

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université A. MIRA – BEJAIA

Faculté de Technologie

Département de Génie civil

MEMOIRE

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

Option : Structures

THEME

Etude de l'influence de la taille du grignon d'olive broyé sur les caractéristiques physico-mécaniques et thermiques des mortiers à base de ciment.

Présenté par :

M^{elle} Menari Melissa Sonia

M^{elle} Sahi Khadidja

Encadré par :

Mr. Prof. N. CHELOUAH

Membre de jury :

Mr. Prof. A. TAHAKOURT

Mme. S. ATTIL

ANNEE 2019/2020

Résumé

L'industrie oléicole, engendre, en plus de l'huile comme produit principal, de grandes quantités de sous-produits (grignon d'olive, margine). Le grignon d'olive est un des sous-produits agricoles répandus sur le territoire algérien et spécialement dans la wilaya de Bejaia, ils sont peu utilisés et abandonnés, générant, ainsi, de sérieux problèmes d'environnement. Afin d'y remédier, leur valorisation devient une nécessité. Le présent travail a pour but d'étudier l'effet de la substitution de deux parties granulaires de 1/2 mm et 2/4 mm respectivement du sable de carrière de type silico-calcaire par des grignons d'olives concassés avec différents pourcentages volumiques (0, 5, 10,15 et 20%) sur les propriétés physiques, mécaniques et thermique des mortiers cimentaires.

Mots clés :

Grignon d'olives / Sable / Pourcentages volumiques / Propriétés / Mortiers cimentaires.

Abstract

The olive industry generates, in addition to oil as the main product, large quantities of by-products (olive stones, vegetable water). Olive stones is one of the agricultural by-products widespread on Algerian territory and especially in Bejaia, they are little used and abandoned, thus generating serious environmental problems. In order to remedy this, their valuation becomes a necessity. The purpose of this work is to study the effect of the substitution of two granular parts of 1/2 mm and 2/4 mm respectively of the quarry sand (silicon limestone) by crushed olive stones with different volume percentages (0, 5, 10.15 and 20%) on the physical, mechanical and thermal properties of cementitious mortars.

Keyword:

Olive stones / Sand / Volume percentages / Properties / Cement mortars.

Remerciements

Nous remercions d'abord Dieu le tout puissant de nous avoir accordé la santé, la volonté et la patience afin d'entamer ce modeste travail.

Nous remercions également notre encadreur Mr Chelouah, pour son aide et ses conseils.

Nous remercions aussi les membres du jury, d'avoir accepté d'examiner notre travail malgré cette pandémie.

Dédicace

Je dédie ce modeste travail :

*A ma très chère mère, à qui je dois un amour profond
pour son soutien permanent, son amour et sa
compréhension*

*A mon très cher père qui a toujours souhaité que je sois de
ceux qui réussissent en veillant sur mon avenir*

Que dieu me les garde

A ma petite sœur Amel et mon petit frère Yannis

A toute ma famille

A ma chère binôme

*A mes amis en particulier Sara Marouf et Selma chafa
avec leurs aides précieux*

M. Melissa Sonia

Dédicace :

Je dédie ce travail en L'honneur et à la mémoire de mon défunt père, que Dieu le tout puissant lui accorde sa sainte miséricorde et l'accueille dans son vaste paradis.

A ma chère maman

A mes deux petites sœurs Maïssa et Nabila

A mon frère

A toute ma famille

A ma binôme

A mes amis

A tous ceux qui m'aiment et me connaissent

S. Khadidja

Table de matière

Introduction Générale :	1
--------------------------------------	----------

Chapitre I : Généralité sur le grignon d'olive

I.1. Histoire et l'origine de l'olivier :	3
I.2. Classification botanique de l'olivier :	3
I.3. Période de Développement de l'arbre de l'olivier :	3
I.4. Production de l'olive :	4
I.4.1. Production de l'olive à l'échelle mondiale :	4
I.4.2. Production de l'olive en Algérie:	5
I.4.3. Production de l'olive a Bejaïa :	6
I.5. Définition de l'olive :	6
I.6. Quantité de grignon d'olive après traitement de l'olive :	7
I.7. Définition des grignons d'olives :	7
I.7.1. Les différentes méthodes d'extractions de grignon d'olive :	7
• La méthode d'extraction par presse (système traditionnelle) :	8
• La méthode d'extraction par Centrifugation:	8
I.7.2. Les types de grignon d'olive :	10
I.7.2.1. Le grignon brut:	10
I.7.2.2. Le grignon épuisé:	10
I.7.2.3. Le grignon partiellement dénoyauté:	10
I.7.3. Caractéristiques physiques et chimiques du grignon d'olive :	10
I.7.3.1. Caractéristiques physiques:	10
I.7.3.2. Caractéristiques chimiques :	11
I.7.4. La conservation des grignons d'olive :	12
I.7.5. Pollution du grignon d'olive :	13
I.7.6. Valorisation du grignon d'olive :	13
I.7.6.1. Utilisation du grignon d'olive comme combustible :	13
I.7.6.2. Utilisation des grignons d'olive pour la fertilisation des terres agricoles:	13
I.7.6.3. Utilisation du grignon d'olive comme alimentation animale :	13
I.7.6.4. Extraction de l'huile de grignon :	13
I.7.6.5. Utilisation du grignon d'olive comme absorbant :	14

I.7.6.6. Utilisation des grignons dans les matériaux de construction :.....	14
Conclusion :.....	14

Chapitre II : Généralités sur les mortiers cimentaires

Introduction :.....	15
II.2. Malaxage :.....	16
II.3. Composition :.....	16
II.3.1 Les liants :	16
II.3.1.1 Les liants organique :	17
II.3.1.2 Les liants minéraux :	17
II.3.2 Les sables :	34
II.3.3: Les adjuvants:	36
II.3.4 Les ajouts :	39
II.4. Les différents mortiers :	41
II.5. Les caractéristiques physico-mécaniques des mortiers de ciment :	44
II.6. Caractéristiques principales d'un bon mortier	45
Conclusion :.....	46

Chapitre III: Matériels et méthodes

III.1. Introduction.....	47
III.2. Confection du mortier	47
III.2.1. Définition du mortier :	47
III.2.2. Principe :	47
III.2.3. Matériel utilisé :	47
III.2.4. Matériaux utilisés :	49
III.2.4.1. Le ciment	49
III.2.4.2. Le sable :	51
III.2.4.3. Eau de gâchage :	53
III.2.4.4. Plastifiant/réducteur d'eau :	53
III.2.4.5. Grignon d'olive broyé :	54
III.2.5. Mode opératoire :	56
III.2.6. Description des essais expérimentaux à effectuer :	57

Conclusion générale : 69

Liste de figures :

Chapitre I : Généralités sur le grignon d'olive

Figure I.1: Répartition de la culture de l'olivier dans le monde. (COI, 2013).....	5
Figure I.2: Carte oléicole d'Algérie (ITAFV, 2012).....	6
Figure I.3: Composition de l'olive.....	7
Figure I.4: Grignon d'olive.....	7
Figure I.5: obtention de grignon d'olive par le système de presse.....	8
Figure I.6: Système continu d'extraction avec centrifugation à 2 phases.....	9
Figure I.7: Système continu d'extraction avec centrifugation à 3 phases.....	9

Chapitre II : Généralités sur les mortiers cimentaires

Figure II.1: Gisement calcaire.....	20
Figure II.2: Gisement argile.....	20
Figure II. 3: Hall de pré-homogénéisation.....	21
Figure II.4: Broyeur.....	21
Figure II.5: Silos d'homogénéisation.....	21
Figure II.6: Four rotatif.....	22
Figure II.7: Le clinker.....	22
Figure II.8: Poudre de ciment courant.....	22
Figure II.9: Fabrication du ciment.....	23
Figure II.10: Poudre de gypse.....	24
Figure II.11: Evolution du temps de prise en fonction de la température.....	25
Figure II.12: Influence de la température sur la prise des ciments.....	25
Figure II.13: Influence du E/C sur le temps de prise.....	25
Figure II.14 : Résistance mécanique du mortier normal.....	28
Figure II.15: ciment prompt naturel.....	30
Figure II.16 : les différents types de sable.....	36
Figure II.17 : Adjuvants liquide de gauche à droite : agent anti-lessivage, réducteur de retrait, réducteur d'eau, agent moussant, inhibiteur de corrosion et agent entraîneur d'air.....	39

Figure II.18: Poudre fine.....	40
Figure II.19 : colorant.....	41
Figure II.20: Moule pour moulage des éprouvettes de mortier.....	44

Chapitre III : Matériels et méthodes

Figure III.1: malaxeur a deux vitesses lentes et rapides.....	47
Figure III.2 : jeu de tamis.....	48
Figure III.3 : une Balance.....	48
Figure III.4: courbe granulométrique du sable normalisé.....	52
Figure III.5: Courbe granulométrie du sable utilisé.....	53
Figure III.6 : Grignon d'olive.....	54
Figure III.7 : Lavage du grignon d'olive.....	55
Figure III.8 : Grignon d'olive lavé.....	55
Figure III.9 : Grignon d'olive séché.....	55
Figure III.10 : Machine de mesure des résistances à la traction et à la compression.....	58
Figure III.11 : Dispositif de la traction.....	58
Figure III.12 : dispositif de la compression.....	58
Figure III.13 : Essai de résistance à la flexion.....	59
Figure III.14: la méthode Plaque Chaude Gardée.....	60
Figure III.15:la méthode Fil chaud.....	60
Figure III.16 : la méthode fluxmétrique.....	61
Figure III.17 : La Méthode Hot Disk.....	61
Figure III.18 : l'essai de mesure de la masse volumique apparente.....	62
Figure III.19 : l'essai de mesure de la masse volumique absolue.....	63
Figure III.20: Perméabilimètre de Blaine.....	65
Figure III.21: différentes phases de prise de la pâte de ciment.....	65
Figure III.22 : Appareil de Vicat muni de la sonde de consistance.....	66

Figure III.23 : un extensomètre.....68

Liste de tableaux :

Chapitre I : Généralités sur le grignon d'olive

Tableau I.1 : Importance de la production oléicole mondiale.....	4
Tableau I.2 : Mode d'obtention des différents types de grignons et composition Physique.....	10
Tableau I.3 : Composition chimique des différents types de Grignons.....	11

Chapitre III : Matériels et méthodes

Tableau III.1 : Composition minéralogique du clinker.....	49
Tableau III.2 : composition chimique du CEM II (42,5).....	50
Tableau III.3: caractéristique physique du CEM II (42,5).....	50
Tableau III.4: Résistance à la compression du CEM II 42;5.....	50
Tableau III.5 : Résistance à la flexion du CEM II (42,5).....	51
Tableau III.6: Composition granulométrique du sable normalisé.....	52
Tableau III.7 : Composition chimique du grignon d'olive.....	56
Tableau III.8 : la nature de sable en fonction des valeurs de l'équivalent de sable.....	68

Liste d'abréviations

J.C : Jésus Christ

COI : Le Conseil Oléicole Internationale

ITAFV : Institut Technique de l'Arboriculture Fruitière et de la Vigne

M.S : Matière sèche

M.G : Matière grasse

Gr : Grignon

XIX^e siècle : 19^e siècle

XVIII^e siècle : 18^e siècle

Introduction Générale :

Pendant de nombreuses années, beaucoup de déchets solides (industriels ou agricoles) se sont accumulés dans les zones urbaines et rurales, ce qui a entraîné une augmentation des préoccupations environnementales en particulier dans les pays en développement. [1] La nécessité d'éliminer ou du moins de réduire d'énormes quantités de déchets est une priorité de recherche. [1]

Le recyclage de ces déchets en tant que matériau de construction durable semble être une solution viable non seulement au problème de la pollution, mais aussi une option économique pour la conception de bâtiments écologiques. [2] L'industrie des matériaux de construction est un domaine d'intérêt de l'utilisation des déchets. [1] Une grande variété de déchets agricoles et industriels a été utilisée dans la préparation de divers types de matériaux de construction (par exemple ciment, plâtre, béton, mortier, brique, matériaux composites, etc.), en introduisant des sous-produits industriels (fumée de silice, laitier de haut fourneau, cendres volantes, etc.) [3], déchets végétaux et organiques (bois, liège, noyau de datte, noyau d'olive, etc.).

Les déchets peuvent être utilisés comme substitut du ciment ou d'agrégats ou comme addition pour améliorer les propriétés des matériaux et certaines performances physico-mécaniques et thermiques, diminuer le coût des matériaux ou augmenter leur durabilité. [4] L'utilisation de certains types de déchets s'est également avérée appropriée pour la production de béton et de mortier léger, pour améliorer leurs propriétés thermiques (granulés de polystyrène, laine, etc.) [5], ou pour améliorer la capacité d'isolation phonique (granulés de caoutchouc, polystyrène). [6]

Ce travail de PFE s'inscrit dans le cadre de la valorisation des déchets agricoles comme le grignon d'olive. Une utilisation judicieuse des noyaux d'olive broyés dans le mortier de ciment est souhaitable non seulement pour ses avantages techniques, mais aussi d'un point de vue écologique. Les grignons d'olives broyés sont abondants en Algérie, et ils sont rejetés dans les rivières et les eaux côtières ou consumés par le feu dans la nature, et libèrent des gaz toxiques. Cela provoque une pollution qui peut avoir des effets négatifs sur la santé humaine et les effets environnementaux plus larges qui peuvent être atténués si le grignon d'olive inutile est converti en un objectif pratique (utilisation du grignon d'olive comme combustible, comme

absorbant, Extraction de l'huile de grignon d'olive, utilisation des grignons dans les matériaux de construction...etc.).

L'objectif de ce PFE est d'étudier l'effet de la substitution de deux parties granulaires de 1/2 mm et 2/4 mm respectivement du sable de carrière de type silico-calcaire par des grignons d'olive broyés de différents pourcentages volumétriques 0, 5, 10, 15 et 20% sur les propriétés physiques, mécaniques et thermiques du mortier à base de ciment.

Cet ouvrage est divisé en trois chapitres, le premier chapitre est consacré aux généralités sur les grignons d'olives, le second est consacré aux généralités sur les mortiers cimentaires. Le troisième chapitre présente les matériaux utilisés et les méthodes expérimentales. Le manuscrit se termine par une conclusion générale et des perspectives.

Chapitre I : Généralité sur le grignon d'olive

I.1. Histoire et l'origine de l'olivier :

L'olivier, arbre spécifique du bassin méditerranéen, a été depuis la nuit des temps considéré comme symbole de la sagesse, de la paix, de la richesse et de la gloire. [7] Il a été planté dans toutes sortes de sols mais le plus souvent dans des terrains pauvres (sols rocheux et calcaires), là où d'autres cultures n'auraient pas pu être envisagées. Il a la particularité de se multiplier facilement. Il prend racine par toutes les parties qui le constituent, à l'exception des feuilles. [8]

L'origine de l'olivier reste toujours incertaine, mais il est généralement admis que son berceau fut l'Asie mineure depuis six mille ans avant J.C Il est apparu en premier temps en Palestine, le Liban. La culture de l'Olivier poursuivit ensuite son expansion en dehors de la Méditerranée avec la découverte de l'Amérique en 1492. L'Olivier est retrouvé aux Mexiques puis Pérou, en Californie, au Chili et en Argentine en 1560. [9]

L'Olivier a connu aussi une large diffusion à Chypre, les côtes de la Turquie, la Syrie, le sud de l'Espagne, la France et l'Italie. En Afrique du nord, la culture de l'olivier existait déjà avant l'arrivée des Romains. [4]

Selon le Conseil Oléicole International, on découvrit en 1957 dans la zone montagneuse du Sahara Central (Tassili dans le Hoggar en Algérie), des peintures rupestres réalisées au II^e millénaire avant J.C avec des hommes couronnés de branches d'olivier témoignant ainsi de la connaissance de cet arbre au cours de ces époques anciennes. [10]

I.2. Classification botanique de l'olivier :

L'olivier fait partie de la famille oléacées (genre *Olea*), tout comme le frêne, le jasmin, le troène, le lilas et le forsythia qui sont quelques-uns des 25 genres composant cette famille. Le genre *Olea* contient diverses espèces et sous-espèces (30 espèces réparties dans le monde), mais l'*Olea Europa* est l'espèce la plus représentée dans le bassin méditerranéen. [11]

I.3. Période de Développement de l'arbre de l'olivier : [12]

L'olivier se développe en quatre périodes:

- période de jeunesse (1-7 ans) : c'est la période de croissance. L'olivier s'installe mais ne produit rien.

- période d'entrée en production (**7-35** ans) : c'est la période d'adolescence de l'arbre qui se prépare à la production de quantité régulière et importante.
- période adulte (**35-100** ans) : période de pleine production avec un rendement de 15 à 25 kg d'olives par arbre.
- période de vieillissement (au-delà de **150** ans) : la production diminue. Les branches charpentières meurent, le tronc éclate.

I.4. Production de l'olive :

La plupart des oliviers sont produits par des pays méditerranéens dont l'Algérie qui produit environ 1% de la production mondiale.

I.4.1. Production de l'olive à l'échelle mondiale : [13]

La production de l'olivier est répartie sur les cinq continents mais elle est surtout dominante dans la zone du Bassin Méditerranéen avec 98% de surface et 97% de la production totale d'olives.

Les quatre premiers pays producteurs (Espagne, Grèce, Italie, Tunisie) faisant l'objet de cette étude représentent à eux seuls:

- 65% de la surface
- 76% des arbres en production
- 74% de la production totale d'olives

Le tableau suivant résume l'importance de la production oléicole dans le monde :

Tableau I.1 : Importance de la production oléicole mondiale [10]

- surface totale	:	7 000 000 ha
- arbres en production	:	600 000 000
- olives produites	:	8 400 000 tonnes
- huile produite	:	1 600 000 tonnes

La figure suivante représente la répartition de la culture de l'olivier dans le monde :



Figure I.1: Répartition de la culture de l'olivier dans le monde. (COI, 2013).

I.4.2. Production de l'olive en Algérie:

La culture de l'olivier revêt une importance non négligeable pour l'Algérie, et surtout la Kabylie, sur une surface de 389 000 ha pour plus de 25 millions d'arbres. L'oléiculture est basée exclusivement au niveau de six principales wilayas, trois wilayas de la région du centre, qui représente plus 50% de la surface oléicole nationale (Bejaia, Tizi-Ouzou, Bouira) et trois de la région Est (Bourdj Bourreridj, Sétif et Jijel). [14]

Selon les chiffres avancés par l'instance internationale de contrôle de la production d'huile d'olive, l'Algérie a produit lors de la saison 2016/2017, 66 700 tonnes d'huile d'olive contre 80 000 tonnes en 2017/2018 occupant ainsi la 9ème place au niveau mondial.

