

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'enseignement supérieur

Et de la recherche scientifique

Université Abderrahmane Mira de Bejaia

Faculté de la Technologie

Département de Génie civil



Mémoire de fin d'études

En vu d'obtention du diplôme de Master en Génie civil

Option : matériaux et structures

Sous le thème :

Etude de l'influence de la margine d'olive sur les caractéristiques physico-mécanique du béton.

Réalisée par :

AMRANE Anis

HADDAD Hayat

Encadré par :

M^{me} : S. AREZKI

Soutenu devant le jury :

M^{me} : S. ATILL

M^{me} : A. SELLAMI

Promotion : 2015-2016

Remerciements

Nous rendons grâce à dieu tout puissant de nous avoir donné le savoir, la volonté, le courage et la force, surtout la patience pour réaliser ce modeste travail.

A nos familles, qui nous ont toujours encouragés et soutenus durant toutes nos études.

A notre promotrice M^{me} Arezki pour avoir accepté de nous guider et nous donner une bonne vision sur le bon chemin du travail.

A Nadia Haddad, qui était toujours présente malgré la distance pour nous aidez et nous conseiller tout le long de notre travail.

Aux membres de jury, pour avoir accepté de juger notre travail.

A tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce mémoire.

Anis & Hayat

Dédicace

Je dédié ce mémoire :

A mes parents qui sont les plus chers au monde, et qui on tout donné pour me voir réussir ;

A mon frère et mes sœurs surtout ma sœur

Hanane qui m'a idée dans ce travail

A ma chère Kenza qui était à mes coté ;

A ma binôme Haddad et à sa famille ;

A tous mes amis sans exception.

Anis.

Dédicace

*Ce mémoire est dédié,
en signe de ma profonde reconnaissance,
à mes parents
et à mes frères (Idir, Aziz, et Salim) sur qui j'ai
toujours pu m'appuyer,
à mes sœurs de cœur (Nadia, Samia, et
Rachida) ainsi qu'à ma tante Louiza pour
leurs encouragements,
a la mémoire de mon oncle
et à toute la famille Haddad et Nasroun
a mon binôme Anis
ainsi qu'à tous mes amis en particulier
(kahina, Hassiba, Abdelhafid et Amer)
pour leur très grand soutien.*

Hayat

SOMMAIRE

Liste des Figures.....	1
Liste des Tableaux.....	3
Introduction Générale.....	4

Partie Théorique

Chapitre I : Généralités sur le béton

I.1. Introduction.....	6
I.2. Historique.....	6
I.3. Les constituants du béton.....	7
I.3.1. Définition.....	7
I.3.2. Le rôle des constituants du béton.....	8
I.3.3. Constituants de base.....	8
I.3.3.1. Ciment.....	8
I.3.3.2. Les granulats.....	9
I.3.3.2.1. Le gravier.....	10
I.3.3.2.2. Le sable.....	10
I.3.3.3. L'eau de gâchage.....	10
I.3.3.4. Les adjuvants.....	11
I.3.4. Malaxage des constituants.....	11
I.4. Qualités essentielles d'un béton.....	12
I.4.1. A l'état frais.....	12
I.4.1.1. Ouvrabilité.....	12
I.4.1.1.1. Facteurs influençant sur l'ouvrabilité du béton.....	14
I.4.1.1.2. Résistance du béton frais.....	15
I.4.1.1.3. Autres caractéristiques du béton à l'état frais.....	16
I.4.1.3.1. Air occlus.....	16
I.4.1.3.2. La densité réelle du béton frais.....	16
I.4.2. A l'état durci.....	17
I.4.2.1. Résistance à la compression.....	17
I.4.2.1.1. Généralités.....	17
I.4.2.1.2. Essai de résistance à la compression.....	18
I.4.2.2. Influence du dosage en ciment.....	19
I.4.2.3. Influence de la porosité.....	20
I.4.2.4. Influence du rapport granulats/ciment.....	22

I.4.2.5. Influence de la taille maximale du granulat.....	22
I.4.2.6. Influence de l'âge.....	23
I.5. Conclusion.....	24

Chapitre II : Méthodes de formulation des bétons

II.1. Introduction.....	25
II.2. Méthodes de formulation de béton.....	25
II.2.1. Méthode de Bolomey.....	25
II.2.2. Méthode de Caquot.....	26
II.2.3. Méthode de Valette.....	26
II.2.4. Méthode de Faury.....	26
II.2.5. Méthode de Joisel.....	27
II.2.6. Méthode américaine.....	27
II.2.7. Méthode britannique.....	28
II.2.8. Méthode de Baron Lesage.....	29
II.2.9. Méthode de Dreux-Gorisse.....	29
II.2.9.1. Principe de la méthode.....	30
II.2.9.2. Données de base.....	30
II.2.9.3. Dimension maximale des granulats.....	31
II.2.9.4. Dosage en ciment.....	32
II.2.9.5. Dosage en eau.....	35
II.2.9.6. Dosage en granulats.....	36
II.3. Conclusion.....	40

Chapitre III : Déchets végétaux : Les margines

III.1 Introduction.....	41
III.2. Déchets végétaux.....	42
III.2.1. Le béton de bois.....	42
III.2.2. Le béton de chanvre.....	43
III.2.3. Le béton de lin.....	44
III.2.4. Les noix de coco.....	46
III.2.5. Les cosses de riz.....	46
III.2.6. Les noyaux et le bois d'olive.....	47
III.3. Les margines.....	48
III.3.1. Description.....	48

III.3.2.Processus d'extraction de l'huile d'olive.....	48
III.3.3. Les étapes du procédé de fabrication.....	50
III.3.4.Composition des margines.....	50
III.3.5. Problématique environnementale des margines.....	51
III.3.6. Valorisation des margines.....	52
III.4.Conclusion.....	53

Partie expérimentale

Chapitre IV : Caractérisations des matériaux

IV.1. Introduction.....	54
IV.2. Les modes opératoires des essais.....	54
IV.2.1. Ciment.....	54
VI.2.1.1. Essai de consistance.....	54
IV.2.1.2. Essai de prise.....	56
IV.2.1.3. La masse volumique absolue.....	57
IV.2.2. L'eau de gâchage.....	58
IV.2.3. Les granulats.....	58
IV.2.3.1. Identification des granulats.....	58
IV.2.3.1.1. Echantillonnage.....	58
IV.2.3.2. Essais sur granulats.....	59
IV.2.3.2.1. Analyse granulométrique.....	59
IV.2.3.2.2. Les caractéristiques géométriques des granulats.....	64
IV.2.3.2.3. Caractéristiques mécaniques des granulats.....	64
IV.2.3.2.4. Caractéristiques physiques des granulats.....	65
IV.3. Conclusion.....	72

Chapitre V : Essais effectués et interprétation des résultats

V.1. Introduction.....	73
V.2. Confection des bétons.....	73
V.2.2. Formulation du béton selon la méthode Dreux-Gorisse.....	73
V.2.2.1. Détermination de la composition du béton.....	74
V.2.2.2. Détermination de la courbe de référence.....	74
V.2.2.3. Tracé de la courbe représentative du mélange des granulats.....	76
V.2.2.4. Calcul les volumes absolus des matières solides.....	77
V.2.2.5. Calcul des dosages des granulats et de ciment en (kg/m ³).....	78

V.2.3. Incorporation de la margine.....	78
V.3. Essais effectués sur le béton frais	78
V.3.1. Essai d'affaissement au cône d'Abrams – slump test (NF P 18-451).....	79
V.3.1.1. Le principe.....	79
V.3.2. Contrôle du volume d'air entraîné.....	79
V.3.2.1. Objet de l'essai.....	79
V.3.2.2. Principe de l'essai.....	79
V.3.2.3. Présentation des résultats.....	79
V.4. Prélèvement des échantillons.....	80
V.5. Mode de mûrissement.....	80
V.6. Essais réalisés sur le béton durci.....	80
V.6.1. Masse volumique.....	80
V.6.2. Essai de compression (NF P 18-406).....	82
V.6.2.1. Rectification des faces de l'éprouvette [44].....	82
V.6.2.2. Objectif de l'essai.....	82
V.6.2.3. Principe de l'essai.....	82
V.6.2.4. Equipement nécessaire.....	82
V.6.2.4. Présentation des résultats.....	82
V.7. Conclusion.....	84
Conclusion Générale.....	90
Références bibliographique.....	92
Annexes.....	94

Listes des Figures

Figure I.1 : Constituants et ordre de grandeur de proportions des constituants d'un béton ordinaire.....	8
Figure I.2 : Certains appareils pour mesurer l'ouvrabilité.....	14
Figure I.3 : Résistance à la compression R_C du béton en fonction du rapport eau/ciment (E/C).....	15
Figure I.4 : L'aéromètre.....	16
Figure I.5 : Influence du dosage en ciment sur la résistance à la compression à court terme du béton [Baron et Ollivier, 1996].....	20
Figure I.6 : Représentation schématique de la pâte de ciment à l'état frais et à l'état durci, influence du rapport E/C, [Pigeon, 1999].....	21
Figure I.7 : Influence du rapport G/C sur la résistance du béton [Neville, 2000].....	22
Figure I.8 : Augmentation relative de la résistance dans le temps de bétons ayant différents rapports E/C confectionnés avec un ciment portland ordinaire [Meyer, 1963].....	23
Figure II.1 : Courbe optimale type selon la méthode Dreux-Gorisse.....	30
Figure II.2 : Abaque permettant d'évaluer approximativement le dosage en ciment à prévoir en fonction du rapport C/E et de l'ouvrabilité désirée.....	34
Figure II.3 : Correction sur le dosage en eau.....	35
Figure III.1 : Bois nécessaire à la fabrication du béton de bois.....	42
Figure III.2 : Chanvre.....	43
Figure III.3 : Tige et Chènevotte.....	43
Figure III.4 : Lin.....	44
Figure III.5 : Anas de lin.....	45
Figure III.6 : Béton de lin.....	45
Figure III.7 : Cosses de riz.....	46
Figure III.8 : Briques de cosses de riz.....	47
Figure III.9 : Noyaux d'olives.....	47
Figure III.10 : Béton fabriqué avec des cendres de bois d'olivier.....	48
Figure III.11 :L'extraction de l'huile de fruits et pépins à l'aide de meules.....	49
Figure III.12 : Processus d'extraction continu à trois phases.....	49
Figure. IV.1 : Appareil de Vicat muni de sa sonde de consistance.....	55
Figure. IV.2 : Essai de prise.....	56
Figure IV.3 : Opération de quartage.....	59
Figure IV.4 : Tamiseuse vibrante.....	60
Figure IV.5 : Mesure de la masse volumique absolue.....	67
Figure IV.6 : Matériels utilisés pour l'essai d'équivalent de sable.....	70

Listes des Figures

Figure V.1 : Composition de béton selon la méthode Dreux- Gorisse.....	76
Figure V.2 : Evolution de la masse volumique moyenne en fonction du temps.....	81
Figure V.3 : Evolution de la résistance à la compression du béton en fonction du temps.....	83

Liste des Tableaux

Tableau I.1 : Classement des bétons selon la valeur d'affaissement au cône d'Abrams.....	14
Tableau II.1 : Evaluation de l'ouvrabilité par référence à l'affaissement au cône ou au test C.E.S. [Dreux et Festa, 1998].....	31
Tableau II.2 : Evaluation approximative de D dimension maximale (tamis) des granulats, en fonction des caractéristiques de la pièce à bétonné et de l'ambiance plus au moins agressive [Dreux et Festa 1998].....	32
Tableau II.3 : valeurs approximatives du coefficient granulaire G [19 boukloudus].....	33
Tableau II.4 : Les dosages minimaux en ciment en fonction de la dimension maximale des granulats(D).....	34
Tableau II.5 : Correction sur le dosage en eau en fonction de la dimension maximale D des granulats si ($D \neq 25\text{mm}$).....	35
Tableau II.6 : valeur du coefficient K selon Dreux.....	36
Tableau II.7 : valeurs du coefficient de compacité	38
Tableau III.1 : composition générale des margines.....	51
Tableau IV.1 : Résultats des essais effectués sur la pâte de ciment.....	58
Tableau IV.2 : Analyse granulométrique du sable 0/3.....	62
Tableau IV.3 : Analyse granulométrique du gravier 3/8.....	62
Tableau IV.4 : Analyse granulométrique du gravier 8/15.....	63
Tableau IV.5 : Analyse granulométrique du gravier 15/25.....	63
Tableau IV.6 : Mesure du coefficient LOS ANGELES des granulats.....	65
Tableau IV.7 : La masse volumique absolue des granulats utilisés par la méthode d'éprouvette.....	66
Tableau IV.8 : Masse volumique apparente moyenne des granulats utilisés.....	68
Tableau IV.9 : Calcul de la teneur en impuretés pour les gravions.....	69
Tableau IV.10 : Valeur préconisées pour l'ES d'un sable à béton.....	71
Tableau V.1 : Résultats de la courbe de référence selon Dreux- Gorisse.....	76
Tableau V.2 : Résultats d'affaissement au cône d'Abrams.....	79
Tableau V.3 . Pourcentage d'air occlus pour différents pourcentage de margine.....	80
Tableau V.4 . Evaluation de la masse volumique moyenne du béton pour les différents pourcentages de margine.....	81
Tableau V.5 : Résultats de la résistance à la compression des différents pourcentages de margine à différents âges.....	83

Liste des Tableaux

Introduction Générale

Introduction Générale

Le béton est, aujourd'hui, le matériau le plus consommé sur la planète après l'eau. Un monopole quasi total par rapport aux autres matériaux de construction. Le béton, que nous connaissons actuellement, est le résultat de plusieurs années d'études et d'expérimentations.

Les Romains et les Egyptiens utilisaient déjà des matériaux comparables pour leurs constructions. Toutefois, c'est au XIX^{ème} siècle que le béton connaît les plus grandes avancées.

Le béton est ainsi utilisé, de nos jours, à l'échelle mondiale pour tous types de construction. Cela est dû notamment à un marché économique qui s'est fortement développé ces dernières années et à des spécificités qui lui sont propres. Cette évolution du béton amène aujourd'hui à une production annuelle mondiale de plus de 6 milliards de mètres cubes.

Le béton est à l'heure actuelle au centre d'enjeux économiques, politiques, technologiques et environnementaux importants.

Le béton de ciment notamment, est l'un des matériaux de construction le plus utilisé au monde (deux tiers des habitations dans le monde). Le béton est un mélange savamment dosé de ciment, de granulats, d'eau et d'adjuvants et il peut varier en fonction de ses utilisations.

Toutefois, son utilisation est la cause de multiples dégradations de l'environnement. Sa mise en œuvre ainsi que son utilisation consomme d'énormes quantités d'énergie.

Malgré la bonne santé économique des cimenteries et la croissance continue sur le marché de la construction. La géopolitique, la limitation prochaine des ressources naturelles et la lutte contre l'effet de serre posent d'énormes défis au secteur de la construction.

Par ailleurs, pour certains types de construction (habitations individuelles, locaux publics tels que des bibliothèques, des lycées ...) l'utilisation de matériaux plus respectueux de l'environnement est privilégié. Une nouvelle économie se met dès lors progressivement en place.

De nombreux scientifiques mènent des travaux de recherche sur le béton. Ils espèrent développer de nouveaux "types" aux propriétés encore plus intéressantes d'ici quelques années. De nouvelles formulations, prémices de futurs « bétons verts », commencent à être expérimentées.

La valorisation des déchets d'origine végétale (fibres, tissus, tiges, ...) pour le développement du secteur de la construction vise plusieurs objectifs : économiques, techniques et environnementaux. Leur disponibilité en abondance dans la nature, leurs propriétés physico-mécaniques et thermiques, permet de les classer parmi les ressources stratégiques des énergies

renouvelables qui peuvent être exploitées énormément dans la confection des matériaux destinés à des systèmes constructifs ou à des systèmes de remplissages réalisés à une cadence élevée surtout dans le domaine de l'habitat collectif et/ou individuel.

D'ailleurs dans cette logique de développement durable, l'essor de ces matériaux issu du monde végétal permettrait de réduire les émissions des gaz à effet de serre, de limiter la consommation d'énergie et d'optimiser l'utilisation des ressources naturelles non renouvelables.

En plus de l'huile comme produit principal, l'industrie d'huile d'olive produit de grandes quantités de sous-produits (grignon et margine). La margine représente 50 % du poids des olives traitées. Les résidus solides varient de 3 à 10 %. Les solides insolubles varient de 0,04 à 0,5 %. La production annuelle de margine partout dans le monde varie de 25 à 40 millions de mètres cube. Dans le bassin méditerranéen, la production de margine varie de 20 à 35 millions de mètres cube par an; ce qui correspond à 90 % de la production mondiale. Etant donné l'énorme quantité de margine produite durant l'année, il est nécessaire de valoriser ce sous-produit de l'olive.

L'objectif de ce travail de fin d'étude est de mettre en avant les avantages de valoriser la margine en tant qu'adjuvant dans le béton. La valorisation de la margine constitue un double avantage: recycler ce sous-produit issu de l'oléiculture d'une part et confectionner un béton plus écologique répondant à de meilleures caractéristiques d'autre part.

Nos recherches et expérimentations ont pour but de déterminer le pourcentage le plus pertinent de margine à ajouter à notre béton. De ce fait, comment ces taux vont influencer de façon optimale sur la fluidité du béton frais, sur la résistance à la compression ainsi que sur la densité du béton.

Dans un premier temps, nous allons nous pencher sur les constituants du béton et ses particularités. Ensuite, nous détaillerons les méthodes de formulations du béton. Le chapitre suivant sera consacré aux margines et à la valorisation des déchets végétaux dans le béton. Enfin, les deux derniers chapitres seront destinés à la mise œuvre de notre béton expérimental et l'interprétation des résultats.

Partie I :

synthèse bibliographique

Chapitre I :

Généralités sur le béton

I.1. Introduction :

Le matériau béton, est devenu irremplaçable dans le domaine de la construction, pour des raisons économiques et techniques. Simple en apparence, il est en réalité très complexe, avec une diversité d'applications et de méthodes de formulations. C'est le matériau le plus utilisé au monde : environ 7 milliards de mètres cubes de béton sont mis en œuvre annuellement.

La qualité et le potentiel du matériau béton dans la structure dépend bien sur, des matériaux de base qui entrent dans la formulation mais également des opérations de : malaxage, mise en œuvre, vibration et cure (protection contre la dessiccation). Il s'agit de déterminer la meilleure qualité du béton qu'on puisse obtenir.

Pour ne citer que la résistance à la compression du béton qui reste, du point de vue de l'ingénieur, la propriété la plus importante du matériau, si l'on exclut les indicateurs de durabilité [Dupain et col, 2000], nous allons examiner ci-après les différents facteurs ayant une influence sur cette résistance, et sur lesquels on pourra compter pour l'amélioration de la qualité du béton.

I.2. Historique :

L'histoire du béton montre que sa technique, bien fixée empiriquement par les Romains, avec la chaux grasse et la pouzzolane, a évolué seulement au 19^{ème} siècle, après l'apparition des chaux hydrauliques et des ciments.

L'ingénieur Bélidor, auteur de l'architecture hydraulique (1737) étudia la composition du béton et introduisit le mot béton dans son sens actuel.

L'invention de la chaux hydraulique par Louis Vicat en 1817, celle du ciment Portland par Aspdin en Ecosse en 1824 et l'installation des premiers fours par Pavin de Lafarge au Teil en France en 1830 préparent l'avènement du béton [Cimbéton, 2006].

A l'origine, le béton était constitué d'un mélange de trois matériaux : le ciment, les granulats et l'eau. Dans la plupart des cas, le ciment était du ciment Portland obtenu par mélange homogène d'argile et de calcaire, ou d'autres matériaux contenant de la chaux, de la silice, de l'alumine et de l'oxyde de fer, cuit à la température de clinkérisation puis broyé. Par la suite, de petites quantités d'adjuvants chimiques ont été ajoutées au mélange afin d'améliorer certaines des propriétés du béton à l'état frais ou durci. Plus tard, d'autres matériaux de nature inorganique ont été utilisés dans le béton, pour des raisons économiques dans la plupart des cas. Ces substances inorganiques sont moins coûteuses que le ciment portland en raison de leur disponibilité à l'état naturel. Au 20^{ème} siècle, le béton se développera considérablement

avec l'évolution de ses techniques : usage croissant des adjuvants, béton prêt à l'emploi, matériel de mise en œuvre, mise au point du béton précontraint en 1928 par Eugène Freyssinet, ouvrant ainsi la voie à une envolée de l'audace architecturale (ouvrages d'art, bâtiments, etc.).

Dans les années quatre-vingt et quatre-vingt-dix, les études relatives aux bétons à hautes performances ont montré le rôle néfaste de l'excès d'eau dans les bétons. La réduction de cette quantité d'eau, par l'emploi de défloculants et par correction de l'empilement granulaire via les ultrafines, a conduit aux gains de résistance allant jusqu'à 200 MPa et de durabilité.

De nos jours, l'étendue des exigences possibles a augmenté de façon spectaculaire. Par exemple, l'affaissement au cône d'Abrams varie de 0 pour les bétons de démoulage immédiat à plus de 25 cm pour les bétons autoplaçants. De même, les résistances requises à 28 jours en compression peuvent s'échelonner depuis des valeurs modestes, de l'ordre de 10 MPa pour certains bétons de masse, à des valeurs très élevées, supérieures à 200 MPa et plus pour certains produits spéciaux préfabriqués.

Aujourd'hui, en totale continuité avec les bétons à hautes performances, c'est un changement d'objectifs constituant une véritable révolution culturelle que proposent les bétons autoplaçants. L'étude du matériau n'est plus seulement gouvernée par l'amélioration de la résistance et de la pérennité. Toutefois ces dernières propriétés restent calées à des niveaux équivalents ou supérieurs à celles des bétons courants. Nous disposons actuellement de bétons particulièrement fluides qui peuvent être mis en œuvre sans vibration et qui sont devenues prioritaires. Ces bétons ont été initialement mis au point par des chercheurs de l'université de Tokyo dans les années 1980 [Ouchi, 1999]. Il s'agit des bétons autoplaçants (BAP) utilisés pour les coulages d'éléments verticaux (poteaux, voile) et des bétons autonivelants (BAN) destinés aux éléments horizontaux (dalles de compression, dallages, chapes flottantes). Les BAP sont utilisés entre autres pour réaliser des éléments de structure préfabriqués, des réservoirs, des plates-formes de pont, des colonnes architecturales et ainsi que des ancrages pour de grands ponts.

I.3. Les constituants du béton :

I.3.1. Définition :

Le béton est constitué par un mélange intime de matériaux inertes, appelés « granulats » (sables, graviers etc....) avec du ciment et de l'eau, plus souvent un adjuvant (figure I.1.), grâce à l'action du ciment le mélange ainsi obtenu, appelé « béton frais » commence à durcir après quelques heures et acquiert progressivement ses caractères de résistance.

Les composants sont très différents : leurs masses volumiques vont, dans les bétons courants, de 1 (eau) à 3 (ciment) t/m^3 ; les dimensions de leurs grains s'échelonnent de 0.5 μm (grains les plus fins du ciment) à 25 mm (gravillons). Mais cette liste s'allonge très vite dès que des propriétés particulières sont visées, on utilise alors des fines complémentaires ou additions minérales [Chanvillard et d'Aloia, 1994].

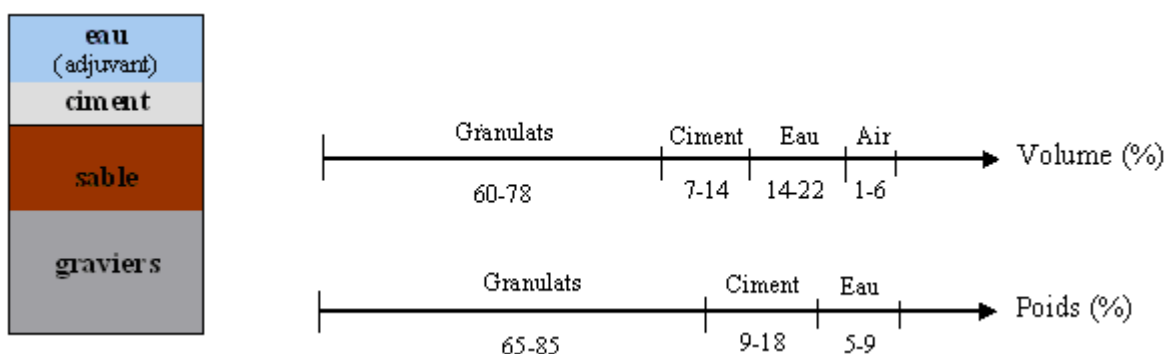


Figure I.1 : *Constituants et ordre de grandeur des proportions des constituants d'un béton ordinaire.*

I.3.2. Le rôle des constituants du béton :

Dans les bétons les plus simples, le squelette granulaire est composé de deux coupures seulement, un sable et un gravier. Le ciment et l'eau de gâchage, dont les proportions relatives en masse sont fixées par le rapport E/C, vont former, avec les adjuvants éventuels, la pâte de ciment qui constituera le liant du béton. Ce rapport E/C joue un rôle primordial durant les étapes de vie du béton, l'eau en excès le rend plus fluide à l'état frais mais diminue les résistances du béton durci. Des additions minérales (cendres volantes, fumées de silice, laitiers, fillers,..) peuvent être rajoutées dans le but de modifier les propriétés du béton. L'utilisation de ces éléments fins est toujours combinée à l'emploi de superplastifiants pouvant réduire ainsi la quantité d'eau nécessaire à l'atteinte d'une fluidité suffisante. Le béton est donc un matériau hétérogène dont les constituants présentent des caractéristiques physico-chimiques et mécaniques différentes et dans lequel chacun de ces composants joue un rôle bien précis dans le mélange.

