



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



Université Amar Thelidji- Laghouat

FACULTE: Génie Civil et d'Architecture

DEPARTEMENT: Génie Civil

MEMOIRE DE MASTER

Présenté par : Terbeh Soumia

DOMAINE: Sciences & Technologies

FILIERE : Génie Civil

OPTION : Matériaux en Génie Civil

Thème

ANALYSE COMPARATIVE DE METHODES DE COMPOSITION DU BETON ORDINAIR

Jury de soutenance :

Nom et Prénom	Grade	Qualité
Bouziyani Tayeb	Pr	Président
Boukhelkhal Aboubakeur	MCA	Examineur
Bendjillali Khadra	MCA	Rapporteur
Aloui Youssri	Directeur LTPsud Laghouat	Invité

Promotion : Juillet - 2021



Remerciements

Ce travail a été mené au sein du département de Génie Civil, de la faculté de Génie Civil et d'Architecture, à l'université Amar Telidji de Laghouat.

Je remercie Dieu, tout puissant, de m'avoir donné le savoir, la volonté et surtout la patience pour réaliser ce travail.

Mes premiers remerciements vont à ma directrice de mémoire, Madame Bendjillali Khadra, Maître de Conférences au département de Génie Civil, qui m'a dirigé tout-au-long de la réalisation de ce travail, avec beaucoup de compétence, d'enthousiasme et de disponibilité. Ce travail n'aurait jamais pu s'achever sans sa présence. Qu'elle trouve ici l'expression de ma profonde reconnaissance.

Je tiens à remercier également Monsieur Bouziani Tayeb, Professeur au département de Génie Civil, de l'honneur qu'il m'a fait en acceptant la présidence du jury de mon mémoire de fin d'études.

Je remercie aussi Monsieur Boukhelkhal Aboubakeur, Maître de Conférences au département de Génie Civil, d'avoir accepté l'examen de mon travail.

Je remercie également tout l'effectif du laboratoire LTP-sud de la wilaya de Laghouat particulièrement, le directeur Monsieur Youssri Aloui, pour son aide très précieuse et qui était indispensable pour l'achèvement de mon travail de mémoire.

Mes remerciements vont aussi à tout l'effectif du contrôle Technique de la Construction CTC de Laghouat, spécialement l'Ingénieur d'Etat, Monsieur Auai Aissa, pour l'aide qu'il m'a réservée pour réaliser ce travail.

Je profite de cette occasion pour exprimer mes reconnaissances pour tous les enseignants du département Génie Civil de la faculté de Génie Civil et d'Architecture, à l'université Amar Telidji de Laghouat.

Enfin, que toutes celles et ceux qui, de près ou de loin m'ont généreusement offert leurs encouragements au cours de la réalisation de ce travail, trouvent ici l'expression de ma profonde sympathie.

Dédicaces

Avec l'aide du tout Puissant, j'ai pu réaliser ce modeste travail que je dédie :

A mon très cher père,

Je voudrais partager ce succès avec lui,

Que dieule protège et le garde.

A ma très chère maman,

Que dieu la protège pour moi, je ne pourrai jamais la remercier assez

Pour ce qu'elle a fait pour moi.

A mes frangins,

Qui sont toujours présents pour me soutenir

A toutes les personnes que j'aime.

Résumé

La recherche d'une formulation de béton est une tâche extrêmement importante afin d'assurer une bonne qualité du matériau et par la suite avoir une structure résistante et durable. Depuis sa création, de nombreuses méthodes ont été utilisées pour déterminer sa composition, en démarrant par des règles de mélange et en arrivant à des méthodes plus précises et plus performantes. Parmi ces règles ou disant ces méthodes, il existe la méthode de Valette, d'Abrams, de Faury, de Bolomey, de Joisel, de Caquot, de Dreux-Gorrise, de Baron et Lesage, d'ACI, la Méthode Structurale,... Dans ce présent travail, nous allons établir une comparaison pratique de quelques méthodes de composition (manuelles ou numériques) les plus utilisées par les bureaux d'étude, telles que la méthode de Faury, la méthode de Dreux-Gorrise et la méthode américaine d'ACI. Selon les résultats obtenus de cette recherche, il semble que tous les méthodes de formulation testes dans ce travail peuvent aboutir à des bétons de qualité et durables sauf qu'il faut amener des tests au laboratoire pour vérifier leur maniabilité et leur résistance a la compression

Mots clés

Béton, Composition, méthode de Dreux gorrise ,Courbe granulométrique, Rapport E/C, Maniabilité, Résistance mécanique .

Sommaire :

Remerciements	I
Dédicaces	II
Résumé	III
Sommaire	IV
Liste des tableaux	VI
Liste des figures	VII
Introduction Générale	01

Chapitre I:

Revue Bibliographique sur la Composition du Béton

I-1 Introduction	04
I-2 Revue historique sur le béton	04
I.3 Définitions et composants du béton	05
I.3.1 Granulats	05
I.3.2 Additions minérales	05
I.3.3 Eau	06
I.3.4 Adjuvant	07
I.3.5 Ciment	07
I-4 Composition du béton	09
I-5 Paramètres influençant la composition du béton	10
I-5.1 Influence du dosage en eau	10
I-5.2 Influence du rapport E/C	11
I-5.3 Influence du volume de la pâte	11
I-5.4 Influence des fillers	12
I-5.6 Influence du dosage et du type de ciment	13
I-5.7 Influence de la qualité des granulats	14
I-5-8 Influence de la mise en œuvre	14
I-6 Conclusion	15

Chapitre II:

Aperçu Descriptif sur les Méthodes de Composition des Bétons

II.1 Introduction	17
--------------------------------	-----------

II.2 Objectifs de l'étude de la composition du béton	17
II-3 Facteurs du choix d'une formulation.....	18
III.4 Aperçu sur les méthodes de composition du béton.....	19
III. 4. 1 Méthode d'Abrams	19
III.4.1 Méthode de Bolomey	20
III.4.4 Méthode de Vallette.....	23
III.4.5 Méthodes de Faury.....	23
III.4.6 Méthode de Joisel	27
III.4.7 Méthode de Dreux-Gorisse	28
III.4.8 Méthode Américaine ACI (Neville, 2000)	34
III-5 Conclusion.....	38

Chapitre III
Résultats et Discussions

III- 1 Introduction	40
III-2 Matériaux employés et propriétés	40
III-2.1 Granulats	40
III-2.2 Ciment.....	42
III-3 Détermination de la composition du béton.....	42
III-3.1 Méthode manuelle de Dreux-Gorisse.....	43
III-3.2 Méthode d'ACI	46
III-3.3 Méthode de Dreux-Gorisse par logiciel.....	48
III-3.4 Méthode de Faury.....	52
III-4 Résultats et Discussions.....	56
III-5 Conclusion	58
Conclusion Générale	60
Références	63

Liste des tableaux :

Tableau I-1: Désignation et composition chimique des différents types du ciment	08
Tableau I-2: Classes de résistance du ciment	09
Tableau I-1: Dosage en eau approximatif pour différents affaissements et dimensions maximales de gros granulats	10
Tableau II- 1: Valeurs optimales du module de finesse des composantes granulaires des betons courants	19
Tableau II- 2: Valeurs de (A) selon Bolomey	21
Tableau II- 3: Coefficient (k) en fonction des types de béton et de granulats.	22
Tableau II- 4: Calcul du poids des éléments secs.	22
Tableau II- 5 : Valeurs de A selon Faury	24
Tableau II-6: Evaluation de l'ouvrabilité par référence a l'affaissement au cône ou au test C.E.S	29
Tableau II-7: Evaluation approximative de la dimension maximale D des granulats	30
Tableau II- 8: Paramètres pris en compte dans la détermination de Y.	31
Tableau II- 9: Valeurs du terme correcteur K	32
Tableau II- 10: Valeurs du coefficient de compacité γ .	33
Tableau II- 11: Dosage approximatif en eau de gâchage et teneur en air pour différents affaissements et dimension maximale nominale du gros granulat selon la norme ACI211.1-91.	36
Tableau II- 12: Volume en vrac de gros granulats par unité de volume de béton	37
Tableau III- 1: Tamisâts des granulats employés	41
Tableau III- 2: Propriétés physiques des granulats employés	42
Tableau III- 3: Caractéristiques du ciment utilisé.	42
Tableau III- 4: Dosage pondéral des granulats pour un mètre cube de béton.	46
Tableau III- 5: Estimations des masses de chacun des constituants Pour un mètre cube de béton	48
Tableau III- 6: Résultats de calcul par logiciel des masses de chacun des constituants pour un mètre cube de béton et un sac de ciment de 50 kg	49
Tableau III- 7: Composition d'un mètre cube de béton	52
Tableau III- 8: Composition du béton en différents dosages.	52
Tableau III- 9 : Calcul du rapport E/C	53
Tableau III- 10: Composition du béton pour un mètre cube par la méthode de Faury numérique	53
Tableau III- 11: Résultats de la composition du béton par les différentes méthodes.	56

Liste des figures :

Figure I-1: Phases minérales du clinker	08
Figure I-2: Exigences prises en compte dans la composition du béton	09
Figure I- 3: Excès de pâte dans la structure granulaire	11
Figure I-4: Influence de la variation du volume de pâte sur le diamètre d'étalement	12
Figure I-5: Résistance à la compression et à la flexion à 90 jours du béton au fillers calcaires	13
Figure I-6 : Effet du dosage en ciment sur la résistance à la compression	14
Figure I-7 : Sequence du malaxage	15
Figure II- 8: Facteurs de base a prendre en compte lors du choix d'une formulation	18
Figure II- 2: Courbe optimale de Bolomey	20
Figure II- 3: Courbe de référence de Faury.	27
Figure II- 4: Courbe optimale de Dreux-Gorisse.	28
Figure III- 1: Courbes granulométriques des granulats, de référence	45
Figure III- 2: Courbes granulométriques des granulats, de référence.	50
Figure III- 3: Courbes granulométriques de sable.	50
Figure III- 4: Analyses granulométriques du gravier 8/15	51
Figure III- 5: Analyse granulométriques du gravier 15/25.	51
Figure III- 6: Analyse granulométriques du sable.	54
Figure III-7: Analyse granulométriques du gravier 8/15.	54
Figure III-8: Analyse granulométriques du gravier 15/25.	55
Figure III-9: Composition du béton à dosage de 350 kg/m ³	55

Introduction Générale

Introduction Générale

Le matériau béton permet de construire des ouvrages de toute nature et, notamment, des bâtiments, des immeubles d'habitation, des ponts, des chaussées, des tunnels, des barrages, des réservoirs, des centrales thermiques et nucléaires ainsi que des plates-formes d'exploitation pétrolière. Plus de quatre milliards de mètres cubes de béton sont coulés chaque année dans le monde. Le développement de l'emploi du béton comme matériau de construction repose sur des critères techniques et aussi économiques. Sa résistance mécanique et sa durabilité constituent les principaux critères de choix techniques. La disponibilité et le faible coût des matières premières entrant dans sa fabrication, sa facilité de mise en œuvre et son coût valident les conditions économiques (Pliskin, 1992).

Le béton utilisé dans la construction doit répondre à certaines exigences et spécifications, telles que, la consistance qui interprète sa maniabilité à l'état frais et reflète sur la facilité de sa mise en œuvre, la résistance à la compression, qui garantit sa capacité de supporter tous les efforts mécaniques et enfin la durabilité qui assure la pérennité et la sécurité de l'ouvrage et la durabilité vis-à-vis des différents agents corrosifs, l'absorption minimale et l'étanchéité presque parfaite. Ces exigences ne peuvent être atteintes que par le choix judicieux des matériaux utilisés, ciment, agrégat, additions, eau et adjuvants et par une formulation convenable du béton.

L'étude de composition d'un béton consiste à définir le mélange optimal des différents granulats dont on dispose ainsi que le dosage en ciment et en eau afin de réaliser un béton dont les qualités soient celles recherchées pour la construction de l'ouvrage, ou d'une partie de l'ouvrage en cause (Dreux, 1986). En général il n'existe pas de méthode de composition du béton qui soit universellement reconnue comme étant la meilleure, mais c'est toujours le résultat d'un compromis entre une série d'exigences.

En plus les méthodes de formulation du béton employées depuis sa création sont actuellement affectées par de nombreux facteurs, les nouveaux constituants, tels que les adjuvants et les additions minérales qui sont venus s'ajouter à sa composition classique, les moyens de mise en œuvre très développés qui sont disponibles. Les recherches récentes sont penchées sur l'utilisation de nouveaux matériaux, selon leur cycle de vie, pour la fabrication des bétons de qualités bien spécifiques. Encore le nombre de propriétés et des exigences souhaitées par les fabricants du béton sur le produit final s'est augmenté d'une façon très remarquable, grâce au développement des moyens industriels de mise en œuvre (Larrard et Sedran, 1999) et aussi d'étude.

L'objectif de ce présent travail est de voir la différence entre les compositions du béton données par différentes méthodes, soient des méthodes manuelles ou en utilisant des outils numériques, méthode de Dreux-Gorisse, méthode ACI et méthode de Faury. Pour atteindre cet objectif, le manuscrit est partagé en trois chapitres:

- Le premier chapitre présente une étude bibliographique sur le matériau béton, ses composants et sa composition ainsi que les paramètres influençant sa composition.
- Dans le second chapitre, nous procédons à la présentation de l'objectif de l'étude de composition du béton et les processus adoptés pour un meilleur choix de formulation par une revue détaillée de diverses méthodes de formulation des bétons.
- Dans le troisième chapitre, nous présentons une recherche d'une formulation pour un béton ordinaire. Cette recherche est faite par des méthodes classiques, soit manuellement, par la méthode de Dreux-Gorisse et la méthode Américain ACI, soit par l'application des outils numériques, par la méthode de Dreux-Gorisse et la méthode de Faury, avec une comparaison des résultats obtenus par toutes ces méthodes.

