

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université A. MIRA – BEJAIA



Faculté de Technologie



Département de Génie civil

Mémoire

Pour l'obtention du diplôme de Master

En Génie Civil

Option : Structures

Thème

Etude de l'influence des cendres du grignon d'olive comme addition sur les caractéristiques physico-mécaniques du béton

Présenté par :

M^{elle} HEMAN Lynda

M^{elle} GADOUM Ibtissam

Soutenu le « 11-06-2018 » devant le jury composé de :

Encadreur :

M^r CHELOUAH N

Jury :

M^m AREZKI S

M^r BOUKELLOUDA A

ANNEE 2017/2018

Remerciements

Nous remercions le bon dieu de nous avoir octroyé le courage, la volonté et la santé pour finir à terme cette modeste recherche.

Nous remercions notre promoteur Mr CHELOUAH.N, pour son aide, sa présence et ses conseils.

Nous remercions les membres du jury Mme AREZKI et Mr BOUKELLOUDA de s'être donné la peine d'examiner notre modeste travail.

Nous remercions le chef du département Mr BOUZEROURA qui nous a permis de réaliser notre recherche au sein du laboratoire béton de l'université de Bejaia.

Nous remercions également Mr ZOUBIRI technicien du laboratoire béton ainsi que M^{elle} Amari.M, pour leurs disponibilités et leurs aides au niveau du laboratoire.

*Nous remercions le directeur de l'établissement KHODJA & CO.
Et enfin, nous exprimons notre reconnaissance à tous les enseignants qui nous ont enrichis avec un précieux savoir qui est le meilleur héritage pour l'avenir.*

Dédicace

Je dédie ce modeste travail à ma chère maman adorée que j'ai tant voulu partager ce moment de joie avec elle et voir son sourire.

A mon très cher papa qui m'a toujours aidé et soutenu tout au long de mon cursus dieu te garde pour nous.

A ma sœur adorée Ania et son épouse

A mon adorable petit frère Racine

A mon grand frère adoré Saddek et sa fiancée

A ma chère Fatima qui m'a aidée et soutenue et sa famille

A mon cher fiancé Bilal qui m'a beaucoup soutenue et a toujours été présent pour moi et sa famille

A mes deux grands-mères et à mon grand-père : imā nana, imā hlima et vava slimane

A ma chère tata Fazou ainsi que son mari et ses enfants

A mes chers oncles et leurs familles

A mes deux meilleures amies qui ont toujours été présentes pour moi : Nawel et Zenza,

A mes chères amies : Samia, Phahinaz, Ilhem, Djamilia, Faiza, Suad, Dalida.

A ma collègue Oubtissam et sa famille

A tous ceux qui m'aime et me connaisse

H. Lynda

Dédicaces

*Toutes les lettres ne sauraient trouver les mots qu'il faut...
Tous les mots ne sauraient exprimer la gratitude,
L'amour, le respect, la reconnaissance...
Aussi, c'est tout simplement que*

Je dédie ce mémoire

À MES CHERS PARENTS

Aucune dédicace ne saurait exprimer mon respect, mon amour éternel et ma considération pour les sacrifices que vous avez consenti pour mon instruction et mon bien être.

Je vous remercie pour tout le soutien et l'amour que vous me portez depuis mon enfance et j'espère que votre bénédiction m'accompagne toujours.

Que ce modeste travail soit l'exaucement de vos vœux tant formulés, le fruit de vos innombrables sacrifices, bien que je ne vous en acquitterai jamais assez.

Puisse Dieu, le Très Haut, vous accorder santé, bonheur et longue vie et faire en sorte que jamais je ne vous déçoive.

A MON CHER FRÈRE ET CHÈRES ADORABLE SOEURS

SAMI, GHOUZLENE, et IMANE.

En témoignage de mon affection fraternelle, de ma profonde tendresse et reconnaissance, je vous souhaite une vie pleine de bonheur et de succès et que Dieu, le tout puissant, vous protège et vous garde.

A MES GRANDS PARENTS

Qui m'ont accompagné par leurs prières, leurs douceur, puisse Dieu leur prêter longue vie et beaucoup de santé et de bonheur dans les deux vies.

À MES CHERS ONCLÈS, TANTIES, LEURS EPOUX ET EPOUSES

A MES CHERS COUSINS COUSINES ET EN PARTICULIER MES DEUX ANGES LAMINE ET LOTFI.

Veillez trouver dans ce travail l'expression de mon respect le plus profond et mon affection la plus sincère.

À MES AMIS DE TOUJOURS :

DIJAMILA, SAIDA, CHADIA, AHLAM, CHAHINEZ, Lydia.

À MA BINOME LYNDIA ET SA FAMILLE

À TOUTES LES PERSONNES QUI ONT PARTICIPÉ A

L'ÉLABORATION DE CE TRAVAIL À TOUS CEUX QUE J'AI OMIS DE CITER

G.Ibtissam

TABLE DE MATIERES

Remerciements.....	II
Dédicaces.....	III
Table de matières	V
Liste des figures	IX
Liste des tableaux	XI
Liste d'abréviations	XIII
Introduction générale.....	14

PARTIE 1 : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

CHAPITRE I : Généralité sur le béton avec addition	15
I.1 Introduction	15
I.2 Le béton.....	15
I.2.1 Les différents composants du béton	16
1) Le ciment.....	16
2) Le squelette granulaire.....	17
3) L'eau de gâchage.....	17
4) Les adjuvants.....	17
5) Additions minérales.....	17
I.2.2 Types de béton.....	17
I.3 Les additions	18
1- Additions type I.....	18
2- Additions type II.....	19
I.4 Les bétons avec additions	20
I.5 Caractéristiques principales des bétons avec additions.....	20
I.6 Les avantages du béton avec additions	21
I.6.1 Comparaison entre un béton avec addition et un béton ordinaire.....	21
I.6.2 Les inconvénients majeurs des bétons avec addition par rapport au béton ordinaire	22
I.7 Différence entre les bétons classiques et bétons avec addition.....	22
I.7.1 A l'état frais	22
I.7.2 A l'état durci.....	23

I.8 Domaines d'application des bétons avec addition.....	23
CHAPITRE II : Utilisation des déchets agricoles dans le génie civil	24
II.1 Introduction.....	24
II.2 Définition.....	24
II.2.1 La biomasse agricole.....	24
II.3 Sources de production des déchets agricoles	25
II.4 production des déchets agricoles	25
II.4.1 Déchets du grignon d'olive	26
II.4.1.1 les grignons d'olives	26
1. Le grignon brut.....	26
2. Le grignon épuisé	26
3. Le grignon partiellement dénoyauté.....	27
II.4.1.2 Composition de l'olive	27
II.4.1.3 Caractéristiques physiques du grignon d'olive	27
II.4.1.4 Composition chimique du grignon d'olive	28
II.4.1.5 Valorisation du grignon d'olive.....	29
II.4.2 Valorisation d'autres déchets agricoles.....	30
a) Les balles de riz.....	30
b) La coque de noix de palme	31
 PARTIE 2 : ETUDE EXPERIMENTALE	
CHAPITRE III : Caractérisation des matériaux	33
III.1 Introduction	33
III.2 Matériaux utilisés.....	33
III.2.1 Le ciment.....	33
III.2.2 Granulats	33
III.2.3 Eau de gâchage	33
III.2.4.Adjuvant.....	33
III.2.5.Le grignon d'olive	34
III.2.5.1.Cendres du grignon d'olive	34
1. Etapes à suivre pour l'obtention des cendres du grignon d'olive	34
2. Inconvénients de la calcination du grignon d'olive.....	37
3. Avantage de la calcination du grignon d'olive.....	37

III.2.6 Les fines calcaires.....	37
III.2.7 Le ciment prompt	38
III.3 Essais effectués sur les granulats	38
III.3.1 Echantillonnage	38
III.3.2 Prélèvement sur le tas	39
III.3.3 Quartage	39
III.3.4 Analyse granulométrique	40
1. Définition.....	40
2. But de l'analyse granulométrique	40
3. Principes de l'essai	40
III.3.5 Détermination des masses volumiques absolues et apparentes des granulats .	48
III.3.5.1 Masse volumique apparente « ρ_p ».....	48
III.3.5.2 Détermination de la masse volumique absolue « ρ_s »	51
1. Généralité	51
2. Définition.....	51
3. Principe de l'essai	51
III.4 Essais effectués sur le ciment avec et sans addition.....	52
III.4.1 Mesure des temps de début et fin de prise	52
III.4.2 Mesure de la température avec un calorimètre	55
III.5 Analyse chimique et minéralogique	60
III.5.1 Analyse chimique	60
III.5.1.1 Analyse chimique du grignon d'olive	60
III.5.1.2 Analyse chimique du ciment	60
III.5.2 Analyse minéralogique	60
III.6 CONCLUSION.....	61
CHAPITRE IV : Formulation des bétons et essais	62
IV.1 Introduction.....	62
IV.2 Détermination de la composition du béton avec addition.....	62
IV.2.1 Principe de la formulation des bétons	62
IV.2.2 But de la composition des bétons	63
IV.3 Détermination de la composition du béton avec addition (0% et 10%)	63
IV.3.1 Formulation du béton	63
IV.3.2 Calcul des quantités des composants du béton normal	64

Table de matières

IV.3.2.1 Calcul du volume des granulats	64
IV.3.2.2 Calcul des masses volumiques des granulats.....	64
IV.3.2.3 Calcul des masses des constituants pour 1 m ³ du béton.....	64
IV.3.3 Calcul du poids massique des constituants.....	64
IV.4 Confection des éprouvettes et cure	66
IV.4.1 Gâchées du béton	66
IV.4.2 Moules pour éprouvettes.....	67
IV.4.3 Remplissage des moules	67
IV.4.4 Conservation des éprouvettes.....	68
IV.5 Essais effectués sur les bétons.....	69
IV.5.1 Béton frais.....	69
IV.5.1.1 Maniabilité des bétons.....	69
IV.5.1.2 Masse volumique fraîche.....	72
IV.6 Béton durci.....	73
IV.6.1 Mesure de la masse volumique apparente moyenne du béton durci.....	73
IV.7 Essai de résistance à la compression à 28 jours	74
IV.7.1 Définition, but et principe	74
IV.7.2 Paramètres influant sur la résistance	74
IV.8 Masse volumique sèche à 28 jours	76
IV.9 Conclusion.....	77
CHAPITRE V : Analyse et discussion des résultats.....	78
V.1 Introduction	78
V.2 Essais sur le béton frais	78
V.2.1 Essai d'affaissement au cône d'Abrahms.....	78
V.3 Essais sur béton durci.....	79
V.3.1 Mesure de la masse volumique	79
V.3.2 Essai de compression.....	80
V.4 Conclusion	80
Conclusion générale et perspectives	81
Références bibliographique	83
Références normatives.....	86
Annexe A	
Annexe B	
Résumé	

LISTES DES TABLEAUX ET FIGURES

LISTE DES FIGURES

PARTIE 1 : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

Figure I.1 : Les constituants du béton frais.....	15
Figure I.2 : Fabrication du ciment	16
Figure II.1 : Composition physique de l'olive.....	27
Figure II.2 : Les balles de riz	30
Figure II.3 : La coque de noix de palme	31

PARTIE 2 : ETUDE EXPERIMENTALE

Figure III.1 : Cendre du GO.....	34
Figure III.2 : Température et temps de calcination du grignon d'olive.....	35
Figure III.3 : ATD et ATG du grignon d'olive	35
Figure III.4 : Etapes à suivre pour l'obtention des cendres du grignon d'olive.....	36
Figure III.5 : la fumée dégagée lors de la calcination du GO	37
Figure III.6 : Les fines calcaires.....	38
Figure III.7 : Le ciment prompt.....	38
Figure III.8 : Prélèvement sur le tas	39
Figure III.9 : Opération de quartage.....	40
Figure III.10 : Machine à tamiser	41
Figure III.11 : Courbe granulométrique des différents granulats utilisés.....	46
Figure III.12 : Courbe granulométrique des FC et CGO	47
Figure III.13 : Masse volumique apparente	49
Figure III.14 :Masse volumique absolue	51
Figure III.15 : Appareil de Vicat.....	53
Figure III.16 : Malaxeur	53
Figure III.17 : Temps de début et fin de prise.....	55
Figure III.18 : Calorimètre.....	56
Figure III.19 : Comparaison de l'évolution de la température de chaleur d'hydratation des différentes pâtes de ciment portland.....	58
Figure III.20 : Comparaison de l'évolution de la température de chaleur d'hydratation des différentes pâtes de ciment prompt	59

Liste des figures

Figure III.21 : Diffractomètre de CGO utilisée.....	61
Figure IV.1 : Moules cubiques.....	67
Figure IV.2 : Vibration du béton.....	68
Figure IV.3 : Apparition de bulles d'air.....	68
Figure IV.4 : Remplissage des moules	68
Figure IV.5 : Conservation des éprouvettes.....	69
Figure IV.6 : Cône d'Abrahms.....	70
Figure IV.7 : schéma explicatif de l'essai d'affaissement au cône d'abrahms	70
Figure IV. 8 : Essai de compression.....	75
Figure V.1 : Variation de l'affaissement	78
Figure V.2 : Evolution des masses volumiques en fonction du temps	79
Figure V.3 : Résistance à la compression en fonction des différentes séries du béton	80

LISTE DES TABLEAUX

PARTIE 1 : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

Tableau II.1 : Répartition mondiale des oliviers et surfaces cultivées correspondantes	26
Tableau II.2 : Les différents composants du grignon d'olive	28
Tableau II.3 : Composition chimique indicative des différents types de grignon d'olive	28
Tableau II.4 : Caractéristiques physiques des coques de noix de palme	32

PARTIE 2 : ETUDE EXPERIMENTALE

Tableau III.1 : Dimensions nominales des tamis.....	41
Tableau III.2 : Analyse granulométrique des cendres du grignon d'olive.....	43
Tableau III.3 : Analyse granulométrique des fines calcaires	44
Tableau III.4 : Analyse granulométrique du sable 0/5.....	44
Tableau III.5 : Analyse granulométrique des gravillons 3/8.....	45
Tableau III.6 : Analyse granulométrique du gravier 8/15.....	45
Tableau III.7 : Masse volumique apparente des granulats.....	50
Tableau III.8 : Masse volumique apparente des fines calcaires	50
Tableau III.9 : Masse volumique apparente des cendres de grignon d'olive.....	50
Tableau III.10 : Mesure de la masse volumique absolue.....	52
Tableau III.11 : Les constituants des pâtes utilisées.....	54
Tableau III.12 : L'évolution de la température de chaleur d'hydratation des différentes pâtes du ciment Portland avec et sans addition.....	57
Tableau III.13 : L'évolution de la température de chaleur d'hydratation des différentes pâtes du ciment prompt avec et sans addition.....	58
Tableau III.14 : Composition chimique du GO.....	60
Tableau IV.1 : Variation de l'ouvrabilité et de la résistance en fonction des facteurs de la composition du béton.....	63
Tableau IV.2 : Poids des constituants du béton normal.....	65
Tableau IV.3 : Poids des constituants du béton avec ajout des cendres du grignon d'olive.....	65
Tableau IV.4 : Poids des constituants du béton avec ajout des fines calcaires	66
Tableau IV.5 : Evaluation de la consistance en fonction de l'affaissement.....	71
Tableau IV.6 : Classes d'affaissement.....	71
Tableau IV.7 : Résultats de l'essai d'affaissement.....	72

Liste des tableaux

Tableau IV.8 : Résultats des masses volumiques pratiques.....	73
Tableau IV.9 : Evolution de la masse volumique en fonction du temps	74
Tableau IV.10 : Résistance à la compression à 28 jours.....	76
Tableau IV.11 : Masses volumiques sèches des bétons.....	77

LISTE D'ABREVIATIONS

LISTE D'ABREVIATIONS

GO : Grignon d'olive.

FC : Les fines calcaires.

CGO : Cendre du grignon d'olive.

BO : Béton ordinaire

BCGO : Béton de cendre du grignon d'olive

BFC : Béton fine calcaire

DP : Début de prise

FP : Fin de prise

MS : Matière sèche

DRX : Diffraction aux rayons X

ATG : Analyse thermique gravimétrique

ATD : Analyse thermique différentielle

SiO₂ : la silice.

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

MG : Masse du grignon

CBR : cendres de balles de riz

CNP : Coque de noix de palm

Gr : Grignon

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

Il est connu que le béton est le deuxième matériau le plus consommé par l'homme après l'eau, nous le retrouvons partout autour de nous. En raison de ce rôle joué par le béton à l'heure actuelle; il est devenu nécessaire de se concentrer sur sa fabrication en harmonie avec toutes les exigences environnementales, sociales et économiques [1].

La réduction de la consommation du ciment dans la fabrication du béton nous permettra de baisser la consommation en énergie dans la production de ciment aussi réduire l'impact environnemental.

Plusieurs travaux de recherche travaillent sur l'utilisation d'autres matériaux alternatifs pour remplacer le ciment en partie ou en totalité dans la fabrication du béton.

De nombreux matériaux alternatifs ont été utilisés : la poussière de silice, les laitiers des hauts fourneaux, les cendres de balles de riz, la poussière de ciment, la poudre de verre, et de nombreux d'autres matériaux ont prouvé leur efficacité en tant que substituants de ciment plus durable [2].

Une solution est proposée c'est le recours à l'utilisation entière ou partielle d'autres matériaux substituants tels que les déchets agricoles.

Dans cette recherche, l'accent a été mis sur l'influence des additions dans le béton plus précisément les déchets agricoles (grignon d'olive), l'Algérie est connue par sa richesse inestimable en arboriculture. 71 % de la répartition mondiale des oliviers est localisée dans la région méditerranéenne, la transformation de l'olive en huile génère un déchet appelé grignon.

Pourquoi ne pas valoriser ce déchet dans la production du béton d'une part pour protéger nos ressources naturelles et d'une autre part pour donner une seconde vie au déchet.

L'objectif de ce mémoire de fin d'étude est de valoriser la cendre du grignon d'olive broyée dans le béton. Ainsi une quantité de 10 % de cendres du grignon d'olive est introduite dans le béton afin de voir l'évolution de la résistance à la compression.

Pour cela, ce mémoire de fin d'étude s'articule autour de 5 chapitres :

- Chapitre I : Généralité sur le béton avec addition.
- Chapitre II : Utilisation des déchets agricoles (Grignon d'olive).
- Chapitre III : Caractérisation des matériaux.
- Chapitre IV : Formulation des bétons et essais.
- Chapitre V : Analyse et discussion des résultats.

Partie I

ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

Chapitre I

Généralité sur le béton avec addition

I.1 INTRODUCTION

Le premier chapitre est consacré aux additions dans le béton et leurs caractéristiques, leurs usages et intérêts.

Les additions dans le domaine du génie civil font actuellement partie des développements les plus récents dans la production du béton, leurs utilisations apportent une amélioration des propriétés mécaniques et de la durabilité du béton. D'autre part, leurs utilisations a pour objectif de réduire la consommation du ciment, en contribuant de manière simple et économique à résoudre les problèmes liés à l'environnement [3].

I.2 LE BETON

Le béton est un assemblage de matériaux de nature généralement minérales, c'est un mélange de matériaux inertes, appelés granulats ou agrégats, d'un liant (ciment) ainsi que des additions et adjuvants qui modifient les propriétés physiques et chimiques du mélange. Pour former une pâte ayant une homogénéité variable, une quantité d'eau est rajoutée, cette pâte peut, selon le matériau être moulée en atelier (pierre artificielle) ou coulée sur chantier, donnant un béton durci en passant par un processus chimique qu'on appelle hydratation.