I.3.3. Constituants de base :

I.3.3.1. Ciment :

C'est un liant minéral obtenu par décarbonatation d'un calcaire et décomposition d'une argile à une température avoisinant les 1450°C. Broyé sous forme d'une poudre fine souvent d'une couleur grise. En contact avec l'eau il s'hydrate et forme des minéraux hydratés très stables. Les principaux composés du portland sont :

- a) Les silicates tricalciques (alite) : $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ [C₃S]
- b) Les silicates bicalciques (belite) : $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ [C₂S]
- c) Les aluminates tricalciques : $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ [C₃A]
- d) Les aluminoferrites tétracalciques : $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ [C₄AF]

Autres : (sulfates, alcalins, impuretés,...).

Les silicates de calcium C₃S et C₂S représentent à peu près 75% de la masse du ciment. Les caractéristiques granulaires du ciment sont exprimées par granulométrie et sa finesse de mouture. Cette finesse de mouture appelée aussi Surface Spécifique de Blaine peut atteindre 40000 cm²/g et plus pour les ciments à forte résistance au jeune âge.

I.3.3.2. Les granulats : (XP P 18-540, 1997)

Les granulats proviennent dans la plupart des cas des roches naturelles. Leur utilisation pour la confection d'un béton est motivée par le faible coût volumique, par une meilleure durabilité et stabilité volumétrique par rapport au mélange ciment-eau (Neville A. M., 1992). La forme, la texture de la surface et la concentration en granulats influent d'une manière considérable sur le comportement du béton à l'état frais.

Ces l'ensemble des grains de dimensions comprises entre 0 et 125 mm, peuvent être d'origine naturelle (sables et graviers de mer et de rivières), artificiels (argile expansée) ou issue du recyclage de déchets de l'industrie (laitier à haut fourneaux). Il constitue l'ossature de béton et occupent 70 à 80 % environ du volume d'un béton, ils sont inertes en principe mais peuvent favoriser certaines réactions hydratation de certains minéraux du clinker c'est l'exemple des silicates tricalciques C₃S en présence de filler d'origine calcaire. En effet, la nature, la qualité, la forme, la granulométrie, la propreté, l'état de surface et le type de granulats sont des facteurs ayant une influence sur les caractéristiques du béton, aussi bien à l'état durci qu'à l'état frais. Les principales divisions granulométriques des granulats données par la norme (XP P 18-540, 1997) sont les suivants :

- fillers 0/D ou $D < 2$ mm avec au moins 70 % de passant à 0.063 mm ;
- sablons 0/D ou $D \leq 1$ mm avec au moins 70 % de passant à 0.063 mm ;
- sable 0/D ou $1 < D \leq 6.3$ mm ;
- graviers 0/D ou $D > 6.3$ mm ;

- gravillons d/D ou $d \geq 1\text{mm}$ et $D \leq 125\text{mm}$;
- ballasts d/D ou $d \geq 25\text{mm}$ et $D \geq 50\text{mm}$.

D'après la norme (XP P 18-540, 1997) les caractéristiques essentielles des granulats destinés aux bétons hydrauliques sont les suivantes pour :

1.3.3.2.1. Le gravier

Grains de dimensions allant de 1 à 125mm, d'après la norme (NF P 18-591, 1990) l'essai de propreté des graviers consiste à déterminer le pourcentage d'éléments < 0.5 mm, le pourcentage de vase et argiles, éliminées lors de l'essai doit être ≤ 1.5 % pour gravillons n'ayant pas subi de concassage, et ≤ 3 % pour ce qui ont subi le concassage. La granularité du gravier est fixée par le D prescrit ou admissible pour le béton à préparer, l'absorption d'eau la norme (NF P 18-591, 1990) fixe à 5 % la valeur maximale pour les bétons hydrauliques.

1.3.3.2.2. Le sable

C'est un produit provenant de la désagrégation naturelle de la pierre siliceuse (quartz) et/ou du silex (silicium), Il se compose de grains meubles n'ayant aucune cohésion.

La dimension des grains peut varier de 0.15 à 4.76 mm ; si le grain est plus petit que 0.6 mm on parle de « sable fin » ; s'il atteint presque 1.2 mm c'est un sable moyen « sable moyen » et s'il atteint enfin presque 4.76 mm, c'est le « gros sable » ; ce dernier ayant des grains de plus de 2 mm ressemble à du gravier fin, appelé alors « sable graveleux ».

D'autant meilleur qu'il est composé de grains de dimension différentes ; les grains moyens bouchent les vides entre les plus gros et les très fins bouchent entre les moyens, on obtient ainsi une bonne consistance, et on prescrit les modules de finesse suivants :

- Sable pour béton pour structure : entre 1.40 et 3.40
- Sable pour béton maigre pour fondations : entre 0.90 et 3.40
- Sable pour mortier de maçonnerie : entre 0.90 et 1.70
- Sable pour mortier de carrelage : entre 0.90 et 1.70
- Sable pour plafonnage : entre 0.90 et 3.40
- Sable pour couche de fondation pour dallage : entre 0.90 et 2.50

1.3.3.3. L'eau de gâchage: (NF EN 1008, 2003)

Est un ingrédient essentiel du béton, il joue deux fonctions principales : confère au béton sa maniabilité à l'état frais (ses propriétés rhéologiques) et assure l'hydratation des grains de ciment pour une prise et un durcissement. La quantité d'eau utilisée ou plus précisément le rapport eau/ciment a une forte influence sur la porosité du béton, sa perméabilité, les

résistances mécaniques, la durabilité, la microstructure, la cinétique d'hydratation. L'eau de gâchage peut avoir plusieurs origines, mais seule l'eau potable est présumée conforme aux exigences de la norme NF EN 1008, les autres comme l'eau récupérée de la fabrication de bétons, eaux d'origine souterraine, eaux naturelle de surface et eaux de rejet industriel, eau de mer et eaux saumâtres, doivent être soumises à des essais de contrôle préliminaire ainsi que les essais chimiques et mécaniques.

I.3.3.4. Les adjuvants : (NF EN 934-2, 2002)

Ce sont des produits chimiques organiques ou inorganiques, incorporés en faible quantité moins de 5 % de la masse du ciment sous forme de poudre ou de solution, avant ou pendant le malaxage, dans le but de modifier certaines propriétés du béton, qu'il soit à l'état frais, pendant la prise et le durcissement ou à l'état durci. Les adjuvants sont classés par la norme NF EN 934-2 suivant leurs actions principales, même s'ils ont plusieurs actions secondaires en :

- Plastifiant réducteur d'eau ;
- Superplastifiant haut réducteur d'eau ;
- Rétenteur d'eau ;
- Entraîneur d'air ;
- Accélérateur de prise ;
- Accélérateur de durcissement ;
- Retardateur de prise ;
- Hydrofuge de masse ;
- Plastifiant réducteur d'eau/retardateur de prise ;
- Superplastifiant haut réducteur d'eau/retardateur de prise ;
- Plastifiant réducteur d'eau/accélérateur de prise.

Il existe aussi d'autres adjuvants comme : les raidisseurs pour béton projeté, les adjuvants pour coulis d'injection, les adjuvants pour mortiers stabilisé, les colorants, les inhibiteurs de corrosion, les générateurs.

I.3.4. Malaxage des constituants

Après le dosage, les constituants sont versés dans un malaxeur et mélangés à l'aide d'un système de pales de brassage. Les granulats sont d'abord introduits, suivis par les pulvérulents (ciment et/ou addition) et en dernier l'eau et l'adjuvant. L'objectif du malaxage est de répartir des constituants de nature et de tailles différentes en vue d'obtenir un mélange le plus homogène possible. La répartition homogène s'accompagne d'une structure optimale,

attendue pour un mélange poly-phasique comme le béton: le ciment entre en contact avec l'eau, les petits grains s'empilent dans les vides des plus gros grains et la pâte enrobe les granulats. L'homogénéité du béton est un objectif primordial du malaxage.

Le malaxage à sec, le malaxage humide et notamment le temps de malaxage sont des paramètres qui contrôlent l'évolution de l'homogénéité du mélange, quel que soit le type de malaxeur.

Le temps est un paramètre prédominant pour l'homogénéisation du béton lors de son malaxage. En fonction du temps, l'homogénéisation macroscopique est rapidement obtenue, puis l'homogénéisation microscopique est atteinte au fur et à mesure

Parfois, une perte de la maniabilité du béton peut être observée lors de la prolongation du temps de malaxage. Ces phénomènes ont reçu des explications différentes selon les auteurs :

- Selon Vandanjon (2000), l'augmentation de la surface spécifique des particules primaires, c'est à dire des amas qui restent groupés lors des mouvements de cisaillement dans le béton frais tend à accroître le seuil;
- Selon Chopin (2003), l'effet de défloculation importante de l'adjuvant accroît le frottement et donc le seuil.

I.4. Qualités essentielles d'un béton

Le béton est un matériau composite qui fait partie de notre cadre de vie. Il a mérité sa place par ces caractéristiques de résistance, ses propriétés en matière thermique, sa résistance au feu, son isolation phonique, sa durabilité, ainsi que par la diversité qu'il permet dans les formes, les teintes et les textures. Pour utiliser au mieux le béton, il faut bien connaître ses propriétés à l'état frais et à l'état durci.

I.4.1. A l'état frais

Lors du malaxage, l'eau est l'élément qui va donner une capacité d'écoulement au squelette compact formé par l'empilement des grains solides.

Ceci signifie que l'eau va venir desserrer le squelette compact afin de donner une mobilité aux grains suffisants pour permettre la mise en œuvre souhaitée [Chanvillard, 1999].

Deux façons de caractériser le béton à l'état frais sont abordées : l'ouvrabilité et les paramètres rhéologiques.

I.4.1.1.Ouvrabilité

Après avoir été malaxé, le béton frais doit rapidement être mis en œuvre sur le chantier pour diverses opérations : vidange dans les coffrages, serrage (par vibration, piquage...) et

talochage, ... La manière dont le matériau se comporte est gouvernée par son ouvrabilité. L'ouvrabilité est également désignée sous les termes de maniabilité ou consistance du mélange. Dreux et Festa (1998) écrivent que « l'ouvrabilité du béton peut se définir comme la facilité offerte à la mise en œuvre du béton pour le remplissage parfait du coffrage et l'enrobage du ferrailage ». Une bonne ouvrabilité est un gage de sécurité pour la structure en construction. En effet, selon ces auteurs, la plupart des qualités de l'ouvrage telles que la compacité et la résistance réelle du béton dans l'ouvrage lui-même, l'enrobage et l'adhérence des armatures, les parements de belle apparence, l'étanchéité, etc., dépendent de l'ouvrabilité. Au-delà de la mise en place sur le chantier, Faury (1958) souligne que l'ouvrabilité est un ensemble de qualités pratiques que doit posséder le béton frais pour être transporté aisément et sans risque de malfaçons. Ces propriétés doivent donc être classées en deux groupes distincts suivant qu'elles s'appliquent au transport ou à la mise en œuvre du mélange. Dans la pratique, il existe plusieurs méthodes de transport (en bétonnière, en wagonnette, en benne, en camion...) et plusieurs processus de mise en œuvre (pompage, vibration, projection, compactage...). C'est pourquoi de nombreux tests technologiques ont été proposés pour s'adapter à cette diversité. Ces essais permettent de mesurer empiriquement certaines caractéristiques dépendant de l'ouvrabilité. Nous pouvons citer quelques appareils recensés dans la littérature: le cône d'Abrams et l'étalement à la table à secousses [Dreux et Festa, 1998]. Pour les bétons très secs, on pourra utiliser l'essai V.B., qui consiste à mesurer le temps nécessaire pour qu'un cône de béton se mette à l'horizontale dans un récipient cylindrique périphérique, une fois soumis à une vibration. Le maniabilimètre L.C.L. [Baron, 1982] fonctionne sur le même principe, et la vibration est déclenchée lorsque l'on retire la trappe. Un temps long signifie que le béton est ferme. Ces essais sont présentés dans la figure (I.2).

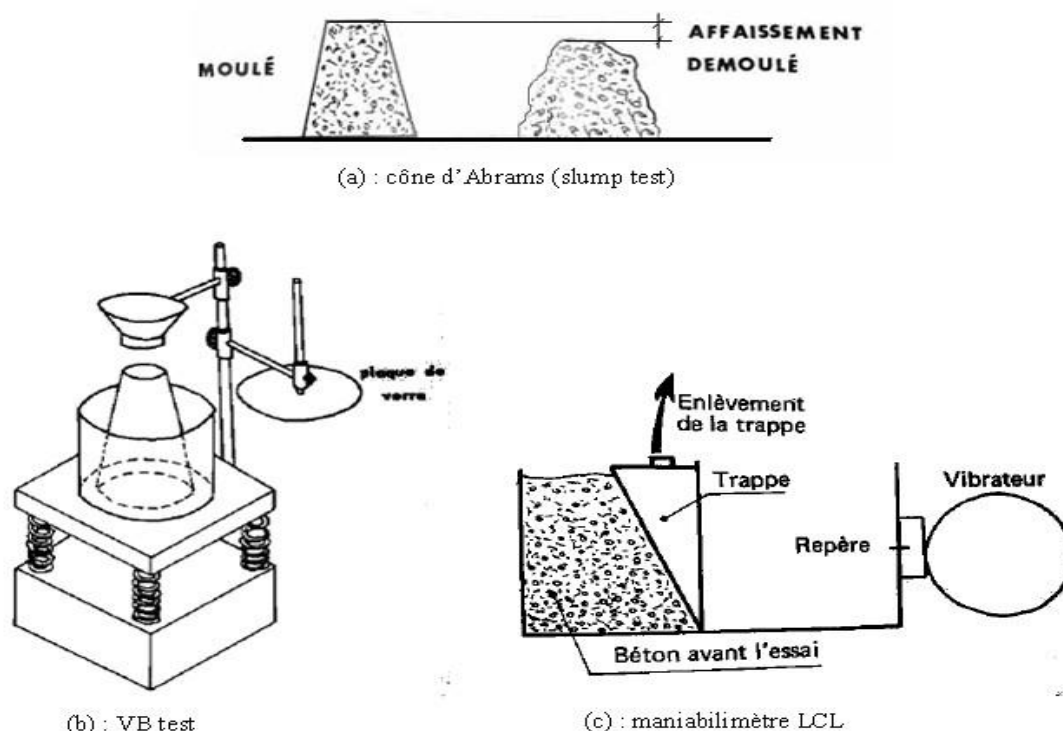


Figure I.2 : Certains appareils pour mesurer l’ouvrabilité

L’affaissement au cône d’Abrams ou « slump test » est incontestablement un des essais les plus simples et les plus fréquemment utilisés. Il est décrit dans la norme Algérienne NA 431. Pour effectuer cet essai, on remplit tout d’abord un moule en tôle tronconique (D= 20 cm, d = 10 cm, h = 30 cm) de béton. Le remplissage est exécuté en trois couches serrées avec une tige d’acier de 16 mm de diamètre dont l’extrémité est arrondie, à raison de 25 coups par couche. On soulève ensuite le moule avec précaution et on mesure l’affaissement. Plus l’affaissement est élevé, plus le béton est fluide. La norme EN 206-1 spécifie cinq classes de consistance S1 à S5 en fonction de l’affaissement (Tableau I.1).

Tableau I.1 : Classement des bétons selon la valeur d’affaissement au cône d’Abrams.

Classe	Consistance du béton	Affaissement (en mm) au cône d’Abrams
S1	Ferme	10 – 40
S2	Plastique	50 – 90
S3	Très plastique	100 – 150
S4	Fluide	160 – 210
S5	Très fluide	≥ 220

I.4.1.1.1. Facteurs influençant sur l’ouvrabilité du béton :

Dans le cas de bétons classiques, l’ouvrabilité est principalement influencée par :

- Le dosage en eau (E/C) ;

- La nature et le dosage du liant (ciment) ;
- La forme des granulats, la granulométrie.

❖ **Rôle de l'eau (E/C) :**

Le rôle de l'eau ou le rapport eau/ciment (E/C), est le facteur le plus prépondérant pour l'ouvrabilité du béton frais et sur les propriétés du béton durci :

- L'eau donne au béton sa maniabilité : Son action lubrifiante sur les différents granulats
- La cohésion entre granulats par la pâte.

Donc toute variation du rapport E/C entraîne des modifications des propriétés du béton à l'état frais et durci. Les conséquences d'un excès d'eau sont généralement:

- Risque de ressuage ;
- Augmentation de la porosité risque de ségrégation des constituants du béton ;
- Diminution de la compacité du béton ;
- Diminution des performances mécaniques du béton ;
- Augmentation du retrait.

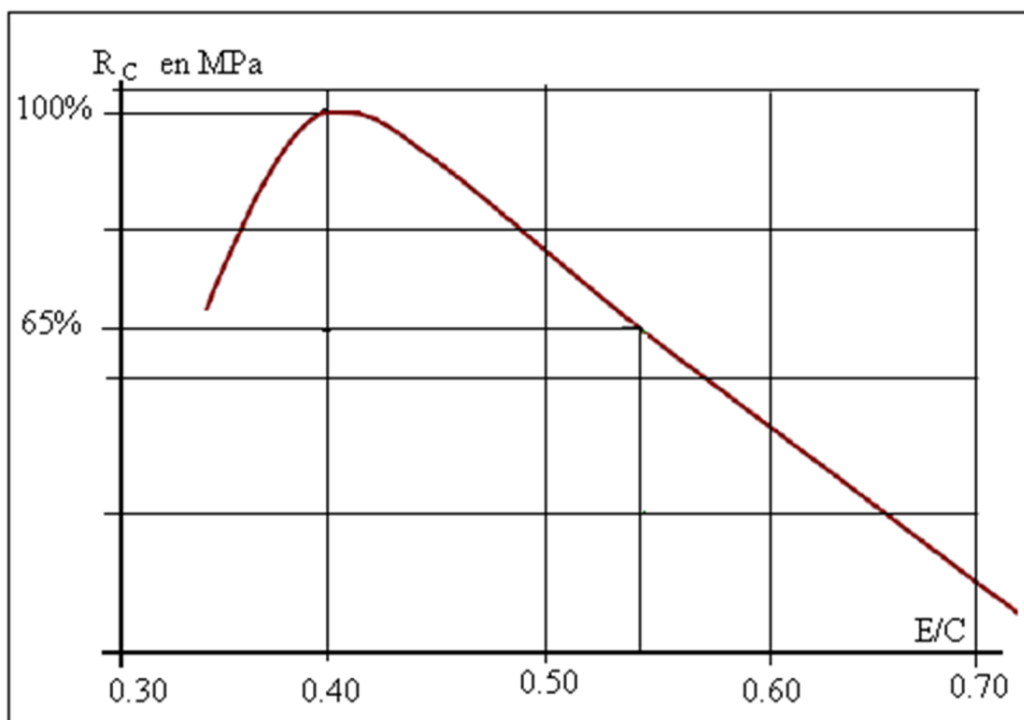


Figure I.3 : Résistance à la compression R_c du béton en fonction du rapport eau/ciment (E/C).

I.4.1.2. Résistance du béton frais :

La résistance du béton frais est faible, mais elle intéresse plus particulièrement les fabricants pour le démoulage immédiat (avant prise du ciment) d'éléments de grande série.

- Le rapport optimal E/C est voisin de 0.40 (béton plutôt sec) ;

- Le pourcentage optimal S/G est d'environ 0.38 (soit : G/S = 2.6 valeur élevée) ;
- Les granulats concassés donnent des résistances plus élevées que les granulats roulés.

I.4.1.3. Autres caractéristiques du béton à l'état frais

I.4.1.3.1. Air occlus ; (ne doit pas dépasser les 3%)

La détermination de la teneur en air occlus du béton se fait à l'aide de l'aéromètre à béton. La teneur en air occlus (bulles d'air) est directement indiquée sur le cardon du nanomètre (Chanvillard, Gilles 1999).

On peut aussi mesurer la teneur en air occlus par la méthode gravimétrique. La méthode gravimétrique utilise le même équipement que celui employé pour la détermination de la masse volumique du béton. La masse volumique mesurée est soustraite de la masse volumique théorique telle que déterminée à partir des volumes absolus des ingrédients, si l'on suppose l'absence d'air.

La différence, exprimée en pourcentage de la masse volumique théorique, est la mesure de la teneur en air. Le dosage du mélange et les masses volumiques des ingrédients doivent être connus avec précision sinon les résultats peuvent être erronés (Steven H. 2004).



Figure I.4 : L'aéromètre.

- Aéromètre à colonne d'eau 5L ;
- Lecture de 0 à 8% d'air occlus ;
- Livré avec pompe manuelle de dimensions : 250 x 700 mm.

I.4.1.3.2. La densité réelle du béton frais :

L'essai est assez simple et nécessite peu de moyens. Il suffit de remplir un moule de volume connu « V » (dans les mêmes conditions que celle du chantier) et le peser, soit une masse « M » la masse volumique se déduira alors de :

$$M_V = \frac{M}{V} \left(\text{kg} / \text{m}^3 \right)$$

$$M = M_1 - M_0$$

M_1 : est la masse du moule plein de béton (arasé à l'aide d'une règle) ;

M_0 : est la masse du moule vide ;

V : le volume du moule.

La masse volumique du béton courant dépend évidemment de la composition et des constituants, et en général, elle varie dans les limites suivantes « 2200 – 2400 » kg/m³.

I.4.2. A l'état durci

Le béton frais va évoluer pour aboutir au produit durci recherché. Il est incontournable de suivre l'évolution du béton sous différents aspects :

- Chimique, car il s'agit bien d'un ensemble de réactions,
- Physique, car le développement de la microstructure s'accompagne de phénomènes physiques qui définiront un état initial de la structure,
- Mécanique, car les aspects précédents conduisent à des cinétiques variables et des performances modulées en conséquence [chanvillard, 1999].

Le béton durci est un solide hétérogène formé de granulats enrobés par une pâte de ciment, il apparaît donc en première analyse, que ses propriétés mécaniques dépendent :

- de celles de la pâte liante,
- de celles des granulats,
- de l'adhérence pâte-granulats.

I.4.2.1. Résistance à la compression :

I.4.2.1.1. Généralités

Le béton a une résistance en traction très faible, qui n'est que rarement mise en valeur dans les structures (exception faite par exemple dans le domaine routier). C'est donc en général la résistance en compression qui sert de caractérisation de base du béton durci. Cette résistance en compression est déterminée suivant la norme européenne NF EN 12390-3. La résistance à 28 jours après un mûrissement à l'eau sert en général de référence. La norme EN 206 définit différentes classes sous la forme CX/Y (ex: C25/30). X est la résistance caractéristique (c'est-à-dire garantie dans 95% des cas) mesurée sur cylindre 16x32 cm, tandis que Y est la résistance (du même béton) mesurée sur cube 15x15 cm.

La résistance à la compression s'explique par la réaction d'hydratation du ciment Portland,

mélange de clinker et de gypse finement co-broyés. Le clinker se compose principalement des quatre minéraux suivants dans des proportions variables : silicate tricalcique C3S, silicate bicalcique C2S, aluminat tricalcique C3A et aluminoferrite tétracalcique C4AF.

La réaction du C2S et du C3S avec l'eau conduit à la formation d'hydrates dont les principaux sont les cristaux de C-S-H ($\text{CaO-SiO}_2\text{-H}_2\text{O}$), qui sont en majeure partie responsables du durcissement de la pâte de ciment, permettant à cette dernière de reprendre les charges extérieures et donc de participer à la résistance macroscopique du béton ([Regourd, 1982] [Folliot et Buil, 1982]).