Pour moderniser cette filière en difficulté, le ministère de l'agriculture a mis en œuvre les mesures incitatives à la production en faveur des professionnels de l'oléiculture. Un programme qui entre dans le cadre de la Politique de Renouveau Agriculture et Rurale (PRAR).

La figure suivante représente le verger oléicole Algérien :

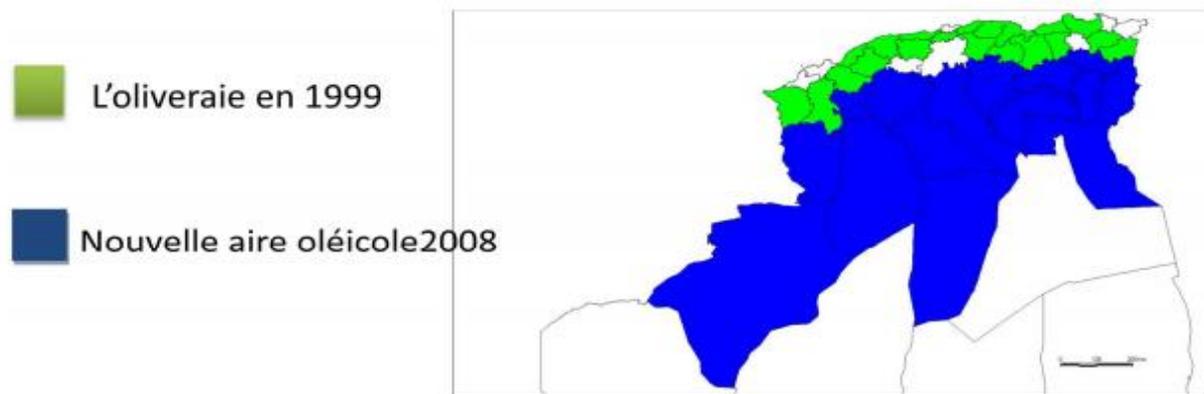


Figure I.2: Carte oléicole d'Algérie (ITAFV, 2012).

I.4.3. Production de l'olive a Bejaïa :

La wilaya de Bejaia occupe la première place dans la production d'olive au niveau national avec près de 70% arboricole totale. [11]

Selon quelques bilans dressés en automne 2019, sa superficie oléicole a atteint 58000 ha, abritant 5,276 millions d'arbres dont 4,482 millions sont productifs. [15]

La culture de l'olivier peut avoir des impacts positifs et/ou négatifs sur l'environnement. L'implantation de l'olivier favorise l'oxygénation de l'air, la conservation de la fertilité du sol et lutte contre l'érosion, bien que les effets positifs soient nombreux, l'activité oléicole engendre des margines et des résidus nocifs pour la nature (grignon d'olive).

I.5. Définition de l'olive :

L'olive est une drupe. Sa composition dépend de sa variété, du sol et du climat. Le contenu de l'olive est composé du noyau, d'amandon, d'épicarpe et de la pulpe. [16]

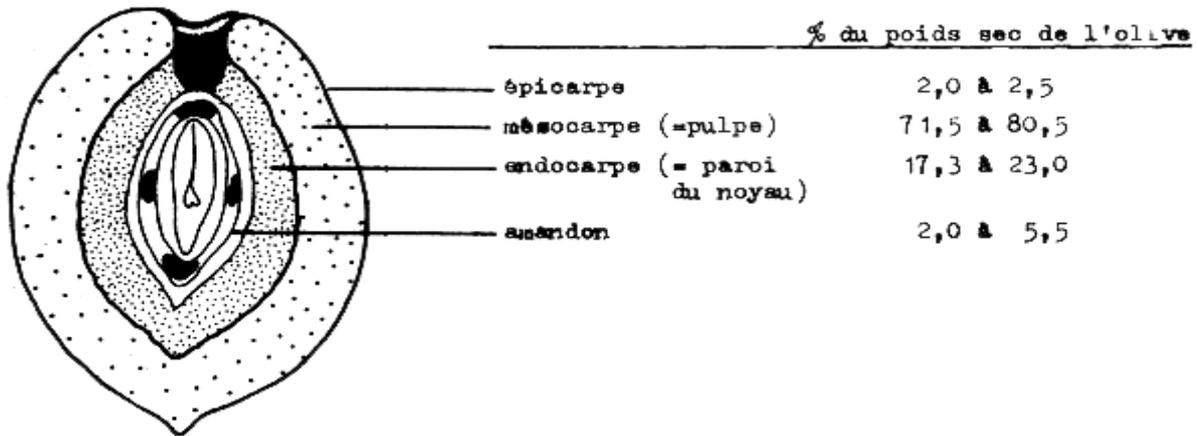


Figure I.3: Composition de l'olive [13]

I.6. Quantité de grignon d'olive après traitement de l'olive :

L'industrie oléicole produit, en plus de l'huile de grandes quantités de sous-produits. Sachant qu'en moyenne 100 kg d'olives traitées engendrent 100 litres de margines et 35Kg de grignon d'olive. [17]

I.7. Définition des grignons d'olives :

Les grignons sont les résidus solides issus de la première pression de l'olive. Ils sont formés de la pulpe et noyaux d'olives. Le poids des grignons représente environ un tiers du poids des olives fraîches triturées. Ces déchets contiennent en moyenne 28,5% d'eau, 41,5% de coque, 21,5% de pulpe et 8,5% d'huile. [18]



Figure I.4: Grignon d'olive

I.7.1. Les différentes méthodes d'extractions de grignon d'olive :

On a 3 types de méthode pour obtenir le grignon :

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

Ce sont des systèmes classiques par pression à l'aide de broyeurs. Le broyage des olives suivi du malaxage se font sous des meules. Une pâte est obtenue au bout d'une demi-heure environ. Elle est composée de grignon et d'un moût contenant l'huile et les margines. [4]

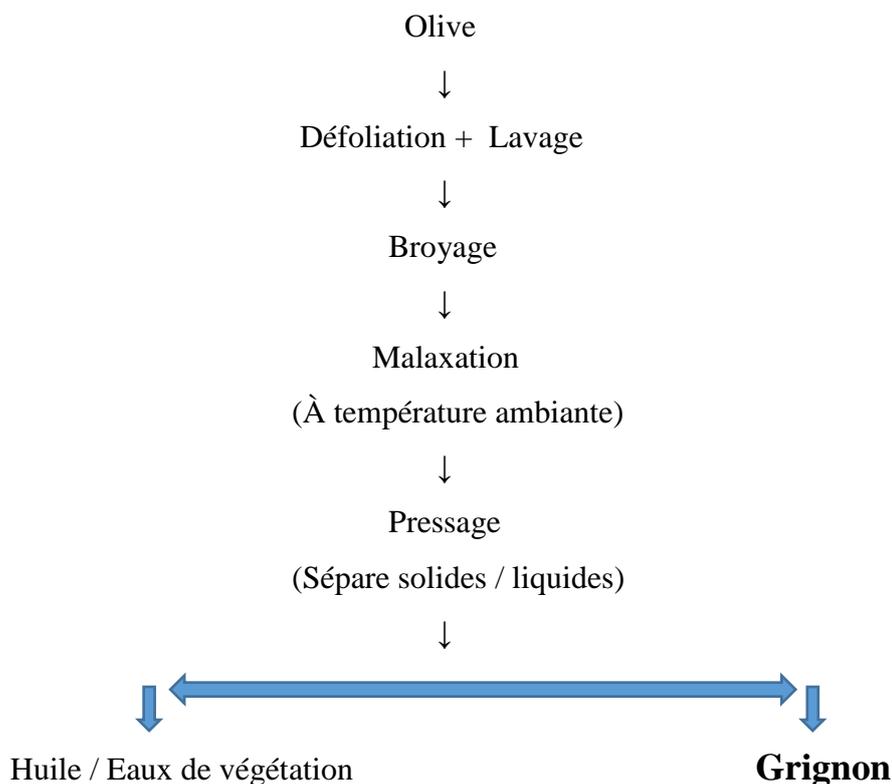


Figure I.5: obtention de grignon d'olive par le système de presse [4]

- **La méthode d'extraction par Centrifugation:**

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

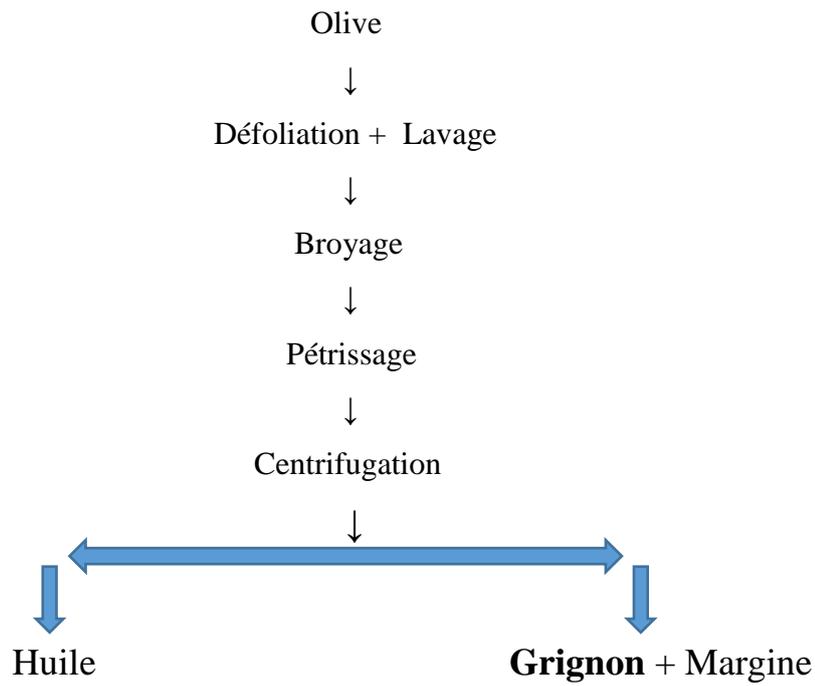


Figure I.6: Système continu d'extraction avec centrifugation à 2 phases [19]

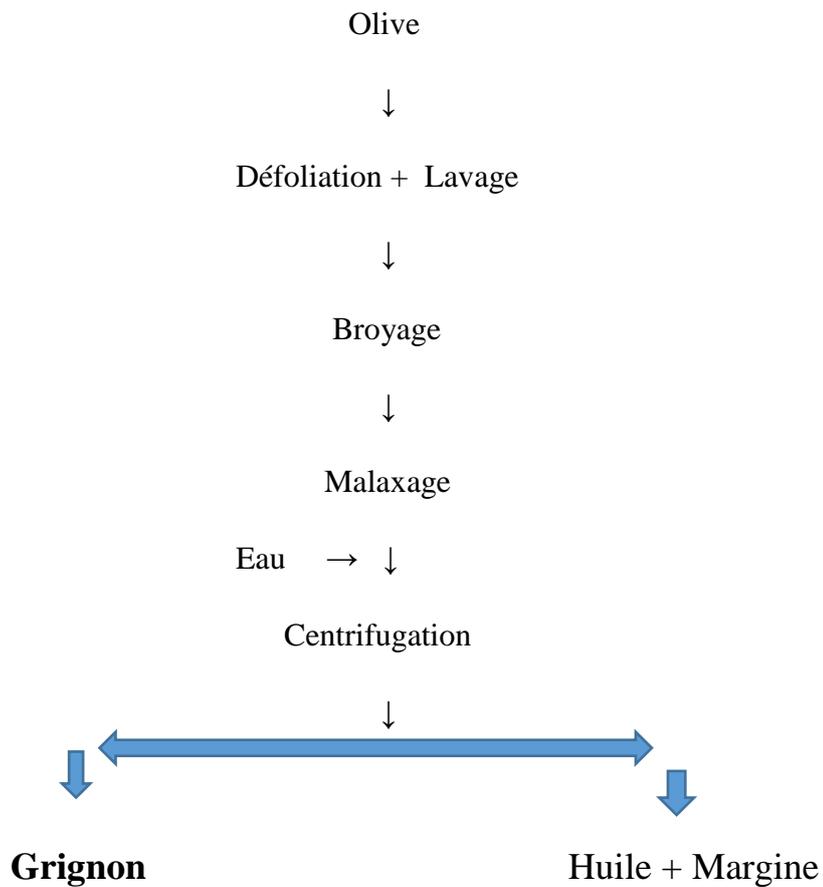


Figure I.7: Système continu d'extraction avec centrifugation à 3 phases [16]

I.7.2. Les types de grignon d'olive : [20]

Selon le traitement subit, les grignons se divisent en :

I.7.2.1. 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 et en huile favorisent son altération rapide lorsqu'il est laissé à l'air libre.

I.7.2.2. Le grignon épuisé:

C'est le résidu obtenu après déshuilage du grignon brut par un solvant, généralement l'hexane.

I.7.2.3. 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

I.7.3. Caractéristiques physiques et chimiques du grignon d'olive :**I.7.3.1. Caractéristiques physiques: [10]**

La composition des grignons dépend du système employé lors de l'élaboration de l'huile d'olives.

- 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 une certaine quantité d'huile qui favorisent leur altération rapide.
- Les grignons épuisés ont une plus faible teneur en Huile et une teneur en eau réduite vu qu'ils ont subi une déshydratation au cours du processus de l'extraction.
- Les grignons épuisés partiellement dénoyautés sont constitués essentiellement par la pulpe et contiennent encore une petite proportion de coques qui ne peuvent être séparées complètement par les procédés de tamisage ou de ventilation utilisés.

Tableau I.2 : Mode d'obtention des différents types de grignons et composition Physique : [8]

Composition Produit	M.S%	Pourcentage (%) en M.S			
		MG%	Noyau sec (%)	Amandon sec (%)	Mésocarpe + épicarpe(%)
Olive	51.4	27	14.1	1.3	9
Grignon brute	75.9	9.1	42.1	3	21.2
Grignon épuisé	72.3	4.2	X	5.6	39.3
Grignon tamisé	95.5	18.6	X	11.1	80.2

I.7.3.2. Caractéristiques chimiques :

La composition chimique du grignon d'olive varie dans de très larges limites. Elle dépend des facteurs suivants : la variété d'olive, stade de maturité, du procédé d'extraction de l'huile et aussi de l'épuisement par solvant. Les teneurs en matières grasses et en cellulose brute présentent les variations les plus importantes. [21]

Tableau I.3 : Composition chimique des différents types de Grignons [10]

Type	Matière Sèche	% de la Matière Sèche			
		Matières minérales	Matières Azotés Totale	Cellulose Brute	Matières Grasses
Grignon brut	75-80	3-5	5-10	35-50	8-15
Grignon Gras partiellement Dénoyauté	80-95	6-7	9-12	20-30	15-30
Grignon épuisé	85-90	7-10	8-10	35-40	4-6
Grignon épuisé partiellement Dénoyauté	85-90	6-8	9-14	15-35	4-6
Pulpe grasse	35-40	5-8	9-13	16-25	26-33

a- La teneur en cendres :

Elle est normalement faible (3 à 5%). Les teneurs élevées qu'on rencontre sont dues à l'absence de lavage et à la présence des olives ramassées à même le sol. [18]

b- Les teneurs en matières azotées :

Variet moins fortement, elles sont en moyennes de l'ordre de 10 % mais la plus grande partie se trouve liée à la fraction pariétale et dès lors moins disponible pour l'animal. [22]

c- Les teneurs en matières grasses :

Elle est relativement élevée et varie principalement selon le procédé technologique employé. L'épuisement, opération économiquement indispensable permet d'avoir un produit dont la teneur oscille entre 3 à 4% de la matière sèche. [19]

d- Les teneurs en cellulose brute :

Elles sont élevées (32 à 47%) et le tamisage les réduit à des valeurs de 14 à 26%. Une analyse plus poussée de la fraction fibreuse, a permis de constater que les grignons ont des teneurs élevées en constituants pariétaux et surtout en fraction indigestible. Le tamisage réduit la teneur de toutes les fractions "fibreuse" et en particulier la lignine et le cellulose. La fraction pariétale des grignons est caractérisée par une forte teneur en lignine qui monte jusqu'à 30% du total des fibres. [18]

e- La teneur en composés phénoliques :

La teneur en composés phénoliques du grignon ne dépasse pas les 1% de la matière sèche. Cela est dû au fait que les polyphénols de l'olive sont éliminés dans l'huile et les margines durant la trituration. [18]

I.7.4. La conservation des grignons d'olive : [8]

Les pourcentages élevés d'eau des grignons d'olive bruts favorisent un important développement de la flore cryptogamique et des enzymes présents dans l'amande. Après quelques semaines, si l'on ne prend pas de précautions spéciales, l'acidité de l'huile peut passer de 5 à 50-60%. Il est estimé que les grignons bruts obtenus par centrifugation, plus humides, se détériorent après maximum 5 jours, les grignons obtenus par pression après environ 15 jours, ces mêmes grignons déshydratés ne se conservent pas plus de 45 jours. Néanmoins les grignons épuisés les plus déshydratés au cours de l'extraction pourraient se conserver plus d'un an.

Pour une meilleure conservation des grignons d'olive frais, il doit être stocké dans un hangar, à l'abri de l'humidité en les étalant d'une façon homogène sur une hauteur d'environ 70 cm.

I.7.5. Pollution du grignon d'olive :

La majorité des grignons sont rejetés dans la nature et sont source de pollution soit parce qu'ils sont contaminés par des champignons, soit parce qu'ils rejettent des substances toxiques dans l'environnement. Les toxines fongiques ou les composés poly phénoliques qui résistent à la dégradation bactérienne peuvent alors se propager, menaçant ainsi la santé humaine et l'environnement.

I.7.6. Valorisation du grignon d'olive :

Le grignon d'olive est une ressource renouvelable, qui peut occasionner de la pollution à cause de sa teneur en matière organique, si elle n'est pas valorisée.

Les domaines d'application des grignons sont nombreux et variés. On peut mentionner :

I.7.6.1. Utilisation du grignon d'olive comme combustible :

Elle 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 (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 (1400 Kcal/kg). [18]

I.7.6.2. Utilisation des grignons d'olive pour la fertilisation des terres agricoles:

Utilisation des grignons d'olive sur les terres agricoles pour l'amélioration de la fertilité des sols et de la productivité des cultures.

I.7.6.3. Utilisation du grignon d'olive comme alimentation animale :

Les grignons d'olive, sous leurs différentes formes sont utilisés dans la plus part des pays dans l'alimentation animale après addition d'autres composantes (son, cactus, mélasse, fourrage ...etc.). [23]

I.7.6.4. Extraction de l'huile de grignon : [24]

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

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

I.7.6.5. Utilisation du grignon d'olive comme absorbant :

La préparation du charbon actif à partir du grignon d'olive a fait l'objet de plusieurs recherches pour son pouvoir de biosorption des métaux lourds et du phénol. C'est une technologie alternative dans le traitement des eaux usées et de la margine. [25]

I.7.6.6. Utilisation des grignons dans les matériaux de construction :

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

Conclusion :

L'Algérie fait partie des grands pays producteurs de l'olive. Malgré les avantages de l'huile d'olive lors de l'extraction de cette dernière, elle affecte négativement à l'environnement (pollution,...etc.) et ça en raison des résidus qu'elle peut produire tel que (la margine, grignon d'olive). Ce chapitre s'est focalisé sur le grignon d'olive et ses valorisations dans différents domaines.