Chapitre I:
Revue Bibliographique sur la
Composition du Béton

I-1 Introduction

Dans ce présent chapitre, une revue historique sur le béton est donnée avec une description des étapes qu'il a vécues depuis sa création. Un aperçu sur le développement des bétons spéciaux, tels que le béton précontraint, le béton de hautes performances BHP, le béton auto-plaçant BAP, le béton à poudres réactives et le béton de fibres est aussi discuté dans ce chapitre. Une présentation des différents composants du béton est faite dans cette partie de mémoire avec une exposition détaillée des paramètres influençant sa composition et sa fabrication.

I-2 Revue historique sur le béton

C'est l'ingénieur Bélidor qui a introduit le mot béton dans son sens actuel et a étudié sa composition durant l'année 1737. En 1817, Louis Vicat a inventé le ciment, puis en 1824 le ciment Portland était inventé par Aspdin. En 1830, il avait eu l'installation des premiers fours par Pavin de Lafarge au Teil. Entre les années 1850 et 1860, les premières cimenteries ont été développées par la Société des Ciments Français dans le Boulonnais, en France. Le plein essor du béton était offert par le mariage ciment-métal, puis béton armé. Le premier exemple était la barque de Lambot (1848) puis l'immeuble Hennebique à Paris (1898). A partir du XXe siècle, le béton a vécu un considérable développement, où des bétons de qualité particulière ont été inventés. En 1929, Eugène Freyssinet a inventé le béton précontraint qui offre une excellente résistance à la compression, tout en évitant les inconvénients dus à sa faible résistance à la traction. Avec l'évolution de la science, la technologie et la découverte de nouveaux matériaux comme les adjuvants, les fillers et les fibres, en 1960, le béton de fibres a connu de nombreuses applications pratiques et en 1970, le béton de hautes performances s'est développé avec une résistance à la compression dépassant les 100 MPa. Ce nouveau béton BHP est mis en place en 1980 et les progrès réalisés sur ce type de béton ont lui donné ses lettres de noblesse dans le bâtiment (Planete, 2009). Ensuite d'autres bétons spéciaux ont été inventés, tels que le béton autoplaçant BAP en 1988 (Chekireb, 2015) et le béton à poudres réactives BRP en 1995, par la suite Pierre Richard a utilisé la poudre métallique pour atteindre une résistance de 800 MPa (Richard et Cheyrzy,1995).

I.3 Définitions et composants du béton

Le béton est un mélange de granulats, sable et gravier, de qualité et de dimensions diverses, d'eau et d'adjuvant liés par un liant, qui est dans la plus part du temps du ciment. Si le type de liant utilisé n'est pas que de ciment, on parle alors, soit de liant composé binaire, ternaire ou quaternaire (Kosmatka et al., 2002).

I.3.1 Granulats

Les granulats occupent presque 60 à 75 % du volume du béton et ils sont la source de sa résistance mécanique (Guerzou, 2019). Le granulat est constitué d'un ensemble de grains minéraux, dont sa nature minérale constitue un critère fondamental pour son emploi; chaque roche possédant des caractéristiques spécifiques en termes de résistance mécanique, de tenue au gel et des propriétés physico-chimiques. Les granulats les plus utilisés dans la fabrication des mortiers et des bétons sont issus des roches d'origine alluvionnaire (granulats roulés ou concassés) ou à partir de roches massives (granulats concassés). La taille d'un granulat doit répondre à des critères granulométriques bien précis. Les granulats sont classés en fonction de leur granularité, soit leur distribution dimensionnelle, qui est déterminée par analyse granulométrique (Tebbal, 2017). Les granulats employés dans le béton ou mortier doivent posséder une bonne résistance mécanique et une courbe granulométrique optimisée et continue afin de remplir le plus possible les vides dans la masse du béton. C'est la raison pour laquelle on utilise plusieurs classes granulaires dans un même béton qui sont les fillers, les sables, les gravillons et les graviers.

I.3.2 Additions minérales

Les additions minérales sont utilisées en cimenterie comme ajouts ou comme additifs lors de la confection du béton. Elles contribuent par leur activité physique, hydraulique et pouzzolanique à l'amélioration du comportement des ciments à l'état frais ainsi qu'à l'état durci. A l'état frais, la présence des additions minérales modifie la structure du squelette granulaire et les frictions entre les composants solides dans la phase liquide. Au cours de la prise et du durcissement, les additions réagissent dans le processus d'hydratation du ciment, en modifiant la structure des produits hydratés et pour certaines peuvent réagir chimiquement en milieu cimentaires pour former de nouveaux produits hydratés qui présentent un caractère liant supplémentaire (Boudchicha, 2017). Il est connu aussi que par leur activité de surface et leur distribution granulaire, les additions minérales jouent un rôle principal dans le comportement rhéologique du béton (Adjoudj, 2015). Plusieurs types d'ajouts sont fréquemment employés tels que les

pouzzolanes naturelles, les cendres volantes, les laitiers des hauts fourneaux ainsi que la fumée de silice. Ces produits deviennent plus actifs dans les solutions alcalines du ciment et donnent naissance à des nouveaux hydrates qui offrent aux bétons une plus grande résistance mécanique et une meilleure durabilité.

I.3.3 Eau

L'eau est l'une des composantes les plus importantes du béton. Elle remplit deux fonctions, d'une part elle sert à l'hydratation du ciment et d'autre part elle permet de régler la consistance de la pâte du béton (Dupain et al., 2004). Sa présence et surtout son mouvement au cours de la vie d'un ouvrage en béton est souvent responsable de l'apparition du phénomène du retrait, du gonflement, de la fissuration lors des cycles gel-dégel, etc. L'eau contenue dans le béton est généralement classifiée selon la nature de sa liaison avec la pâte de ciment hydratée, comme suit:

- **L'eau adsorbée et chimiquement liée:** L'eau consommée durant les réactions d'hydratation du ciment est combinée avec d'autres composants tels que le calcium ou la silice. En considérant le modèle lamellaire du gel de C-S-H. L'eau dans les C-S-H peut apparaître sous trois formes, inter feuillet, inter lamellaire et hydroxylique, comme expliqué ci-dessous:
- **L'eau inter-lamellaire:** c'est l'eau de micropores, qui est adsorbée sur les particules de surface externe. L'eau inter lamellaire est une eau structurée, soit fixée sur un hydroxyle isolé, soit liée à d'autres molécules d'eau. Les épaisseurs des espaces inter-particulaires (inter lamellaires) est inférieure à 20 \AA . L'épaisseur moyenne d'une couche d'eau H_2O adsorbée étant d'environ 3 \AA , on peut dire que l'eau externe sera adsorbée sur 6 couches au maximum.
- **L'eau inter-feuillet:** cette eau est située dans l'espace interfoliaire et elle a un très faible degré de liberté. Ces molécules d'eau interfoliaires sont liées triplement par des ponts hydrogènes comme dans la structure de la glace et interviennent directement dans la cohésion intrinsèque de la lamelle.
- **L'eau hydroxylique:** c'est l'eau attachée à des atomes de silice ou de calcium présents sur la surface des feuillets par une association d'un groupement hydroxyle (Ishaq, 2015).
- **L'eau absorbée:** c'est l'eau absorbée par les granulats selon leurs degrés d'absorption.
- **L'eau libre (ou capillaire):** c'est l'eau qui remplit principalement les pores capillaires de dimensions supérieures à $10 \text{ }\mu\text{m}$ (gros pores et fissures). La quantité de ce type d'eau dépend fortement de l'humidité relative régnant dans le réseau poreux. Elle est la plus facile à évaporer lors d'une élévation de température, qui s'effectue entre 30 et $120 \text{ }^\circ\text{C}$.

I.3.4 Adjuvant

Les adjuvants sont des produits chimiques mélangés au béton à un dosage généralement inférieur à 5 % du poids du ciment pendant le malaxage, ce qui peut apporter des modifications sur ses performances et sur son comportement. Selon leur composition chimique, les adjuvants peuvent être organiques ou inorganiques, mais leur caractère chimique, distinct de celui des autres minéraux utilisés dans la fabrication du béton, est essentiel.

Les adjuvants sont classés selon leur fonction comme suit:

- Les entraîneurs d'air.
- Les réducteurs d'eau.
- Les retardateurs de prise.
- les accélérateurs de prise.
- Les super plastifiants.
- Les adjuvants divers qui améliorent la viscosité, l'adhérence, etc (Amouri, 2009).

I.3.5 Ciment

Le ciment est le deuxième matériau le plus consommé dans le monde après l'eau (Debouba et Reyahi, 2019). Il s'agit d'un liant hydraulique à base de la chaux, de la silice, de l'alumine et de l'oxyde de fer. La cuisson jusqu'à fusion partielle de ces composés dans des fours appropriés donne naissance au clinker qui est un produit hydraulique, se présentant sous forme de petites nodules très dures et de couleur noirâtre. Le clinker est composé de quatre phases minérales, comme schématisées sur la **Figure I-1** ci-dessous.

Plusieurs types de ciments existent sur le marché et dont le choix du type et du dosage dépendent à la fois des performances recherchées, telles que la résistance mécanique, la résistance aux agents agressifs, ... etc. et de la nature des autres composants.

Le **Tableau I-1** donne la désignation et la composition chimique des différents types de ciment. Les diverses classes du ciment sont illustrées sur le **Tableau I-2**.

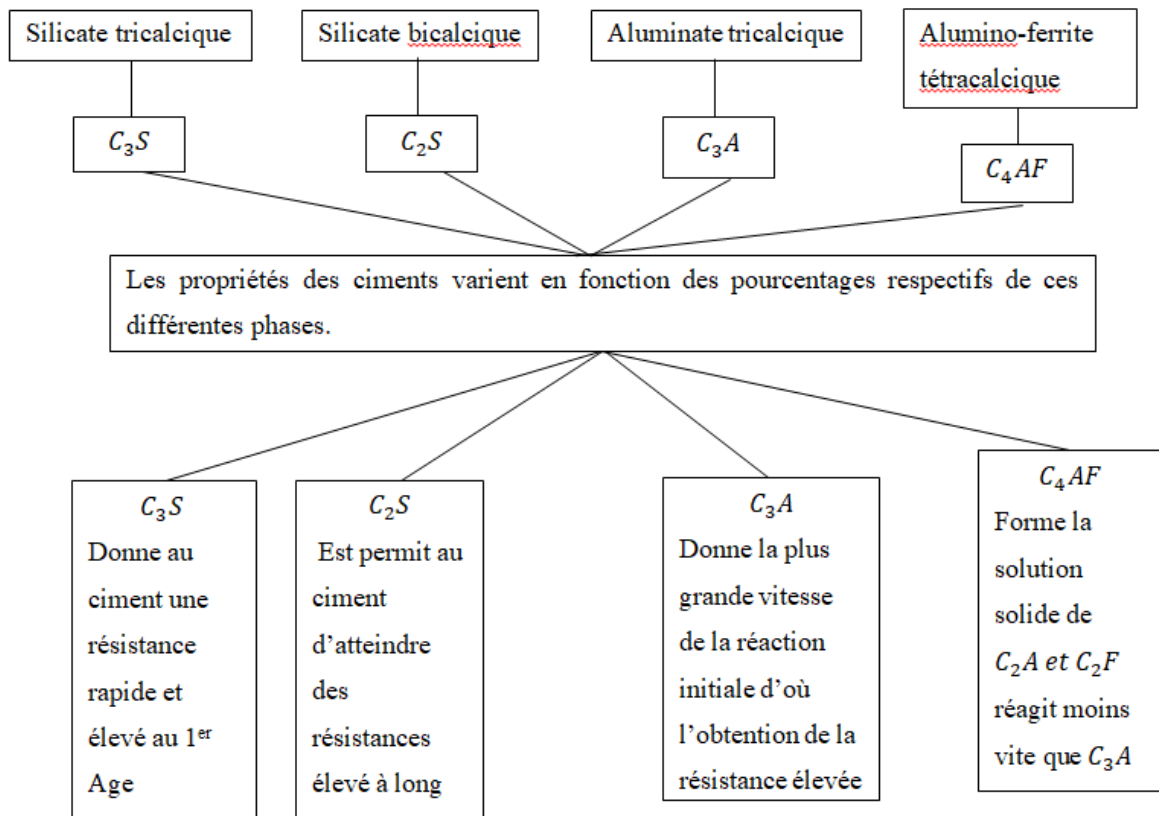


Figure I-9: Phases minérales du clinker

Tableau I-1: Désignation et composition chimique des différents types du ciment

	Ciment Portland	Ciment Portland Composé		Ciment de Haut Fourneau			Ciment Pozzolanique	
	CPA CEM I	CPJ CEM II/A	CPJ CEM II/B	CFH CEM III/A	CFH CEM III/B	CIK CEM III/C	CPZ CEM IV/A	CPZ CEM IV/B
Clinker (K)	95%	/80 ≤ 94%	/65 ≤ 79%	/35% ≤ 64%	/20% ≤ 34%	/5% ≤ 19%	/65% ≤ 90%	/45% ≤ 64%
Laitier (S)	*	6% ≤	21% ≤	/36% ≤ 64%	/66% ≤ 80%	/81 % 95%	*	*
Pouzzolanes (Z)	*	Total	Total	*	*	*	10 % ≤ Total	36 % ≤ Total
Cendres Siliceuses (V)	*	≤ 20%	≤ 20%	*	*	*	35 %	≤ 55%
Fumée de Silice (D)	*	(fumée de silice	(fumée de silice	*	*	*	(fumée 10	(fumée
Cendres calcaïques (W)	*	≤ 10%	≤ 10%	*	*	*	% ≤)	≤ 10%)
Schistes (T)	*			*	*	*	*	*
Calcaires (L)	*			*	*	*	*	*
Fillers (F)	*	*	*	*	*	*	*	*

Tableau I-2: Classes de résistance du ciment

Classes	Résistance à la compression (MPa) (EN-196-1)				Retrait à 28 jours ($\mu m/m$) (P 15-433)	Début de prise (min) (EN 196-3)
	2 jours	7 jours	Mini	Maxi		
32.5		(17.5)	/32.5 (30)	≤ 52.5	≤ 800	/90
32.5 R	/13.5 (12)	/	/32.5 (30)	≤ 52.5	≤ 1000	/90
42.5	12.5 (10)		/42.5 (40)	≤ 62.5	≤ 1000	/60
42.5 R	/20 (18)		/42.5 (40)	≤ 62.5	≤ 1000	/60
52.5	/20 (18)		/52.5 (50)			/60
52.5 R	/30 (28)		/52.5 (50)			/60

I-4 Composition du béton

Le béton est un mélange qui nécessite une étude de composition détaillée, qui donne pour un mètre cube du béton les proportions en pourcentages, en volumes ou en masses de tous ses composants. Dans une étude de composition du béton, des exigences constructifs et de mise en œuvre (**Figure I-2**) doivent être tenues en compte pour avoir un bon mélange, conduisant à un matériau résistant et durable. Le dosage en ciment et des autres constituants, le matériel de mise en œuvre, les conditions climatiques et le type d'ouvrage sont tous des paramètres influençant la composition du béton et contribuant à obtenir une meilleure maniabilité, une compacité maximale et des bonnes caractéristiques mécaniques.