La liaison entre la pâte durcie et les granulats qu'elle enrobe conditionne également la résistance mécanique du béton. On observe, autour des granulats dans le béton durci, une zone de pâte hydratée particulière : l'auréole de transition. Cette auréole a des propriétés différentes de la pâte dans sa masse, en fonction de la porosité des granulats. Dans le cas de granulats non poreux, l'auréole comporte une couche de cristaux de grandes dimensions, très poreuse et de cohésion faible, générant des zones de faiblesse pour les bétons soumis à des actions mécaniques [Maso, 1982].

Une bonne résistance à la compression est la performance bien souvent recherchée pour le béton durci. Cette résistance dépend d'un certain nombre de paramètres, en particulier le type et le dosage du ciment, la porosité du béton et le facteur E/C, rapport du dosage en eau au dosage en ciment, etc.

1.4.2.1.2. Essai de résistance à la compression

Le plus courant des essais sur béton durci est la résistance à la compression, en partie parce que cet essai est facile à exécuter et aussi parce que de nombreuses caractéristiques du béton, mais pas toutes, peuvent être qualitativement reliées à sa résistance.

Toutefois, la raison principale de cet essai est l'importance intrinsèque de la résistance à la compression lors de la conception structurale. Même s'il est universellement utilisé dans le domaine de la construction, l'essai de résistance à la compression présente quelques inconvénients, mais il constitue, un élément du bagage culturel de l'ingénieur [Rossi et Wu, 1994].

Les résultats de l'essai de résistance à la compression peuvent être affectés par différents paramètres : le type d'éprouvette et ses dimensions, le type de moule, de mûrissement, la préparation des faces d'essai sur lesquelles s'exerce la compression, la rigidité de la presse, la vitesse d'application de la charge. Pour toutes ces raisons, les essais doivent être effectués selon une procédure bien précise sans dévier des spécifications imposées.

Les essais de résistance à la compression effectués sur des éprouvettes préparées de façon normalisée, incluant un serrage ou un compactage à 100% et un mûrissement dans l'eau pendant une période donnée, donnent des résultats représentant la qualité du béton. Bien sûr, le béton dans la structure peut présenter une qualité inférieure, par exemple, par suite d'une mauvaise mise en œuvre, d'un compactage ou vibration inadéquats, d'un phénomène de ségrégation ou d'un mauvais mûrissement. Ces effets sont importants si l'on désire savoir à quel moment on peut décoffrer, pour suivre la construction ou mettre la structure en service. Pour cette raison, les éprouvettes d'essai sont mûries dans des conditions se rapprochant le plus possible de celles existant dans la structure réelle.

Les éprouvettes doivent être des éprouvettes cylindriques. Les plateaux ou contre-plateaux de la presse doivent avoir des dimensions égales ou légèrement supérieures à celles des faces de l'éprouvette soumise à l'essai.

Le temps d'attente entre le moment où les éprouvettes sont sorties de l'eau et celui de l'exécution de l'essai de compression ne doit pas dépasser une heure, afin d'éviter la dessiccation des éprouvettes, sinon, des précautions doivent être prises.

I.4.2.2. Influence du dosage en ciment

Pour une même ouvrabilité, une augmentation du dosage en ciment du béton aura pour conséquence de diminuer le rapport E/C de ce béton, ce qui se traduira nécessairement par une augmentation de la résistance à court terme.

La figure I.5 illustre l'influence du dosage en ciment sur les résistances à court terme et sur le rapport E/C du béton [Baron et Ollivier, 1996]. En effet, pour obtenir le même affaissement (7cm), le béton dosé à 377 kg/m³ de ciment a demandé 192 l/ m³ d'eau, soit un rapport E/C de 0,51, alors qu'il a fallu 186 l/ m³ d'eau pour le béton dosé à 347 kg/m³ de ciment, soit un rapport E/C de 0,54. En se référant à la figure 1.6, il est alors possible d'expliquer les résultats présentés par la figure I.5 qui montrent clairement l'accroissement des résistances d'un béton avec l'augmentation de son dosage en ciment.

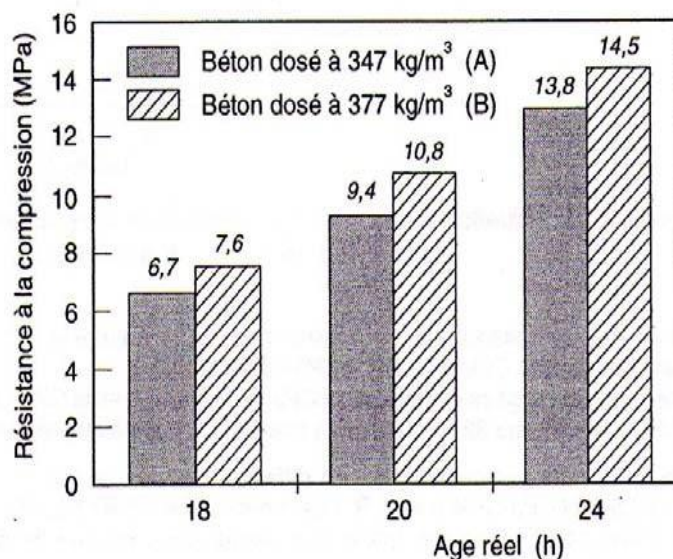


Figure I.5 : Influence du dosage en ciment sur la résistance à la compression à court terme du béton [Baron et Ollivier, 1996]

Les bétons ont été gâchés avec 347 kg/m^3 (A) et 377 kg/m^3 (B) de CPJ-CEM II 42,5 R et les résistances ont été mesurées sur des éprouvettes $11 \times 22 \text{ cm}$ confectionnées dans des moules en carton.

I.4.2.3. Influence de la porosité :

Tout milieu poreux est constitué de deux domaines distincts : la charpente du milieu (bordure solide) et son complément que constitue le volume poreux. La porosité (N) d'un matériau poreux est la fraction de volume total occupée par les vides.

La porosité d'un béton apparaît comme un paramètre extrêmement important puisqu'il conditionne la rugosité de surface ainsi que la quantité d'eau potentiellement présente dans le matériau. Un matériau présentant une porosité importante offre également une surface de réaction importante entre le matériau et les substances chimiques agressives avec lesquelles il est en contact. Ceci entraîne une vitesse de dégradation potentiellement plus élevée.

Ces porosités sont liées à la structure propre du matériau (structure et arrangement des cristaux) mais également à sa mise en œuvre. Le rapport E/C est un facteur de grande importance car, si l'augmentation de la quantité d'eau dans les matériaux cimentaires à l'état frais permet d'améliorer l'ouvrabilité du matériau, elle augmente sa porosité [Sahu et col, 2004]. En effet, l'eau présente en excès, qui ne sert donc pas aux différents processus d'hydratation du ciment, s'évapore lors du séchage du matériau laissant les emplacements qu'elle occupait vides [Neville, 2000].

Lors de fabrication de la pâte fraîche, les grains de ciment sont mis en suspension dans l'eau. Le rapport E/C influence ainsi l'espacement initial entre les grains de ciment. Plus l'espacement initial entre les grains de ciment est important, plus l'espace à combler lors de l'hydratation est grand et plus la formation de vide est favorisée, les hydrates ne pouvant pas combler tout l'espace comme illustré par la figure I.6.

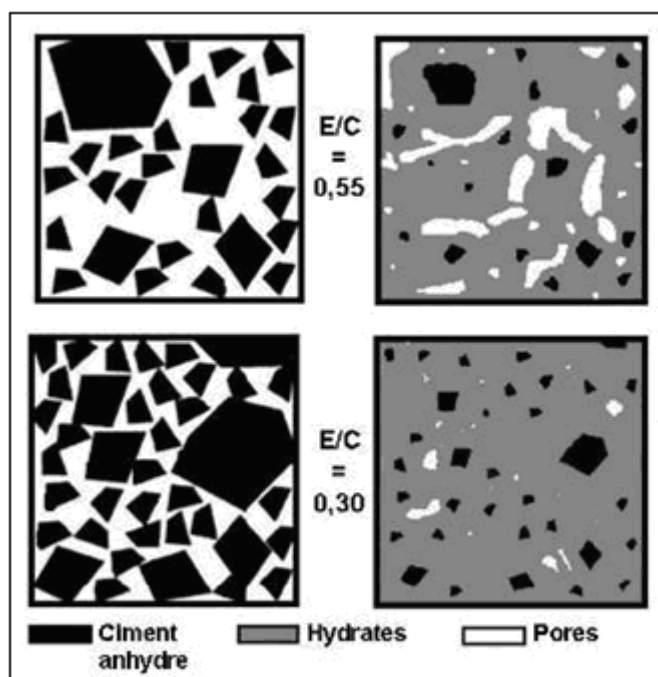


Figure I.6: Représentation schématique de la pâte de ciment à l'état frais et à l'état durci, influence du rapport E/C, [Pigeon, 1999].

Autrement dit ; la résistance du béton est influencée par le volume de tous les vides contenus dans le béton : air occlus, pores capillaires, pores de gel et air entraîné [Neville, 2000].

La mise en place du béton engendre toujours une certaine quantité d'air occlus. Ce volume dépend de l'énergie de serrage, plus l'énergie de serrage est importante, plus il sera possible de réduire la quantité d'air occlus

La quantité d'air occlus varie dans un béton courant entre 1 et 2.5 %, si l'on réalise que 1 % d'air, occupant le même volume que dix litres d'eau, réduit pareillement la résistance à la compression, on conclut à l'évidence que l'air occlus dans un béton doit toujours être mesuré et pris en compte [Baron et Ollivier, 1996].

I.4.2.4. Influence du rapport granulats/ciment :

Le rapport granulats/ciment (G/C) est un facteur de deuxième importance quand à la résistance, mais, pour un rapport E/C constant, Erntroy et Shacklock (1954) cités par Neville (2000), ont montré qu'un béton plus faiblement dosé était plus résistant (figure I.7).

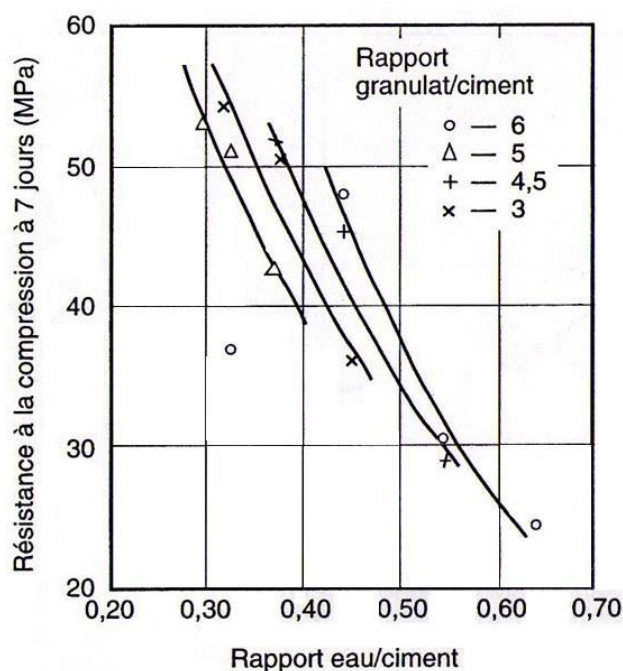


Figure I.7 : Influence du rapport G/C sur la résistance du béton [Neville, 2000].

Les raisons de ce comportement ne sont pas bien connues. Dans certains cas, une partie de l'eau peut être absorbée par le granulat : plus il y a de granulat, plus la quantité d'eau absorbée est importante, ce qui contribue à réduire le rapport eau/ciment réel du béton. Dans d'autres cas, une plus forte teneur en granulats contribue à diminuer le retrait et le ressuage, ce qui diminue les désordres dans les liaisons granulat et pâte de ciment. De même, les modifications thermiques dues à la chaleur d'hydratation du ciment sont plus faibles [Popovics, 1990]. L'explication la plus probable provient toutefois du fait que la teneur totale en eau par mètre cube de béton est plus faible dans un béton faiblement dosé en ciment que dans un béton fortement dosé en ciment. Il en résulte que le pourcentage de vides par rapport au volume total de béton est plus faible dans un béton faiblement dosé en ciment et que ce sont justement ces vides qui ont un effet négatif sur la résistance.

I.4.2.5. Influence de la taille maximale du granulat

Walker et Bloem (1960) ont publié un article qui suscita à l'époque beaucoup de discussions [Alexander et col, 1961] : la majorité des résultats présentés montraient un effet négatif de la

dimension maximale du granulat (D) sur la résistance à la compression, à rapport E/C constant. Cette constatation étonna la communauté scientifique, celle-ci présumant généralement qu'avec un D important, le béton, plus compact, présenterait une résistance mécanique supérieure et une meilleure durabilité.

Cependant, deux causes exercent des effets contradictoires : pour une quantité donnée de ciment, en augmentant le D, on tend vers une réduction de la demande en eau, tandis que la résistance obtenue à rapport E/C donné diminue. Par conséquent, quand le volume du ciment et l'ouvrabilité restent constants, on a un effet du D sur la résistance à la compression qui n'est pas monotone. Une valeur optimale de la dimension du granulat existe, qui décroît quand la quantité de ciment augmente [Cordon et Gillespie, 1963].

I.4.2.6. Influence de l'âge :

Meyer (1963) a montré que l'augmentation de la résistance (exprimée en pourcentage de la résistance à long terme) des bétons à faible rapport E/C est plus rapide que celle des bétons ayant un rapport E/C plus élevé (figure I.8). Ceci s'explique par le fait que les grains de ciment sont plus près les uns des autres et que le réseau de gel continu s'établit plus rapidement.

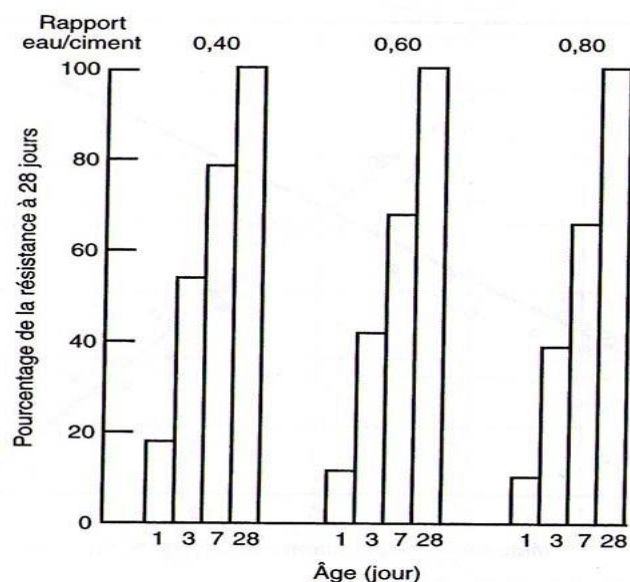


Figure I.8 : Augmentation relative de la résistance dans le temps de bétons ayant différents rapports E/C confectionnés avec un ciment portland ordinaire [Meyer, 1963].

I.5. Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons fait une revue générale sur le matériau béton, de ses constituants, de ses propriétés à l'état frais jusqu'à ses propriétés à l'état durci. Dans la pratique, ce sont deux propriétés, l'ouvrabilité et la résistance mécanique, qui doivent être mises au point en premier lors de la formulation. En effet, l'ouvrabilité contrôle la mise en œuvre sur chantier tandis que la résistance mécanique conditionne la capacité portante de l'ouvrage. L'ouvrabilité est sensible au dosage en eau, en adjuvant et en fines. La résistance du béton est influencée par divers paramètres cités ci-dessus mais essentiellement contrôlée par la qualité du ciment et le rapport E/C. La fluctuation de ces paramètres de composition engendre des variations des propriétés prescrites.

Chapitre II :

Méthodes de formulations des bétons

II.1. Introduction :

Le problème de la formulation des bétons s'est renouvelé en profondeur au cours de ces dernières années. Tout d'abord, de nouveaux constituants tels que les adjuvants organiques, les additions minérales (cendres volantes, fillers etc.) ou les fibres sont venus s'ajouter à la panoplie classique des granulats et des ciments. Ensuite, on s'est intéressé à un nombre croissant de propriétés d'usage du matériau, en relation avec la totalité de son cycle de vie (depuis son comportement rhéologique à l'état frais jusqu'à sa durabilité dans différentes ambiances). Enfin la gamme de propriétés que l'on peut atteindre avec les moyens industriels modernes s'est singulièrement élargie.

En résumé, le problème de la formulation des bétons comporte de nos jours davantage de variables, davantage de dimensions et l'espace dans lequel on évolue est beaucoup plus vaste. Face à ces réalités, le formulateur est soumis à une pression croissante en termes de délais et de coûts. Il n'est malheureusement pas rare de voir des études de béton démarrer moins de 28 jours avant le démarrage d'un chantier, de plus les entreprises dans notre pays, n'ont que des budgets relativement restreints à consacrer à la formulation des bétons, même si de cet acte fondateur découle une grande partie des caractéristiques du chantier et de l'ouvrage à réaliser.

II.2. Méthodes de formulation de béton

Le choix des proportions de chacun des constituants d'un béton afin d'obtenir les propriétés mécaniques et de mise en œuvre souhaitées s'appelle la formulation. Plusieurs méthodes de formulations existent, dont notamment :

II.2.1. Méthode de Bolomey

Par une formule appropriée, on trace une courbe granulométrique de référence et l'on s'efforce de réaliser avec les granulats dont on dispose une composition granulaire totale (ciment compris) ; dont la courbe soit la plus proche que possible de la courbe de référence théorique [Dreux et Festa, 1998].

La formule de base est la suivante :

$$P = A + (100 - A) \sqrt{\frac{d}{D}}$$

Où

P est le pourcentage de grains passant à la passoire de diamètre d ,

D est le diamètre du plus gros grain,

A varie de 8 à 16, sa valeur étant d'autant plus élevée que le dosage en ciment est plus fort.

Cette méthode aboutit théoriquement tout au moins à une granularité continue.

II.2.2. Méthode de Caquot

Caquot cité dans [Dreux et Festa, 1998] a proposé, dès 1937, une approche théorique pour déterminer une courbe granulométrique quasi optimale, pour un mélange granulaire non borné (en termes de diamètre maximal et minimal), puis pour une étendue granulaire donnée. Cette approche néglige toutefois les conditions de mise en œuvre, la forme des granulats et fait des hypothèses fortes sur les interactions (effet de paroi et de desserrement) entre les grains.

II.2.3. Méthode de Valette

Valette a mis au point une méthode essentiellement expérimentale mais qui nécessite cependant un certain nombre de calculs préparatoires. Cette méthode est souvent désignée par « dosages des bétons à compacité maximale » ou « dosage des bétons à minimum de sable » ou encore « dosage des bétons à granularité discontinue » [Dreux et Festa, 1998]. Puisque la méthode est essentiellement expérimentale elle repose donc, sur l'appréciation de l'opérateur concernant la convenance du béton, il doit être un praticien connaisseur en la matière.

II.2.4. Méthode de Faury

Cette méthode qui date de 1942 s'inspire des travaux de Caquot Faury.

Faury prend comme échelle :

- en abscisse, la $\sqrt[5]{d}$,
- en ordonnée, la décimale suivant le pourcentage en volume absolu de matière passant à travers les passoires correspondantes.

La granulométrie optimum d'un béton est un mélange (dans une certaine proportion) de deux sortes de grains (sable et gravier).

La courbe de référence à suivre se compose de deux tronçons de droite. La première AB donne la granulométrie des grains fins et moyens $0/\frac{D}{2}$. Cette droite coupe l'axe des abscisses en un point fixe A d'abscisse $d_0 = 0.0065$.

La deuxième droite est celle de gros grains $D/\frac{D}{2}$. L'ordonnée Y de $D/2$, appelée point de brisure, indique le pourcentage en volume des grains $0/\frac{D}{2}$. Sa valeur est donnée par la formule expérimentale.

$$Y = A + 17\sqrt[5]{D} + \frac{B}{\frac{R}{D} - 0,75}$$

où

D : grosseur maximum de l'agrégat en mm

R : rayon moyen du coffrage en mm

A : coefficient tenant compte de la forme des agrégats et de la consistance du béton (Annexe I.2)

B : dépend du serrage. Il varie de 1 pour une vibration puissante à 1.5 pour un serrage moyen.

II.2.5. Méthode de Joisel

S'inspirant comme Faury de la théorie de Caquot mais en la généralisant, Joisel propose de considérer que la loi de granulation conduisant à la compacité maximale, est fonction de $\sqrt[m]{d}$ m dépend de la compacité avec laquelle se serre un granulat de dimension uniforme selon les moyens de serrage ; m peut alors varier de 3 à 10.

Joisel prend comme échelle en abscisse, la $\sqrt[m]{d}$ au lieu de $\sqrt[5]{d}$ (Faury) ou m variant avec le serrage des matériaux.

Comme dans la méthode de Faury, on aboutit donc en principe à une granularité continue sauf, bien entendu, si les granulats dont on dispose en pratique présentent une discontinuité. Toutefois, pour éviter la cassure de la droite de référence au point d'abscisse $D/2$, Joisel a déterminé l'échelle de l'intervalle $\frac{D}{2}/D$ de façon à n'avoir qu'une simple et unique droite, c'est l'avantage de cette méthode. En revanche, il faut employer un graphique dont l'échelle des abscisses est variable d'une échelle à l'autre, d'un type de granulat à un autre. C'est ensuite par une méthode graphique dont nous nous inspirons que se déterminent les pourcentages des divers granulats [Dreux et Festa, 1998].

II.2.6. Méthode américaine

Cette méthode [ACI 211] est probablement l'une des plus populaire au monde. Elle est basée essentiellement sur les travaux de chercheurs américains (Abrams et Powers). Ces étapes sont les suivantes

Etape 1 : choix de l'affaissement.

Etape 2 : choix de taille maximale des granulats (D_{\max}).

Etape 3 : estimation de la quantité d'eau et d'air. L'eau est déterminée par D_{\max} et par l'affaissement requis, alors que l'air dépend de D_{\max} .

Etape 4 : sélection du rapport eau/ciment. Ce rapport est choisi en tenant compte de la durabilité (valeur maximale spécifiée) et de la résistance à la compression. Pour cette dernière, une table est donnée pour trouver le rapport eau/ciment en fonction de la résistance requise.

Etape 5 : calcul de la quantité de ciment. Ce calcul est simplement fait à partir de la quantité d'eau et du rapport eau/ciment déterminé précédemment.

Etape 6 : estimation de la quantité de gravillon. La masse volumique en vrac du gravillon, mesurée selon une méthode normalisée (piquage à sec), est déterminée en premier. Elle est alors multipliée par un coefficient tabulé, qui dépend de la taille maximale du granulat et du module de finesse du sable.

Etape 7 : calcul de la quantité de sable. Cette quantité est calculée par différence entre le volume unité de la gâchée et les autres volumes calculés précédemment.

Etape 8 : ajustements finaux

II.2.7. Méthode britannique (BRE 1988)

La méthode du Département de l'Environnement, révisée en 1988 ([BRE 1988, citée par [Neville 1995]]), comporte les étapes suivantes :

Etape 1 : détermination du rapport eau/ciment. Une première contrainte concerne la durabilité (valeur maximale du rapport e/c). Le rapport eau/ciment est ensuite déduit de la résistance à la compression requise, pour des âges compris entre 3 et 91 jours. Le type de ciment (durcissement lent ou durcissement rapide) et de granulats (concassé ou roulé) est aussi pris en compte dans une table et un abaque.

Etape 2 : détermination de la quantité d'eau. Le principe est très similaire à celui adopté dans la méthode ACI 211 (paragraphe 4.6.1). Un raffinement supplémentaire consiste à considérer la forme des grains (anguleux ou non), qui est supposée contrôler la demande en eau, en plus de D_{\max} et de l'affaissement requis.

Etape 3 : calcul de la quantité de ciment, en divisant la quantité d'eau par le rapport eau/ciment. A ce stade, une limite inférieure concernant la durabilité est prise en compte.

Etape 4 : détermination de la masse totale de granulat. L'utilisateur peut lire dans un tableau la "densité du béton à l'état frais" en fonction de la quantité d'eau et de la densité des

granulats. De cette densité, les masses (pour un volume unité) de ciment et d'eau sont soustraites.

Etape 5 : détermination du rapport sable/sable + gravillon. Dans une série de tables, on trouve ce rapport en fonction de la maniabilité requise (exprimée par l'affaissement ou par le temps d'écoulement Vebe), de D_{max} , du rapport eau/ciment et de la quantité de passants du sable au tamis de 0,6 mm. Quand le gravillon est livré en plusieurs coupures, les pourcentages de chaque coupure par rapport à la masse totale de gravillon sont proposés dans une autre table.