Chapitre II : Généralités sur les mortiers cimentaires

Introduction :

Une construction est généralement réalisée par éléments, dont il faut assurer la liaison ou qu'il faut protéger par un enduit. On doit alors effectuer des scellements ou divers travaux de reprise, de bouchage, etc. Toutes ces opérations se font à l'aide d'un « **Mortier** », qui se distingue du béton par l'absence de gravillons. [26]

Qui a pour but de : [27]

- ✓ solidariser les éléments entre eux
- ✓ assurer la stabilité de l'ouvrage
- ✓ combler les interstices entre les blocs de construction

II.1. Définition du mortier :

Le mortier est un mélange de liant (chaux ou ciment), de sable, d'eau et éventuellement un adjuvant réalisé dans des proportions bien définies de manière à obtenir une pâte de plasticité convenable pour la mise en œuvre. [28]

Des compositions multiples de mortiers peuvent être obtenues en jouant sur les différents paramètres : liant (type et dosage), adjuvants et ajouts, dosage en eau. En ce qui concerne le liant, tous les ciments et les chaux sont utilisables ; leur choix et le dosage sont en fonction de l'ouvrage à réaliser et de son environnement. [23]

Les mortiers peuvent être :

- Préparés sur le chantier en dosant et mélangeant les différents constituants, adjuvants compris.
- Préparés sur le chantier à partir de mortiers industriels secs pré-dosés (il suffit d'ajouter la quantité d'eau nécessaire)
- Livrés par une centrale : ce sont des mortiers prêts à l'emploi, dont les derniers nés, les mortiers retardés stabilisés, ont un temps d'emploi supérieur à 24h.

II.1.1. Etymologie des mortiers :

Le latin mortarium, désigne d'abord l'auge du maçon, puis son contenu. Cette distinction nous est restée puisque le terme mortier désigne le récipient et son contenu. Le Mortellier désigne le fabricant d'auges de pierre qu'on appelle mortiers et ensuite celui qui brise certaines pierres dures pour en faire du ciment. [29]

II.2. Malaxage :

La durée de malaxage doit être optimum, afin d'obtenir un mélange homogène et régulier.

Les mortiers peuvent être:

- préparés sur le chantier en dosant et en mélangeant les différents constituants y compris les adjuvants.
- préparés sur le chantier à partir de mortiers industriels secs pré dosés et avant l'utilisation, il suffit d'ajouter la quantité d'eau nécessaire.
- livrés par une centrale: ce sont des mortiers prêts à l'emploi.
- Les mortiers industriels se sont beaucoup développés ces dernières années; permettant d'éviter le stockage et le mélange des constituants sur des chantiers.

II.3. Composition :

Les mortiers sont obtenus par mélange homogène d'une matière inerte : le sable, avec une matière active : le liant (ciment ou chaux), le tout gâché avec une certaine quantité d'eau. [30]

Néanmoins, de nos jours, l'emploi d'adjuvants et de différentes additions minérales est obligatoire pour atteindre des propriétés souvent antagonistes et ainsi obtenir un comportement adéquat en fonction de l'application désirée et des performances souhaitées.

[31]

Ils peuvent être très différents les uns des autres selon la nature et les pourcentages des constituants, le malaxage, la mise en œuvre et la cure.

II.3.1 Les liants :

Les professionnels appellent le mortier la «colle », à cause du liant qui joue le rôle d'adhésif et de liaison entre les différents éléments. Le liant doit être de bonne qualité. Son choix pour la confection d'un mortier est très important.

Les liants se divisent en deux grandes familles : les liants organiques et les liants minéraux.

II.3.1.1 Les liants organique :

Les liants organiques sont synthétisés par des organismes vivants, ou par la science de l'homme, au départ de matière minérale ou de matière organique préexistante. Leur mode de prise est complexe, et le carbone s'y rencontre principalement sous la liaison $\equiv\text{C}-\text{H}$. [32]

On a comme exemple : [33]

- Les liants hydrocarbonés : bitumes, goudrons.
- Les résines et surtout les polymères.
- Les huiles sont employées pour leur pouvoir siccatif : huile de lin, ...etc.

II.3.1.2 Les liants minéraux :

Les liants minéraux sont généralement obtenus par traitement à haute température de matière minérale, et font prise en présence d'eau. Le carbone ne s'y rencontre que sous la forme oxydée de CO_2 (carbonate). [29]

Il existe deux sortes de liant minéraux : [30]

- les liants aériens : durcissement à l'air dû à une réaction de carbonatation : (Exemples : plâtre, chaux aérienne, liants magnésiens.)
- les liants hydrauliques : durcissement en milieux humides ou dans l'eau dû à une réaction d'hydratation de silicates ou d'aluminates : (Exemples : chaux hydraulique, les ciments spéciaux (alumineux fondu, prompt, ..), les ciments normalisé, laitiers...etc.)

1) Les ciments :**a- Historique du ciment :**

Vers le 4^e millénaire avant notre ère, les égyptiens gâchaient à l'eau le premier véritable liant minéral : un plâtre grossier obtenu par calcination du gypse. Plus tard, les grecs, puis les romains furent, sans doute, les premiers à fabriquer des liants hydrauliques susceptibles de durcir sous l'eau. Pour cela, ils mélangeaient de la chaux vive CaO , obtenue par cuisson de calcaire, et des cendres volcaniques de la région de Pouzzoles. C'est de là qu'est venu le terme bien connu de « Pouzzolanique », qui se dit d'un matériau capable, en présence d'eau, de fixer la chaux (Ciment). En revanche, cette propriété d'hydraulicité du mélange ainsi constitué est restée totalement inexpliquée. [34]

Le ciment n'a pris son acception contemporaine qu'au XIX^e siècle, lorsque Louis Vicat a identifié le phénomène de la chaux hydraulique ou Il donne des indications précises sur les proportions de calcaire et de silice nécessaire pour constituer le mélange qui, après cuisson à la température convenable et broyage en 1817 et l'appela chaux hydraulique ou chaux limite. [35]

En 1824, le britannique Joseph Aspdin déposa un brevet pour la fabrication d'une chaux hydraulique à prise rapide qui était commercialement appelée ciment Portland car la couleur de son produit ressemblait aux célèbres pierres de carrière de la péninsule de «Portland »dans la Manche. [36]

La recherche sur l'hydraulicité des chaux commence à la fin du XVIII^e siècle pour aboutir vers 1840 avec la fabrication des ciments modernes. Elle concernait les chaux grasses, non hydrauliques qui ne prennent pas sous l'eau, les chaux hydrauliques qui prennent même sous l'eau, et les chaux limites (trop riches en argiles) qui se durcit rapidement puis se décomposent (si elles ne sont pas cuites au degré de fusion pâteuse). En 1976, James Parker, sur l'île Sheppey, en Grande-Bretagne, a découvert du ciment prompt (de la chaux hydraulique proéminente ou du ciment naturel à prise rapide, cuit à 900 ° C comme de la chaux naturelle ordinaire) qui était du ciment commercial romain. Puis, de 1820 à 1920 environ, ce ciment acquit une grande réputation. Il est fabriqué dans toute l'Europe et permet de réaliser des moules de mesure ou de fabriquer des pierres factices à partir du ciment mou. [32]

b- Naissance de l'industrie cimentière : [37]

La première cimenterie a été créée par Dupont et Demarle en 1846 à Boulogne sur Mer (France), et le développement n'a pu être rendu possible que grâce à l'apparition de nouveaux matériaux: un four rotatif et notamment un broyeur à boulets. La production continue de s'améliorer: en 1870, pour produire une tonne de clinker (le composant de base du ciment), il a fallu 40 heures, et actuellement cela prend environ 3 minutes.

Le ciment a été principalement développé à partir des années 1950 (7,4 tonnes) en raison de l'essor du béton et du besoin de reconstruction. La production a augmenté régulièrement jusqu'en 1974, année où le niveau le plus élevé a été atteint de 33,5 millions de tonnes. En 2004, elle était de 21 millions de tonnes.

c- Définition du ciment :

Le ciment est un composant essentiel des matériaux cimentaires tels que le béton et le mortier. Il assure une fonction mécanique, car il lie le squelette granulaire, mais il est aussi en grande partie responsable de la tenue à long terme du matériau cimentaire. La conception d'un matériau cimentaire est extrêmement liée à l'environnement dans lequel il va être exposé durant sa durée de vie.

Le ciment est un matériau qui se compose de calcaire et d'argile dont la combinaison, une fois chauffée à haute température (1450°C), donne une poudre de clinker. Lors de la conception du ciment, il y a des étapes à suivre comme la cuisson et le broyage avec l'addition de du gypse dont le rôle est d'améliorer les caractéristiques du ciment.

d- Etymologie :

Le ciment (du latin *cæmentum*, signifiant pierre non taillée) est une matière pulvérulente formant avec l'eau ou avec une solution saline une pâte plastique liante, capable d'agglomérer, en durcissant, des substances variées. Il sert à désigner aussi, dans un sens plus large, tout matériau interposé entre deux corps durs pour les lier. [32]

e- Procèdes et techniques de fabrication du ciment :**-Procédé de fabrication du ciment :**

Il existe quatre grands procédés de fabrication du ciment : la voie sèche, semi-sèche, semi-humide et humide ;

➤ Voie sèche :

C'est la technologie la plus utilisée, aujourd'hui, en France. La matière première est préparée sous forme de poudre. Le pré homogénéisation permet d'atteindre un dosage parfait des 11 Schéma de fabrication du ciment (voie sèche). Constituants essentiels du ciment, par superposition de multiples couches. Une station d'échantillonnage analyse régulièrement les constituants et le mélange pour en garantir la régularité. À la sortie du hall de pré homogénéisation, le mélange est très finement broyé dans des broyeurs sécheurs, qui éliminent l'humidité résiduelle et permettent d'obtenir une poudre qui présente la finesse requise; cette poudre, le « cru », est une nouvelle fois homogénéisée par fluidisation. [34]

➤ **Voie semi-sèche :**

la poudre est agglomérée sous forme de boulettes de 10 à 20 mm de diamètre par ajout de 12 à 14 % d'eau, séchée et préchauffée dans une chambre 'Grille LEPOL' puis dans le four. [38]

➤ **Voie semi-humide :**

La pâte est d'abord débarrassée de son eau dans des filtres presses. Le gâteau de filtre-pressé est ensuite extrudé sous forme de granules et introduit dans un préchauffeur à grilles ou directement dans un sécheur pour la fabrication du cru. [35]

➤ **Voie humide :**

Le cru est transformé en une pâte fluide par adjonction d'eau (entre 30 et 40% d'eau) avant d'entrer dans le four, il s'agit de la technique la plus simple mais aussi de la plus consommatrice en énergie puisqu'il faut évaporer l'eau lors de la cuisson. [39]

- Techniques de fabrication du ciment :

➤ **Extraction et concassage des matières premières :**

Les matières premières sont extraites de carrières généralement à ciel ouvert. Les blocs obtenus sont réduits, dans des concasseurs situés généralement sur les lieux mêmes de l'extraction, en éléments d'une dimension maximale de 150 mm. [34]



Figure II.1: Gisement calcaire. [37]



Figure II.2: Gisement argile. [37]

➤ **Le broyage et le stockage des matières premières :**

La matière concassée est ensuite acheminée vers la cimenterie pour entamer la succession de phases qui la transforment en ciment. Ce transport se fait de diverses manières selon l'éloignement de la cimenterie. Arrivée à l'usine, la matière concassée est stockée dans des hangars de pré homogénéisation. La matière pré homogénéisée corrigée avec différents ajouts (calcaire pur, fer, bauxite) est broyée dans un broyeur pour l'obtention d'une poudre fine, appelée cru ou farine, prête à la cuisson. Stockée dans des silos d'homogénéisation. [40]



Figure II. 3: Hall de pré-homogénéisation. [41]



Figure II.4: Broyeur. [38]



Figure II.5: Silos d'homogénéisation. [38]

➤ **La cuisson des matières premières :**

La matière première est chauffée à 800 °C puis chauffée à 1450 °C dans un four rotatif cylindrique horizontal d'une longueur de 50 à 90 m et d'un diamètre de 4 à 5 m légèrement incliné et tournant de 1 à 3 cycles / min. À la sortie du four, le clinker est situé sur des refroidisseurs qui réduisent sa température à 70 °C (refroidissement); Ce choc thermique

conduit à l'apparition des granulés dans des diamètres variant de 0 à 25 mm. Les matières cuites prennent la forme de granules solides appelés clinkers. [42]



Figure II.6: Four rotatif. [38]



Figure II.7: Le clinker. [38]

➤ **Stockage et broyage du ciment :**

Le clinker refroidi est mélangé avec du gypse, c'est cette poudre finement broyée qu'on appelle (le ciment), des constitutions de substitutions comme les pouzzolanes peuvent entrer dans sa composition, cela permet de limiter les émissions de CO₂ et de créer des ciments dans les propriétés variées. Le broyage est nécessaire dans L'objectif d'atteindre une finesse Blaine choisie et de pouvoir fabriquer des ciments composés. [39]



Figure II.8: Poudre de ciment courant

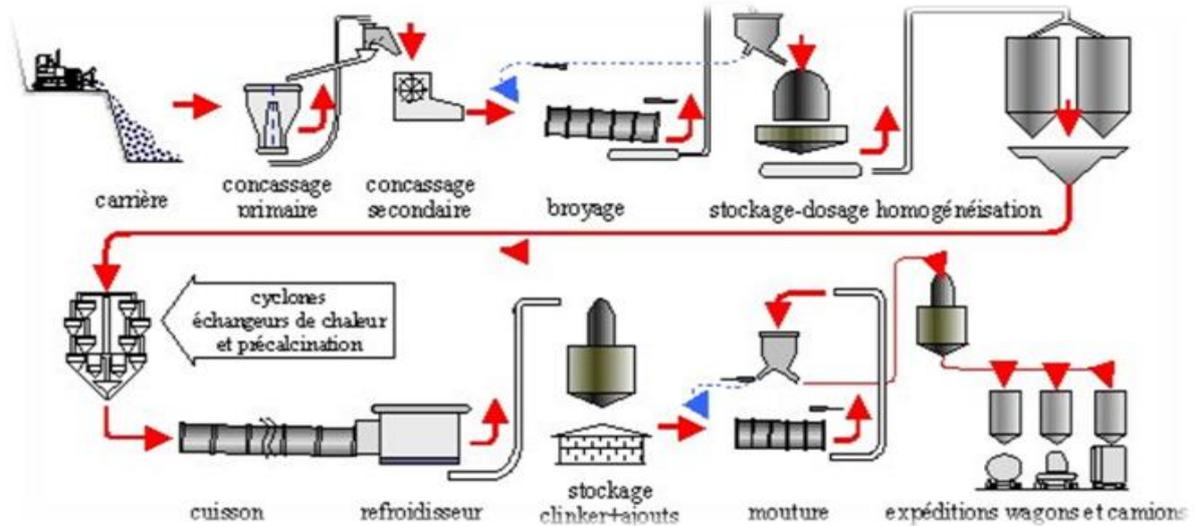


Figure II.9: Fabrication du ciment. [43]

f- Les Constituants du ciment:

➤ Clinker :

Le clinker est le constituant principal hydraulique des ciments courants, il est obtenu par calcination ($1450\text{ }^{\circ}\text{C}$) d'un mélange de matières premières, composé d'environ 80 % de calcaire et 20 % d'argile, (farine crue, ou pâte) contenant des éléments couramment exprimés en oxydes CaO , SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 et de petites quantités d'autres matières. [44]

➤ Le gypse(CaSO_4) :

Le gypse est une roche minérale blanche, d'aspect mat, finement cristallin, tendre et de densité 2.3. Quelques traces jaunes de soufre peuvent apparaître. Il est constitué en majeure partie de sulfate de calcium hydraté ($\text{CaSO}_4, 2(\text{H}_2\text{O})$). Il est très pur (souvent 98%) et ne nécessite pas de purification lors de son exploitation. Le gypse est la matière première utilisée pour la fabrication de ciment dans le but de régulariser la prise du ciment, notamment les ciments qui contiennent des proportions importantes d'aluminate tricalcique (Al_2O_3). [39]



Figure II.10: Poudre de gypse

g- Propriétés physico-mécaniques du ciment :

➤ **La prise :**

Une fois le ciment anhydre mélangé à l'eau, l'hydratation commence et les propriétés de la pâte ainsi obtenue changent avec le temps. Tant que cette hydratation n'est pas trop avancée la pâte reste plus ou moins malléable, ce qui permet de lui faire épouser par moulage la forme désirée. Mais après une certaine période, les cristaux d'hydrates prenant de plus en plus d'importance, le mélange a changé de viscosité et se raidit, on dit qu'il fait prise. [45]

Le phénomène de prise du ciment est lié à de nombreux paramètres : [46]

_la nature du ciment.

_la finesse de mouture du ciment; plus son broyage a été poussé, plus le temps de prise est court.

_la température; alors qu'à zéro degré la prise est stoppée, plus la température ambiante est élevée plus la prise est rapide, pour un ciment donné le début de prise sera de 18 heures à 2 °C, de 5 heures à 10 °C, de 3h 30 à 20 °C et de 30 min à 35 °C.

_la présence de matières organiques dans l'eau ou dans l'un des autres constituants du béton qui ralentit la prise.

_l'excès d'eau de gâchage qui a, entre autres inconvénients, une action retardatrice sur la prise.