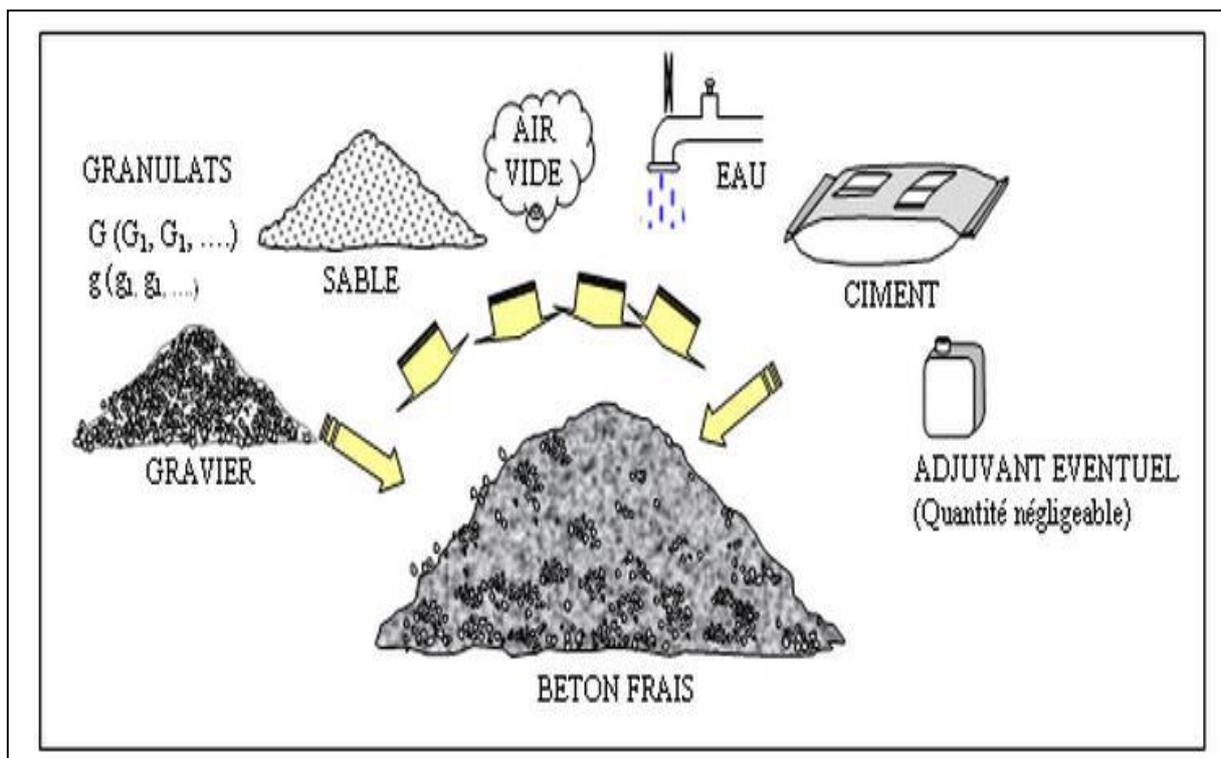


Figure I.1 : Les constituants du béton frais.

I.2.1 Les différents composants du béton

1) Le ciment

Le ciment est le matériau de base pour la construction d'ouvrages de bâtiment et de génie civil.

Après extraction en carrière, concassage et homogénéisation des matières premières, la première étape de la fabrication du ciment est la calcination du carbonate de calcium ($\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$), qui est suivie de la cuisson de l'oxyde de calcium ainsi produit, avec de la silice, de l'alumine et d'oxyde de fer, à des températures élevées pour former le clinker.

Le clinker obtenu est ensuite broyé, après ajout de gypse et d'autres constituants, pour donner le ciment [4].

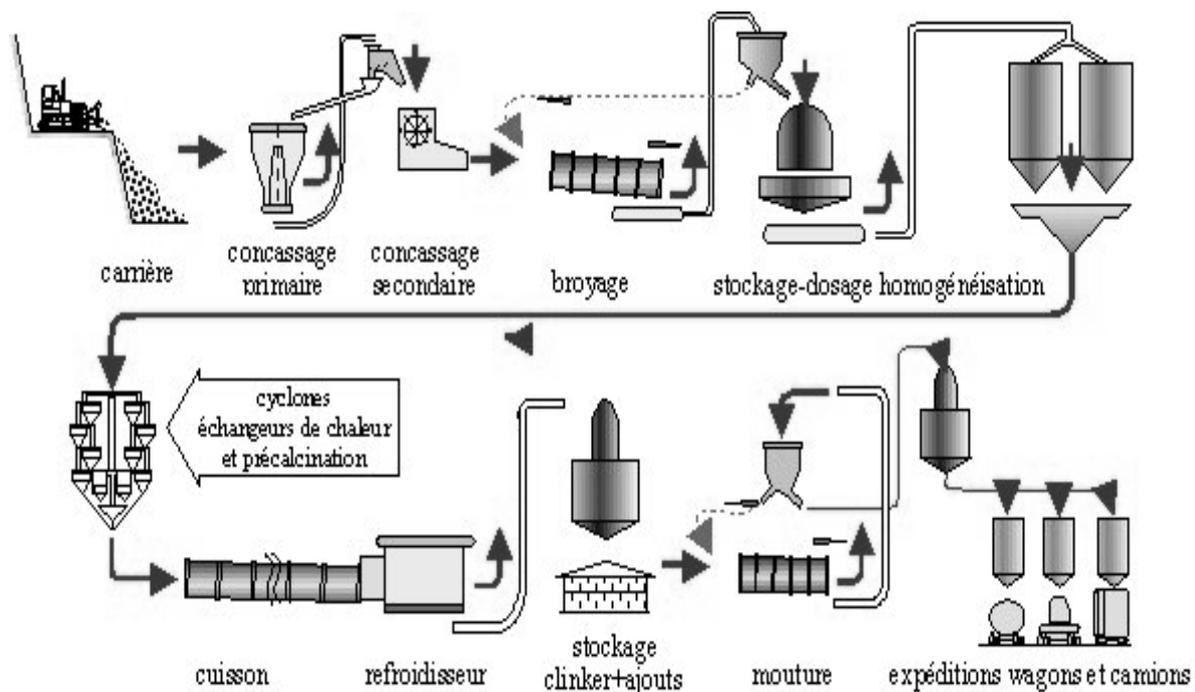


Figure I.2 : Fabrication du ciment [4].

Les caractéristiques du ciment portland

Les caractéristiques principales de la pâte de ciment sont:

- la consistance (fluidité) ;
- les temps de prises (début et fin de prises) ;
- la stabilité, etc...

2) Le squelette granulaire

C'est le mélange de sable et de graviers, il intervient dans la résistance finale du béton et occupe près de 3/4 du volume du béton et influe donc sur ses propriétés. Du point de vue économique, car il permet de diminuer la quantité de liant qui est plus cher, du point de vue technique, car il augmente la stabilité dimensionnelle. Son utilisation pour la confection d'un béton est motivée par le faible coût volumique, par une meilleure durabilité et stabilité volumétrique par rapport au mélange ciment-eau [5].

3) L'eau de gâchage

L'eau joue un double rôle dans la technologie du béton. D'une part, elle permet l'hydratation

du ciment et d'autre part, elle est indispensable pour assurer l'ouvrabilité et un bon compactage du béton [6].

4) Les adjuvants

Les adjuvants sont des produits dosés en faible quantité dans les bétons : moins de 5 % de la masse de ciment. Ce sont souvent des composés organiques, spécialement formulés pour les applications béton, et disponibles commercialement sous forme de solutions aqueuses. Ils ont pour but d'améliorer certaines propriétés du matériau [7].

5) Additions minérales

Un béton doit contenir un certain volume de fines, pour assurer sa stabilité à l'état frais. Lorsque ce volume est occupé intégralement par du ciment Portland, il fournit au matériau durci un niveau de performance excessif par rapport aux spécifications, il est naturel de l'occuper en partie avec des matériaux fins, moins réactifs que le clinker mais d'un coût inférieur, notamment sur les plans énergétiques et environnementaux. Ces additions minérales peuvent être mélangées au ciment lors de sa fabrication ou ajoutées directement dans le malaxeur à béton [7].

I.2.2 Types de béton

Plusieurs types de béton sont distingués selon la structure à réaliser [8] :

- Les Bétons Prêts à l'Emploi ;

- Le béton armé ;
- Le béton fibré ;
- Le béton précontraint ;
- Les Bétons Hautes Performances (BHP) ;
- Le béton projeté ;
- Les bétons auto compactant (BAC), auto plaçant (BAP) et auto nivelant (BAN) ;
- Les bétons caverneux, drainant et poreux ;
- Le béton de ciment alumineux (ou béton fondu) ;
- Le béton décoratif.

I.3 LES ADDITIONS

Les additions sont des matériaux minéraux finement divisés et peuvent être ajoutés au béton pour améliorer certaines de ses propriétés et/ou lui conférer des propriétés particulières.

Nous pouvons distinguer deux types d'additions, selon « **Euro code** », il existe deux types d'additions :

- Les additions quasiment inertes (type I) ;
- Les pouzzolanes ou les additions à caractère hydraulique latent (type II).

1- Additions type I

Additions calcaires [NF P 18-508]

Les additions calcaires sont des produits secs finement divisés, obtenus par broyage et/ou sélection, provenant de gisements de roches calcaires pouvant être dolomitiques, massives ou meubles.

Les additions calcaires conformes à la norme NF P18-508 sont de type I selon la norme EN206-1 et sont substituables au ciment au sens et sous les conditions de cette norme [9].

Additions siliceuses [NF P 18-509]

Les additions siliceuses sont des produits finement divisés, constitués à plus de 96% (valeur spécifiée inférieure) et à plus de 93.5 % (valeur limite absolue inférieure), par de la silice exprimée en SiO_2 mesurée sur produit sec et obtenus par broyage et/ou sélection de quartzes ou de cristobalites synthétiques.

Les additions siliceuses conformes à la norme NF P18-509 sont de type I selon la norme EN 206-1 et sont substituables au ciment au sens et sous les conditions de cette norme [9].

2- Additions type II

Fumée de silice [NF P 18-502]

La fumée de silice est une poudre amorphe finement divisée résultant de la production d'alliages de silicium ou contenant du silicium. Elle est entraînée depuis la zone de combustion des fours par les gaz, vers le système de captage.

La norme distingue deux classes A et B ; les fumées de silice de classe A étant les plus riches en silice et sont plus fines. Une fumée de silice de classe A ou B, conforme à la norme est une addition de type II au sens de la norme EN 206-1 et est substituable au ciment au sens et aux conditions de cette norme.

Toutefois, compte tenu de la très grande finesse de ces additions et de leur très grande réactivité avec la portlandite libérée par l'hydratation du ciment, leur proportion est limitée à 10 % et leur emploi réservé aux bétons contenant un super plastifiant [9].

Cendres volantes pour béton [NF EN 450-1]

La cendre volante est une poudre fine constituée principalement de particules vitreuses de forme sphérique, issues de la combustion du charbon pulvérisé en présence ou non de combustibles, ayant des propriétés pouzzolaniques et composée essentiellement de SiO_2 et de Al_2O_3 ; la proportion de SiO_2 réactive constituant au moins 25 % de la masse.

Les cendres volantes conformes à la norme NF EN 450-1 sont des additions de type II au sens de la norme EN 206-1, et sont substituables au ciment au sens et selon les conditions de cette norme [9].

Laitier vitrifié moulu de haut fourneau [NF P 18-506]

Le laitier vitrifié moulu provient du broyage du laitier vitrifié granulé ou bouleté, coproduit de la fabrication de la fonte et obtenu par trempe du laitier de haut fourneau en fusion.

Sont exclues de la norme : les laitiers de fonte non trempés cristallisés et donc non vitrifiés utilisés comme ballast ou comme granulats et également les laitiers d'aciéries et tous les laitiers de métaux non ferreux qui peuvent contenir des éléments nuisibles au béton tels que les sels métalliques.

La norme distingue deux classes de laitier A et B ; la dernière sa finesse étant plus élevée donc plus réactive. Les laitiers conformes à la norme NF P 18-506 sont des additions de type II au sens de la norme EN 206-1, mais seuls les laitiers de classe B sont substituables au ciment au sens et selon les conditions de cette norme [9].

I.4 LES BETONS AVEC ADDITIONS

L'utilisation des additions dans le béton constitue une véritable alternative au béton ordinaire, les ciments et les additions sont des produits commercialisés et répondent chacun à des normes précises [10].

Plusieurs recherches nous ont montré l'importance de l'utilisation de ce matériau dans le domaine du génie civil, plusieurs études ont été réalisées en Algérie à ce sujet :

- Aichouba & all, ont montré en étudiant l'effet de la pouzzolane naturelle de Bénisaf sur les propriétés d'un ciment à base de calcaire que la substitution du ciment par la pouzzolane de 10 à 30 % engendre une augmentation de la consistance normale, une diminution de temps de prise, une diminution des résistances mécaniques à jeune âge et une conservation de ces résistances à long terme [11].
- Ezziane & all, ont montré en étudiant l'efficacité du laitier d'El Hadjar par le concept du liant équivalent, que l'utilisation d'un taux élevé du laitier d'El Hadjar (40%) lui confère un déclenchement d'activité très précoce (2j), seulement cette activité ne sera jamais achevée à long terme (90j). Dans ce cas, un taux de 15 % paraît optimal [12].

I.5 CARACTERISTIQUES PRINCIPALES DES BETONS AVEC ADDITIONS

Par leur finesse et par leur réactivité plus ou moins importante en présence du Ciment, les additions engendrent des modifications significatives sur les propriétés des matériaux cimentaires à l'état frais et durci [13].

A l'état frais, la présence des additions modifie la structure du squelette granulaire. Au cours de la prise et du durcissement les particules des additions interagissent dans le processus d'hydratation du ciment en modifiant la structure des produits hydratés et pour certaines peuvent réagir chimiquement en milieu cimentaires pour former de nouveaux produits hydratés qui présentent un caractère liant supplémentaire [14].

Les mécanismes à l'origine de ces modifications paraissent particulièrement complexes, cependant plusieurs études récentes, s'accordent pour distinguer trois principaux effets des additions dans un matériau cimentaire :

- Un effet granulaire résultant des modifications apportées par l'addition sur la structure granulaire du matériau en présence d'eau et éventuellement d'adjuvant et qui agit sur les propriétés rhéologiques et la compacité des matériaux cimentaires à l'état frais.
- Un effet physico-chimique et microstructural engendré par les multiples interactions entre les particules de l'addition et le processus d'hydratation du ciment et qui agit sur l'évolution de l'hydratation du ciment au cours de la prise et du durcissement.

➤ Un effet purement chimique propre à certaines additions en milieu cimentaire (Essentiellement présent dans le cas des additions du type II selon la norme EN 206-1), qui agit au cours de l'hydratation du ciment et qui interagit fortement avec l'effet physicochimique et microstructural.

I.6 LES AVANTAGES DU BETON AVEC ADDITIONS

Le béton avec addition présente beaucoup plus d'avantage sur le plan économique, impact environnemental et technique.

- Les additions permettent de satisfaire aux exigences de résistance, de structure, de performance des ouvrages ;
- Augmentation de la rentabilité globale et renforcement de la compétitivité de l'entreprise sur le marché pour les producteurs de béton ;
- Amélioration de l'impact environnemental tout en gardant une bonne résistance ;
- Valorisation des matières premières locales de plus ou moins bonne qualité et à s'adapter à la diversité des ciments avec des solutions d'adjuvantation appropriées ;
- Résistance ou capacité à enrober les armatures dans les moules.

I.6.1 Comparaison entre un béton avec addition et un béton ordinaire

- Le béton avec addition est facile à fabriquer, moins coûteux que le béton ordinaire du fait de remplacer du ciment par les additions et aussi demande peu d'entretien ;
- Il devient solide déjà au jeune âge d'où un gain en temps pour la continuité des travaux et il résiste au feu et aux actions mécaniques ;
- Meilleure résistance à la compression due aux additions ;
- Peut-être associé aux armatures et à la précontrainte pour avoir une bonne résistance mécanique ;
- Matériaux de fabrication, et additions existant dans de nombreux pays ;
- Il nécessite moins d'énergie pour sa fabrication comme tout béton mais encore plus dans sa facilité à mettre en place avec les super-plastifiants ;
- Il assure une meilleure isolation thermique à cause de sa faible conductivité thermique due aux additions (fumée de silice) ;
- Réduire le coût de l'ouvrage (ciment), de l'énergie consommée et dégagement du CO₂ dans la fabrication du ciment ;
- Réduire la quantité d'eau sans effets secondaires sur la résistance mécanique ou la durabilité du matériau [8].

I.6.2 Les inconvénients majeurs des bétons avec addition par rapport au béton ordinaire

- Forte densité (2.4 KN/m³) ;
- Coût élevé en cas de modification comme tout béton ;
- Demande de super plastifiant avec les additions ;
- Une mauvaise résistance à l'écaillage en présence de sels de déverglaçage [8].

I.7 DIFFERENCE ENTRE LES BETONS CLASSIQUES ET LES BETONS AVEC I.7 ADDITION**I.7.1 A l'état frais**

L'influence sur le comportement du béton avec addition porte sur l'ouvrabilité, la rhéologie du béton et l'influence des additions sur la rhéologie.

- L'ouvrabilité

L'ouvrabilité d'un béton ordinaire, définit comme l'aptitude d'un béton à être mis en œuvre, (l'effort demandé pour manipuler une certaine quantité de béton frais avec un minimum de perte d'homogénéité). En matière de béton avec addition, une forte viscosité est remarquée donc mauvaise ouvrabilité (mauvais écoulement à travers le ferrailage) avec une ségrégation statique mais qui peut être corrigé par l'application de super-plastifiant afin de réduire la viscosité (améliorer la fluidité), empêcher le ressuage, limiter les risques de ségrégations.

- La rhéologie

Définit comme la science qui étudie la déformation et l'écoulement des matériaux sous l'influence des forces qui leur sont appliquées. Généralement, en terme mécanique, la grandeur cinématique correspondant à l'écoulement est tenseur de gradient de vitesse et la grandeur correspondant à la force appliquée à l'élément est le tenseur de contrainte. Comparé au béton ordinaire, le béton de nouvelle génération présente une rhéologie améliorée avec les additions.

L'influence des additions sur la rhéologie

Les additions influencent sur la rhéologie, on peut citer entre autre :

Le temps de prise : (la pâte fabriquée avec le fillers de calcaire par exemple), son temps de prise est caractérisé par une surface de Blaine plus élevée et présente des prises de temps plus longs.

L'introduction du super-plastifiant joue le rôle de retardateur de prise, très important pour la résistance mécanique au jeune âge.

La finesse de l'addition influe de manière significative sur la quantité d'eau nécessaire pour remplir les vides dans la pâte.

I.7.2 A l'état durci

Au jeune âge et à long terme

Le béton avec addition a une meilleure performance comparée au béton ordinaire, une résistance à la compression plus élevée et une résistance au gel/dégel et aux sels de déverglaçage.

I.8 DOMAINES D'APPLICATION DES BETONS AVEC ADDITION

Quand ses composants sont judicieusement choisis et associés et que le béton est correctement mis en œuvre, le « béton à contenu recyclé » peut surclasser les bétons « classiques », tant en termes de résistance, que de perméabilité et durabilité dans le temps. Ainsi a-t-on pu produire des bétons résistants mieux aux agressions chimiques externes tels qu'embruns marins et chlorures provenant des sels fondants épandus sur les routes en hiver (qui quand ils percolent dans le béton y corrodent son armature métallique). Ces bétons sont par ailleurs plus résistants, et donc très appréciés pour les ouvrages dont la résistance doit durer (chaussées, ponts, tunnels, viaducs, barrages et plates-formes pétrolières) [15].

Chapitre II

UTILISATION DES DECHETS AGRICOLEES DANS LE GENIE CIVIL

II.1 INTRODUCTION

Tout résidu d'un processus de production, de transformation ou d'utilisation, toute substance, matériau, produit ou plus généralement tout bien meuble abandonné, est considéré comme étant un déchet [16].

Aujourd'hui le recyclage des déchets mis en décharge et l'économie d'énergie sont des champs de recherche très importants. Pour cela, comme exemple de solution envisagée pour ces deux problèmes, nous citerons l'importance que revêt remarquablement le recyclage des déchets telle que le grignon d'olive.

Le choix de cet ajout se justifie par les raisons suivantes :

Les grignons d'olives comptent parmi les matières les plus abondantes dans notre pays et plus particulièrement dans la wilaya de Bejaia (zone de notre étude) et sont déversées dans la nature. Cette situation conduit à des pollutions qui peuvent avoir des impacts négatives sur la santé humaine et sur l'environnement [17].

II.2 DEFINITIONS

II.2.1 La biomasse agricole

La biomasse est l'ensemble de matières d'origine organique végétale et animale, l'avantage de la conversion énergétique de la biomasse, par rapport aux autres sources énergétiques renouvelables réside dans le fait qu'en plus de la production d'énergie, elle participe activement au traitement des déchets organiques contribuant ainsi à la réduction de l'impact de nos activités sur l'environnement [18].

Selon l'ADEME : La biomasse agricole se définit comme l'ensemble des matières organiques produites et issues des systèmes agricoles : viande, lait, cultures, herbe, résidus de culture, effluents d'élevage... Dans un contexte de demande croissante de produits agricoles à des fins alimentaires, énergétiques et matières, et de diminution des surfaces agricoles, la tension sur la biomasse agricole risque d'engendrer des conflits d'usage qu'il faut gérer au mieux. La biomasse est une ressource renouvelable mais limitée pour laquelle les priorités d'usages doivent être déterminées aux différents stades de production. Cette demande croissante ne doit pas entraîner par ailleurs une intensification à outrance qui pourrait être néfaste à l'environnement. L'enjeu est de combiner la performance technique et le respect de l'environnement [19].