II.2.8. Méthode de Baron Lesage

Méthode purement expérimental, fondée sur l'utilisation du maniabilimètre. Son principe est de déterminer en premier lieu par approximations successives l'ensemble des proportions des constituants solide inertes qui correspondent à l'écoulement le plus rapide au maniabilimètre. Puis faire varier le dosage en eau jusqu'à l'obtention de l'écoulement désiré. Cette méthode est basée sur deux hypothèses:

- pour un dosage en eau et ciment fixé au départ (E/C fixé), le béton le plus maniable est le plus compact et son squelette minéral est optimal.
- le dosage optimal en granulats ne dépend pas de la nature et du volume de pâte de ciment (Eau+ciment).

II.2.9. Méthode de Dreux-Gorisse :

Cette méthode est de nature fondamentalement empirique, à la différence de la méthode de Faury qui lui est antérieure [Faury, 1942] et qui est basée sur la théorie de l'optimum granulaire de Caquot [Caquot, 1937]. Dreux a mené une large enquête pour recueillir des données sur des bétons satisfaisants [de Larrard, 2000]. Sur la base d'une analyse statistique de ce grand nombre de bétons et en combinant les courbes granulaires obtenues, ils ont pu fonder une approche empirique pour déterminer une courbe granulaire de référence ayant la forme de deux lignes droites dans un diagramme semi- logarithmique (figure 2.1).

Elle est d'autre part très simple d'utilisation puisqu'elle ne demande que de connaître les courbes granulométriques des granulats utilisés [Dupain et col., 2000].

Une gâchée d'essai est nécessaire à effectuer au sein du laboratoire afin de procéder aux éventuelles corrections d'usage.

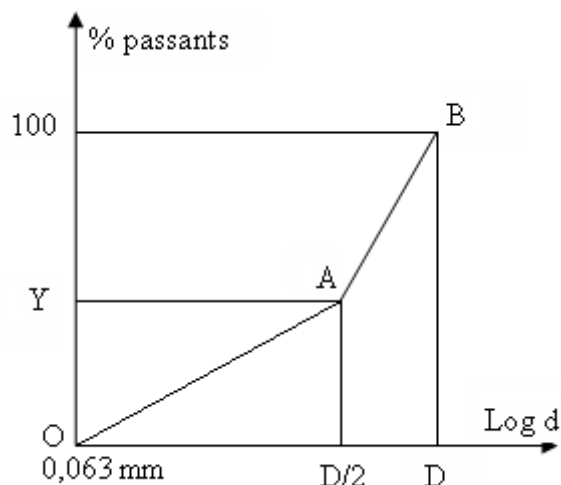


Figure II.1 : Courbe optimale type selon la méthode Dreux-Gorisse.

II.2.9.1. Principe de la méthode :

La résistance et l'ouvrabilité désirée conduit à déterminer le dosage en ciment et le dosage en eau.

Une courbe de référence granulatoire est ensuite tracée schématiquement en tenant compte des différents paramètres concernant le béton étudié et ses constituants : dimension des granulats, dosage en ciment, plasticité intensité du serrage, module de finesse du sable, pompabilité, des différents granulats dont on dispose.

Enfin, la prise en compte d'un coefficient de compacité probable du béton et de la masse volumique des différents granulats permet d'aboutir à la formule de dosage pondéral pour le béton désiré.

Reste à exécuter, bien entendu, quelques essais sur ce béton pour apporter à cette formule les corrections expérimentales nécessaires.

II.2.9.2. Données de base :

Nous avons adopté comme critères de base les critères suivants :

a. Nature de l'ouvrage

La connaissance de la nature de l'ouvrage est nécessaire : ouvrage massif ou au contraire élancé et de faible épaisseur, faiblement ou très ferrillé. Il est nécessaire de connaître l'épaisseur minimale des éléments et les dispositions des armatures dans les zones les plus ferrillées, distance minimale entre elles, et couverture par rapport au coffrage.

b. Résistance souhaitée

En général on demandera une résistance f_{c28} en compression à 28 jours et compte tenu des dispositions et de l'écart quadratique s , il faudra viser une résistance moyenne à 28 jours : f_c supérieure à f_{c28} donc $f_{c28} = f_c - 0,8s$

Si l'on admet un coefficient de variation moyen de l'ordre 20 % on pourra adopter la règle approximative pour la résistance moyenne à viser :

$$f_c = f_{c28} + 15\%$$

c. Consistance désirée

Cette consistance est en fonction de la nature de l'ouvrage (plus ou moins massif ou plus ou moins ferrailé) de la difficulté de bétonnage, des moyens de serrage, etc. Elle peut se définir en général par la plasticité désirée mesurée par affaissement au cône d'Abrams (voir le Tableau II.3).

Tableau II.1 : Evaluation de l'ouvrabilité par référence à l'affaissement au cône ou au test C.E.S. [Dreux et Festa, 1998].

Plasticité	Serrage	Affaissement en cm	N nombre de chocs test C.E.S.
Béton très ferme	Vibration puissante	0 à 2	> 60
Béton ferme	Bonne vibration	3 à 5	30 à 50
Béton plastique	Vibration courante	6 à 9	15 à 25
Béton mou	Piquage	10 à 13	10 à 15
Béton fluide	Léger piquage	≥ 14	< 10

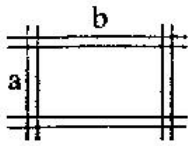
II.2.9.3. Dimension maximale des granulats

Elle est faite à l'aide du Tableau II.4, fixant des valeurs maximales fonctions des dimensions de la structure analysée à l'étape 1.

Pour une courbe granulométrique donnée, plusieurs dimensions de tamis peuvent satisfaire aux conditions posées par la norme XP18-540 pour la définition du diamètre D du plus gros granulat.

Dans l'application de la méthode de Dreux-Gorisse, la valeur D retenue sera telle que le refus sur le tamis correspondant soit le plus proche possible de 8% [Dupain et col., 2000].

Tableau II.2 : Evaluation approximative de D dimension maximale (tamis) des granulats, en fonction des caractéristiques de la pièce à bétonner et de l'ambiance plus au moins agressive [Dreux et Festa 1998].

Caractéristiques de la pièce à bétonner		D (Tamis)
e_h	espacement horizontal entre armatures	$\leq \frac{e_h}{1,5}$
e_v	espacement vertical entre armatures	$\leq e_v$
c distance des armatures de coffrage	ambiance très agressive	$\geq 5 \text{ cm}$
	ambiance moyennement agressive, condensations	$\geq 3 \text{ cm}$
	ambiance moyennement agressive mais f_{c28} du béton supérieure à 40 MPa	$\geq 2 \text{ cm}$
	ambiance non agressive	$\geq 1 \text{ cm}$
} < c		
	r rayon moyen du ferrailage	
	Granulats roulés	$\leq 1,4 r$
	Granulats concassés	$\leq 1,2 r$
	$r = \frac{ab}{2(a+b)}$	
h_m	hauteur ou épaisseur minimales	$\leq \frac{h_m}{5}$

II.2.9.4. Dosage en ciment

On commence par évaluer approximativement le rapport C/E en fonction de la résistance moyenne souhaitée f_c (à 28 j) ; on utilise pour cela une formule inspirée des études de bolomey :

$$f_c = G \cdot \sigma'_c \cdot \left(\frac{C}{E} - 0,5 \right)$$

Avec :

f_c (MPa) : résistance moyenne en compression souhaitée à(28jours),

σ'_c (MPa) : classe vraie du ciment à (28 jours),

C (kg/m³) dosage en ciment, E (litres/m³) dosage en eau totale,

G est un coefficient granulaire sans dimension dont on choisit la valeur dans le tableau 2.7 :

Tableau II.3 : valeurs approximatives du coefficient granulaire G/[19 boukloudus]

Qualité des granulats	Dimension D des granulats		
	D > 16mm	Moyens 25 < D < 40mm	Gros > 63mm
Excellente	0.55	0.60	0.65
Bonne, courante	0.45	0.50	0.55
Passable	0.35	0.40	0.45

Note : Ces valeurs de G correspondent à des bétons de plasticité courante ($4\text{cm} \leq A \leq 8\text{cm}$)

Avec A : affaissement au cône d'Abrams

On ajoute éventuellement aux valeurs des G ainsi évalué une petite correction :

- Pour les bétons fermes ($A \leq 3\text{cm}$) : -0,03
- Pour les bétons mous ($A \geq 9\text{cm}$) : +0,03

➤ **Dosage minimal**

En fonction de l'environnement, les dosages minimaux prescrivent par le fascicule 65A et le cahier des clauses techniques générales appliqués aux marchés publics pour l'exécution des ouvrages en béton armé ou précontraint, sont les suivants :

- en béton armé exposé a un milieu sans agressivité particulière $C \geq \frac{550}{\sqrt[5]{D}}$
- en béton armé exposé a un milieu sans agressivité particulière mais comportant un parement fin : $C \geq \frac{600}{\sqrt[5]{D}}$
- en béton armé expose à des conditions agressives sévères ou coulé sous l'eau, ainsi en béton précontraint : $C \geq \frac{700}{\sqrt[5]{D}}$

Voir le tableau 2.8(les dosages auxquels conduisant l'application de la formule précédente ainsi les valeurs de $\sqrt[5]{D}$ en fonction de D).

Tableau. II.4 : Les dosages minimaux en ciment en fonction de la dimension maximale des granulats(D).

D en mm	5	6,3	8	10	12,5	16	20	25	31,5	40	50	63	80	100
$\sqrt[5]{D}$	1,38	1,45	1,52	1,59	1,66	1,73	1,80	1,87	1,94	2,01	2,08	2,15	2,22	2,29
$\frac{550}{\sqrt[5]{D}}$	400	380	362	346	332	316	302	290	275	263	251	240	230	220
$\frac{600}{\sqrt[5]{D}}$	435	415	395	378	362	345	330	315	300	288	275	262	250	240
$\frac{700}{\sqrt[5]{D}}$	500	480	460	440	420	400	385	370	350	335	320	305	290	280

Le dosage en ciment est donc fonction du rapport C/E mais également du dosage en E nécessaire pour une ouvrabilité satisfaisante. L'abaque de la figure 2.4 permet d'évaluer approximativement C en fonction de C/E et l'ouvrabilité désirée qui doit être considérée comme une donnée du problème.

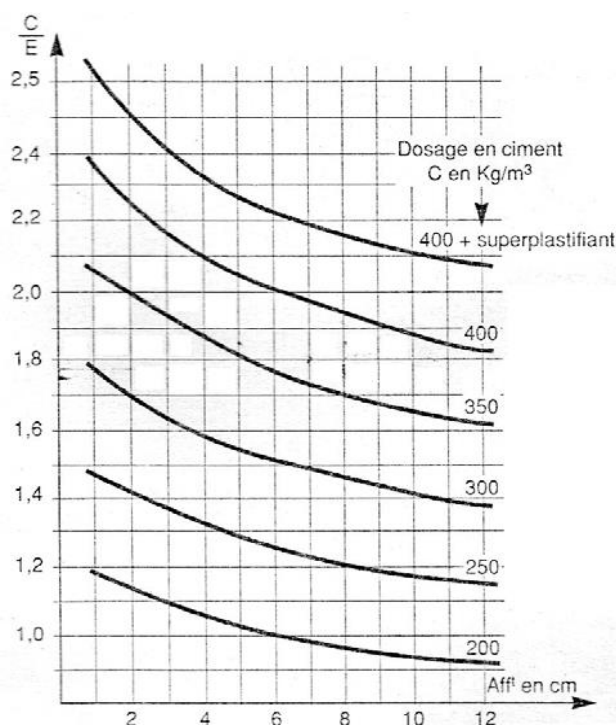


Figure II.2 : Abaque permettant d'évaluer approximativement le dosage en ciment à prévoir en fonction du rapport C/E et de l'ouvrabilité désirée.

II.2.9.5. Dosage en eau

Une fois le choix du dosage en ciment est fait, on déduit alors le dosage approximatif en eau totale à prévoir et qu'il conviendra bien entendu d'ajuster ultérieurement par quelques essais de plasticité et d'ouvrabilité.

L'abaque de la Figure (II.5) donne l'allure générale de la variation du dosage en eau en fonction de l'affaissement au cône d'Abrams et du test d'ouvrabilité.

➤ **Correction du dosage en eau totale en fonction de la dimension maximale D**

La correction sur le dosage en eau correspond à $D = 25$ mm peut être approximativement évalué d'après les valeurs du Tableau (II.9) En fonction de D.

Tableau II.5 : Correction sur le dosage en eau en fonction de la dimension maximale D des granulats si ($D \neq 25$ mm).

Dimension maximale D Des granulats.....(mm)	5	10	16	25	40	63	100
Correction sur le dosage En eau.....(%)	+15	+9	+4	0	-4	-8	-12

Le graphique de la Figure (II.5) donne l'allure générale de cette correction.

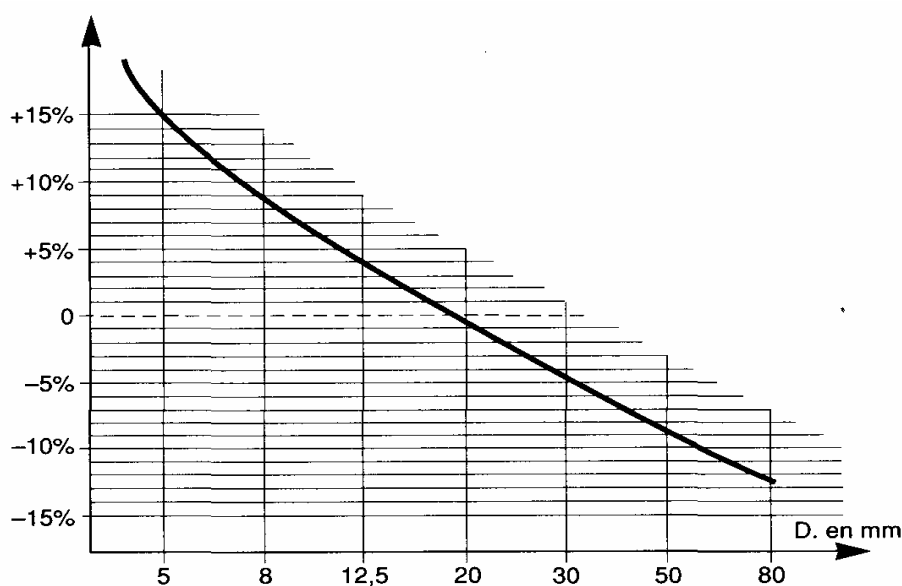


Figure II.3 : Correction sur le dosage en eau.

II.2.9.6. Dosage en granulats

a. Tracé de la courbe granulaire de référence

Sur un graphique d'analyse granulométrique type AFNOR, on trace une composition granulaire de référence O A B.

Point O : ordonnée 0, abscisse : 0,08 mm

Point B : ordonnée : 100%, abscisse : dimension D plus gros granulat.

Point A :

En abscisse :

Si $D \leq 20$ mm, l'abscisse sera égale à $D/2$

Si $D > 20$ mm, l'abscisse sera au milieu du segment gravier limité par la dimension de tamis 5 mm et le module correspondant à D.

En ordonnée : $Y = 50 - \sqrt{D} + K$

K est un terme correcteur qui dépend du dosage en ciment, de l'efficacité de serrage, de la forme des granulats roulés ou concassé et également du module de finesse du sable.

Les valeurs de k sont indiquées dans le tableau (II.10)

Tableau II.6 : valeur du coefficient K selon Druex.

Vibration		Faible		Normale		Puissante	
		Roulé	Concassé	Roulé	Concassé	Roulé	Concassé
Dosage en Ciment (kg/m ³)	400 + Fluid	- 2	0	- 4	- 2	- 6	- 4
	400	0	+ 2	- 2	0	- 4	- 2
	350	+ 2	+ 4	0	+ 2	- 2	0
	300	+ 4	+ 6	+ 2	+ 4	0	+ 2
	250	+ 6	+ 8	+ 4	+ 6	+ 2	+ 4
	200	+ 8	+ 10	+ 6	+ 8	+ 4	+ 6

Nota1 : Correction supplémentaire K_s : si le module de finesse du sable est fort (sable grossier) une correction supplémentaire sera apportée de façon à relever le point A, ce qui correspond à majorer le dosage en sable et vice versa. La correction supplémentaire (sur K) peut être effectué en ajoutant la valeur $K_s = 6Mf - 15$ avec Mf étant le module de finesse

du sable qui peut varier de 2 à 3 avec une valeur optimale de l'ordre 2,5 pour laquelle la correction préconisée est alors nulle.

Nota2 : Correction supplémentaire K_p : si la qualité du béton est préconisée «pompable » il conviendra de conférer au béton le maximum de plasticité et de l'enrichir en sable par apport à un béton de qualité « courante ». On pourra pour cela majorer le terme correcteur K de la valeur

$K_p = +5$ à $+10\%$ environ, selon le degré de la plasticité désirée.

b. Masse des granulats

Il convient alors de faire à la notion de coefficient de compacité du béton. On définit celui-ci comme le rapport entre la somme des volumes absolus des constituants solides (granulat et ciment) et le volume de béton correspondant en œuvre que l'on prend ici égal à 1000 litres.

On a donc :

$$\gamma = \frac{V_g + V_c}{1000}$$

Avec V_g et V_c (en litres) volumes absolus des granulats d'une part et du ciment d'autre part dans un mètres cube de béton en œuvre.

La connaissance du dosage en ciment C déjà fixé promet le calcul de V_c en supposant que la masse volumique du ciment est de 3.1 kg/litre. Le choix de la valeur de γ dans le tableau (II.11) permet de calculer le volume absolu V_g de l'ensemble des granulats : la connaissance du pourcentage de chacun d'eux permet alors de calculer leurs volumes absolus respectifs en litres pour un mètre cube de béton en œuvre. La connaissance de la masse volumique de chacun d'eux est alors nécessaire et permet de calculer la masse de chacun d'eux dans la formule de composition qui est alors complètement définie et qui, par addition des masses des différents constituants, donne la masse volumique théorique du béton frais en œuvre.

Tableau II.7 : valeurs du coefficient de compacité [4].

Consistance	serrage	Dimension D des granulats (en mm)						
		D = 5	D = 10	D = 12.5	D = 20	D = 31.5	D = 50	D = 80
Molle	Piquage	0.750	0.780	0.795	0.805	0.810	0.815	0.820
	Vibration faible	0.755	0.785	0.800	0.810	0.815	0.820	0.825
	Vibration normale	0.760	0.790	0.805	0.815	0.820	0.825	0.830
Plastique	Piquage	0.730	0.790	0.805	0.815	0.820	0.825	0.830
	Vibration faible	0.765	0.795	0.810	0.820	0.825	0.830	0.835
	Vibration normale	0.770	0.800	0.815	0.825	0.830	0.835	0.840
	Vibration puissante	0.775	0.805	0.820	0.830	0.835	0.840	0.845
Ferme	Vibration faible	0.775	0.805	0.820	0.830	0.835	0.840	0.845
	Vibration normale	0.780	0.810	0.825	0.835	0.840	0.845	0.850
	Vibration puissante	0.785	0.815	0.830	0.840	0.845	0.850	0.855
Ces valeurs sont convenables pour des granulats roulés sinon il conviendra d'apporter les corrections suivantes:								
- sable roulé et gravier concassé = - 0.01,								
- Sable et gravier concassé = - 0.03.								

Dosage en granulats

La courbe granulaire OAB de référence est tracée sur le même graphique que les courbes granulométrique des granulats composant.

On trace alors les lignes de partage entre chacun des granulats, en joignant le point à 95% de la courbe granulaire du premier, au point 5% de la courbe du granulat suivant et ainsi de suite.

On lira alors sur la courbe de référence, au point de croisement avec les droites de partage, le pourcentage en volume absolu de chacun des granulats soit g_1 , g_2 et g_3 respectivement.

Le volume absolu des grains de ciment est : $V_c = C/3,1$ avec C le dosage en ciment.

(3,1 étant la masse spécifique admise pour les grains de ciment).

Le volume absolu de l'ensemble des granulats est : $V = 1000\gamma - V_c$

On en déduit alors le volume absolu de chacun des granulats ainsi que les masses spécifiques

de chacun des granulats.

Tels que :

Les volumes absolus de chacun des granulats sont par suite :

$$v_1 \geq g_1 V ; v_2 \geq g_2 V ; v_3 \geq g_3 V$$

Et si les masses spécifiques de chacun des granulats sont ρ_{s1} , ρ_{s2} et ρ_{s3} les masses de chacun d'eux seront :

$$P_1 = v_1 \rho_{s1} ; P_2 = v_2 \rho_{s2} ; P_3 = v_3 \rho_{s3}$$

La masse totale des granulats sera $G = P_1 + P_2 + P_3$

Ajustement de la formule au mètre cube

Si la masse des granulats est G, est la masse de ciment est C se si le dosage en eau est E (en litres par mètre cube sur matériaux supposés secs), la densité du mètre cube de béton devrait être théoriquement :

$$\Delta_0 = \frac{G + C + E}{1000}$$

On peut en pesant une ou plusieurs éprouvettes mesurer la densité réelle Δ du béton frais en œuvre.

Si Δ est peu différents de Δ_0 , c'est que la formule étudiée correspond bien au mètre cube.

Si en revanche, la densité réelle Δ est plus petite que la densité Δ_0 , c'est que la formule étudiée donne un peu plus d'un mètre cube de béton et le dosage réel en ciment se trouve inférieur à celui théoriquement prévu et vice versa. Donc il faut apporter une correction sur la masse totale des granulats est alors : $x = 1000(\Delta - \Delta_0)$ En (kg), maintenant :

Si $(\Delta - \Delta_0) < 0$: la formule proposée faisant de plus du mètre cube.

Si $(\Delta - \Delta_0) > 0$: la formule proposée faisant moins du mètre cube.

Sur la masse de chacun des granulats dont les pourcentages sont g_1 , g_2 , g_3 et les masses P_1 , P_2 , P_3 la correction à apporter sera la suivante :

$$\frac{xP_1}{G} , \frac{xP_2}{G} , \frac{xP_3}{G}$$

Avec G est la masse totale des granulats.

II.3. Conclusion :

Nous avons présenté les diverses méthodes de formulation des bétons existante et couramment utilisés dans de nombreux pays dans le monde.

La formulation, se basant sur les modèles qui relie la structure interne aux propriétés d'usage du béton, permet de déterminer une composition optimale tout en satisfaisant les conditions posées dans le cahier des charges. Dans la pratique, lors de la formulation d'un béton, l'ouvrabilité et la résistance mécanique, doivent être mises au point en premier.

Les diverses méthodes de formulation que nous avons citées ont un point commun : elles utilisent des successions d'étapes simples basés sur l'expérience individuelle. Enfin, le choix de la formulation d'un béton doit être basée sur des calculs préliminaires comme ceux décrits ci-dessus, suivi par plusieurs gâchées d'essais. Cependant, l'application réussie de la formulation demande de l'expérience, combinée à une connaissance de l'influence des nombreux paramètres sur les propriétés du béton, cette connaissance doit être fondée sur la compréhension du comportement du béton. Lorsque ces trois éléments, expérience, connaissances et compréhension sont tous présents, la première gâchée d'essai peut probablement être satisfaisante et rapidement et correctement ajustée pour obtenir les propriétés désirées. L'une des propriétés désirés des bétons et leurs résistance à la compression à 28 jours qui elle, est fonction de la résistance caractéristique requise ou spécifiée, notée f_c 28.

Chapitre III :

Déchets végétaux : Les margines

III.1 Introduction

Dans beaucoup de pays du monde, l'usage des matières d'origine végétale ne cesse de croître dans le domaine du génie civil, et particulièrement dans la construction. Ce développement est incontestablement en lien avec la pénurie de matières premières mais aussi à la nécessité de répondre à des préoccupations environnementales et de développement durable.

D'ailleurs dans cette logique de développement durable, l'essor de ces matériaux issu du monde végétal permettrait de réduire les émissions des gaz à effet de serre, de limiter la consommation d'énergie et d'optimiser l'utilisation des ressources naturelles non renouvelables.

Depuis la première conférence mondiale sur l'environnement organisée à Stockholm en 1972, l'Algérie a progressivement pris conscience de la nécessité de prendre en considération la dimension environnementale dans une perspective de développement et d'utilisation durable des ressources naturelles du pays.

La finalité poursuivie est de répondre aux besoins de matériaux de construction performants, écologiques et économiquement compétitifs ainsi que de développer les capacités scientifiques et technologiques dans le domaine de la construction.

Le respect des nouvelles réglementations environnementales nécessite de concevoir des matériaux de construction performants (isolation thermique, absorption et isolation acoustiques) avec le moins d'effets sur l'environnement, ce qui implique l'apparition de nouveaux matériaux de construction.

Dans cette optique, les déchets¹ végétaux peuvent être valorisés dans la confection des matériaux de construction, notamment le béton. Ce dernier est le matériau de construction le plus utilisé au monde et sa consommation ne cesse d'augmenter.