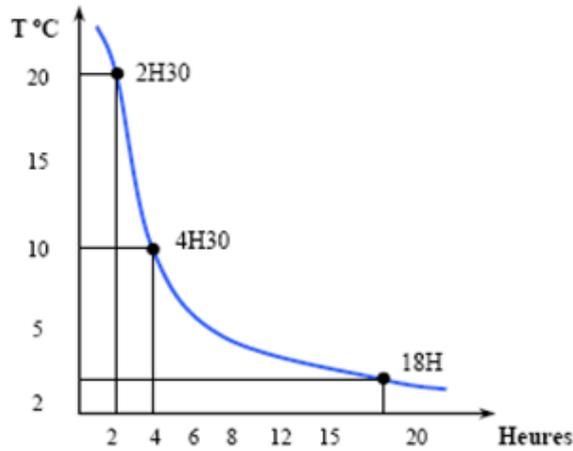


Figure II.11: Evolution du temps de prise en fonction de la température [43]

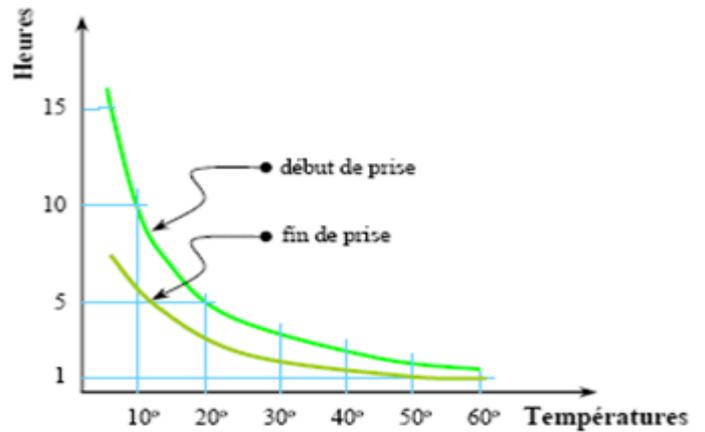


Figure II.12: Influence de la température sur la prise des ciments [43]

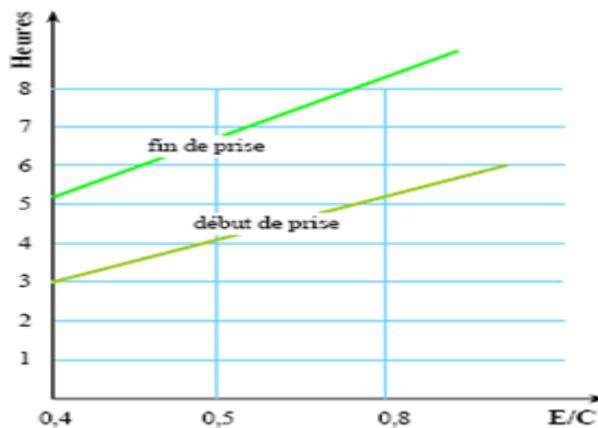


Figure II.13: Influence de l'E/C sur le temps de prise [43]

➤ **Le durcissement :** [42]

C'est la période qui suit la prise et pendant laquelle se poursuit l'hydratation du ciment. Sa durée se prolonge pendant des mois au cours desquels les résistances mécaniques continuent à augmenter.

➤ **La finesse de mouture (surface spécifique de Blaine) :** [42]

Elle est caractérisée par la surface spécifique des grains de ciment, exprimée en (cm²/g). Dans les cas courants, elle est de l'ordre de 3000 à 3500 cm²/g. Plus la finesse de mouture (broyage) est grande, plus la vitesse des réactions d'hydratation sont élevée et plus ces

résistances mécaniques est élevée à un âge précoce, en revanche, plus le ciment est sensible, plus il rétrécit.

➤ **Chaleur d'hydratation:** [43]

Le phénomène de prise du ciment s'accompagne d'une réaction exothermique dont l'importance dépend de différents paramètres, en particulier:

_La finesse de broyage: plus le ciment est fin, plus la chaleur d'hydratation est élevée.

_La nature des constituants: les ciments CPA (CEM I) comportant presque exclusivement du clinker dégagent plus de chaleur que des ciments avec constituants secondaires.

_La nature minéralogique du clinker: plus les teneurs en aluminat tricalcique (C_3A) et silicate tricalcique (C_2S et C_3S) sont élevées, plus la chaleur d'hydratation est forte.

_La température extérieure.

➤ **Stabilité de volume:** [43]

La réaction d'hydratation est accélérée par un traitement thermique de la pâte, de manière à pouvoir observer l'expansion éventuelle du ciment en un temps très court. Un test permet de s'assurer que le ciment ne contient pas de substances susceptibles de provoquer une dilatation dangereuse dans le temps en utilisant le magnésium ou le sulfate. Pour mesurer l'expansion, les aiguilles Le Châtelier sont utilisées

➤ **Le retrait :** [43]

La pâte de ciment rétrécit à l'air sec (alors qu'au contraire, elle gonfle dans l'eau), ce phénomène se prolongeant dans le temps et ce pendant des périodes plus longues que les pièces sont massives. C'est le retrait qui est à l'origine des fissures observées dans les pièces en béton. En fait.

Il existe plusieurs types de retrait:

➤ **Le retrait avant prise :**

Il est dû essentiellement à la perte prématurée d'une partie de l'eau de gâchage par évaporation dont l'amplitude est dix fois celles du retrait hydraulique classique. Ce retrait, qui entraîne des contraintes de traction supérieures à la résistance à la traction du béton, qui est

alors pratiquement nulle, se traduit par l'apparition, à la surface du béton encore plastique, de grandes crevasses peu profondes.

➤ **le retrait hydraulique :**

Qui résulte d'une part de la contraction de Le Chatelier (le volume d'hydrates est inférieur au volume des constituants de départ) et d'autre part du retrait de dessiccation, est de l'ordre de 0,2 à 0,4 mm / m pour le béton. Dans le cas de béton à faible rapport E / C, la dessiccation d'origine "endogène" (consommation d'eau de gâchage pour l'hydratation) peut être prépondérante sur la dessiccation par échange avec le milieu extérieur.

➤ **le retrait thermique :**

Il est dû à la contraction du béton lors de son refroidissement. L'importance du retrait hydraulique, outre le facteur temps, est fonction de nombreux paramètres :

- _ La nature du ciment.
- _ Le dosage en eau.
- _ La propreté des sables.
- _ La forme et la dimension des granulats.

➤ **La résistance à la compression : [42]**

Les résistances mécaniques des ciments sont déterminées par les essais sur mortier dit "normal", à 28 jours d'âges en traction et en compression des éprouvettes 4 x 4 x 16 cm. La résistance du mortier est alors considérée comme significative de la résistance du ciment. Elle dépend de la classe de ciment et est exprimée en MPa.

Pour chaque type de ciment, il existe effectivement plusieurs classes de résistances pour lesquelles les fabricants garantissent des valeurs minimales et maximales.

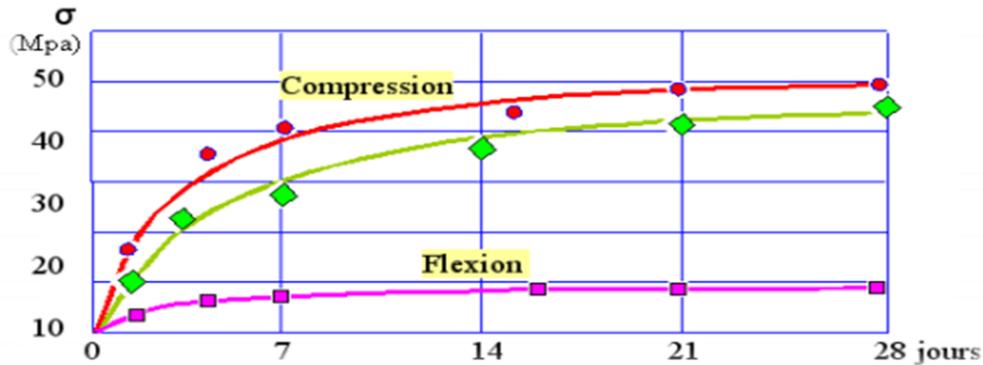


Figure II.14 : Résistance mécanique du mortier normal [42]

h- Les types de ciment :

-Ciment Gris :

- **Le ciment Portland: CEM I**

Il contient au moins 95 % de clinker et au plus 5 % de constituants secondaires. [34] Ils sont destinés aux travaux de béton armé fortement sollicités, au béton précontraint, aux produits préfabriqués les plus performants : tuyaux, bloc, poutrelles, ainsi qu'aux usages spéciaux : enduit, colle, produits de ragréage... [47]

- **Le ciment Portland composé: CEM II/A ou B**

Il contient au moins 65 % de clinker et au plus 35 % d'autres constituants: laitier de haut fourneau, fumée de silice (limitée à 10 %), pouzzolane naturelle, cendres volantes, calcaires, constituants secondaires. [34] Ils sont utilisés pour la plupart des travaux d'usage courant en béton armé ou non, la maçonnerie, certains produits préfabriqués... [44]

- **Le ciment de haut fourneau: CEM III**

Les CEM III A, B ou C également appelé ciment de haut-fourneau, sont principalement obtenus grâce au mélange de 5 à 64% de clinker avec 35 à 95% de laitier de haut-fourneau. [39] Ils sont plutôt réservés aux travaux de fondations profondes, de grande masse et en milieu agressif : injections, pieux, élevage agricole, terrain gypseux, eaux de mer ou eau très pure ... [44]

▪ Le Ciment pouzzolanique : CEM IV

Les CEM IV A ou B sont des ciments de type pouzzolanique. Ils sont constitués de 45 à 89% de clinker et de 10 à 55 % d'autres constituants comme le laitier de haut-fourneau, «la fumée de silice », le schiste calciné, la pouzzolane naturelle, les cendres volantes, les calcaires, ...etc. [34]

▪ Le Ciment au laitier et aux cendres : CEM V/A ou B

Il contient de 20 à 64 % de clinker, de 18 à 50 % de cendres volantes et de 18 à 50 % de laitier. [34] Domaine d'utilisation c'est le même que le CEM III.

-Ciment Blanc : [48]

En général, le ciment a une couleur grise, mais pour obtenir du ciment blanc, l'argile et le calcaire sont triés pour obtenir un composant sans présence de fer. Une fois cette étape terminée, la composition est ajoutée avec du kaolin et de l'argile blanche puis chauffée à 1500 degrés. Lorsque le ciment blanc se refroidit, le processus se fait se fait par rotation, le but étant d'empêcher l'oxydation de l'air-clinker. En même temps, cela donne de la poudre pure.

L'utilisation du ciment blanc :

Le ciment blanc et généralement utiliser pour :

- des fins décoratives.
- l'amélioration esthétique du béton.
- la conception de fenêtres, de seuils de porte, de piliers d'entrée, d'extrémité d'escalier ou de carreaux laminés.
- Des installations internes ou externes dans la construction.

-Ciments Spéciaux :**▪ Le ciment prompt naturel**

Le ciment prompt naturel est obtenu par cuisson, à une température (1000 / 1200° C), d'un calcaire argileux d'une grande régularité. Ce ciment est un produit, à prise rapide, et à résistances élevées à très court terme. La mouture est plus fine que celle des ciments Portland. [49]

Les principes domaine d'emploi du ciment prompt naturel sont : [34]

- Travaux nécessitant une préparation très rapide: scellements courants, blocages, aveuglements, voies d'eau, calfatages.
- Enduits, moulages, tableaux, arêtes, repères, charges importantes.
- Réhabilitation de façades de toutes compositions (en mélange avec des chaux naturelles).
- Petits ouvrages : chaînages, regards, appuis.
- Milieux agressifs (eaux pures, eau de mer).



Figure II.15: ciment prompt naturel

▪ **Le ciment alumineux fondu**

Il résulte de la cuisson d'un mélange de calcaire et de bauxite donnant essentiellement un aluminat mono-calcique. Avec une prise normale, il possède un durcissement rapide qui lui confère des résistances initiales élevées. Il présente également une bonne tenue aux milieux agressifs ainsi qu'aux températures élevées (jusqu'à plus de 1000°C avec des granulats appropriés). [50]

Les principes domaine d'emploi du ciment alumineux fondu sont : [34]

- Ouvrages exigeant une résistance élevée à court terme.
- Bétonnage par temps froid.
- Pour béton devant subir des chocs thermiques ou une forte abrasion.
- Pour béton devant résister à des températures jusqu'à 1 250 °C.
- Travaux à la mer.

- Travaux en milieu fortement agressif (pH de 4 à 5,5).
- Travaux en milieu très fortement agressif (pH < 4).

2) Les liants à maçonner :

Le liant à maçonner appelé aussi le ciment à maçonner est un ciment composé de clinker de ciment portland, de filer calcaire et de la chaux hydraulique naturelle. C'est un ciment idéal pour la production de mortier de maçonnerie, lorsqu'il est mélangé correctement avec du sable de mortier et de l'eau potable. [51]

Domaines d'emploi : [52]

Ces ciments dont les résistances sont volontairement limitées par rapport aux ciments traditionnels, sont bien adaptés pour la confection de mortiers utilisés dans les travaux de bâtiment (maçonnerie, enduits, crépis, etc.). Ils peuvent aussi être utilisés pour la fabrication ou la reconstitution de pierres artificielles.

Ces ciments ne conviennent pas au béton à haute pression ou au béton armé. De plus, ils ne doivent pas être utilisés dans des milieux agressifs.

3) les chaux :

Bien qu'il ne s'agisse pas à proprement parler de ciments, on peut également citer les chaux hydrauliques ou naturelles qui présentent une constitution voisine de celle des ciments. Elles sont employées en maçonnerie pour la confection des enduits, souvent associées à d'autres liants.

a) Historique de la chaux : [53]

Les origines de la chaux ne sont pas spécifiquement datées mais la chaux naturelle est sans aucun doute le liant le plus riche en l'histoire. Il a également donné son nom au calcaire, qui vient du latin calcarius, "qui contient de la chaux".

Il y a 14 000 ans, la chaux était progressivement apprivoisée et contrôlée par les hommes. Elle accompagna, voire remplaça l'utilisation de sols argileux. La découverte de fondations en chaux en Turquie orientale prouve que cette matière y était déjà utilisée.

3000 ans avant JC, l'Égypte ancienne l'utilisait pour bronzer les peaux et édifier de nombreuses Pyramides, utilisant la chaux comme liant à maçonner et à enduire et aussi pour composer des blocs de calcaire ré-agglomérés. Mais c'est sans aucun doute

la civilisation grecque et l'empire romain à partir du 1er siècle de notre ère, qui ont permis à la chaux de connaître son heure de gloire.

Les Chinois ont construit les 2 500 km de la Grande muraille de Chine en stabilisant le sol avec de la chaux et en utilisant des mortiers à base de chaux pour assembler les pierres.

b) Définition et Composition de la chaux :

La chaux est le résultat de la cuisson du calcaire à une température comprise entre 800 ° C et 1000 ° C. Ce calcaire qui va être calciné trouve son origine dans les sédiments et dépôts des organismes marins laissés en place, après le retrait des mers, il contient principalement du carbonate de calcium (plus de 70%) mais également de la silice, de l'oxyde de fer, de l'aluminium ou d'autres minéraux en proportions plus faibles. [54]

Selon la nature du calcaire cuit, on obtiendra soit des chaux calciques, soit des chaux hydrauliques, mais dans tous les cas des chaux naturelles. [51]

Il est intéressant de noter que le verbe « calciner », qui signifie brûler à haute température a Précisément pour origine étymologique le terme latin « calx, calcis » désignant la chaux. [29]

c) Fabrication de la chaux :

La fabrication de la chaux consiste à cuire des carbonates de calcium et/ou de magnésium pour libérer du dioxyde de carbone et obtenir l'oxyde dérivé ($\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$). À la sortie du four, l'oxyde de calcium est habituellement concassé, broyé et/ou tamisé avant d'être transporté vers les silos de stockage.

d) Les étapes de fabrication : [55]

1 – Extraction

Les matières premières nécessaires à la fabrication de la chaux sont extraites de carrière à ciel ouvert. Les roches calcaires sont abattues par tir électronique puis transportés dans des bennes vers la station de traitement.

2 – Transport de la roche

Acheminement des roches concassé vers un stock qui permet une homogénéisation parfaite du calcaire.

3 – La cuisson

La cuisson de la roche se fait dans des fours verticaux alimenté en matière et en combustible par le haut et à l'air libre.

4 – Calcination

La roche traverse très lentement la zone de préchauffage pour entrer dans la zone de calcination où l'alchimie s'opère à une température comprise entre 900 et 1200C°.

5 – Décarbonatation

La décarbonatation intervient la roche devient chaux vive. Elle progresse ensuite vers le bas des fours et se refroidit avant d'être extraites sur des bandes transporteuses.

6 – Hydrateur

Le passage de la chaux vive à la chaux éteinte s'effectue dans un hydrateur. Après la sortie du four l'introduction d'eau déclenche une réaction chimique exothermique qui provoque un intense dégagement de chaleur.

7 – Séparateur

La chaux éteinte passe alors par le séparateur, les particules fines et légères sont expulsées vers le haut pour devenir chaux blanche.

8 – Broyage et stockage :

Les particules plus grosses doivent passer par le broyeur pour constituer la chaux grise. Les chaux ainsi obtenus sont ensuite conditionnés dans des silos de stockage ou dans de grands hangars de stockage.

e) Les différents types de chaux :

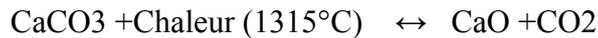
Il existe plusieurs types de chaux avec des propriétés différentes :

- **La chaux vive :**

Le carbonate de calcium doit être chauffé à une température très élevée (calcination ou brulage), pour former la chaux vive qui est principalement constituée de 90% d'Oxyde de calcium (CaO). Elle s'appelle aussi chaux brulée. [56]

La réaction se fait selon l'équation:

Calcaire + Chaleur \leftrightarrow Chaux vive + Gaz Carbonique

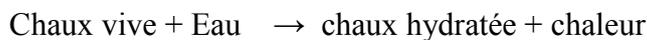


La chaux vive est utilisée telle quelle en milieu humide pour ses propriétés déshydratantes et stabilisatrices, pour les soubassements de chemins et fondations de bâtiments. [57]

- **La chaux hydratée :**

La chaux hydratée (aérienne ou éteinte) est créée lors de la chaux vive réagit chimiquement avec l'eau. Elle est constituée surtout d'hydroxyde de calcium (Ca(OH)_2). [53]

L'hydratation se fait selon l'équation:



Elle est utilisée : [58]

-En enduit ou mortier souple

-Pour des finitions intérieures ou les peintures

-Pour les murs anciens en pierre ou en terre à l'intérieur

- **La chaux hydraulique :**

Obtenu à partir de la calcination d'un calcaire riche en argile, siliceux, la chaux hydraulique n'a pas les mêmes propriétés que la chaux aérienne. Le taux moyen est situé entre 10 et 20% d'argile. Elle effectue en effet une double prise, une première, rapide, au contact de l'eau et une seconde, beaucoup plus lente au contact de l'air. [59]

Elle est utilisée pour les ouvrages extérieurs comme les façades exposées ou les dalles. Elle est aussi utilisée pour les travaux dans les pièces humides, notamment dans la salle d'eau et les caves. On l'utilise également en tant qu'enduit isolant au chanvre. [60]

II.3.2 Les sables :

Le sable est une substance pulvérulente de différentes tailles granulométriques. Cette substance pouvant être de type détritique (issue de la désagrégation d'autres roches par érosion) ou bien être issue du dépôt in situ d'éventuelles parties carbonatées de minuscules organismes marins. [61]

1) Les différentes Classification des sables : [62]

La classe d'un sable est fonction de la taille de ses grains (granulométrie). Ils existent trois types :

-**Sable grossier** : Ce type de sable a des grains d'une taille comprise entre 5mm et 25mm. Ils peuvent porter l'appellation de gravillon. Ce sable, présente une faible teneur de particule de la fraction 0,080- 2mm.