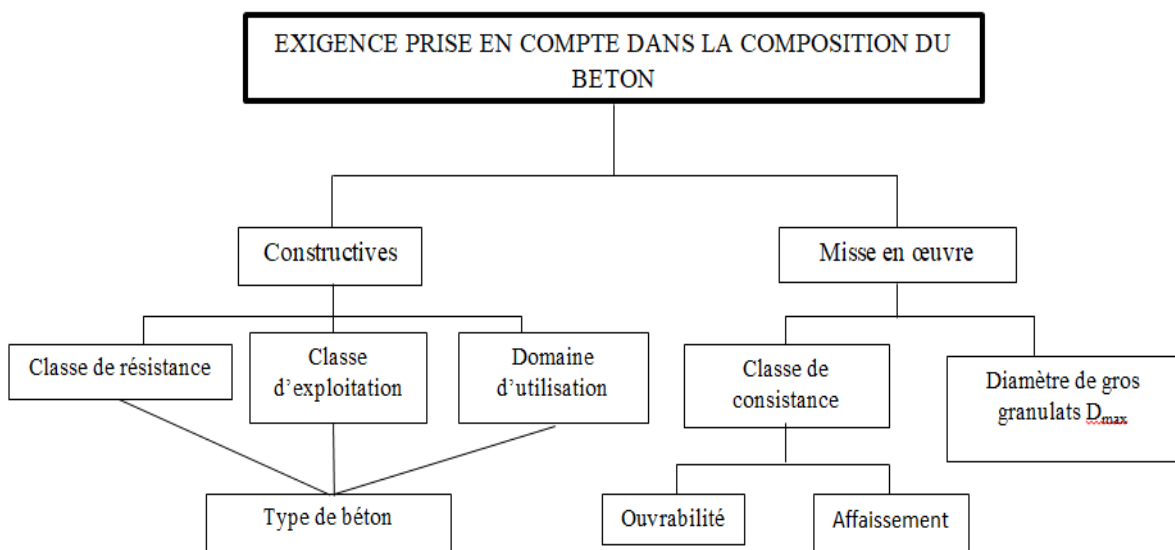


Figure I-10: Exigences prises en compte dans la composition du béton

I-5 Paramètres influençant la composition du béton

Le rapport eau /ciment E/C, la granularité et la forme du granulat, l’air entraîné et la présence des adjuvants, tous ses paramètres influent directement sur la composition du béton et par la suite sur ses propriétés et sa durabilité.

I-5.1 Influence du dosage en eau

A part son rôle majeur dans le phénomène de l'hydratation, l'eau est l'un des facteurs les plus influençant sur l'ouvrabilité et la durabilité du béton. L'augmentation du dosage en eau augmente la fluidité du béton, mais elle augmente aussi le risque de ségrégation à l'état frais et provoque par la suite la chute de sa résistance mécanique. Le dosage en eau optimal pour lequel la porosité du béton est minimal dépend des conditions de mise en place et de la nature des constituants et de la composition du béton (Baron et Lesage, 1976). En se basant sur cette hypothèse, les quantités d'eau pour différents bétons ayant des dosages en ciment différents peuvent être facilement estimées. Le **Tableau I-3** donne les dosages en eau pour différents affaissements en fonction de la dimension maximale des granulats pour des bétons sans air entraîné (Neville, 2000). En présence d’air entraîné, la teneur en eau peut être réduite en fonction des données. Généralement et selon les conditions climatiques, une partie de l’eau de gâchage est évaporée durant les première heures de la fabrication du béton. Plus la teneur en eau évaporée est élevée, plus la déformation par fluage lors de la compression et de la traction est importante (Kovler, 1995; Smadi et al., 1987). Le fluage dépend aussi de la qualité du ciment et de la quantité de la pâte effective du béton (Bissonnette et Pigeon, 1995).

Tableau I-2: Dosage en eau approximatif pour différents affaissements et dimensions maximales de gros granulats (Neville, 2000).

Taille maximale de gros granulats (mm)	Dosage en eau du béton (Kg/m ³)					
	Affaissement 25-50 mm		Affaissement 75-100 mm		Affaissement 75-100 mm	
	Granulats arrondis	Granulats anguleux	Granulats arrondis	Granulats anguleux	Granulats arrondis	Granulats anguleux
9.5	185	210	200	225	220	250
12.7	175	200	195	215	210	235
19.0	165	190	185	205	200	220
25.4	155	175	175	200	195	210
38.1	150	165	165	185	185	200
50.8	140	160	160	180	170	185
76.2	135	155	155	170	165	180

I-5.2 Influence du rapport E/C

Le rapport E/C est le facteur le plus important dans une composition cimentaire, qui conditionne sa résistance à la compression (Aïtcin, 2016). La diminution du rapport E/C influe positivement sur la résistance en compression (Bouhamou et al., 2009). Par contre, l'augmentation de ce dernier augmente le retrait du béton. Les bétons ayant des rapports E/C importants, contiennent une proportion élevée des pores et donc une grande capacité d'absorption d'eau. Le rapport E/C doit alors être fixé en fonction des paramètres mesurés lors de l'étude. La formulation des bétons ordinaires doit impérativement passer par l'optimisation des paramètres eau **E** et ciment **C** (Utsi et al., 2003).

I-5.3 Influence du volume de la pâte

Les recherches de Kennedy (Kennedy, 1940) ont montré que l'ouvrabilité du béton dépend de deux facteurs, le premier est le volume de pâte en excès (**Figure I-3**) avec le volume de pâte nécessaire pour remplir les vides entre les agrégats compactés et le deuxième est la bonne consistance de la pâte. L'excès de pâte est défini comme étant la pâte qui sépare les granulats les uns des autres en partant de l'état sec et compact. Selon Hermida (Hermida, 2008), si le volume de pâte est supérieur à celui qui est nécessaire pour boucher les vides inter-granulaires, chaque particule se couvre d'une fine pellicule, chose qui peut être vue comme une dilatation généralisée.

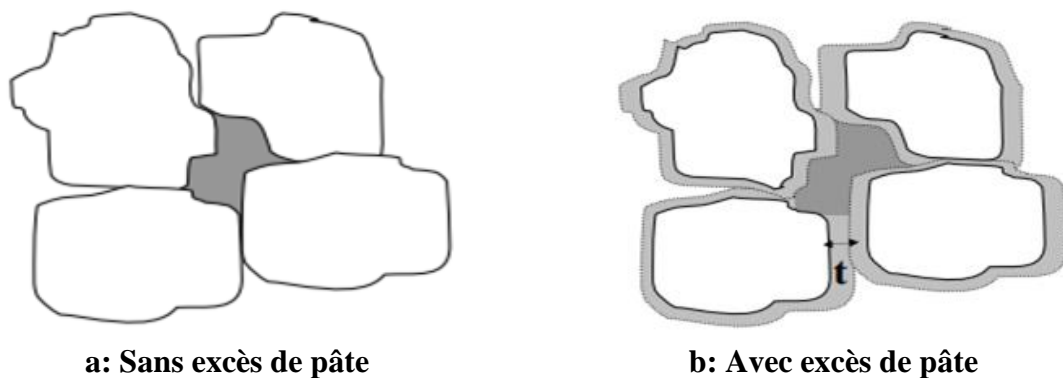


Figure I- 11: Excès de pâte dans la structure granulaire (Hermida, 2008).

D'après la recherche de Bouhamou et al. (2008) établie sur un béton autoplaçant BAP, le volume de pâte joue deux rôles, il fluidifie le matériau, en limitant les contacts entre les granulats et il écarte suffisamment les gravillons pour éviter la formation d'amas contre les armatures, responsables de blocage de l'écoulement. Selon cette même recherche, il existe toujours un

volume de pâte minimal pour remplir ces deux fonctions. Il est confirmé selon la **Figure I-4** que l'augmentation du volume de pâte, contribue significativement à l'amélioration de la maniabilité. Les auteurs voient qu'il est difficile d'obtenir un béton autoplaçant BAP répondant aux exigences de l'Association Française de Génie Civil (AFGC, 2000) avec une teneur en quantité de pâte de 35 % et des rapports eau/ciment E/C et fillers/ciment F/C constants.

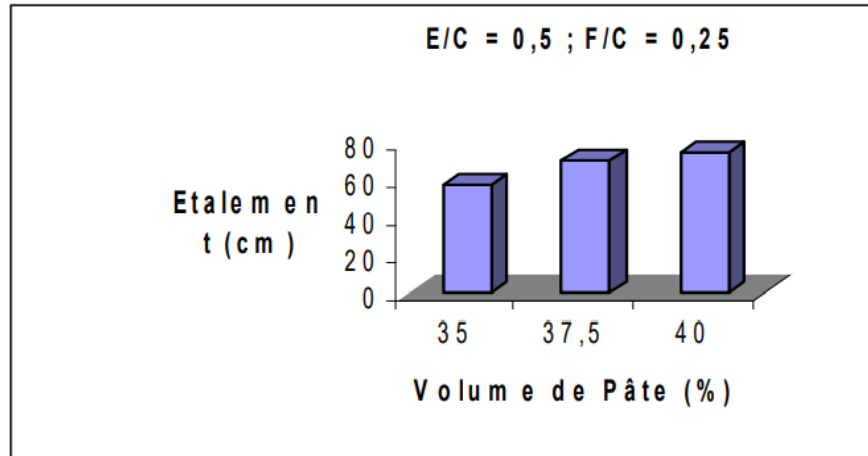


Figure I-12: Influence de la variation du volume de pâte sur le diamètre d'étalement (Bouhamou et al., 2008).

I-5.4 Influence des fillers

L'ajout des fillers calcaires dans la composition du béton crée des modifications significatives sur ses propriétés à l'état frais et durci (Boudra et al., 2015). A l'état frais, les fillers calcaires changent la structure du squelette granulaire, en améliorant la capacité d'empilement des particules fines, c'est l'effet granulaire (Billberg, 2001). A l'état durci, les fillers fournissent un caractère liant complémentaire car le calcaire n'est pas totalement inerte du point de vue chimique. En présence d'un liant hydraulique, le calcaire conduit à la formation d'hydrates (Petersson, 2001), par la suite, il réduit la chaleur d'hydratation et le retrait endogène, il augmente la compacité, par conséquent il abaisse le transfert d'humidité et du retrait de séchage, par contre le gonflement dans le milieu immergé devient plus grand (Diederich, 2010). L'ajout du filler calcaire entraîne une augmentation du diamètre d'étalement des BAP (Bouhamou et al., 2008); lorsque le dosage en fines calcaires dépasse 25 %, il provoque une augmentation de la viscosité, qui se traduit par une diminution du taux de remplissage. D'après l'étude de Salem et al. (2013), le filler calcaire et la cendre volante ajoutés en complément au ciment améliorent les résistances mécaniques et la fluidité jusqu'à des proportions allant jusqu'à 30 %. Un gain de résistance à 90 jours de 15 et 21 % est obtenu respectivement pour l'ajout en complément de 20 % de filler et de cendre (**Figure I-5**). Boudra et al. (2015) voient que même si le volume de la

pâte est le même dans tous les bétons, les caractéristiques mécaniques instantanées et différées changent avec la finesse et le taux du filler calcaire employé.

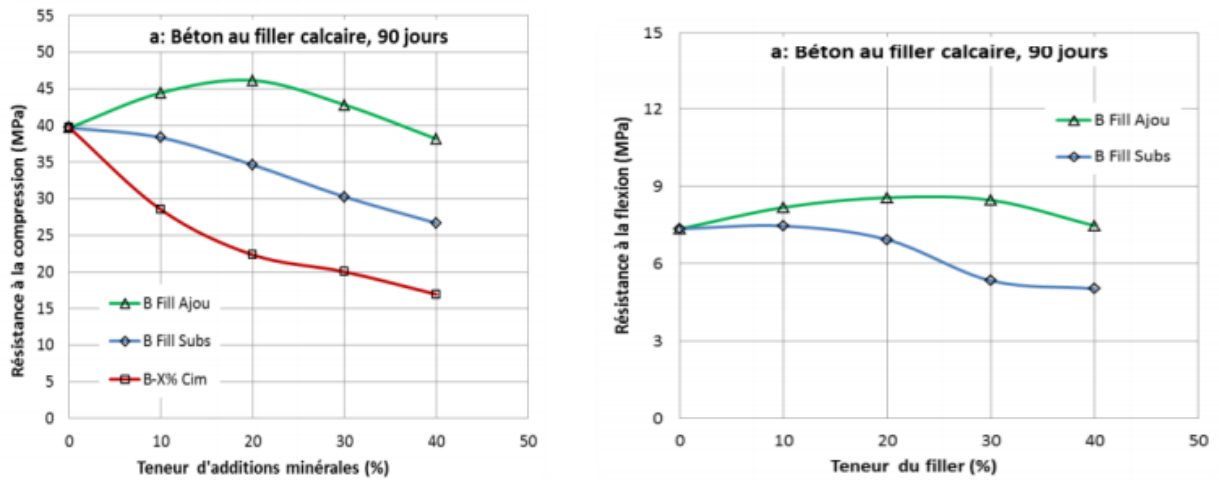


Figure I-13: Résistance à la compression et à la flexion à 90 jours du béton au fillers calcaires (Tabbal, 2017).

