour de ses produits lorsqu'ils ont été convenablement stockés, manipulés et appliqués dans des conditions normales, conformément aux recommandations de Sika. En pratique, les différences entre matériaux, substrats et conditions spécifiques sur site sont telles que ces informations ou recommandations écrites, ou autre conseil donné, n'impliquent aucune garantie de qualité marchande autre que la garantie légale contre les vices cachés, ni aucune garantie de conformité à un usage particulier, ni aucune responsabilité découlant de quelque relation juridique que ce soit. L'utilisateur du produit doit vérifier par un essai sur site l'adaptation du produit à l'application et à l'objectif envisagés. Sika se réserve le droit de modifier les propriétés de ses produits. Notre responsabilité ne saurait d'aucune manière être engagée dans l'hypothèse d'une application non conforme

à nos renseignements. Les droits de propriété détenus par des tiers doivent impérativement être respectés. Toutes les commandes sont soumises à nos conditions générales de vente et de livraison en vigueur. Les utilisateurs doivent impérativement consulter la version la plus récente de la Notice Produit correspondant au produit concerné, accessible sur internet ou qui leur sera remise sur demande.

Sika El Djazair SPA
08 route de Larbaa
16111 Les Eucalyptus
ALGERIE
Tél.: 0 21 50 16 92 à 95
Fax: 0 21 50 22 08
dza.sika.com



Notice produit
SikaPlast® BV-40+
Décembre 2021, Version 01.01
021301011000001081

SikaPlastBV-40+-fr-DZ-(12-2021)-1-1.pdf