REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE YAHIA FARES DE MEDEA



Faculté de **T**echnologie

Mémoire de fin d'études de Master

Filière : Génie Civil

Spécialité : Matériaux en génie civil

Thème
Comportement de mortier de ciment à base de déchets de café

Présenté par

KHEMICI Fatma

Proposé et Dirigé par

Dr. GUENDOUZ Mohamed

Dr. BOUKHELKHAL Djamila

Promotion Juin 2019

بسم الله الرحمن الرحيم

الله لا إله إلا هو الحي القيوم لا تأخذه
سنة ولا نوم له ما في السموات وما في
الأرض من ذا الذي يشفع عنده
إلا بإذنه يعلم ما بين أيديهم وما خلفهم
ولا يحيطون بشيء من علمه إلا بما شاء
وسع كرسيه السموات والأرض ولا
يؤده حفظهما وهو العلي العظيم

Remerciements

Je remercie avant tout, ***« Dieu »*** *le tout puissant, pour avoir permis de présenter ce modeste travail.*

Je tien à exprimer mes vif Remerciements et mes profonde Gratitude à mon promoteur Dr. ***GUENDOUZ MOHAMED*** *pour sa disponibilité,aide durant tout le déroulement de tout ce projet. Grâce à son dévoument, conseils scientifiques et suivis, J'ai pu mener à terme mon travail.*

Je remercie Dr. ***DJAMILA BOUKHELKHAL*** *Car le grand plaisir revient en premier lieu pour leurs conseils, encouragements, et aide pendant les essaies réalisés au niveau de laboratoire.*

Un grand merci est adressé à tous les ingénieurs et les travailleurs du hall technologique pour son aide et sa disponibilité.

Mes sincères remerciements vont également à tous les enseignants du département de Génie civil qui nous ont offert tout ce savoir.

Enfin je remercie tous ceux qui ont contribué de prés ou de loin à la réalisation de ce mémoire.

merci de tout mon coeur.

© Ladie Lynn
http://ladielynn.com

Dédicasse

Merci Mon dieu de m'avoir donné la capacité d'écrire et de réfléchir.

La force d'y croire, la patience d'aller jusqu'au bout du rêve.

Je dédie ce modeste travail

A toute ma famille vous êtes pour moi une source de vie car

Sans vos sacrifices, votre tendresse et votre affection je ne pourrais

Arriver jusqu'au bout.

A mes amis avec qui j'ai partagé des moments des plus agréables

A mes encadreurs qui me soutenu pour arriver au bout de ce travail.

KHEMICI Fatma

© Ladie Lynn
http://ladielynn.com

Sommaire

Remerciements
Dédicace
ملخص
Résume
Abstract
Sommaire
Liste des tableaux
Liste des figures
Listes des symboles et des abréviations

Introduction générale.....……02

CHAPITRE 01 : SYNTESE BIBLIOGRAPHIQUE

1.1 valorisation des déchets et recyclage en construction 05

1.1.1 Introduction 05

1.1.2 Valorisation des déchets et sous-produit industriels dans le domaine de génie civil .....… 05

1.1.2.1 La valorisation ……...……..... 05

1.1.2.2 Les déchets ……..06

1.1.2.3 Types des déchets ……..... 06

1.1.2.4 Classification en fonction de l'activité initiale du déchet…….....06

A- Les déchets ménagers et assimilés…….....06

B- Les déchets industriels……..06

C- Les déchets agricoles…….....06

D-Les déchets hospitaliers…….....07

1.1.2.5 Classification selon la nature du déchet…….....…07

A-Les déchets dangereux……..…07

B-Les déchets toxique ……..…07

C-les déchets non dangereux…….07

D-Les déchets inertes…….07

E-Les déchets ultimes……...…07

1.1.2.6 Classification selon le mode de traitement des déchets ……..…08

A- Les déchets biodégradables ou décomposables…….....08

B- Les déchets recyclables…….....08

C- Les déchets ultimes……...08

D-Les déchets spéciaux et déchets industriels spéciaux (DS et DIS)……...08

E- Les déchets industriels banals (D.I.B.)……....08

1.1.2.7 Constitution chimique du déchet…….....08

1.1.3 Activité du recyclage des déchets en construction ……....09

1.1.3.1 Recyclage des déchets ……....09

1.1.3.2 Technique de recyclage ……...09

1.1.3.3 Impacts du recyclage sur l'environnement ……10

1.2 les déchets de café……..... 10

1.2.1 Définition 10

1.2.2 Historique 11

1.2.3 Composition du marc du café …….....12

1.2.4 **Propriété du marc du café**…….....13

1.2.4.1 Propriétés physiques du marc de café…….....13

1.2.4.3 Propriétés bioactives du marc de café…….....15

1.2.5 les utilisations possibles de marc de café…….……16

1.2.6.1 Écotoxicité…….....19

1.2.6.2 Diminution des pressions sur les ressources naturelles……..….....19

1.2.6.3 Traitement des eaux……...19

1.2.7 Impacts économiques de la récupération de la marc de café et de sa mise en valeur……..20

1.2.8 Impacts sociaux de la récupération de la marc de café et de sa mise en valeur…….……..20

1.2.8.1 Création d'emploi…….....20

1.2.8.2 Développement de marque de local…….....20

1.2.8.3 Santé …….....21

1.2.8.4 Image de marque…….....21

1.3 Le mortier du ciment ……21

1.3.1 Introduction ……..21

1.3.2 - Qu'est-ce que le mortier ? photo de mortier……...22

1.3.3 Les types de mortier ……..22
1.3.4-Domaines d'utilisation des mortiers ……...……...…23
1.3.5- Les mortiers de chantier et les mortiers prêts à l'emploi ……24
1.3.6-Les emplois des mortiers ……..26
1.3.7- Les coulis ……... 27
1.3.8- Les techniques particulières …….....27
1.4. Valorisation des déchets de café dans les matériaux à base cimentaire……..……..…28
1.4.1 Influence de déchet de café sur les propriétés des matériaux cimentaire …… 28
1.4.1.1 Etats frais ……..……..28
1.4.1.2 Etats durci ……..... 30
1.5 Conclusion ……. 33

CHAPITRE 02 : MATERIAUX ET ESSAIS

2.1. Introduction…….…….....35
2.2 Matériaux utilisés ……...….35
2.2.1 Les sables……..35
2.2.2 Ciment ……...…….....37
2.2.3 Adjuvant…….....…….…….39
2.2.4 Eau de gachage……...…….…...39
2.2.5 Déchets du marc de café……..…….39
2.3 Composition des mélanges ……...…....…….40
2.4 Malaxage et conservation……...…..……...41
2.5. Essais réalisés à l'état frais.……...….....42
2.5.1 La maniabilité……...……...42
2.5 La densité……...……...…….....43
2.6 Fabrication et confection des éprouvettes ……..…….……...43
2.7. Essais sur béton de sable durci……...……...……...…….44
2.7.1Essais de compression……...……..……..……..44
2.7.2 Absorption capillaire ……45
2.7.3 Conductivité thermique……..…….……... 46
2.8. Variable étudiées ……...…..…..…...…..47

2.9 Conclusion ……48

CHAPITRE 03: RESULTATS ET INTERPRETATION

3.1 Introduction 50
3.2 Béton frais 50
3.2.1 La Maniabilité 50
3.2.2 La densité 51
3.3 Béton durci 52
3.4 Approche de durabilité 53
3.4.1 L'absorption capillaire……53
3.5 Propriétés thermique……54
3.5.1 La conductivité thermique……54
3.6 Conclusion……56
Conclusions et recommandations……57
Références bibliographiques……58
Annexe……64

Liste des Figures

Liste des figures

Fig.1.1 Valorisation des déchets ……..…….…….……..05
Fig.1.2 Le marc du café…….……..11
Fig. 1.3 Le caféier et la fleur du caféier……13
Fig.1.4 Molécule de caféine ……...13
Fig. 1.5 Grain de marc de café commercial par microscopie électronique à balayage…….....14
Fig. 1.6 Possibilités de valorisation du même marc de café……...…….…..17
Fig. 1.7 Marc du café comme engrais……...17
Fig. 1.8 : Les mortiers pour chapes…….....23
Fig. 1.9 : Les mortiers et coulis de réparation……..…24
Fig. 1.10 Machine à projeter équiper de lance…….....28
Fig1.11. Temps d'écoulement des Bétons de sable à base du Marc de café …….....29
Fig.1.12. La densité des Bétons de sable à base du Marc de café……...…....29
Fig.1.13 Résistance à la compression des BS à base du Marc de café à l'âge de 28jours …..…...30
Fig.1.14. Résistance à la traction par flexion des BS à base du Marc de café à l'âge de 28 jours ……...30
Fig1.15 Absorption d'eau des BSBH à base du Marc de café……..31
Fig.1.16 Absorption d'eau des BSCN à base du Marc de café…….....31
Fig.1.17 Conductivité thermique des Bétons de sable à base du Marc de café…….....32
Fig.2.1 L'aspect général des sables utilisées…….....36
Fig. 2.2 Courbe granulométrique de sable utilisée ….…….36
Fig. 2.3 Ciment MATINE…….....37
Fig.2.4 Diagramme de DRX appliqué sur le CEM II/B 42.5 MATINE…….....38
Fig.2.5 Marc de café utilisés …….…….....39
Fig.2.6 Le malaxage des bétons au laboratoire ……..……...42
Fig.2.7 Mesure de la maniabilité du mortier …….....43
Fig.2.8 Mesure de la densité du béton de sable ……..……43
Fig.2.9 Fabrication des éprouvettes……... ……44
Fig. 2.10 Conservation des éprouvettes à l'air libre …….....44

Fig.2.11 Dispositif de rupture à la compression …….....45
Fig. 2.12 Essais de compression …….....45
Fig. 2.13 Absorption d'eau par succion capillaire……...46
Fig. 2.14 Le CT-mètre……..46
Fig.2.15 Variables étudiées...……....47
Fig. 3.1 Temps d'écoulement des Mortier à base du déchet de café……50
Fig. 3.2 Temps d'écoulement des Mortiers à base de déchet de café après réglage……51
Fig. 3.3 La densité des Mortier à base de déchets de café……51
Fig.3.4 Résistance à la compression des Mortier à base de déchet de café……..52
Fig.3.5 Résistance à la traction des Mortier à base de déchet de café……..53
Fig.3.6 Absorption d'eau des Mortiers à base de déchets de café……54
Fig.3.7. Conductivité thermique des Bétons de sable à base du Marc du café…….55

Liste des Tableaux

Liste des Tableaux

Tableau .1.1 Caractéristiques physiques du marc de café en fonction de l'humidité ……..15

Tableau 1.2 Le pouvoir calorifique de divers résidus de biomasse……..…….. 15

Tableau 1.3. Activité radicalaire du marc de café…… 16

Tableau 2.1 Caractéristiques physiques des sables utilisés…… 36

Tableau 2.2. Composition chimique des ciments MATINE……... 38

Tableau 2.3. Composition minéralogique des ciments MATINE ……. 38

Tableau 2.4 : Essai physiques sur le ciment MATINE ……. 38

Tableau 2.5. Caractéristiques des déchets de marc de café utilisées ……. 40

Tableau 2.6. Composition des mélanges réalisés (pour 1 m³) ……41

Tableau 2.7. Essais sur bétons frais……42

Liste des symbole et Abréviations

Liste des Symbole et des Abréviations

DIS : Déchets industriels spéciaux

DS : Les déchets spéciaux

D.I.B. : Les déchets industriels banals

EPA : Agence de protection de l'environnement

E/C : Eau/Ciment

C : Dosage en ciment

E : Eau

C_2S : Silicate bicalcique (belite)

C_3A : Aluminate tricalcique

C_3S : Silicate tricalcique (alite)

C_4AF : Aluminate-ferrite tétracalcique

$CaCO_3$: Carbonate de calcium

Al2O3 : Oxyde d'Aluminium

Fe2O3 : Oxyde de fer

Cao : Oxyde de calcium

S_iO_2 : Silicium

MgO : Magnésium

MT : Mortier témoin.

MDC : Mortier à base de déchets de café

DC : Déchet de café

CPJ-CEM II/A 42.5 : Ciment Portland ordinaire de Classe 42,5

R_C : Résistance à la compression en (MPa)

F_C: Charge de rupture en (N)

B : Côte de l'éprouvette

Résumé

L'objectif principal de ce projet est donc consisté à valoriser et recycler les déchets de café incorporé dans la masse de mortier ordinaire par substitutions volumétrique du sable en différents pourcentages (2.5%,5%,8% et 10%). Les propriétés à l'état frais (la maniabilité, la densité), à l'état durci (la résistance à la compression et à la traction par flexion, propriétés thermiques) ainsi que de durabilité (Absorption capillaire) ont été déterminé.

Les résultats obtenus montrent que la performance mécanique du mortier est diminuée en fonction d'augmentation de pourcentage de déchets de café. Cependant, les caractéristiques thermiques sont améliorées. Donc, il est possible d'obtenir un matériau isolant utilisable dans différents types d'éléments de construction.

ملخص

الهدف الرئيسي من هذا المشروع هو المساهمة في تثمين و رسكلة نفايات القهوة.ولهذا تم دمج هذه النفايات بشكل حجمي في كتلة الملاط بنسب مختلفة (2.5٪، 5٪، 8٪و 10٪).

و دراسة خصائصها في الحالة الرطبة (الجريان، الكثافة)، في الحالة الصلبة (مقاومة الضغط والشد والخصائص الحرارية) وكذا ديمومتها (الامتصاص شعري).

وقد أظهرت النتائج أن الخصائص الميكانيكية للملاط انخفضت بزيادة نسبة نفايات القهوة. في حين أن استبدال الرمل بنفايات القهوة قد أدى إلى تحسين خصائصها الحرارية. لذلك فمن الممكن استخدام هذه النفايات الحصول على مادة عازلة، التي تسمح باستخدامها في أنواع من مختلف عناصر البناء.

Abstract

The main objective of this project is therefore to recover and recycle the coffee waste incorporated into the ordinary mortar mass by volumetric substitution of the sand in different percentage (2.5%, 5%, 8% and 10%). The properties in the fresh state (workability, density), in the cured state (compressive strength and bending tensile, thermal characteristics) as well as in durability (capillary absorption) were determined.

The results obtained show that the mechanical performance of the mortar is decreased as a function of percentage increase of coffee waste. However, the thermal characteristics are improved. Thus, it is possible to obtain an insulating material that can be used in different types of building elements.

Introduction générale

Introduction générale

La question des déchets urbains se pose avec acuité dans un contexte général de croissances urbaine et démographique, mais aussi en raison de l'évolution rapide des modes de production et de consommation qui génèrent davantage de restes. Dans des situations de pauvreté ou d'accentuation des inégalités, de plus en plus d'individus récupèrent des déchets qui deviennent des ressources indispensables à leur survie.

Pas mal d'études ont été réalisées sur le marc de café et sa potentielle mise en valeur, Le marc de café est composé de beaucoup d'éléments d'intérêts dont la valorisation permet l'obtention de différents produits. En effet, les productions de biocarburant, de compost, de biomatériaux et de charbon actif sont des voies de valorisation possibles parmi tant d'autres. Ainsi, la récupération et la valorisation du marc de café présentent des avantages environnementaux et socio-économiques non négligeables, tels que, par exemple, la création d'emploi et le développement de marché. De plus, la quantité de marc de café générée sur le territoire nationale par les établissements à l'étude est en assez grande quantité pour profiter de ces voies de valorisation. Par ailleurs, la majorité du marc de café générée sur le territoire n'est pas récupérée

Ce travail consiste donc à récupérer de déchets de café, rejetées dans la nature, après avoir étaient trier, sécher puis extrudés sous forme de poudre, puis incorporé dans la masse de deux familles du mortier par substitution volumiques du sable avec de pourcentage de (2.5%,5%8% et 10%).

Le composite ainsi envisagé est, alors, ***un mortier à base de déchets de café***. A part le ciment, chaque matériau de base constituant ce matériau entre soit dans le cadre de la valorisation des matériaux locaux, soit dans le cadre de la réutilisation des déchets industriels.

Pour atteindre ces objectifs, le travail présenté poursuit une démarche progressive s'articulant autour des quatre parties principales suivantes :

Nous présentons tout d'abord une synthèse bibliographie regroupant la valorisation des déchets et activité de recyclage en construction, le déchet de café, le mortier et quelques travaux de recherches effectuer dans les sens de la valorisation du Marc du café dans les matériaux à base cimentaire.

Dans le deuxième chapitre, nous présentons une synthèse sur l'état actuel de connaissance sur les mortiers (définitions, constituants, méthodes de formulations, caractéristiques, utilisations…etc.).

Le deuxième chapitre décrit les caractéristiques des matériaux de base, les formulations des composites, et les techniques expérimentales utilisées durant cette étude pour évaluer les propriétés à l'état frais (maniabilité, densité), les propriétés mécaniques (résistance à la compression et à la flexion,), les propriétés thermiques (conductivité thermique, chaleur spécifique, diffusivité thermiques) et la durabilité (Absorption d'eau).

Le troisième chapitre présente les résultats de la caractérisation des différents mortiers obtenus à l'état frais et durci, ainsi que les indicateurs de la durabilité.

Enfin, nous présentons une conclusion générale sur nos travaux ainsi que d'éventuelles perspectives et recommandations.