-**Sable moyen** : C'est un sable dont les grains ont une taille comprise entre 2,50mm et 5mm.

-**Sable fin** : Il est question de sable fin, lorsque les particules qui le constituent, sont inférieures à 2,5mm

2) Les types des sables selon leurs provenances :

- **Sable naturel :**

Ils sont de nature siliceuse ou silico-calcaire Il se compose de grains meubles n'ayant aucune cohésion. Ces sables représentent la quasi-totalité des constructions, ils proviennent de : [63]

-**Rivières** : il est obtenu par dragage des lits des cours d'eau, ce sable s'appelle : sable de rivière ou sable fluvial, il est constitué de grains durs et arrondis ayant tous les calibres, il est très pur (lavé par l'eau).

-**Sablières** : d'où il faut l'extraire, ce sable s'appelle "sable de carrière" ; il a été entraîné par les cours d'eau aux temps primitifs, contenant des particules d'argile, le limon et des restes organiques.

-**Mer** : où on le drague, ce sable provient des roches sous-marines ou de falaises érodées ; il est préférable de rincer ce sable à l'eau douce car il contient des sels qui ne sont pas néfastes mais peuvent occasionner des efflorescences.

-**Montagnes** : ou sable de feuilles, il a été emporté par le vent et s'est déposé contre les flancs des montagnes et des collines. Le grain de ce sable est très fin et de dimension régulière, ce qui donne lieu à un grand pourcentage de vides par conséquent, il ne pourra être utilisé qu'avec un mélange d'autres sortes de sable.

- **Sable artificiel :**

Les sables artificiels comprennent les sables résultant du concassage de blocs de laitier des hauts-fourneaux ou de la pierre naturelle, il est constitué de grains meubles n'ayant aucune cohésion. [64]

On distingue : [60]

-Le poussier de pierre naturelle : c'est le produit du concassage de roche saine et dure de porphyre, de quartzite, de grès et de calcaire.

-Le poussier de laitier : c'est le produit du concassage de bloc de laitier basique de haut fourneau à texture pierreuse non vitreux, qui a été refroidis à l'air en couches de moins de 0,25 m.

-Le sable concassé : c'est du poussier de laitier dont le filler a été éliminé (le filler est de la fine poudre dont le grain est inférieur à 0,074 mm).

-Le laitier granulé : c'est le produit résultant du refroidissement soudain du laitier basique s'écoulant du haut fourneau.

-Le laitier broyé : c'est le produit obtenu par monture du laitier granulé.



Figure II.16 : les différents types de sable

II.3.3: Les adjuvants:

1) Historique :

Les Romains utilisaient du sang d'animal et le blanc d'œuf comme plastifiants dans leur béton de chaux et de pouzzolane. [65] Dès le début de la fabrication du béton de ciment

Portland, les recherches ont été commencer sur l'incorporation de produits susceptibles d'améliorer certaines de ses propriétés (plâtre, chlorure de calcium, sucre, filer ...etc.). On cherche à agir sur les temps de prise, les caractéristiques mécaniques et de mise en œuvre et la porosité. [34]

La commercialisation de ces ajouts a commencé plus tard vers 1910 et 1920; il s'agissait surtout d'hydrofuges et d'accélérateurs. Les plastifiants furent commercialisés vers 1935, les entraîneurs d'air après la guerre en Europe. Récemment, sont apparus les antigels et les produits de cure. Depuis 1960, les adjuvants se sont diversifiés et multipliés; leur qualité et sa constance ne cessent de s'améliorer. [62]

2) Définition :

L'adjuvant est un produit chimique incorporé au moment du malaxage du béton ou du mortier à un dosage inférieur ou égal à 5% en masse du poids de ciment, pour améliorer les propriétés du mélange à l'état frais et / ou à l'état durci. Chaque adjuvant est défini par une fonction principale et une seule. Un adjuvant peut présenter une ou plusieurs fonctions secondaires. [66]

3) Les différents types d'adjuvant :

- **Les adjuvants modifiant certaines propriétés du béton :**

_ **Les entraîneurs d'air :** ils favorisent la formation de microbulles d'air de manière homogène afin d'accroître la résistance du béton aux cycles gel-dégel. [67]

_ **Les hydrofuges de masse :** ils permettent d'étanchéifier le béton, en colmatant les pores capillaires, ils trouvent leur utilisation dans la réalisation des réservoirs d'eau, piscines, bache à eau. [64]

_ **Les rétenteurs d'eau :** leur fonction est de réguler l'évaporation de l'eau, d'augmenter l'homogénéité et la stabilité du mélange. [63]

- **Les adjuvants modifiant l'ouvrabilité du béton :**

_ **Les plastifiants réducteurs d'eau** : leur fonction principale est de conduire à une augmentation des résistances mécaniques par une réduction de la teneur en eau du béton, mortier ou coulis. [63]

_ **Les super plastifiants** : ils permettent d'obtenir des bétons gérables et ouvrants par défloculation des grains de ciment. À une consistance donnée ils offrent la possibilité de réduire la quantité d'eau nécessaire à la fabrication et à la mise en place du béton, et par conséquent augmenter les caractéristiques mécaniques du béton. [64]

- **Les adjuvants modifiant la prise et le durcissement :**

_ **Les accélérateurs de prise** : leur fonction principale est de diminuer les temps de début et de fin de prise du ciment dans les bétons, mortiers ou coulis pendant les temps froids. [63]

_ **Les accélérateurs de durcissement** : ils ont pour fonction principale d'accélérer le développement des résistances initiales des bétons, mortiers et coulis. [63]

_ **Les retardateurs de prise** : Ils sont utilisés pour transporter du béton sur de longues distances, notamment par temps chaud. Ils sont également utilisés pour éviter toute discontinuité lors de la reprise du bétonnage. [64]

- **Les produits de cure :**

Les produits de cure ont pour effet de protéger le béton frais pendant un certain temps après sa mise en œuvre, l'empêchant de se dessécher par une évaporation trop rapide de l'eau. [63]



Figure II.17 : Adjuvants liquide de gauche à droite : agent anti-lessivage, réducteur de retrait, réducteur d'eau, agent moussant, inhibiteur de corrosion et agent entraîneur d'air. [68]

II.3.4 Les ajouts :

1) Définition des ajouts :

Généralement, les ajouts sont des solides finement broyés, mélangés au béton ou au mortier ils permettent de jouer sur les caractéristique mécanique, à savoir la résistance, les délais de mise en œuvre, la plasticité ...ets. Et ils rendent les mortiers/bétons très performants.

Il existe plusieurs types d'ajouts :

- **Les poudres fines :**

_les cendres volantes : [69]

Collectées dans les dépoussiéreurs des centrales thermiques à charbon, elles se présentent sous la forme de sphérules pleines ou creuses.

On distingue :

- * les cendres silico-alumineuses, appelées F,
- * les cendres silico-calciques et sulfocalciques, appelées C.

La phase vitreuse est composée de silice, la phase cristallisée est composée d'un grand nombre d'éléments dont les silicates et sulfates calciques hydrauliques.

_les cendres de balles de riz: [70]

La cendre de balle de riz est un matériau hautement siliceux qui peut être utilisé comme mélange dans le béton ou le mortier si la balle de riz est brûlée d'une manière spécifique. Les caractéristiques des cendres de balles de riz dépendent des composants, de la température et du temps de combustion.

_ La fumée de silice: [66]

Elles proviennent de la production de silicium métallique dans des fours à arc électrique. Elles forment des sphérolites qui se rassemblent en agglomérats de quelques micromètres. La surface spécifique de ces fines est très élevée (10 à 20 m² / g).



Figure II.18: Poudre fine [71]

- **Les fibres :**

La présence de fibres dans le mélange, a pour fonction de contrecarrer le retrait hydraulique, caractéristique du mortier pendant le processus de durcissement, évitant ainsi la formation de fissures et fissures à la surface de l'enduit appliqué. [72]

Il existe sur le marché diverses catégories de fibres pouvant être incorporées au béton ou mortier : [73]

- synthétique (acrylique, aramide, carbone...).
- naturelle (bagasse, noix de coco, jute...).
- métallique (inoxydable, galvanisé, fil étiré à froid...).

- verre (sodocalcique, borosilicaté, Cem-Fil et NEG).

- **Les colorants :**

La majorité des colorants utilisés pour colorer les mortiers et les bétons sont soit synthétique et / ou naturelle. Ces pigments se lient physiquement aux grains de matériau cimentaire, changeant l'ensemble de la couleur du mélange. Ces colorants sont résistants à la chaux, à la lumière, aux intempéries, inertes aux conditions atmosphériques. [74]



Figure II.19 : colorant [68]

- **Les polymères :**

Le polymère c'est un ensemble de macromolécules issues d'assemblage covalent de motifs identiques appelé monomère qui sont des molécules de base qui réagit par des réactions dites de polymérisation. Le monomère peut être un composé organique instauré, un composé organique comportant un ou plusieurs fonctions réactives. Les polymères peuvent être d'origine naturelle (animale ou végétale) ou d'origine synthétique. [75]

L'utilisation des matériaux polymères dans les mortiers et bétons permet d'en améliorer les propriétés finales, notamment en termes de légèreté, de propriétés thermiques et acoustiques. [76]

II.4. Les différents mortiers :

Différents types de mortiers utilisés dans la construction de maçonnerie en fonction de l'application, du liant, de la densité et des objectifs. Le mortier est une pâte réalisable préparée en ajoutant de l'eau à un mélange de liant et d'agréats fins. Cette pâte plastique est utile pour maintenir ensemble des matériaux de construction tels que la pierre ou la brique.

Différents types de mortiers utilisés dans la construction sont présentés ci-dessous :

II.4. 1. Les mortiers de ciment : [77]

Il s'agit du type de mortier traditionnel obtenu en mélangeant de l'eau, du sable et enfin du ciment. Il peut être utilisé pour les travaux de maçonnerie à l'intérieur et à l'extérieur. Il a une meilleure résistance à la compression, une prise rapide.

De manière générale, le mortier se dose comme suit :

- 1 volume de ciment
- 4 volumes de sable
- 0,5 volume d'eau

II.4. 2. Les mortiers de chaux : [78]

La chaux est l'un des liants les plus utilisés dans les anciennes constructions. A tel point que les mortiers de chaux sont encore fréquemment utilisés. Il faut dire que ce type de mortier permet au mur de mieux respirer et possède également des capacités hydrofuges (idéales pour les pièces humides).

On trouve deux types de chaux :

- La chaux aérienne : elle a l'avantage de durcir lentement, et uniquement au contact de l'air.
- La chaux hydraulique : elle durcit au contact de l'eau, puis de l'air.

L'utilisation de chaux dans un mortier permet généralement une application plus facile, grâce à un temps de séchage légèrement plus long. Ces mortiers sont cependant plus complexes à doser que le ciment.

II.4. 3. Les mortiers bâtards : [74]

Il se différencie du mortier de ciment par l'ajout de chaux dans sa fabrication. Il a l'avantage d'être plus élastique, plus facile à mettre en œuvre et de présenter moins de retrait mais son temps de durcissement est absolument lent. Il est donc déconseillé de l'utiliser en temps froid. Il est généralement utilisé pour monter un mur en brique.

Son dosage se présente comme suit :

- 1 volume de ciment.
- 1 volume de chaux.

- 8 volumes de sable.
- 1 volume d'eau.

II.4. 4. Mortiers fabriqués sur chantier : [79]

Ils sont préparés avec du ciment et du sable du chantier. Le ciment est un ciment CPA commun ou CPJ et parfois des ciments spéciaux comme le ciment alumineux fondu. De la chaux hydraulique et parfois des liants de maçonnerie sont également utilisés. Le sable est le plus souvent roulé (nature silico-calcaires) parfois concassé et le mélange se fait à la pelle ou à l'aide d'une petite bétonnière.

Ces mortiers ne sont donc pas très réguliers et les sables peuvent être différents d'une livraison à l'autre, mais ils doivent quand même être propres et de bonne granulométrie. Le sable est généralement dosé en poids ce qui est préférable ou en volume dans le cas de petits sites de construction. Dans ce dernier cas, il est très important de prendre en compte le phénomène de foisonnement de sable.

II.4. 5. Mortier industriel : [76]

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

_Mortiers pour enduits de couleur et d'aspect varié.

_mortiers d'imperméabilisation.

_mortier d'isolation thermique.

_mortier de jointoiement.

_mortier de ragréage.

_mortier de scellement, mortier pour chapes.

_mortier-colle pour carrelages, sur fond de plâtre ou de ciment, etc...

II.5. Les caractéristiques physico-mécaniques des mortiers de ciment : [76]

II.5. 1. Les résistances mécaniques :

L'exigence essentielle pour un béton ou un mortier est de pouvoir résister aux contraintes mécaniques de la construction. C'est pourquoi la détermination des résistances mécaniques est essentielle pour caractériser un béton, d'autant plus que ce test relativement simple donne une vue d'ensemble de la qualité du béton. Pour obtenir des résultats fiables, la préparation des éprouvettes, ainsi que les essais mécaniques eux-mêmes, doivent être effectués avec soin.

II.5. 2. Résistance à l'écrasement :

Cette résistance dépend d'une multitude de facteurs, notamment la qualité du liant, la nature et la pureté du sable. Cependant, le liant et le sable étant donnés, et en laissant temporairement de côté le soin apporté à la mise en œuvre, la résistance dépend de la:

- ✓ Qualité de l'eau de gâchage
- ✓ Composition granulométrique du sable
- ✓ Nature et dosage en ciment
- ✓ Rapport C/E
- ✓ Énergie de malaxage et mise en œuvre
- ✓ Protection les tous premiers jours Les essais sont souvent effectués sur les éprouvettes prismatiques de 4 x 4 x 16 cm conservés dans l'eau à 20 °C.



Figure II.20: Moule pour moulage des éprouvettes de mortier

II.6. Caractéristiques principales d'un bon mortier**II.6.1. Les qualités d'un bon mélange de mortier sont les suivantes : [80]****a) Force du mortier**

On dit qu'un mortier n'est bon en résistance qu'après son durcissement. Mais l'utilisation de matériaux de bonne qualité dans de bonnes proportions conduit à un mortier de bonne résistance. Cependant, avec le mortier, les éléments de construction sont également de bonne qualité, de sorte que seule la structure résistera longtemps. Lorsqu'il s'agit de préparer un mortier de bonne résistance, une teneur en ciment suffisante doit être utilisée. Un agrégat fin bien calibré doit être utilisé. La teneur en eau ne doit pas dépasser la quantité requise.

b) Mobilité

La consistance d'un mortier est indiquée par le terme mobilité. La consistance est classée en différents types comme rigide, dense, lâche, fluide, etc. La mobilité du mortier dépend de la composition des ingrédients du mortier. Des mortiers de consistances différentes sont utilisés pour différents travaux.

c) Placabilité

La capacité de placer économiquement une couche de mortier sur la surface de la structure est appelée la Placabilité du mortier. La couche de mortier de bonne qualité doit également développer une bonne adhérence avec la surface. Le placement dépend uniquement de la consistance ou de la mobilité du mortier.

d) Rétention d'eau

Un mortier de bonne qualité a une grande capacité de rétention d'eau. Il ne doit pas perdre sa teneur en eau, notamment pendant le transport. Si l'eau se sépare du mélange, il est difficile de durcir et la résistance du mortier est également réduite. Le mortier ne peut pas développer une liaison solide avec la surface sans beaucoup d'eau. Plusieurs types de plastifiants sont disponibles pour améliorer la rétention d'eau du mortier.

II.6.2. Les propriétés du bon mortier sont les suivantes : [77]

Lorsqu'un mortier est considéré comme un bon mortier, il doit obéir aux propriétés suivantes:

-Il doit avoir une propriété adhésive suffisante pour développer une liaison solide avec les éléments de maçonnerie.

-Il doit être étanche pendant la saison des pluies.

-Il doit être durable, économique et facile à installer.

-Il doit prendre moins de temps à durcir et développer des contraintes spécifiques après durcissement.

-Le mortier ne doit pas laisser de fissures près des joints et doit conserver une bonne apparence pendant de longues périodes.

-Les propriétés des matériaux qui entrent en contact avec le mortier ne doivent pas être affectées.

Pour pouvoir évaluer les caractéristiques des mortiers, on prend souvent comme référence le mortier 1/3 composé en poids de: une partie de ciment et 3 parties de sable normalisé dont les grains vont de 80 microns à 2 mm et traversent dans un fuseau bien déterminée.

Le mortier est mélangé et placé dans des moules métalliques selon des méthodes normalisées. Des tests rhéologiques et éventuellement la prise et la chaleur d'hydratation sont effectués sur ce mortier. De nombreux tests en laboratoire sont réalisés sur les prismes 4 x 4 x 16 cm (résistance mécanique, retrait, gonflement, absorption capillaire, résistance au gel et à l'eau agressive).

Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons abordé les différents composants du mortier ainsi que les matériaux entrant dans sa fabrication et également les caractéristiques physico-chimiques des mortiers.

Chapitre III: Matériels et méthodes

III.1. Introduction

Dans ce chapitre, on traite la détermination des caractéristiques des différents constituants entrant dans la composition du mortier. La connaissance de leurs caractéristiques est impérative à toute recherche ou étude d'investigation, puisque chacune pourrait influencer considérablement sur les résultats d'étude.

III.2. Confection du mortier

III.2.1. Définition du mortier :

Le mortier de ciment est obtenu en mélangeant du ciment, du sable silico-calcaire, de l'eau et éventuellement un adjuvant.

III.2.2. Principe :

Le test consiste à préparer un mortier cimentaire à partir de sable de carrière (silico-calcaire). Sa courbe granulométrique doit être comprise dans la zone de référence selon la méthode Dreux-Gorisse.

III.2.3. Matériel utilisé :

- Un malaxeur à deux vitesses :

Ce malaxeur est composé d'une cuve de cinq litres de contenance et d'une pale pouvant tourner à 2 vitesses (lente et rapide) comme le montre la figure suivante :



Figure III.1: malaxeur a deux vitesses lentes et rapides [81]

- Un jeu de tamis :



Figure III.2 : jeu de tamis

un jeu de tamis de : 0,063 – 0,08 – 0,100 – 0,125 – 0,160 – 0,200 – 0,25 – 0,315 – 0,40 – 0,50, 0,63 – 0,80 – 1,00 – 1,25 – 1,6 – 2,00 – 2,50 – 3,15 – 5 mm, dans le cas où l'on désire déterminer la courbe granulométrique.