Les déchets végétaux sont les résidus d'activité diverses. Par exemple, les fibres de noix de coco qui résultent de l'activité humaine (nourriture), les déchets d'activité industrielle tels que les cosse de riz, et les déchets issus des activités agricoles (les copeaux de bois, le lin, le chanvre). Le renforcement du béton par l'ajout de matériaux d'origine végétale à des produits de construction d'origine minérale améliore les propriétés des bétons, montre une tendance du comportement au jeune âge différente de celle relevée à moyen et à long terme.

L'intérêt par exemple des « bétons légers » obtenus par l'utilisation de granulats allégés est qu'ils offrent une densité et une masse propre très inférieure à celle d'un béton classique. Ils disposent ainsi d'un meilleur pouvoir isolant d'un point de vue thermique et acoustique. Ces

bétons légers permettent d'introduire dans leur composition des déchets d'origine agricole et industrielle, en particulier du bois.

L'industrie cimentière est responsable de 5% des émissions de CO₂ et ce chiffre atteindrait 10% à l'horizon 2050. Le remplacement du ciment utilisé dans le béton par des matières premières plus écologiques permettrait dès lors de réduire de manière significative l'impact environnemental de ces matériaux (entre autres grâce à l'économie de matières premières primaires et à la réduction des émissions de gaz à effet de serre). Des matériaux d'origine végétale pourraient en outre remplacer en partie les gros granulats et/ou les fillers du béton et ainsi réduire l'impact environnemental de ce dernier et/ou améliorer ses caractéristiques techniques.

Nous allons nous pencher dans un premier temps sur la valorisation² de déchets végétaux déjà utilisés dans la fabrication du béton. Ensuite, nous allons examiner l'intérêt de valoriser les margines pour répondre aux défis environnementaux et techniques actuels en matière de construction durable.

III.2. Déchets végétaux

III.2.1. Le béton de bois

La réutilisation des déchets de bois est une ressource renouvelable de grande disponibilité. Le matériau de base est un béton léger préparé à partir de copeaux de bois minéralisés, il peut être utilisé avec une ossature bois noyée dans la masse ou sous forme de panneaux de remplissage des structures de béton ou d'acier.

L'ensemble permet de construire très rapidement des immeubles à basse consommation d'énergie dont l'aspect extérieur peut être adapté aux exigences urbanistiques.



Figure III.1 : *Bois nécessaire à la fabrication du béton de bois.*

Le béton de bois est un matériau fabriqué à partir de masse de ciment agrégé de matières lignocellulosiques. Il présente de bonnes caractéristiques acoustiques et mécaniques.

Les composites béton-bois, grâce à leur légèreté et leur structure poreuse, permettent de nombreuses applications, notamment comme matériau de remplissage, d'isolation thermique et acoustique. Leur résistance mécanique, lorsque la proportion massique de bois n'excède pas 15%, en fait aussi une alternative pour des éléments porteurs. D'où leur intérêt pour des applications dans l'isolation, mais aussi pour la réalisation d'éléments légers: blocs coffrant, blocs de remplissage, dalles, ou rechargements sur planchers peu résistants

III.2.2. Le béton de chanvre



Figure III.2 : Chanvre.

Le béton de chanvre est un béton isolant mêlant de la chaux à de la chènevotte (issu du chanvre textile, du chanvre industriel ou du chanvre agricole) mis en œuvre sous forme de blocs préfabriqués.

Le chanvre est un produit qui convient très bien à un usage de construction. Associé au bois et aux autres végétaux employés dans une habitation, il contribue à stocker le dioxyde de carbone. Biodégradable, il n'entraîne aucun dommage à l'environnement.



Figure III.3 : Tige et Chènevotte.

En mélangeant la chènevotte (sous forme de copeaux) à des liants naturels hydrauliques (en général de la chaux), on obtient un béton léger végétal isolant et performant dont les utilisations vont du remplissage d'une structure en bois à la fabrication de blocs de parement ou de remplissage, en passant par certains enduits, certaines chapes légères, etc.

En béton de chaux, le chanvre convient à la maçonnerie et permet une accroche efficace des enduits, résiste aux intempéries extérieures, etc.

La chènevotte permet de réaliser des mortiers et des bétons qui offrent d'excellentes performances thermiques et phoniques. Son usage comme isolant vient de sa stabilité au temps.

Le béton de chanvre augmente l'inertie thermique de la construction tout en offrant une bonne résistance mécanique.

Le béton de chanvre est utilisé pour constituer des murs non porteurs (pour une construction d'habitation), des dalles de sol et aussi en isolation de toiture. Il peut être utilisé également pour constituer des cloisons de distribution.

III.2.3. Le béton de lin

Le lin est une fibre végétale peu gourmande en azote et elle n'épuise pas le sol. En outre, sa culture utilise un minimum d'engrais chimiques, évitant ainsi la pollution des sols par les nitrates. Les amateurs affirment que le lin représente le meilleur des laines, autant pour son pouvoir isolant que pour ses vertus écologiques.



Figure III.4 : *Lin.*

Les bétons de lin sont réalisés avec des anas de lin (fragments issus du broyage de la tige centrale du lin) et un mélange de liants hydrauliques (telle que de la chaux hydraulique). Les anas sont au lin ce que la chènevotte est au chanvre. Comme le béton de chanvre, le béton de lin va présenter de très bonnes propriétés thermiques, mais aussi des propriétés mécaniques suffisantes au montage d'une structure d'un étage.



Figure III.5 : *Anas de lin*



Figure III.6 : *Béton de lin*

III.2.4. Les noix de coco

La valorisation des résidus d'exploitation agricole des coques de noix de palmistes trouve une utilité comme granulats dans le béton de ciment. Le béton obtenu est formé de granulats légers.

Au plan écologique, la transformation de la fibre de coco est exemplaire. Le processus de fabrication n'utilise aucun produit chimique, hormis le sel de bore qui augmente sa résistance au feu.

Les fibres ont des propriétés d'isolation thermo-acoustique très intéressantes. Il offre une grande résistance à l'humidité : il est donc adapté pour l'isolation des pièces humides (salle de bains, cuisine...).

III.2.5. Les cosses de riz



Figure III.7 : *Cosses de riz.*

Avec une haute teneur en silice (entre 85 et 90 %), les cosses de riz sont utilisées dans la fabrication du béton. Les grains de silice (pauvres en carbone) remplacent entre 10 et 20 % en poids du ciment contenu dans le béton. Cela ainsi la quantité de ciment utilisée pour la fabrication du béton, réduisant ainsi l'impact environnemental global de l'utilisation du ciment (les émissions de dioxyde de carbone notamment et l'utilisation de matières premières primaires).

La haute teneur en silice de la cendre améliore le béton en le rendant plus robuste et plus durable. Il réduit sa perméabilité, le rendant ainsi plus résistant à la corrosion.

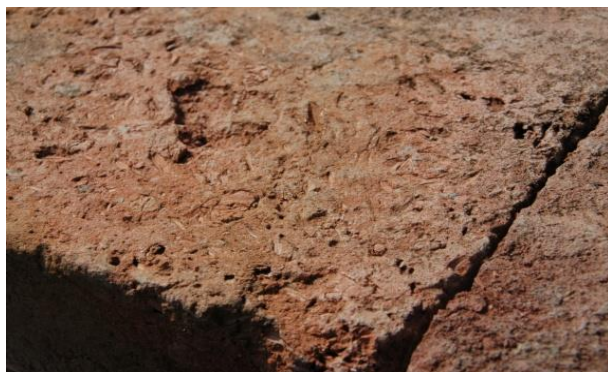


Figure III.8 : *Briques de cosses de riz*

III.2.6. Les noyaux et le bois d'olive

Les déchets provenant de la fabrication de l'huile d'olive sont broyés puis lavés avec de l'eau filtrée. L'agrégat obtenu est séché naturellement pour éliminer l'humidité (qui altérerait ses propriétés). Il est ensuite ajouté à hauteur de 49 %, à du ciment (liant hydraulique inerte), des fibres et des adjuvants. On obtient ainsi un béton léger qui présente des caractéristiques intéressantes.

C'est ainsi qu'une société a décidé de valoriser les noyaux d'olives issus des processus de l'industrie oléicole locale en les incorporant, sous forme d'agrégat léger, à un liant. Le produit qui en est issu présente des avantages en termes de légèreté et de performances.



Figure III.9 : *Noyaux d'olives*

Les noyaux sont donc des sous-produits valorisés pour produire un béton allégé et en partie d'origine végétale. Il a été mis sur le marché en 2013. Il contient des fibres végétales et des noyaux d'olives qui y remplacent des billes de polystyrène.

En plus des noyaux, les cendres de pellets fabriqués à partir de résidus de taillage d'oliviers peuvent également être utilisées pour produire des matériaux de construction et notamment du béton, dont la qualité est améliorée.

Les cendres de bois d'olivier, utilisées dans la fabrication du béton, constitue un très bon filler (granulat fin): elles ont l'avantage d'être très fines et de rester inactives pendant le durcissement du béton. Cela permet d'obtenir ainsi un béton auto compactant dont la résistance en compression est équivalente, voire supérieure à celle d'un béton classique.

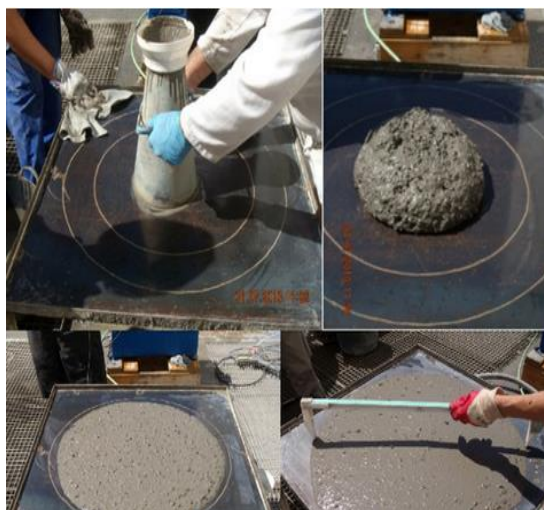


Figure III.10 : Béton fabriqué avec des cendres de bois d'olivier.

III.3. Les margines

III.3.1. Description:

Les margines, appelées également eaux de végétation, est un résidu aqueux brun à brun-rougeâtre. Elles sont générées lors de la phase de séparation après pressage. Ce liquide est composé entre autre de matières organiques, ce qui constitue un facteur de pollution qui créé un problème réel pour l'industrie Oléicole.

La qualité et la quantité, de la marge générée, dépendent du système d'extraction, de la variété de l'olive et de l'eau utilisée.

Les margines sont souvent déversées telles quels dans les eaux des fleuves, ce qui est une source de pollution. Il est intéressant d'expliquer le processus d'extraction de l'huile d'olive, pour comprendre l'origine de ce déchet végétal.

III.3.2. Processus d'extraction de l'huile d'olive

Il existe différents méthodes d'extraction de l'huile d'olive:

➤ Méthode d'extraction ancestrale

Cette méthode d'extraction ancienne est réalisée par extraction discontinue. La séparation se fait en deux phases, par pression ou centrifugation, et enfin filtration. On obtient ainsi une phase solide (pâte plastique) et phase liquide (l'huile et marge). Hélas, le rendement est très peu élevé, cette méthode convient peu aux régions productrices.

Il est dès lors intéressant de se tourner vers d'autres systèmes dont la productivité est bien meilleure.



Figure III.11 : L'extraction de l'huile de fruits et pépins à l'aide de meules

➤ Méthode industrielle

La méthode, la plus commune, est basée sur un système d'extraction en continu, composée d'une centrifugation horizontale et d'une centrifugation verticale (voir schéma ci après)

La centrifugation horizontale sépare la pâte en 2 phases, l'huile et la pâte plastique. Si lors du processus, il y a injection d'eau, alors la séparation de la pâte se déroule en 3 phases (l'huile, margine et grignons).

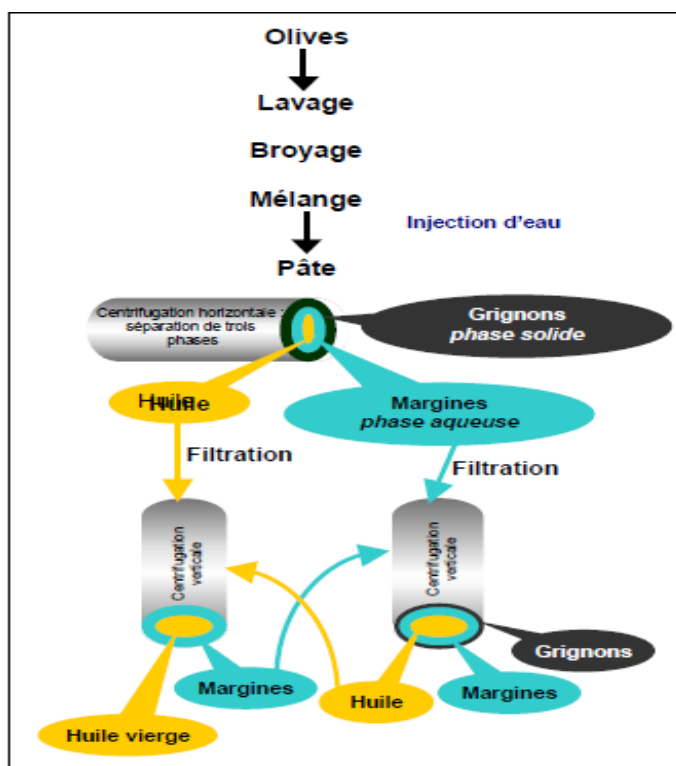


Figure III.12 : Processus d'extraction continu à trois phases

III.3.3. Les étapes du procédé de fabrication

- Lavage, broyage, malaxage

Après la cueillette et le triage, les olives sont lavées à l'eau froide. Les olives sont ensuite broyées pour constituer une pâte. Cette dernière sera malaxée pour faciliter l'extraction de l'huile.

- Extraction

Il existe deux méthodes d'extraction, la centrifugation et la pression.

La centrifugation se fait au moyen d'une centrifugeuse horizontale (voir schéma ci-dessus). Les composants de la pâte se séparent selon leur densité.

Par l'utilisation de ces méthodes, nous obtenons trois phases :

- Le grignon (ayant la densité est la plus grande) se logera dans la partie la plus éloignée de l'axe de tour de la centrifugeuse.
- Les margines, se trouveront sur l'anneau intermédiaire.
- L'huile, se situera quant à elle dans l'axe du tour, puisque sa densité est la plus faible.

La pression est la méthode la plus ancienne utilisée pour l'extraction de l'huile d'olive. Dans ce cas, il n'y a que deux phases :

- Phase liquide, composée de l'huile et des margines.
- Phase solide composée des pulpes et noyaux, appelée grignon.

- Séparation de l'huile et des margines

Qu'on utilise l'une ou l'autre méthode d'extraction, le liquide obtenu est composé de margines et de l'huile. Comme leur densité est différente, il sera aisé d'utiliser soit la décantation naturelle, l'huile remontera à la surface des margines et est ensuite récupérée. Soit, on optera davantage pour la centrifugation par centrifugeuse verticale (voir schéma ci-dessus) ; c'est le moyen le plus rapide.

En comparant, les différentes méthodes, on constate que la quantité de margines obtenue sera plus importante dans le système d'extractions à 3 phases, puisqu'il y a un ajout d'eau à la pâte avant centrifugation.

III.3.4. Composition des margines

- Composition générale

La composition des margines est variable, elle dépend entre autre du type d'olives et de la méthode d'extraction.

Les margines sont composées fondamentalement par de l'eau, des substances organiques, des substances minérales et de résidus secs.

Le tableau suivant reprend un intervalle des teneurs en % de la composition générale des différents éléments constituant les margines.

Tableau III.1 : composition générale des margines

Composant	Teneur %
Eau	83 – 88 %
Matières organiques	10,5 – 15 %
Matières minérales	1,5 – 2 %
Matières azotées	1,25 – 2,4 %
Matières grasses	0,03 – 1 %
polyphénols	1,0 – 1,5 %

- Les matières minérales contiennent principalement de :
 - 0,6 -2kg d'Azote
 - 0,1 – 0,5 kg de Phosphore
 - 1,2 – 3,6 de Potassium
 - 0,05 – 0,2 de Magnésium
- Les matières organiques sont composées particulièrement de :
 - 50kg de sucres
 - 0,3 – 10 kg d'huiles résiduelles
- Les matières organiques sont composées particulièrement de :
 - 6% protéines,
 - 1% lipides,
 - 0,1% fibres
 - 82% substances non-azotées.

En moyenne, 1m³ de margines contiennent 170 kg de résidus secs. Ces matières organiques en font un très bon produit pour l'alimentation animale.

➤ **Caractéristiques physico-chimique**

Les margines ont une forte charge saline et sont très acides (pH de 4,5 – 5), riches en matières organiques et en polyphénols. Ce dernier est peu dégradable.

III.3.5. Problématique environnementale des margines

Le pressage d'une tonne d'olives produit en moyenne 1,5 tonnes de margines. Et cela varie en fonction des différents processus d'extraction modernes.

Le rejet de ces eaux végétales des industries productrices d'huile d'olive est un problème majeur surtout dans les pays du bassin méditerranéen. Ces eaux, qui sont fortement polluées (voir compositions chimiques) causent d'énormes dégâts pour l'environnement, d'où la nécessité de les valoriser dans divers secteurs.

➤ **Pollution des eaux**

Comme mentionné précédemment, les margines sont peu dégradables à cause de leurs compositions. En particulier, leurs substances phyto toxiques et antimicrobiennes (phénols, acides gras volatiles,...).

Ces eaux polluées sont généralement rejetées dans les eaux naturelles (cours d'eau, fleuves...). Il n'y a aucun contrôle au préalable. Cela a pour conséquence la destruction de la qualité des eaux de surface. La forte composition de la margine en matières organique empêche les eaux de s'auto-épurer.

➤ **Pollution des sols**

Épandues sur les sols, les margines diminuent la qualité des sols. Les substances toxiques contenues dans ces eaux se fixent dans les sols. Certaines de ces substances telles que les phénols peuvent inhiber l'activité microbienne du sol, d'autres, des résidus de pesticides notamment, sont nocives aux plantes.

III.3.6. Valorisation des margines

Nous avons pu constater l'impact que provoque le rejet dans la nature des eaux de végétations. En conséquence, il est important de traiter et de valoriser ces déchets.

Cependant, ce traitement est fort coûteux. Il est dès lors préférable de se tourner vers des procédés alternatifs qui entraineraient une dépollution valorisante et constitueraient en même temps une solution peu onéreuse pour les industries.

Ainsi par leurs richesses en éléments nutritifs minéraux et organiques, les margines conduisent les chercheurs à mettre au point divers procédés de valorisation telles que l'élimination des composés phénoliques et l'utilisation des margines dans les domaines de la biotechnologie, de la chimie et de l'agriculture.

Les margines peuvent de ce fait, être utilisées dans la production de biogaz, le compostage, la fertilisation des terres agricoles, dans l'alimentation animale et bien d'autres domaines d'activités, telle que la construction et notamment dans le béton.

III.4. Conclusion

Suite aux impératives environnementaux mondiaux et à un souci de préserver les eaux dans nos régions arides, il est important de trouver des solutions alternatives aux rejets de ce déchet végétal qu'est la margine dans la nature (eaux et sols).

Il y existe deux types de solution : le traitement ou la valorisation de ces déchets toxiques.

La valorisation constituerait une alternative idéale aux divers traitements très coûteux des margines, qui pourraient être un frein dans notre société en voie de développement.

La valorisation des margines, déchet végétal, dans le domaine de la construction, particulièrement dans le béton apporterait une double réponse aux enjeux environnementaux et de développement durable de notre pays. Non seulement, cela apporterait une solution à la pollution causée par l'industrie oléicole. Mais cela répondrait au déficit actuel posé par l'utilisation croissante de matériaux issus du monde végétale.

Nous allons étudier, dans les chapitres qui suivent, les caractéristiques physico-mécaniques du composite obtenu lors de l'utilisation des margines dans la fabrication du béton.

Partie II :

Etudes Expérimentales

Chapitre IV :

Caractérisations des Matériaux

IV.1. Introduction

La qualité du béton est intimement liée à celle de ses constituants et particulièrement les granulats puisqu'ils occupent les trois quarts de son volume, il n'est pas étonnant que la qualité de ces derniers revête une grande importance. Non seulement les granulats peuvent limiter la résistance du béton, mais, selon leurs propriétés, ils peuvent affecter la durabilité et les performances structurales du béton. Les granulats sont donc, un constituant essentiel des bétons qui conditionne à la fois leurs caractéristiques et leur coût. Leur élaboration relève des industries extractives. En fait, on ne peut confectionner un béton résistant avec des granulats dont les propriétés sont médiocres.

Avant la détermination des dosages des constituants qui rentrent dans la formulation du béton, il est impératif d'examiner certaines caractéristiques des matériaux composants le béton (granulats, ciment, eau, adjuvant), en les mesurant, par des méthodes et essais normalisés.

IV.2. Les modes opératoires des essais

IV.2.1. Ciment

Dans notre travail on a utilisé un ciment portland composé type CPJ- CM II/B 42,5N NA 442 (EL Matine) fabriqué par la société de ciments LAFARGE, les caractéristique chimique et minéralogiques sont données par l'annexe A.

VI.2.1.1. Essai de consistance (NF EN 196-3)

Le but de cet essai est de déterminer, pour le ciment CM II/B 42,5N NA 442 que nous avons utilisé, la quantité d'eau nécessaire pour obtenir la consistance désirée. Cette dernière a été mesurée par l'appareil Vicat équipé d'une sonde de diamètre de 10 mm, selon la norme EN NF 196-3. La consistance normalisée est atteinte lorsque la distance entre l'extrémité de la sonde et le fond du moule atteint 6 ± 1 mm.

➤ *Matériel utilisé*

- Salle de température $20^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ et dont l'humidité relative est supérieure à 90%.
- Malaxeur normalisé
- Appareil de VICAT et d'une tige coulissante équipée à son extrémité d'une sonde de diamètre 10 mm
- Une plaque de verre de base plane
- Une spatule

- Des bacs pour effectuer les essais
- Balance précise à 0,1 g près
- Chronomètre précise à 0,1 s près.

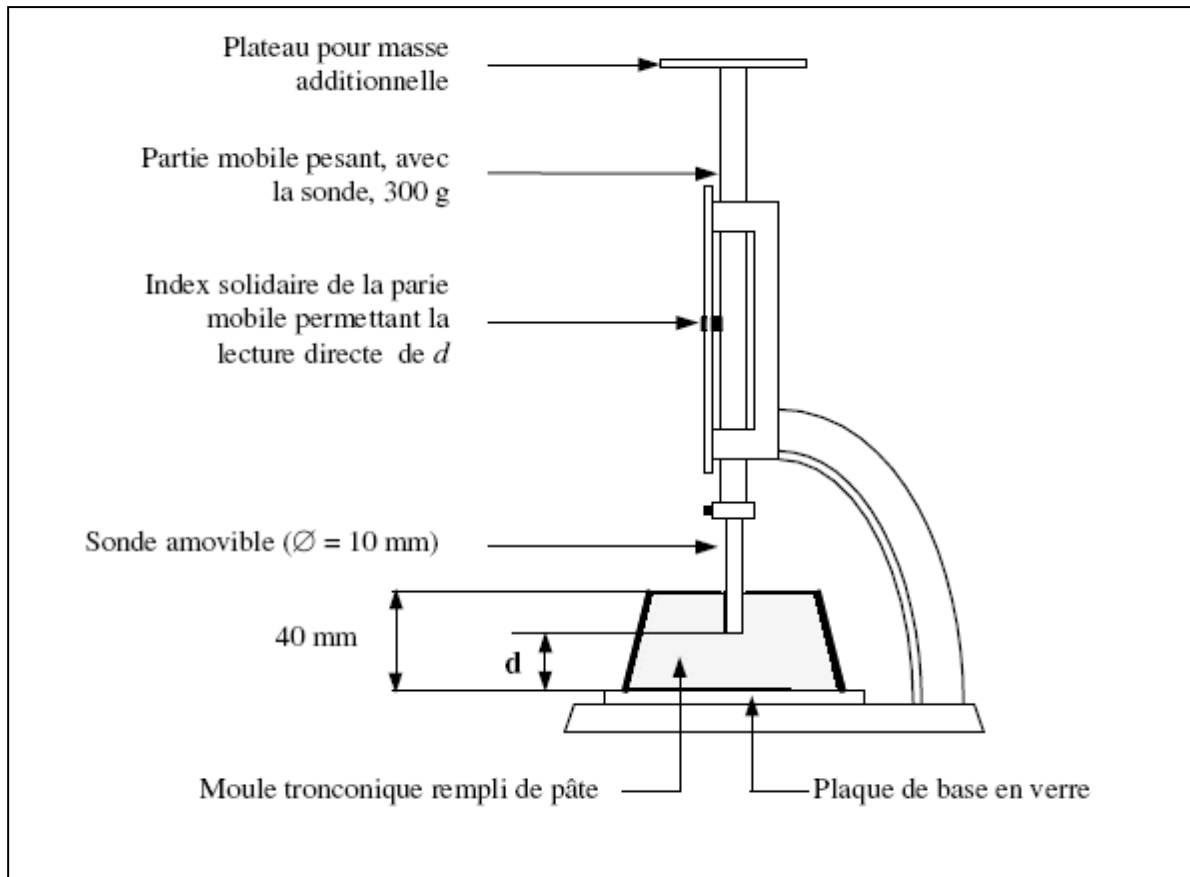


Figure. IV.1 : Appareil de Vicat muni de sa sonde de consistance

➤ **Mode opératoire**

- On effectue un échantillon de pâte de ciment (500g de ciment + eau) conformément à la norme pour les teneurs en eau suivants : 22% 23% 24% 25% 26% 27% 28%

Opérateur	Eau	Ciment	Malaxeur	Raclage	Malaxage
Durées		5 à 10 s	90 s	15 s	90 s
malaxeur	Arrêt		Vitesse lente	Arrêt	Vitesse lente

- On réalise l'essai avec l'appareil de Vicat et on note la valeur de l'index correspond à l'enfoncement de la sonde.
- On trace la courbe ht d'enfoncement = $f(w\%)$ et on déduit le % d'eau nécessaire pour obtenir une pâte de consistance normalisée.