Chapitre 01 :
Synthèse bibliographique

1.1 Valorisation des déchets et activité de recyclage en construction

1.1.1 Introduction

Toute activité de production ou de consommation génère des déchets, qui sont souvent associés à la détérioration de notre environnement et a de multiples risques pour la santé humaine. L'industrie en Algérie a une part de responsabilité majeure dans la pollution globale du pays, notamment l'industrie pétrochimique, chimique, métallurgique et de traitement des minerais. [1]

1.1.2 Valorisation des déchets et sous-produits industriels dans le domaine génie civil

1.1.2.1 La Valorisation

Toute opération permettant de réintroduire un déchet dans un processus de production ou de lui conférer une nouvelle valeur d'usage. On parle plus particulièrement de :

- Recyclage mécanique
- Valorisation énergétique ou recyclage thermique
- Valorisation chimique [2]

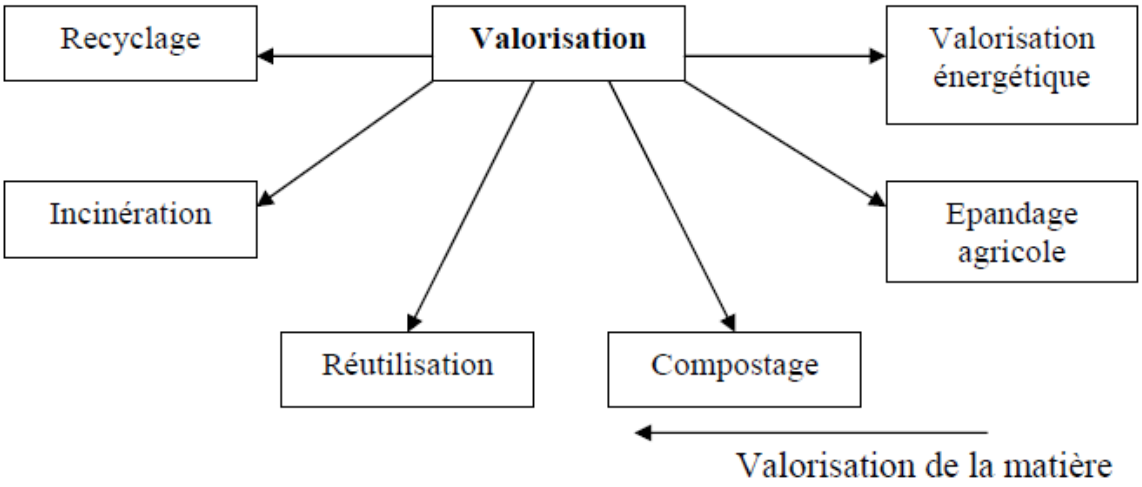


Fig. 1.1. Valorisation des déchets (Clastres, 2004).[1]

1.1.2.2 Les déchets

Un déchet peut être défini de différentes manières selon le domaine et l'intérêt d'étude et parfois l'origine et l'état des déchets. La loi N° 01-19 du 12/12/ 2001 articles 3 du journal officiel de la république algérienne N° 77en 2001, définit le déchet comme : 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 Obligation de se défaire ou de l'éliminer. La diversité des produits de consommation excède Maintenant la biodiversité.[3]

1.1.2.3 Types des déchets

Les déchets peuvent être solides, liquides ou gazeux. Ils peuvent être dangereux ou non, ils peuvent être aussi classés selon leur provenance ou leur composition et leur propriété physique et chimique. On peut classer les déchets selon plusieurs critères : En fonction de l'activité à l'origine du déchet, en fonction de sa nature ainsi que de son mode d'élimination.[4]

1.1.2.4 Classification en fonction de l'activité initiale du déchet

A- Les déchets ménagers et assimilés

Les déchets ménagers et assimilés sont les déchets produits par les ménages, les commerçants, Les artisans, et même les entreprises et industries quand ils ne présentent pas de caractère

Dangereux ou polluant : Papiers, cartons, bois, verre, textiles, emballages. Ces déchets sont Collectés par la commune s'ils peuvent être éliminés sans sujétions techniques particulières et Sans risques pour les personnes ou l'environnement.[4]

B- Les déchets industriels

Les déchets industriels non dangereux ou banals. Ce sont les déchets des entreprises non Dangereux qui sont aussi nommés déchets assimilés aux déchets ménagers. Les déchets Industriels dangereux ou spéciaux. Ce sont les déchets des entreprises qui en raison de leurs Propriétés dangereuses, ils ne peuvent pas être déposés dans des installations de stockage Recevant d'autres catégories de déchets.[4]

C- Les déchets agricoles

Ce sont les déchets issus de l'activité agricole. Il s'agit essentiellement de déchets organiques Comme des déjections des animaux, les déchets de culture.[4]

D-Les déchets hospitaliers

Ce sont les déchets issus des hôpitaux et les autres établissements de soins, les laboratoires et Les centres de recherches, les morgues et les centres d'autopsie, les banques de sang et les Services de collecte de sang.[4]

1.1.2.5Classification selon la nature du déchet

A- Les déchets dangereux

Les déchets sont considérés comme dangereux s'ils présentent une ou plusieurs des propriétés suivantes : Explosif, comburant, inflammable, irritant, nocif, toxique, cancérogène, corrosif, infectieux, toxique pour la reproduction, mutagène, écotoxique.

B- Les déchets toxiques

En petites quantités Ce sont des déchets dangereux produits en petites quantités par les ménages, les commerçants (Garage, coiffeurs, laboratoires de photos, imprimeries, laboratoires de recherches…). Il peut s'agir de déchets banals souillés (chiffons, cartons…), piles, résidus de peinture, etc.

C- Les déchets non dangereux

Les déchets non dangereux sont les déchets qui ne présentent aucune des caractéristiques relatives à la dangerosité mentionnées auparavant (toxique, explosif, corrosif, …). Ce sont les déchets banals des entreprises, commerçants, et artisans (papiers, cartons, bois, textiles, …) et les déchets ménagers.

D- Les déchets inertes

Sont des solides minéraux qui ne subissent aucune transformation physique, chimique ou biologique importante : Pavés, gravats, carrelage. Ils proviennent des chantiers du bâtiment et travaux publiques, mais aussi des mines et des carrières.

E- Les déchets ultimes

Un déchet ultime, résultant ou non du traitement d'un déchet, n'est plus susceptible d'être traité dans les conditions techniques et économiques du moment, notamment par extraction de la part valorisable ou par réduction de son caractère polluant ou dangereux.

1.1.2.6 Classification selon le mode de traitement des déchets

A- Les déchets biodégradables ou décomposables

Comme les résidus verts, boues d'épuration des eaux, restes alimentaires…, ces déchets sont au moins pour partie détruits naturellement, plus ou moins rapidement, En général par les bactéries, champignons et autres micro-organismes et/ou par des réactions chimiques laissant des produits de dégradation identiques ou proches de ceux qu'on peut trouver dans la nature, parfois néanmoins contaminés par certains résidus.

B- Les déchets recyclables

Comme le verre, métaux, matières plastiques. Ces déchets peuvent être réutilisés directement dans d'autres domaines ou recyclés.

C- Les déchets ultimes

Ce sont les déchets qui ne sont plus susceptibles d'être traités dans les conditions techniques et économiques du moment. Ça devrait être les seuls déchets à être mis en décharge.

D-Les déchets spéciaux et déchets industriels spéciaux (DS et DIS)

Dont font partie les déchets toxiques, les déchets radioactifs et déchets nucléaires qui doivent faire l'objet d'un traitement tout à fait particulier en raison de leur nocivité particulière liée à la radioactivité

E- Les déchets industriels banals (D.I.B.)

Appelés quelquefois déchets industriels assimilés aux déchets ménagers, sont constitués de déchets non dangereux et non inertes. Ils contiennent effectivement les mêmes composants que les déchets ménagers mais en proportions différent. [4]

1.1.2.7 Constitution chimique du déchet

Les déchets sont pour la plupart constitués des mêmes molécules chimiques que celles des produits. Ce qui différencie les déchets des autres produits provient d'un certain nombre de particularités. Certains déchets résultent du traitement involontaire de molécules usuelles avec production de sous-produits de composition, a priori inconnu. Par ailleurs, le déchet peut se retrouver dans un milieu dont il n'est pas issu en tant que produit et de ce fait auquel il n'est pas destiné. Enfin, le mélange au hasard des déchets peut conduire à la formation de produits nouveaux.[5]

1.1.3 Activité du recyclage des déchets en construction

1.1.3.1 Recyclage des déchets

Le recyclage est un procédé de traitement des déchets et de réintroduction des matériaux qui en sont issus, dans un nouveau cycle de vie. L'un des exemples les plus connus illustrant ce procédé est celui de la fabrication de bouteilles en verre grâce aux bouteilles usagées. Le verre est recyclable à l'infini.

Le recyclage a deux conséquences écologiques majeures : la réduction du volume des déchets, et donc de la limitation de la pollution qu'ils causeraient (certains matériaux mettent des décennies, voire des siècles à se dégrader) et la préservation des ressources naturelles, car la matière recyclée est utilisée à la place de celle qu'on aurait dû extraire.[5]

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

- Réduire, qui regroupe tout ce qui concerne la réduction de la production de déchets.
- Réutiliser, qui regroupe les procédés permettant de donner à un produit usagé un nouvel usage.
- Recycler, qui désigne le procédé de traitement des déchets par recyclage.[5]

1.1.3.2 Technique de recyclage

A. Procédés du recyclage

Le recyclage est l'ensemble des techniques ayant pour objectif de récupérer et traiter des déchets pour réintroduire dans le cycle de production d'un produit, les matériaux qui constituaient les déchets. Le recyclage s'effectue en 3 étapes : la collecte des déchets par tri sélectif, la transformation et la commercialisation.[6]

Il existe 3 types de recyclage :

- **Le recyclage chimique** qui utilise des réactions chimiques pour traiter les déchets ayant pour objectif de séparer les composants d'un même produit,
- **Le recyclage mécanique** qui utilise des machines pour transformer les déchets comme l'utilisation de broyeur,
- **Le recyclage organique** qui consiste après compostage ou fermentation à produire des engrais ou du carburant tel que le biogaz. [6]

1.1.3.3 Impacts du recyclage sur l'environnement

La récupération des déchets touche deux impacts très importants, l'impact environnemental qui est résout par l'évacuation de ces déchets et l'impact économique qui est l'utilisation de ces derniers dans l'industrie ou dans le domaine de la construction, ces déchets ont l'avantage d'être disponibles en grande quantité et avec de faible valeur marchande [7].

Le recyclage de déchets permet de :

- Réduire l'extraction de matières premières.
- Réduire des pollutions et nuisances
- Préservé de la diversité biologique et des espaces naturels
- Protection des recoures naturels
- La protection de l'atmosphère
- Contrôle et déduire des déchets dangereux

1.2 Déchets de café

1.2.1 Définition de Marc de café

Le marc de café est un ‘’déchet de café ’’, qu'est une boisson psychoactive obtenue à partir des graines du caféier, un arbuste du genre Coffee. Sa culture est très développée dans de nombreux pays tropicaux, dans des plantations qui produisent pour les marchés d'exportation. Le café est le deuxième bien de consommation échangée dans le monde, derrière le pétrole et devant le charbon, la viande, le blé et le sucre [8].



Fig.1.2 : Le marc de café [9]

1.2.2 Historique

D'après une légende chinoise populaire, l'empereur de Chine Shennong a accidentellement découvert que, quand des feuilles étaient plongées dans de l'eau bouillante, une boisson caféine, parfumée et reconstituante en résultait.

La première référence au café dans la littérature apparaîtrait dans les écrits du médecin perse al-Razi, datés du ixe siècle. À cette époque, les grains de café n'étaient disponibles que dans leur région d'origine, l'Éthiopie. Une légende populaire attribue sa découverte à un gardien de chèvre nommé Kaldi, qui observa que ses chèvres devenaient euphoriques et restaient éveillées la nuit après avoir brouté des caféiers. Essayant à son tour les baies que les chèvres avaient consommées, il ressentit la même vitalité. En 1587, Malaye Jaziri retrace dans un ouvrage l'histoire et les controverses sur le café, intitulé « Undat al safwa fi hill al-qahwa ». Jaziri y relate qu'un cheikh, Jamal-al-DIN al-Dhabhani, mufti d'Aden, fut le premier à adopter l'usage du café en 1454, et qu'au xve siècle, les soufis du Yémen utilisaient couramment du café pour rester éveillés pendant les prières.

Vers la fin du xvie siècle, l'utilisation du café était rapportée par un européen habitant l'Égypte et c'est à cette époque que son usage se généralisa au Moyen-Orient. L'apparition du café comme boisson en Europe, où il fut d'abord connu en tant que « vin arabe » date du xviie siècle. Durant cette période des cafés ont été créés, les premiers étant ouverts à Constantinople et Venise.

En Grande-Bretagne, les premiers cafés ont ouvert à Londres en 1652, sur la St Michael's Alley. En France, la première « maison de café » est ouverte en 1671 à Marseille, port doté de liaisons régulières avec l'Orient, puis le phénomène s'étend rapidement à Paris où on compte en 1723, selon le « Dictionnaire du commerce », 380 cafés « ouverts à la causerie ». Les cafés sont rapidement devenus populaires dans l'ensemble de l'Europe de l'Ouest et jouèrent un rôle important dans les relations sociales du xviie et du xviiie siècle.[10]

1.2.3 Composition du marc de café

Le café vient de l'arbre qui s'appelle Le caféier, qui vit environ 50 ans dont une trentaine d'année de pleine production. Il peut atteindre la taille de 12 m, mais dans les plantations, il est taillé de façon à ne pas dépasser 2- 3 mètres pour faciliter sa culture et la cueillette. Ses fruits, de couleur rouge, sont appelés " drupes " ou " cerises ". Un arbre produit de 2 à 5 Kg de cerise par an. Il possède des racines profondes qui épuisent rapidement le sol

La 1ère floraison intervient la 4ième année, les fleurs sont blanches et naissent en grappes axillaires avec un parfum intense proche du jasmin ou de l'oranger. Au 17ième, on appelait le caféier le "jasmin d'Arabie ». Il fleurit plusieurs fois par an.

Les fleurs de l'espèce Arabique, ont 5 pétales et sont capables de pratiquer une auto pollinisation, celles de l'espèce Robusta ont 6 pétales et ont besoin de l'aide des insectes pour la pollinisation. Il n'y a pas de floraison en dessous de 15°C. Leur durée de vie n'est que de quelques heures, mais elles se renouvellent en continu, un arbre produisant environ 30000 fleurs par an.

Le Robusta, par rapport à l'Arabica, tolère des températures plus élevées, des pluies plus abondantes et est plus résistant aux maladies.

Le marc de café c'est le résidu du café qui est composé essentiellement de la caféine — $C_8H_{10}N_4O_2$, qui est une molécule de la famille des méthylxanthines, qui comprend également la théophylline et la théobromine. Sous sa forme pure, elle consiste en une poudre blanche d'un goût extrêmement amer. La caféine est modérément soluble dans l'eau et les solvants organiques. À haute température, la solubilité de la caféine dans l'eau augmente. La caféine, stable dans les milieux relativement acide et basique, est une base faible et peut réagir avec des acides pour donner des sels. Cependant dans une solution aqueuse normale, elle n'est pas ionisée. Dissoute, elle peut être présente sous forme de dimères ainsi que

de polymères. La caféine est une substance absorbant dans l'UV avec un maximum à la longueur d'onde de 274 nm.