- Une balance :



Figure III.3 : une Balance

Une balance électronique qui nous permet de peser les quantités nécessaires avec une précision de 0.001, de portée au moins égale à 10 kg.

- Presse hydraulique pour mesurer la résistance à la compression et flexion des mortiers
- Appareil de mesure de conductibilité thermique
- Appareil de mesure de masse volumique apparente et absolue
- Appareil de mesure de la finesse de Blaine du ciment
- Appareil de mesure de début et fin de prise du ciment
- Appareil de mesure de l'équivalent de sable

III.2.4. Matériaux utilisés :

III.2.4.1. Le ciment

Il s'agit d'un ciment composé CEM II (42,5) d'une densité relative de (3,15), qui est obtenue par broyage simultané d'environ 88 % de clinker Portland et 12 % de calcaire avec une faible quantité de sulfate de calcium utilisée comme régulateur de prise, ce ciment est produit par la cimenterie de Ain k'bira, conforme à la norme EN 197-1.

Composition minéralogique du clinker : [82]

Tableau III.1 : Composition minéralogique du clinker

Phase	Constituants minéraux du Clinker	Teneur rapportée au Clinker (%)
Clinker	C3S	61.34
	C2S	17.54
	C3A	5.59
	C4AF	11.93

Caractéristiques chimique et physique du ciment : [83]

- La composition chimique de CEM II (42,5):

Tableau III.2 : composition chimique du CEM II (42,5)

Composition chimique	Teneur %	Composition chimique	Teneur %
SiO ₂	18.8 %	K ₂ O	0.75 %
Al ₂ O ₃	4.2 %	Na ₂ O	0.10 %
Fe ₂ O ₃	2.1 %	Cl-	0.05 %
CaO	61.6 %	% Na ₂ O eq	0.59 %
MgO	2.1 %	Perte au feu	6.5 %
SO ₃	2.9 %	Résidu insoluble	0.65 %

- Caractéristiques physique du CEM II :

Tableau III.3: caractéristique physique du CEM II (42,5)

Surface spécifique Blaine	4200 cm ² /g
Masse volumique	3.13 g/cm ³
Demande en eau	28 %
Temps de début de prise	3 h 00

Caractéristiques mécanique du ciment CEM II (42,5):

- La résistance à la compression : [84]

Tableau III.4: Résistance à la compression du CEM II 42,5

Classes	Résistance à la compression en MPa			
	Résistance au jeune âge		Résistance courante	
	2 jours	7 jours	28 jours	
42,5 R	≥ 20	/	≥ 42,5	≤ 62,5

- La résistance à la flexion : [79]

Tableau III.5 : Résistance à la flexion du CEM II (42,5)

Classes	Résistance à la flexion en MPa		
	Résistance au jeune âge		Résistance courante
	2 jours	7 jours	28 jours
42,5 R	4	5,7	7,5

III.2.4.2. Le sable :

Le sable à utiliser dans ce projet est un sable de carrière, il est riche en carbonate de calcium (CaCO_3), et il contient un pourcentage assez important de la silice (SiO_2). Le sable est de fraction (0/4) mm de la carrière de Bouandas.

Caractéristique physique du sable silico-calcaire: [85]

Masse volumique apparente (g/cm^3).....	1.48
Masse volumique absolue (g/cm^3).....	2.61
Equivalent de sable visuellement.....	69.7
Equivalent de sable par piston.....	56
Coefficient d'Absorption (%).....	3.43

- **Analyse granulométrique :**

Le tableau suivant représente l'analyse granulométrique du sable de carrière de Bouandas avec une masse sèche totale de $M=1350$ g.

Tableau III.6: Composition granulométrique du sable normalisé

Ouverture de tamis en (mm)	Poids (g)	Teneurs (%)		Module de finesse Mf
	Refus cumules (g)	Refus cumules	Tamisât	
2	0	0	100	2,94
1,6	94,5	7	93	
1	445,5	33	67	
0,5	904,5	67	33	
0,16	1174,5	87	13	
0,08	1350	100	0	

Le graphique suivant montre que le sable utilisé est à l'intérieur du fuseau du sable :

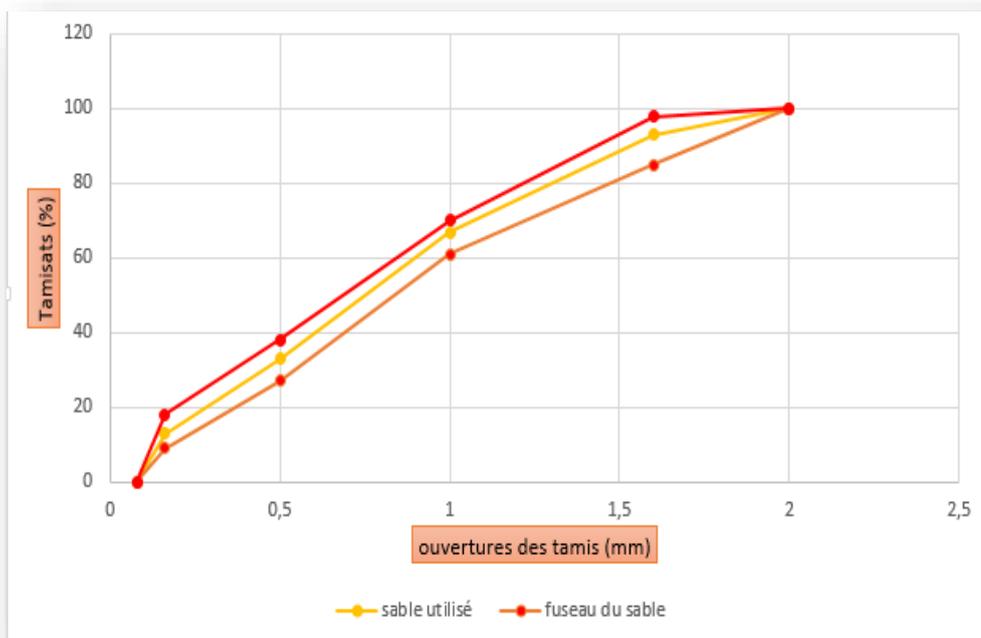


Figure III.4: courbe granulométrique du sable normalisé

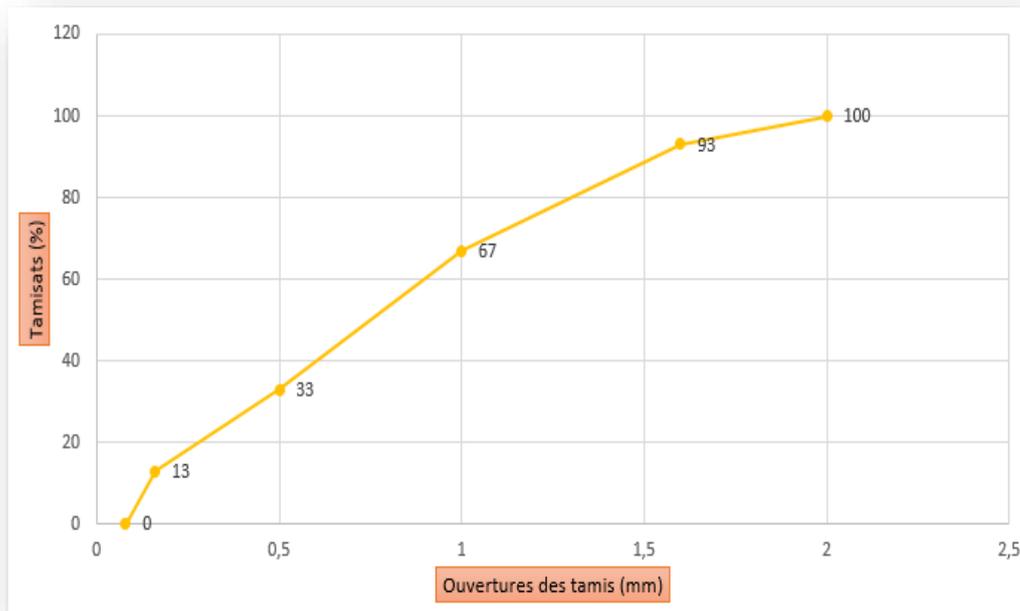


Figure III.5: Courbe granulométrie du sable utilisé

III.2.4.3. Eau de gâchage :

L'eau de gâchage à utiliser est l'eau du robinet exempte de toutes impuretés.

III.2.4.4. Plastifiant/réducteur d'eau :

Les adjuvants sont des produits chimiques incorporés au béton ou mortier en faible quantité (inférieure à 5 %). Dans ce projet l'adjuvant à utiliser est le plastifiant réducteur d'eau conforme à la norme NF EN 934-2 de masse volumique 1,06 kg/m³.

Plage d'utilisation recommandée : [86]

Plage d'utilisation recommandée et de 0,3 à 1.2% du poids du ciment

Caractéristique du plastifiant réducteur d'eau : [83]

- ✓ Aspect..... liquide
- ✓ Couleur..... brun foncé
- ✓ Densité..... 1,180 g/cm³ ± 0,02
- ✓ PH..... (MA 003) 5 ± 1,5
- ✓ Extrait sec..... 39 ± 2.5%
- ✓ Teneur en ion Cl -..... < 0.1 %
- ✓ Teneur en Na₂O éq..... ≤ 2%

Les propriétés: [83]

- ✓ Il améliore les caractéristiques du béton ou du mortier à l'état frais et à l'état durci.
- ✓ Il augmente l'ouvrabilité à E/C constant.
- ✓ Il augmente les performances mécaniques à maniabilité constante.

III.2.4.5. Grignon d'olive broyé :

Le matériau à utiliser est issu des déchets lors de l'extraction de l'huile d'olives. Le grignon d'olive employé dans ce PFE est celui de la région d'El-kseur.



Figure III.6 : Grignon d'olive

Afin d'obtenir du grignon d'olive broyé à la même grosseur que celle du sable utilisé, différentes étapes sont suivies, à savoir : le lavage, séchage, broyage et tamisage.

Le lavage :

Le grignon d'olive a été mis dans des bacs puis lavé avec de l'eau tiède pour le séparer de la margine et de la pulpe d'olive.



Figure III.7 : Lavage du grignon d'olive

Le séchage :

Après l'étape du lavage le grignon d'olive à subir un séchage naturel à l'air libre pendant deux jours pour éliminer l'humidité qui modifierait ses caractéristiques.



Figure III.8 : Grignon d'olive lavé



Figure III.9 : Grignon d'olive séché

Le broyage et le tamisage :

Le grignon propre à subir un broyage pour obtenir une dimension proche à celle du sable, juste après cette étape il passe par le tamisage afin d'avoir deux fraction granulométrique 1/2 et 2/4 mm.

Composition chimique du grignon d'olive : [87]

Tableau III.7 : Composition chimique du grignon d'olive

	Grignon d'olive brut	La coque du grignon
Neutral détergent fibre (matières sèches %)	71.15	84.65
Acide détergent fibre (matières sèches %)	56.03	66.32
Lignine (matières sèches %)	22.61	25.17
Cellulose (matières sèches %)	33.42	41.15
Hémicellulose (matières sèches %)	15.12	18.33
Cendres (matières sèches %)	2.41	0.62
Matières grasses (matières sèches %)	3.47	1.6

Pour que les mortiers ou les bétons soient de bonne qualité, il est essentiel que les granulats composant ces matériaux adhèrent parfaitement au ciment. En effet, la résistance à la traction d'un matériau hydraulique dépend principalement de l'adhérence des grains au ciment durci.

Les qualités suivantes sont également recherchées pour un mortier ou un béton: [88]

- Résistance à l'écrasement,
- Compacité,
- Etanchéité ou imperméabilité,
- Constance du volume pendant la prise et le durcissement.

Toutes ces qualités dépendent d'une multitude de facteurs, qui sont en particulier : [85]

- La qualité du liant, sa nature et son dosage,
- La composition granulométrique du sable,
- La quantité d'eau de gâchage,
- Les conditions de mise en œuvre,....etc.

III.2.5. Mode opératoire :

Pour commencer l'étude prendre le sable de carrière pour le premier essai sans l'ajout du grignon d'olive broyé et pour les autres essais enlever un pourcentage du sable pour le substitués par différents pourcentages volumiques : 0, 5, 10, 15 et 20% de grignon d'olive broyé, et le mélanger avec le ciment et l'eau dans les proportions suivantes : 450 ± 2 g de ciment, 1350 ± 5 g de sable de carrière et 225 ± 1 g d'eau. Avant d'être utilisé pour l'identification de caractéristiques physique et/ou mécanique, ce mortier est malaxé pendant 4 minutes en respectent les étapes suivantes :

- Introduire l'eau en premier dans la cuve du malaxeur.
- Verser en suite le ciment.
- Mettre le malaxeur en marche à vitesse lente.
- Après 30 secondes de malaxage introduire régulièrement le sable pendant les 30s suivantes.
- Mettre le malaxeur à sa vitesse rapide et continuer le malaxage pendant 30s supplémentaires.
- Arrêter le malaxeur pendant 1 min 30 s. Pendant les 15 premières secondes enlever au moyen d'une raclette tout le mortier adhérent aux parois et au fond du récipient en le repoussant vers le milieu de celui-ci.
- Reprendre ensuite le malaxage à grande vitesse pendant 60 s à vitesse rapide.

Le mortier prêt, le verser dans des moules prismatiques 4x4x16 cm et 1x1x8 cm respectivement pour des essais physico-mécaniques et thermique. La mise en place est réalisée par choc, pour procéder à la confection de ces éprouvettes il faut suivre les étapes suivantes :

- Huiler les moules
- Vérifier le serrage des moules
- Remplir les moules de mortier frais
- Vibrer le mortier
- Une fois le moule est rempli, araser la surface avec une règle métallique
- les couvrir de film plastique et stockés dans l'environnement du laboratoire
- Décoffrer le moule après 24 heures
- Répéter la même opération en changeant le paramètre étudié

Après décoffrage, les éprouvettes doivent être complètement immergées dans un bac, qui contient de l'eau potable du laboratoire, afin d'éviter l'évaporation prématurée de l'eau. Les éprouvettes doivent rester conservées dans l'eau pendant 27 jours et ne seront sorties qu'une journée avant les essais à effectuer.

III.2.6. Description des essais expérimentaux à effectuer :

❖ Essai pour l'évaluation de la résistance à la traction, à la compression et à la flexion :

La résistance d'un mortier est directement dépendante du type de ciment donc, il s'agit de définir les qualités de résistance d'un ciment plutôt que d'un mortier. Le principe de l'essai consiste à étudier les résistances à la traction et à la compression d'éprouvettes de mortier.

Équipements à utiliser : [89]

Une machine d'essai permettant d'appliquer des charges à 150 KN, dispose de dispositif de la traction et de la compression.



Figure III.10 : Machine de mesure des résistances à la traction et à la compression



Figure III.11 : Dispositif de la traction



Figure III.12 : dispositif de la compression

La rupture de chaque éprouvette en flexion est effectuée conformément au schéma décrit sur la figure suivante :

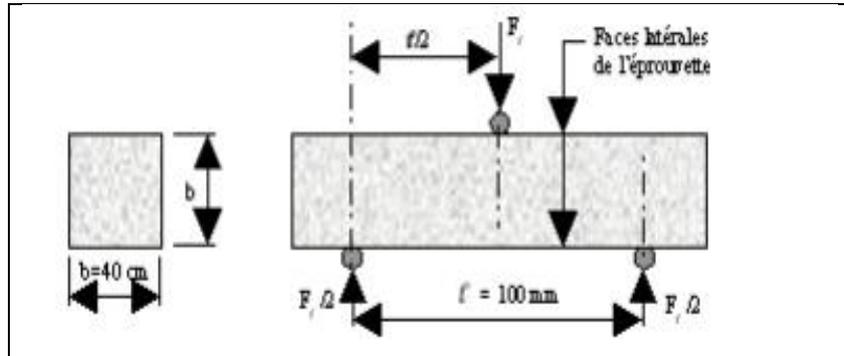


Figure III.13 : Essai de résistance à la flexion

Si F_f la charge de rupture de l'éprouvette en flexion, le moment de rupture vaut $F_f * l / 4$ et la contrainte de traction correspondante sur la face inférieure de l'éprouvette est :

$$R_f = (1.5 F_f * l) / b^3$$

Cette contrainte est appelée la résistance à la flexion. Compte tenu des dimensions b et l , Si F_f est exprimée en newtons (N), cette résistance est exprimée en mégapascals (MPa) vaut :

$$R_f \text{ (MPa)} = 0,234 * F_f \text{ (N)}$$

Les demi-prismes de l'éprouvette obtenus après rupture en flexion seront rompus en compression. Si F_c est la charge de rupture, la contrainte de rupture vaudra :

$$R_c = F_c / b^2$$

Cette contrainte est appelée résistance à la compression et, si F_c est exprimée en newton, cette résistance exprimée en mégapascals vaut :

$$R_c \text{ (MPa)} = F_c \text{ (N)} / 1600$$

❖ Essai de mesure de la conductivité thermique : [90]

La conductivité thermique est une grandeur physique caractérisant le comportement des matériaux lors des transferts de la chaleur. Cette grandeur dépend principalement de la nature des matériaux et la morphologie du milieu (matrice solide et réseau poreux) et à la teneur en eau.