II.3 SOURCES DE PRODUCTION DES DECHETS AGRICOLES

Les sources de déchets sont très variables. Les déchets peuvent être classés comme suit :

- Déchets et sous-produits de fabrication ;
- Déchets de la dépollution de l'eau et de l'air ;
- Déchets associés à la vie du produit ;
- Produits en fin de vie ;
- Déchets issus du traitement des déchets .

La valorisation et le traitement de ces déchets favorise la protection de l'environnement. En plus des déchets oléicoles il existe d'autres sources de production de déchets telles que les balles de riz et la coque de noix de palme [20].

II.4 PRODUCTION DES DECHETS AGRICOLES

L'Algérie, pays du bassin méditerranéen, malgré un climat très favorable à la culture de l'olivier, se positionne largement après l'Espagne, l'Italie et la Tunisie qui sont de gros producteurs d'huile d'olive dans le monde. Elle possède, cependant, d'importantes ressources oléicoles dont les superficies actuelles sont de l'ordre de 180000 ha. Durant la campagne 2012/2013, la production oléicole algérienne était de 66 000 tonnes d'huile soit 2.72% de la production mondiale. Alors que la production d'huile d'olive durant la campagne 2014-2015, atteignait 200 000 tonnes [21].

L'industrie oléicole, génère une grande quantité de déchets constitués de grignons (rejets solides) et de margines (effluents liquides de composition complexe) qu'il importe de traiter pour faire face aux risques de pollution potentielle.

Le grignon est un résidu solide formé des pulpes et noyaux d'olives. Ce sous-produit est utilisé par certaines huileries industrielles pour produire une huile dite de grignon par l'extraction par solvant (chimique) de son huile résiduelle ou comme combustible dans des chaudières industrielles, des fours et des bains publics .

Les margines proviennent de l'eau de végétation des olives, de l'eau ajoutée lors du procédé d'extraction et l'eau de lavage.

L'extraction d'huile d'olive génère entre 500 et 600 kg de margines par tonne d'olives avec une production annuelle moyenne de 505 000 tonnes, enregistrées entre 1989 /90 et 2002/03 la production annuelle moyenne de margines est comprise entre 252 500 et 303 000 tonnes. Cette quantité importante de matières organiques est rejetée dans la nature sans traitement préalable et engendre des problèmes environnementaux sérieux pour les eaux de

surface, la flore et la microflore des cours d'eau et du sol. Afin de limiter l'effet néfaste de ses margines, plusieurs voies de leur élimination écologique ont été expérimentées dans le monde et en particulier au niveau du bassin méditerranéen [22].

II.4.1 Déchets du grignon d'olive

Le bassin méditerranéen en général, et l'Algérie en particulier, se caractérise par une importante activité oléicole. La répartition mondiale des oliviers est fortement localisée dans la région méditerranéenne [23]. La transformation de l'olive en huile génère un déchet appelé grignon d'olive (pulpe et noyaux). Traditionnellement, ce déchet est valorisé sous forme de combustible et d'engrais.

Tableau II.1 : Répartition mondiale des oliviers et surfaces cultivées correspondantes [23].

Régions	Nombre d'arbres en %	Surfaces cultivées en %
Europe méditerranéenne	71	65
Proche orient	13	11
Afrique du Nord	13	22
Amerique latine et USA	3	2

II.4.1.1 Les grignons d'olives

Les grignons d'olives sont des sous produits de l'activité des moulins à huile. Ils sont obtenus par des moyens strictement mécaniques excluant tout adjuvant (noyau, pulpe et peau de l'olive) sont des produits plus ou moins pâteux [24].

Selon le procédé d'extraction et l'équipement des huileries, il est possible de distinguer trois types de grignons:

1. Le grignon brut

C'est le résidu de la première extraction de l'huile par pression de l'olive entière, ses teneurs relativement élevées en eau (24%) et en huile (9%) favorisent son altération rapide lorsqu'il est laissé à l'air libre.

2. Le grignon épuisé

C'est le résidu obtenu après des huilages du grignon brut par un solvant, généralement l'hexane. Il diffère, essentiellement, par une plus faible teneur en huile et une teneur en eau réduite du fait qu'il a été déshydraté au cours du processus de l'extraction.

3. Le grignon partiellement dénoyauté

Résulte de la séparation partielle du noyau de la pulpe par tamisage ou ventilation, il est dit “gras” si son huile n'est pas extraite par solvant il est dit “dégraissé ou épuisé” si son huile est extraite par solvant [24].

II.4.1.2 Composition d'olive

L'olive est une drupe, sa composition physique est indiquée dans la figure ci-dessous

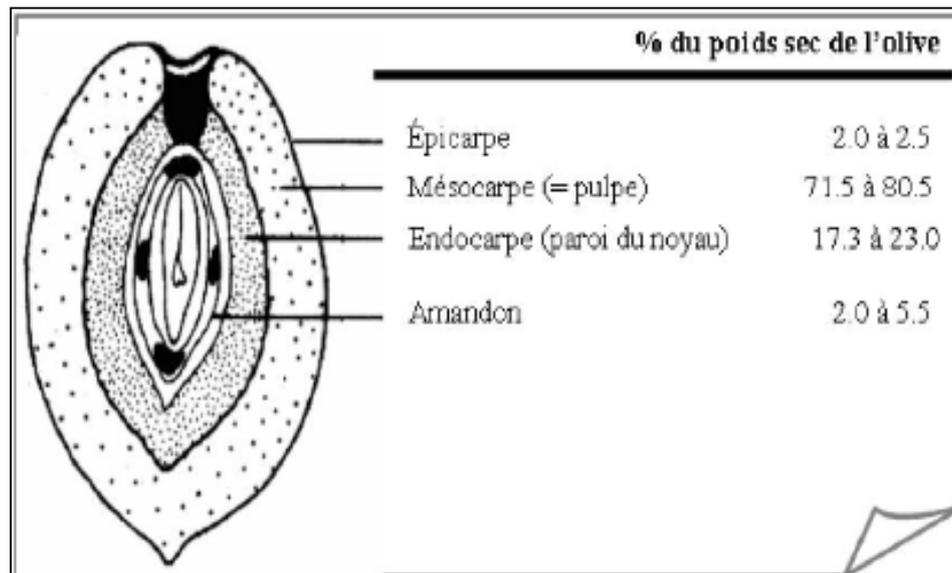


Figure II.1: Composition physique de l'olive [24].

II.4.1.3 Caractéristiques physiques du grignon d'olive

Les grignons bruts renferment la coque du noyau, réduite en morceaux, la peau et la pulpe broyée de l'olive, environ 25% d'eau et encore une certaine quantité d'huile qui favorisent leur altération rapide.

Les grignons épuisés diffèrent essentiellement par une plus faible teneur en huile et une teneur en eau réduite du fait qu'ils ont été déshydratés au cours du processus de l'extraction.

Les grignons épuisés partiellement dénoyautés sont constitués essentiellement par la pulpe (mésocarpe) et contiennent encore une petite proportion de coques qui ne peuvent être séparées complètement par les procédés de tamisage ou de ventilation utilisés [24].

Tableau II.2 : Les différents composants du grignon d'olive

Composants	Olive (%)	Grignon brut (%)	Grignon épuisé (%)
Eau	49	27	17
Huile	27	9	2
Coque	14	43	55
Pulpe	9	21	26

II.4.1.4 Composition chimique du grignon d'olive

Contrairement aux autres tourteaux oléagineux les grignons bruts sont pauvres en matières azotées et riches en cellulose brute. Ils restent relativement riches en matières grasses.

L'épuisement par les solvants diminue la teneur en matières grasses et augmente relativement les autres teneurs. Le dénoyautage partiel par tamisage ou ventilation réduit les teneurs en cellulose brute. Les pulpes, du fait de la séparation totale du noyau avant pression, ont la valeur la plus faible en cellulose brut [24].

Tableau II.3 : Composition chimique indicative des différents types de grignon d'olive.

Type	% de la Matière Sèche				
	Matière Sèche	Matières minérales	Mat. Az. Totales	Cellulose brute	Matières Grasses
Grignon brut	75–80	3–5	5–10	35–50	8–15
Gr. gras part. dénoyauté	80–95	6–7	9–12	20–30	15–30
Grignon épuisé	85–90	7–10	8–10	35–40	4–6
Gr. épuisé part. dénoyauté	85–90	6–8	9–14	15–35	4–6
Pulpe grasse	35–40	5–8	9–13	16–25	26–33

Les valeurs indiquées ci-dessus sont très variables principalement pour les grignons bruts et les grignons gras partiellement dénoyautés et ne peuvent être considérées que comme indicatives.

Il est à noter que ces différents grignons proviennent d'olives d'origines variées et ont subi des traitements différents ce qui explique l'hétérogénéité de certains résultats.

II.4.1.5 Valorisation du grignon d'olive

➤ Dans l'alimentation animale

Les grignons bruts sont utilisés en Tunisie en mélange à du son (enveloppe broyée des céréales après la mouture) ou même du cactus pour alimenter les dromadaires sur une bonne partie de l'année ou les ovins pendant les périodes difficiles. Mais très peu d'essais ont été effectués avec ce type de grignon. Concernant les grignons gras partiellement dénoyautés:

- Sur ovins: Bloemeyer (1977) distribuant un concentré contenant de 0 à 40% de grignon avec mélasse-urée a obtenu des gains de poids de 125 à 101 g/j avec des moutons au pâturage recevant 500 g de foin et le concentré en fonction du poids vif (20 à 30g/kg. poids vif). Ben Ameer et Ben Hamouda (1975) substituant 0 à 30% d'orge par du grignon dans des rations de moutons ont obtenu des croissances sensiblement identiques mais légèrement décroissantes (274 g/j à 226 g/j) mais avec un indice de consommation supérieur [24].

- Sur bovins: Des expériences effectuées en Italie semblent montrer un effet positif des grignons sur la teneur en matière grasse du lait de vaches, avec une production de lait (à 4% MG) sensiblement équivalente, lorsque les vaches reçoivent de 1,8 à 4 kg de grignons/jour [24].

➤ Utilisation du grignon d'olive comme combustible

Elle est représentée et représente encore dans la majorité des pays, l'application la plus courante. En réalité le grignon d'olive est un combustible de valeur calorifique moyenne de 2950 Kcal/kg. Cette quantité de chaleur est apportée principalement par la coque qui représente 60% du total et qui a un pouvoir calorifique relativement élevé (4000 Kcal/kg). La pulpe n'apporte que peu de calories.

➤ Utilisations possibles de la coque du grignon d'olive

Après séparation, la coque peut-être utilisée comme combustible ou comme matière première pour la fabrication du furfural qui est utilisé comme solvant et dans la synthèse des colorants. Elle peut aussi être utilisée dans l'industrie du bois (fabrication de panneaux de particules). Les informations d'intérêts sont celles relatives à l'industrie du furfural. La coque séparée des grignons a un contenu en pentosanes de 26% ce qui représente 15% de furfural de

la matière première humide. Le procédé d'obtention du furfural peut être continu ou discontinu, de toute façon l'obtention d'un rendement adéquat pour rentabiliser l'opération, n'est pas encore atteint. La principale difficulté de ce procédé reste le prix de la coque (coût de la séparation, utilisation concurrentielle comme combustible,...) [25].

II.4.2 Valorisation d'autres déchets agricoles

a) Les cendres de balles de riz

Sur plus de 650 millions de tonnes de riz brut produites chaque année [FAO Statistics Division, 2009], les écorces constituent environ le quart et sont considérées comme un résidu parfois valorisé énergétiquement. Toutefois, une combustion optimisée de ces écorces peut produire entre 14 et 20% de cendres avec des concentrations de silice de l'ordre de 90 % [Chandrasekhar et al., 2006] : les cendres d'écorces de riz (CBR) peuvent alors devenir un matériau cimentaire pouzzolanique [26].



Figure II.2 : Les balles de riz.

L'intérêt moderne pour l'utilisation des CBR dans les bétons provient principalement de Mehta en 1978 qui a obtenu un brevet sur le sujet. Une multitude d'articles scientifiques ont par la suite été publiés et ils abordent la question sous différents angles :

de la combustion des balles de riz à la durabilité des bétons avec cendre de balle de riz, en passant par l'optimisation de la réactivité des cendres de balle de riz et des proportions de cendre de balle de riz dans les mélanges [26].

➤ **Caractéristiques visées et contraintes de combustion**

Avec les années, plusieurs travaux ont été réalisés afin de déterminer le mode de production optimal des cendres de balles de riz. Quoique les auteurs s'entendent sur les caractéristiques optimales des CBR, différentes conditions de combustion peuvent permettre d'y arriver[27].

Les cendres de balles de riz sont constituées d'un squelette de silice amorphe rempli de matière organique. Afin de produire des cendres de balles de riz très réactives, il est nécessaire:

- De minimiser le contenu en carbone par combustion ;
- Maximiser le contenu en silice amorphe facilement soluble et possédant une grande surface spécifique.

b) **La coque de noix de palme**

Les coques de noix de palme étudiées, sont les enveloppes des graines de palmistes. Elles sont obtenues après extraction des fibres et concassage du noyau.

Les caractéristiques physiques de ces granulats végétaux sont résumées dans le tableau II.4. La masse volumique en vrac des CNP est de 560 kg/m^3 pour une teneur en eau de 4,35% dans les conditions de stockage.



Figure II.3 : La coque de noix de palme.

Tableau II.4: Caractéristiques physiques des coques de noix de palme.

Caractéristiques	CNP Sifca
Granularité	2 – 8 mm
Densité apparente	560 kg/m ³
Densité spécifique	1340 kg/m ³
Teneur en humidité	4,35%
Absorption d'eau (% a 24h)	4,35%

Les coques de noix de palme (CNP) sont une alternative intéressante pour lutter contre les problèmes liés à la surexploitation des granulats classiques dans le béton dont la production mondiale augmente régulièrement. La valorisation de cette biomasse permet de produire un béton léger de densité inférieure ou égale à deux, ce qui induit une réduction considérable de la charge des bâtiments. On note aussi une amélioration des propriétés du béton du point de vue confort thermique [28].

Toute fois l'une des principales limites des CNP est leur grande porosité qui leur confère une capacité importante d'absorption d'eau. Ce fort taux d'absorption qui peut atteindre 33% constitue un frein à l'emploi des CNP dans le béton léger [29]. En effet, à court-terme, l'adhésion est fortement dépendante des échanges en eau à l'interface mortier/support. Plusieurs études ont montré l'influence des propriétés de transfert par capillarité du substrat poreux sur la création d'une force de liaison [30].

Une des solutions à cette limite réside dans le traitement des coques de noix de palme avant leur utilisation dans le béton.

Partie II

ETUDE EXPERIMENTALE

Chapitre III

CARACTERISATION DES MATERIAUX

III.1 INTRODUCTION

La détermination des propriétés physico-thermiques des matériaux de construction se fait classiquement par l'utilisation de techniques de caractérisation qui sont standardisées et qui nécessitent de préparer des échantillons de géométries et de tailles normalisées.

Les méthodes de caractérisation sont nombreuses et généralement normalisées. Les normes varient fortement en fonction du type de matériaux à étudier, de leurs applications, ou encore tout simplement du type de propriétés à déterminer. Elles dépendent encore du domaine d'application et même des pays dans lesquels elles sont rédigées ou appliquées. Les normes sont très strictes tant avec les conditions expérimentales à respecter, qu'avec le nombre d'échantillons à tester ou la forme et la taille qu'ils doivent respecter.

III.2 MATERIAUX UTILISE

Avant d'entamer les analyses, il est indispensable de définir l'origine des matériaux utilisés [31].

III.2.1 Le ciment

Le ciment utilisé est le CEM II/ A-L42.5N de la société des ciments D'AIN EL KEBIRA « **S.C.A.E.K** ». Les informations sur les caractéristiques physiques et chimiques sont données dans l'annexe A.

III.2.2 Granulats

- Sable

Le sable 0/5 provient de la carrière de BOUANDES.

- Graviers

La fraction 8/15 mm provenant de la carrière de BOUANDES.

- Gravillons

La fraction 3/8 mm provenant de la carrière de BOUANDES.

III.2.3 Eau de gâchage

L'eau utilisée dans ce présent travail est l'eau potable. Elle est conforme aux exigences de la norme (NF EN 1008) [32].

III.2.4 Adjuvant

L'adjuvant utilisé est le plastifiant **SIKAPLAST** ® **HP+**, réducteur d'eau à haute résistance les informations sur les caractéristiques de cet adjuvant sont données dans l'annexe B.

III.2.5 Le grignon d'olive

Le grignon d'olive utilisé provient de l'établissement agroalimentaire spécialisé dans les produits oléicoles et du terroir « **KHODJA & Cie, SNC** » situé à SEDDOUK.

III.2.5.1 Cendres du grignon d'olive

Les cendres du grignon d'olive sont de fines particules obtenues par la calcination (cuisson) du grignon d'olive.



Figure III.1 : Cendre du GO.

1) Etapes à suivre pour l'obtention des cendres du grignon d'olive

- **Nettoyage** : le grignon d'olive a été lavé pour éliminer toutes les impuretés (margines, pierre...);
- **Etuvage** : après avoir lavé le grignon, ce dernier a été séché à l'étuve à 105°C pendant 24h ;
- **Broyage avant cuisson** : avant de mettre le grignon dans le four on procède au broyage afin de faciliter et d'homogénéiser la cuisson ;
- **Calcination** : faire cuire le grignon dans un four de type Nabertherm more than, heat 30-3000°C.

La cuisson se fait en augmentant la température jusqu'à 600°C pendant 30 min, ensuite cette dernière est stabilisée pendant 30 min (voir Figure III.2).

Le choix de cette température a été motivé par le fait que les pertes se stabilisent à cette température (voir figure III.3) et les cendres sont produites lors de la combustion ;

➤ **Broyage après cuisson** : à l'aide d'un moulin à café, le grignon d'olive cuit a été broyé ;

➤ **Tamisage** : après broyage les cendres sont tamisées avec un tamis 0.63mm ;

Le choix de ce diamètre est motivé du fait que les particules de grignon d'olive cuit absorbent moins d'eau de gâchage et le dosage en adjuvant sera moindre par rapport au diamètre beaucoup plus inférieur. Ce choix est aussi motivé par le fait que les fines calcaires utilisées pour comparaison ont un diamètre ≤ 0.63 voir (figure III.12).

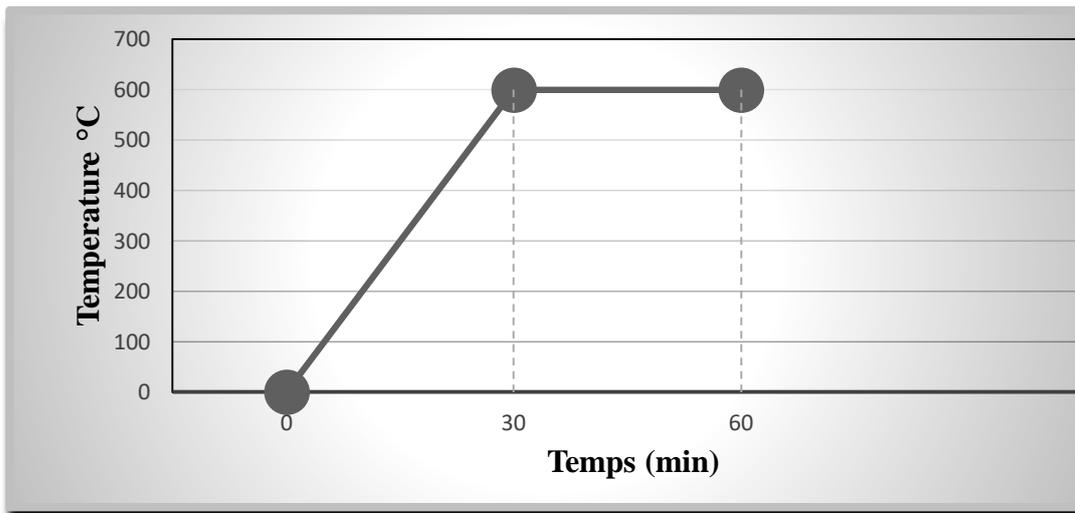


Figure III.2 : Température et temps de calcination du grignon d'olive.