I-5.6 Influence du dosage et du type de ciment

Badreddine-Bessa (2004) a réalisé une étude sur les mortiers avec deux types de ciment, CEM III/C et CEM I, les résultats trouvés ont confirmé que les mortiers avec le ciment CEM III/C donnent des porosités ouvertes supérieures à celles détectées dans les mortiers avec le ciment CEM I. L'auteur voit que ce résultat est dû au volume d'hydrate produit par le ciment CEM III/C, qui est plus faible que celui produit par le ciment CEM I, à cause de la faible vitesse d'hydratation du laitier par rapport au clinker.

Pour le dosage de ciment Baron (1996) a montré que l'augmentation du dosage en ciment a double effet, premièrement, il réduit le rapport E/C pour un même affaissement et diminue le volume total des pores capillaires et leur diamètre; mais une fois durci, le matériau détient moins de vides ce qui lui permet d'être plus résistant, cela est traduit par une augmentation de sa résistance à long-terme, comme le montre la **Figure I-6**.

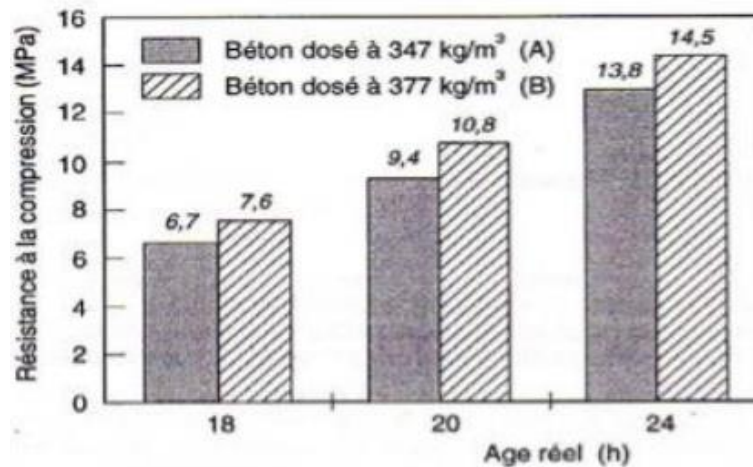


Figure I-14: Effet du dosage en ciment sur la résistance à la compression (Baron, 1996).

I-5.7 Influence de la qualité des granulats

La taille et la qualité des granulats influent directement sur la résistance à la déformation et à la fissuration. Le choix de la dimension maximale des granulats servant à la formulation d'un béton dépend de plusieurs paramètres, tels que les dimensions de l'ouvrage, l'épaisseur de la pièce, l'espacement et l'enrobage des armatures, l'ouvrabilité demandée, l'efficacité du serrage à la mise en œuvre et le risque de ségrégation. Les poudres de taille plus faible que le ciment, comme la fumée de silice, par exemple contribue à une diminution de la porosité à l'interface entre la pâte de ciment et le grain, restituant ainsi une meilleure cohésion d'ensemble. Au contraire, les granulats grossiers bloquent la déformation du liant, l'initiation de fissures et la vitesse de séchage. Leur rigidité étant très grande devant celle de la pâte de ciment, ils vont constituer une part importante de la raideur du matériau (Creath et Newman, 1969). L'étude de Nkengue et al (2019) a montré que la présence d'un pourcentage élevé d'éléments fins augmente la quantité d'eau à ajouter, plus le sable est fin, plus il absorbe plus d'eau. En outre, le sable concassé contient également beaucoup d'éléments fins, ce qui entraîne une absorption élevée de l'eau de mélange. Une granularité plus étalée permet à la fois d'augmenter la maniabilité et la résistance du mélange (Creath et Newman, 1969).

I-5-8 Influence de la mise en œuvre

L'opération du malaxage du béton est l'une des opérations les plus importantes dans sa production (Poullain, 2003). Le but de cette opération est de bien répartir les différents composants du béton afin d'obtenir un mélange le plus homogène possible. Une répartition uniforme du mélange lui offre une structure de compacité optimale. Une fois le ciment est en

contact avec l'eau, les petites particules se logent dans les vides des grosses particules, et la pâte recouvre tout le granulat. L'uniformité du béton est l'objectif principal de cette opération du mélange (Boukli et Al amine, 2010). La vitesse du malaxage a aussi un effet très important dans cette opération; Benfill et Kitching (1991) ont montré que l'augmentation de la vitesse du malaxage d'un mortier accélère l'hydratation du ciment, de plus cette dernière entraîne via la formation de semi hydrates et la chaux, une élévation de la teneur en solide. La **Figure I-7** illustre toute les opérations dès le début du remplissage de la cuve jusqu'à la fin de vidange.

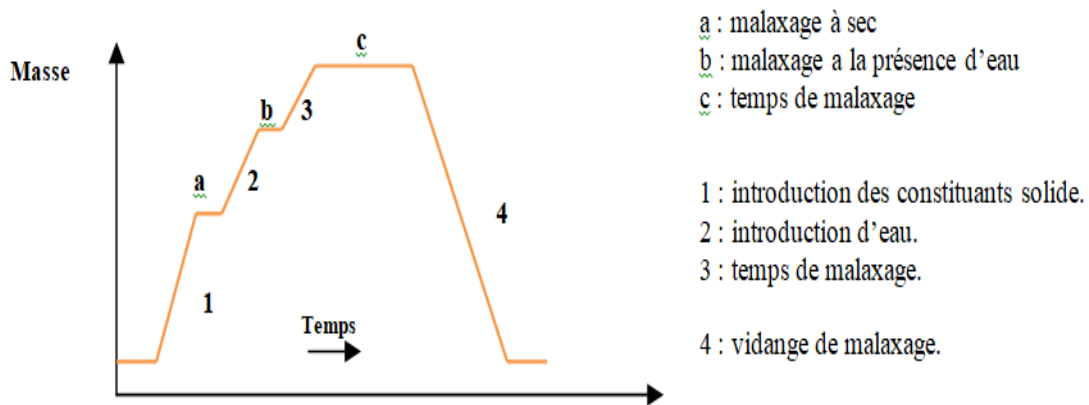


Figure I-15: Sequence du malaxage (Ngoc Dong, 2007).

I-6 Conclusion

Dans cette recherche bibliographique, on s'est d'abord intéressé au matériau béton, dans son sens classique. Les différents composants entrant dans sa fabrication ont été présentés, y compris les nouveaux composants, tels que les adjuvants et les additions minérales. Il était très important de mentionner dans ce chapitre que l'emploi de tous ces matériaux, comme ingrédients dans le béton est conditionné par l'étude de sa composition, en tenant en compte des performances recherchées. Pour cette raison, nous avons donné une grande importance à la composition du béton et aux exigences qui doivent être prises en compte pour formuler un béton de qualité. Toujours dans ce volet de mémoire, une intention particulière a été donnée aux plus importants paramètres influençant la composition du béton, comme le rapport E/C, le dosage en eau et en ciment, le type de ciment, le volume de pâte, la présence de fillers, la forme et la taille des granulats ainsi que sa mise en œuvre.

Chapitre II:
Aperçu Descriptif sur les
Méthodes de Composition des
Bétons

II.1 Introduction

La diversité des méthodes de composition du béton qui existent montre bien que la formulation des mélanges a été longtemps plus un art qu'une science (Neville,2000). Dans ce chapitre, l'objectif de l'étude de composition du béton a été bien ciblé et les processus adoptés pour un meilleur choix de formulation par description de chaque méthode avec les différentes étapes de calcul ont été également donnés en détails. De nombreuses méthodes de formulation du béton ont été traitées à travers cette présente section du mémoire, la méthode d'Abrams, la méthode de Bolomey, la méthode de Vallette, la méthode de Faury, la méthode de Joisel, la méthode de Dreux-Gorisse et la méthode Américaine ACI.

II.2 Objectifs de l'étude de la composition du béton

L'objectif des méthodes de composition est de réaliser une formulation optimale, en utilisant au mieux des ressources locales, qui non seulement sont les plus économiques possibles, mais qui possèdent toutes les propriétés désirées. Dans une formulation du béton, on cherche à lier avec la plus grande précision possible la composition du béton à ses propriétés (Sadok, 2016).

La formulation d'un béton est basée sur quatre points majeurs:

- Détermination de la dimension maximale des granulats.
- Détermination de la courbe granulométrique optimale des granulats.
- Détermination du dosage en eau et air, en fonction de l'objectif d'ouvrabilité.
- Détermination du dosage optimal en fines, qui sera en fraction en ciment et addition, en fonction des objectifs de résistances, et en respectant les prescriptions relatives à la durabilité.

Les méthodes de composition du béton peuvent être:

- Soit de type semi-empirique, les plus répondues sont celles de Faury, de Bolomey, d'Abrams, de Joisel et de Vallette,
- Soit de type graphique, comme celle de Dreux-Gorisse qui est la plus récente et la plus employée (Baron, 1996),
- Soit de type numérique, qui utilisent des logiciels performants, tels que Bétonlab et la méthode ACI 211, proposée par American Concrete Institute et qui est très utilisée en Amérique et en Amérique du Nord (Larrard et Sedran, 1999).

II-3 Facteurs du choix d'une formulation

Une méthode de composition du béton pourra être considérée comme satisfaisante si elle permet de réaliser un béton répondant aux exigences suivantes:

- Le béton frais doit pouvoir facilement être mis en œuvre avec les moyens et les méthodes utilisés sur le chantier.
- Le béton doit présenter, après durcissement, une certaine résistance à la compression.
- Le béton doit présenter un faible retrait et un fluage peu important.
- Le coût du béton doit rester le plus bas possible.

Et pour cela il faut prendre en considération des facteurs de base pour déterminer une formulation et l'ordre des décisions pour chacun des constituants d'une gâchée (**Figure II-1**).

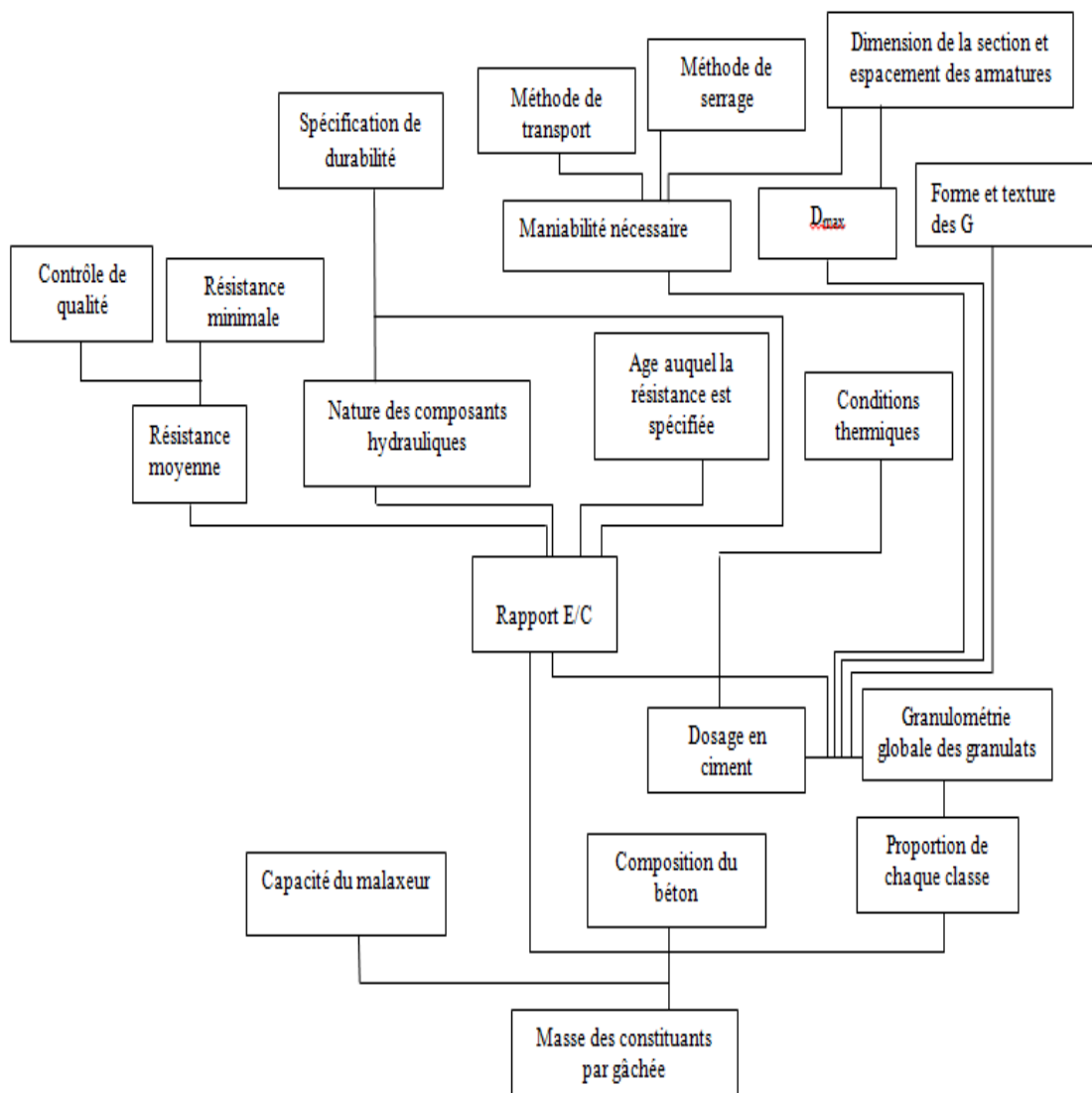


Figure II- 16:Facteurs de base a prendre en compte lors du choix d'une formulation

III.4 Aperçu sur les méthodes de composition du béton

III. 4. 1 Méthode d’Abrams

En 1918, **Abrams** définit empiriquement une méthode dans laquelle le dosage en ciment et la dimension maximale des granulats, sont les paramètres majoritaires et fait intervenir au travers du coefficient k_{Abrams} et la nature et la forme des granulats. Les modules optimaux pour béton de granulat roulés, déterminés expérimentalement par **Abrams**, sont indiqués dans le **Tableau II-1** en fonction du dosage en ciment et de la dimension du granulat le plus gros D_{max} :

Tableau II- 1: Valeurs optimales du module de finesse des composantes granulaires des betons courants (Abrams,1923).