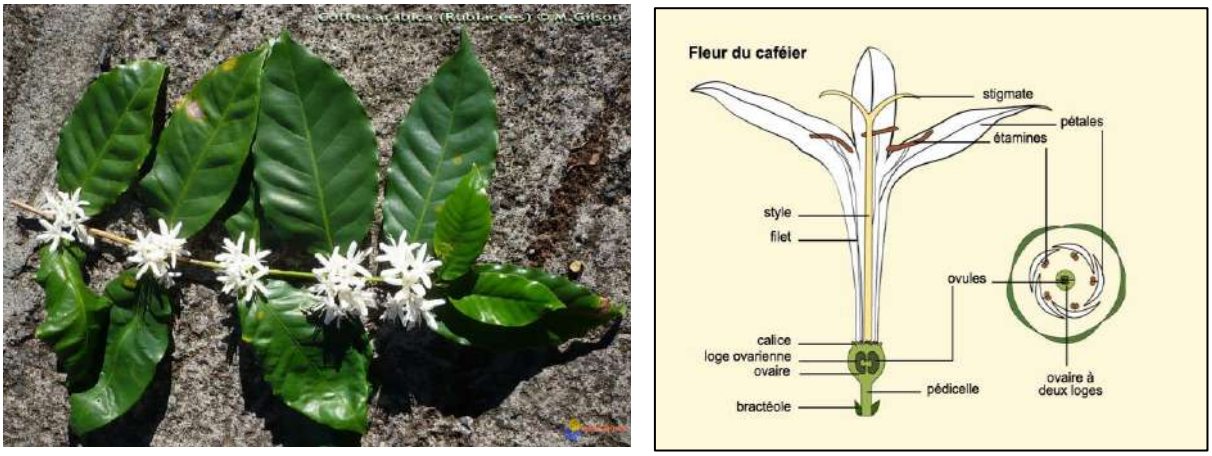


Fig. 1.3 : Le caféier et la fleur du caféier [10]

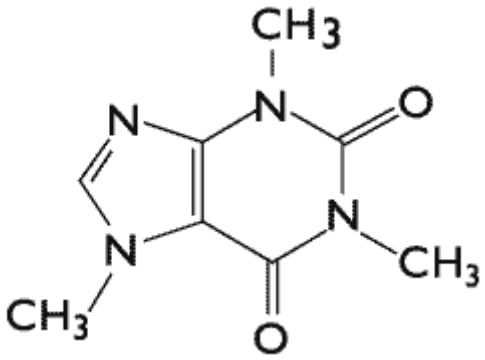


Fig. 1.4 : Molécule de caféine [10]

1.2.4 Propriété du marc de café

Le marc de café a des propriétés physiques, chimiques et bioactives. Qui sont cités ci-dessous comme suit :[8]

1.2.4.1 Propriétés physiques du marc de café

Le marc de café possède un haut taux d'humidité variant entre 55 et 80 %. (Gomez-de la Cruz et autres, 2015) 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. (Cruz et autres, 2009) En ce qui concerne la morphologie des grains de marc de café, la figure 2.1 illustre un grain de marc de café issu des commerces et prise par microscopie électronique à balayage.[8]

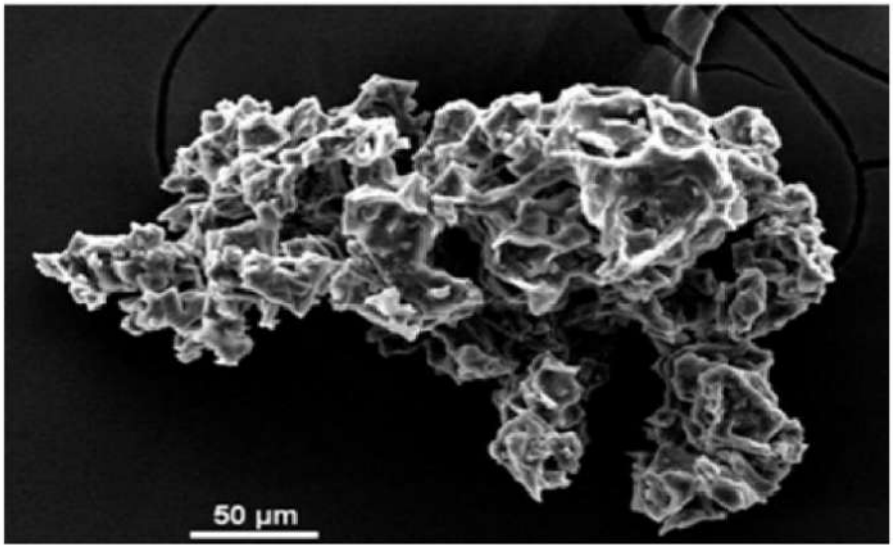


Fig 1.5 : Grain de marc à café en microscope à balayage (tiré de : Chen et autres, 2013, p. 82) [8]

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 12 de 0,42 g/cm3 et la densité réelle est d'environ 1,16 g/cm3. 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. (Chen et autres, 2103) Toutefois, cette porosité peut être augmentée si nécessaire en diminuant la cristallinité du marc de café en dégradant sa matrice cellulose-lignine. (Ballesteros et autres, 2010) Enfin, la surface des grains est de charge négative (Shen et Gondal, 2013). Le tableau 1.1 présente ces différentes données en fonction du taux d'humidité

Tableau 1.1 Caractéristiques physiques du marc de café en fonction de l'humidité [11]

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 1.2. 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. [8]

Tableau 1.2 Le pouvoir calorifique de divers résidus de biomasse [11]

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

1.2.4.2 Propriétés bioactives du marc de café

Le marc de café a des propriétés bioactives. Comme le montre le tableau suivant, le marc de café a une activité anti-radicalaire semblable selon l'espèce de café.

Tableau 1.3. Activité radicalaire du marc de café [12]

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, on remarque que la composition chimique du marc de café est très variée, elle contient des glucides, lipides en passant par les protéines, les minéraux et les antioxydants. Cette variété de matériaux présents dans le marc de café, laisse de nombreuses possibilités de valorisation et d'utilisation. [8]

1.2.5 Les utilisations possibles du marc de café

De multiples voies de valorisation et d'utilisations sont possibles avec le marc de café. Parmi celles-ci se retrouvent les productions d'éthanol, de biodiesel, de combustibles pour les fours industriels et de granules de combustion pour les fours résidentiels. Le marc de café peut aussi être utilisé comme substrat pour la culture de micro-organismes, comme compost, peut être utilisé dans l'industrie alimentaire, dans la production de biomatériaux, dans la production de charbon actif, dans le traitement des eaux usées des industries et de l'eau potable, etc. Pour toutes les voies de valorisation qui sont discutées, l'utilisation du marc de café arabica ou robusta est possible, aucune distinction n'a été faite par les études. [8]

- **Production de biocarburants**

Les productions successives de différents biocarburants sont possibles avec le marc de café. Cependant, certaines étapes sont nécessaires afin d'obtenir un rendement optimal. De plus, l'utilisation directe du marc de café comme granule de combustion nécessite la recherche d'un équilibre d'humidité afin d'améliorer les paramètres énergétiques du biocarburant.

- **La production d'éthanol**

Comme mentionnée précédemment, la production de bioéthanol et de biodiesel est possible avec les mêmes grains de marc de café comme l'illustre l'annexe 15. En effet, la production d'éthanol correspond à l'exploitation des sucres et la production de biodiesel correspond à l'exploitation des lipides. [14] La production d'éthanol directement à partir de marc de café n'est pas une méthode viable, car la présence des lipides ralentit la réaction enzymatique de saccharification. [10]

- **Production de biodiesel**

Les lipides extraits du marc de café peuvent servir de matières premières pour la production de biodiesel [14]. En effet, les lipides du marc de café peuvent être extraits et subir une transestérification afin de produire des esters méthyliques d'acide gras (EGAM). Toutefois, les lipides extraits du marc de café présentent une haute acidité qui diminue la rentabilité en biodiesel. Ainsi afin de rendre optimale la production de biodiesel.

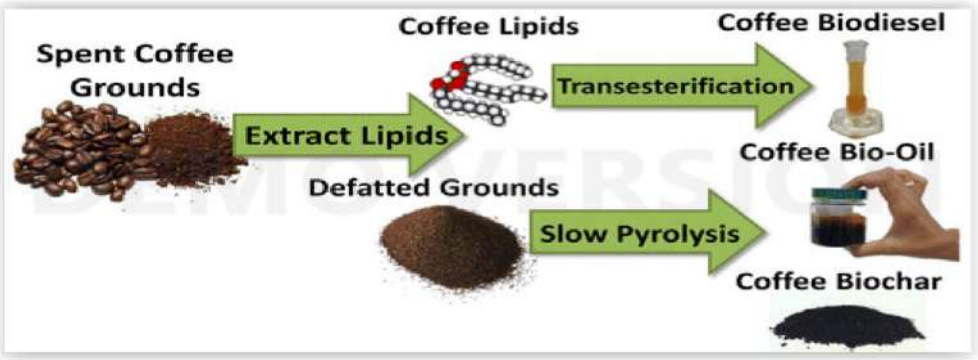


Fig. 1.6. Possibilités de valorisation du même marc de café [15]

- **Production de compost**

Avec un bon ratio C/N, le marc de café peut être utilisé comme fertilisant. Ainsi, trois méthodes de compostage avec du marc de café ont été comparées, soit le vermicompostage, le compostage en cuve et le compostage en andain. Le compostage en cuve présente des résultats plus rapides, mais montre une plus grande perte en azote. Or le compostage en andain montre une plus grande augmentation en azote à hauteur de 75 %. [10]

- **Domaine d'agriculture :**

Le marc de café peut être utilisé comme engrais au pied des plantes ou dans le compost à condition qu'il soit bien sec au moment de l'utilisation. [10]



Fig. 1.7. Marc de café comme engrais [13]

- **Substrat pour la culture de micro-organismes et de champignons comestibles**

Le marc de café peut être utilisé comme substrat pour la production de caroténoïde grâce à la culture de levure. Les caroténoïdes sont utilisés dans les industries agroalimentaires (colorant), cosmétiques et pharmaceutiques et sont donc des composés d'intérêts. [10]

- **Industrie alimentaire**

De nombreux constituants du marc de café cités précédemment peuvent être utilisés dans l'industrie de l'alimentation. En effet, le marc de café peut, par exemple, être utilisé pour la fabrication de spiritueux à saveur de café [16].

- **Production de charbon actif**

Le marc de café peut être transformé en charbon actif. Le charbon actif ainsi produit possède une performance comparable ou meilleure que les charbons actifs commercialisés sur le marché actuel. Dans l'optique de produire du charbon actif à partir de marc de café, ce dernier ne doit pas être exploité au préalable pour sa caféine. En effet, la caféine joue un rôle important dans la préparation du charbon actif en tant que catalyseur.[17]

- **Utilisation comme remblai pour les abords des routes**

Les propriétés mécaniques du marc de café sont propices à son utilisation comme remblai pour les abords des routes, mais ne le sont pas pour le remblai des routes elles-mêmes. L'utilisation du marc de café comme remblai ne semble poser aucun problème environnemental selon une étude. Cette dernière affirme que la concentration des composants du marc de café est inférieure aux limites de l'Agence de protection de l'environnement (EPA) des États-Unis, dans la désignation d'un déchet dangereux.

- **Autres utilisations**

La composition chimique du marc de café ouvre la porte de beaucoup d'industries. Par exemple, les antioxydants sont des composés très prisés dans l'industrie du cosmétique et de la pharmaceutique et la cellulose est un produit utilisé dans la fabrication du papier. Aussi, la capacité actuelle de transformer la cellulose en glucose permet la synthèse de nombreux autres composés chimiques d'intérêts (éthanol, butanol, hydrogène, acide organique, glycérol, etc.). Ainsi, l'industrie de la chimie peut être sollicitée. [10]

1.2.6 Impacts environnementaux de la récupération du marc de café et de sa mise en valeur

Comme dit précédemment, le marc de café est un produit contenant beaucoup de composés, dont la caféine, des tanins et des polyphénols. Ces composés à caractère écotoxique ne doivent pas se retrouver dans la nature, particulièrement dans les cours d'eau. En effet, le marc de café crée alors une forte demande en oxygène. [18].

1.2.6.1 Écotoxicité

Le marc de café présente une certaine écotoxicité à cause de la présence de caféine, de polyphénols et de tanins. De plus, cette matière possède une forte demande biologique en oxygène et ne peut être rejetée dans la nature telle quelle. Par conséquent, il est fort probable qu'une grande quantité de marc de café soit envoyée à l'enfouissement. Ainsi, le marc de café participe à la consommation du territoire, à la production de biogaz et à la production de lixiviat en remplissant les sites d'enfouissement. Même si les sites d'enfouissements au Québec récupèrent et traitent maintenant les biogaz et le lixivixat, les pressions n'ont pas pour autant disparu. Une récupération spécifique du marc de café diminuerait les pressions dans les sites d'enfouissement. [10]

1.2.6.2 Diminution des pressions sur les ressources naturelles

La récupération spécifique du marc de café et sa valorisation diminuerait les pressions mises sur les ressources naturelles dépendamment de la mise en valeur effectuée. Par exemple, la production de biocarburant à partir d'une matière résiduelle qu'est le marc de café évite les conflits apportés par les biocarburants de première génération, soit entre les besoins alimentaires et énergétiques.[8]

1.2.6.3 Traitement des eaux

L'utilisation du marc de café dans la décoloration, notamment dans l'industrie textile, de l'alimentaire et du papier aurait un grand impact environnemental sur les cours d'eau du Québec. Les rejets dans l'environnement de colorants ont de très gros impacts, notamment en augmentant la toxicité des cours d'eau, la demande chimique en oxygène et en empêchant la photosynthèse à cause d'une réduction de la pénétration de la lumière. Certains produits, dont le bleu de méthylène, sont difficiles à enlever des eaux usées avec les techniques habituelles, dont les traitements biologiques et les précipitations chimiques. En parallèle, d'autres

méthodes comme l'utilisation de charbon activé sont efficaces, mais coûteuses. Ainsi, il a été montré que le marc de café est un candidat de choix dans l'adsorption de colorant cationique de telles industries. [10]

1.2.7 Impacts économiques de la récupération du marc de café et de sa mise en valeur

Le marc de café possède de nombreuses voies de mise en valeur. Plusieurs produits peuvent être créés en valorisant cette matière.de manière non exhaustive, les différentes voies possibles de création de produits et ainsi de valeur.

Toutes ces voies sont des opportunités pour le développement de nouvelles entreprises et le développement de nouvelles expertises. La récupération spécifique du marc de café dans mande entier a le potentiel de développer un marché local, la production de produits locaux et l'innovation de la part d'entrepreneurs.

Plusieurs études ont été réalisées afin de déterminer les meilleures méthodes d'extraction des différents composants du marc de café ce qui favorise la création de nouvelles entreprises. De plus, les méthodes étudiées ont souvent été considérées comme peu dispendieuses. Certaines entreprises proposent des équipements pour valoriser le marc de café, telles que des machines à fabriquer des granules de bois.[8]

1.2.8 Impacts sociaux de la récupération du marc de café et de sa mise en valeur

La récupération spécifique du marc de café a plusieurs impacts sociaux, soit la création d'emploi, le développement de marques locales, la santé et l'amélioration de l'image de marque de l'agglomération de la vie. [8]

1.2.8 1 Création d'emploi

Le développement de marché, de nouvelles entreprises engendre la création de nouveaux emplois. La multitude d’avenues de valorisation du marc de café offre ainsi plusieurs possibilités de création d'emploi. [8]

1.2.8.2 Développement de marque locale

La valorisation du marc de café peut engendrer la création de nombreux produits locaux ce qui favorise le sentiment de communauté au sein d'une ville. Le développement de marque locale peut également développer un sentiment de fierté chez les citoyens (Made in NY, s.d.). Ce sentiment de fierté est d'autant plus grand si la marque locale respecte l'environnement, car

la population à besoin de plus en plus de se sentir contributeur à la protection de l'environnement.[8]

1.2.8.3 Santé

Comme mentionné précédemment, le marc de café possède plusieurs propriétés bioactives. La récupération spécifique du marc de café permettrait l'utilisation de ces bioactifs dans l'alimentation et ainsi améliorer la santé des consommateurs. En outre, certains antioxydants présents dans la nourriture humaine sont synthétiques et leur sécurité est mise en doute. Ainsi, les antioxydants présents dans le marc de café peuvent servir de substitut aux synthétiques en raison de leur bénéfice dans la santé. [8]

1.2.8.4 Image de marque

La récupération spécifique du marc de café donnerait à cette dernière une image positive sur la scène internationale. De plus, par exemple la Ville de Montréal a reçu très récemment la certification de ville écoresponsable d'iCompli Sustainability. Cette certification vise l'efficacité énergétique, la qualité de l'air, de l'eau et aussi le gaspillage. [19] Ainsi, une récupération spécifique du marc de café participerait à l'image positive. En somme, le marc de café est composé de beaucoup d'éléments d'intérêts. Plusieurs études ont démontré que ces éléments peuvent être extraits du marc de café. Aussi, les possibilités d'utilisation du marc de café sont très nombreuses.[9]

1.3 Le mortier du ciment

1.3.1 Introduction

Dans toute construction, il est indispensable de réunir entre eux les différents éléments (blocs de béton, briques, moellons, etc.) au moyen d'un

Mortier de ciment ou de chaux qui a pour rôle :

•de solidariser les éléments entre eux ;

•d'assurer la stabilité de l'ouvrage ;

•de combler les interstices entre les blocs de construction.

Le mortier est obtenu par mélange d'un liant – chaux ou ciment –, de sable, d'eau et éventuellement d'adjuvants.[20]

1.3.2 - Qu'est-ce que le mortier ? photo de mortier

Histoire de commencer sur de bonnes bases, rappelons ce qu'est un mortier. De manière basique, un mortier de construction est un mélange plus ou moins épais :

- De sable,
- De liant (par exemple le ciment),
- D'eau.

On peut y ajouter ou non des additifs de manière à l'ajuster à l'utilisation qui doit en être faite. Il existe des préparations pour mortier, auxquelles on ajoute uniquement de l'eau, mais il est également possible de préparer un mortier de ciment soi-même [21]

1.3.3 Types de mortier

Dans les travaux publics on utilise différents types de mortier : [22]

1.3.3.1 Mortier de ciment

Les mortiers de ciments sont très résistants, durcissent rapidement. 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.

1.3.3.2 Mortier de chaux

Les mortiers de chaux sont moins résistants par rapport aux mortiers de ciment. La durée du durcissement des mortiers de chaux est plus lente que pour les mortiers de ciments.

1.3.3.3 Mortier bâtard

Ce sont les mortiers, dont le liant est le mélange de ciment et de chaux. Généralement, on utilise la chaux et le ciment par parties égales, mais des fois on prend une quantité plus ou moins grande de l'un ou l'autre suivant l'usage et la qualité recherchée.

1.3.3.4 Mortier de hourdage de maçonnerie

On utilise des sables dont les grains les plus gros n'excèdent pas 5 mm, le dosage le plus usuel est de 1 volume de liant pour trois volumes de sable. La quantité d'eau qui joue un rôle important ne peut être fixée à priori, en règle générale on adopte une valeur voisine de la moitié du poids du liant qui peut être réduite lorsqu'on utilise un plastifiant.