- La pâte sera à consistance normalisée si $d = 6\text{ mm} \pm 1\text{ mm}$:

Si $d > 7\text{ mm}$: il n'y a pas assez d'eau,

Si $d < 5\text{ mm}$: il y a trop d'eau.

Dans les deux cas, il convient de refaire l'essai avec une valeur différente du rapport E/C jusqu'à atteindre la valeur recherchée de la consistance.

Les résultats concernant la consistance sont résumés dans le **Tableau IV.1**

IV.2.1.2. Essai de prise (Norme EN 196-3)

Une fois la pâte à consistance normalisée obtenu, il est nécessaire de connaître le début et la fin de prise des liants hydrauliques afin de pouvoir évaluer le temps disponible pour la mise en place correcte des bétons. Les essais de prise se font à l'aide de l'appareil de Vicat équipé d'une aiguille, Norme EN 196-3. Le but est de déterminer le temps de début de prise, qui correspond au moment où l'on observe une augmentation de la viscosité, ou raidissement de la pâte, et la fin de prise qui est le moment où la pâte cesse d'être déformable et se transforme en un matériau rigide.

➤ *Matériels nécessaires*

C'est le même appareil qui est utilisé (dans les mêmes conditions) à l'exception de la sonde qui cisaille l'échantillon, le diamètre est beaucoup plus petit ($\Phi = 1.13\text{ mm}$).

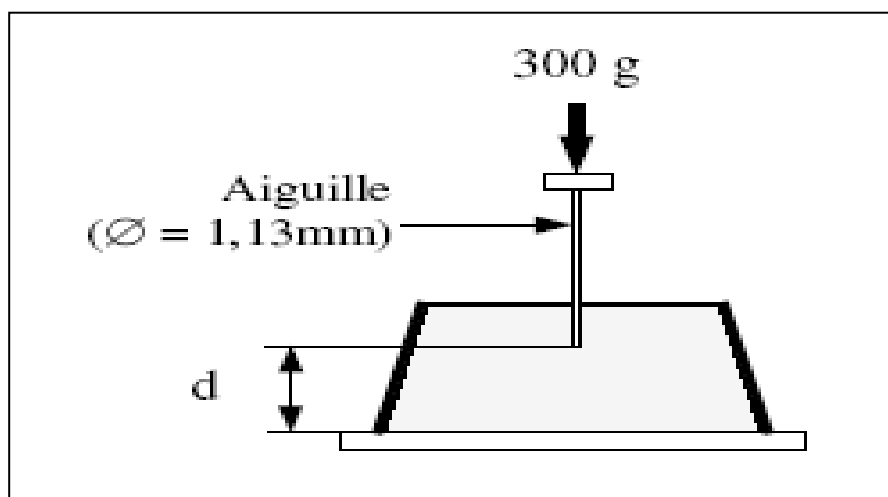


Figure. IV.2 : Essai de prise

➤ *Mode opératoire*

- On règle l'appareil de Vicat muni de l'aiguille par abaissement de celle-ci jusqu'à la plaque de base plane et par ajustement du repère au zéro de l'échelle
- On relève l'aiguille en position d'attente

- On prépare la pâte de ciment comme pour l'essai de consistance en introduisant la quantité d'eau déterminée pour la pâte de consistance normalisée
- On introduit la pâte dans un moule tronconique sans tassement excessif (le moule étant placé sur la plaque de base plane) et on place l'ensemble dans l'axe de la sonde de l'appareil de Vicat
- On amène l'aiguille à la surface de l'échantillon
- On lâche l'aiguille sans vitesse initial, cette dernière s'enfonce dans la pâte. Lorsqu'elle est immobilisée (ou après 30 s d'attente), on relève la distance d séparant l'extrémité de l'aiguille de la plaque de base.
- On recommence l'opération à des intervalles de temps convenablement espacés (~ 10-15 mn) jusqu'à ce que $d = 4\text{mm} \pm 1\text{mm}$.
- De même, la fin de prise correspond au moment où l'aiguille ne s'enfonce plus dans l'anneau plus que de 0.5 mm

Les résultats concernant la consistance sont résumés dans le **Tableau IV.1**

IV.2.1.3. La masse volumique absolue (EN 196-60)

Définition

La masse volumique absolue du ciment désigne le rapport entre la masse du ciment et le volume absolu correspondant.

Matériel nécessaire

- Un densimètre « le chatelier »
- Une balance

Mode opératoire

- On introduire l'essence jusqu'au niveau V_1 voisin de 0. On note V_1 .
- On introduire le ciment ($M=60\text{g}$), pour faire augmenter ce volume approximativement de 20 ml.
- On chasse les bulles d'air. On note V_2 .
- On calcule la masse volumique absolue du ciment avec la formule suivante

$$\rho_c = \frac{M}{V_2 - V_1}$$

Les résultats de la masse volumique absolue sont récapitulés dans le **Tableau IV.1**

Les caractéristiques du ciment CPJ- CM II/B 42,5N, concernant la masse volumique absolu, la consistance, le début et fin de prise ont été réalisés conformément aux normes en vigueur et les résultats obtenus sont résumés dans le **Tableau IV.1**.

Tableau IV.1 : Résultats des essais effectués sur la pâte de ciment.

Consistance normalisée (%)	W = 28%
Temps de début de prise	2h55 mn
Temps de fin de prise	4h
Masse volumique absolue (g/cm³)	3.037

IV.2.2. L'eau de gâchage

L'eau utilisée lors de la fabrication des bétons est l'eau distribuée par le réseau du service public (potable).

IV.2.3. Les granulats

Les granulats utilisés proviennent d'une seule carrière de la région Bouandas wilaya de Setif, en l'occurrence la CARRIERE DJEBEL YUCEF. Ces granulats calcaires concassés sont commercialisés en tant que classes granulaires : sable 0/3 et gravillons de classes 3/8, 8/15, 15/25.

IV.2.3.1. Identification des granulats

Pour pouvoir construire des ouvrages fiables, selon les normes et de haute efficacité technico-économique, il faut déterminer les caractéristiques intrinsèques des granulats, puisque ces derniers constituent le squelette du béton et plus de 70% de son volume et influent donc fortement sur ses caractéristiques ; à savoir les propriétés dimensionnelles, physico-chimiques et mécaniques.

IV.2.3.1.1. Echantillonnage

Les prélèvements des granulats naturels sont effectués en cours d'écoulement des matériaux, directement à partir de la trémie au niveau de la carrière. Le passage de l'échantillon total à l'échantillon réduit, nécessaire à l'essai, a été fait selon un procédé d'échantillonnage: le quartage.

➤ Quartage

L'échantillon est divisé en quatre parties égales et on retient que la moitié en prenant les deux quarts opposés. Cette sélection est homogénéisée et soumise à un nouveau quartage. On répète l'opération deux à trois fois à quatre fois jusqu'à obtention de la quantité de matériau nécessaire à l'essai envisagé.

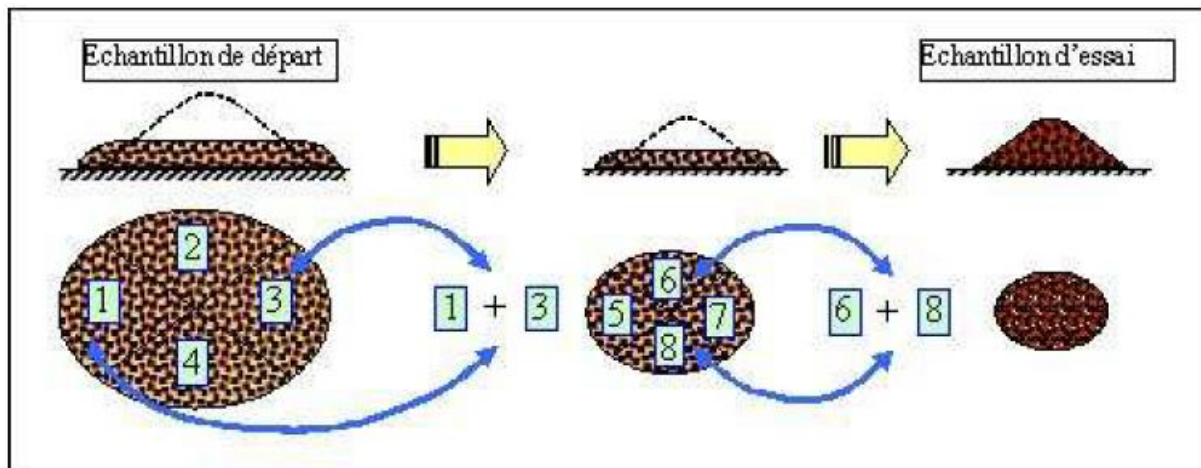


Figure IV.3 : Opération de quartage

IV.2.3.2. Essais sur granulats

La série d'essais sur les granulats concassés a concerné la mesure des caractéristiques granulométriques, géométriques, mécaniques et physiques.

IV.2.3.2.1. Analyse granulométrique (NF P18-560)

Définition

L'analyse granulométrique sert à déterminer la distribution en poids des particules d'un matériau suivant leurs dimensions. L'analyse granulométrique complète comprend en général deux opérations.

-Le tamisage : pour la distribution pondérable des particules de dimensions supérieures ou égales à 80 microns.

-La sédimentation : pour la distribution pondérable des particules de dimensions inférieures à 80 microns

But de l'analyse granulométrique

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

Principes de l'essai

L'essai consiste à fractionner au moyen d'une série de tamis et passoirs reposants sur un fond de tamis un matériau en plusieurs classes de tailles décroissantes.

Le matériau étudié est placé en partie supérieure des tamis et le classement des grains s'obtiens par vibration de la colonne de tamis.

Matériels utilisés

- Une machine à tamiser électrique qui imprime un mouvement vibratoire.
- Une série de tamis
- Un couvercle qui évite la perte de matériau pendant le tamisage et un réceptacle de fond pour recueillir le dernier tamisât.
- Des récipients en métal
- Une main écope pour le remplissage
- Une balance électronique.
- Une brosse.

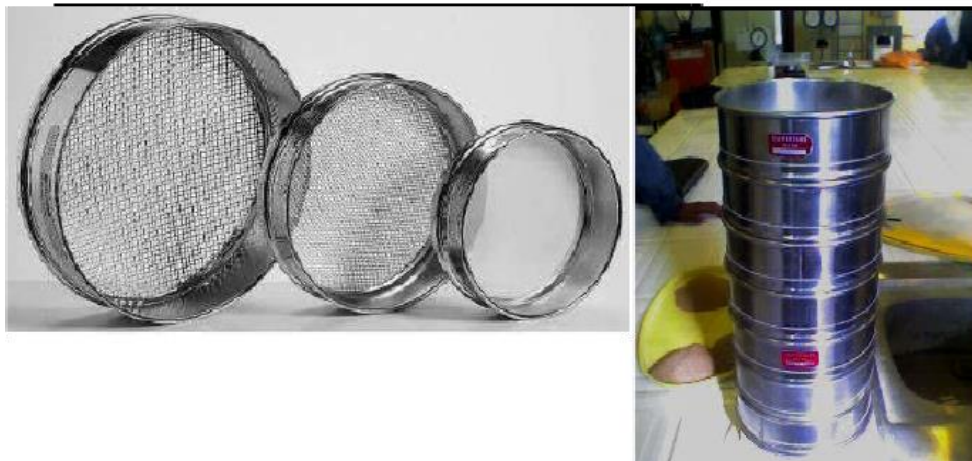


Figure IV.4 : Tamiseuse vibrante

Dimensions des tamis utilisés

- Pour le sable 0/3 on a utilisé des tamis d'ouverture :(5-2.5-1.25-0.63-0.315-0.16-0.08)
- Pour les gravillons 3/8 on a utilisé des tamis d'ouverture :(10-8-6.3-5-2.5-1.25)
- Pour les gravillons 8/15 on a utilisé des tamis d'ouverture :(16-12.5-10-8-6.3-5-2.5)
- Pour les gravillons 15/25 on a utilisé des tamis d'ouverture :(25-20-16-12.5-10-8-6.3)

Mode opératoire

- On prend une quantité représentative d'un échantillon de sol sec. La masse de l'échantillon à analyser dépend des dimensions et du pourcentage des éléments les plus gros que cet échantillon contient. Il est recommandé de se tenir dans les limites définies par la formule suivante : **$200 D < M < 600 D$**

Avec : **M** : la masse de l'échantillon exprimée en grammes.

D : la dimension maximum exprimée en mm des plus gros éléments c.à.d. le côté de la plus petites maille a travers de la quelle passant les plus gros éléments.

- On choisi une série de tamis d'ouvertures décroissantes de haut vers le bas tel que le tamis supérieur de cette colonne laisse passer les plus grosses particules. On disposera sous le dernier tamis un bac destiné à recevoir les particules dont les dimensions sont supérieures à la plus petite maille de la colonne.
- On verse le matériau en haut de la colonne.
- On ferme l'ensemble avec un couvercle pour éviter toute perte durant le tamisage.
- On effectue la vibration.

Préparation de l'échantillon

Selon la norme [NF P18-560], la prise de l'échantillon se fait par quartage.

- **Sable 0/3 mm**

Le diamètre de plus gros granulat « D » concernant le sable de carrière est de 3mm, d'où la masse de l'échantillon soumise à l'essai doit être supérieur ou égale à 0.2D.

$$M \geq 0.2(3) = 0.6\text{Kg.}$$

La masse précise de cette essai est $M=1700\text{g}$

Le résultat de l'analyse granulométrique est présenté dans le **Tableau IV.2:**

Tableau IV.2 : Analyse granulométrique du sable 0/3			
Masse de l'échantillon soumis a l'essai $M_{écha} = 1700g$			
Ouverture des tamis (mm)	Refus cumulés (g)	Refus cumulés (%)	Tamisas cumulés (%)
5	6.53	0.39	99.61
2.5	385.76	22.70	77.30
1.25	794.41	46.74	53.26
0.63	1046.14	61.54	38.46
0.315	1225.94	72.12	27.88
0.16	1376.34	81	19
0.08	1549.6	91.16	8.84

- **Gravillons (3/8, 8/15, 15/25)**

Les masses des matériaux soumises à l'essai doivent être supérieures ou égales à 0.2D

Gravillons 3/8..... $P \geq 0.2 * (8) = 1.6 \text{ Kg}$

Gravillons 8/15..... $P \geq 0.2 * (15) = 3 \text{ Kg}$

Gravillon 15/25..... $P \geq 0.2 * (25) = 5 \text{ Kg}$

Les résultats des analyses granulométriques sont représentés dans les **Tableaux IV.3, IV.4, et IV.5** :

Tableau IV.3 : Analyse granulométrique du gravier 3/8			
Masse de l'échantillon soumis a l'essai $M_{écha} = 3580g$			
Ouverture des tamis (mm)	Refus cumulés (g)	Refus cumulés (%)	Tamisas cumulés (%)
10	0	00	100
8	20	0.56	99.44
6.3	820	22.91	77.09
5	2260	63.13	36.87
2.5	3550	99.17	0.83
1.25	3575	99.86	0.14

Tableau IV.4 : Analyse granulométrique du gravier 8/15			
Masse de l'échantillon soumis a l'essai $M_{écha} = 4980g$			
Ouverture des tamis (mm)	Refus cumulés (g)	Refus cumulés (%)	Tamisas cumulés (%)
16	265	6	94
12.5	1425	26.61	73.39
10	2555	51.31	48.69
8	3970	79.72	20.28
6.3	4760	95.59	4.41
5	4895	98.3	1.7
2.5	4955	99.5	0.5

Tableau IV.5 : Analyse granulométrique du gravier 15/25			
Masse de l'échantillon soumis a l'essai $M_{écha} = 6987g$			
Ouverture des tamis (mm)	Refus cumulés (g)	Refus cumulés (%)	Tamisas cumulés (%)
25	205	3	97
20	3495	50.03	49.97
16	6500	93.03	6.97
12.5	6925	99.12	0.88
10	6960	99.62	0.38
8	6970	99.76	0.24
6.3	6972	99.79	0.21

Courbes granulométriques : Les pourcentages des tamisas cumulés servent pour tracer la courbe granulométrique sur une échelle semi-logarithmique comportant en ordonnée le % des tamisas et les mailles D sont indiquées en abscisse.

IV.2.3.2.2. Les caractéristiques géométriques des granulats

- **Le module de finesse M_f** : est une caractéristique importante surtout en ce qui concerne les sables.

Le module de finesse des sables est déterminé selon **la norme XP P 18-540**, et calculé selon la formule suivante:

$$MF = \frac{1}{100} \sum \text{Refus cumulés en \% des tamis (0,16 - 0,315 - 0,63 - 1,25 - 2,5 - 5 mm)}$$

Un bon sable à béton doit avoir un module de finesse M_f compris entre 2,2 et 2,8 ; au-dessous, le sable a une majorité d'éléments fins et très fins, ce qui nécessite une augmentation du dosage en eau ; au-dessus, le sable manque de fines et le béton y perd en ouvrabilité.

Pour $1,8 < M_f < 2,2$ le sable est à utiliser si l'on recherche particulièrement la facilité de mise en œuvre au détriment probable de la résistance.

Pour $2,2 < M_f < 2,8$ le sable est à utiliser si l'on recherche une ouvrabilité satisfaisante et une bonne résistance avec des risques de ségrégation limités.

Pour $2,8 < M_f < 3,2$ le sable est à utiliser si l'on recherche des résistances élevées au détriment de l'ouvrabilité et avec des risques de ségrégation.

Pour $M_f > 3,2$ le sable est à rejeter.

Dans notre cas on a utilisé le sable 0/3 et son module de finesse est égale à :

$$MF = (81 + 72.12 + 61.54 + 46.74 + 22.70 + 0.39) / 100 = \mathbf{2.84}$$

Commentaire : D'après le résultat obtenu le module de finesse du sable est à utiliser si l'on recherche des résistances élevées au détriment de l'ouvrabilité et avec des risques de ségrégation.

IV.2.3.2.3. Caractéristiques mécaniques des granulats

- **Essai Los-Angeles (L_A) (NF P 18 – 573)**

La résistance à la fragmentation (au choc) est déterminée par l'essai Los-Angeles, qui consiste à mesurer la masse (m) d'éléments inférieurs à 1,6 mm, produits par la fragmentation du matériau testé et que l'on soumet aux chocs de boulets normalisés, dans le cylindre de la machine Los-Angeles en 500 rotations à une vitesse régulière.

Le coefficient Los-Angeles est déterminé par la formule :

$$L_A = \frac{m}{M} \times 100$$

M : la masse initiale en (g), $M = 5000 \pm 5$ g.

m : c'est la masse des éléments inférieur à 1.6 mm après l'essai, tel que $m = 5000 - m'$

Mode opératoire :

- La masse de la prise d'échantillon pour essai est de 5000 g
- On introduire avec précaution la charge de boulets correspondant à la classe granulaire choisie, puis l'échantillon
- On effectue à la machine 500 rotations à vitesse régulière (30 tr /mn) ;
- On recueille le matériau dans un bac placé sous l'appareil ;
- On tamise le matériau sur le tamis de 1.6 mm ;
- On lave le refus au tamis de 1.6 mm égoutter et sécher à l'étuve à 105°C ;
- On pèse ce refus une fois séché. Soit m' le résultat de la pesée.

Les résultats obtenus sont portés dans le tableau suivant

Tableau IV.6 : Mesure du coefficient LOS ANGELES des granulats

Nature du matériau	Nombre de boulet	Poids (g)			Coefficient : $L_A = \frac{m}{M} * 100$
		Initial	Final >1.6mm	<1.6mm $m = M - m'$	
3/8	7	5000	4835	165	3.3
8/15	9	5000	4915	85	1.7

Interprétation

La valeur de $L_A < 20\%$

Donc la nature de nos granulats est très dure et ils résistent bien à l'usure.

IV.2.3.2.4. Caractéristiques physiques des granulats➤ **Masses volumiques**

Le volume des solides de forme géométrique connue se calcule à partir des dimensions mesurées. On distingue dans le volume d'un matériau de forme quelconque deux catégories de masse volumique :

1. **Masse volumique apparente** : est la masse du matériau par unité de volume. Cette masse volumique intègre les grains de l'agrégat ainsi que les vides compris entre ces grains. Elle est déterminée selon les normes **NF P 18-554** pour les graviers et **NF P 18 555** pour les sables.

Principe de l'essai :

L'essai consiste à remplir un récipient vide de volume connu (V) du matériau sec sans le tasser et à peser ensuite cette quantité (M). La prise de l'échantillon se fait par quartage.

Matériels utilisés :

- Un récipient

- Une balance
- Une spatule pour arasement du récipient

Mode opératoire :

- On pèse un récipient vide de masse M_1 et de volume connu V
- On remplit le récipient avec le matériau, en le répartissant sur toute la surface et sans tassement.
- On arase avec soin à l'aide de spatule
- On pèse le récipient rempli M_2
- On calcule la masse volumique apparente avec la formule suivante

$$\rho = \frac{M}{V} \quad \text{en}(g/cm^3)$$

Avec :

M : la masse de l'échantillon seul ($M = M_2 - M_1$)

Les résultats obtenus sont présentés dans le **Tableau IV.7** :

Tableau IV.7 : La masse volumique absolue des granulats utilisés par la méthode d'éprouvette

Type de granulat	N° d'essai	M_1 (g)	M_2 (g)	M (g)	V (cm^3)	ρ_{app} (g/cm^3)	ρ_{app} Moyenne (g/cm^3)
Sable 0/3	1	486.47	2048.03	1561.56	1020	1.53	1.52
	2	486.47	2029.14	1542.67	1020	1.51	
Gravier 3/8	1	486.47	1778.64	1292.17	1020	1.27	1.26
	2	486.47	1771.48	1285.01	1020	1.26	
Gravier 8/15	1	486.47	1834.70	1348.23	1020	1.32	1.31
	2	486.47	1815.21	1328.74	1020	1.30	
Gravier 15/25	1	486.47	1735.58	1249.11	1020	1.22	1.21
	2	486.47	1727.72	1241.25	1020	1.21	

- 2. Masse volumique absolue :** est la masse par unité de volume de la matière qui constitue le granulat, sans tenir compte des vides pouvant exister dans ou entre des grains. Elle est déterminée selon les normes **NF P 18-554** pour les graviers et **NF P 18 555** pour les sables.

Principe de l'essai : Il s'agit de verser une quantité connue de granulat dans une quantité d'eau. La différence de volume rapportée à la masse du matériau donne la masse volumique absolue. La prise de l'échantillon se fait par quartage.

Matériels utilisés :

Pour cet essai on a utilisée la méthode d'éprouvette graduée, alors on a besoin de :

- Une éprouvette graduée
- Une balance



Figure IV.5 : Mesure de la masse volumique absolue.

Mode opératoire :

- On verse dans une éprouvette graduée un volume d'eau $V_1 = 500 \text{ cm}^3$
- On pèse un échantillon sec de granulats $M = 300 \text{ g}$
- On introduire l'échantillon dans l'éprouvette avec précaution en prenant soin d'éliminer les bulles d'air
- On relève le nouveau volume V_2
- On calcule avec la formule suivante

$$\rho_{ab} = \frac{M}{V_2 - V_1}$$

Les résultats obtenus sont présentés dans le **Tableau IV.8** :

Tableau IV.8 : Masse volumique apparente moyenne des granulats utilisés.