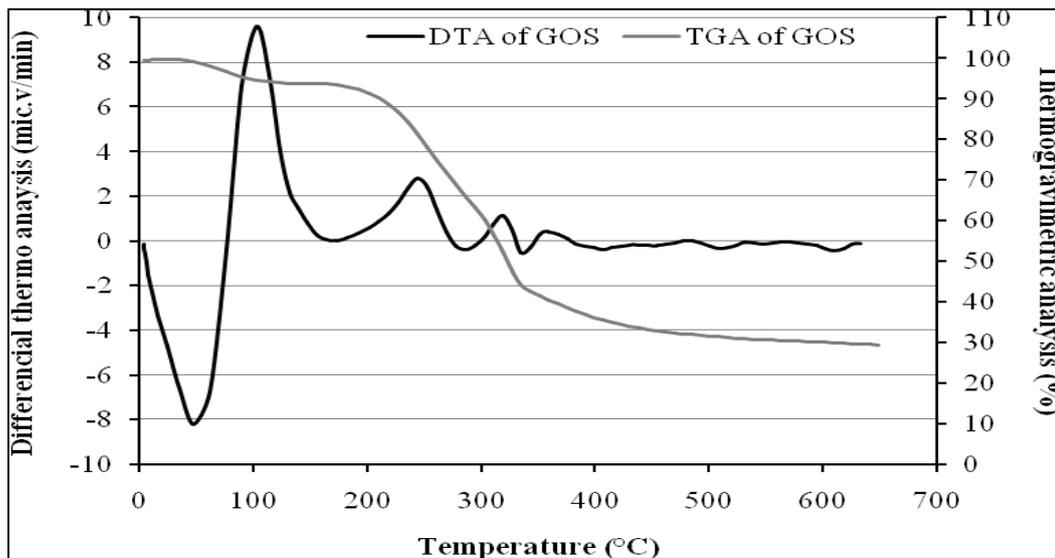


Figure III.3 : ATD et ATG du grignon d'olive.

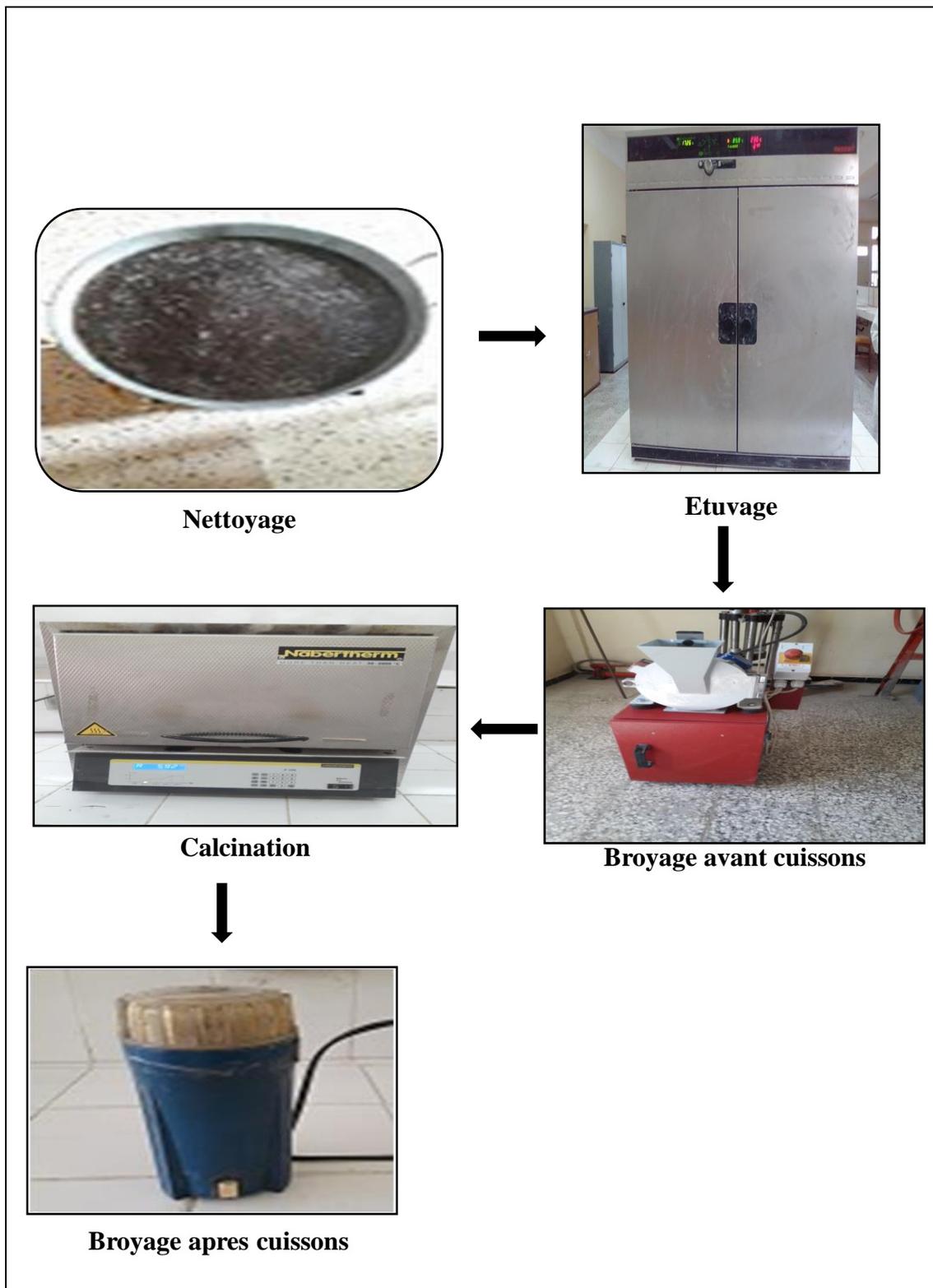


Figure III.4 : Etapes à suivre pour l'obtention des cendres du grignon d'olive.

2) Inconvénients de la calcination du grignon d'olive

Pollution de l'air par le dégagement de gaz à effet de serre (exemple du CO_2), bien que les concentrations de ces gaz sont beaucoup moins importantes que ceux produits par les combustibles fossiles. Il est à signaler que le grignon d'olive contient une faible quantité de matières azotées [24].



Figure III.5 : La fumée dégagée lors de la calcination du GO.

3) Avantage de la calcination du grignon d'olive

Sa combustion est une valorisation énergétique comme source de biomasse. Le grignon d'olive est un combustible de valeur calorifique moyenne (2950 Kcal/Kg) [37].

III.2.6 Les fines calcaires

Les additions calcaires sont des produits secs finement divisés issus de broyage de roches calcaires de formule minéralogique CaCO_3 [9].

Les fines calcaire utilisé proviennent de LOTHASOUK EL-TENINE, Bejaia.

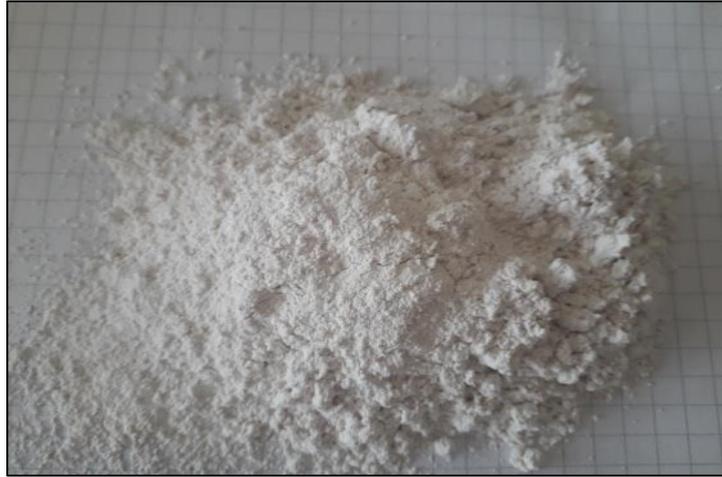


Figure III.6 : Les fines calcaires.

III.2.7 Le ciment prompt

- Obtenu par cuisson à température modérée (1000-1200°C) d'un calcaire argileux,
- Début de prise très rapide (<4 minutes sur pâte) [33],
- Développement rapide des résistances 10MPa à 24h mais résistances faible à 28j (19MPa),
- Utilisations : travaux de scellements, de réparation...

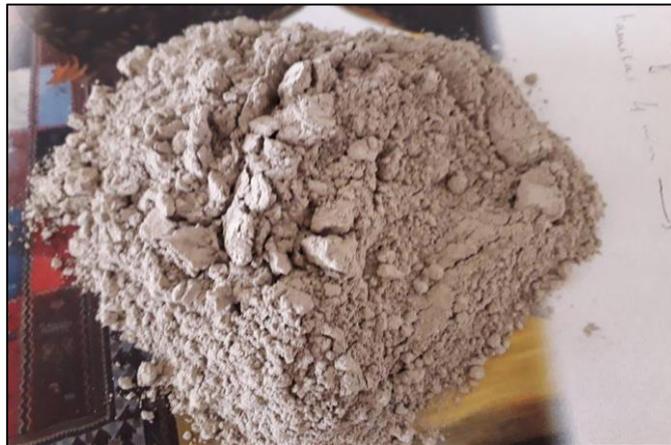


Figure III.7 : Le ciment prompt.

III.3 ESSAIS EFFECTUES SUR LES GRANULATS

III.3.1 Echantillonnage (NF P 18-533)

Les essais effectués en laboratoire portent nécessairement sur les quantités réduites de matériaux. Ces quantités doivent permettre de mesurer des paramètres caractéristiques de l'ensemble des matériaux dans lequel on a fait un prélèvement. On dit qu'il faut que l'échantillon soit représentatif [34].

Le prélèvement d'échantillons se fait en deux temps :

- Prélèvement au niveau de la carrière d'une quantité de matériaux nettement plus grande que celle qui sera utilisée pour l'essai proprement dit ;
- Au laboratoire: prélèvement de la quantité nécessaire à l'essai et qui doit être également représentative de l'échantillon de départ.

Chacun de ces deux échantillonnages doit donner un prélèvement aussi représentatif que possible.

III.3.2 Prélèvement sur le tas

Lorsqu'un matériau est mis en stock, les gros éléments ont tendance à rouler en bas du tas tandis que le haut est plus riche en élément de faibles diamètres. On prélèvera donc les matériaux en haut, en bas, au milieu et à l'intérieur du tas de granulats, afin d'avoir un échantillon ainsi représentatif que possible de l'ensemble, ces diverses fractions seront mélangées avec soin [34].

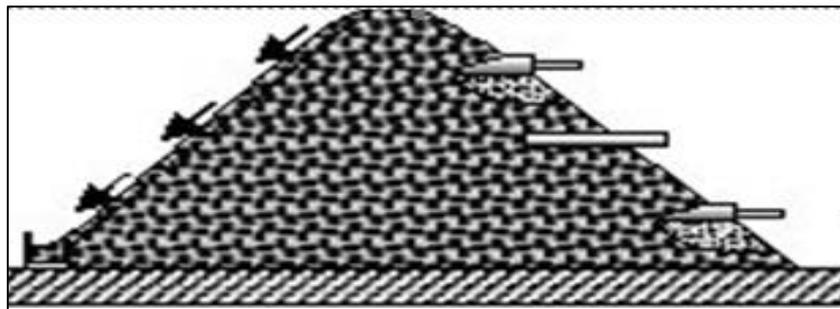


Figure III.8 : Prélèvement sur le tas [4].

III.3.3 Quartage

L'échantillon est divisé en quatre parties égales, dont on ne retient que la moitié en réunissant deux parties opposées.

Cette sélection est homogénéisée et un nouveau quartage est effectué, l'opération pouvant se répéter trois ou quatre fois. On obtient ainsi un échantillon représentatif du matériau initial [34].

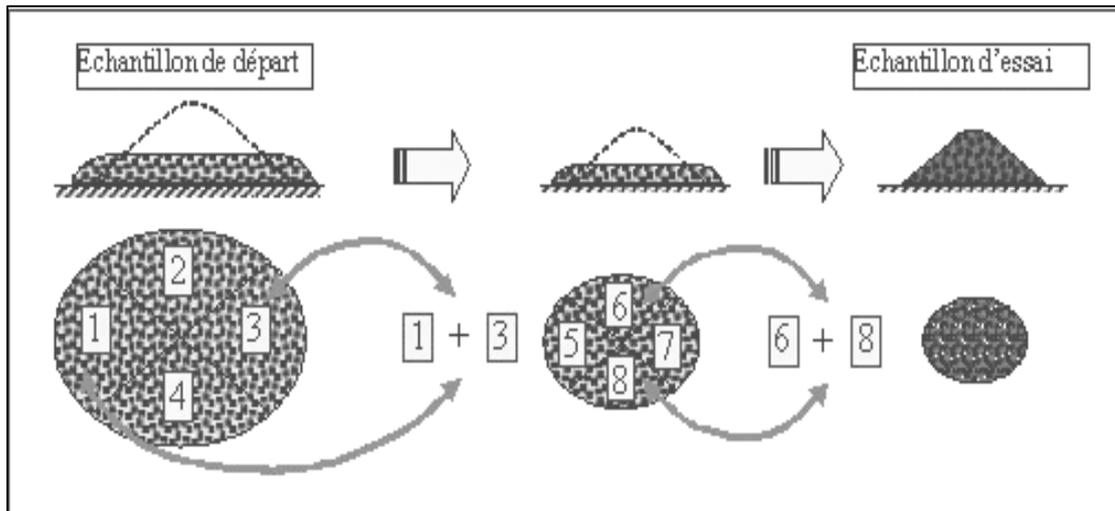


Figure III.9 : Opération de quartage

III.3.4 Analyse granulométrique (NF P 18-560)

1. Définition

L'analyse granulométrique sert à déterminer la distribution en poids des particules d'un matériau suivant leurs dimensions [35].

2. But de l'analyse granulométrique

- Détermination de la grosseur et le pourcentage en poids de différentes formes de granulats consistants les échantillons ;
- Tracer la courbe granulométrique.

3. Principes de l'essai

L'essai consiste à fonctionner au moyen d'une série de tamis et passoires emboîtés les uns sur les autres reposant sur un fond de tamis un matériau en plusieurs classes de tailles décroissantes. Le matériau étudié est placé en partie supérieure des tamis et le classement des grains s'obtiens par vibration de la colonne de tamis.

On appelle tamisât ou passant l'ensemble des grains qui passent à travers le tamis, et refus l'ensemble des grains qui sont retenus sur le tamis.

Le matériau étudié est versé sur le tamis supérieur et on met le couvercle pour éviter la dispersion de la poussière, on met en marche la machine à tamiser pendant 15 min puis on l'arrête, on pèse le refus jusqu'au dernier tamis.

On considère que le tamisage est terminé lorsque les refus ne varient pas de plus de 1% entre deux séquences de vibrations de la tamiseuse.

Le refus du tamis ayant la plus grande maille est pesé, soit R1 la masse de ce refus.

Le refus du tamis immédiatement inférieur est pesé avec le refus précédent, soit R2 la masse du deuxième refus.

Cette opération est poursuivie pour tous les tamis pris dans l'ordre des ouvertures décroissantes. Ceci permet de connaître la masse des refus cumulés aux différents niveaux de la colonne de tamis.

Equipement utilisé

- Une machine à tamiser ;
- Une série de tamis conformes ;
- Un couvercle qui évite la perte de matériau pendant le tamisage et un fond pour recueillir le dernier tamis ;
- Une balance.



Figure III.10 : Machine à tamiser

Les dimensions nominales normalisées des tamis, seuls appareils utilisés actuellement selon la norme (NF P 18-560), sont les suivantes :

Tableau.III.1: Dimensions nominales des tamis [34]

Module	20	21	22	23	24	25	26	27	28
Tamis (mm)	0,08	0,1	0,125	0,16	0,2	0,25	0,315	0,4	0,5
Module	29	30	31	32	33	34	35	36	37
Tamis (mm)	0,63	0,8	1	1,25	1,6	2	2,5	3,15	4
Module	38	39	40	41	42	43	44	45	46
Tamis (mm)	5	6,3	8	10	12,5	16	20	25	31,5

Dimensions des tamis utilisés

- Pour le sable 0/5 nous avons utilisé les tamis d'ouverture : (5 ; 2,5 ; 1,25 ; 0,63 ; 0,315 ; 0,16) mm ;
- Pour les gravillons 3/8 nous avons utilisé les tamis d'ouverture : (10 ; 8 ; 6,3 ; 5 ; 4 ; 2,5 ; 1,25 ; 0,63) mm ;
- Pour les gravillons 8/15 nous avons utilisé les tamis d'ouverture : (16 ; 12,5 ; 10 ; 8 ; 6,3 ; 5 ; 2,5) mm ;
- Pour les fines calcaires nous avons utilisé les tamis d'ouverture : (0,63 ; 0,25 ; 0,2 ; 0,16 ; 0,125 ; 0,08) mm ;
- Pour les cendres de grignon d'olive nous avons utilisé les tamis d'ouverture : (0,63 ; 0,25 ; 0,2 ; 0,16 ; 0,125 ; 0,08) mm.

Mode opératoire

- Prendre une quantité représentative d'un échantillon de sol sec ;
- Choisir une série de tamis d'ouvertures décroissantes de haut vers le bas tel que le tamis supérieur de cette colonne laisse passer les plus grosses particules ;
- Disposer sous le dernier tamis un fond destiné à recevoir les particules dont les dimensions sont supérieures à la plus petite maille de la colonne ;
Le matériau est versé en haut de la colonne ;
- Un couvercle ferme l'ensemble et permet d'éviter toute perte durant le tamisage ;
- Allumer la tamiseuse qui va effectuer les vibrations pendant 15 min puis l'arrêter en suite peser le refus jusqu'au dernier tamis ;
- Considérer que le tamisage est terminé lorsque les refus ne varient pas de plus de 1% entre deux séquences de vibrations de la tamiseuse ;
- Le refus du tamis ayant la plus grande maille est pesé, soit R1 la masse de ce refus ;
- Le refus du tamis immédiatement inférieur est pesé avec le refus précédent, soit R2 la masse du deuxième refus ;
- Cette opération est poursuivie pour tous les tamis pris dans l'ordre des ouvertures décroissantes. Ceci permet de connaître la masse des refus cumulés aux différents niveaux de la colonne de tamis.

Préparation de l'échantillon

Selon la norme [NFP 18-560], la prise de l'échantillon se fait par quartage, le poids du matériau utilisé est de telle sorte que : $P \geq 0.2 D$;

Sachant que :

P : poids de l'échantillon en Kg ;

D : diamètre du plus grand granulat en mm ;

C'est-à-dire :

Cendre de grignon d'olive 0.63 $P \geq 0.2*(0.63) = 0.3 \text{ Kg}$.

Fines calcaires 0.63..... $P \geq 0.2*(0.63) = 0.5 \text{ Kg}$.

Sable 0/5..... $P \geq 0.2*(5) = 1 \text{ Kg}$.

Gravillons 3 / 8..... $P \geq 0.2* (8) = 2 \text{ Kg}$.

Gravillons 8 / 15..... $P \geq 0.2* (15) = 4 \text{ Kg}$.

Les résultats des analyses granulométriques sont représentés dans les tableaux ci-dessous

Tableau III.2 : Analyse granulométrique des cendres du grignon d'olive.

Poids de l'échantillon (g)	Tamis (mm)	Poids des refus partiels (g)	Poids des refus cumulés (g)	Refus cumulés en %	Tamisât cumulés en %
300	0,63	3	3	1,12	98,88
	0,25	175,4	178,4	66,69	33,31
	0,2	18,7	197,1	73,68	26,32
	0,16	34,3	231,4	86,39	13,61
	0,125	16,5	247,9	92,67	7,33
	0,08	11,5	259,4	96,97	3,03
	Fond	8,1	267,5	100	0

Tableau III.3 : Analyse granulométrique des fines calcaires.

Poids de l'échantillon (g)	Tamis (mm)	Poids des refus partiels (g)	Poids des refus cumulés (g)	Refus cumulés en %	Tamisât cumulés en %
500	0,63	82,13	82,13	16,51	83,49
	0,25	244,53	326,66	65,66	34,34
	0,2	140,83	467,49	93,97	6,03
	0,16	10,46	477,95	96,08	3,93
	0,125	16,2	494,15	99,33	0,67
	0,08	1,9	496,05	99,71	0,29
	Fond	1,4	497,45	100	0

Tableau III.4 : Analyse granulométrique du sable 0/5

Poids de l'échantillon (g)	Tamis (mm)	Poids des refus partiels (g)	Poids des refus cumulés (g)	Refus cumulés en %	Tamisât cumulés en %
1000	5	6,2	6,2	0,62	99,38
	2.5	478,1	484,3	48,8	51,2
	1.25	282,4	766,7	77,26	22,74
	0,63	167,2	933,9	94,11	5,89
	0,315	31,3	965,2	97,26	2,74
	0,16	24	989,2	99,68	0,32
	Fond	3,1	992,3	100	0

Tableau III.5 : Analyse granulométrique des gravillons 3/8

Poids de l'échantillon (g)	Tamis (mm)	Poids des refus partiels (g)	Poids des refus cumulés (g)	Refus cumulés en %	Tamisât cumulés en %
2000	10	4,02	4,02	0,2	99,8
	8	34	38,02	1,95	98,05
	6,3	352	390,02	20,06	79,94
	5	740	1130,02	58,12	41,88
	2,5	680	1810,02	93,1	6,9
	1,25	74	1884,02	96,91	3,09
	0,63	20	1904,02	97,94	2,06
	fond	40	1944,02	100	0

Tableau III.6 : Analyse granulométrique du gravier 8/15

Poids de l'échantillon (g)	Tamis (mm)	Poids des refus partiels (g)	Poids des refus cumulés (g)	Refus cumulés en %	Tamisât cumulés en %
4000	16	30	30	0,75	99,25
	12,5	490	520	13,01	86,99
	10	602	1122	28,09	71,91
	8	1232	2354	58,93	41,07
	6,3	690	3044	76,21	23,79
	5	166	3210	80,37	19,63
	2,5	258	3468	86,83	13,17
	fond	560	3994	100	0

Refus : le poids de matériau retenu par un tamis

Tamisât : le poids du matériau passant à travers un tamis

Refus partiel : pesée de chaque tamis

Refus cumulés : \sum cumulée de chaque tamis

% refus cumulés = $(\text{refus cumulé} \cdot 100) / \sum \text{refus cumulé}$

Tracé de la courbe granulométrique

Traçage de la courbe granulométrique (% tamisât cumulés en fonction des diamètres des grains).