1.3.3.5 Mortier fabriqué sur chantier

Ils sont préparés avec le ciment et le sable du chantier. Le ciment est un ciment courant CPA ou 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 toutes façons ils doivent être propre et de bonne granulométrie. Le sable est généralement dosé en poids, soit en volume. Dans ce dernier cas, il est très important de tenir compte du phénomène de foisonnement des sables .

1.3.3.6 Mortier industriel

Ce sont des mortiers que l'on fabrique à partir de constituants secs, bien sélectionnés, conditionnés en sacs, contrôlés en usine et parfaitement réguliers. Pour utiliser ce type de mortiers, il suffit de mettre la quantité d'eau nécessaire et malaxer pour ensuite les mettre en œuvre. Les mortiers peuvent contenir des liants et des sables variés ainsi que certains adjuvants et éventuellement des colorants. Les fabricants de mortiers industriels proposent une gamme complète de produits répondant à tous les besoins

1.3.4 Domaines d'utilisation des mortiers

1.3.4.1 Mortiers pour chape

Ce type de mortier illustré dans la figure 1.8 est utilisé généralement Pour : [22]

- Mise à niveau de la dalle et régularité de la surface
- Support de revêtement, ou isolation incorporée



Figure 1.8 : Les mortiers pour chapes [22]

1.3.4.2 Mortiers et coulis de réparation

Comme son nom l'indique, ce type de mortier est utilisé pour le reprofilage du béton, la reconstitution de la protection des armatures, et le rétablissement de l'étanchéité. La figure 1.9 illustre en gros une partie du cas pratique.

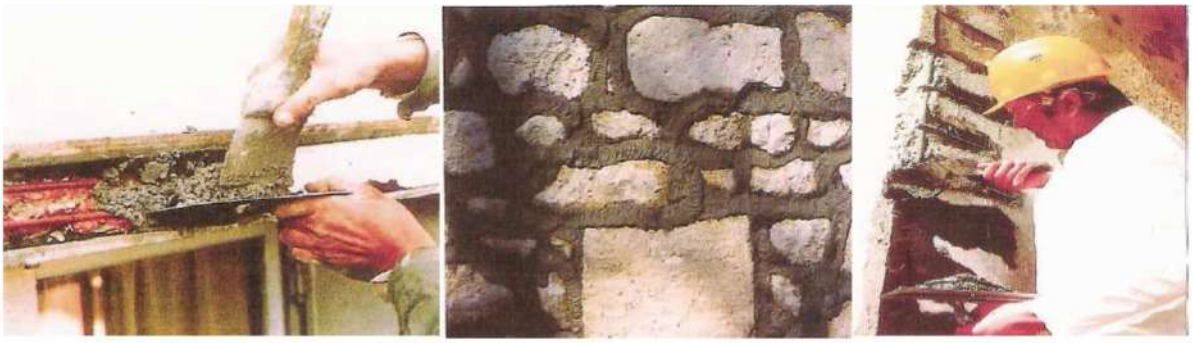


Figure 1.9 : Les mortiers et coulis de réparation [22]

1.3.4.3 Mortiers de scellements et calages

- Absence de retrait
- Caractère expansif du mortier
- Résistance au jeune âge

1.3.5- Les mortiers de chantier et les mortiers prêts à l'emploi

- **Les mortiers fabriqués sur le chantier**

L'entreprise qui fabrique sur le chantier son mortier doit choisir correctement le liant en fonction de son type et de sa classe, le ou les sables, la teneur en eau (pour obtenir la plasticité désirée) et les adjuvants

Adaptés à la destination du mortier. Les sables utilisés sont généralement siliceux ou silico-calcaires ; leur granulométrie est de préférence

Continue. 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 du sable humide (foisonnement).

Les mortiers peuvent comporter différents types d'adjuvants :

– réducteurs d'eau-plastifiants

– plastifiants

– entraîneurs d'air

– modificateurs de prise (retardateurs, accélérateurs)

– hydrofuges.

Dans tous les cas des soins particuliers doivent être pris afin d'obtenir des mortiers sans ressuage, homogènes d'une gâchée à l'autre.

Le dosage en liant, (ciment ou chaux, ou mélange des deux) le plus généralement employé est de 300 à 400 kg/m3 de sable. Pour un sable courant et un ciment Portland utilisé au dosage de 400 kg/m3 de sable, la quantité d'eau de gâchage nécessaire pour obtenir un bon mortier

d'usage courant est de l'ordre de 200 litres au maximum, qu'on a intérêt à diminuer par l'emploi de réducteur d'eau ou de plastifiant.

Les autres avantages présentés par ces produits sont les suivants :

– prédosage de composition constante, garant de régularité et de qualité

– pas d'approvisionnement et de stockage sur place des constituants (sables, liants, adjuvants)

– perte de temps limitée (appréciable dans le cas de travaux à effectuer rapidement et lorsque la place fait défaut) ;

– chantiers plus propres.[23]

- **Les mortiers frais retardés, stabilisés, prêts à l'emploi**

Depuis quelques années est apparue une nouvelle génération de mortiers livrés par les centrales de béton prêt à l'emploi : les mortiers frais retardés et stabilisés. Du fait qu'ils sont retardés, ces mortiers peuvent être livrés et stockés en quantité importante. On peut les utiliser dans un délai allant jusqu'à 24 heures sans avoir le souci de préparer de nombreuses petites gâchées. Très maniables et homogènes, ils possèdent des résistances très largement suffisantes pour les travaux auxquels ils sont destinés : maçonnerie et jointoiement.

Lorsqu'ils sont étalés en couche mince, la prise décès mortiers est accélérée (effet d'absorption d'eau par le support et perte par évaporation). Ces mortiers permettent, comme le béton prêt à l'emploi, de simplifier et d'améliorer les conditions de travail, en évitant les pertes de temps. Ils sont en général livrés dans des auges ou des bacs non absorbants, de 250 à 500 litres de capacité. Ces bacs restent sur le chantier, ce qui fournit un stockage commode et une complète disponibilité.

Les mortiers de fibres [23]

- **L'incorporation de fibres**

De verre ou de polypropylène permet d'obtenir des mortiers présentant une cohésion supérieure et moins fissurables. Ce sont soit des mortiers prémélanges, livrés en sac, soit des mortiers prêts à l'emploi, livrés par certaines centrales.[23]

- **Les enduits**

Ce domaine d'application, qui constitue l'un des plus vastes débouchés des mortiers, fait l'objet du chapitre I.3. Rappelons simplement qu'à côté des enduits traditionnels en trois couches décrits dans la norme NF P 15-201 (DTU 26.1), se développent aujourd'hui les enduits monocouches épais, ainsi que les enduits isolants considérés encore comme non traditionnels. Ces produits font l'objet d'une procédure d'Avis technique par le CSTB.[23]

- **Les chapes**

Les chapes ont pour fonction d'assurer la mise à niveau du dallage et la régularité de sa surface. Les chapes peuvent constituer la finition : on y incorpore alors souvent des produits spécifiques. Elles peuvent aussi constituer le support d'un revêtement de sol. Les chapes doivent présenter une résistance suffisante pour assurer la transmission des charges au support, et parfois résister à l'abrasion ou au poinçonnement (sols industriels).
Adhérente ou flottante, la chape peut également [23]

1.3.6-Les emplois des mortiers

- **Les joints de maçonnerie**

La construction réalisée en éléments maçonnés (blocs de béton, pierres de taille, briques), nécessite leur assemblage avec un mortier qui doit présenter des caractéristiques mécaniques suffisantes pour assurer la transmission des charges et une compacité suffisante pour être étanche. On a généralement intérêt à utiliser des mortiers ne présentant pas un module d'élasticité trop élevé, de façon à pouvoir s'adapter aux variations dimensionnelles des éléments qu'il liaisonne sans fissurer. Les mortiers de joints constituent donc un maillon
Important de la maçonnerie, qui doit être bien étudié et bien mis en œuvre pour assurer la fonction qui lui est dévolue. C'est notamment le cas de la maçonnerie apparente. La norme XP P 10-202-1 « DTU 20.1. Ouvrage en maçonnerie de petits éléments. Parois et murs. » fournit des indications sur les dosages préconisés pour les mortiers de jointoiement, ainsi
Que les préconisations pour leur mise en œuvre. Avoir une fonction thermique ou acoustique. Ces ouvrages sont décrits dans la norme NF P 14-201 « DTU 26.2. Travaux de bâtiment. Chapes et dalles à base de liants hydrauliques. ». Le chapitre I.4 leur est consacré. [19]

- **Les scellements et les calages**

La multiplicité des problèmes de scellement et de calage a conduit les producteurs de mortiers industriels à mettre au point des produits spécifiques adaptés aux travaux à réaliser : scellements d'éléments de couverture, scellements d'éléments de second oeuvre, scellements de mobiliers urbains, scellements de regards de visite, assemblage d'éléments préfabriqués… Ces applications sont décrites dans le chapitre I.5. [23]

1.3.7- Les coulis

Le coulis est un mélange fluide, à base de charges fines inférieures à 0,3 mm, de liants hydrauliques et d'adjuvants. Outre les liants classiques, il existe aussi des liants spéciaux pour coulis d'injection. Les charges sont constituées par des suspensions d'argile, de bentonite (argile colloïdale). Les domaines d'utilisation des coulis sont les remplissages de cavités et fissures dans les roches, les sols ou les ouvrages béton ou maçonneries. [23]

1.3.8- Les techniques particulières

De mise en œuvre Les techniques traditionnelles sont développées dans les chapitres correspondant aux différents domaines d'emploi (4.2, 4.3 et 4.4). On ne cite donc ici que deux techniques qui intéressent de nombreuses applications : la projection et l'injection[23]

- **La projection**

Fabriqués sur chantier, ou plus généralement prédosés, les mortiers projetés comportent, outre le liant et le sable habituels, des adjuvants spécifiques améliorant l'adhérence, des charges (silice, carbonate,etc.), et parfois des fibres (verre, polypropylène ou acier). Projeté à l'aide de machines le plus souvent à air comprimé, le mortier est plus compact, adhère mieux au support et se prête bien à son application sur des parties d'ouvrages difficiles d'accès et de forme irrégulière. La suppression de manipulations délicates et pénibles, ainsi que les gains de productivité, expliquent le succès du mortier projeté dans de nombreuses applications :

- Enduits monocouches, enduits isolants.
- Revêtements de voûtes, en galeries, consolidation de talus.
- Travaux de réparation, etc. [23]



Fig.1.10. Machine à projeter équiper de lance [23]

- **L'injection de mortiers ou coulis**

L'injection de mortier n'intéresse que certains types de travaux où les cavités à remplir sont suffisamment larges. Il est nécessaire que le diamètre maximum des grains de sable les plus gros ne dépasse pas le 1/5 des vides les plus fins à remplir. S'il n'en était pas ainsi, il faudrait utiliser des coulis d'injection. Comme dans le cas des coulis de ciment, le mortier d'injection doit être constitué de façon à être le plus « injectable » possible : grande fluidité pour un ressuage modéré (et, partant, une bonne stabilité, peu de ségrégation). Les applications de l'injection sont essentiellement le remplissage de cavités, gaines, enveloppes diverses, ou plus généralement les vides d'accès difficile. L'injection est généralement pratiquée pour certains travaux sous l'eau, avec des formules de mortier étudiées pour éviter le délavage.

1.4. Valorisation des déchets de café dans les matériaux à base cimentaire

Depuis ces vingt dernières années, les déchets en matières, marc de café représentent une part importante des déchets solides municipaux. De plus, ils posent un sérieux problème à cause de leur durée de vie et parce que ce sont des déchets voyants. Des études antérieures ont montré qu'il était possible d'utiliser les déchets de café dans les bétons et le mortier.[24][26]

1.4.1 Influence de déchet de café sur les propriétés des matériaux cimentaire

1.4.1.1 Etats frais

a) L'ouvrabilité et maniabilité

Boukerma et al [10] ont étudié l'effet de substitution de 5%,10%,15% et 20% du sable par Marc de café. Ils ont trouvé que la maniabilité est diminuée en fonction d'augmentation de déchets de café

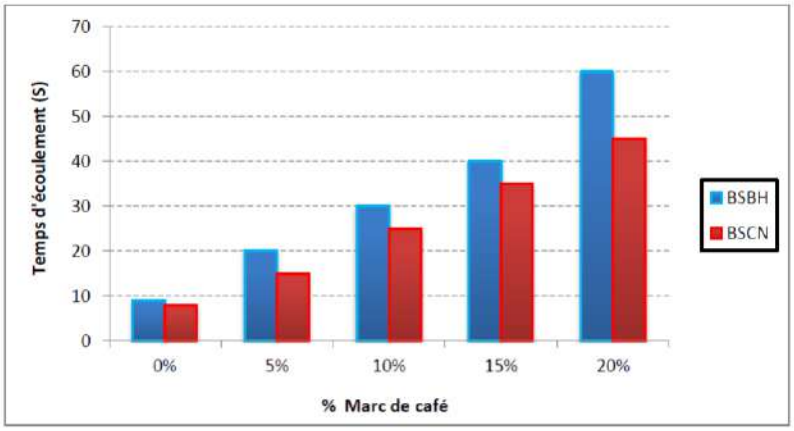


Fig1.11. Temps d'écoulement des Bétons de sable à base du Marc de café [10]

Lee et al [24] ont étudié l'influence de substitution (0%,2%,3% ,10% et 15%) du ciment par des déchets de café traité (chauffé au 500 et 600°C) et non traité sur la maniabilité de mortier de ciment. Ils ont constaté que quelque soit le type de déchets de café utilisés la maniabilité de mortier est diminuer en fonction de pourcentage de déchets de café.

Lin LK et al [25] Ont aussi étudié l'influence de substitution du sable par les déchets de café sur la maniabilité du béton ordinaire. Ils ont trouvé que l'incorporation de déchets de café à la masse du béton influe négativement sur sa maniabilité.

b) La densité

Boukerma et al [10] ont étudié l'effet de substitution de 5%,10%,15% et 20% du sable par Marc de café. Ils ont trouvé que la maniabilité est diminuée en fonction d'augmentation de dechets de café

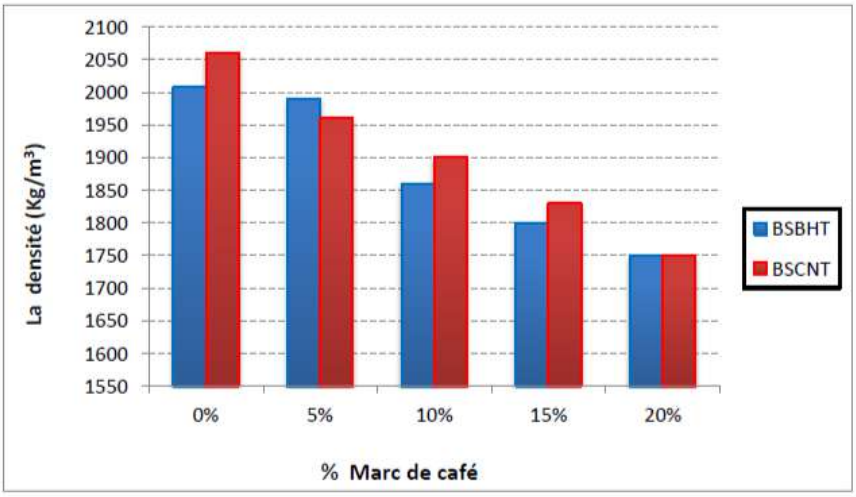


Fig. 1.12 La densité des Bétons de sable à base du Marc de café [10]

1.4.1.2 Etats durci

Les études réalisées jusqu'à maintenant sur l'influence des déchets de café sur les performances mécaniques des mortiers ou béton sont uniquement les résistances à la compression.