Echantillon		V ₁ (cm ³)	M (g)	V ₂ (cm ³)	ρ _{ab} (g/cm ³)	ρ _{ab} moyenne (g/cm ³)
Sable 0/3	Ech 1	500	300	618	2.54	2.57
	Ech 2	500	300	615	2.60	
Gravier 3/8	Ech 1	500	300	620	2.50	2.50
	Ech 2	500	300	620	2.50	
Gravier 8/15	Ech 1	500	300	617	2.56	2.55
	Ech 2	500	300	618	2.54	
Gravier 15/25	Ech 1	500	300	619	2.52	2.50
	Ech 2	500	300	621	2.48	

➤ Propreté des granulats

Les bétons de qualité doivent être dépourvus de toute impureté (poussières, charbon, matières argileuses etc.....)

Pour éviter la présence de toute impureté, on procède à un essai de propreté.

1. La propreté des gros granulats (NF P18-591)

Elle est caractérisée par la teneur d'éléments fins indésirables, hydrophiles ou non. Ce sont soit des fines d'argile, soit des fines issues du concassage ou du broyage des roches. La propreté des graviers est déterminée à partir de l'essai de propreté superficielle NFP 18-591.

Mode opératoire

On prend une quantité représentative de matériau (200D < M < 600D) non lavée et desséchée soit m₁

- Pour le gravier 3/8

La masse de l'échantillon prise est m₁ = 4500 g

- Pour le gravier 8/15

La masse de l'échantillon prise est m₁ = 5500 g

- Pour le gravier 15/25

La masse de l'échantillon prise est m₁ = 5500 g

Ensuite on lave à grande eau, égoutter et dessécher soit m₂

Le pourcentage des impuretés se déduit par l'expression suivante :

$$p = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \times 100 (\%)$$

Les résultats obtenus sont donnés par le **Tableau IV.9** :

Tableau IV.9 : Calcul de la teneur en impuretés pour les gravions

Désignation	Gravier 3/8	Gravier 8/15	Gravier 15/25
Etat de l'échantillon			
La masse m_1	4500	5500	5500
La masse m_2	4442.85	5445	5435
Pourcentage d'impureté p (%)	1.27	1	1.18

Interprétation des résultats

Selon la norme de la propreté superficielle $P < 3 \%$, donc d'après nos résultats les granulats utilisés ne contiennent pas d'impuretés.

2. La propreté des sables

Le degré de propreté du sable est fourni par l'essai d'équivalent de sable (**ES**) selon **la norme NF P 18-597**.

-**Equivalent de sable "ES"**: L'équivalent de sable est un rapport conventionnel volumétrique multiplié par 100 entre les éléments dits sableux et les éléments plus fins. Il existe deux types de mesures : l'essai visuel et l'essai au piston.

Actuellement, trois textes réglementaires décrivent cet essai:

- D'équivalent de sable (**NF P18-598**),
- D'équivalent de sable à 10% de fines (**NF P18-597**),
- Évaluation des fines - équivalent de sable (**EN 933-8**).

Principe de l'essai

L'essai consiste à verser un échantillon de sable de fraction 0/3 mm et une petite quantité de solution floculante dans un cylindre gradué et d'agiter de façon à détacher les revêtements argileux des particules de sable de l'échantillon. On complète alors le sable en utilisant le reste de solution floculante afin de faire remonter les particules de fines en suspension au-dessus du sable. Après 20 min, les hauteurs des produits sont mesurées. L'équivalent de sable est le rapport hauteur du sable sur hauteur totale, exprimé en pourcentage.

Matériels utilisés

- 3 éprouvettes cylindriques avec 2 traits de repère
- un bouchon en caoutchouc s'adaptant sur les éprouvettes
- un entonnoir à large ouverture pour transvaser l'échantillon
- un piston taré de 1 kg

- un réglet métallique gradué
- un flacon de 5 litres muni d'un siphon (placé à 1 mètre au-dessus de la table de travail) contenant une solution lavante à base de solution concentrée (chlorure de calcium + glycérine + solution aqueuse de formaldéhyde)
- un tube laveur relié au flacon avec un robinet d'arrêt
- une machine agitatrice manuelle
- un chronomètre
- une balance de portée 5 kg, précision 1g



Figure IV.6 : Matériels utilisés pour l'essai d'équivalent de sable.

Matériaux

On prend un échantillon de masse 120 g

Mode opératoire

- On remplit les 3 éprouvettes de solution lavante jusqu'au 1^{er} repère,
- On verse progressivement à l'aide de l'entonnoir, l'échantillon humide dans l'éprouvette puis frapper fortement à plusieurs reprises la base de l'éprouvette sur la paume de la main afin de déloger les bulles d'air et favoriser le mouillage de l'échantillon,
- On laisse reposer 10 minutes,
- On bouche l'éprouvette à l'aide du bouchon en caoutchouc et on agite horizontalement en 90

allers et retours en 30 secondes à la main,

- On retire le bouchon et on rince au dessus de l'éprouvette
- On lave les parois intérieurs de l'éprouvette en faisant descendre le tube lavant jusqu'au fond de l'éprouvette,
- On remonte et on descend lentement le tube laveur, que l'on tourne entre les doigts dans la masse du sable, afin de faire remonter les particules fines,
- On arrête cette opération lorsque le niveau de la solution atteint le deuxième repère
- On laisse reposer 20 minutes, en évitant toute vibration,
- On mesure à vue la hauteur H_1 (sable + floculat), H_2 (hauteur du sable propre).
- On calcule ESV et ESP avec les formules suivantes :

$$ESV(\%) = \frac{H_2}{H_1} \times 100$$

$$ESP(\%) = \frac{H'_2}{H_1} \times 100$$

Avec :

H_1 : la hauteur totale y compris le floculat

H_2 : la hauteur du sable seulement

H'_2 : La hauteur du sable propre donnée par piston taré

- Les résultats obtenus sont donnés dans le **Tableau IV.10** :

Tableau IV.10 : Résultats d'équivalent de sable visuel et par piston.

N° de l'éprouvette	Hauteur H_1 (cm)	Hauteur H_2 (cm)	Hauteur H'_2 (cm)	ESV (%)	ESP (%)	ESV moyen	ESP moyen
Eprouvette1	11.9	8.5	7.35	71.42	61.76	70.38	64.38
Eprouvette2	12	8.5	7.8	70.83	65.00		
Eprouvette3	11.9	8.2	7.9	68.90	66.38		

Interprétation des résultats

D'après les résultats qu'on a trouvé $65\% \leq ESV \leq 75\%$ et $60\% \leq ESP \leq 70\%$ selon la norme le sable utilisé est légèrement argileux de propreté admissible pour les bétons de qualité courante.

IV.3. Conclusion:

Ce chapitre a pour objectif la représentation et calcul des caractéristiques physico-mécaniques des matériaux de construction qui entre dans l'étude de béton.

Les résultats des essais montrent que le ciment est conforme aux exigences de sa classe. Sa masse volumique est incluse dans l'intervalle imposé par la norme NA 231 et sa consistance est conforme à la norme NF EN 196-3.

Les essais réalisés, sur les granulats ont présenté de bonnes propriétés physiques, et mécaniques, qui répondent en général, aux spécifications exigées par la norme P 18-541. Pour notre étude, ces granulats ont été utilisés en tant que tel, nous n'avons pratiqué aucun traitement (lavage) pour formuler des bétons préconisés par l'Organisme National Algérien de Contrôle Technique de la Construction (CTC). L'utilisation donc de ces granulats présentant de bonnes caractéristiques permettra l'obtention de bétons de qualité, satisfaisant les critères de maniabilité, d'aspect des parements, de résistances et de durabilité.

Il est toutefois raisonnable d'ajouter que, bien que les différentes propriétés des granulats puissent être examinées, il est difficile de définir la qualité des granulats autrement qu'en le comparant à celle des bétons confectionnés avec eux. Un granulat dont les propriétés paraissent satisfaisantes produira toujours un bon béton ; l'inverse n'est pas nécessairement vrai et c'est pourquoi nous devons utiliser un critère de performance du béton. Cependant, les granulats considérés comme mauvais sous plus d'un aspect ne sont pas souhaitables pour la confection d'un béton de qualité.

Chapitre V :

Essais effectués et interprétation des résultats

V.1. Introduction

Dans ce chapitre nous nous intéresserons à l'étude de l'influence de la margine d'olive dans le béton à l'état frais et durcis, et cela en confectionnant plusieurs gâchées avec différents pourcentages de margine, Pour déterminer les poids des composants nécessaire pour une gâchée on a utilisé la méthode Dreux-Gorisse. En premier lieu, des essais sur béton frais en été effectués, mesure de l'ouvrabilité des différentes gâchées et l'air oclus. Et pour finir on a effectués un essai mécanique (compression) des éprouvettes à 7 et 28 jours.

V.2. Confection des bétons

Le malaxage des bétons a été effectué à l'aide d'un malaxeur à cure horizontale tournante d'une capacité de 80 litres. Le but recherché est de répartir, dans la masse, le plus régulièrement possible, chaque constituant afin de rendre le mélange homogène, et d'obtenir ainsi les mêmes propriétés, qu'une quantité identique prise en un endroit différent.

La vitesse du malaxeur combinée à l'action des couteaux et du rotor interne a permis une bonne dispersion du liant et une homogénéisation du mélange. La séquence d'introduction des différents matériaux dans le malaxeur et faire comme suit :

- On verse les gros éléments, sable, liant, et seront malaxés à sec pendant 1 minute, l'eau sera rajoutés et le malaxage se poursuivra pendant 2 à 3 minutes.
- On commence les essais immédiatement.

La gâchée exécutée pour des essais d'études doit permettre d'obtenir un volume de béton compacté excédant celui des éprouvettes d'au-moins 25%.

Dans notre étude on réalise un béton plastiques avec un affaissement voisin de 7 cm donc on ajoute progressivement la quantité d'eau qui nous permet d'avoir cet affaissement.

Pour remplir 8 cylindres (16×32) cm² de béton frais, on aura besoin d'un poids P (kg) qu'on calculera avec la manière suivante :

On a le volume d'une éprouvette :

$$V = \pi \cdot \frac{D^2}{4} \cdot h = 3,14 \times \frac{16^2}{4} \times 32 = 6400 \text{ cm}^3$$

Donc le volume de 5 éprouvette = 8 × 6400 = 51200 cm³

Soit le volume totale $V_T = V_{8 \text{ éprouvette}} + 25\% V_{8 \text{ éprouvette}} = 51200 + (0,25 \times 51200) = 64000 \text{ cm}^3$

V.2.2. Formulation du béton selon la méthode Dreux-Gorisse

Cette méthode à l'avantage d'être issue de plusieurs formulation ayant été testée sur chantier, et ayant données satisfaction.

Elle est d'autre part rapide et très simple d'utilisation ; puisqu'elle ne demande que de connaître les courbes granulométriques des granulats utilisés.

Nous allons établir toutes les courbes granulométriques sur un graphique du type normalisé AFNOR, qui comporte en abscisse une graduation logarithmique, ce qui présente l'avantage d'une graduation équidistante en module successifs outre intérêt que présente l'utilisation d'un graphique normalisé, cette échelle linéaire en module a l'avantage de la simplicité d'établissement.

V.2.2.1. Détermination de la composition du béton

Sur le graphique semi-logarithmique, on trace les courbes granulométriques des granulats 0/3, 3/8, 8/15, 15/25.

V.2.2.2. Détermination de la courbe de référence

La composition granulométrique optimale est représentée par une ligne brisée OAB, cette courbe nous permet de déterminer les différents pourcentages (%) des granulats entrants dans la composition du béton.

Coordonnées des points O, A et B

- **Le point O :**

- Abscisse : 0,063
- Ordonnée : 0%

- **Le point B :**

A l'ordonnée 100% correspond à la dimension maximale D plus gros granulats.

- Abscisse : 25 mm
- Ordonnée : 100%

- **Le point A :**

- **En abscisse :**

Si $D \leq 20$ mm ; l'abscisse est $D/2$

Si $D > 20$ mm ; l'abscisse est situé au milieu de segment délimité par D et par le tamis de maille

5 mm.

Dans notre cas on a $D > 20$ mm ($D = 25$ mm).

Alors l'abscisse du point A est situé de segment délimité par D et par le tamis de maille 5 mm :

$$X_A = [5 ; 25] = 15$$

En ordonnée :

$$Y = 50 - \sqrt{D} + K + K_p + K_s$$

K : Terme correcteur qui dépend du dosage en ciment, de l'efficacité du serrage, de la forme des granulats, et également du module de finesse.

K_s, ajustement pour les sables de granularité un peu grossière: FM > 2,8

K_s = 5,4.FM-15 (FM: module de finesse du sable)

K_p, ajustement du dosage en sable pour faciliter le transfert par les pompes à béton.

Les valeurs de K sont indiquées dans le tableau (II.11).

Dans notre cas :

- Dosage en ciment 350 kg/m³
- Vibration normale
- Granulats concassés.

D'où : K = 0

K_p = 0 (béton non pompable)

K_s = (6 × 2.84) - 15 = 2,04

Donc :

$$Y = 50 - \sqrt{25} + 2,04 = 47,04 \%$$

La courbe granulaire de référence est tracée sur le même graphique que les courbes granulométriques des granulats voir figure (V.1).

Pour déterminer les pourcentages en volumes absolus de granulats permettant la confection d'un mélange à minimum de vide il est nécessaire de tracer comme indiqué sur la figure (V.1) des droites reliant deux à deux les courbes granulométriques des matériaux du mélange.

Ces droites sont définies par 95 % de passant pour le matériau à faible granularité et par 5 % de passant pour le matériau à forte granularité. L'intersection des droites ainsi tracées avec la droite brisée de Dreux permet, par prolongement sur l'axe des ordonnées, de déterminer les pourcentages en volumes absolus de chaque matériau.

On lira sur la courbe de référence, au point de croisement avec les lignes de partages, le pourcentage de chacun des granulats utilisés 0/3, 3/8, 8/15, 15/25 qui sont respectivement : 35 %, 8 %, 9 %, 48 %.

V.2.2.3. Tracé de la courbe représentative du mélange des granulats

Les valeurs des tamisât (%) de la courbe de mélange, sont calculées à partir des analyses granulométriques des granulats et des pourcentages de ces dernier obtenus à partir de la courbe de référence, ces valeurs sont représentées sur le Tableau (V.1)

Tableau V.1 : Résultats de la courbe de référence selon Dreux- Gorisse.

Tamis (mm)	Tamisât (%) S (0/3)	Tamisât (%) G ₁ (3/8)	Tamisât (%) G ₂ (8/15)	Tamisât (%) G ₃ (15/25)	Tamisât (%) 0,1 G ₁ + 0,2 G ₂ + 0,35 G ₃ + 0,35 S
0,08	8.84	0	0	0	3.094
0,16	19	0	0	0	6.65
0,315	27.88	0	0	0	9.76
0,63	38.46	0	0	0	13.46
1,25	53.26	0.14	0	0	18.65
2,5	77.30	0.83	0.5	0	27.24
5	99.61	36.87	1.7	0	39.5
6,3	100	77.09	4.41	0.21	43.66
8	100	99.44	20.28	0.24	49.1
10	100	100	48.69	0.38	54.85
12,5	100	100	73.39	0.88	59.95
16	100	100	94	6.97	65.90
20	100	100	100	49.97	82.5
25	100	100	100	97	99

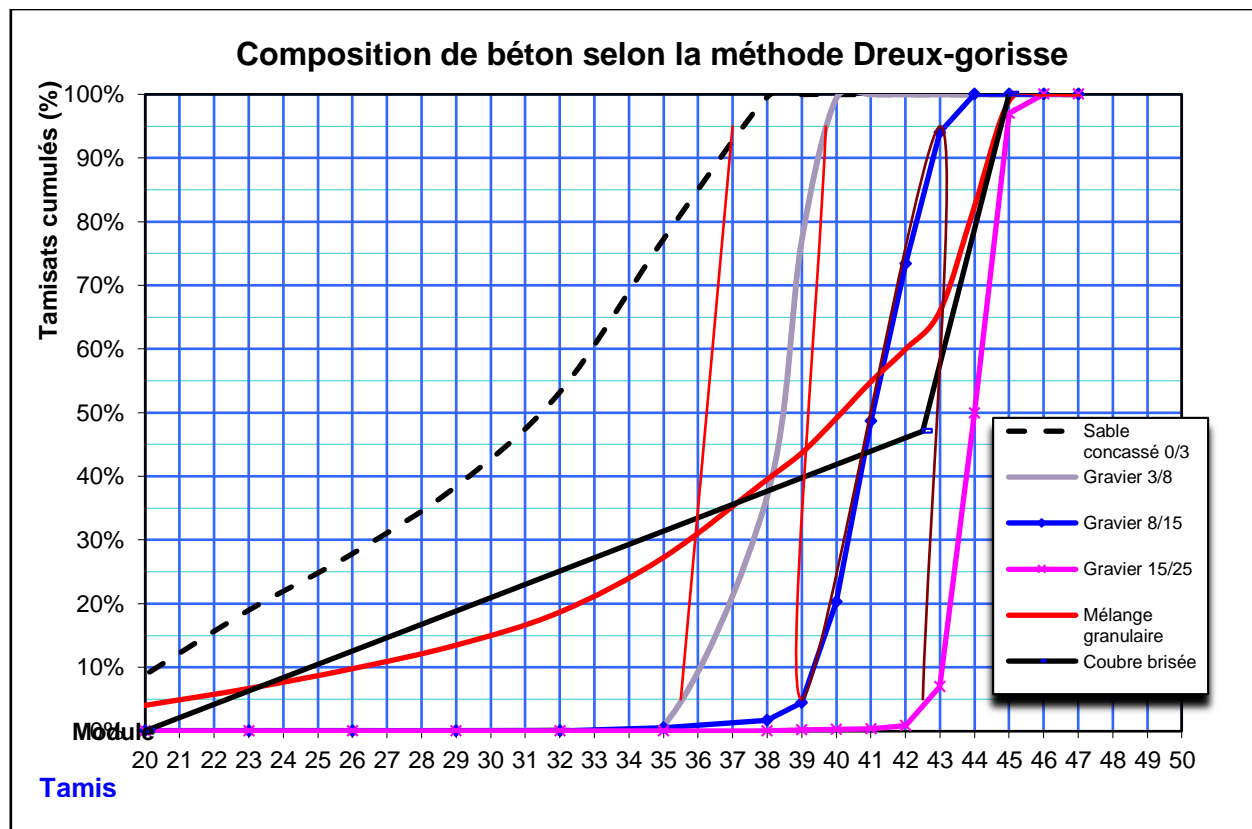


Figure V.1 : Composition de béton selon la méthode Dreux- Gorisse.

• Dosage en ciment et en eau

On a un dosage en ciment $C = 350 \text{ kg/m}^3$ car c'est le plus couramment utilisé dans le béton de bonne qualité.

On évalue approximativement le rapport C/E en fonction de la résistance moyenne souhaitée

$$f'_c = f_{c28} + 15 \% \rightarrow f'_c = 25 \times (25 \times 0,15) = 28,75 \text{ Mpa}$$

Donc on a :

$$f'_c = \sigma_c \cdot G \cdot (C/E - 0,5) \Rightarrow C/E = \frac{f'_c}{\sigma_c \cdot G} + 0,5 = \frac{28,75}{40 \cdot 0,6} + 0,5 = 1,697$$

On peut aussi évaluer approximativement le rapport C/E et l'ouvrabilité désirée avec l'abaque (Figure II.7)

De l'abaque on a C/E = 1,75 (avec un affaissement 7 cm et $C = 350 \text{ kg/m}^3$) .

Des deux mesures on prend la moyenne donc on prend C/E $\approx 1,72$

Donc on a un dosage en eau $E = 203,48 \text{ kg/m}^3$

• Dosage des granulats

On calcule le coefficient de la compacité il est donné par la formule suivante :

$$\gamma = \frac{V_m}{1000}$$

Avec : $V_m = V_C + V_S + V_G$ (le volume absolu des matières solides)

Les valeurs du coefficient de compacité γ sont données par le Tableau (II.12)

On a une consistance plastique, vibration normale et d'après le Tableau (II.12) on trouve

Pour $D = 31,5 \text{ mm}$ $\longrightarrow \gamma = 0,830$

Pour $D = 20 \text{ mm}$ $\longrightarrow \gamma = 0,825$

On calcule γ pour $D = 25 \text{ mm}$ soit

$$\gamma = \frac{0,830 + 0,825}{2} = 0,827$$

Mais cette valeur sera corrigé pour les granulats concassés par une valeur de (-0,03) soit

$$\gamma_{corr} = 0,827 - 0,03 = 0,797$$

V.2.2.4. Calcul les volumes absolus des matières solides

On a :

- le volume total absolu $V_m = 1000 \times \gamma = 1000 \times 0,797 = 797$ litres.

- le volume absolu du ciment :

$$V_c = \frac{C}{\rho_c} = \frac{350}{3,037} = 115,24 \text{ litres}$$

Donc le volume absolu des granulats utilisés est : $797 - 115,24 = 681,75$ litres.

On calcul les volumes absolus des constituants pour un mètre cube sont les suivants :

- volume absolu du sable 0/3 $\longrightarrow 681,75 \times 0,35 = 238,61$ litres
- volume absolu du gravier 3/8 $\longrightarrow 681,75 \times 0,08 = 54,54$ litres
- volume absolu du gravier 8/15 $\longrightarrow 681,75 \times 0,09 = 61,35$ litres
- volume absolu du gravier 15/25 $\longrightarrow 681,75 \times 0,48 = 327,24$ litres
- volume absolu du ciment $\longrightarrow 115,24$ litres.

V.2.2.5. Calcul des dosages des granulats et de ciment en (kg/m³)

Pour trouver les quantités des granulats et de ciment en (kg/m³) il suffit de multiplier le volume absolu de chacun des granulats par sa masse volumique absolue (ρ_s).

- Sable 0/3..... $238,61 \times 2,57 = 613,23$ kg/m³
- Gravier 3/8..... $54,54 \times 2,5 = 136,35$ kg/m³
- Gravier 8/15..... $61,35 \times 2,55 = 156,44$ kg/m³
- Gravier 15/25..... $327,24 \times 2,5 = 818,1$ kg/m³
- Ciment..... $115,25 \times 3,037 = 350$ kg/m³
- L'eau..... $203,48 \times 1,00 = 203,48$ kg/m³.

Donc, pour une gâchée, les poids des composants nécessaire sont les suivants :

- Sable 0/3 $\longrightarrow 613,23 \times 0,045 = 27,60$ kg
- Gravier 3/8 $\longrightarrow 136,35 \times 0,045 = 6,14$ kg
- Gravier 8/15 $\longrightarrow 156,44 \times 0,045 = 7,04$ kg
- Gravier 15/25 $\longrightarrow 818,1 \times 0,045 = 36,81$ kg
- Ciment $\longrightarrow 350 \times 0,045 = 15,75$ kg
- Eau $\longrightarrow 203,48 \times 0,045 = 9,15$ kg.

V.2.3. Incorporation de la margine

Dans notre étude on a confectionné quatre gâchées avec différents pourcentages de margine ajoutés dans chaque gâchées, et on a ajouté cette margine dans l'eau de gâchage pour avoir une meilleure répartition de la margine dans le mélange et avoir une plus grande efficacité.

V.3. Essais effectués sur le béton frais

Pour évaluer les propriétés et les qualités à l'état frais du béton, plusieurs types d'essais normalisés et non normalisés ont été proposés par les chercheurs, dont les principaux sont présentés ci-après.

V.3.1. Essai d'affaissement au cône d'Abrams – slump test (NF P 18-451)

C'est l'essai le plus couramment utilisé car il est simple à mettre en œuvre. Il est utilisable tant que la dimension maximale des granulats ne dépasse pas 40 mm.

V.3.1.1. Le principe

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

Les résultats d'affaissement au cône d'Abrams sont représentés dans le tableau (V.2) :

Tableau V.2 : Résultats d'affaissement au cône d'Abrams.

Pourcentage de margine(%)	0,0	0,1	0,2	0,3
Mesure d'affaissement au cône d'Abrams (cm)	4	7	8.5	9

❖ Interprétation des résultats

La margine entraîne une augmentation de la fluidité du béton. En effet, en augmentant le pourcentage de margine tout en conservant un rapport eau/ciment constant, l'affaissement au cône d'Abrams augmente, par conséquent on peut dire que la margine agit comme un agent fluidifiant.

V.3.2. Contrôle du volume d'air entraîné (NF 18-353)

V.3.2.1. Objet de l'essai

Le seul élément compressible dans un béton frais est l'air «NF P18-353».