Il existe 4 types de mesure de la conductivité thermique :

- Méthode plaque chaude gardée comme le montre la figure suivante :

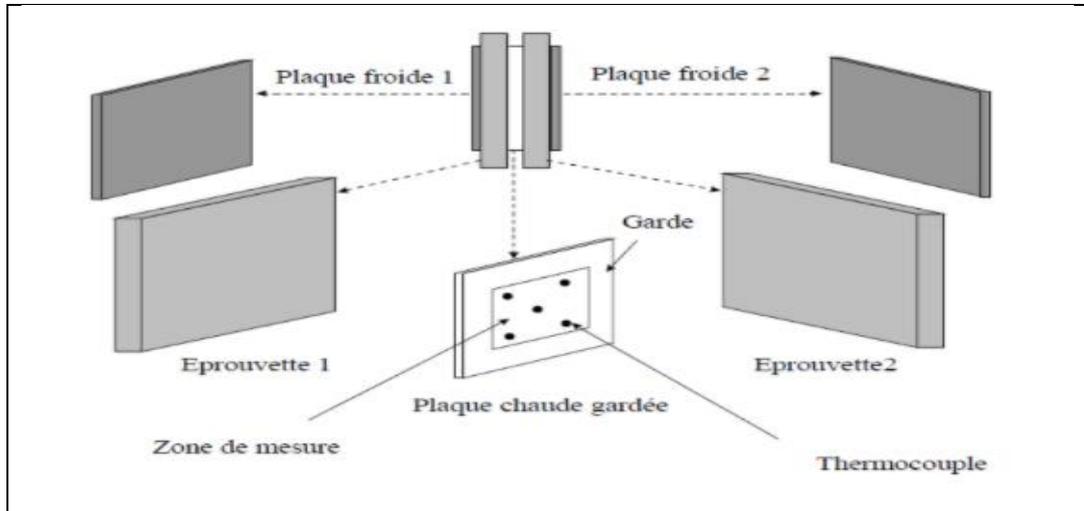


Figure III.14: la méthode Plaque Chaude Gardée

- Méthode fil chaud :

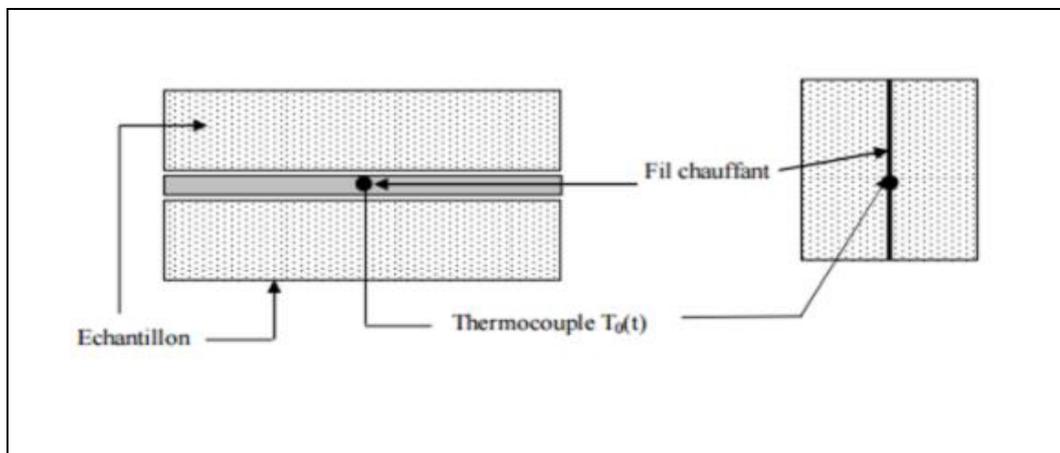


Figure III.15: la méthode Fil chaud

- Méthode fluxmétrique :

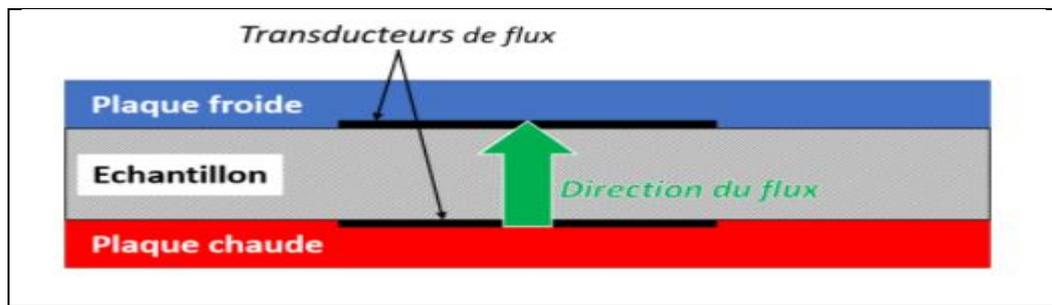


Figure III.16 : la méthode fluxmétrique

- Méthode Hot Disk :

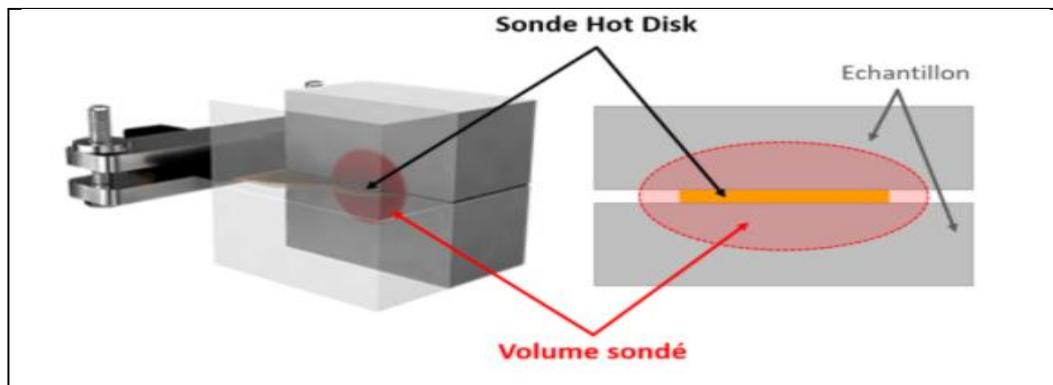


Figure III.17 : La Méthode Hot Disk

❖ Essai de mesure de la masse volumique apparente et absolue : [91]

La différence entre la masse volumique apparente et absolue :

La masse volumique apparente est la masse du matériau par unité de volume, exprimée en t/m^3 , en kg/dm^3 , ou en g/cm^3 . Cette masse volumique intègre les grains de l'agrégat ainsi que les vides compris entre ces grains, contrairement à la masse volumique absolue, qui elle ne tient compte que de la masse des grains constituant le matériau sans les vides pouvant exister entre les grains.

1- La masse volumique apparente :

Cet essai permet de déterminer la masse volumique apparente des différents matériaux (ciment, sable, gravier etc...), c'est-à-dire, la masse en (g) de ce corps pour $1cm^3$ de volume. Cette masse volumique apparente est appelée g (rau).

Pour réaliser cet essai il faut :

- Un récipient en métal ou plastique de forme cylindrique.

-Une balance et une règle pour arasement du récipient.



Figure III.18 : l'essai de mesure de la masse volumique apparente.

- Prendre le récipient et calculer son volume V.
- Peser le récipient et noter sa masse vide M0.
- Prendre le matériau dans les mains on formant un entonnoir.
- Placer les deux mains à environ 10 cm au-dessus du récipient et laisser le matériau s'écouler lentement.
- Laisser couler le matériau toujours au centre du récipient, jusqu'à ce qu'il déborde tout autour en formant un cône (talus naturel).
- Araser à la règle avec précaution la partie du matériau dépassant les bords supérieurs du récipient.
- Peser l'ensemble et noter le résultat M1.
- Calculer la masse volumique apparente selon la formule suivante :

$$P = M/V \text{ [g/cm}^3\text{]}$$

Avec :

M = masse du matériau étudié, tel que $M = M1 - M0$.

M0 = masse du récipient vide.

M1 = masse du récipient rempli.

V = volume du récipient.

2- La masse volumique absolue :

Cet essai permet de déterminer la masse volumique absolue des différents matériaux (ciment, sables, s de gravier etc..), c'est-à-dire, la masse en (g) de ce corps pour 1cm³ de volume, mais

uniquement la masse des différents grains constituant le granulat, c'est-à-dire, que l'on ne tient absolument pas compte des vides qui peuvent être situés entre les grains. Cette masse volumique absolue est appelée ρ_s (rau).

Pour réaliser cet essai il faut :

- une éprouvette graduée et d'une balance.
- Remplir l'éprouvette avec un volume d'eau V_1 et noter sa valeur.
- Peser un échantillon sec de granulats.
- Introduire l'échantillon dans l'éprouvette en prenant soin d'éliminer les bulles d'air.
- Prendre la valeur du nouveau volume et la noté V_2 .
- Effectuer les calculs selon la formule suivante :

$$\rho_s = M / V \text{ [g/cm}^3\text{]}$$

Avec :

M = masse du matériau étudié.

$V = V_2 - V_1$.

V_1 = volume dans l'éprouvette avant introduire de la masse d'agrégat.

V_2 = volume dans l'éprouvette après introduire de la masse d'agrégat.

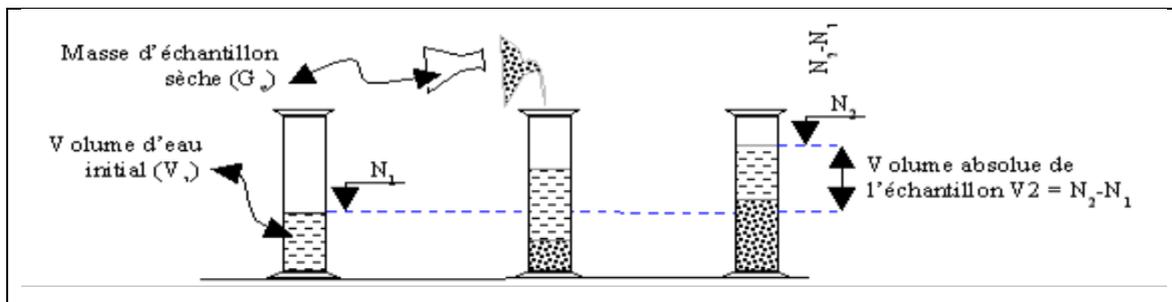


Figure III.19 : l'essai de mesure de la masse volumique absolue.

❖ **Essai de mesure de la finesse de Blaine du ciment : [92]**

La surface spécifique (finesse Blaine) permet de mesurer la finesse de mouture d'un ciment ou d'une poudre extrêmement fine. Elle est caractérisée par la surface spécifique ou surface développée totale de tous les grains contenus dans un gramme de ciment ou de la poudre fine. Elle s'exprime en cm^2/g . Suivant le type de ciment ou de poudre fine.

L'objectif de l'essai est de déterminer la surface totale des grains contenus dans une masse unité de ciment ou de poudre. Elle est exprimée en cm^2/g .

Le principe de cet essai est de faire passer un volume d'air connu au travers d'une poudre fine ou de ciment, plus la surface massique de cette poudre est importante et plus le temps (t) mis par l'air pour traverser la poudre fine ou le ciment est long. La surface massique est proportionnelle à $(t^{1/2})$. La masse volumique du ciment ou de la poudre fine doit être connue.

Equipement nécessaire à utiliser :

- Une salle maintenue à $20^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$ et à une humidité relative de 65%.
- Un appareil appelé « perméabilimètre de Blaine ».
- Une balance précise à 0.001g près.
- Un chronomètre précis à 0.2 s près.
- Des rondelles de papier filtre adaptées au diamètre de la cellule.
- Un thermomètre précis à 0.1 °C.

Pour réaliser cet essai il faut :

- Peser une quantité de ciment pour obtenir un lit de ciment de porosité $e = 0.500$.
- Mettre de la poudre fine ou du ciment dans la cellule puis compacter à l'aide du piston.
- Placer la surface conique de la cellule dans le rodage conique au sommet du manomètre.
- boucher le dessus du cylindre avec bouchon adéquat. Ouvrir le robinet d'arrêt en amenant le niveau du liquide à la première ligne.
- Fermer le robinet d'arrêt et enlever le bouchon du cylindre.
- Démarrer le chronomètre dès que le liquide atteint la deuxième ligne.
- Arrêter le chronomètre dès que le liquide atteint le troisième repère.
- Relever le temps à 0.2s près et la température à 1°C près.
- Calculer la surface spécifique du ciment par la formule :

$$S = \frac{K}{\rho} * \frac{\sqrt{e^3}}{(1-e)} * \frac{\sqrt{t}}{\sqrt{0.1 \eta}} \quad (\text{cm}^2/\text{g})$$

Avec:

K: Constante d'étalonnage de l'appareil (K= 2.106).

ρ : Masse volumique du ciment en g/cm³

η : Viscosité de l'air à la température de l'essai en poise.

t: Temps de passage de l'air dans la couche de la poudre fine ou de ciment en seconde.

e = porosité du ciment ou de la poudre fine dans la cellule.



Figure III.20: Perméabilimètre de Blaine

❖ **Essai de mesure de début et fin de prise du ciment :**

L'objectif de l'essai est de connaître le début et la fin de prise des pâtes de ciment afin de pouvoir évaluer le temps disponible pour la mise en place correcte des mortiers et des bétons qui seront ensuite confectionnés.

Le test consiste à suivre l'évolution de la consistance d'une pâte de consistance normalisée à l'aide de l'appareil Vicat qui permet de mesurer l'enfoncement d'une aiguille dans la pâte et le temps correspondant (le début de prise et la fin de prise)

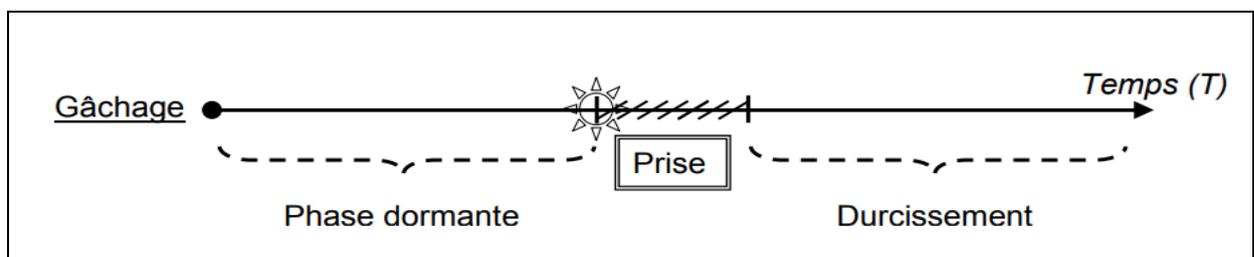


Figure III.21: différentes phases de prise de la pâte de ciment [93]

Equipement à utiliser :

- Salle climatisée (dont la température est de $20^{\circ} \text{C} \pm 1^{\circ} \text{C}$).
- Malaxeur.
- Appareil de Vicat.
- Balance précise à 0,1 g près.
- Chronomètre précise à 0,1 s près.

Dans cet essai le but est de réaliser une pâte de consistance standardisée. Quatre minutes après le début du mélange, l'aiguille est amenée à la surface de l'échantillon et relâchée sans élan. L'aiguille alors s'enfonce dans la pâte. Une fois immobilisé (après avoir attendu 30 secondes), notez la distance entre la pointe de l'aiguille et la plaque de base. Répétez l'opération à des intervalles de temps convenablement espacés (~ 10-15 minutes).

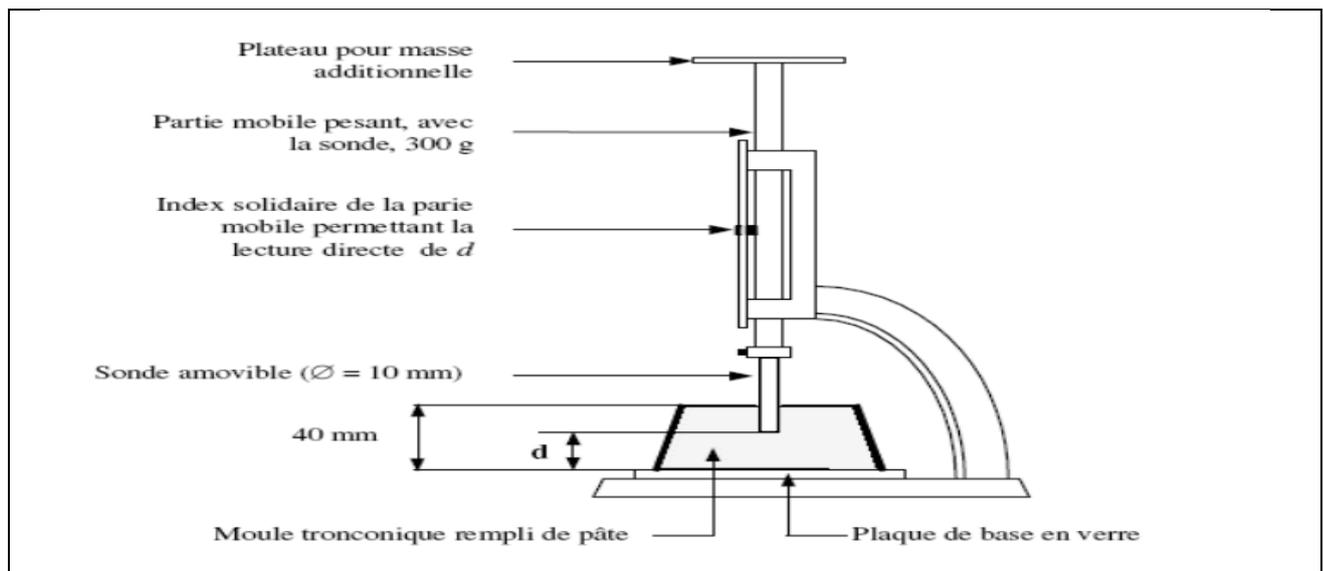


Figure III.22 : Appareil de Vicat muni de la sonde de consistance [90]

La distance (d) caractérise la consistance de la pâte étudiée : [90]

- ✓ Si $d = 6 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$, l'essai est concluant et la consistance est normale.
- ✓ Si $d \leq 5 \text{ mm}$, la pâte est trop mouillée et il faut recommencer l'essai avec moins d'eau.
- ✓ Si $d \geq 7 \text{ mm}$, la pâte est trop ferme et il faut recommencer l'essai avec plus d'eau

Si $d = 4 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$ on dit que le début de prise est atteint. Ce moment, mesuré à partir du début du malaxage, est appelé «temps de début de prise». Le « temps de fin de prise » est celui au bout duquel l'aiguille ne s'enfonce plus que de 0,5 mm.

❖ Essai de mesure de l'équivalent de sable : [94]

L'essai équivalent de sable permet de mettre en évidence la proportion de poussière fine nuisible dans un matériau. Car il permet de séparer les sables et graviers des particules fines comme les limons et argiles.

L'essai s'effectue sur un échantillon de sable humide afin d'éviter les pertes d'argile. Il faut vérifier que les grains de sable ont bien un diamètre inférieur à 5 mm par tamisage

Les étapes de l'essai :

Le sable est incorporé dans une éprouvette normalisée et préalablement remplie de solution (lavante). L'ensemble est agité à la main pour bien humidifier le sable et déloger les bulles d'air. L'humidification dure dix minutes.



Laisser reposer l'éprouvette durant 20 minutes le temps que tout le flocculat argileux se dépose sur le sable brut. Après ce temps La limite entre le sable brut et l'argile est visible. Il est possible de mesurer à l'œil nu et à la règle, la hauteur de sable total et la hauteur de sable brut pour en déterminer la proportion.



Les valeurs de l'équivalent de sable indiquent la nature du sable en fonction du moyen de mesure comme l'indique le tableau suivant :

Tableau III.8 : la nature de sable en fonction des valeurs de l'équivalent de sable

ES à l'œil nu	Nature et qualité du sable
$ES < 65\%$	Sable argileux: risque de retrait ou de gonflement.
$65\% \leq Es < 75\%$	Sable légèrement argileux de propreté admissible.
$75\% \leq Es < 85\%$	Sable propre à faible proportion de fines argileuses.
$ES \geq 85\%$	Sable très propre. L'absence totale de fines argileuses.