Boukerma et al [10] ont étudié l'effet de substitutions de (0% , 5% ,10% , 15% et 20%) de sable dune et de concassage par le déchets de marc de café sur les résistance mécanique de béton sable ils ont trouvé que plus le pourcentage de déchet de café augmente plus les résistances mécanique diminués

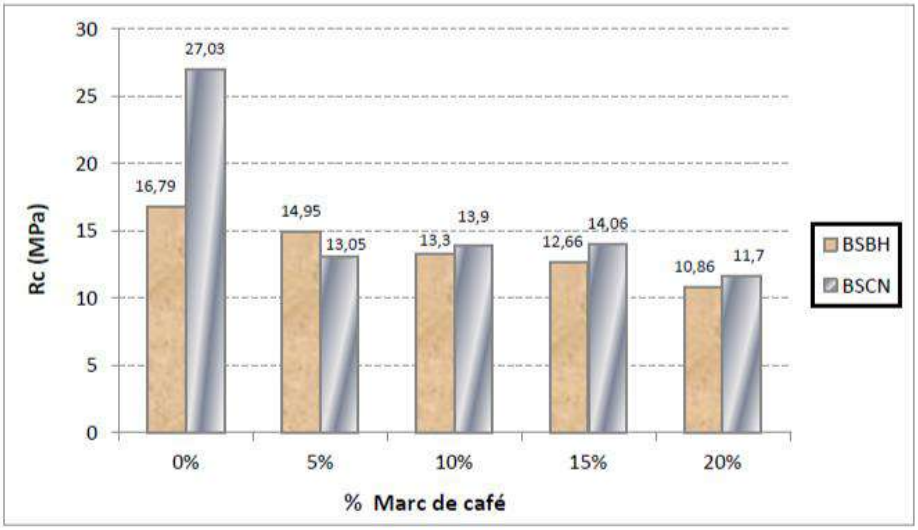


Fig.1.13. Résistance à la compression des BS à base du Marc de café à l'âge de 28jours [10]

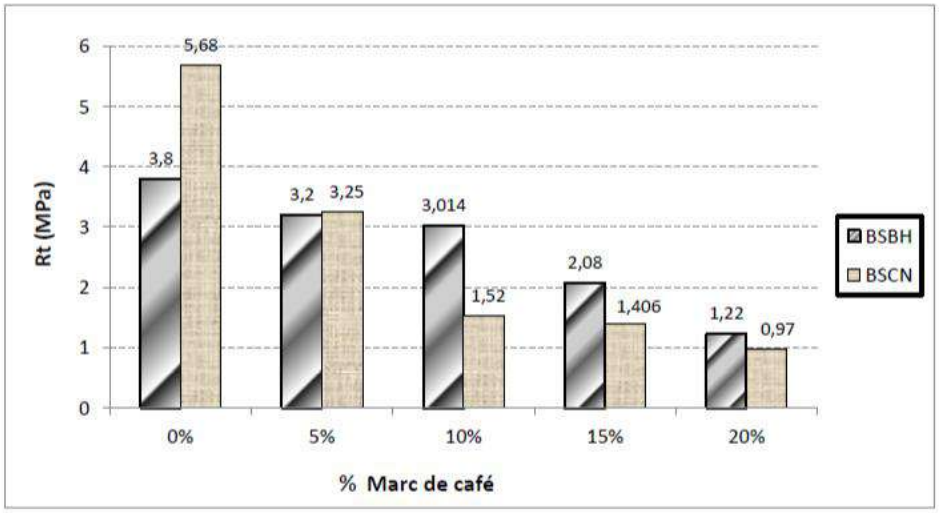


Fig.1.14. Résistance à la traction par flexion des BS à base du Marc de café à l'âge de 28 jours [10]

c) Absorption d'eau

Boukerma [10] et al [24] ont étudié l'effet de substitution de 5%,10%,15% et 20% du sable par Marc de café. Ils ont trouvé que la maniabilité est diminuée en fonction d'augmentation de déchets de café

Les résultats de l'essai d'absorption d'eau des différents bétons réalisés sont illustrés dans les figures suivantes :

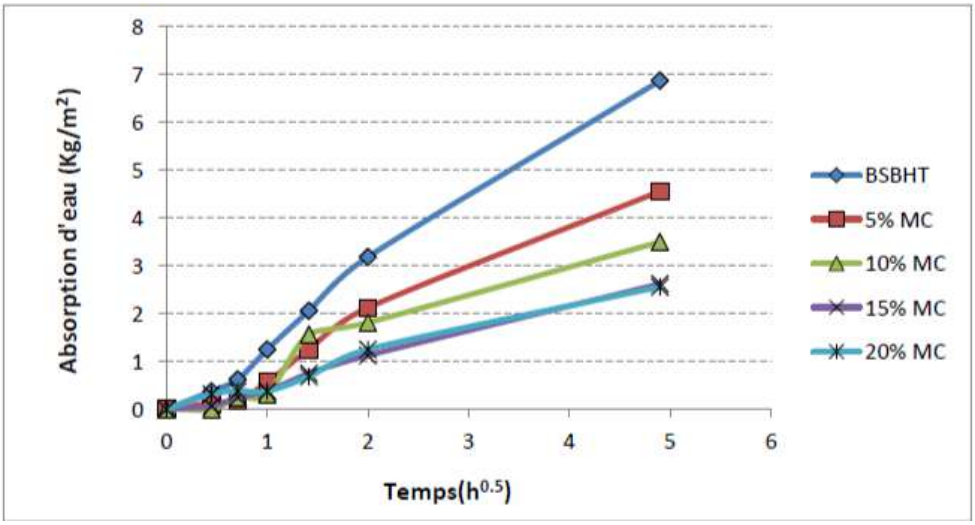


Fig1.15. Absorption d'eau des BSBH à base du Marc de café [10]

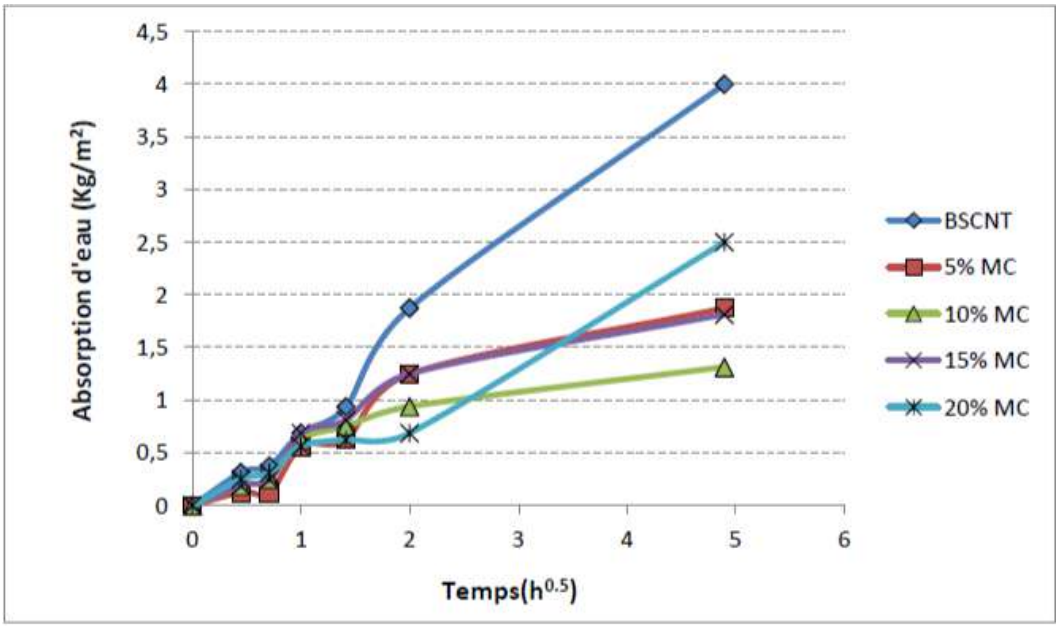


Fig.1.16. Absorption d'eau des BSCN à base du Marc de café [10]

D'après les résultats obtenus, on remarque que la capacité d'absorption d'eau de tous les BS à base de MC est moins importante que celle de BS témoin, cela due au diffèrent nature des pores de BS témoin qui sont interconnectés et celle des BS à base de MC qui sont isolés .Les figures précédentes montrent aussi que l'absorption d'eau des bétons de sable de dune (entre 2.5 et 7 Kg/m2) est plus importante que celle de béton de sable de concassage (entre 1.5 et 4 Kg/m2) et cela est dû à ses granulométries très fines et ses porosités très élevées. [10]

d) La conductivité thermique

Boukerma et al [10] ont étudié l'effet l'incorporation de 5%,10%,15% et 20% du marc de café. Ils ont constaté que la conductivité thermique est diminuée en fonction d'augmentation de déchets de café dans la masse de béton de sable dune et concassage

Les valeurs moyennes de la conductivité thermique obtenue sont représentées dans les figures de ci-dessous :

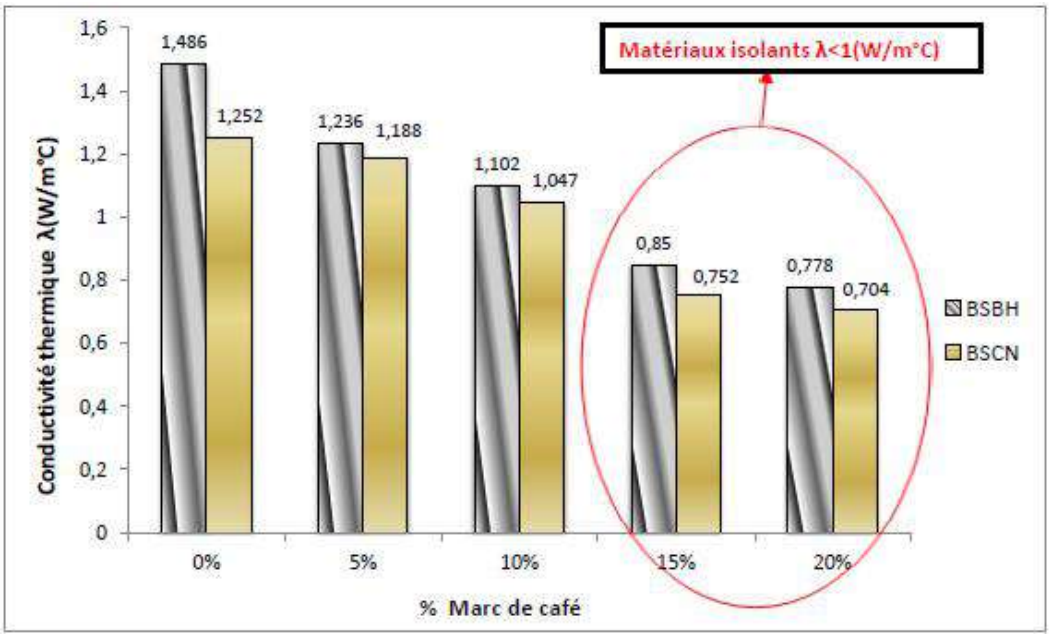


Fig.1.17. Conductivité thermique des Bétons de sable à base du Marc de café [10]

1.5 Conclusion

La grande responsabilité dans la pollution en Algérie il est attribué à l'industrie, notamment l'industrie alimentaire. Certes, l'industrie de production reste un moteur essentiel de la croissance économique et de la compétitivité, donc il est nécessaire de réduire la pollution.

Nous avons vu dans ce chapitre une généralité sur le domaine de recyclage, les mortiers ainsi que quelque travail effectue sur le recyclage de déchets de café dans les matériaux à base cimentaire

Chapitre 02 :

Matériaux et Essais

2.1 Introduction

L'objectif de Ce chapitre est de présenter les différents matériaux et les techniques expérimentales utilisées dans notre étude. On présente en première partie les caractéristiques et les propriétés des matériaux de base utilisés dans la composition des mortiers.

Dans une seconde partie, on exposera la méthode de formulation adoptée dans les différentes compositions des mortiers. Ensuite, on présente les essais réalisés au cours de notre investigation sur les mortiers et les composites obtenus à l'état frais et à l'état durci.

Le mortier est caractérisé à l'état frais par les essais spécifiques suivants :

- La maniabilité
- La densité

A l'état durci nous avons évalué l'absorption capillaire.

En ce qui concerne l'étude de l'influence de haute température sur les propriétés De différents mortiers, nous avons réalisé les essais suivants :

-l'absorption capillaire

-La résistance à la compression et à la traction par flexion

- Les propriétés thermiques

2.2 Matériaux utilisés

Les caractéristiques des matières premières utilisées pour la confection des mortiers sont présentées ci-après.

2.2.1 Le sable

Le sable utilisé dans cette étude est un sable de carrière d'OUED SOUF situé à 500 Km au Sud Est de la capitale d'Alger, sa classe granulaire est 0/3. (La figure 2.1) suivante donne un aperçu sur la nature du sable utilisé. L'analyse granulométrique de sable utilisée est présentée sur (la figure.2.2) et Les caractéristiques physiques du sable utilisé sont regroupées dans (le tableau 2.1) ci-dessous.



Fig.2.1 l'aspect général de Sable utilisé.

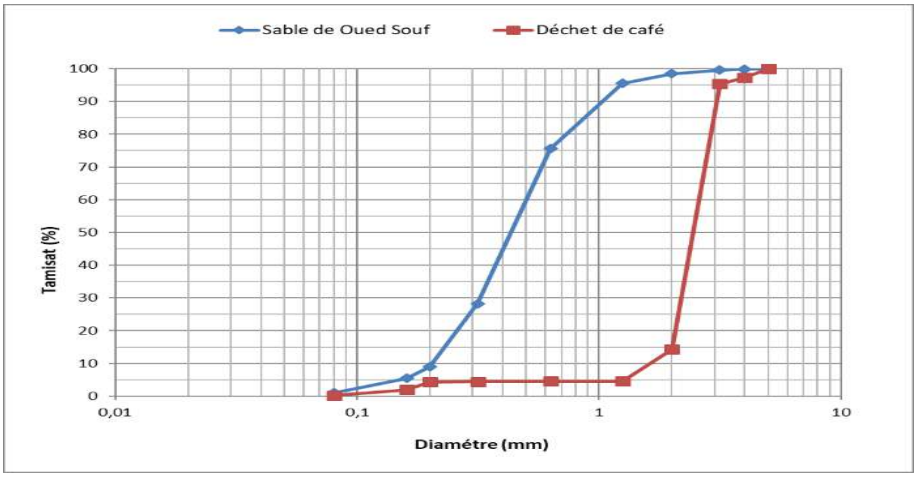


Fig.2.2 Courbe granulométrique de sable utilisée.

Tableau 2.1 Caractéristiques physiques des sables utilisés.

Caractéristiques	**Sable**	**Normes**
Classe granulaire	**0/3**	NF EN 933-1 **[28]**
Module de finesse	2.25	NF EN 933-1 **[28]**
Masse volumique absolue (Kg/ m^3)	2.63	NF EN 1097-6 **[29]**
Masse volumique apparente (Kg/m^3)	1.56	NF EN 1097-3 **[24]**
La compacité (%)	59	NF EN 1097-3 **[24]**
La porosité (%)	41	NF EN 1097-3 **[24]**
Equivalent de sable (%)	81.9	NF EN 933-8 **[27]**
Coefficient d'absorption d'eau (%)	0.42	NF EN 1097-6 **[29]**

2.2.2 Ciment

Il s'agit de ciment de ''MATINE '' CPJ-CEM II/A 42.5, qui a une résistance minimale à la compression à 28 jours de 42,5 MPa (Fig 2.4), une masse spécifique de 3,1 g/cm3, et une finesse de 3964 cm2/g produit par la cimenterie d'Oggaz (Mascara) dont l'ajout est le calcaire. MATINE est un ciment gris de hautes résistances initiales et finales, résultat de la mouture du clinker obtenu par cuisson jusqu'à la fusion partielle d'un mélange convenablement dosé et homogénéisé de calcaire et d'argile. Ce ciment est constitué d'oxydes minéraux dont les principaux sont la chaux (CaO) à fonction basique et la silice (SiO_2) à caractère acide. On trouve également l'aluminium (Al_2 O3) et le fer (Fe_2 O3). Ils sont rendus aptes à réagir entre eux et avec l'eau par traitement thermique à des températures comprises entre 1300 °C et 1500°C.

En présence d'eau à lieu la réaction d'hydratation consistant en la formation d'un réseau résistant constitué principalement de microcristaux de silicates de calcium hydratés. MATINE présente des performances mécaniques et des caractéristiques physicochimiques conforment à la norme NA 442 [30].



Fig. 2.3 Ciment MATINE

(Le tableau 2.2) résume la composition chimique et (le tableau 2.3) représente la composition minéralogique du ciment utilisé. Les caractéristiques physicomécaniques sont représentées dans (le tableau 2.4). L'analyse chimique du ciment menée par rayon X met en évidence l'existence des éléments de la composition minéralogique (Fig. 2.5). Néanmoins, cette analyse a un aspect qualitatif et non quantitatif. Cette analyse confirme l'existence des C_3S, C_2S, C_3A et C_4AF.

Tableau 2.2. Composition chimique des ciments MATINE

SiO2	Al2O3	Fe2O3	CaO	MgO	K2O	Na2O	SO3	CaO_{libre}	Cl	R_{insO}	PF
23.83	6.05	4.66	56.35	2.44	0.83	0.58	2.37	0.76	0.035	6.51	2.23

Tableau 2.3. Composition minéralogique des ciments MATINE

C_3S	C_2S	C_3A	C_4AF	CaO libre	Gypse	Ajout
59	16	7	12	1	5	17 % calcaire

Tableau 2.4 : Essai physiques sur le ciment MATINE

Essais	**Norme**
Consistance normale de la Pâte de ciment (%)	25.50-28.00
Retrait à 28 jours (mm/m)	< 1000
Expansion (mm)	0.50 – 2.50
Début de prise (min)	120 – 180
Fin de prise (min)	210-280

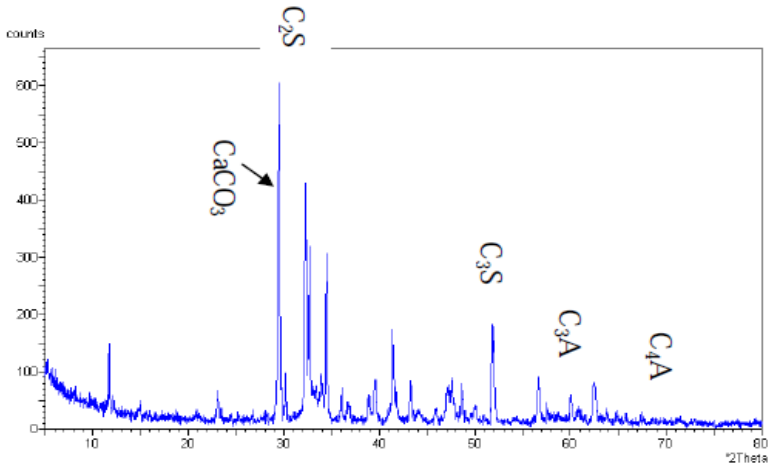


Fig.2.4. Diagramme de DRX appliqué sur le CEM II/B 42.5 MATINE.