% Tamisât = $f(\log(d))$,

d : dimension de la maille du tamis.

La figure ci-dessous présente les courbes granulométriques des granulats utilisés dans le béton

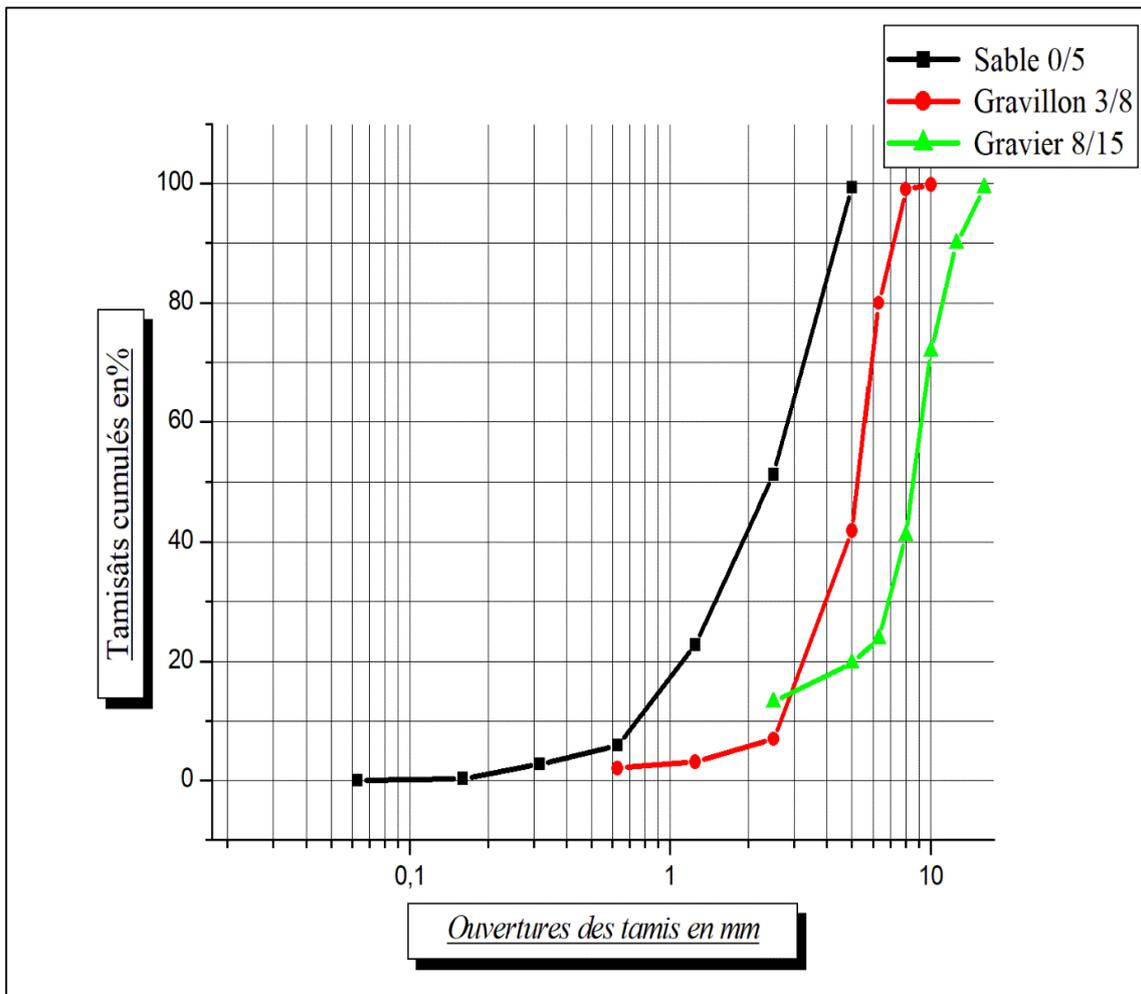


Figure III.11 : Courbe granulométrique des différents granulats utilisés.

Interprétation des résultats

Le sable utilisé est un sable qui ne contient pas beaucoup de particules fines. Il est considéré comme sable peu grossier qui reste à confirmer par le module de finesse. Ce sable est destiné aux bétons qui ne nécessitent pas une forte demande d'eau de gâchage en raison de faible quantité de particules fines.

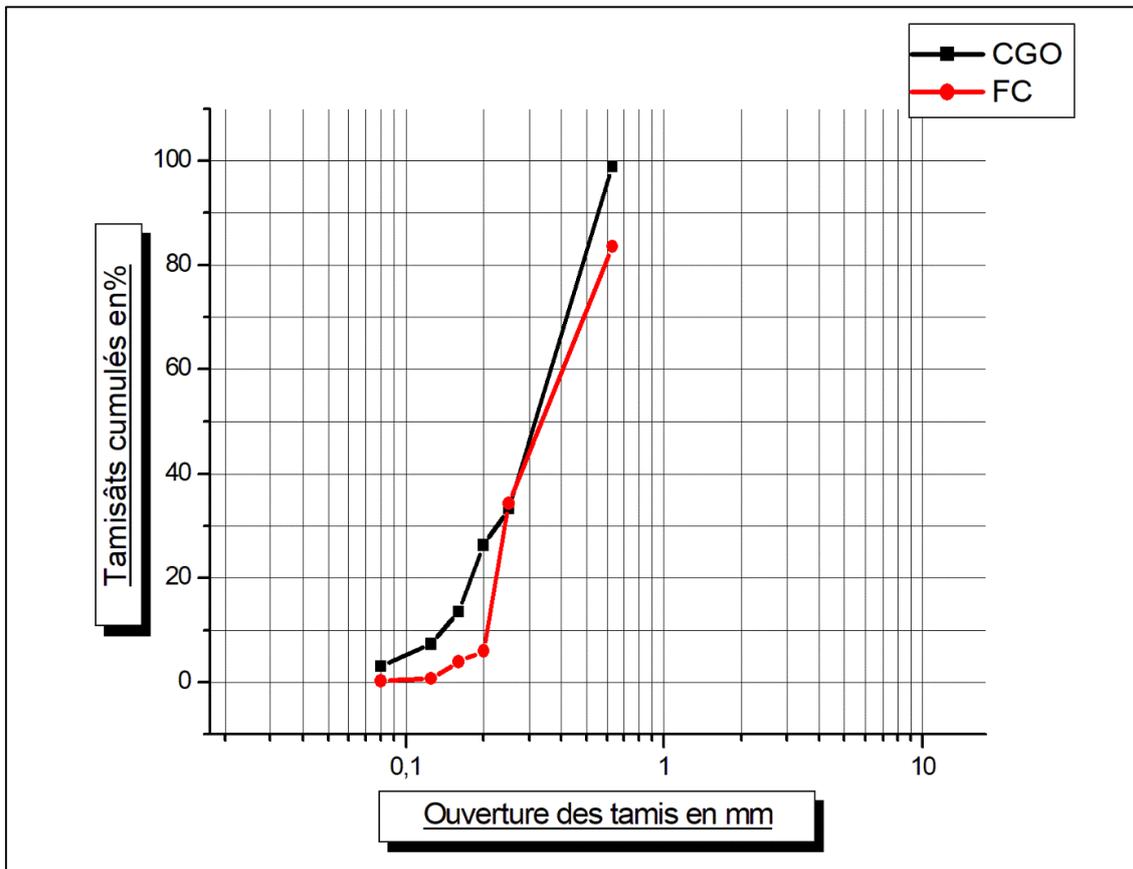


Figure III.12 : Courbe granulométrique des FC et CGO.

Module de finesse du sable (NF P 18-540)

Le module de finesse est égal au 1/100 e de la somme des refus cumulés exprimée en pourcentage sur les tamis de la série suivante : (0.16 – 0.315 – 0.63 - 1.25 – 2.5 – 5) mm

$$Mf = (0.62+48.8+77.26+94.11+97.26)/100$$

$$Mf = 3.18$$

$Mf \in [2.8-3.2]$ le module de finesse correspond donc ; le sable est un peu grossier.

III.3.5 Détermination des masses volumiques absolues et apparentes des granulats

III.3.5.1 Masse volumique apparente « ρ_p » (NF P 18-554)

Définition

Une masse volumique apparente est la masse de l'unité de volume du matériau en vrac, c'est-à-dire vides compris.

Principe de l'essai

Il suffit de remplir un récipient, dont le volume est connu, en prenant de grandes précautions pour éviter tous phénomènes parasites que pourrait provoquer le tassement ; en effet, un tassement trop important ou trop faible donnerait un résultat erroné. Pour limiter ce risque d'erreurs, l'essai se fera sur plusieurs pesées, avec lesquels on fera une moyenne, l'échantillon est ensuite pesé sans oublié de déduire la masse du récipient. En fin, la masse de l'échantillon est divisée par le volume du récipient [35].

Matériels utilisés

- Un récipient ;
- Une balance ;
- Une règle pour arasement du récipient.

Conduite de la mesure

La mesure consiste à remplir un récipient de volume intérieur connu et à peser le granulat correspondant. L'opération doit être menée comme suit :

- Après étuvage de l'échantillon, et après quartage : le prendre entre deux mains formant un entonnoir ;
- Placer ces deux mains à 10 cm environ au-dessus du récipient, laisser tomber le matériau, ni trop vite, ni trop lentement, en le disposant sans tassement par couche horizontales successives ;
- Verser ainsi le matériau, toujours au centre du récipient jusqu'à ce qu'il déborde tout autour en formant un cône ;
- Araser la couche supérieure du granulat à l'aide d'une règle ;
- Peser le contenu, soit M' .

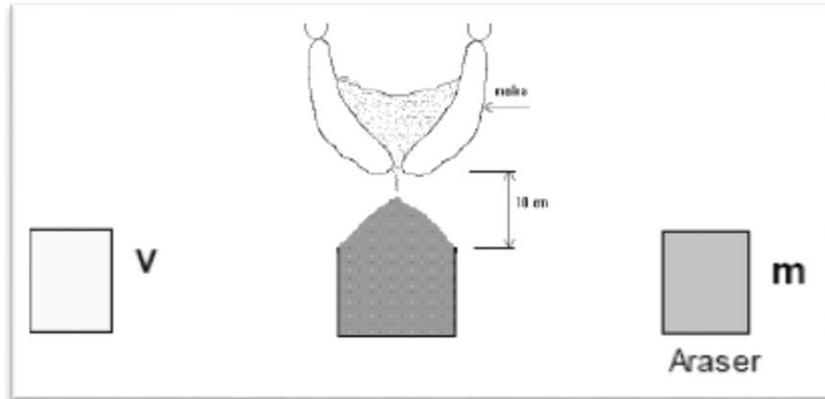


Figure III.13 : Masse volumique apparente.

Effectuer au moins 3 mesures et faire une moyenne, La masse volumique est calculée selon la formule :

$$\rho_p = (M' - M) / V \quad \text{en g/cm}^3$$

➤ Pour les granulats et les fines calcaires :

M : La masse du récipient vide ($M = 445 \text{ g}$) ;

V : Volume du récipient ($V = 1020 \text{ cm}^3$) ;

M' : Masse du récipient +échantillon.

➤ Pour les cendres de grignon d'olive :

M : La masse du récipient vide ($M = 23 \text{ g}$) ;

V : Volume du récipient ($V = 507.3 \text{ cm}^3$) ;

M' : Masse du récipient +échantillon.

Les résultats obtenus sont regroupés dans le tableau ci-dessous :

Tableau III.7 : Masse volumique apparente des granulats.

Type de granulat	N° de série	M' (g)	M' - M (g/cm ³)	Masse volumique apparentes ρ_p (g/cm ³)	moyenne ρ_p (g/cm ³)
Sable 0/5	1	2105	1660	1,62	1,62
	2	2115	1670	1,63	
	3	2115	1670	1,63	
Gravillon 3/8	1	1915	1470	1,44	1,42
	2	1885	1440	1,41	
	3	1895	1450	1,42	
Gravillon 8/15	1	1885	1440	1,41	1,41
	2	1905	1460	1,43	
	3	1885	1440	1,41	

Tableau III.8 : Masse volumique apparente des fines calcaires

Fraction (mm)	N° de série	M' (g)	M' - M (g/cm ³)	Masse volumique apparentes ρ_p (g/cm ³)	moyenne ρ_p (g/cm ³)
0,63	1	1763	1318	1,29	1,29
	2	1765	1320	1,29	
	3	1765	1320	1,29	

Tableau III.9 : Masse volumique apparente des cendres de grignon d'olive

Fraction (mm)	N° de série	M' (g)	M' - M (g/cm ³)	Masse volumique apparentes ρ_p (g/cm ³)	moyenne ρ_p (g/cm ³)
0,63	1	247.3	224.3	0.46	0.47
	2	261.9	238.9	0.47	
	3	264.7	214.7	0.48	

III.3.5.2 Détermination de la masse volumique absolue « ρ_s » NF P18 – 555

1. Généralité

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

2. Définition

La masse volumique absolue « ρ_s » est la masse par unité de volume de la matière qui constitue le granulat, sans tenir compte des vides pouvant exister dans ou entre les grains.

La masse volumique absolue a la même valeur que la densité d'un même matériau, la seule différence étant que la densité n'a pas d'unité [35].

3. Principe de l'essai

Cette méthode consiste à mettre dans une éprouvette graduée un volume d'eau V_1 et verser une masse M d'un échantillon sec en prenant soin d'éliminer aussi bien que possible les bulles d'air. Puis relever le nouveau volume V_2 et calculer la masse volumique par la relation :

$$\rho_s = M / (V_2 - V_1) \text{ en g/cm}^3$$

ρ_s : Masse volumique absolue ;

M : Masse du matériau étudié (échantillon sec) ;

V_1 : Volume d'eau ;

V_2 : Volume d'eau après introduction des granulats.

Matériels utilisés

- Une éprouvette graduée ;
- Une balance.



Figure III.14 :Masse volumique absolue.

Conduite de la mesure

- Remplir une éprouvette graduée avec un volume d'eau $V_1=500\text{cm}^3$;
- Peser un échantillon sec de granulat de masse M environ 400g de la classe granulaire 3/8, 0/5 et 200g de 8/15, et l'introduire dans l'éprouvette en prenant soin d'éliminer toutes les bulles d'air ;
- Le liquide monte dans l'éprouvette, lire le nouveau volume V_2 ;
- La masse volumique absolue est alors $\rho_s = M / (V_2 - V_1)$ en g/cm^3 .

Cet essai est effectué trois fois pour chaque échantillon, et on prendra la moyenne.

Les résultats obtenus sont inscrit dans les tableaux suivants :

Tableau III.10 : Mesure de la masse volumique absolue.

Type de granulat	N° de série	Volumes $V_2(\text{cm}^3)$	Masse volumique absolues ρ_s (g/cm^3)	moyenne $\rho_s(\text{g/cm}^3)$
Sable 0/5	1	650	2,66	2,66
	2	650	2,66	
	3	650	2,66	
Gravillon 3/8	1	650	2,66	2,66
	2	650	2,66	
	3	650	2,66	
Gravillon 8/15	1	560	2,66	2,66
	2	580	2,66	
	3	570	2,66	

III.4 ESSAIS EFFECTUES SUR CIMENT AVEC ET SANS ADDITION**III.4.1 Mesure des temps de début et fin de prise (NF P 15-431 et NF 18-356)**➤ **Objectif de l'essai**

- Il est nécessaire de connaître le début et fin de prise des pâtes de ciment (des liants hydrauliques) afin de pouvoir évaluer le temps disponible pour la mise en place correcte des mortiers et des bétons qui seront ensuite confectionnés ;
- Le début de prise est l'un des critères de classification des ciments ;
- Le mortier ou le béton doivent être transportés et mis en place avant le début de prise ;
- Le temps de début et fin de prise du béton sont en fonctions de ceux de la pâte de ciment. Ces temps dépendent de nombreux facteurs que l'on peut étudier en

laboratoire : influence du rapport E/C, du type de ciment utilisé, de la température, de l'humidité, des adjuvants, des propriétés de l'eau, du volume de béton, des granulats, du malaxage...

- Il importe donc de maîtriser et de pouvoir modifier ces paramètres pour permettre des utilisations variées des bétons.

➤ **Principe de l'essai**

L'essai consiste à suivre l'évolution de la consistance d'une pâte de ciment; le temps de début de prise est déterminé par observation de la pénétration d'une aiguille de 1.13 mm de diamètre et de 300g de masse dans une pâte de ciment au moment où elle atteint une valeur «d» du fond du moule telle que $d = 4 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$, le temps de fin de prise est atteint lorsque l'aiguille ne s'enfonce plus que de 0.5 mm dans la pâte[32].

➤ **Matériel nécessaire**

- Malaxeur normalisé ;
- Appareil de VICAT, l'appareil est composé d'un moule tronconique de 40 mm de hauteur et d'une tige coulissante équipée à son extrémité d'une aiguille de 1,13 mm de diamètre ;
- Balance précise à 0,1 g près ;
- Chronomètre précise à 0,1 s près ;
- Spatule.



Figure III.15 : Appareil de Vicat



Figure III.16 : Malaxeur

➤ **Matériaux utilisés**

- Ciment de type CEM II/ A-L 42.5N ;
- Fine calcaire ;

- Cendre de grignon d'olive ;
- Eau.

➤ **Mode opératoire**

- Régler l'appareil de Vicat muni de l'aiguille par abaissement de celle-ci jusqu'à la plaque de base plane et par ajustement du repère au zéro de l'échelle ;
- Relever l'aiguille en position d'attente ;
- Préparer la pâte de ciment comme pour l'essai de consistance en introduisant la quantité d'eau déterminée pour la pâte de consistance normalisé ;
- Introduire rapidement la pâte dans un moule tronconique sans tassement excessif (le moule étant placé sur la plaque de base plane) et placer l'ensemble dans l'axe de la sonde de l'appareil de Vicat ;
- Amener l'aiguille a la surface de l'échantillon ;
- Lâcher l'aiguille sans vitesse initiale, cette dernière s'enfonce dans la pâte. Lorsqu'elle est immobilisée (ou après 30 s d'attente), relever la distance **d** séparant l'extrémité de l'aiguille de la plaque de base ;
- Recommencer l'opération a des intervalles de temps convenablement espacés (10-15) min jusqu'à ce que **d=4mm±1 mm** (nettoyer l'aiguille à chaque opération).