Dosage en ciment (kg/m ³)	Dimension maximale de D des granulats						
	10	15	20	25	30	40	60
275	4.05	4.45	4.85	5.25	5.60	5.80	6.00
300	4.20	4.60	5.00	5.40	5.65	5.85	6.20
350	4.30	4.70	5.10	5.50	5.73	5.88	6.30
400	4.40	4.80	5.20	5.60	5.80	5.90	6.40

Nous rappelons ici la règle du mélange d'Abrams; elle permet de calculer les pourcentages relatifs de granulats de module de finesse M_{f1} et M_{f2} pour obtenir un module M_f choisi pour le mélange.

$$S_s = MF_g - MF \tag{1}$$

$$S_g = MF - MF_s \tag{2}$$

- MF_g : Module de finesse de gravier.
- MF_s : Module de finesse de sable.
- La proportion de gravier est % gravier = $(S_s / S) \cdot 100$
- La proportion de sable est % sable = $(S_g / S) \cdot 100$

D’où:

$$S = S_s + S_g \tag{3}$$

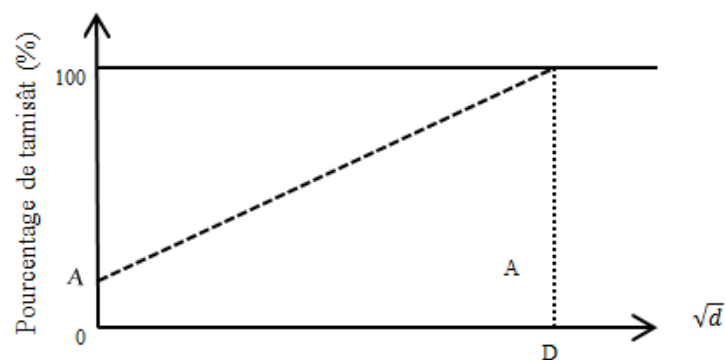
Cette méthode est basée sur le choix judicieux du module de finesse du mélange à fabriquer (avec les granulats seuls). Ce module dépend de plusieurs paramètres tels que, la forme, la nature et la dimension des granulats, le dosage en ciment, la résistance et la plasticité désirée, etc (Dreux et Festa, 1998).

III.4.1 Méthode de Bolomey

En 1925, Bolomey a pu tracer une courbe granulométrique de référence (Courbe optimale) en utilisant la formule (4) de base appropriée. La méthode exige de réaliser avec les granulats disposés une composition granulaire totale, dont le ciment est inclus qui donne une courbe granulométrique la plus proche que possible de la courbe de référence théorique (Dreux et Festa, 1998). Cette méthode aboutit, théoriquement à une granularité continue (Vallette, 1969).

Axes Abscisses: Diamètres des tamis, gradués proportionnellement à d (segments proportionnels aux racines carrées des dimensions des tamis correspondants).

Ordonnées: Pourcentage du tamisât voir la **Figure II-2**. **Erreur ! Source du renvoi**



introuvable.

Figure II- 2: Courbe optimale de Bolomey

$$p = A + (100 - A) \sqrt{\frac{d}{D}} \quad (4)$$

Avec :

p : pourcentage de grains passant à la passoire de diamètre d .

D : diamètre du plus gros grain.

A : est un point d'une courbe granulométrique qui représente le pourcentage des éléments très fin contenus dans le mélange sec, éléments qui ont une incidence sur la maniabilité du béton. La valeur (A) dépendra donc de la consistance souhaitée pour le béton et la provenance des granulats (**Tableau II-2**) (Chelouah et Boukellouda, 2010).

Tableau II- 2: Valeurs de (A) selon Bolomey (Dreux et Festa, 1998)

Consistance de béton	Granulats roulés	Granulats concassés
Sec (béton vibré)	6 à 8	8 à 14
Plastique (non vibré)	10	12 à 14
Mou (béton coulé)	12	14 à 16

La méthode de Bolomey est résumée dans les étapes de calcul suivantes:

a- Calcul de pourcentage des constituants :

- Cas du ciment :

$$C \% = \frac{\text{masse du ciment}}{\text{masse total des éléments sec}} * 100 \quad (5)$$

- Cas des granulats :

Il faut utiliser une méthode graphique qui s'appelle la méthode de Joisel, qui est une méthode applicable à tous granulats, toutes les courbes optimales et tous modes de graduation des axes. La méthode de Joisel repose sur le tracé d'une parallèle à l'axe des ordonnées, prenons successivement les trois cas:

1. Juxtaposition des deux courbes.
2. Superposition partielle des deux courbes.
3. Discontinuité entre les deux courbes: la verticale est au point d'abscisse.

b- Détermination de la courbe du mélange :

Les pourcentages seront déterminés par le calcul sans qu'une nouvelle analyse granulométrique ne soit nécessaire. Le pourcentage des tamisât des granulats est calculé pour chaque tamis sur la base des pourcentages de tamisât de chaque granulats et du pourcentage du granulats dans le mélange. Le pourcentage des tamisât du mélange est le cumul de tous ces tamisât calculés à part, pour chaque granulats.

c- Détermination de quantité d'eau :

Le calcul est en fonction d'une relation empirique :

- petit constituants ($D < 0,16$ mm) :

$$E_1 = 0.23 * \text{poids des éléments secs} < 0.16 \quad (6)$$

- gros éléments ($D \geq 0,16$ mm) :

$$E_2 = \frac{k. \text{poid des éléments secs} \geq 0.16}{1.17. \sqrt[3]{0.16.D'}} \quad (7)$$

S'il s'agit de passoire au lieu de tamis le coefficient 1,17 serait remplacé par 1.

Le coefficient (k) est tiré du **Tableau II-3** qui suit :

Tableau II- 3: Coefficient (k) en fonction des types de béton et de granulats.

Consistance du béton	Granulats roulés	Granulats concassés
Béton damé	0.08	0.095
Béton vibré	0.9 ÷ 0,095	0.1÷0.11
Béton coulé	0.1÷ 0.11	0.12 ÷0.13

La quantité de l'eau doit être exprimée en % comme pour le ciment et les granulats, par rapport au total des éléments secs.

$$E(\%) = \frac{E_1 + E_2}{\text{masse des élément sec}} * 100 \quad (8)$$

La quantité d'eau calculée n'est qu'une estimation et la portion d'eau utilisée dans la pratique, fournit une valeur plus précise. La quantité d'eau qui y correspond est multipliée par le facteur de réduction pour déterminer la quantité réelle d'eau de gâchage pour **1m³** de béton. L'expérience montre que si la valeur absolue de la différence entre la quantité réelle et la quantité calculée est $\leq 5 \text{ kg/m}^3$, les résultats trouvés sont gardés sans modification. Dans le cas contraire, on refait les calculs avec la valeur trouvée par l'essai de gâchage.

$$E\% = \frac{\text{quantité réelle d'eau de gachage}}{\text{masse des élément sec}} * 100 \quad (9)$$

Le calcul du poids des éléments secs présenté dans le **Tableau II-4** s'effectue en supposant connue la densité apparente du béton.

Tableau II- 4: Calcul du poids des éléments secs.

La masse des éléments secs	La masse des granulats	La masse de chaque granulat	La masse des éléments secs
masse totale - masse de l'eau de gâchage.	masse des éléments secs - masse du ciment	pourcentage calculé de la masse des granulats	masse totale - masse de l'eau de gâchage

Pour avoir des bétons riches en éléments fins, résistants, maniables et faciles à décoffrer, comme les bétons des travaux routiers et le béton mis en place par pompage, l'utilisation de cette méthode est un très bon choix.

III.4.4 Méthode de Vallette

En 1940, Valette a développé une méthode de nature expérimentale, mais nécessitant un certain nombre de calculs préparatoires. Cette méthode est souvent désignée par «dosage des bétons à compacité maximale» ou «dosage des bétons à minimum de sable» ou «dosage des bétons à granularité discontinue». La méthode de Vallette est parfois utilisée avec certaines variantes, dont le résumé de son principe est comme suit :

- le dosage de sable et de ciment est calculé pour donner un mortier plein à minimum de ciment, ce dosage s'obtient en mesurant les vides du sable mouillé et en calculant le dosage en ciment permettant de remplir le volume des vides du sable par un volume égal de pâte pure de ciment.
- Le maximum de gravier mouillé compatible avec une ouvrabilité permettant un moulage correct et une mise en œuvre facile est ajouté, selon les conditions du chantier. Un béton plein à minimum de sable et le moins dosé (en ciment) est alors obtenu.
- Les dosages en ciment aboutis sont presque toujours au-dessous des dosages nécessaires pour obtenir les résistances souhaitées, la plasticité nécessaire, l'étanchéité ou autres qualités. Pour déterminer la composition du béton, le dosage en ciment nécessaire pour une bonne résistance est fixé a priori dans certains cas, ou il est évalué par un calcul approprié.

III.4.5 Méthodes de Faury

En 1942, Faury a proposé, une nouvelle loi de granulation du type continu pour le béton. La loi de granulation qui en découle est une loi fonction de $\sqrt[5]{d}$. La courbe granulométrique idéale conduisant à la compacité maximale est alors théoriquement une droite, cependant Faury a distingué les grains fins et moyens ($< \frac{D}{2}$), des gros grains ($> \frac{D}{2}$) et la pente de la droite n'est pas la même pour chacune de ces deux catégories. On trace pour l'ensemble du mélange, ciment compris, une courbe granulométrique de référence (**Figure II-**) qui est composée de deux droites si l'on opère sur un graphique gradué, en abscisse, en $\sqrt[5]{d}$. L'abscisse du point de rencontre de ces deux droites est fixé à $\frac{D}{2}$ et son ordonnée **Y** est donnée par la formule **(10)** en tenant compte de la grosseur **D** du granulat et de certains paramètres dont la valeur est une valeur tabulée en fonction de types des granulats, roulés ou concassés et de la puissance du serrage, simple piquage, ou vibration plus ou moins intense (Boufedah, 2011).

$$Y=A + 17\sqrt[5]{D} + \frac{B}{\frac{R}{D}-0.75} \quad (1)$$

Avec :

- **A** : valeur donnée par e tableau dans **Tableau II-5**.
- **B** : varie de 1 à 2 selon que le béton ferme ou mou.
- **D** : grosseur maximum de l'agrégat, exprimée en dimension de passoire.
- **R** : rayon moyen du moule (ou de coffrage)

Tableau II- 5 : Valeurs de A selon Faury (Dreux, 1986)

	Sable et graviers roulés usuels	Sable roulé et gravier de broyage usuel	Sable et gravier de broyage usuels
Consistance très fluide mise en œuvre sans serrage	32 et au-dessus	34 et au – dessus	38 et au – dessus
Consistance fluide pour faible serrage	30-32	32-34	36-38
Consistance molle pour serrage moyen	28-30	30-32	34-36
Consistance ferme pour serrage soigné	26-28	28-30	32-34
consistance très ferme pour serrage puissant	24-26	26-28	30-32
Consistance de terre humide, serrage très puissant.	22-24	24-26	28-30
Serrage exceptionnellement puissant.	Au-dessus de 22 (à déterminer dans chaque cas)	Au-dessus de 24 (à déterminer)	Au-dessous de 28 (à déterminer)

Kedjour (2009) a résumé le calcul par la méthode de Faury dans les étapes suivantes:

a- Calcul de D_{max} :

$$D_{max} = D_{n-1} \left(1 + \frac{x}{2y}\right) \quad (2)$$

avec:

- D_{n-1} : le diamètre qui correspond au tamis n-1
- x : le refus du tamis n-1
- y : le refus entre D_{n-1} et $\left(1 + \frac{x}{2y}\right)$

Donc

$$D_{max} = D_n \left(1 + \frac{x}{2y}\right)$$

$$Y * \frac{D_{max}}{2} = 27 + 17.8 \sqrt[5]{D_{max} + 3.5}$$

Les trois points :

$$[0.0065 ; 0], \left[\frac{D}{2} ; y * \left(\frac{D_{max}}{2}\right)\right], [D_{100\%} ; 100\%].$$

Après le traçage de la courbe granulaire de Faury, la quantité d'eau **E** est donnée par la formule suivante:

$$E = \frac{k}{\sqrt[5]{D}} \quad (3)$$

Avec :

K : coefficient dépendant des agrégats, de la consistance et de la mise en place du béton.

b- Détermination du volume absolu de béton sec :

$$v_a = 1000 - E \quad (4)$$

v_a : Volume absolu de béton sec

c- Détermination du pourcentage de ciment dans le volume du béton sec :

$$C\% = \frac{\frac{x}{y}}{v_a} * 100\% \quad (5)$$

X : dosage du ciment en kg/m³.

Y : masse spécifique est égale à 3.1g/cm³.

d- Détermination des quantités de composant :

$$\text{Sable} = v_a * S\% * d \quad (6)$$

Avec :

S : pourcentage de sable(%)

d : densité du sable

$$\text{Gravier} = v_a * \%G * d \quad (7)$$

Avec :

G : pourcentage du gravier(%).

d:densité du gravier.

$$\text{Ciment} = v_a * \%C * d \quad (8)$$

Avec :

C : pourcentage du ciment(%)

d : densité du ciment.

Ces valeurs donnent la courbe de référence tracée sur la **Figure II-3**.