2.2.3 Adjuvant

L'adjuvant utilisé est un superplastifiant réducteur d'eau fabriqué par la société Algérienne GRANITEX, commercialisé sous l'appellation MEDAFLow 30 de forme liquide de couleur marron, d'un PH égal à 6, de densité 1,04 ± 0,01 et d'une teneur en chlore < 1g/L.

2.2.4 Eau de gâchage

L'eau qui a été utilisée pour le gâchage est une eau potable de distribution de notre laboratoire, exempte d'impuretés, et sans aucun traitement supplémentaire. Le PH mesuré régulièrement est voisin de 7,5.

2.2.5 Déchets de café

Ce sont des déchets sous forme d'une poudre (Fig.2.5 **)** légère, leur densité est inférieure à celle de l'eau, obtenus par la récupération manuel de déchets de café « après leur usage » , après avoir étaient récupérée (triée) ,puis séchés dans le four puis extrudés sous forme de poudre et incorporé dans la masse du mortier par substitution volumique du sable avec des pourcentage de déchet de café de 2.5%,5%,8% et 10%., et leurs caractéristiques physiques, et thermiques sont donné dans le tableau 2.5. La Figure 2.5 présenté ci-dessous donne une idée sur l'aspect général et la forme de poudre du Marc de café.



Fig.2.5 Marc de café utilisés

Tableau 2.5. Caractéristiques des déchets de marc de café utilisées

Caractéristiques	**Déchets de Marc de café**
Module de finesse	2.9
La masse volumique absolue (Kg/m^3)	0.8
La masse volumique apparente (Kg/m^3)	0.387
La porosité (%)	51.62
La compacité (%)	48.38
Coefficient d'absorption d'eau (%)	0.9
Conductivité thermique (W/m°C)	0.3

2.3 Composition des mélanges

La composition du mortier la confection des éprouvettes est basée sur la formulation de mortier normalise. Les déchets de café sont incorporés dans la masse du mortier par substitution volumique du sable avec de pourcentage de 2.5%, 2.5%,05%,8% et10%, Les familles du mortier obtenus sont répertoriées comme suit :

MT : Mortier témoin.

MDC : Mortier à base du déchet de café

La composition de chaque famille du mortier est codifiée et mentionné dans le tableau 2.8 suivant :

Tableau 2.6. Composition des mélanges réalisés (pour 1 m³)

Mortier					
	MT	**MDC**			
		2.5%	5%	8%	10%
Sable (Kg/m^3)	1350	1316.25	1282.5	1242	1215
Ciment (Kg/m^3)	450				
Déchet MC (Kg/m^3)	0	10.19	20.38	32.6	40.75
Adjuvant (%)*	1.35	2.4	4.05	5.4	6.3
Eau (l/m^3)	215				

(***** % par rapport à la masse du ciment)

2.4 Malaxage et conservation

Le malaxage des mortiers se fait en malaxeur à mortier d'une capacité de 5 L (Fig.2.8). L'introduction des constituants se fait du plus gros au plus fin. Le but recherché est de répartir, le plus régulièrement possible, chaque constituant afin d'assurer un mélange homogène et d'obtenir ainsi les mêmes propriétés. Le malaxage de chaque mélange se fait de la manière suivante :

- On verse les gros grains (le sable)
- Puis en verse les fines et le ciment
- On malaxe pendant 1 minute
- On verse de l'eau et la moitié de la quantité d'adjuvant et on continue le malaxage pendant 1 minute1
- On verse le reste de l'adjuvant et on mélange pendant 1 minute.

-L'introduction du Marc de café a été effectué au départ (après l'introduction du sable et avant l'introduction du ciment).



Fig.2.6. Le malaxage des bétons au laboratoire

2.5 Essai réalisé à l'état frais

Juste après chaque malaxage, deux essais sur mortier frais ont été réalisés :

Tableau 2.7. Essais sur bétons frais.

	Essais	Appareil	Nombre d'essaie
MT	**Maniabilité**	Maniabilimètre Type B	12
MDC			
MT	**Densité**	Moule (1L) + Balance	12
MDC			

2.5.1 La maniabilité

La maniablimétre LCL (B) nous permis d'apprécier la fluidité d'un béton de sable qu'est l'objet des essais définis par les normes NF P 18 - 452 [31].



Fig. 2.7. Mesure de la maniabilité du mortier

2.5.2 La densité

La masse volumique du mortier a été mesurée selon la norme NF EN 12350-6[32] (Fig.2.12).



Fig.2.8. Mesure de la densité du mortier.

2.6 Fabrication et confection des éprouvettes

Les différents types de mortier sont tous fabriqués dans l'environnement de laboratoire. Le mortier a été coulé dans des moules prismatiques 4x4x16 cm conformément à la norme NF EN 12390-2. Elles ont été coulées dans les moules en plusieurs couches et mises en place par vibration à table vibrante. Juste après la confection, toutes les éprouvettes ont été couvertes afin d'éviter le risque d'évaporation excessive et le retrait plastique. 24 heures après la confection, les éprouvettes ont été démoulées et conservées selon deux modes différents : dans l'eau à 20°C ± 2°C et à l'air libre d'un climat moyen (laboratoire) (Fig2.10)



Fig. 2.9. Fabrication des éprouvettes

Les échantillons conservés dans l'eau ont été séchés à l'atmosphère de laboratoire pendant environ 24 heures avant l'âge d'essai et jusqu'à poids constant.



Fig. 2.10. Conservation des éprouvettes à l'air libre

2.7. Essais sur Mortier durci

2.7.1 Essais de compression

La résistance à la compression a été mesurée selon la norme [NF EN 196-1] [33] par compression axiale pour demi-prisme d'éprouvettes prismatiques de dimensions 4×4×16 cm (Fig. 2.13), à l'âge 7, 28 et 90 jours, à l'aide d'une presse hydraulique de capacité maximale de 2000 KN conforme à la norme [NF P 18-412] [34].

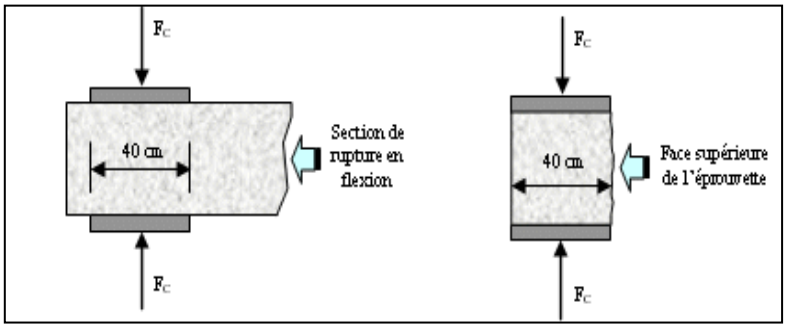


Fig.2.11. Dispositif de rupture à la compression

Les demi-prismes de l'éprouvette obtenus après rupture à la traction seront rompus à la compression comme indiquée sur la Figure 2.19, la contrainte de rupture est calculée comme suit :

$$R_C = \frac{F_C}{b^2} \quad \text{..... (Equation 4.7)}$$

R_C : Résistance à la compression en (MPa)

F_C: Charge de rupture en (N)

B : Côte de l'éprouvette est égale à 40mm.



Fig.2.12. Essais de compression

2.7.2 Absorption capillaire

Dans cet essai, on prend un morceau d'éprouvette de béton de sable déjà utilisé puis sécher. On le pesé (m_0) au début, après on l'introduire dans un bac remplit d'un film d'eau (5mm d'eau) fig.2.15, et pendant chaque intervalle de temps (12 min, 30 min ,1 h, 2h ,4h ,24h) on remesure les morceaux (m_1), le différent de poids entre m_1 et m_0 c'est le poids de l'eau absorbé (m_1- m_0) (NBN NE 13057) [35]

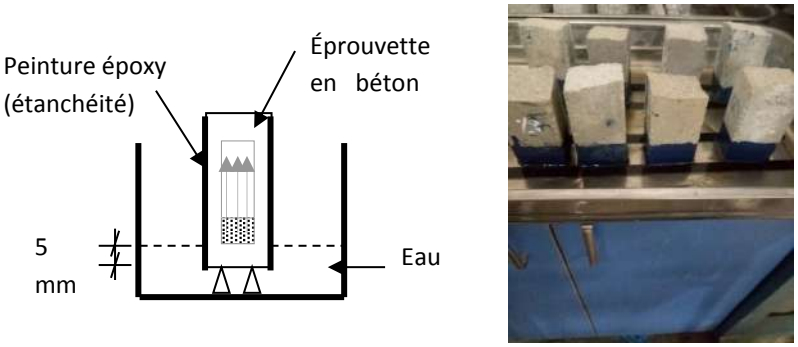


Fig2.13. Absorption d'eau par succion capillaire

2.7.3 Les propriétés thermiques

Dans notre travail, nous avons étudié et tester les propriétés thermiques des bétons de sables à base du Marc de café par l'utilisation de l'appareil ''CT METRE''. Suivant la norme Le CT METRE Norme de référence NF EN 993-15

C'est un appareil aisément transportable, a été élaboré dans le but de permettre d'évaluer avec précision, les caractéristiques de résistance thermique d'un certain nombre de matériaux tels que la brique, les roches, le bitume et le béton. Le CT-mètre se compose de deux éléments qui sont l'organe de commande, chargé de générer la puissance de chauffe et d'interpréter la courbe d'élévation de température induite dans le matériau à tester ; et la sonde chargée de transmettre la puissance de chauffe et de recueillir la température induite.[10]



Fig2.14. Le CT-mètre

2.8 Variables étudiées

Les variables d'étude utilisés au cours de ce travail sont résumées dans la Figure suivante

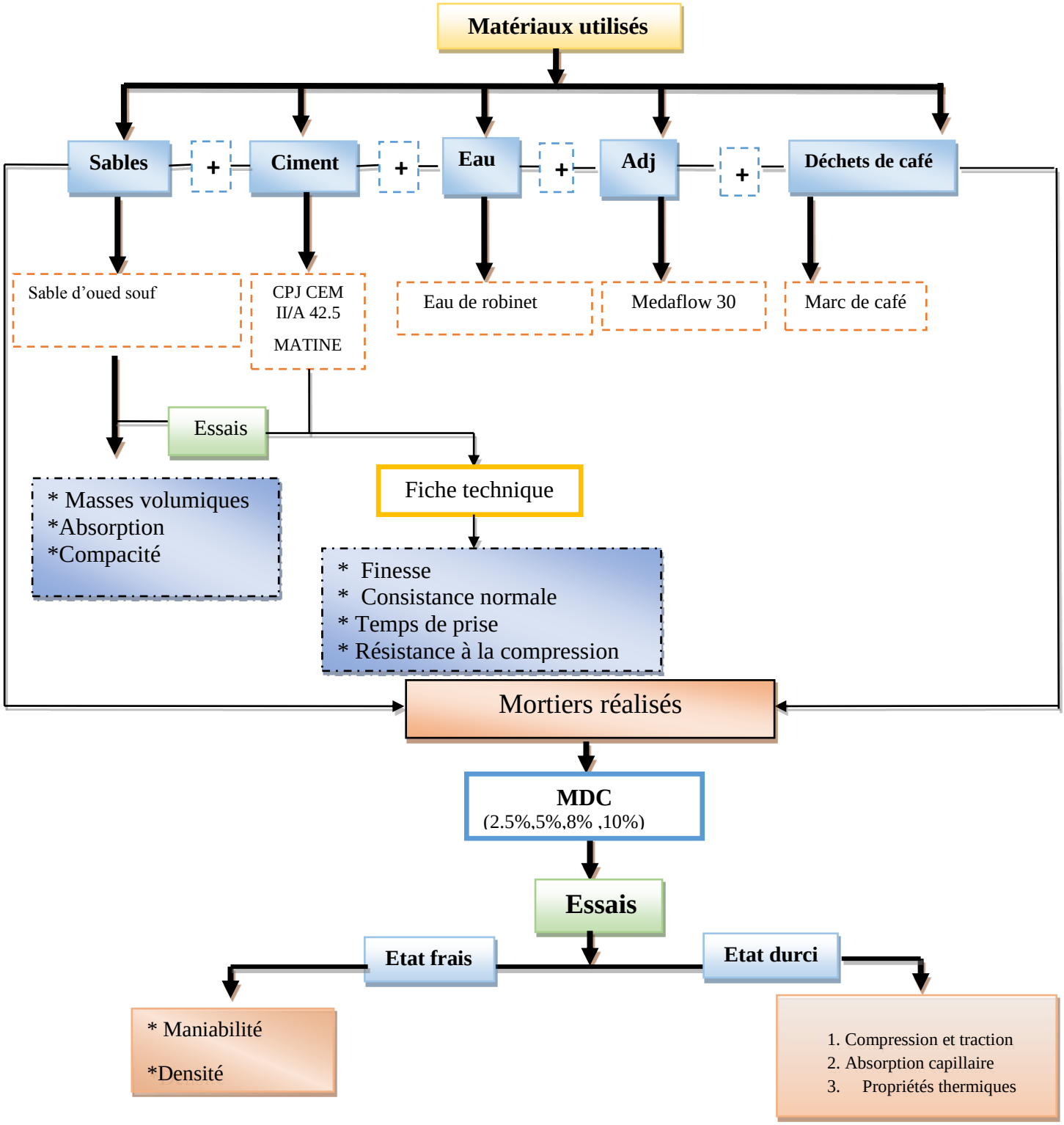


Fig.2.15. Variables étudiées.

2.9 Conclusion

Les déchets organiques soulèvent actuellement des nombreux problèmes particulièrement difficiles à résoudre. Or leurs réutilisations pourraient résoudre un triple problème : problèmes techniques, économiques et environnementaux. Cette recherche présente une contribution à l'étude de l'effet des déchets de café sur les propriétés rhéologique, mécaniques et la durabilité des mortiers. Ont été utilisé un type de sable.

Cette partie de l'étude a successivement traité les points suivants :

- Caractérisation physico-chimique des matériaux utilisés dans les compositions des mortiers

- Les procédures expérimentales et les essais réalisés sur les différents mortiers à base de déchets de café à l'état frais et à l'état durci au cours de cette étude.

Chapitre 03 :

Résultats et Interpétations

3.1 Introduction

Les résultats des différents essais fait sur béton de sable frais et durci sont rassemblés ci -après et les valeurs données sont les moyennes arithmétiques des trois résultats d'essais.

3.2 Béton frais

3.2.1 La Maniabilité

Pendant la confection des éprouvettes, nous avons remarqué que tous les types des mortiers fabriqués à partir de déchets de café (MDC), sont peut compacts par apport au mortier témoin (MT) et présentent une difficulté de mélange en fonction du pourcentage et de substitution du sable par le Marc du café (Fig. 3.1). Ce dernier joue un rôle d'obstacle dans le mélange (grâce à son forme angulaire) et présente une certaine absorption d'eau l'hors du malaxage ce qui mène à la diminution de la maniabilité. Ces résultats sont en concordance avec les résultats d'autres chercheurs [10, 24] dans ce domaine

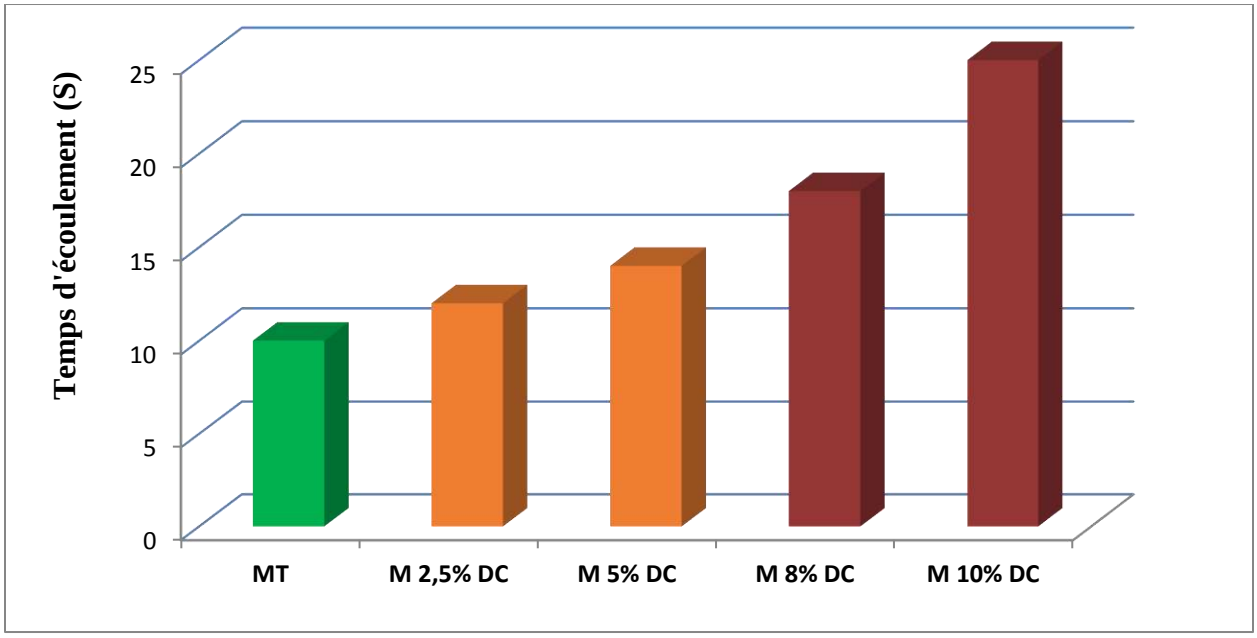


Fig. 3.1 Temps d'écoulement des Mortier à base du déchet de café

Pour pouvoir comparer les résultats à l'état durci, nous avons varié la quantité d'adjuvant (superplastifiant) utilisé pour tous les types des mortiers suivant le cas (voir tableau de

formulation chapitre 02) pour avoir une maniabilité constante ((temps d'écoulement compris entre 7(s) et 10 (s) Fig .3.2).