Le tableau ci-dessous représente la composition de chaque pate utilisée :

Tableau III.11 : Les constituants des pâtes utilisées

Rapport E/C=0,35				
Pates	ciment (g)	Eau (g)	Fine calcaire(g)	Cendre de GO (g)
1	400	140	0	0
2			40	0
3			0	40

La figure suivante présente le temps de début et fin de prise des différentes pâtes utilisées

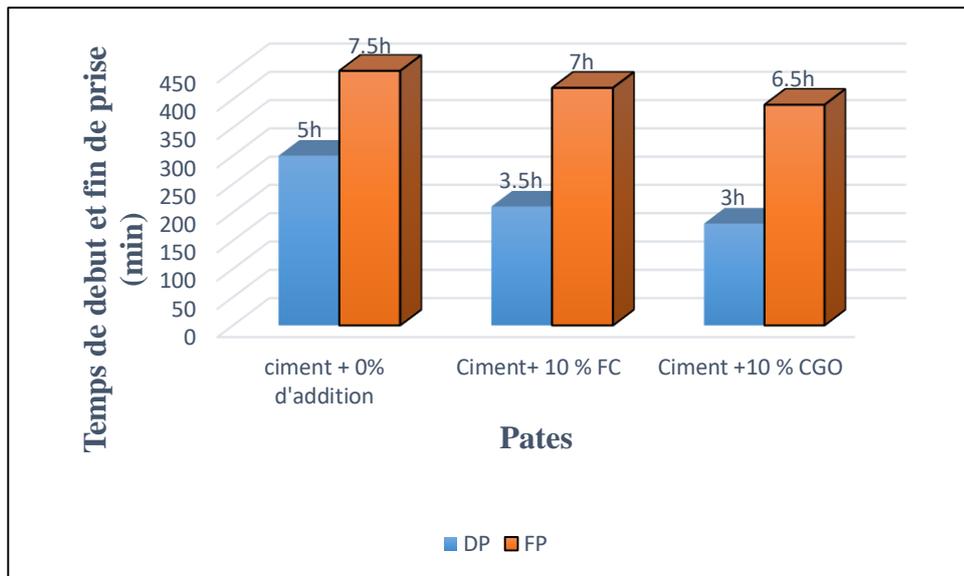


Figure III.17 : Temps de début et fin de prise

Interprétation des résultats

D'après l'histogramme ci-dessus le début et la fin de prise des 2 échantillons (ciment +10% de CGO et ciment +10% de FC) sont inférieurs à ceux de l'échantillon témoin, probablement les CGO et les FC influent sur la chaleur d'hydratation du ciment. Les CGO et les FC adsorbent et absorbent l'eau de gâchage en raison de leur porosité et de leur finesse.

L'eau de gâchage est un paramètre important sur le début et la fin de prise.

III.4.2 Mesure de la température avec un calorimètre

Objectifs

Le but de l'essai consiste à déterminer l'influence des cendres de grignon d'olives sur la température de la chaleur dégagée lors de l'hydratation du ciment.

Matériel nécessaire

- Un calorimètre ;
- Un récipient ;
- Une balance ;
- Une spatule.



Figure III.18 : Calorimètre

Méthode

La composition de la pâte pour mesurer la température de la chaleur d'hydratation du ciment Portland et ciment prompt. Le ciment prompt dégage beaucoup de chaleur son utilisation dans ce travail est motivée par cette grande chaleur. Pour mieux voir la différence avec le ciment Portland.

Remarque

Le rapport E/C= 0.5.

Ciment Portland à 0% d'addition

Ciment M=200 g.

Eau M=100g.

Ciment Portland +10% de CGO

Ciment..... M=200 g.

Eau M=100g.

CGO..... M=20g.

Ciment Portland +10%de fine calcaire

Ciment M=200 g.

Eau M=100g.

FC M=20g.

Ciment prompt à 0% d'addition

Ciment prompt M=200 g.

Eau.....M=100g.

Ciment prompt +10% de CGO

Ciment prompt M=200 g.

Eau.....M=100g.

CGO.....M=20g.

Ciment prompt +10%de fine calcaire

Ciment promptM=200 g.

EauM=100g.

FCM=20g.

Mode opératoire

- Mettre le ciment dans le thermos puis l'eau lors du malaxage pendant 1 min ;
- Installation du thermomètre pour mesurer les températures.

Les résultats de cet essai se résument sur les tableaux et les graphes ci-dessous :

Tableau III.12: L'évolution de la température de chaleur d'hydratation des différentes pâtes du ciment Portland avec et sans addition.

Temps (min)	Température (°C)		
	ciment +0% d'addition	ciment +10% FC	ciment +10% CGO
0	19,900	19,900	19,900
20	20,400	20,478	20,398
40	20,590	20,630	20,603
60	20,701	20,775	20,735
80	20,785	20,893	20,840
100	20,850	20,993	20,962
120	20,911	21,142	21,001
140	20,961	21,206	21,069
160	21,006	21,266	21,133
180	21,051	21,324	21,196
200	21,101	21,379	21,258
220	21,158	21,439	21,326
240	21,223	21,513	21,399

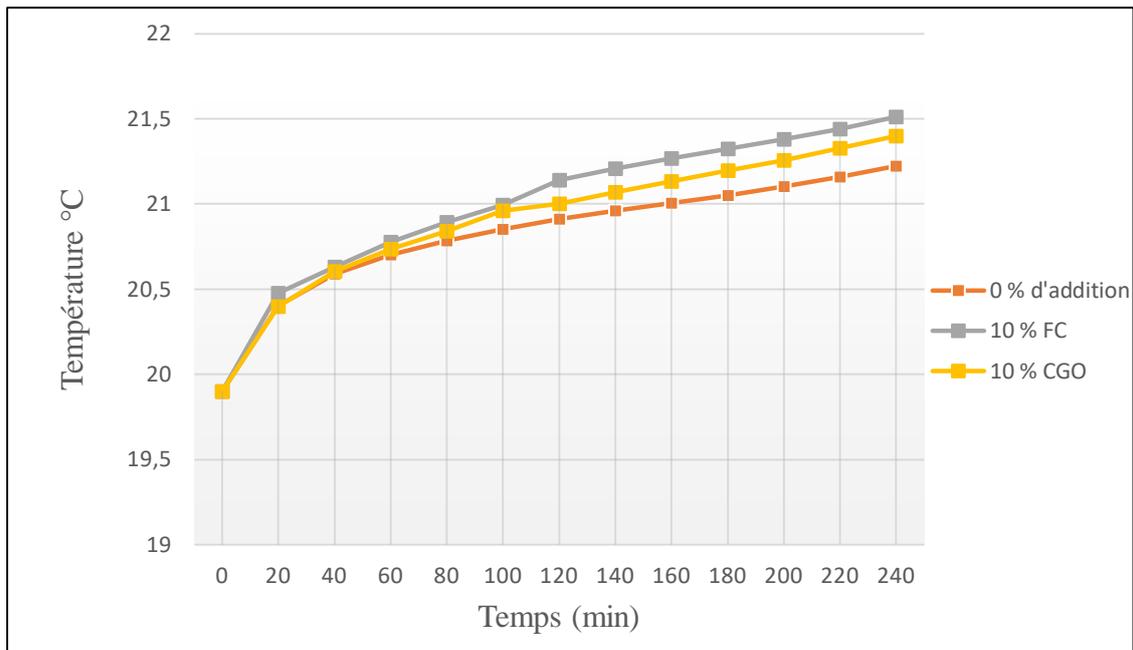


Figure III.19 : Comparaison de l'évolution de la température de chaleur d'hydratation des différentes pâtes de ciment Portland avec et sans addition.

Tableau III.13 : L'évolution de la température de chaleur d'hydratation des différentes pâtes du ciment prompt avec et sans addition.

Temps (min)	Température (°C)		
	ciment prompt +0% d'addition	ciment prompt +10% FC	ciment prompt +10% CGO
1	20,800	20,198	20,680
2	23,176	23,685	23,886
3	25,112	25,850	26,583
4	27,959	29,512	30,827
5	30,850	33,602	34,433
6	34,712	37,069	37,610
7	36,900	39,650	40,230
8	38,300	41,639	42,130
9	39,260	43,076	43,553
10	39,932	44,194	44,648

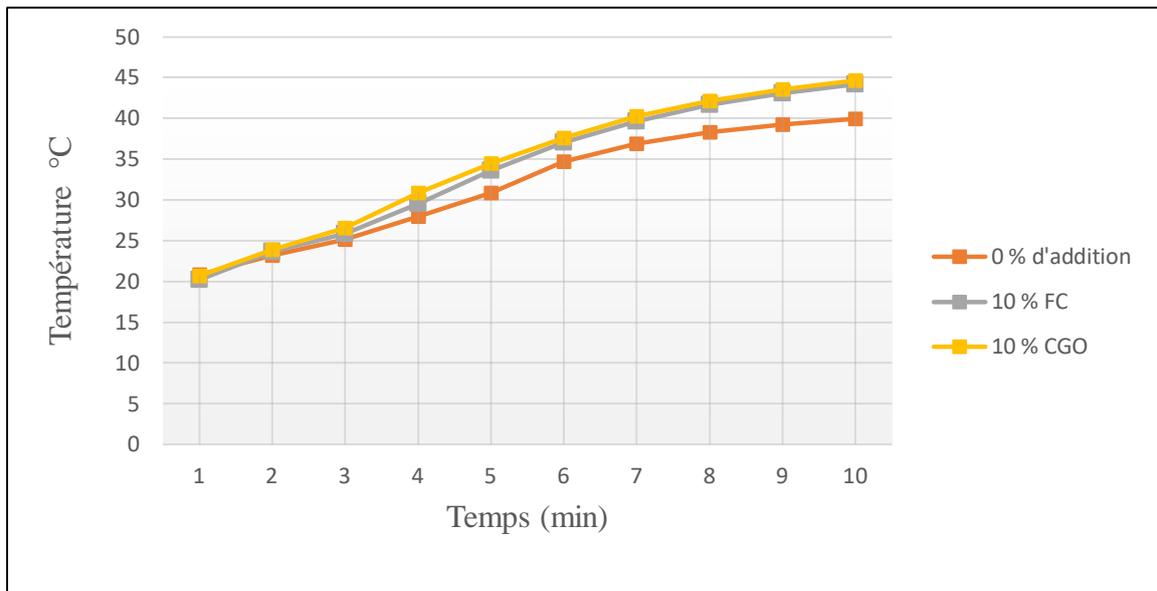


Figure III.20 : Comparaison de l'évolution de la température de chaleur d'hydratation des différentes pâtes de ciment prompt avec et sans addition.

Interprétation des résultats

A 240 min le ciment sans addition présente une faible température par rapport aux ciments avec les FC et le CGO (Figure III.19). La raison de cet écart est la présence d'une quantité d'eau suffisante dans la pâte de ciment Portland sans addition. Contrairement au ciment avec addition où l'eau est absorbé et adsorbé par les particules fines calcaires et du grignon d'olive calciné.

Le même phénomène est observé avec le ciment prompt (Figure III.20). Ces résultats confirment les résultats d'essai de Vicat, l'eau est effectivement un paramètre influant sur la température d'hydratation du ciment et par conséquent sur la prise de ce dernier.

Quand il y'a suffisamment d'eau dans le ciment la prise est retardée en raison de la faible température du mélange.

III.5 ANALYSE CHIMIQUE ET MINÉRALOGIQUE

III.5.1 Analyse chimique

III.5.1.1 Analyse chimique du grignon d'olive

L'analyse chimique du grignon d'olive montre qu'il est composé principalement de cellulose, de lignine et d'hémicellulose et d'une petite quantité de cendres et de matières grasses [31].

Le tableau ci-après résume la composition chimique du grignon d'olive :

Tableau III.14 : Composition chimique du GO [17]

	Lignine (%MS)	Cellulose (%MS)	Hémicellulose (%MS)	Cendres (%MS)	Matières grasses (%MS)
Teneur en (%)	22,61	33,42	15,12	2,41	3,47

III.5.1.2 Analyse chimique du ciment

Le ciment utilisé est le ciment CEM II/ A-L42.5N fabriqué par la société des ciments D'AIN EL KEBIRA « S.C.A.E.K ». Toutes les caractéristiques de ce ciment sont données dans l'annexe A.

III.5.2 Analyse minéralogique

La diffraction à rayon X permet d'avoir la composition minéralogique d'une matière finement broyée. Elle fournit un diffractogramme représentant un ensemble de raies qui manifestent les réflexions des rayons X sur les plans d'organisation des éléments Al, Si, O, OH dans le réseau cristallin. Certaines raies marquent la réflexion des rayons X à la surface de chaque feuillet ; elles mesurent la distance réticulaire « d » entre deux surfaces [31].

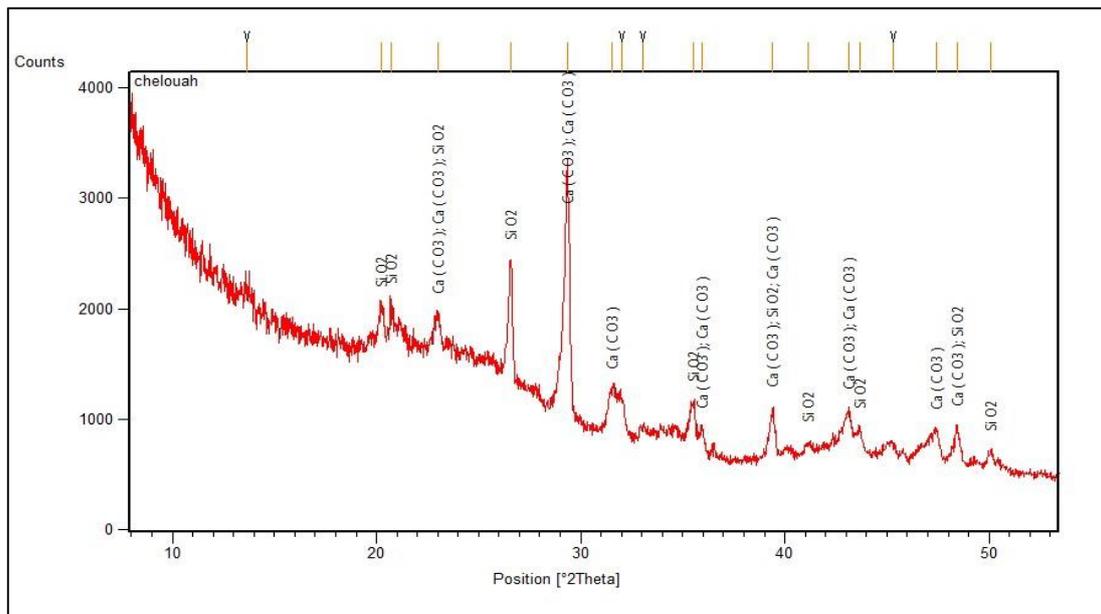


Figure III.21 : Diffractomètre de CGO utilisée.

Interprétation des résultats

La figure III.21 montre plusieurs pics de SiO_2 à différents position. Ces pics nous renseignent sur la structure minéralogique de SiO_2 qui est cristalline.

Les phases cristallines ne réagissent pas avec le ciment en présence de l'eau (pas de réaction pozzolanique).

III.6 CONCLUSION

La connaissance des caractéristiques des différents matériaux utilisées nous ont permis de les introduire dans la formulation des bétons. Ces caractéristiques nous ont permis aussi de confirmer les résultats des essais réalisés.

La partie expérimentale suivante nous illustre les différentes formulations de béton réalisées pour obtenir une résistance à la compression souhaitée.

Chapitre IV

FORMULATION DES BETONS ET ESSAIS

IV.1 INTRODUCTION

Le béton est un mélange dont la composition a une grande influence sur ses caractéristiques; mais si les caractéristiques attendues sont dans la plus part du temps bien définies, la mise au point d'un béton approprié peut s'avérer plus délicat. Les paramètres sont en effet nombreux:

- les données du projet : caractéristiques mécaniques, dimensions de l'ouvrage, ferrailage...
- les données du chantier : matériel de mise en œuvre, conditions climatiques...
- les données liées aux propriétés du béton : maniabilité, compacité, durabilité, aspect...

On mesure donc l'importance de l'étude de la formulation du béton, d'autant plus nécessaire que les caractéristiques requises sont élevées.

IV.2 DETERMINATION DE LA COMPOSITION DU BETON AVEC ADDITION

IV.2.1 Principe de la formulation des bétons

L'étude de la composition d'un béton, consiste à définir le mélange optimal des différents granulats dont on dispose, ainsi que le dosage en ciment, et en eau afin de réaliser un béton présentant de bonnes caractéristiques rhéologiques telles que (ouvrabilité, maniabilité résistance à la ségrégation) à l'état frais, et les meilleures caractéristiques à l'état durci (résistance à la compression) [38]. Il est bon de se rappeler que l'objectif de la formulation est de confectionner le béton le plus économique, et donnant satisfaction à l'état frais ainsi qu'à l'état durci. Les principales données du problème de la composition des bétons se résument à :

- La dimension maximale des granulats ;
- L'ouvrabilité, qui peut être défini par la plasticité mesurée au cône d'Abrahms ;
- La résistance à la compression qui peut être défini par l'écrasement d'éprouvettes cubiques réalisées avec le béton en question. Ce sont d'ailleurs là, trois données qui sont à préciser lorsqu'on passe commande d'un béton à une centrale à béton prêt à l'emploi.

IV.2.2 But de l'étude de la composition des bétons

L'étude d'une composition de béton consiste toujours, à rechercher conjointement deux qualités essentielles : résistance et ouvrabilité; or ces deux qualités sont étroitement liées l'une à l'autre quant aux facteurs dont elles dépendent, mais elles varient en sens inverses comme l'indique le tableau suivant :

Tableau IV. 1 : Variation de l'ouvrabilité et de la résistance en fonction des facteurs de la composition du béton [38].

Facteurs de composition du béton	Pour une bonne ouvrabilité	Pour une bonne résistance
Finesse du sable	Plutôt fin	Plutôt grossier
Rapport G/S (gravier/sable)	A diminuer	A augmenter
Dosage en eau	A augmenter	A diminuer
Granularité	Continue préférable	Discontinue préférable
Dimension max, des Granulats	Plutôt petite	Plutôt forte

IV.3 DETERMINATION DE LA COMPOSITION DU BETON AVEC ADDITION (0%et 10%)

IV.3.1 Formulation du béton [39]

Teneur en mortier (ciment + sable 0/5+ eau+vide) = 600 litres/m³ de béton ;

Teneur en granulat 3/8 mm = 200 litres/m³ de béton ;

Teneur en granulat 8/15 mm=200 litres/m³ de béton.

Donc la teneur en mortier + teneur en granulat 3/8 mm+ teneur en granulat 8/15 mm = 1000 litres =1m³ de béton.

IV.3.2 Calcul des quantités des composants du béton normal

Teneur en mortier (ciment + sable 0/5 + eau+ vide) = 600 litre/m³ du béton.

Dosage du ciment = 350Kg/m³.

E/C = 0,5

$\rho_{ciment} = 3,1 \text{ Kg/dm}^3$.

IV.3.2.1 Calcul du volume des granulats

$V_{sable} = 600 - (350/3,1) - (175/1) - 20 = 292,1 \text{ litres/m}^3$ du béton.

$V_{gravillon} \text{ } 3/8 = 200 \text{ litres/m}^3$.

$V_{gravier} \text{ } 8/15 = 200 \text{ litres/m}^3$.

IV.3.2.2 Calcul des masses volumiques des granulats

$\rho_{sable} = 2,6 \text{ Kg/dm}^3$.

$\rho_{gravillon} \text{ } 8/15 = 2,6 \text{ Kg/dm}^3$.

$\rho_{gravier} \text{ } 8/15 = 2,6 \text{ Kg/dm}^3$.

IV.3.2.3 Calcul des masses des constituants pour 1 m³ du béton

$$\begin{aligned} M_{sable} &= 292,1 \text{ litres/m}^3 \times 2,6 \text{ Kg/dm}^3 \\ &= 292,1 \text{ dm}^3/\text{m}^3 \times 2,6 \text{ Kg/dm}^3 \\ &= 759,46 \text{ Kg/m}^3 \end{aligned}$$

$$M_{gravillon} \text{ } 3/8 = 200 \times 2,6 = 520 \text{ Kg/m}^3$$

$$M_{gravier} \text{ } 8/15 = 200 \times 2,6 = 520 \text{ Kg/m}^3$$

$$M_{eau} = 175 \text{ Kg/m}^3$$

$$M_{ciment} = 350 \text{ Kg/m}^3$$

IV.3.3 Calcul du poids massique des constituants**➤ Béton normal :**

$$\text{Masse volumique fraiche} = \sum \text{Composants} = 2324,46 \text{ Kg/m}^3$$

Tableau IV. 2 : Poids des constituants du béton normal.

Composition	Masse volumique en (Kg/m ³)	Poids de chaque composant en (Kg)
Sable 0/5	759.46	15.18
Gravillon 3/8	520	10.40
Gravier 8/15	520	10.40
Ciment	350	7
Eau	175	3.5
Adjuvant 0.5%	1.75	0.035

➤ **Béton avec ajout des cendres du grignon d'olive :**

Masse volumique fraîche = \sum Composants = 2362.96 Kg/m³

Tableau IV. 3 : Poids des constituants du béton avec ajout des cendres du grignon d'olive.

Composition	Masse volumique en (Kg/m ³)	Poids de chaque composant en (Kg)
Sable 0/5	759.46	15.18
Gravillon 3/8	520	10.40
Gravier 8/15	520	10.40
Ciment	350	7
Eau	175	3.5
Adjuvant 1%	3.5	0.07
Cendres du grignon d'olive (10% du poids du ciment)	35	0.7

➤ **Béton avec ajout des fines calcaires :**

Masse volumique fraîche = \sum Composants = 2362.96 Kg/m³

Tableau IV. 4 : Poids des constituants du béton avec ajout des fines calcaires.