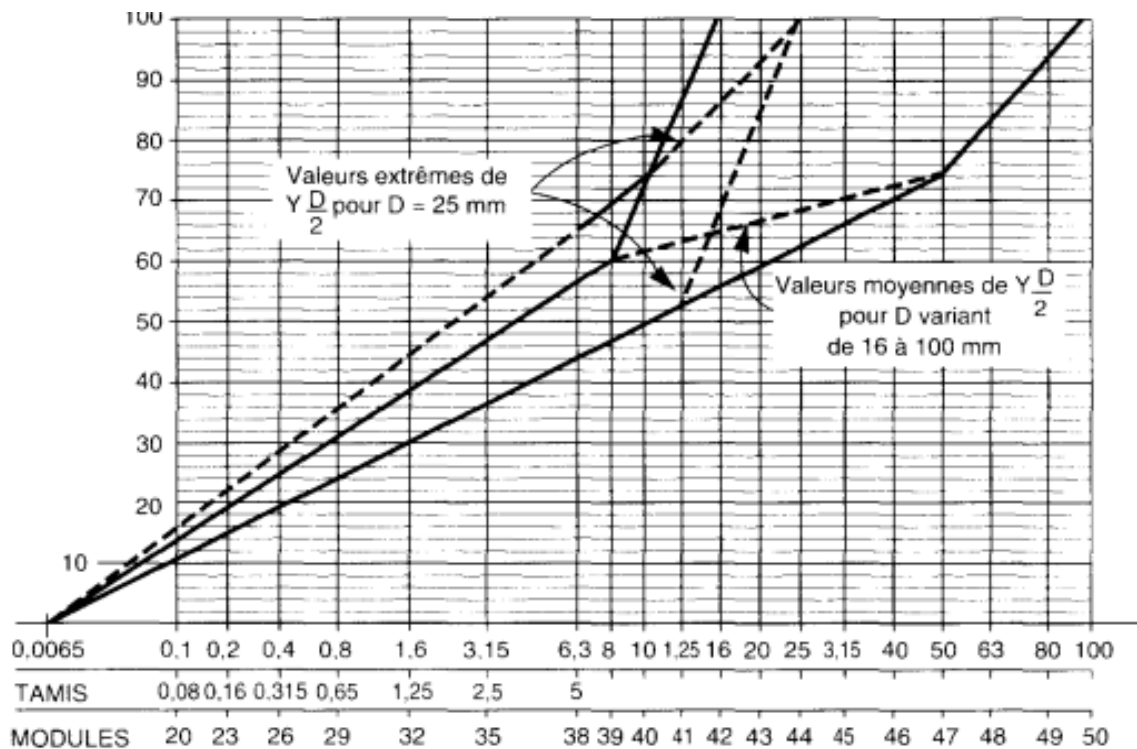


Figure II- 3: Courbe de référence de Faury.

Il est inspiré de cette méthode le traçage d'une courbe de référence de granularité le long des deux droites définies par les points d'arrêt. Cette opération est faite pour les granulats seuls (pas de ciment), ce qui rend les choses beaucoup plus faciles. En fait, la quantité de ciment est en fait un problème de résistance plutôt qu'un problème de taille de particule (Dreux et Festa, 1998).

III.4.6 Méthode de Joisel

C'est une méthode graphique dont nous nous inspirons que se déterminent les pourcentages des divers granulats (ITDB et DTP, 1952). Joisel a proposé de considérer que la loi de granulation conduisant à la compacité maximale, est fonction de ${}^m\sqrt{d}$, 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 a pris comme échelle en abscisse, ${}^m\sqrt{d}$ au lieu de ${}^5\sqrt{d}$ (proposée par Faury), où m avec le serrage des matériaux.

Comme dans la méthode de Faury, on aboutit donc en principe à une granularité continue sauf, 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 $\frac{D}{2}$ de façon à n'avoir qu'une simple et unique droite, c'est l'avantage de cette méthode. Donc, 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.

III.4.7 Méthode de Dreux-Gorisse

En 1970, Dreux (Dreux, 1986) a mis en œuvre une méthode basée sur l'optimum granulaire couramment utilisée pour des bétons ordinaires. C'est une approche empirique basée sur une courbe granulaire de référence (**Figure II-4**). C'est une méthode d'utilisation très simple qui ne demande que de connaître les courbes granulométriques des granulats utilisés (Dupain et Saint, 2000).

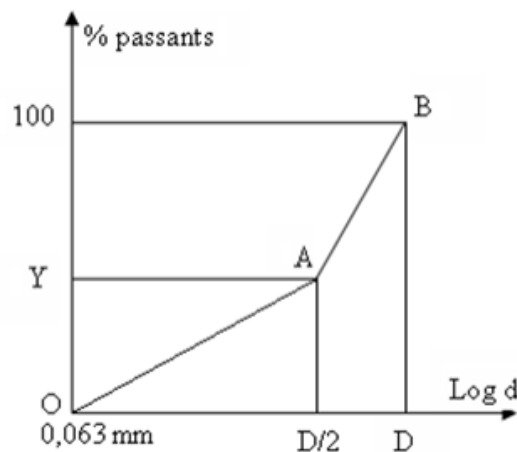


Figure II- 4: Courbe optimale de Dreux-Gorisse.

Les deux segments [OA] et [AB] appelés le tracé de la "courbe granulométrique de référence " et les trois points sont déterminés comme suit :

O = est l'origine de la courbe avec ses coordonnées (0 ; 0).

En abscisse :

$$A \begin{cases} \rightarrow \frac{D}{2} \text{ Si } D < 20 \text{ mm} \\ \rightarrow [5;D] \text{ Si } D > 20\text{mm} \end{cases}$$

En ordonné : $B = 50 - \sqrt{D} + K$.

La courbe de référence permet de doser les proportions, en volume absolu, 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.

La méthode de Dreux-Gorisse comporte les dix étapes suivantes :

- **la résistance désirée (visée) :**

$$f_c = f_{c28} + 15\% \quad (9)$$

Où :

f_c : résistance moyenne visée à 28 jours.

f_{c28} : résistance caractéristique demandée à 28 jours.

- **Sélection de la consistance du béton frais.**

Cette spécification est définie par rapport à l'affaissement ou au slump test (C.E.S), comme indiqué dans le **Tableau II-6**.

Tableau II-6: Evaluation de l'ouvrabilité par référence à l'affaissement au cône ou au test C.E.S (Dreux et Festa, 1998)

Plasticité	Serrage	Affaissement (cm)	N (nombre de chocs slump 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

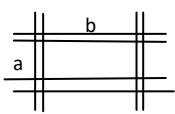
- **La sélection de D_{max} .**

La sélection est faite à l'aide des données montrées sur le **Tableau II-7**, 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 al, 2000).

Tableau II-7: Evaluation approximative de la dimension maximale D des granulats

Caractéristiques de la pièce bétonner		D (tamis)
e_h espacement horizontal entre armatures		$\leq \frac{e_h}{1.5}$
e_v espacement vertical entre armature		$\leq e_v$
c distance des armatures de coffrage	<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="font-size: 3em; margin-right: 10px;">{</div> <div> ambiance très agressive ≥ 5 cm ambiance moyennement agressive, condensations ≥ 3 cm ambiance moyennement agressive mais f_{c28} du béton $> 40\text{Mpa} \geq 2\text{cm}$ ambiance non agressive ≥ 1 cm </div> </div>	$< c$
r rayon moyen du ferrailage		$\leq 1.4 r$
Granulats roulés		$\leq 1.2 r$
Granulats concassés		
$r = \frac{ab}{2(a+b)}$		
h_m = hauteur ou épaisseur minimales		

a- Calcul du dosage en ciment

Le rapport ciment/eau (E/C) est déduit de la résistance souhaitée (visée), en utilisant la loi de Bolomey. Cette loi tient compte de la résistance du ciment et d'un facteur ajusté aux granulats. Un dosage minimum en ciment est alors calculé, pour la durabilité. Ce dosage est supposé être inversement proportionnel à $\sqrt[5]{D_{max}}$.

Supposons que dans le cas de l'équation(19) le volume des vides soit faible vis-à-vis de celui de l'eau et du ciment, la résistance du béton est alors principalement contrôlée par le rapport volumique de l'eau sur le ciment. Dans la pratique, la variation de la densité du ciment est relativement faible (autour de 3.1) et la densité de l'eau de gâchage est aux alentours de 1. C'est alors le rapport E/C ou C/E en masse qui est le plus utilisé. La relation de Bolomey s'écrit dans ce cas comme suit :

$$f_c = f_{mc} k_b \left(\frac{C}{E+V} - 0.5 \right) \tag{10}$$

$$f_c = f_{mc} k_b \left(\frac{C}{E} - 0.5 \right) \tag{11}$$

Avec :

E : dosage en eau (en litre par mètre cube)

C : masse de ciment.

V : volume d'air exprimé en masse de même de volume d'eau.

k_b : constant du model (indice b pour Bolomey).

b- Calcul de la quantité totale d'eau.

Elle est déterminée à partir de la quantité de ciment trouvée précédemment et du rapport ciment/Eau C/E. A ce moment, une correction peut être faite (Augmentation de la quantité d'eau), l'eau utilisée dans le pratique est la quantité après la correction.

c- Examen du sable.

En ajoute le sable sur la base de sa propreté. Avec une courbe granulométrique reportée sur un diagramme standard. Si le module de finesse est trop élevé (sable trop grossier), il faut ajouter un sable correcteur.

d- Tracé de la courbe granulaire de référence.

L'ordonnée Y (**Figure II-4**) est déterminée par les facteurs suivants : D_{max} dosage en ciment, intensité de la vibration, forme des grains et module de finesse du sable. Le **Tableau II-8** résume les déplacements de Y en fonction d'une augmentation de ces paramètres.

Sur un graphe d'analyse granulométrique type AFNOR (linéaire en module et logarithmique en dimension des granulats), une composition granulaire de référence OAB (**Figure II-4**) est tracée.

Tableau II- 8: Paramètres pris en compte dans la détermination de Y.

Paramètres	Evolution de y
D_{max}	→
Dosage en ciment	→
Vibration	→
Forme des particules (Roulée à concassée)	↗
Module de finesse	↗
Diminution: →	Augmentation : ↗

Le point B (à l'ordonnée 100%) correspond à la dimension D des plus gros granulats, c'est-à-dire :

$$\text{Point B} \left\{ \begin{array}{l} x = D_{max} \\ y = 100 \% \end{array} \right.$$

$$\text{Point O} \left\{ \begin{array}{l} x=0.063 \\ y= 0 \end{array} \right.$$

Le point de brisure A aux coordonnées suivantes:

- en abscisses (à partir de la dimension D du tamis)

Si : $D \leq 20 \text{ mm}$: l'abscisse est $D/2$.

Si : $D \geq 20\text{mm}$: l'abscisse est située au milieu du « segment gravier » limité par le module 38 (5mm) et le module correspondant à D.

- en ordonnées :

$$Y = 50 - \sqrt{D} + K \quad (12)$$

Où :

K : un terme correcteur qui dépend du dosage en ciment, de l'efficacité du serrage, de la forme des granulats roulés ou concassés (**Tableau II-9**) et également du module de finesse du sable.

Tableau II- 9: Valeurs du terme correcteur K

Vibration		Faible		Normale		Puissante	
Forme des granulats (du sable en particulier)		Roulé	Concassé	Roulé	Concassé	Roulé	Concassé
Dosages en ciment	400+	2	0	-4	-2	-6	-4
	Superplastifiant	0	+2	-2	0	-4	-2
	400	+2	+4	0	+2	-2	0
	350	+4	+6	+2	+4	0	+2
	300	+6	+8	+4	+6	+2	+4
	250	+8	+10	+6	+8	+4	+6
	200						

Une correction supplémentaire sur K peut être effectuée (cas de sables grossiers) en ajoutant la valeur $K_s = 6M_6 - 15M_f$ (étant le module de finesse du sable qui varie de 2 à 3) (Dreux et Festa, 1998).

e- Détermination du volume du solide dans le mélange frais.

Cette quantité est tabulée en fonction de D_{\max} de la consistance et de la puissance de la vibration.

Le **Tableau II-10** permet de calculer le coefficient de compacité γ .

Tableau II- 10: Valeurs du coefficient de compacité γ .

Consistance	Serrage	γ coefficient de compacité						
		D=5	D=10	D=12.5	D=20	D=31.5	D=50	D=30
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	0.76	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 concassés = - 0.03.

F- Détermination des fractions granulaires

La courbe granulaire de référence OAB est tracée sur le même graphique que les courbes granulométriques des granulats composants. 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 de 5% de la courbe du granulats suivant et ainsi de suite.

On lira alors sur la courbe de référence, au point de croisement avec la ou les droites de partage, le pourcentage en volume absolu de chacun des granulats g_1, g_2, g_3 (Dreux et Festa, 1998).

Le volume absolu de l'ensemble des granulats est :

$$V = 1000\gamma - V_c \tag{13}$$

$V_c = \frac{C}{\rho_c}$: Qui exprime le rapport entre le dosage en ciment et masse spécifique pour les grains de ciment.

γ : est le coefficient de compacité qui est fonction de D_{max} de la consistance et de l'efficacité de serrage.

Les proportions respectives (en volume) sont déterminées graphiquement, à l'aide de la courbe de référence (étape 8). Alors, pour chaque granulat, le volume unité de béton est calculé en multipliant le volume solide par la proportion trouvée. Enfin, en multipliant le volume de chaque granulat par sa masse volumique, on obtient la masse du granulat considéré.