Il existe trois méthodes pour mesurer la teneur en air totale du béton frais:

La méthode gravimétrique, volumétrique et préssiométrique. Nous avons utilisé dans nos essais la méthode préssiométrique. Son principe est fondé sur la relation entre le volume d'air et la pression appliquée donnée par la loi de Mariotte. Cet essai a été réalisé avec un aéromètre qui indique directement la teneur en air (%).

V.3.2.2. Principe de l'essai

La procédure consiste essentiellement à observer la diminution de volume d'un échantillon de béton compacté lorsqu'il est soumis à une pression connue.

Cette méthode est la plus fiable et la plus précise pour déterminer la teneur en air d'un béton.

V.3.2.3. Présentation des résultats

Les résultats obtenus des volumes d'air occlus de béton par rapport aux différents pourcentages de margines ajoutées sont donnés dans le tableau suivant :

Tableau V.3. Pourcentage d'air occlus pour différents pourcentage de margine.

Pourcentage de margine(%)	0,0	0,1	0,2	0,3
Volume d'air occlus(%)	1	0,6	0,75	0,85

❖ Interprétation des résultats

Lors du mélange des bétons, il y a création de bulles d'air et la mise en place du béton enferme toujours une certaine quantité d'air occlus. A travers les résultats obtenus, on constate une diminution du volume d'air occlus en ajoutant la margine car celle-ci fait augmenter la compacité du béton, cela engendre la diminution des vides entre les grains de ciment donc diminution de l'air occlus.

V.4. Prélèvement des échantillons

Après avoir réalisé les essais sur le béton frais, on a procédé au prélèvement des échantillons de béton conformément à la norme (NA 424). Des moules cylindrique (éprouvettes), doivent être parfaitement nettoyées avec une application d'une pellicule d'huile minérale ou autre substance possédant la faculté de faciliter le démoulage. Cette substance ne doit pas rentrer en réaction avec le ciment. Pour la mesure de la résistance à la compression, on a utilisé trois éprouvettes de section (16×32) cm² pour des essais de compression à 7 jours et 28 jours.

Les moules ont été remplis en deux couches d'épaisseurs égales consolidées par une tige vibrante. Les éprouvettes sont conservées dans leurs moules pendant 24 heures environ à une température de 20°C± 2°.

V.5. Mode de mûrissement

Immédiatement après le démoulage effectué soigneusement, les éprouvettes sont conservées dans l'eau non courante ou dans une chambre à 95% d'humidité relative et à une temperature de 20°C ± 2°. Cette conservation est maintenue jusqu'au moment de l'essai.

V.6. Essais réalisés sur le béton durci

V.6.1. Masse volumique

Après avoir retiré les éprouvettes de leur milieu de conservation (eau ou chambre humide), il convient de les essuyer et les dessécher avant de les peser.

La masse volumique du béton à différents âges (7 et 28 jours) des différents pourcentages de margine ajoutée sera obtenue par la division de la masse par le volume de l'éprouvette.

Avec le volume de l'éprouvette :

$$V = \pi \cdot \frac{D^2}{4} \cdot h = 3,14 \times \frac{16^2}{4} \times 32 = 6400 \text{ cm}^3$$

- les valeurs des masses volumiques obtenues par les différents pourcentages de margine sont données dans le tableau V.4.

Tableau V.4. Evaluation de la masse volumique moyenne du béton pour les différents pourcentages de margine.

Pourcentage de la margine Dans le béton	Masses volumiques (g/cm ³)	
	7 jours	28 jours
0,0%	2,42	2,45
0,1%	2,39	2,40
0,2%	2,43	2,44
0,3%	2,41	2,47

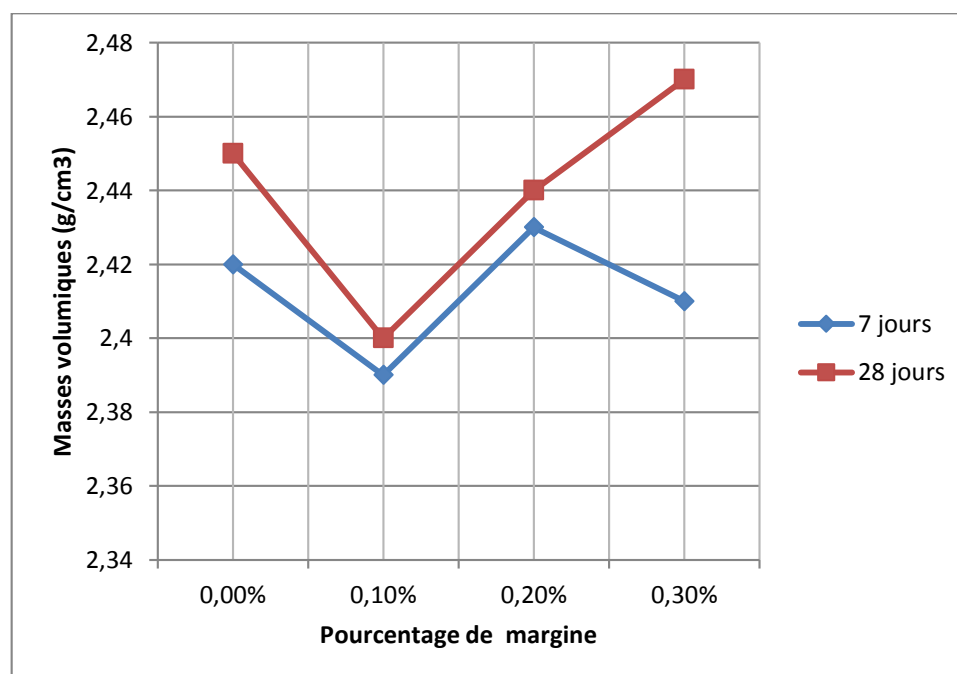


Figure V.2 : Evolution de la masse volumique moyenne en fonction du temps.

Interprétation des résultats

D'après le tableau suivant on remarque une diminution de la masse volumique du béton pour les pourcentages 0,1% et 0,2% par rapport au béton témoins et une augmentation de cette dernière pour un pourcentage de 0,3%. En plus, la résistance à la compression est contrôlée aussi par la variation de la masse volumique du béton. Les expériences réalisées ont montré

une bonne corrélation entre ces deux paramètres. Cependant, une augmentation de la masse volumique est suivie systématiquement d'une augmentation de la résistance à la compression quel que soit l'âge du béton.

V.6.2. Essai de compression (NF P 18-406)

V.6.2.1. Rectification des faces de l'éprouvette

Comme il est difficile de confectionner les éprouvettes dont la surface est suffisamment plane (par suite mauvaise finition du béton frais, d'un stockage sur plan incliné ...), il est impératif de concevoir au surfaçage des extrémités de l'éprouvette (notamment l'extrémité supérieure). Le surfaçage donc a pour objectif d'obtenir une planéité parfaite et l'orthogonalité par rapport aux génératrices du cylindre. Dans notre étude on utilise un surfaçage par ponçage appliqué à la surface rugueuse des éprouvettes. Le surfaçage normalisé étant le surfaçage au soufre, adopté par la plupart des laboratoires, le mélange soufre-sable fin permet la création d'une couche plane, adhère très bien au béton et possède une résistance à la compression supérieure à celle du béton, ce qui évite sont écrasement prématuré.

V.6.2.2. Objectif de l'essai

L'essai a pour but de connaître la résistance à la compression du béton.

V.6.2.3. Principe de l'essai

L'éprouvette étudiée est soumise à une charge croissante jusqu'à la rupture. La résistance à la compression et le rapport entre la charge de rupture et la section transversale de l'éprouvette.

V.6.2.4. Equipement nécessaire

- une machine d'essai qui est une presse de force et de dimension appropriées à l'éprouvette à tester et répondant à la prescription des normes NF P 18-411 et NF P 18-412.
- un moyen pour rectifier les extrémités des éprouvettes : surfaçage au soufre, au disque diamanté.

V.6.2.4. Présentation des résultats

Les résultats obtenus à 7 jours et 28 jours proviennent de la moyenne entre les trois mesures prises pour les trois échantillons de chaque série expérimentée (0%, 0.1%, 0.2% et 0.3% d'ajout de margine). Ces résultats sont représentés dans le tableau (V.5)

$$R_c = \frac{F}{A}$$

Avec :

R_c : résistance à la compression en MN/m²

F : Charge de rupture en kilo newton (KN)

A : Surface de l'éprouvette.

Tableau V.5 : Résultats de la résistance à la compression des différents pourcentages de margine à différents âges.

Pourcentage de margine Dans le béton	Résistance à la compression (KN/m ²)	
	7 jours	28 jours
0,0%	24,32	26,27
0,1%	19,63	25,90
0,2%	24,41	29,15
0,3%	26,27	32,96

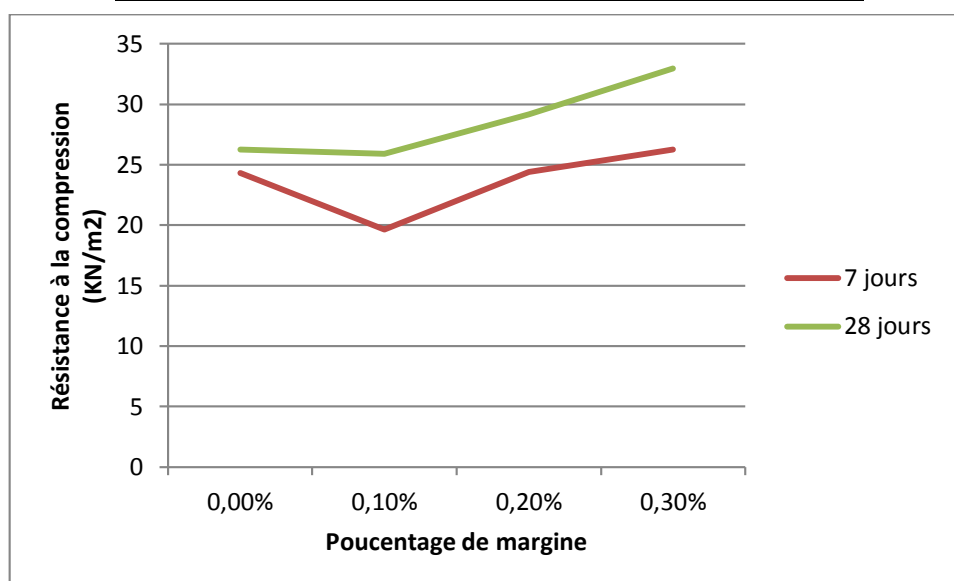


Figure V.3 : Evolution de la résistance à la compression du béton en fonction du temps.

Interprétation des résultats

D'après le tableau (V.5) on remarque une augmentation de résistance pour un dosage de margine qui est égale ou supérieure à 0,2% cela pour tous les âges. La valeur la plus grande de la résistance à la compression est enregistrée pour un dosage de margine de 0,3 % ; et cela est vrai pour tous les âges. Au-dessus de 0,2 % de margine ajouté, le béton devient plus poreux parce que la masse volumique baisse alors la compacité et la résistance à la compression diminuent.

V.7. Conclusion

D'après les résultats qu'on a obtenus dans la partie expérimentale, on peut montrer l'influence de la margine d'olive sur les propriétés du béton à l'état frais et à l'état durci (consistance, air occlus, essais de compression). L'étude du comportement du béton adjuvanté à la margine a montré que :

- bien que le rapport E/C est gardé constant, la valeur de l'affaissement au cône d'Abrams augmente avec l'augmentation du pourcentage de la margine.
- une augmentation de la résistance à la compression pour un pourcentage de margine supérieure à 0,2%, et on a enregistré la plus grande valeur de la résistance à la compression pour un taux de margine de 0,3%.
- on remarque aussi que la plus grande valeur de la masse volumique est enregistré pour un taux de margine de 0,3% et une diminution pour un taux de 0,1% et cela s'explique par l'augmentation de la porosité du béton.

Conclusion Générale

Conclusion Générale

La principale fonction d'un adjuvant est de modifier de manière significative les propriétés du béton à l'état frais et/ou à l'état durci. Le plus souvent, les adjuvants sont des polymères de synthèse. Leur quantité ne doit pas excéder 5 % de la masse du ciment.

En valorisant la margine comme adjuvant, notre objectif était d'apprécier l'influence de ce déchet végétal sur les caractéristiques physico-mécaniques du béton. Il était également intéressant de déminer la quantité adéquate à ajouter au composite afin d'en améliorer les qualités. Les résultats expérimentaux obtenus, permettent de mettre en évidence un certain nombre d'avantages à l'utilisation d'un adjuvant d'origine végétale dans le béton.

En effet, l'incorporation de la margine dans la composition du béton améliore ses propriétés. Il est à noter toutefois que l'adjuvant n'a pas d'action sur la nature des composants utilisés. L'idée est dès lors d'optimiser la formulation du béton en gardant un dosage en ciment et en granulats constant.

Les essais expérimentaux ont portés sur le comportement du béton à l'état frais et à l'état durci lors de l'ajout d'une certaine quantité de margine.

Les premiers essais ont portés sur le comportement du béton à l'état frais en la présence, à différents pourcentages, de la margine. Les observations montrent une influence de la margine sur l'ouvrabilité et sur l'air occlus. En effet, d'une part, l'affaissement au cône d'Abrams augmente lorsque le taux de margine augmente. Ce qui signifie que la fluidité augmente. Dès lors, pour maintenir une ouvrabilité constante en la présence de margine, le rapport eau /ciment peut-être diminuer. Ainsi, la margine fonctionne comme agent fluidifiant. D'autre part, il ya une diminution du volume d'air occlus quand la quantité de margine augmente. L'ajout d'adjuvants, qui a pour effet d'enrober les grains de ciment, neutralise les charges électriques. De ce faite, les grains de ciment s'éloignent les uns des autres. Mieux dispersés, les grains ne retiennent plus l'eau donc la fluidité du béton augmente. L'eau permet l'hydratation du béton et ainsi son durcissement. La margine a pour avantage de fluidifier le béton. Dans le cas l'ouvrabilité et de l'air occlus, cette meilleure fluidité permet de réduire la quantité d'eau dans le béton en maintenant un bon niveau d'hydratation. En effet, il ne faut pas oublier qu'une trop grande quantité d'eau a des conséquences néfastes sur la qualité du béton (diminution de la compacité du béton, diminution des performances mécaniques du béton, diminution de la compacité du béton, etc.).

La seconde série d'essais avaient pour objectif l'observation de l'influence d'un certain pourcentage de margine sur le comportement du béton à l'état durci. L'ajout de margine a

montré une modification de la résistance à la compression. Pour un pourcentage de margine supérieur à 0,2% et un rapport eau/ciment gardé constant, on constate une augmentation de la masse volumique et donc de la résistance à la compression.

Dans un monde en pleine mutation où les ressources naturelles se font rares, où il est question de développement durable et où le secteur de la construction continue de croître, l'Algérie doit faire face des impératifs environnementaux sans cesse croissants. Dans ce contexte, la valorisation de la margine comme adjuvant dans le béton présente de réelles avantages écologiques et économiques. Les améliorations apportées par ce déchet issu du monde végétal dans le béton sont significatives. Cela permettrait de trouver une solution de recyclage peu coûteuse aux problèmes posés par le rejet dans la nature de ce déchet végétal issu de l'oléiculture. En outre, il y a un double avantage du point de vue de l'eau (qui est une vraie problématique dans nos régions aride) : moins de pollution des eaux à cause de la margine et moins d'eau utilisée dans le béton grâce à la margine. De plus, la margine est un déchet végétal qui pourrait se substituer de manière écologique et à moindre coût à des adjuvants de synthèse actuellement utilisés. Enfin, pour répondre aux défis technologiques lancés dans le domaine de l'éco-construction, l'utilisation de la margine dans le béton constituerait déjà un pas vers le futur.

Références Bibliographique

- DUPAIN R., LANCHON R., SAINT-ARROMAN J.C.** (2000); Granulats, sols, ciments et bétons, Edition Casteilla, Paris, 236 p.
- CIMBETON** (2006); Les bétons: formulation, fabrication et mise en œuvre, Paris.
- OUCHI M.** (1999); State-of-the-art report on self-compactability evaluation, Concrete Engineering Series, N° 30, Japan, pp. 111-120.
- CHANVILLARD G., d'ALOIA L.** (1994) ; Prévion de la résistance en compression au jeune âge du béton, Application de la méthode du temps équivalent, Bull. Liaison Lab. Ponts et Ch., 1994, 193, 39-51.
- XP P 18-540 (Oct. 1997)** Granulats-définitions, conformité, spécification (indice de classement P 18-540).
- NF P 18-591 (Sept. 1990)** Granulats-Détermination de la propreté superficielle.
- NF EN 934-2 (Sept. 2002)** Adjuvants pour béton, mortier et coulis-Adjuvants pour béton-Définitions, exigences, conformité, marquage et étiquetage (indice de classement P 18-342).
- CHANVILLAR G.** (1999); Connaissances générales sur le matériau béton, Presse de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, Lyon, 169 p.
- DREUX G., FESTA J.** (1998) ; Nouveau guide du béton et ses constituants, éditions Eyrolles ; Paris, 409 p.
- DE LARRARD F.** (2000); Structures granulaires et formulation des bétons, traduit de l'anglais par LECOMTE A., Etudes et recherches des laboratoires des ponts et chaussées, Paris, 414 p.
- BARON J., OLLIVIER J.P.** (1996); Les bétons bases et données pour leur formulation, Edition Eyrolles, Paris, 522 p.
- Steven H. Kosmatka, Beatrix Kerkhoff, William C. Panarese Normand F. Macleod et Richard J. McGrath (2004)** « Dosage et contrôle des mélanges de béton » 7ème édition canadienne.
- Chanvillard, Gilles (1999)**, Connaissances générale sur le matériau béton / Gilles Chanvillard.
- NEVILLE A.M.** (2000) ; Propriétés des bétons, ed. CRIB., Paris, Eyrolles, 806 p.
- U.S. BUREAU OF RECLAMATION** (1975) ; Concrete Manual, 8th EDN (Denver, Colorado).
- POPOVICS S.** (1990); Analysis of concrete strength versus water-cement ratio relationship, ACI Materials Journal, 57, N° 5, pp. 517-29.
- ALEXANDER K.M. et col.** (1961), Discussion of Walker S. and Bloem D.L. (1960), "Effect of Aggregate Size on Properties of Concrete", ACI Journal, Vol. 32, N° 9, pp. 1201-1258.
- CORDON W.A., GILLESPIE H.A.** (1963), Variables in Concrete Aggregates and Portland Cement Paste Which Influence the Strength of Concrete, Journal of the American Concrete Institute, Août.

- MEYER A.** (1963); Über den Einfluss des Wasserzementwertes auf die Frühfestigkeit von Beton, Betonstein Zeitung, N° 8, pp. 391-4.
- BARON J.** (1982) ; La nécessité d'une démarche pragmatique: idée de maniabilité et sa mise en pratique, (dans « Le béton hydraulique, connaissance et pratique »), Presse de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, Paris.
- BARON J., LESAGE R.** (1976) ; La composition du béton hydraulique du laboratoire au chantier, Rapport de recherche des LCPC N° 64, Paris, Décembre.
- FAURY J.** (1958) ; Le béton : Influence de ses constituants inertes. Règles à adopter pour sa meilleure composition, sa confection et son transport sur les chantiers, 3e édition, Dunod, Paris.
- FOLLIOT A., BUIL M.** (1982) ; La structuration progressive de la pierre de ciment, (dans « Le béton hydraulique, connaissance et pratique »), Presse de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, Paris.
- MASO J.C.** (1982) ; La liaison pâte – granulat, (dans « Le béton hydraulique, connaissance et pratique »), Presse de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, Paris.
- Ollivier J.P., BUIL M.** (1992) ; Conception des bétons : la structure poreuse, “La durabilité des bétons”, Presses de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, Eds., Paris.
- ROSSI P., WU X.** (1994) ; Comportement en compression du béton : mécanismes physiques et modélisation, Bulletin Liaison Laboratoires Ponts et Chaussées, 189, Janvier-Fevrier, pp. 89-94.

ANNEXE

ANNEXE II

Annexe II.1 : Valeurs de A données par Faury.

Consistance	Sables et graviers roulés	Sables roulés et graviers concassés	Sables et graviers concassés
Très fluide (pas de serrage)	32 et au-dessus	34 et au-dessus	38 et au-dessus
Fluide (faible serrage)	30-32	32-34	36-38
Molle (serrage moyen)	28-30	30-32	34-36
Ferme (serrage soigné)	26-28	28-30	32-34
Très ferme (serrage puissant)	24-26	26-28	30-32
Terre humide (serrage très puissant)	22-24	24-26	28-30

ANNEXE A

CARACTERISTIQUE TECHNIQUE

LAFARGE « ALMATINE » /CPJ-CEM II/B 42,5N NA 442

1/ Analyses chimiques:

	Norme
Perte au feu (NA5042) (%)	10.0±2
Teneur en sulfates (SO3) (%)	2.5±0.5
Teneur en oxyde de magnésium MgO(%)	1.7±0.5
Teneur en Chlorure (NA5042)(%)	0.02 - 0.05

2/ Temps de prise à 20 C°

	Norme
Début de prise (min)	150±30
Fin de prise (min)	230±30

3/ Composition minéralogique du clinker (bogue)

	Norme
C3S (%)	60±3
C3A (%)	7.5±1

4/ Résistance à la compression

	Norme
2 jours (Mpa)	≥ 10
28 jours (Mpa)	≥ 42.5

5/ propriétés physiques

	Norme
Consistance normale (%)	26.5±2.0
Finesse suivant la méthode de Blaine (cm ² /g) (NA231)	3700 – 5200
Retrait à 28 jours (µm/m)	<1000
Expansion (mm)	≤3.0

Annexe IV

Annexe IV.1 : Valeur préconisées pour l'ES d'un sable à béton (NORME NF EN 933 – 8).

E.S à vue	E.S au piston	Nature et qualité du sable
E.S < 65%	E.S < 60%	Sable argileux : risque de retrait ou de gonflement. Sable à rejeter pour des bétons de qualité ou vérification plus précise de la nature des fines au bleu de Méthylène.
65% < E.S < 75%	60% < E.S < 70%	Sable légèrement argileux de propreté admissible pour les bétons de qualité courante quand le retrait n'a pas de conséquence notable sur la qualité du béton.
75% < E.S < 85%	70% < E.S < 80%	Sable propre à faible proportion de fines argileuses convenant parfaitement pour les bétons de haute qualité.
E.S > 85%	E.S > 80%	Sable très propre. L'absence presque totale de fines argileuses risque d'entraîner un défaut de plasticité du béton qu'il faudra compenser par une augmentation du dosage e eau.

RESUME

Dans ce travail, nous avons étudié d'une part l'influence du pourcentage de margine sur la fluidité du béton frais. Il s'est avéré que la mesure de l'affaissement du béton au cône d'Abrams augmente au fur et à mesure que le pourcentage d'ajout de margine augmente. D'autre part, nous avons étudié l'influence du pourcentage de margine sur l'évolution de la résistance à la compression et de la densité du béton. Nous avons remarqué que pour un pourcentage d'ajout supérieure 0,2 %, la margine augmente la résistance à la compression du béton. Et pour une valeur inférieure à 0,2%, la résistance diminue. Concernant la densité du béton, celle-ci diminue pour un pourcentage d'ajout inférieur à 0,2%. L'ajout de margine au béton assure la neutralisation des charges électriques se trouvant a la surface des grains de ciment en s'adsorbant sur ces derniers. Ce phénomène d'enrobage est facilité par la forme linéaire des molécules de margine. Les grains de ciment enrobés ont tendance à s'éloigner les uns des autres étant donné qu'ils ont tous la même charge. Ainsi on obtient un gain de fluidité puisque les grains sont mieux dispersés et ne retiennent plus d'eau. Cette eau devenue libre sert alors à fluidifier le béton.

ABSTRACT

In this research work at hand, we studied in one part the influence of olive mill waste water on the fluidity of fresh concrete. That showed that the subsidence of concrete on the measure of slump test increases as the amount of olive mill waste water increased, on the other part we studied the impact the olive mill waste water percentage has on the evolution of the resistance, compression and the density of concrete. We noticed that for a percentage of olive mill waste water upper to 0, 2%, the additive increases the compressive strength of concrete, below this value strength resistance decreases. Concerning the density/weight of concrete this one diminishes for a percentage of addition below 0, 2%. This additive ensures the neutralization of the electric charges existing on the grain of cement by absorbing upon these. This coating phenomenon is facilitated by a linear form of olive mill waste molecule. Covered cement grains have tendency to move one from the other off, considering the situation that they have all the same charges. thus we obtain much more fluidity since grains are better scattered and do not detain more water. This water once free, serve to fluidize the concrete.