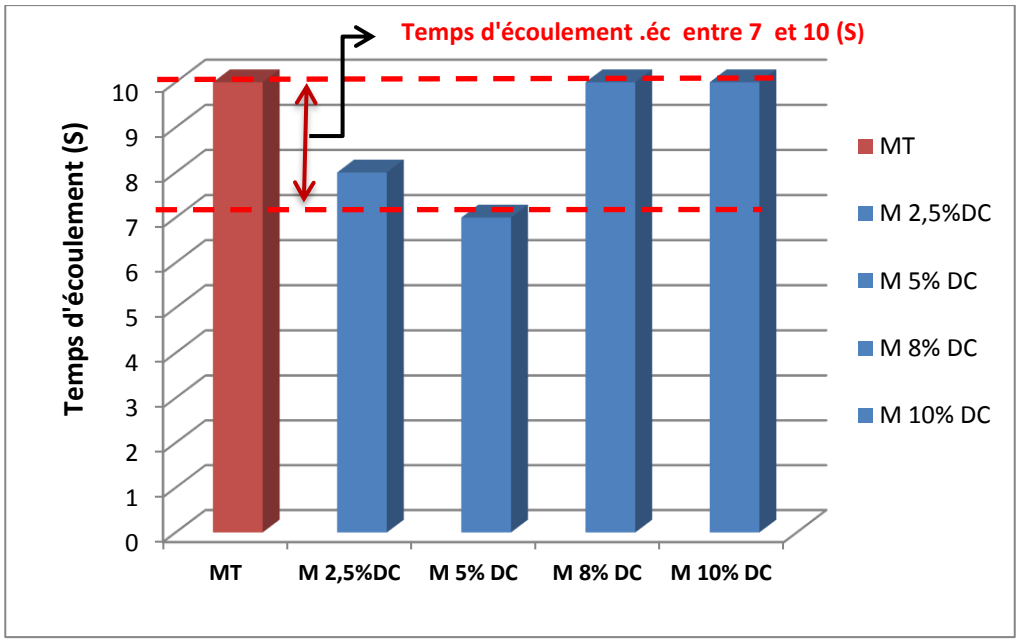


Fig. 3.2 Temps d'écoulement des Mortiers à base de déchet de café après réglage.

3.2.2 La densité

La densité des différents bétons réalisés est résumée dans la figure suivante :

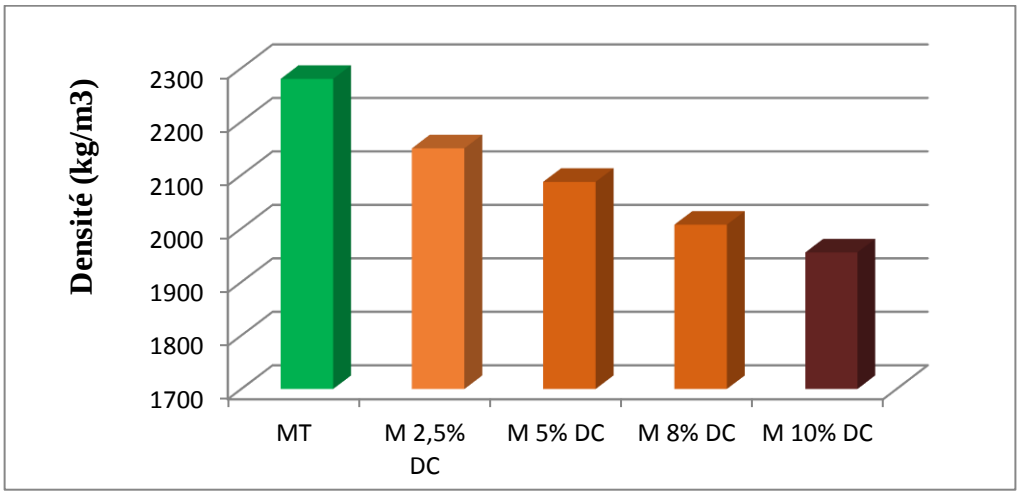


Fig. 3.3 La densité des Mortier à base de déchets de café.

Les résultats montrent que la substitution du sable par le déchet de café influé négativement sur la densité de mortier fabriqué. On remarque aussi que la densité est diminuée en fonction d'augmentation de DC. Ce résultat est logique et attendu, parce que la densité de café est plus faible que celle du sable substitué, et ceci confirme les résultats d'autres chercheurs [10, 24]. Link et al [25] ont aussi constaté que la densité du béton ordinaire est diminuée en fonction d'augmentation du pourcentage de déchets de café incorporés.

3.3 Mortier durci

De la même façon que le béton frais, les résultats des différents essais réalisés sur béton durci sont résumés comme suit :

3.3.1 Résistance à la compression

Pour chaque essai, les résultats est la moyenne de 3 mesures prisent sur 3 éprouvettes à l'âge de 7 et 28 jours. Les résultats sont illustrés dans les figures suivantes :

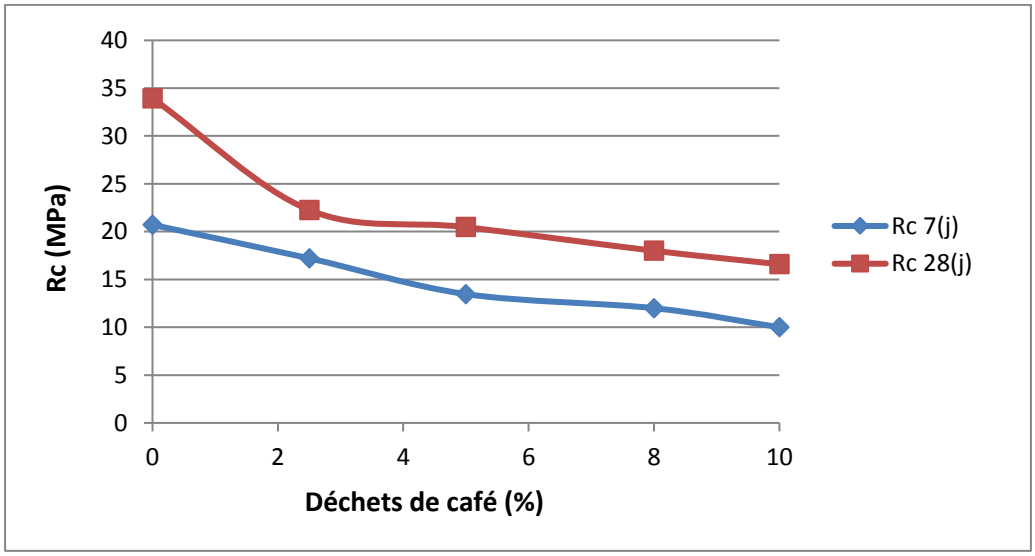


Fig.3.4 : Résistance à la compression des Mortier à base de déchet de café.

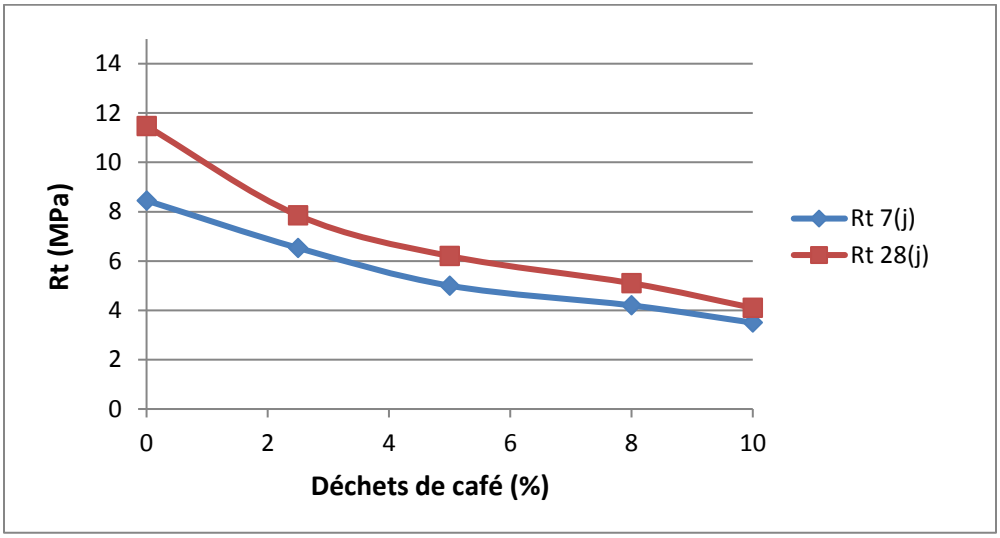


Fig.3.5 : Résistance à la traction des Mortier à base de déchet de café.

D'après les résultats obtenus, on remarque que la résistance à la compression et à la traction par flexion des différents mortiers augmente en fonction de l'âge et suit la même cinétique que celle de mortier de référence. Les figures précédentes montrent aussi que quelques sois l'âge du mortier, la substitution du sable par le déchet de café influe négativement sur la résistance à la compression et à la traction de tous les types de mortier fabriqué. La dégression de la résistance à la compression à la traction l'âge de 28 jours est estimé à 100%, et 180 % respectivement Cette chute semble être logique et attendue parce que le grain du DC est moins dure que celle du sable substitué, et par conséquent donne naissance à un produit moins résistant. En outre, la porosité plus élevée des mortiers à base de DC qui est due à la mauvaise adhérence entre la matrice cimentaire et DC influé négativement sur la résistance mécanique des mortiers obtenus. Ce qui confirme les résultats de Boukerma et al [24] et Link et al [24]. Lee et al [24] ont étudié l'effet de substitution du ciment avec les déchets de café traité et non traité. Ils ont constaté que quelque la résistance à la compression est diminuée en fonction d'augmentation de pourcentage de déchets de café.

3.4 Approche de durabilité

3.4.1 Absorption d'eau

Les résultats de l'essai d'absorption d'eau des différents mortiers réalisés sont illustrés dans les figures suivantes :

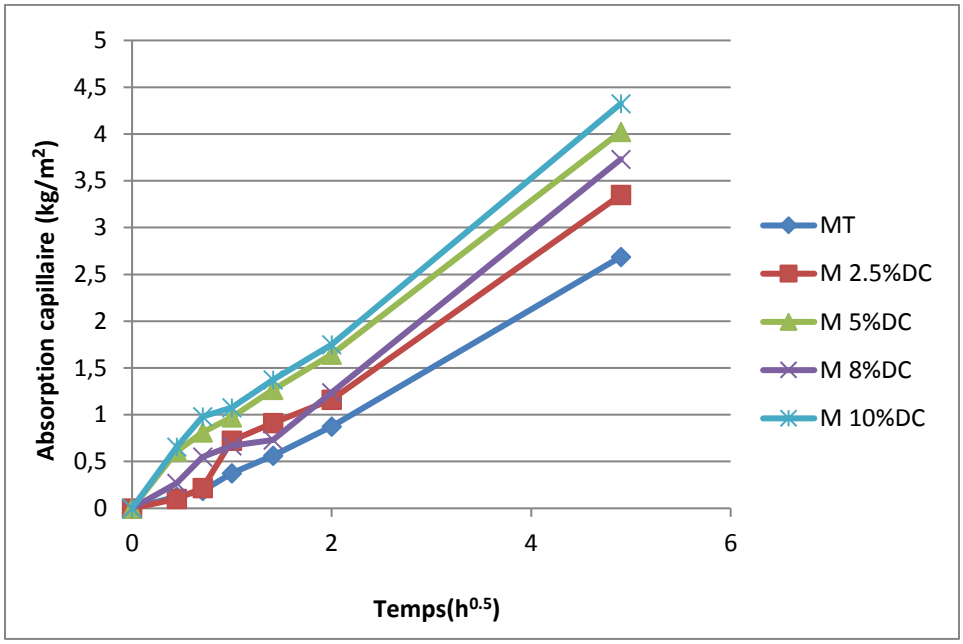


Fig.3.6 : Absorption d'eau des Mortiers à base de déchets de café.

D'après la figure ci-dessus, on remarque que la capacité d'absorption d'eau de tous les mortiers à base de DC est plus importante que celle de mortier témoin. Cette augmentation est due probablement à l'absorption des grains de déchets de café qui est plus grand que celle des grains du sable naturel et à la porosité des mortiers à base de déchets de café qui est plus importante que celle de mortier témoin.

3.5 Propriétés thermique

3.5.1 La conductivité thermique

Les valeurs moyennes de la conductivité thermique obtenue sont représentées dans les figures de ci-dessous :

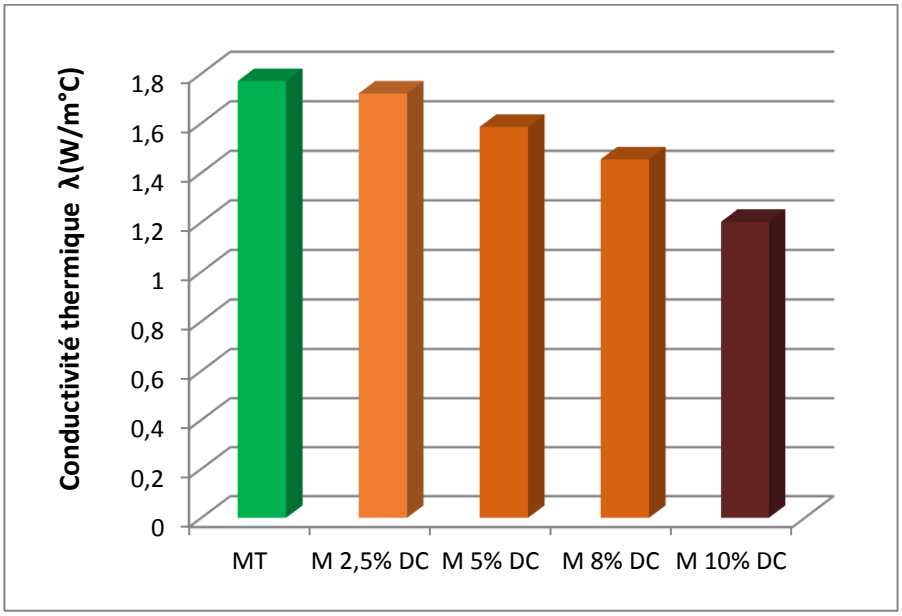


Fig.3.7. Conductivité thermique des Bétons de sable à base du Marc du café

Les résultats obtenus montrent que la conductivité thermique de mortiers obtenus est diminuée avec l'augmentation du pourcentage du déchet de café. La dégression est estimée à 48% par rapport au mortier témoin. Cette diminution est due à la conductivité thermique du déchet de café (DC 0.30 W/m°C) qui est plus faible que celle du sable naturel substitué (2 W/m°C). En outre, la diminution de la conductivité thermique est liée aussi à l'augmentation de la porosité causé par l'augmentation du pourcentage de déchets de café. Ce résultat confirme les résultats trouvés par plusieurs chercheurs [10,36,37].

3.6 Conclusion

Dans le cadre de cette partie d'étude, l'analyse des résultats expérimentaux peut mener aux quelques conclusions suivantes :

- La maniabilité du mortier est diminuée en fonction de substitution du sable par le déchet de café.
- La densité du mortier est diminuée en fonction de substitution du sable par le déchet du café.
- La résistance à la compression et à la traction du mortier est diminuée en fonction d'augmentation de pourcentage du déchet de café.
- La capacité d'absorption d'eau de tous les mortiers à base de DC est plus importante que celle de mortier témoin.
- La conductivité thermique de mortier est diminuée avec l'augmentation du pourcentage du déchet de café. La dégression a été estimé à 48%.

Finalement, si on compare les résultats qu'on a trouvés dans cette partie d'étude et quelques résultats trouvés par déférents chercheurs (citées dans la bibliographie) on peut dire qu'il y a une nette concordance entre les deux.

Conslusions générales et Recommandations

Conclusions générales

L'analyse des résultats expérimentaux peut mener aux quelques conclusions suivantes:

- La maniabilité et la densité du mortier sont diminuées en fonction de substitution du sable par le déchet de café.

- La résistance mécanique de mortier est diminuée en fonction d'augmentation de pourcentage du déchet de café.

- La capacité d'absorption d'eau de mortier à base de DC est plus importante que celle de mortier témoin.

- La conductivité thermique du mortier diminue en fonction d'augmentation de pourcentage de déchets de café et par conséquent son pouvoir isolant augmente.

Vu les résultats obtenus de cette étude, on peut conclure la valorisation et recyclage des déchets de café dans le mortier contribuent à la protection de l'environnement par la diminution de la quantité énorme de café émise dans la déchèterie.

On recommande finalement l'utilisation de ces types des matériaux aux éléments préfabriqués, panneaux préfabriqué, la séparation dans les bâtiments, les façades, les salles de bain….ect grâce à ses bonnes propriétés thermiques.