Les volumes absolus de chacun des granulats sont par la suite:

$$v_1 \geq g_1 V$$

$$v_2 \geq g_2 V$$

$$v_3 \geq g_3 V$$

Si les masses spécifiques de chacun de ces granulats sont : ρ_1, ρ_2, ρ_3 , la masse de chacun d'eux sera:

$$M_1 \geq \rho_1 \cdot v_1$$

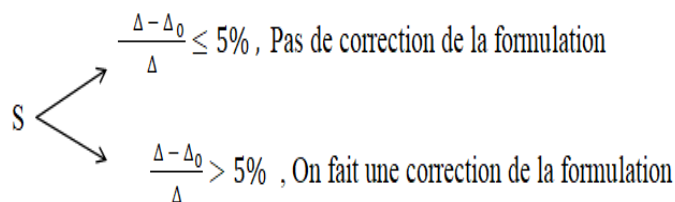
$$M_2 \geq \rho_2 v_2$$

$$M_3 \geq \rho_3 v_3.$$

La densité du mètre cube de béton devrait être théoriquement :

$$\Delta_0 = \frac{G+C+E}{1000} \quad (14)$$

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



III.4.8 Méthode Américaine ACI (Neville, 2000)

La méthode de l'ACI utilise le fait que, pour une taille maximum d'agrégats, la quantité d'eau, exprimée en kilogrammes par mètre cube, détermine l'ouvrabilité du mélange indépendamment des proportions du mélange et la valeur relative de quantité d'eau pour différentes ouvrabilités (Yousfi, 2014). La méthode d'ACI comporte les étapes suivantes :

a- Choix de l'affaissement

L'affaissement doit être déterminé par les exigences de construction. Il est à noter que l'affaissement doit être dans ce cas noté par sa valeur maximale pour éviter la ségrégation lorsque la gâchée, qui n'a pas été choisie pour avoir un affaissement plus élevé, devient soudainement trop liquide.

b- Choix de la dimension maximale du granulat

En gardant présents à l'esprit les conditions découlant de la géométrie des éléments et l'espacement des armatures, ou parfois pour des questions de disponibilité.

c- Estimation du dosage en eau et de la teneur en air

La norme **ACI 211.1-911** a proposé une solution qui consiste à utiliser les valeurs recommandées parmi lesquelles un choix est donné dans le **Tableau II-11**. Les valeurs sont utilisées pour des granulats de forme régulière et de bonne granulométrie. Par contre dans le cas des granulats roulés, on s'attend à ce que la quantité d'eau nécessaire soit réduite en l'absence de béton à air occlus, environ 18 kg et 15 kg par mètre cube de béton à air entraîné, Les réducteurs d'eau, et les superplastifiants, diminuent dans de fortes proportions les quantités d'eau que l'on retrouve dans le **Tableau II-11** donnent aussi les valeurs de la quantité d'air piégé que l'on observe habituellement, ce qui se révèle utile pour calculer la masse volumique du béton compacté ou vibré et son rendement.

d- Choix du rapport eau/ciment

Ce choix est à base de deux critères : la résistance et la durabilité. Concernant la résistance à la compression la valeur visée doit dépasser la résistance minimale spécifiée, d'une marge appropriée. Et Après le choix de type réel du ciment la relation entre la résistance et le rapport E/C doit être établi pour une certaine plage de résistance.

Lorsque l'on considère la durabilité, le rapport eau/ciment doit être spécifié par le concepteur de la structure ou par un règlement approprié. Il est primordial que la valeur E/C choisie soit la plus faible de deux valeurs obtenues selon les critères de résistance et de durabilité.

e- Calcul du dosage en ciment

Pour des considérations de durabilité, on exige une quantité minimale de ciment, on devra prendre en compte la plus élevée des deux valeurs. Occasionnellement, pour des raisons de dégagement de chaleur, les spécifications imposent une quantité maximale de ciment. Cette règle doit être respectée. Le dégagement de chaleur est important dans le cas des bétons de masse, le calcul pour ce type de béton est spécifié dans la norme **ACI 211.1-911**.

Tableau II- 11: Dosage approximatif en eau de gâchage et teneur en air pour différents affaissements et dimension maximale nominale du gros granulat selon la norme ACI211.1-91.

Affaissement (mm)	Eau (kg/m^3) pour les dimensions maximales des granulats ci-dessous							
	9.5	12.5	19	25	37,5	50	75	150
Béton sans air entraine								
25 à 50	207	199	190	179	166	154	130	113
75 à 100	228	216	205	193	181	169	145	124
150 à 175	243	228	216	202	190	178	160	-
Air piégé (%)	3	2.5	2	1.5	1	0.5	0.3	0.2
Béton sans air entraine								
25 à 50	181	175	168	160	150	142	122	107
75 à 100	202	193	184	175	165	157	133	119
150 à 175	216	205	197	184	174	166	154	-
Teneur en air totale								
(%)pour : amelioration de a maniabilité	4.5	4.0	3.5	3.0	2.5	2.0	1.5	1.0
Exploitation modérée	6.0	5.5	5.0	4.5	4.5	4.0	3.5	3.0
Exploitation sévère	7.5	7.0	6.0	6.0	5.5	5.0	4.5	4.0

F-Estimation du dosage en gros granulat

Elle dépend de la taille maximale du granulat et de la granulométrie du granulat fin. La forme des éléments constituant le gros granulat n'est pas considérée. Ainsi, la forme du granulat est un facteur directement pris en compte lorsque l'on détermine la masse volumique en vrac. Le **Tableau II-12** donne la valeur du volume optimal de gros granulats lorsqu'ils sont utilisés avec des granulats fins de différents modules de finesse. Ce volume est transformé en masse de gros granulats par mètre cube de béton en multipliant la valeur du tableau par la masse pilonnée à sec du granulat en kg/m^3 .

Tableau II- 12: Volume en vrac de gros granulats par unité de volume de béton

Dimension maximale des granulats (mm)	Volume en vrac de gros granulats séchés et tassés par unité de volume de béton pour un module de finesse des granulats fin de :			
	2.40	2.60	2.8	3.00
9.5	0.50	0.48	0.46	0.44
12.5	0.59	0.57	0.55	0.53
20	0.66	0.64	0.62	0.60
25	0.71	0.69	0.67	0.65
37.5	0.75	0.73	0.71	0.69
50	0.78	0.76	0.74	0.72
75	0.82	0.80	0.78	0.76
150	0.87	0.85	0.83	0.81

Les valeurs données permettent d'obtenir un mélange de maniabilité acceptable pour un ouvrage en béton arme et pour obtenir un béton un peu moins maniable, par exemple pour la construction des routes, les valeurs peuvent être augmentées d'environ 10 %, pour un béton plus maniable, mis en place par pompage par exemple, les valeurs peuvent être réduites jusqu'à 10 % environ.

G-Estimation du dosage en granulats fins

La masse de granulat fin est la seule quantité qui demeure inconnue. Le volume absolu de cette masse peut être obtenu en soustrayant la somme des volumes absolus de l'eau, du ciment, de l'air entraîné et des gros granulats du volume de béton, qui est de 1m^3 . Pour chacun des constituants, le volume absolu est égal à sa masse dans le mélange divisée par sa masse volumique (en kg/m^3), la masse volumique absolue est la densité du constituant multipliée par la masse volumique de l'eau ($1000\text{ kg}/\text{m}^3$). Le volume absolu du granulat fin est converti en masse en multipliant son volume par la densité du granulat fin et par la masse volumique de l'eau. La masse du granulat fin peut aussi être obtenue directement en soustrayant la masse totale de tous les constituants de la masse de l'unité de volume de béton, si cela peut être estimé expérimentalement. Cette approche est légèrement moins précise que la méthode des volumes absolus.

H-Ajustement des proportions

La norme ACI 211.1-911 donne quelques règles empiriques pour procéder aux ajustements nécessaires. Globalement, la maniabilité doit être modifiée, mais sans changer la résistance, le rapport eau/ciment ne doit pas être modifié. On peut effectuer des modifications du rapport

granulat/ciment (G/C) ou, si des granulats convenables sont disponibles, de la granulométrie, inversement, des changements de la résistance, mais non de la maniabilité, sont réalisés en modifiant le rapport eau/ciment du béton, sans modifier la quantité d'eau. Ceci signifie qu'un changement du rapport eau/ciment doit s'accompagner d'un changement du rapport granulat/ciment de sorte que le rapport des masses $\frac{eau}{eau+ciment+granulat}$ soit à peu près constant.

III-5 Conclusion

Les diverses méthodes de formulation que nous avons traitées dans ce chapitre sont très liées, l'une à l'autre. Pour l'établissement de son programme de calcul, chaque méthode utilise les méthodes qui la précèdent. Presque la majorité des méthodes ont un point commun, elles utilisent une série de caractérisation de matériaux employés, des successions d'étapes très simples basés sur l'expérience personnelle et également des connaissances sur les paramètres influençant la composition d'un côté, en termes de proportions des composants et en termes de ses propriétés d'un autre côté. La composition du béton déterminée par toutes ces méthodes devra être nécessairement testée par des essais d'études et de convenance au laboratoire pour vérifier l'ouvrabilité du mélange et aussi sa résistance à la compression généralement, à 28 jours.

Chapitre III
Résultats et Discussions

III- 1 Introduction

Le béton utilisé dans la construction doit répondre à certaines exigences et spécifications, telles, que la bonne maniabilité, la haute résistance, la durabilité vis-à-vis des différents agents agressifs, l'absorption minimale et l'étanchéité le complète que possible. Ces exigences ne peuvent être atteintes que par le choix judicieux des matériaux utilisés (ciment, granulats, additions, eau et adjuvants) et par une formulation convenable du béton.

Dans ce chapitre, une recherche d'une formulation pour un béton ordinaire a été faite par des méthodes classiques, soit manuellement, par la méthode de Dreux-Gorisse et la méthode Américain ACI, soit par l'application des outils numériques, par la méthode de Dreux-Gorisse et la méthode de Faury. Une comparaison des résultats obtenus par toutes ces méthodes a été faite à la fin du chapitre.

III-2 Matériaux employés et propriétés

Les données concernant les constituants (granulats et ciment) du béton formulé sont prises des études antérieures (Bendjillali, 2001, Bendjilali, 2019) faites au sein du laboratoire de Génie Civil de l'université de Laghouat sur des matériaux locaux provenant de la région.

III-2.1 Granulats

Un sable alluvionnaire siliceux 0/5 provenant d'Oued M'Zi à Laghouat et deux classes granulaires 8/15 et 15/25 de graviers calcaires de concassage fabriqués dans la station du concassage Ouazzane de Laghouat sont employées dans la préparation du béton. Les résultats de l'analyse granulométrique réalisée sur les granulats employés (sable, gravier 8/15 et gravier 15/25) sont donnés sur le **Tableau III-1** et leurs propriétés physiques sont illustrées sur le **Tableau III-2**. Le sable utilisé qui est constitué principalement du Quartz, est caractérisé par des particules de forme roulée et de surface lisse (Abdelkrim et al. 2020). C'est le sable le plus employé dans les projets de construction en Algérie.

Tableau III- 6: Tamisâts des granulats employés (Bendjillali, 2001).

Tamis(en mm)	Tamisâtes %		
	Sable0/5	Gravier8/15	Gravier15/25
25	-	-	100.00
20	-	-	78.28
16	-	-	29.28
14	-	88.60	5.27
12.5	-	78.93	2.64
10	-	38.13	0.21
8	-	6.88	0.12
6.3	-	0.83	-
5	99.95	0.15	-
4	99.26	-	-
3.15	96.26	-	-
2.5	94.11	-	-
2	91.88	-	-
1.6	89.98	-	-
1.25	85.09	-	-
1	82.22	-	-
0.8	78.78	-	-
0.63	69.26	-	-
0.5	63.62	-	-
0.4	58.84	-	-
0.315	41.82	-	-
0.25	28.53	-	-
0.2	20.31	-	-
0.16	7.84	-	-
0.125	3.57	-	-
0.1	2.08	-	-

Tableau III- 7: Propriétés physiques des granulats employés (Bendjilali, 2001).

Propriété	Sable 0/5	Gravier 8/15	Gravier 15/25
Masse volumique apparente (en g/cm ³)	1.68	1.28	1.26
Masse volumique absolue (en g/cm ³)	2.65	2.68	2.66
Porosité (en %)	37	52	53
Teneur en eau (en %)	0.071	0.081	0.053
Module de finesse	2.02	-	-
Equivalent de sable (en %)	98.8	-	-

III-2.2 Ciment

Un ciment CEM II/B 42.5 N fabriqué par la Société Cement Company SPA M'Sila, dont les caractéristiques sont données sur le **Tableau III-3** (Bendjilali, 2019).

Tableau III- 8: Caractéristiques du ciment utilisé.

Propriétés	Valeurs
Masse volumique absolue	3.1 g/cm³
Masse volumique apparente	1.13 g/cm³
Finesse de mouture SSB	3700 cm²/g
Prise de ciment	150 ± 30 min
Résistance à la compression à 7 jours	37.89 ± 1.88 MPa
Résistance à flexion à 7 jours	6.45 ± 0.44 MPa

III-3 Détermination de la composition du béton

La composition du béton est déterminée manuellement et numériquement en utilisant les méthodes classiques suivantes avec un dosage de 350 kg/m³ de ciment, pris constant dans le calcul.

III-3.1 Méthode manuelle de Dreux-Gorisse

Le calcul par cette méthode est fait selon les étapes expliquées en chapitre II:

- La résistance désirée est f_{c28} prise égale à 30 MPa.
- L'affaissement est pris égal à 8 cm pour un béton plastique à vibration normale.
- Le ciment utilisé est un CEMII/B. 42.5N de densité absolue de l'ordre de 3.1.
- Le dosage en ciment est de 350 kg/m^3 .
- Sable alluvionnaire siliceux roulé.
- Graviers calcaires concassés.

Les étapes :

$$f_c = f_{c28} + \frac{f_{c28} * 15}{100} \longrightarrow f_c = 30 + \frac{30 * 15}{100} \longrightarrow f_c = 34.5 \text{ MPa}$$

Et on a :

$$f_c = G * \delta_c * \left(\frac{c}{E} - 0.5 \right) \qquad \frac{c}{E} = \frac{f_c}{G * \delta_c} + 0.5 \qquad \frac{c}{E} = 2.12$$

On a fixé le poids du ciment

$$C = 350 \text{ kg/m}^3 \qquad \frac{c}{E} = \frac{350}{E} = 2.12 \qquad E = 165.04 \text{ l/m}^3$$

Donc le rapport $E/C = 0.47$, qui semble très faible sans ajout d'adjuvant.