❖ **Essai pour l'évaluation du retrait :**

Il s'agit d'évaluer l'effet du type de sable sur le retrait. Comparer, à différents temps t , la variation de longueur d'une éprouvette 4 x 4 x 16 cm, par rapport à sa longueur à un temps t_0 pris pour origine. Pour les essais caractérisant le retrait, utiliser un extensomètre qui permet de donner directement la variation dimensionnelle.



Figure III.23 : un extensomètre

Conclusion générale

Conclusion générale :

L'industrie oléicole en Algérie produit chaque année d'énormes quantités de grignons d'olives, Ces quantités sont amenées à s'accroître vu les investissements engagés et le potentiel oléicole que le pays possède, ce qui pourrait engendrer des impacts négatifs sur l'environnement. L'élimination de ces déchets agricoles est devenue aujourd'hui une réelle préoccupation majeure dans de nombreux domaines, allant de la protection de l'environnement au domaine économique et technique.

La présente étude examine la possibilité de développer un mortier léger à base d'un sous-produit agricole, à savoir le grignon d'olive écrasé. La valorisation de ces coproduits peut certainement permettre de les utiliser comme substitut aux agrégats naturels et ainsi créer une valeur économique, sociale et environnementale supplémentaire; il permet également une meilleure manipulation et gestion de ces coproduits.

La valorisation des grignons d'olives issus des processus de l'industrie oléicole locale en les incorporant, sous forme de sable léger, à un mortier. Le produit qui en est issu présente des avantages en termes de légèreté et de performances. Le grignon d'olive broyé doit être utilisé dans cette étude en remplacement partiel du sable, à des taux différents, à savoir 0, 5, 10, 15 et 20% afin de voir L'influence de la taille de l'ajout du grignon d'olive broyé sur les caractéristiques physico-mécaniques et thermiques des mortiers à base de ciment.

Ce travail s'est focalisé sur l'incorporation du grignon d'olive broyé dans le mortier afin de l'alléger, mais d'autres études en perspective peuvent s'intéresser à l'exploitation du grignon d'olive broyé pour alléger le béton et améliorer ces performances tout en économisant le coût des matériaux de construction.

Le grignon d'olive qui était prévue d'être utilisé dans ce PFE, est issu d'une huilerie traditionnelle, mais on peut en tenir compte des grignons d'olives des super presses et des décanteurs centrifuges, en effet, ces derniers deviennent de plus en plus nombreux avec la modernisation des équipements des huileries.

En raison des circonstances que nous avons traversé dans ces derniers mois à cause du coronavirus 2019 (COVID-19), nous n'avons pas pu mener ce travail à terme dans de bonnes

conditions, par conséquent, ce dernier manque la partie expérimental de résultats, d'analyses, et de discussions.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] Marinela Barbuta, Roxana Dana Bucur, Sorin Mihai Cimpeanu, Gigel Paraschiv, Daniel Bucur, «wastes building materials industry», chapter 3, June 2015, pages81-99.
- [2] S.p.Raut, R.V.Ralegaonkar, S.A.Mandavgane, «Development of sustainable construction material using industrial and agricultural solid waste: A review of waste-create bricks », construction and building materials, October 2011, vol.25, Issue 10, Pages 4037-4042.
- [3] N. Saca, L. Radu, C. Mazilu, M. Gheorghe, I. Petre, V. Fugaru, Experimental models of grout type composite materials, with potential capacity of low level radioactivity wastes encapsulation, Romanian Journal of Materials, 2016, 46 (1), 34.
- [4] Davoud Tavakoli, Masoumeh Hashempour, Ali Heidri, «Use of waste materials in concrete», Pertanika J.Sci.etTechnol, 2018, 26(2), 499-522.
- [5] B.A. Herki, J.M. Khatib, E.M. Negim, Lightweight concrete made from waste polystyrene and fly ash, World Applied Sciences Journal, 2013, 21 (9), 1356.
- [6] V. Ferrandiz-Mas, E. Garcia-Alcocel, Physical and mechanical characterization of Portland cement mortars made with expanded polystyrene particles addition (EPS), Materiales de Construccion, 2012, 62, 547.
- [7] M. Benlemlih, J. Ghanam, «polyphénols d'huile d'olives, trésors santé», 2ème édition, 208 pages, 2016.
- [8] Récupéré sur : <https://www.olivierdeprovence.com/odpce-fr/olivier-culture.php>
- [9] Chevalier. A, L'origine de l'olivier cultivé et ses variations. Revue internationale de botanique appliquée et d'agriculture tropicale, 1948, N303-304.
- [10] C.O.I. L'Olivier, l'huile, l'olive - Madrid / Espagne ,1998.
- [11] Cheikh EL Hachemi, « Effet de différents modes de séchage sur la stabilité des qualités nutritionnelles et microbiologiques du grignon d'olive durant 3 mois du stockage », Mémoire de magister, Université d'Oran Es-Senia, 2010.
- [12] Henry S, «L'huile d'olive, son intérêt nutritionnel, ses utilisations en pharmacie et en cosmétique. Diplôme d'Etat de Docteur en Pharmacie.», Université Henri Poincaré -Nancy 1, 2003.
- [13] SANSOUCY R, Utilisation des sous-produits de l'olivier en alimentation animale dans le bassin Méditerranéen, FAO, Rome, 1984.
- [14] Lamani. O, .Ilbert H., Spécificités de l'oléiculture en montagne (région kabyle en Algérie) : pratiques culturelles et enjeux de la politique oléicole publique, CIHEAM-Options méditerranéennes. Série séminaires-N°118- 149-159 ,2016.
- [15] Récupéré sur : <https://www.sudhorizons.dz/fr/les-news/l-edito/55367-oleiculture-une-production-previsionnelle-de-plus-de-22-millions-de-litres-d-huile-d-olive>

- [16] Nefzaoui A, Importance de la production oléicole et des sous-produits de l'olivier. In : Etude de l'utilisation des sous-produits de l'olivier en alimentation animale en Tunisie. Étude FAO production et santé animales 43, Rome, 1984.
- [17] A.Nefzaoui. Contribution à la rentabilité de l'oléiculture par la valorisation optimale des sous-produits. Tunisie, 1987.
- [18] Amic. A, Dalmaso. C, « Unité de valorisation complète de déchets oléicoles par lombricompostage : Production de produits à haute valeur ajoutée : lombricompost, savon, collagène et lombrics », Thèse du doctorat, Université Aix-Marseille(AMU), Faculté des sciences et techniques Saint-Jérôme, 2013.
- [19] B. Hansali, A.Boulaares, « Enrichissement de l'huile d'olive par des antioxydants naturels (feuilles de pistacia lentiscus) », Université Mohamed El Bachir El Ibrahimy, 2019.
- [20] N. Babakhouya, « Récupération des métaux lourds par l'utilisation des absorbants naturels », Université de Boumerdes, mémoire de magister ,2010.
- [21] NEFZAOUI A. contribution à la rentabilité de l'oléiculture par une valorisation optimale des sous-produits ; Option méditerranéennes série séminaire N 16, PP 101-108. École supérieure d'horticulture. Sousse Tunisie, 1991.
- [22] NEFZAOUI A., et ZIDAN A., Les sous- produits de l'olivier. Publication spéciale de l'institut de l'olivier, 3092 Sfax, Tunisie, 1987.
- [23] Récupéré sur : <https://www.fellah-trade.com/fr/filiere-developpement-durable/fiches-techniques/sous-produits-olivier>
- [24] Norme commerciale applicable à l'huile d'olive et à l'huile de grignons d'olive COI / T.15 / NC n°3 (2003).
- [25] S. Atmane, R. Bareche, "Elaboration et caractérisation d'un matériau composite à base de PVC et de grignon d'olive local", Université de Mouloud Mammeri de Tizi Ouzou, 2017.
- [26] Khelaifa Hamad, Tagba Maléki, «Étude expérimentale sur les mortiers à base de granulats de caoutchouc, de déchets de brique et d'adjuvant résineux», Université de Guelma, 2015.
- [27] Bétons et mortiers : préparation et mise en œuvre sur chantier / Cimbéton. -2e édition. Cimbéton, 1996. -1 vol. (32 p.).
- [28] École inter-état des techniques supérieures de l'hydraulique et de l'équipement rural; «cours de technologie de construction», Tome 3, Burkina Faso, juillet 2003.
- [29] Wikipédia : [https://fr.wikipedia.org/wiki/Mortier_\(mat%C3%A9riau\)?](https://fr.wikipedia.org/wiki/Mortier_(mat%C3%A9riau))
- [30] Récupérer sur : <http://forum-btp.blogspot.com/2013/09/les-mortiers.html>

- [31] Thomas Poinot, «Influence des hydroxypropylguars sur les propriétés des mortiers de ciment à l'état frais», Thèse de doctorat, Université Saint-Étienne, 2013.
- [32] Guide des liants minéraux utilisés dans la construction et la restauration (139p) ; récupérer sur : <https://docplayer.fr/5597024-Guide-des-liants-mineraux-utilises-dans-la-construction-et-la-restauration.html?fbclid=IwAR3RYRencfxIbig-GiZKE42IMoXRO1Ayu15IWwAgKgWQ9OnxXUZVtKzwVzU>
- [33] Cours en ligne « matériaux de construction chapitre 1:Les liants minéraux »; récupéré sur : <https://ft.univ-setif.dz/externe/departements/gc/cours/liants-mineraux.pdf>
- [34] Joseph ABDO, Les matériaux de Construction traditionnels, Techniques de l'ingénieur 2ème édition C920 p 29-30,2008.
- [35] Récupérer sur : <http://www.ciment.wikibis.com>
- [36] Cyril Guérandel, «Etude de la qualité du piégeage des matières organiques par la matrice cimentaire vis-à-vis de la lixiviation», these de doctorat, Université de Lorraine (France), Novembre 2009.
- [37] Centre d'information sur le ciment et ses applications; « fiche technique : constituants des bétons et des mortiers»; collection technique cimbéton (Tome 1);paris ; septembre 2005
- [38] Mohamed Yahia, «contribution à la valorisation d'un déchet de cimenterie (ciment hydraté) pour l'élaboration d'un nouveau ciment » mémoire de master, Université Mohamed Boudiaf-M'sila, 2016.
- [39] Cours en ligne : Ouhami Youssef (le ciment) licence professionnelle -option: Génie civil, université Hassan 1er -Settat. Récupérer sur : <http://geniecivil08.e-monsite.com/medias/files/chapitre-le-ciment.pdf>
- [40] Mazerai Naima « durabilité d'un mortier à base d'un ciment Portland composé à la pouzzolane CPJ-CEMII vis-à-vis d'un milieu agressif » mémoire du master, Université Aboubekar Belkaïd Tlemcen, 2013.
- [41] Holcim, Guide pratique; «Concevoiret mettre en œuvre des bétons durables» ; Une publication de HolcimBelgique, S.A.
- [42] Sofiane Amri, Boughanem Akila, «Influence de l'ajout de pouzzolane naturelle (tuf) sur la durabilité des pâtes de ciment » mémoire de master, Université de Bejaia, 2019.
- [43] Récupérer sur : <https://m.20-bal.com/pravo/8796/index.html?page=3>
- [44] Récupérer sur : <https://www.infociments.fr/glossaire/clinker>
- [45] Cours en ligne de Mr Z Benghazi, «technologie des géo matériaux chapitre 3:le ciment». Récupérer sur : http://zied-benghazi.weebly.com/uploads/2/4/5/8/24585230/chapitre_iii_-_le_ciment.pdf

[46] Cours de Mr Chelouah, «MDC chapitre 2: les liants minéraux », université de bejaia, 2019-2020.

[47] Récupérer sur : <http://www.planete-tp.com/differents-types-de-ciment-a518.html>

[48] Récupérer sur : <https://www.bati-index.com/y-a-t-il-des-differences-entre-le-ciment-blanc-et-le-ciment-gris/>

[49] Récupérer sur : <https://www.infociments.fr/ciments/caracteristiques-et-emplois-des-ciments>

[50] Notion de base : chapitre 1:Éditions CATED-collection l'essentiel-connaissance du béton-Edition 2017.

[51] Jean Paul Salvi « liants à maçonner multi-usages» optim béton, service technico-commercial.

[52] Cours en ligne de Mr Ghomari Fouad « de science des matériaux de construction: les ciments » université Aboubekar Belkaid, 2005-2006.

[53] Récupérer sur : <https://www.socli.fr/fr/produits-services/historique-chaux>

[54] Chaux et enduits de Saint Astiers, récupérer sur : [http://www.c-e-s-a.fr/chaux-de-saint-astier/les-chaux-de-saint-astier-quest-ce-que-la-chaux/?](http://www.c-e-s-a.fr/chaux-de-saint-astier/les-chaux-de-saint-astier-quest-ce-que-la-chaux/)

[55] Récupérer sur : <https://btp-cours.com/processus-de-fabrication-de-la-chaux/>

[56] Krikou Mohammed el-akhdar, «caractérisation et amélioration des propriétés mécaniques de l'argile de Didouche (Constantine) par ajout de liants (la chaux) »mémoire de master, Université l'arbi Ben mhidi, 2018.

[57] Récupérer sur : <https://flores-amo.fr/chaux-utilisations-construction/>

[58] Récupérer sur : <https://materiaux-namur.com/magazine/309/difference-chaux-hydraulique-aerienne>

[59] Récupérer sur : <http://chaux.durable.com/a-fabrication-de-la-chaux>

[60] Récupérer sur : <https://maconnerie.bilp.fr/guide-general/ouvrage/element/mortier>

[61] Récupérer sur : <https://dictionnaire.reverso.net/francais-definition/sable>

[62] Bentouni Mostefa, «valorisation de trois types de sable issue de la région du Hodna pour l'élaboration du béton polymères à base de résine polyester» mémoire de master, Université Mohamed Boudiaf-M'sila, 2019.

[63] Récupérer sur : <http://forum-btp.blogspot.com/2013/09/granulats-sables.html>

[64] Récupérer sur : <https://sol.ooreka.fr/astuce/voir/658485/sable-stabilise>

- [65] Cours en ligne de Mr Ghomari Fouad «science des matériaux de construction : les adjuvants » Université Aboubekar Belkaid, 2011-2012.
- [66] Roland Dallemagne, Joël Gourgard: les bétons dans la construction, 2005.
- [67] Idjahnine Mohamed Yahia A/Halim, «Formulation et caractérisation des bétons autoplaçants avec comme ajout le déchet de brique broyé» mémoire de magister, Université de Bejaia 2009.
- [68] Chabi Makhoulf, Lamali Bilal, «valorisation de la poudre de verre dans un béton ordinaire destiné pour la précontrainte» Mémoire du master, Université de M'Hamed Bougara-Boumerdes, 2017.
- [69] Sophie Husson, «étude physico-chimiques et mécanique des interactions ciment-fillers» thèse de doctorat, Université de Saint-Étienne, 1991.
- [70] Nick Zemke, Emmet Woods: «Rice Husk Ash» .California polytechnic University, June 2009.
- [71] Récupérer sur : <https://www.wikip.fr/ciment-et-applications/les-ajouts>
- [72] Glida Monstesano, fiber-reinforced mortar, «what it is and its application», 14 juin 2015.
- [73] Association béton Québec : Guide de bonnes pratiques pour l'utilisation des fibres dans le béton; Janvier 2005.
- [74] Récupérer sur : <https://www.mortar.org.uk/documents/miadata17.pdf>
- [75] Slaim Assam el Mokhtar, Arabiche Houssine Mohamed el Amine, «Etude du comportement mécanique et détermination des paramètres limites des tubes en PVC» mémoire de master, Université Abdelhamid Ibn Badis Monstganem, 2019.
- [76] Veronica Calderon, Matthieu Horgnies, "Utilisation de polymères recyclés dans les mortiers et béton ", techniques de l'ingénieur,juin 2013.
- [77] Récupérer sur : <https://maconnerie.bilp.fr/guide-general/ouvrage/element/mortier>
- [78] Récupérer sur : <https://www.travaux-maconnerie.fr/differents-types-mortier>
- [79] Belmokhtar Nassima, Zeraig Akila, «effet du mode d'introduction de la nano-silice sur les propriétés rhéologiques et physicomécaniques des pâtes cimentaires et mortiers de ciment», mémoire de master, Université M'hamed Bougera de Boumerdes, 2017.
- [80] Récupérer sur : <https://theconstructor.org/construction/mortar-qualities-properties/21455/>
- [81] Récupérer sur : <https://www.e2me.fr/catalogue/malaxage/malaxeur-a-mortier-23.html>

[82] Benchikh Cherif, «Influence des particules fines sur les caractéristiques mécaniques et le retrait d'un béton ordinaire», mémoire de magister, Université de Bejaia, 2011.

[83] Récupérer sur : <https://www.eqiom.com/produits/ciments/ciment-cem-ii-a-l-425-r-ce-nf>

[84] Récupérer sur : <https://notech.franceserv.com/beton-materiau.html>

[85] Souilmi Samiha, Ben Moussa Imane, «Etude des caractéristiques physico-chimiques du sable des dunes (cas sites d'Adrar)», mémoire de master, Université d'Adrar, 2019.

[86] Récupérer sur :

<http://mbsolutionsdz.com/Gamme%202014%20MBS/Soluplast%201040.pdf>

[87] Djadouf Samia, «Etude de l'influence des ajouts (grignon d'olive et foin) sur les caractéristiques physicomécaniques de la brique de terre cuite», mémoire de magister, Université de Bejaïa.

[88] Derabla Riad, «Propriétés physico-mécanique des mortiers et des ciments élaborés à base de laitier granulé d'EL Hadjar», mémoire de magister, Université de BADJI MOKHTAR-ANNABA, 2002.

[89] Bechiri Farouk, «Effet de la nature du sable sur les propriétés des mortiers», mémoire de magister, université de Guelma, 2010.

[90] Méthodes de mesure de conductivité thermique: article publié le 15 mars 2019.

[91] Cours en ligne de Mme, Sellami. A, «matériaux de construction: travaux pratiques/masse volumique apparente/masse volumique absolue», Université de Bejaia.

[92] Bitar Zeyneb, «Influence de la surface spécifique des ciments aux ajouts minéraux (calcaire) sur le comportement mécanique du mortier», mémoire de master, université de Mohamed Boudiaf-Msila, 2016.

[93] Cours en ligne de Mr Ghomari F et Mme Bendi-Ouis A, «science des matériaux de construction : travaux pratiques» Université Aboubekar Blekaid, 2007-2008.

[94] Récupérer sur :

http://documentation.2ie-edu.org/cdi2ie/opac_css/doc_num.php?explnum_id=862