Composition	Masse volumique en (Kg/m ³)	Poids de chaque composant en (Kg)
Sable 0/5	759.46	15.18
Gravillon 3/8	520	10.40
Gravier 8/15	520	10.40
Ciment	350	7
Eau	175	3.5
Adjuvant 1%	3.5	0.07
Fines calcaires (10% du poids du ciment)	35	0.7

Interprétation des résultats

Le dosage en adjuvant dans le béton normal est inférieur au dosage du béton avec ajout de 10% des fines calcaires et le béton avec ajout de 10% des cendres du grignon d'olive. L'eau adsorbée et absorbée par les fines calcaires et les CGO diminue la quantité d'eau de gâchage destinée à assurer une bonne maniabilité.

IV.4 CONFECTION DES EPROUVETTES ET CURE

IV.4.1 Gâchées du béton

Une fois la teneur des composants en kg/m³ est connue, le poids des constituants de la gâchée du béton à réaliser est fixé à 0,02m³ afin de réaliser l'essai d'affaissement au cône d'Abrams et remplir les 03 éprouvettes cubiques (15*15*15) cm³.

Les constituants sont introduits dans la bétonnière de 40 litres de capacité dans l'ordre suivant :

Mélanger le gravillon 3/8 mm + le gravier 8/15 mm + le sable 0/5 mm + le ciment + l'addition (selon le type de béton à réaliser) + 2/3 d'eau : temps de malaxage 1 minute.

Ajouter le 1/3 d'eau mélangée avec l'adjuvant : temps de malaxage 2 minutes. Pour chaque type de béton nous réalisons 3 éprouvettes.

IV.4.2 Moules pour éprouvettes

Les moules utilisés dans notre étude sont des moules cubiques. Leurs dimensions doivent être choisies en fonction du diamètre maximal des granulats (D) entrant dans la composition du béton. Pour notre travail, nous allons utiliser des moules de $(15*15*15)$ cm^3 .



Figure IV.1 : Moules cubiques.

IV.4.3 Remplissage des moules

Les bétons réalisés ont été confectionnés conformément selon la norme en vigueur. Une fois le malaxage terminé, nous avons effectué l'essai d'affaissement. Après l'essai d'affaissement, les éprouvettes cubiques $(15* 15*15)$ cm^3 ont été remplies de béton frais. Ensuite les moules remplis ont été vibrés à l'aide d'une table vibrante jusqu'à ce qu'on ne voit plus de bulles d'air montées en surface. Cette vibration du béton permettra aussi au béton de se mettre en place. A la fin le béton est arasé par une règle métallique afin d'avoir une surface plane.



Figure IV.2 : Vibration du béton.



Figure IV.3 : Apparition de bulles d'air



Figure IV.4 : Remplissage des moules.

IV.4.4 Conservation des éprouvettes

Après vibration et arasage du béton frais les éprouvettes sont recouvertes de matière plastique pendant 24 heures afin d'éviter l'évaporation d'eau qui peut entraîner des fissures dues au retrait. Après le démoulage les éprouvettes sont plongées dans l'eau à une température de 20°C pendant 7 jours suivant la norme DIN1045 afin d'assurer une bonne hydratation du ciment. Après 7 jours les éprouvettes sont exposées à l'air ambiant et les masses volumiques sont mesurées en parallèle c'est-à-dire à 7 jours, 14, 21 et 28 jours.



Figure IV.5 : Conservation des éprouvettes.

IV.5 ESSAIS REALISES SUR LES BETONS

IV.5.1 Béton frais

IV.5.1.1 Maniabilité des bétons norme P18 – 451

Elle se mesure au moyen du cône d'ABRAHMS par essai d'affaissement. Cet essai est particulièrement apte à déceler les variations de teneur en eau et de déterminer l'influence de la composition des bétons (E/C, proportion des granulats, actions d'adjuvant, les additions) sur la facilité de mise en place, c'est-à-dire la maniabilité et aussi tester donc la consistance des bétons.

Principe de l'essai

Il s'agit de constater l'affaissement d'un cône de béton sous l'effet de son propre poids. Plus cet affaissement sera grand plus le béton sera réputé fluide.

Appareil utilisé

- L'appareillage utilisé est composé ;
- D'un cône, dont les dimensions intérieures sont : $d = 100 \text{ mm}$, $D = 200 \text{ mm}$;
- D'une plaque de base ;
- D'une tige piquante en acier de 600 mm de longueur et de 16 mm de diamètre;
- D'un portique et d'une règle pour mesurer l'affaissement ;
- D'une truelle pour manipuler le béton.



Figure IV.6 : Cône d'Abrahms.

Mode opératoire :

- Humidifier la surface d'appui et y placer le moule tronconique ;
- Introduire le béton en trois couches successives en piquant chaque couche, 25 coups à l'aide d'une barre d'acier ;
- Araser à l'aide d'une truelle ;
- Démouler immédiatement en soulevant le moule avec précaution ;
- Attendre 1 mn et mesurer l'affaissement à l'aide d'un portique et de la règle graduée ;
- Nettoyer la plaque d'appui et le moule.

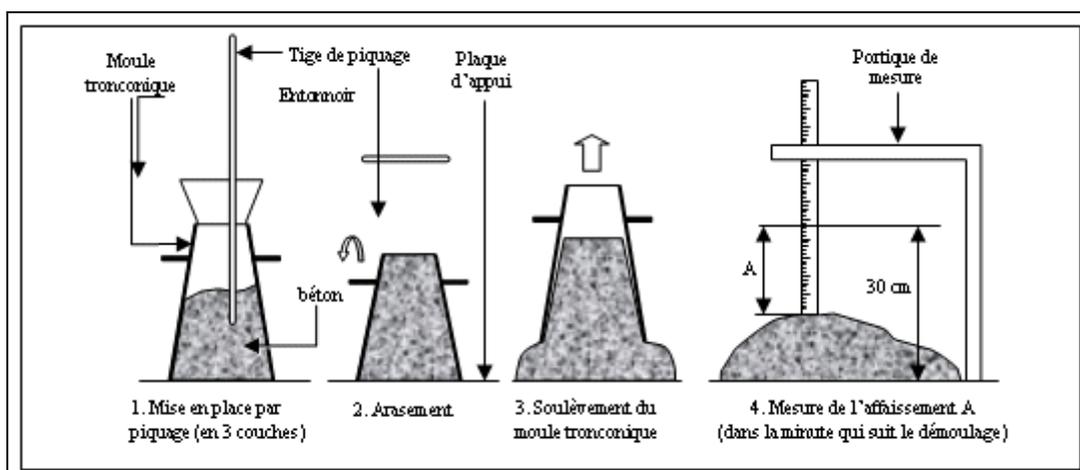


Figure IV.7 : Schéma explicatif de l'essai d'affaissement au cône d'Abrahms.

Remarque

L'essai d'affaissement au cône d'ABRAHMS (NF P 18 – 451), s'applique aux bétons, dont les granulats ont une granulométrie inférieure ou égale à 40 mm

L'affaissement est mesuré par la différence de hauteur entre le moule et le niveau supérieur du béton après démoulage. Le résultat obtenu permet ainsi de classer les bétons. Cependant, il est évident qu'il ne peut concerner les bétons trop fermes dont l'affaissement n'est plus mesurable.

Le tableau suivant donne une classification des bétons et la puissance de serrage nécessaire pour les mettre en œuvre.

Tableau IV. 5 : Evaluation de la consistance en fonction de l'affaissement (NF P 18-305).

Mise en œuvre	Affaissement	Béton
Vibration puissante	0 – 2	Très ferme
Bonne vibration	3 – 5	Ferme
Vibration courante	6 – 9	Plastique
Piquage	10 – 13	Mou
Léger piquage	≥ 14	Liquide

Tableau IV.6 : Classes d'affaissement (NF P 18-305).

Consistance	Ferme	Plastique	Très plastique	Fluide
Affaissement en (cm)	≤ 4	5 à 9	10 à 15	≥ 16
Notation	F S1	P S2	TP S3	FL S4

Remarque

Les classes sont notées S1, S2, S3, S4 et appelées classe d'affaissement S qui rappelle ici l'initiale du nom de l'essai en anglais : **Slump test**.

Les résultats sont récapitulés dans le tableau suivant :

Tableau IV. 7 : Résultats de l'essai d'affaissement

Mélange	BN	BCGO	BFC
Affaissement en cm	12.5	13	17

Interprétation des résultats

- Béton ordinaire : ($10 \text{ cm} \leq A \leq 15 \text{ cm}$) → très plastique ;
- BCGO : ($10 \text{ cm} \leq A \leq 15 \text{ cm}$) → très plastique ;
- BFC : $A \geq 16$ → fluide.

La norme NF P18 – 305 définit les même classes d'affaissement mais les note F, P, TP et FL (ferme, plastique, très plastique et fluide).

IV.5.1.2 Masse volumique fraîche

Après démoulage, les éprouvettes ont été pesées à l'aide d'une balance afin de calculer la masse volumique à l'état frais. Les masses volumiques du béton ont été comparées aux masses volumiques théoriques qui sont la somme de tous les constituants du béton à malaxer par m^3 du béton.

Les éprouvettes 1, 2, 3 correspondent au béton ordinaire, les éprouvettes A, B, C, correspondent au béton avec cendres du grignon d'olive, et les éprouvettes 4, 6, 9 correspondent au béton avec ajout des fines calcaires. Le volume d'une éprouvette ($15 \times 15 \times 15$) cm^3 est égal à 0.003375m^3 .

Une fois les pesées des moules remplis de béton frais effectuées, les résultats des masses volumiques fraîche obtenus sont indiqués dans le tableau suivant :

Tableau IV. 8 : Résultats des masses volumiques pratiques.

Type de béton	Série d'éprouvettes	Masse volumique fraîche (Kg/dm ³)	ρ_{moyen} (Kg/dm ³)
BN	1	2,528	2,512
	2	2,505	
	3	2,504	
BCGO	A	2,378	2,4
	B	2,379	
	C	2,444	
BFC	4	2,486	2,487
	6	2,523	
	9	2,453	

IV.6 BETON DURCI

Le béton durci est un matériau hétérogène : un squelette de granulats gros et fins est enveloppé et lié par un tissu de fibres d'hydratés de ciment. La qualité du béton à l'état durci dépend des caractéristiques du squelette pierreux, de la pâte de ciment durcie, et de l'adhérence entre les deux.

En général la résistance des matériaux est sa capacité contre les actions des forces externes (les charges, les conditions d'ambiance) étant définie en contrainte maximale quand l'échantillon est détruit.

Il existe deux méthodes pour déterminer la résistance des matériaux : Méthode «destructive d'échantillons» et méthode « non destructive d'échantillons». Dans notre étude nous allons appliquer la méthode destructive [40].

IV.6.1 Mesure de la masse volumique apparente moyenne du béton durci

(EN 12390-7)

Nous allons déterminer la masse volumique apparente d'un béton en fonction du temps, à partir des éprouvettes cubiques conservées dans l'eau pendant 7 jours puis retirées et exposées à l'air libre pendant 21 jours en mesurant la variation des masses volumiques des éprouvettes chaque semaine aux conditions de conservation.

Le tableau suivant nous donne l'évolution de la masse volumique en fonction du temps

Tableau IV.9 : Evolution de la masse volumique en fonction du temps.

Types de béton	Masse volumique (Kg/dm ³)			
	0 jours	1 jour	7 jours	28 jours
BO	2,512	2,434	2,453	2.413
BCGO	2,400	2,395	2,420	2.373
BFC	2,487	2,425	2,440	2.397

IV.7 Essai de résistance à la compression à 28 jours NF P 18-406

IV.7.1 Définition, but et principe

La résistance est la qualité essentielle recherchée dans un béton, afin de déterminer cette dernière, nous avons mesuré la résistance à la compression des éprouvettes à l'aide d'une presse électrique de type CONTROLS, avec une descente de charge de 10KN/S.

Le principe de l'essai de compression est de soumettre une éprouvette cubique à une force croissante et constante jusqu'à rupture de celle-ci afin de déterminer sa résistance à la compression.

La compression est dite simple et elle est appliquée à l'axe des éprouvettes

$$F_c = \frac{P}{S} \quad (\text{N/mm}^2)$$

P : la charge maximale en **N** ;

S : la section de l'éprouvette en **mm²**.

IV.7.2 Paramètres influant sur la résistance

De nombreux paramètres jouent un rôle très important sur les caractéristiques mécaniques et rhéologiques du béton. Parmi ces paramètres, nous avons :

- L'âge du béton ;
- La nature et le dosage en ciment ;
- La nature minéralogique des granulats ;
- L'adhérence de la pâte aux granulats (interface (ciment /granulat)) ;
- Le dosage en eau ;
- La température ;
- L'humidité ; Les conditions de mise en œuvre et la qualité de contrôle sur chantier .

Matériel utilisé

Cet essai nécessite l'emploi d'une presse.

Conduite de l'essai

- Centrer l'éprouvette sur le plateau de la presse ;
- Appliquer une charge de façon continue jusqu'à la rupture de l'éprouvette ;
- Relever la valeur indiquée par la presse ;
- Calculer la résistance à la compression à 28 jours.



Figure IV. 8 : Essai de compression.

Résultat de la compression

Les essais de la compression ont été effectués au bout de 28 jours de prise au niveau du laboratoire de béton au sein de l'université de Bejaia.

Tableau IV.10 : Résistance à la compression à 28 jours.

Types de béton	Résistances à la compression à 28 j (MPa)	Résistances à la compression moyenne à 28j (MPa)
BO	43.320	46.660
	46.946	
	49.710	
BCGO	46.613	48,50
	43.880	
	55	
BFC	48.87	47.06
	48.58	
	43.44	

IV.8 MASSE VOLUMIQUE SECHE

Masse volumique sèche à 28 jours

Calcul de la masse volumique sèche à 28 jours

Pour calculer la masse volumique sèche, il suffit de suivre les étapes suivantes :

- Après écrasement des éprouvettes, à l'aide de la machine de compression, un échantillon de béton est immédiatement récupéré et peser ;
- Laisser l'échantillon dans une étuve à 105°C et lui effectuer des pesées jusqu'à ce que la masse soit constante[41], [42].

Connaissant la masse d'une éprouvette à 28 jours d'âge et son volume (15*15*15) cm³, et la masse de l'échantillon prélevé avant et après étuvage, nous avons effectué un calcul par la règle de trois la masse volumique sèche.

Exemple de calcul

Béton ordinaire

- La masse moyenne des éprouvettes à 28 jours d'âge (avant écrasement est égale à 8.145 Kg) ;
- La masse moyenne des échantillons récupérés (après écrasement des éprouvettes et avant leurs étuvages) est égale à 0.3338 Kg ;
- La masse moyenne des mêmes échantillons après étuvage est égale à 0.3197 Kg.

Il est donc possible de déduire la masse de l'éprouvette après étuvage.

Soit «M'1» sa masse, on aura :

Avant étuvage Après étuvage

M1=8.145 Kg.....M'1 = 7.800 Kg.

M2=0.3338 KgM'2= 0.3197 Kg.

Les résultats de calcul des masses volumiques sèches des bétons sont représentés dans les tableaux suivants :

Tableau IV.11 : Masses volumiques sèches des bétons.

Types de béton	N° d'éprouvette	$\rho_{sèche}$ (Kg/dm ³)	$\rho_{sèche\text{moyen}}$ (Kg/dm ³)
BO	1	2,35	2,39
	2	2,4	
	3	2,4	
BCGO	A	2,28	2,34
	B	2,37	
	C	2,37	
BFC	4	2,36	2,39
	6	2,41	
	9	2,41	

IV.9 CONCLUSION

Dans ce chapitre nous avons testé l'essai de compression du béton. Cet essai conduit à une meilleure compréhension de la formulation du béton et les caractéristiques physiques et mécaniques diverses de ce dernier.

Après avoir présenté la méthode de formulation que nous avons utilisée durant cette étude, nous allons présenter dans le prochain chapitre les résultats obtenus durant nos différentes expérimentations ainsi que les discussions associées.

Chapitre V

ANALYSE ET DISCUSSION DES RESULTATS

V.1 INTRODUCTION

Dans ce dernier chapitre nous présentons les résultats des différents essais effectués au laboratoire sur les trois types de bétons (0% d'addition, 10% de cendres du grignon d'olive, 10% de fines calcaires) et cela à l'état frais et durci.

Ces résultats portent sur l'essai d'affaissement, l'évolution de la masse volumique fraîche au moment de la confection, après 24 heures, 7, 14, 21, 28 jours. L'évolution de la résistance mécanique (compression) à 28 jours et enfin l'évolution de la masse volumique sèche.

V.2 ESSAIS SUR LE BETON FRAIS

V.2.1 Essais d'affaissement

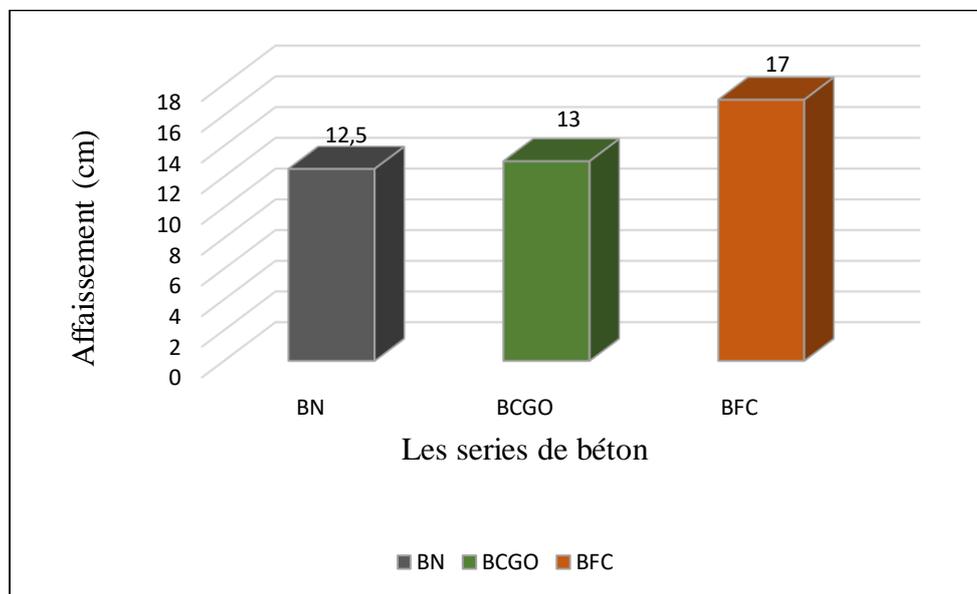


Figure V.1 : Variation de l'affaissement.

Interprétation des résultats

Cet essai est exécuté sur le béton frais pour mesurer l'ouvrabilité du béton. Les valeurs de l'affaissement obtenues montrent que :

Pour un rapport $E/C = 0,5$; la consistance obtenue est très plastique pour le béton sans addition (0%) et le béton avec 10% de CGO par contre le béton avec 10% de FC la consistance est fluide. Cela revient à la nature, la finesse de l'addition ajoutée et le dosage en adjuvant.

L'introduction d'un adjuvant plastifiant permet d'avoir une consistance fluide grâce à ses propriétés qui améliorent la fluidité et augmentent la maniabilité.

V.3 ESSAIS SUR BETON DURCI

V.3.1 Mesure de la masse volumique

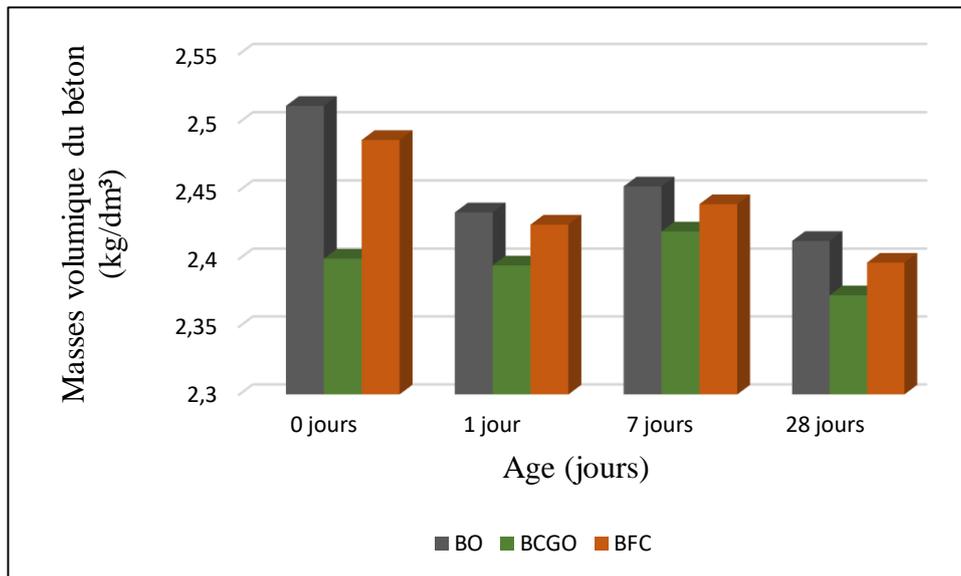


Figure V.2 : Evolution des masses volumiques en fonction du temps

Interprétation des résultats

A partir des histogrammes ci-dessus, nous remarquons que :

Après 24 heures d'exposition à l'air libre une diminution de la masse volumique de tous les bétons est observée. Une faible quantité d'eau s'est évaporée pour les bétons avec addition, par contre pour les bétons sans addition l'évaporation d'eau est légèrement supérieure. Cela revient à une quantité d'eau de gâchage beaucoup plus importante par rapport aux bétons avec addition.