Références bibliographiques

Références Bibliographiques

[1] GESTION DECHETS CUSSTR VD - PM 09.09.08, http://cusstr.ch/repository/34.pdf

[2] Fouad ZAHRANI, Pascal NAQUIN et Armelle AROUND, valorisation des déchets au Maroc,31/1/2017

[3] YESSAD Naim, OUASSEL Aïssa, Université Abderrahmane MIR-Bejaia, Contribution à l'étude des déchets ménagers de la ville de Bejaia par cartographie numérique, mémoire de fin de cycle en vue de l'obtention du diplôme master , 18 Juin 2017

[4] ARIB Souleymane, YALAOUI Fouad, ZEROUKLANE Massinissa, Université Abderrahmane Mira – Bejaia, Pour une amélioration de la gestion des déchets dans le milieu urbain, Mémoire pour l'obtention du diplôme de Master en Architecture, 2016 – 2017

[5] Caractérisation de la longévité des briques brutes et très bien écrasées réutilisées d'employer de bétons et des agrégats, des matériaux et du RILEM concrets (2011). Http ://www.rilem.net/ms.php.

[6] les procèdes de recyclage, http://technocap021bis.eklablog.com/les-procedes-de-recyclage-a115203926, 29 Mars 2015

[7] Quebaud M., 'Caractérisation des granulats recyclés - Etude de la composition et du comportement de bétons incluant ces granulats', Thèse de doctorat, Université d'Artois, France, décembre 1996.

[8] Francky carassou , une récupération spécifique du marc de café aurait-elle une plus-value pour la communauté? Cas de l'île de montréal, université de sherbrooke .2015.

[9]**déco - le journal des femmes**, https://deco.journaldesfemmes.fr/guide-amenagement-et-travaux/2066568-marc-de-cafe-quelle-utilisation-dans-la-maison-et-au-jardin/

[10] Boukerma Tarek et Mechentel Abdellah, UNIVERSITÉ Dr YAHIA FARÈS DE MÉDÉA, Projet de Fin d'études, le béton de sable à base du marc de café, juin 2016

[11] Silva, M.A., Nebra, S.A., Machado, M.J.M et Sanchez, C.G. (2012) The use of biomass residues in the brazilian soluble coffee industry. Biomass and bioenergy, vol. 14, p. 457-467. http://www.journals.elsevier.com/biomass-and-bioenergy/(Page consultée le 6 juin 2015).

[12] Bravo, J., Monente, C., Juaniz, I. et De Pena, M.P. (2013) Influence of extraction process on antioxidant capacity of spent coffee. Food Research International, vol. 50, p. 610-616. www.elsevier.com/ locate/foodres (Page consultée le 6 juin 2015).

[13] https://www.roubaixzerodechet.fr/2016/07/19/le-marc-de-cafe-nouvel-allie/

[14] Kwon, E.E., Yi, H. et Jeon, Y.J. (2013) Sequential co-production of biodiesel and bioethanol with spent coffee grounds. Food Research International, vol. 136, p. 475-480. www.elsevier.com/locate/biortech (Page consultée le 12 juin 2015)

[15] Vardon, D.R., Moser, B.R., Zheng, W., Witkin, K., Evangelista, R.L., Strathmann, T.J., Rajagopalan, K. et Sharma, B.K. (2013). Complete Utilization of Spent Coffee Grounds To Produce Biodiesel, Bio-Oil, and Biochar. In ACS Sustainable Chemistry and. Engineering. ACS Publications. http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/sc400145w (Page consultée le 7 juin 2012).

[16] Sampaio, A., Dragone, G., Vilanova, M., Oliveira, J.M., Teixeira, J.A. et Mussatto, S.I. (2013) Production, chemical characterization, and sensory profile of a novel spirit elaborated from spent coffee ground. LWT - Food Science and Technology, vol. 54, p. 557-563. www.elsevier.com/locate/lwt (Page consultée le 12 juin 2015).

[17] Vega, R.C., Pina, G.L., Castaneda, H.A.V. et Oomah, D. (2015) Spent coffee grounds: A review on current research and future prospects. Food Science and Technology, vol. 45, p. 24-36. http://dx.doi.org/10.1016/j.tifs.2015.04.012 (Page consultée le 12 juin 2015)

[18] Silva, M.A., Nebra, S.A., Machado, M.J.M et Sanchez, C.G. (2012) The use of biomass residues in the brazilian soluble coffee industry. Biomass and bioenergy, vol. 14, p. 457-467. http://www.journals.elsevier.com/biomass-and-bioenergy/(Page consultée le 6 juin 2015).

[19] Yates, J. (2015). Montréal, nouvelle destination d'affaires écoresponsable. In Médias TranscontinentalS.E.N.C.Actualités.http://journalmetro.com/actualites/montreal/804608/montreal-nouvelle-destination-daffairesecoresponsable/ (Page consultée le 5 juillet 2012).

[20] Bétons et mortiers, COLLECTION TECHNIQUE CIMBÉTON, Préparation et mise en œuvre sur chantier, https://docplayer.fr/14934853-Collection-t-echnique-c-imbeton-betons-et-mortiers-preparation-et-mise-en-oeuvre-sur-chantier-cim.html, CIMBÉTON

[21] Travaux Maçonnerie, Matériaux, https://www.travaux-maconnerie.fr/differents-types-mortier , 10/02/2016

[22] Melle. Settari Chafika, Université Dr.Yahia Farés de MEDEA, Projet de Fin d'études, Etudes des effets climatiques sur le comportement sur mortier, 2010-2011.

[23] Les bétons : formulation,fabrication et mise en œuvre, COLLECTION TECHNIQUE CIMBÉTON, FICHES TECHNIQUES, CIMBÉTON.

[24] Lee-Kuo Lin ,Tsung-Min Kuo , Yi-Shu Hsu (2015), The application and evaluation research of coffee residue ash into mortar, J Mater Cycles Waste Manag.

[25] Lin LK, Yu SI (2010) The possibility research of applying coffee residue into concrete material. J Taiwan Environ Eng Assoc 21(2):1–14

[26] Hsu YS (2010) The application of coffee residue ash as into concrete metrical. Master Thesis, National Taipei University of Technology, Institute of Civil and Disaster Prevention, Taipei

[27] CHAUVIN, J.J. GRIMALDI, G. « Les bétons de sable », Bulletin de liaison des laboratoires des ponts et chaussées (LCPC), N°157, Sept. 1988.

[28] Chanvillard G. et Basuyaux O., "Une méthode de formulation des bétons de sable à maniabilité et résistance fixées", Bulletin de Laboratoire Central des Ponts et Chaussées, LCPC, Paris, 205 (1996): 49-63.

[29] DREUX G. et FESTA J.: « Nouveau guide du Béton et de ses constituants », Eyrolles Huitième édition, Paris 1998.

[30] NA 442, Normes Algérienne : "Ciment - Composition, spécifications et critères de conformité des ciments courants", 1994, 2000.

[31] NF P 18- 452, Normes AFNOR : « Béton- mesure du temps d'écoulement des bétons et des mortiers aux maniabilimètre », Mai 1988.

[32] NF EN 12350-6, 1999, « Essai pour béton frais. Partie 6 : Masse volumique », AFNOR.

[33] CEN EN 196-1, Normes AFNOR : « *Méthodes d'essais des ciments – Partie 1 : détermination des résistances mécaniques (indice de classement P15- 471)* », Aout 1995.

[34] Norme Francaise, NF P 18-412 « *Béton* : Caractéristiques communes des machines hydrauliques pour essais de compression, flexion et traction des matériaux durs», Norme enregistrée, Déc. 1981.

[35] NBN NE 13057, Normes Belge, « Produits et systèmes pour la protection et la réparation des structures en béton-Méthodes d'essai-détermination de l'absorption capillaire», Octobre 1997, Mai 2002.

[36] Semiha Akcaozog˘lu, Kubilay Akcaozog˘lu , Cengiz Duran Atis. Thermal conductivity, compressive strength and ultrasonic wave velocity of cementitious composite containingwaste PET lightweight aggregate (WPLA). Construction and Building Materials.2013;66: 247– 258.

[37] F. Iucolano, B. Liguori, D. Caputo, F. Colangelo, R. Cioffi. Recycled plastic aggregate in mortars composition: Effect on physical and mechanical properties,Materials and Design 2013 ,52 , 916–922.

[38] Hsu YS (2010) The application of coffee residue ash as into concrete metrical. Master Thesis, National Taipei University of Technology, Institute of Civil and Disaster Prevention, Taipei

Annex

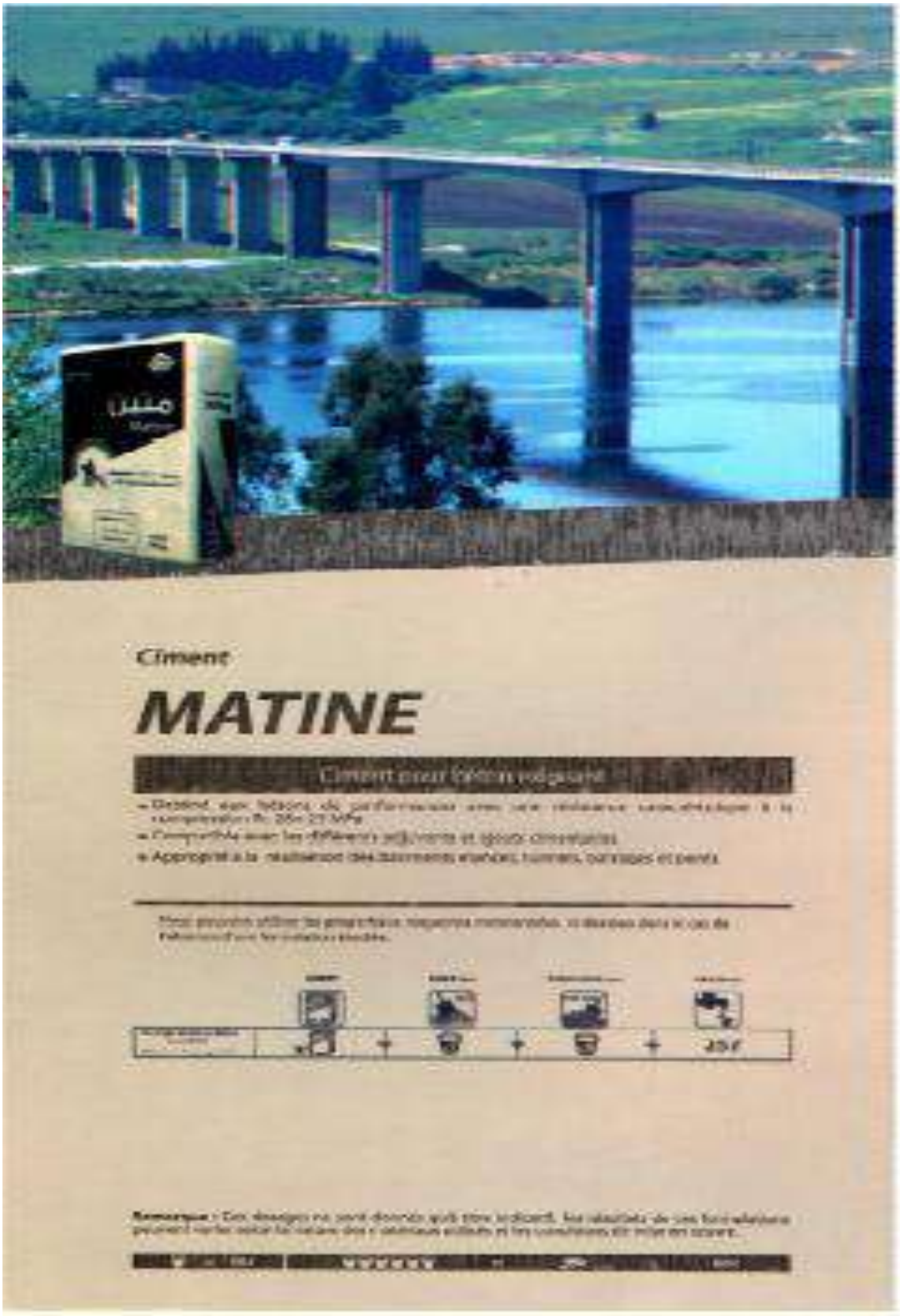


Fig.A 1. Ciment MATINE

LAFARGE
لافارج

FICHE TECHNIQUE

MATINE

Ciment pour béton exigeant

CIM II/A 42,5 R NA 442

MATINE est un ciment gris de hautes résistances initiales et finales, résultat de la mouture du clinker obtenu par cuisson jusqu'à la fusion partielle (clinkérisation) d'un mélange convenablement dosé et homogénéisé de calcaire et d'argile.

Ce ciment est constitué d'oxydes minéraux dont les principaux sont la chaux (CaO) à fonction basique et la silice (SiO_2) à caractère acide. On trouve également l'alumine (Al_2O_3) et le fer (Fe_2O_3), ils sont rendus aptes à réagir entre eux et avec l'eau par traitement thermique à des températures comprises entre 1300 et 1500°c. En présence d'eau a lieu la réaction d'hydratation consistant en la formation d'un réseau résistant (propriété hydraulique) constitué principalement de microcristaux de silicates de calcium hydratés.

MATINE présente des performances mécaniques et des caractéristiques physico-chimiques conforment à la norme NA 442, EN 197-1 et à la norme NF P 15-301/94 .

Domaine d'utilisation :

MATINE est utilisé pour tous les projets courants qui nécessitent des hautes résistances mécaniques mais ne présentent pas un besoin spécifique dans les ouvrages en béton qui ne sont pas exposés à des conditions sévères comme l'attaque des sulfates du sol ou de l'eau, ainsi que dans les ouvrages dans lesquels le béton n'est pas affecté par le taux de chaleur d'hydratation du ciment.

Les principales applications de ce ciment sont :

- Secteur habitat (logements et d'autres constructions civiles) :
- Secteur travaux publics (tunnels, ponts, port, aéroport .ect) :
- Secteur hydraulique (barrages, châteaux d'eau, stations d'épuration, stations de désallement,..ect) ;
- Secteur industriel.

Algerian Cement Company (SPA)
33, Rue des Pins. Hydra. Alger, Algérie
Tél.: +213 (0) 21 48 16 65
Fax : +213 (0) 21 48 16 71

Fig.A.2. La fiche technique ciment.



Fig. A.3. Malaxeur

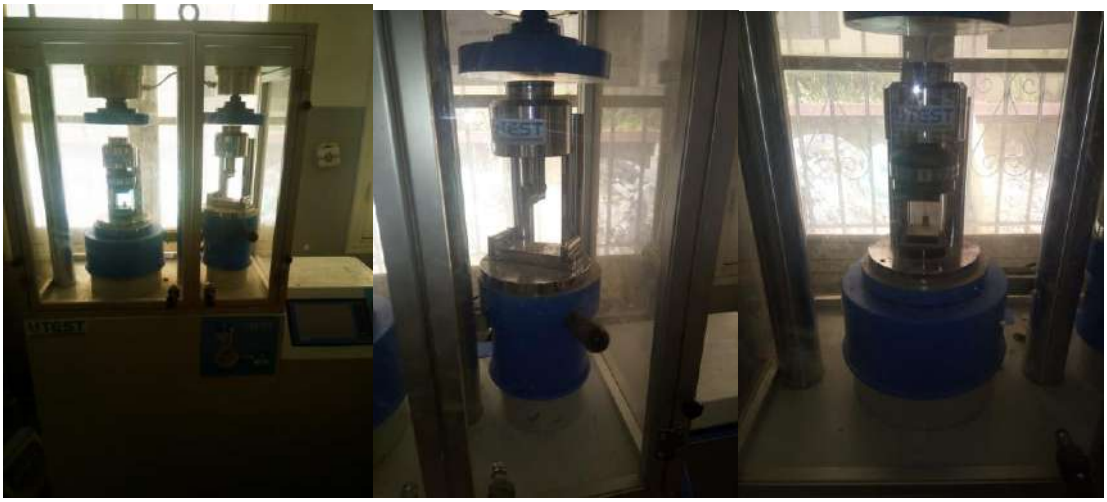


Fig.A.4 L'appareil de l'essai a la compression et à la traction par flexion

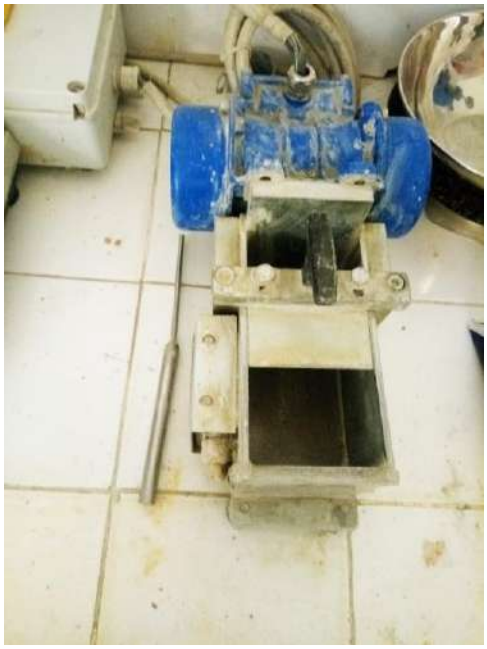


Fig .A.5 . Essais de la maniabilité.



Fig. A.6. Eprouvettes chauffées dans différents température.



Fig.A.7. Le CT-mètre



Fig. A.8. L'étuve