A partir du 7^{ème} jours au 28^{ème} jours, les éprouvettes sont exposé a l'air libre un départ d'eau est observée pour tous les bétons.

V.3.2 Essai de compression

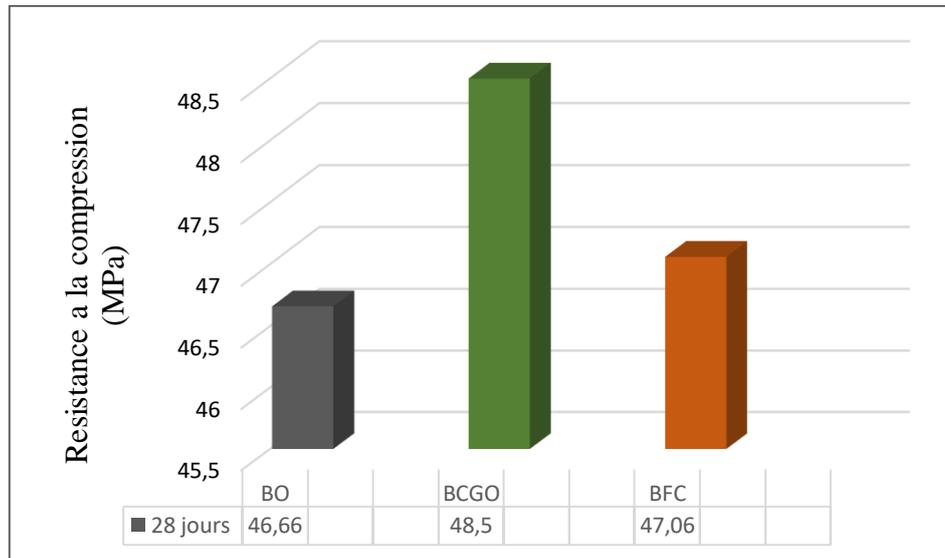


Figure V.3 : Résistance à la compression en fonction des différentes séries du béton.

Interprétation des résultats

D'après les histogrammes ci-dessus nous remarquons que la résistance du béton avec 10% de cendres du grignon d'olive est supérieure à celle du béton sans addition et du béton avec 10% de fines calcaires. Les cendres du grignon d'olive ont un apport positif sur la résistance. Ces cendres ont obturés les vides existants dans le béton et ils ont diminué la quantité d'eau (E/C) de gâchage par leurs comportements d'absorption et d'adsorption.

V.4 CONCLUSION

Les résultats obtenus dans cette étude peuvent mener aux conclusions suivantes :
L'introduction de 10% de cendres du grignon d'olive permet au béton de développer une résistance supérieure à celle du béton témoins et du béton avec 10% de fines calcaires au 28^{ème} jour. L'emploi d'un adjuvant plastifiant donne des meilleures résistances à 28 jours.

**CONCLUSION GENERALE
ET PERSPECTIVES**

CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES

Le béton est l'un des matériaux de construction les plus utilisés dans le monde, il fait partie de notre cadre de vie. C'est un matériau très demandé et son utilisation ne cessera pas de croître au cours des années à venir. Afin d'assurer la croissance de ce matériau de construction indispensable, l'approche du développement durable doit être intégrée à la production du ciment et du béton.

Le sujet de notre mémoire de fin d'étude s'est articulé autour de la formulation des bétons avec addition et leurs propriétés, confectionnés à partir d'une gamme de constituants disponibles à la wilaya de Bejaia : les grignons d'olives de l'établissement agroalimentaire de SEDDOUK, les fines calcaires de LOTHASOUK EL-TENINE.

Plusieurs paramètres, intervenant dans la formulation du béton peuvent améliorer la résistance à la compression du béton à long terme. Sur la base des résultats de cette étude expérimentale, les conclusions suivantes peuvent être tirées :

- Les CGO et les FC influent sur la chaleur d'hydratation du ciment.
- Les CGO et les FC adsorbent et absorbent l'eau de gâchage en raison de leurs porosités et de leurs finesses.
- L'eau est un paramètre influant sur la température d'hydratation du ciment.
- A partir de la DRX des CGO, des pics de S_iO_2 ont été identifiés, ces pics nous renseignent sur la structure minéralogique de S_iO_2 qui est cristalline.
- Les phases cristallines ne réagissent pas avec le ciment en présence de l'eau ce qui veut dire que les CGO n'ont pas une influence chimique sur le béton.
- L'incorporation du plastifiant dans le béton permet non seulement d'améliorer l'ouvrabilité du béton et aussi sa résistance.
- Diminution de la masse volumique fraîche et sèche du béton avec 10% de CGO comparé aux BFC et BO.
- La meilleure résistance obtenue est celle du béton avec 10% de CGO qui est de 48,5 MPa, puis celle du béton avec 10% de FC 47,06 MPa, en dernier le béton avec 0% d'addition, 46,66 MPa.

Conclusion générale et perspectives

- Les cendres du grignon d'olive ont un apport positif sur la résistance. Ces cendres ont obturés les vides existants dans le béton et ils ont diminué la quantité d'eau (E/C) de gâchage par leurs comportements d'absorption.

L'ajout des cendres du grignon d'olive au béton a un impact :

- Ecologique, cela se traduit par la réduction de l'émission de CO₂ lors de la fabrication du ciment. En effet l'introduction des cendres de GO ont fait augmenter la résistance à la compression du béton dosé à 350 kg/m³ de ciment.

Enfin, nous pensons que la continuité de ce travail et l'exploitation des déchets agricoles pour produire des additions pour le béton nécessitent une attention particulière.

PERSPECTIVES

En perspective, le GO peut-être cuit à une température élevée pour obtenir probablement une cendre amorphe qui peut engendrer une réaction pozzolanique avec le ciment en présence de l'eau.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUE

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] The Cement Sustainability Initiative, Rapport du conseil mondial des entreprises pour le développement durable, 2012.
- [2] F. Alatshan, R. Shaladi et M. Fidelis, Sustainable concrete: Overview of recent developments and applications, Conférence d'ingénierie structurelle arabe, Tripoli, 2013.
- [3] T. Rikioui, & all, Emploi du métakaolin de la région sud-ouest d'Algérie dans la formulation du béton économique, Université de Bechar, mai 2011.
- [4] N. Chelouah, cours de béton, 3ème année, université de Bejaia.
- [5] A. M. Neville, Propriétés des bétons, Traduction CRIB, Editions Eyrolles, Paris, 806p, 2000.
- [6] Holcim, Materials & Applications Center, Guide pratique, 1ère édition, Belgique, 91p, 2007.
- [7] F. Larrard, Construire en béton l'essentiel sur les matériaux, mémoire de doctorat, Presses de l'Ecole National Des Ponts et Chaussées, 199p, 2002.
- [8] Anthelme. Ogboni, Siddhartha. Sharma, Relation entre les caractéristiques mécaniques du béton de nouvelles générations à l'état durci avec leurs paramètres à l'état frais,, Mémoire de fin d'étude, Université de Cergy pontoise.
- [9] A. Boudchicha, Utilisation des additions minérales et des adjuvants fluidifiants pour l'amélioration des propriétés rhéologiques et mécaniques des bétons, mémoire de doctorat 17/12/2007.
- [10] Y. Benna, additions partiellement substituables au ciment, Centre National d'Etudes et de Recherches Intégrées du Bâtiment, Cité nouvelle El Mokrani, Alger.
- [11] A. Aichouba, M. Ghrici, et A. Benaissa, Effet de la pouzzolane naturelle de Béni-saf sur les propriétés d'un ciment à base de calcaire, Colloque Méditerranéen sur les Matériaux CMEDIMAT, Oran, Algérie, 6-7 décembre 2005.
- [12] K. Ezziane, A. Bougara, et A. Kassoul, Efficacité du laitier d'El Hadjar par le concept du liant équivalent, 2ème colloque Maghrébin en Génie Civil, Biskra, Algérie, 87-96 p, 10-11 décembre 2002.
- [13] J. Baron, J. P. Ollivier, Les bétons, bases et données pour leur formulation, Editions Eyrolles, 1997.
- [14] M. Cyr, P. Lawrence, E. Ringot, Carles-Gibergues, Variation des facteurs d'efficacité caractérisant les additions minérales, Materials and Structures, Vol. 33, 466-472 p, 2000.
- [15] J. Dussart, Utilisation du laitier de haut fourneau en France. Revue de Métallurgie, 269-274p, 1978.

- [16] Gestion des déchets ménagers, <https://www7.inra.fr/dpenv/stephc28>.
- [17] S.Djadouf, A.Tahakourt, N.Chelouah, D.Merabet, Etude de l'influence des ajouts (grignon d'olive et foin) sur les caractéristiques physico-mécanique de la brique de terre cuite, Communication Science & technologie, Université de Bejaia, janvier 2011.
- [18] Y.Tritz, développement territorial et valorisation en circuit court des ressources énergétiques, Mémoire de doctorat, Laboratoire d'études rurales, Ecole doctorale Sciences Sociales, Université de Lyon 2, 2013.
- [19] La biomasse agricole, www.ademe.fr.
- [20] M, Dahli, Elaboration d'un matériau isolant à base de déchets grignon/cellulose, Département d'Architecture, Université Mouloud Mammeri, Tizi-Ouzou, Algérie, 2010.
- [21] S.Azibi, A.Aissat, Bio amélioration du grignon d'olive par culture de BjerkanderaadustaBRFM 1916, Mémoire de Master, 2015-2016.
- [22] S.Etahiri, Jamal.Amine, Bouchra.Bihaoui, Production des déchets organiques biodégradables par l'industrie agroalimentaire, Maroc, Mai 2006.
- [23] R.Loussert, G.Brousse, L'olivier, Techniques agricoles et production Méditerranéennes, 1-6 p, 1978.
- [24] Les grignons d'olive, www.fao.org.
- [25] N.Boucherba, Valorisation des résidus agro-industriels, université de Bejaia, 2014 /2015.
- [26] William.Wilson, Bétons durables à base de cendres d'écorces de riz mémoire de maîtrise spécialité génie civil mai 2012.
- [27] N.Chelouah, Cours de matériaux innovants, master.
- [28] D.Y.Osei, E.N.Jackson, Experimental study of palm kernelshells as coarse aggregate in concrete, journal international des sciences et des recherches d'ingénierie, vol.3, 2012.
- [29] U.J.Alengaram, B.A.A.Muhit et M. Z. bin Jumaat, Utilization of oil palm kernelshell as lightweight aggregate in concrete, Revue, université de Malaya, Malaisie, vol. 38, p161-172, Janvier 2013.
- [30] H.O.Sugo, A.Pageet S.Lawrence, The development of mortar/unit bond, Symposium sur la maçonnerie Canadienne, Fredericktown, Canada, 2001.
- [31] S.Djadouf, Etude de l'influence des ajouts (grignon d'olive et foin) sur les caractéristiques physico- mécaniques de la brique de terre cuite, Mémoire de Magistère, université de Bejaia, 2008.

- [32] T.Bezzi, Caractérisation d'un béton auto plaçant fait à base d'un ciment avec ajout d'argile cuite et broyée, mémoire de magister, université de Bejaia, 2011.
- [33] Cours ciment et béton, <https://fr.scribd.com/document/306284513/Cours-Ciment-Et-Beton>
- [34] S.Kherbache, Etude de l'influence de l'ajout de particules fines dans les sables concassé sur le retrait et la résistance des bétons, mémoire de magister, Université de Bejaia, 2006.
- [35] F.Ghomari, A.Bendi-ouis, science des matériaux de construction, travaux pratiques universiteaboubekrbelkaid,Tlemcen, 2007-2008.
- [36] T.Miranda, A.Esteban, S.Rojas, I.MonterO, A.Ruiz, Combustion Analysis of Different Olive Residues, Journal international des sciences moléculaires, Edition ELSEVIER, 512-525p, 2008.
- [37] A.Nefzaoui, Valorisation des sous-produits de l'olivier, laboratoire de nutrition animale, inrade tunisie 2080 Ariana, tunisie, 1991.
- [38] George.Dreux, Jean Festa, nouveau guide de béton et de ses constituants, editioneyrolles, 8ème édition, 416p, 1998.
- [39] N.Chelouah, Résistance au gel et dégel des bétons légers, Université de Bauhaus, Weimar, Allemagne, 1997.
- [40] Y.Cherati, Z.Nafa, Eléments de matériaux de construction et essais, université de Bejaia.
- [41] K.Wesche, Baustoffefürtragendebautteile, Beton und masswerk; Bouverlag Wiesbaden / Berlin, 1993.
- [42] G.Lohmeyer, BetonTechnik, Handbuchfür und Konstruktors, BetonVerlag, Düsseldorf, 1989.

REFERENCES NORMATIVES

REFERENCES NORMATIVES

NF P 18-554 et NF P 18-555 : Normes françaises qui décrivent le mode opératoire de l'essai de la mesure des masses volumique.

NF EN 1008 : Normes françaises qui décrivent l'eau de gâchage.

NF P 18-560 : Normalisation française. Granulats. Analyse granulométrique par tamisage.

NF P 18-540 : Normes française qui décrivent le module de finesse.

NF P 15-43 et NF 18-356 : Normes française sur la mesure du temps de prise sur le mortier

NF P 18-533 : Norme française qui décrit la préparation de l'échantillon pour l'essai d'équivalent de sable de 10% de fines.

DIN1045 : Deutsche International Norm. Confection et réalisation du béton.

NF P 18-451 : Norme française qui décrit le mode opératoire de l'essai d'affaissement au cône d'ABRAMS.

EN 12390-7 : La présente norme européenne spécifie une méthode de détermination de la masse volumique du béton durci.

NF P 18-406 : Norme française décrivant le mode opératoire de l'essai de compression.

ANNEXES



سيكابلاست بي في 40+ Sikaplast® BV 40+

conforme à la norme NF EN 934-2 iab.1 et 2

Présentation:
SIKAPLAST® BV 40+ est un plastifiant réducteur d'eau pour haute résistance mécanique non chloré et prêt à l'emploi, à base de polycarboxylates modifiés.

- Caractères généraux:**
- ▶ Haute réduction d'eau,
 - ▶ Maintien prolongé de rhéologie,
 - ▶ Robustesse vis-à-vis de la ségrégation,
 - ▶ Bel aspect de parement au décoffrage.

Mode d'emploi:
SIKAPLAST® BV 40+ est ajouté, soit, en même temps que l'eau de gâchage, soit en différé dans le béton préalablement mouillé avec une fraction de l'eau de gâchage.

- Consommation:**
- ▶ Plage d'utilisation recommandée: 0,3 à 1,5% du poids de liant selon les performances recherchées.
 - ▶ Dosage usuel du BV 40+: 0,3 à 1%.

Caractéristiques:
Liquide marron, sans chlore,
Densité : 1,04 ± 0,015, PH : 4,7 ± 1

Conservation-Stockage:
1 an dans son emballage d'origine intact.
Dans un local fermé, à l'abri de l'ensoleillement direct et du gel, entre 5 et 30°C.

Précautions:
En cas de contact avec la peau, laver abondamment à l'eau.
Se reporter à la notice technique pour informations détaillées.

تعريف

سيكابلاست بي في 40+ ملين منتهز - مستعمل على
مقاومة ميكانيكية عالية، خال من الكلور
البوليكاربوكسيلات المعدل.

مميزات عامة

- ▶ خفض متميز لكمية الماء
- ▶ الحفاظ على الرابطة لعدة طويلة
- ▶ تجنب تعشش الخرسانة
- ▶ مطهر جيد للواجهات بعد نزع القوالب

طريقة الاستعمال

يضاف السيكابلاست بي في 40+ في نفس الوقت و ماء الخلط او
يضاف بعده الى خليط الإسمنت.

الاستهلاك

- ▶ مجال الاستعمال الملائم : 0,3 إلى 1,5 % من وزن الإسمنت حسب الكفاءة المطلوبة.
- ▶ النسبة المعتادة من بي في 40+ : 0,3 % إلى 1 %.

الخصائص

سائل بني قاتم اللون ، خال من الكلور ،
كثافة 1,04 ± 0,015 ، PH = 4,7 ± 1

فترة الصلاحية والتخزين
يحفظ لمدة سنة داخل التعبئة الأصلية المملئة ،
يوضع في مكان بعيد عن أشعة الشمس والجليد ، ما
بين 5° و 30°.

إحتياطات

في حالة الإلتصاق بالجلد، الرجاء الإعتقال جيدا بالماء ،
معلومات ائق، يطلب الرجوع الى الوثيقة الفنية

منتج من طرف : SIKAL OJAZAIR
157016 de l'arbore, 16111 Eucalyptus
B.P. 63, Algiers Algérie
Tél: (0) 21 50 16 92 à 95 Fax: + 213(0) 21 50 22 08
www.sikalalger.com

منتج من طرف : سيقا الجزائر
طريق الأرزاق رقم 08 ، 16111 ، الجزائر
ص.ب. 63 الجزائر العاصمة - الجزائر
الهاتف : 95 16 92 21 50 (0) 213+
الفاكس : 08 22 22 50 21 (0) 213+
www.sikalalger.com



N/ Réf.391/SCE.C.Q/DP/SCA EK/18

Ain El Kebira le: 18/04/2018

FICHE TECHNIQUE CIMENT « ligne 2 »

MOIS : Février 2018

CEM II/A - L 42.5 N

Conformément a la norme NA 442 édition 2013

COMPOSITIONS CHIMIQUES Norme (EN 196-2)			Essais physiques Norme (EN 196-3 et 6)		Garantie NA 442	Mesures
ELEMENTS		Mesures	P.S	(g / Cm ³)		3.12
SiO ₂ -T	%	20.62	SSB	cm ² /g		3715
Al ₂ O ₃	%	3.96	Temps De Prise Min	Début	≥ 60	183
Fe ₂ O ₃	%	4.37		Fin		286
CaO-T	%	61.49	Expansion mm	A. Chaud	≤ 10	0
MgO	%	1.38				
SO ₃	≤ 3,5%	1.59	Refus %	90 μ		1.05
K ₂ O	%	0.29	Consistance Normale	%		25.61
Na ₂ O	%	0.12	Chaleur hydratation Norme (EN 196-8)	J/g	≤ 270	244.39
Cl	≤ 0,1%	0.01				
P.A.F.	%	6.18				
CaO Libre (PT207 CERILH 1970)	%	0.76				
R.Insoluble	%	6.14				
COMPOSITION POTENTIELLE DU CLINKER (BOGUE)			CARACTERISTIQUES MECANIQUE Norme (196-1)			
C ₃ S	%	64.12	R. Flexion MPa	02 JOURS		3.2
C ₂ S	%	13.95		28 JOURS		8.4
C ₃ A	%	2.63	R. Compression MPa	02 JOURS	Li ≥ 10	12.0
C ₄ AF	%	15.50		28 JOURS	Li ≥ 42.5	45.7

K. BELARBI
 Chef de Service
 Contrôle Qualité

CBF

Résumé

L'objectif principal de cette étude est la valorisation des déchets agricoles comme addition pour la fabrication du béton, en comparant avec le béton normal sans addition.

Pour réduire l'impact sur l'environnement, nous avons opté pour une formulation de béton en introduisant le grignon d'olive et des fines calcaires. Le grignon d'olive a été cuit, broyé et tamisé puis ajouté comme addition dans le béton.

Les résultats expérimentaux obtenus, ont montré que l'ajout de 10 % de cendre du grignon d'olive dans le béton augmente les caractéristiques mécaniques de ce dernier.

Mots-clés : béton, caractéristique mécanique, grignon d'olive, fines calcaires.

Abstract

The principal purpose of this research study is the valorization of agricultural waste as an addition for the concrete manufacture, in order to compare it to the normal concret (without addition).

In order to reduce the environmental impact we have chose to introduce an olive stone and limestone fines in the concret constitution. The olive stone has been baked,crushed and sieved and then added as an addition to the concrete.

The experimental results obtained shown that the mechanical characteristics increases whene we have added 10% of olive stone in the concrete

Keywords: concrete, mechanical characteristics, olive stone, limestone fine.