Donc pour établir une meilleure comparaison des résultats obtenus par les différentes méthodes et maintenir une bonne maniabilité pour toutes les gâchées, on a fixé l'affaissement à 8 cm, qui correspond à un béton plastique, qui peut être mis facilement dans le coffrage et coulé rapidement dans le ferrailage. Pour un affaissement de 8 cm et un dosage de 350 kg de ciment, le rapport C/E est trouvé égal à 1.72, en utilisant l'abaque, ce qui donne un rapport E/C de l'ordre de 0.58, donc:

$$\text{Donc } \frac{E}{350} = 0.58 \qquad E = 350 * 0.58 \qquad E = 203 \text{ l/m}^3$$

Le diamètre maximal égal à 25, donc pas de correction d'eau.

-Traçage des courbes granulométriques et la courbe de référence :

Les points :

- Coordonnées de O : (0 ; 0).
- Coordonnées de B : (D ; 100).
- Coordonnées de A : (x ; y).

$$A \left\{ \begin{array}{l} X = \frac{25-5}{2} \\ X = 10 \end{array} \right.$$

$$Y = 50 - \sqrt{D} + k_s + k + k_p$$

$$K = 0$$

$$k_s = 6 M_f - 15 = -2.88$$

$$k_p = 0$$

$$A \left\{ \begin{array}{l} y = 50 - \sqrt{25} + (-2.88) \\ y = 42.12 \end{array} \right.$$

Coordonnées de A : (10 ; 42.12).

Les courbes sont tracées sur la **Figure III-1**, comme suit:

D'après la figure on a trouvé :

$$S = 35,90 \%$$

$$G_{8/15} = 30.10 \%$$

$$G_{15/25} = 34 \%$$

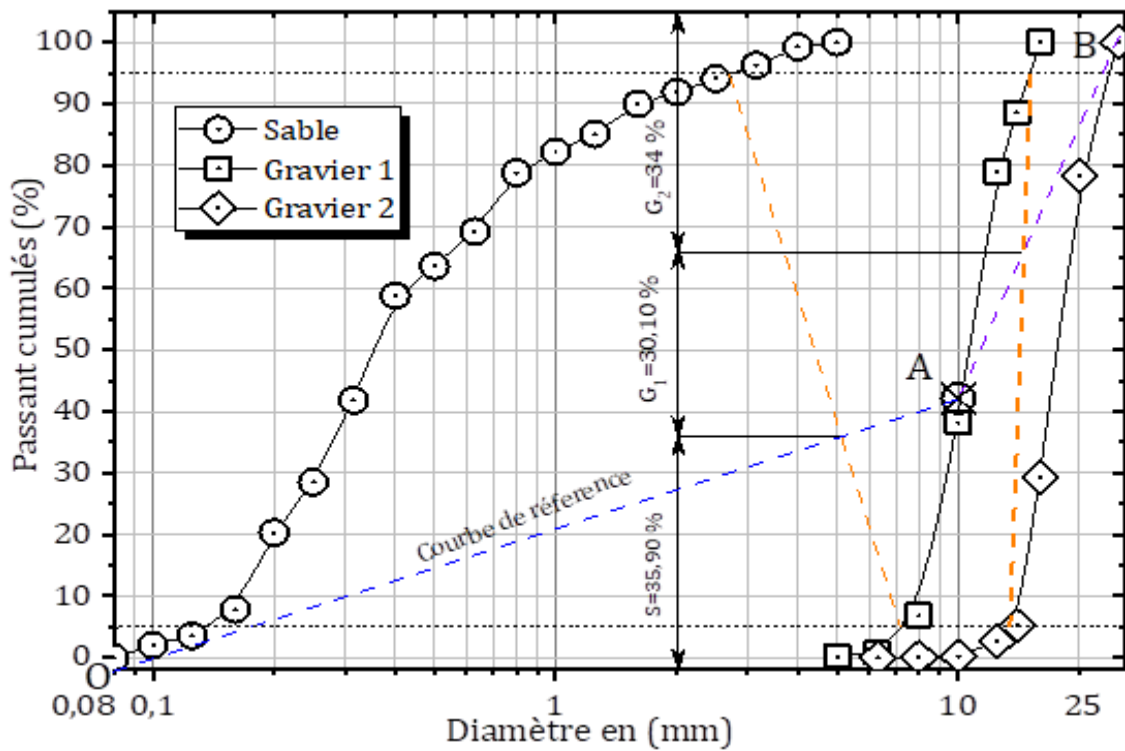


Figure III- 2: Courbes granulométriques des granulats, de référence

La valeur du coefficient de compacité :

$$\gamma = \frac{0.830 - 0.825}{31.5 - 20} = 0.00043.$$

$$0.825 + 0.00043 = 0,82543$$

On a un sable roulé et granulats concassés :

La correction est la suivante :

$$0.82543 - 0.01 = 0.81543$$

- Volume absolu du ciment :

$$C = \frac{C}{3.1} = \frac{350}{3.1} = 112.90 \text{ l/m}^3$$

- Volume absolu des granulats :

$$V = 1000 \gamma - c$$

$$V = 1000 * 0.81543 - 112.9$$

$$V = 702.53 \text{ l/m}$$

- Volume absolu de sable : $V_1 = V\% \text{ sable}$

$$V_1 = 702.53 * \frac{35.90}{100} = 252.208 \text{ l/m}^3$$

- Volume absolu de gravier 8/15 :




$$V_2 = 702.53 * \frac{30.10}{100} = 211.46 \text{ l/m}^3$$

- Volume absolu de gravier 15/25 :

$$V_3 = 702.53 * \frac{34}{100} = 238.86 \text{ l/m}^3$$

Dosage pondéral des granulats (pour 1 m³ de béton) : est donné sur le tableau ci-dessous.

Tableau III- 9: Dosage pondéral des granulats pour un mètre cube de béton.

Sable 0/5	$S = v_1 * \gamma_s$		S = 252.208*2,65=668.35 kg
Gravier 8/15	$G_2 = v_2 * \gamma_G$		G₂ = 211.461*2.68 =566,71 kg
Gravier 15/25	$G_3 = v_3 * \gamma_G$		G₃ = 238.861*2.66=635,37 kg

III-3.2 Méthode d'ACI

Etape 1 :

L'affaissement demandé = 80 mm

Etape 2 :

La dimension maximale D_{max} spécifique des gros granulats = 25 mm

Etape 3 :

A partir du **Tableau II-10**, pour un affaissement de 80 mm, un $D_{max} = 25$ mm et un béton sans air entraîné, l'eau nécessaire est approximativement de 193 kg/m^3

Etape 4 :

On choisit la résistance de 30MPa à 28 jours et pour un rapport E/C = 0.54

Etape 5 :

La teneur en ciment :

$$\frac{E}{c} = 0.54 \iff c = \frac{193}{0.54} = 350 \text{ kg/m}^3$$

Etape 6 :

Le module de finesse des gros granulats :

$$\frac{\sum \text{tamis}\%}{100} = 2.158$$

Selon le **Tableau II-11**, on a :

$$2.40 \longrightarrow 0.71$$

$$2.158 \longrightarrow x$$

Donc : $X = 0.64$

Un granulat de module de finesse de 2.158, le volume en vrac des gros granulats pilonné à sac d'une dimension maximale de $D_{\max} = 25 \text{ mm}$ est de 0.64; la masse volumique de gros granulats en vrac est de 1600 Kg/m^3 et la masse des gros granulats est de :

$$0.64 * 1600 = 1024 \text{ kg/m}^3$$

Etape 7 :

- Le volume d'eau :

$$\frac{193}{1000} = 0.193 \text{ m}^3.$$

- Le volume de ciment en prenant la densité du ciment de 3.1

$$\frac{350}{3.1 * 1000} = 0.113 \text{ m}^3$$

- Le volume de gros granulats:

$$\frac{1024}{2.66 * 1000} = 0.384 \text{ m}^3.$$

- Le volume de l'air piégé:

$$0.015 * 1000 = 0.015 \text{ m}^3$$

- Le volume total de tous les constituants (sans granulats fin) :

$$0.193+0.113+0.384+0.015=0.705 \text{ m}^3$$

Donc

- Le volume de granulats fin :

$$1-0.705= 0.295 \text{ m}^3$$

- La masse des granulats fins :

$$0.295*2.65*1000=781.75 \text{ kg/m}^3.$$

Les estimations des masses de chacun des constituants sont reprises comme suit:

Tableau III- 10: Estimations des masses de chacun des constituants
Pour un mètre cube de béton

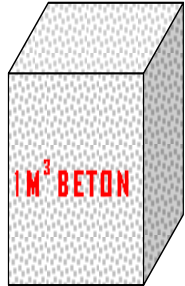
Constituant	Masse (kg)
Eau	193
Ciment	350
Gros granulats	1024
Granulats fin	782
La masse d'un mètre cube du béton est de 2349 kg	

III-3.3 Méthode de Dreux-Gorisse par logiciel

Dans cette étape, le calcul par la méthode de Dreux-Gorisse est fait par un logiciel établi par le service du Contrôle Technique de Construction CTC de la wilaya de Laghouat, dont les résultats sont résumés dans le **Tableau III-6**, comme suit:


Tableau III- 6: Résultats de calcul par logiciel des masses de chacun des constituants pour un mètre cube de béton et un sac de ciment de 50 kg

RECAPITULATION DE LA COMPOSITION POUR 1M3 DE BETON G/S= 1,43					
composants	densité absolue	densité apparente	Poids (Kg)	Volume Absolu (l)	Volume Apparent(l)
Sable brute	2,65	1,68	764,90	288,64	455,30
Gravier 15/25	2,62	1,6	830,02	316,80	518,76
Gravier 8/15	2,65	1,6	261,18	98,56	163,24
Ciment	3,11	1,4	350,00	112,54	250,00
Eau totale	1,00	1,00	175,00	175,00	175,00
TOTAL			2381,10	991,54	1562,30



DOSAGE DE **350** Kg/m³

RECAPITULATION DE LA COMPOSITION POUR UN SAC DE CIMENT DE 50Kg					
composants	densité absolue	densité apparente	Poids (Kg)	Volume Absolu (l)	Volume Apparent(l)
Sable brute	2,65	1,68	109,27	41,23	65,04
Gravier 15/25	2,62	1,6	118,57	45,26	74,11
Gravier 8/15	2,65	1,6	37,31	14,08	23,32
Ciment	3,11	1,4	50,00	16,08	35,71
Eau	1,00	1,00	25,00	25,00	25,00
TOTAL			340,16	141,65	223,19



Les **Figure III-2** donnent les courbes granulométriques des granulats et la courbe de référence.

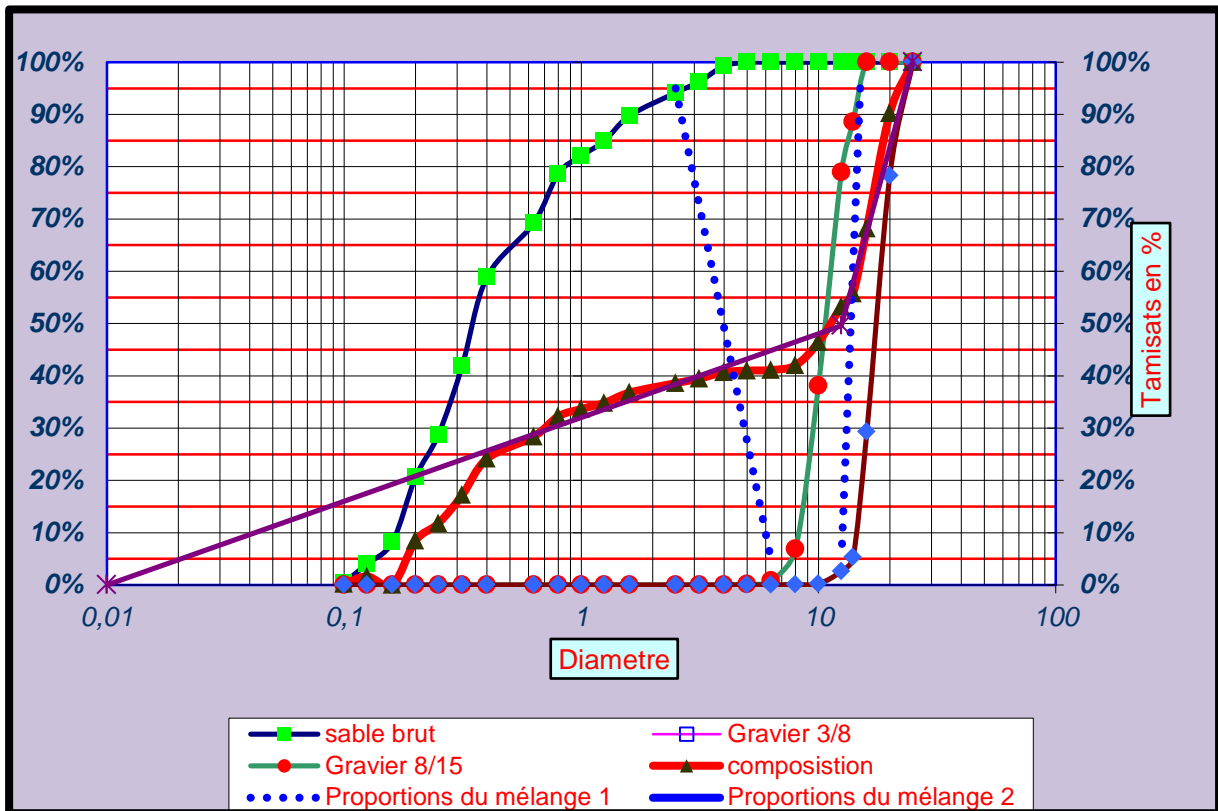


Figure III- 2: Courbes granulométriques des granulats, de référence.

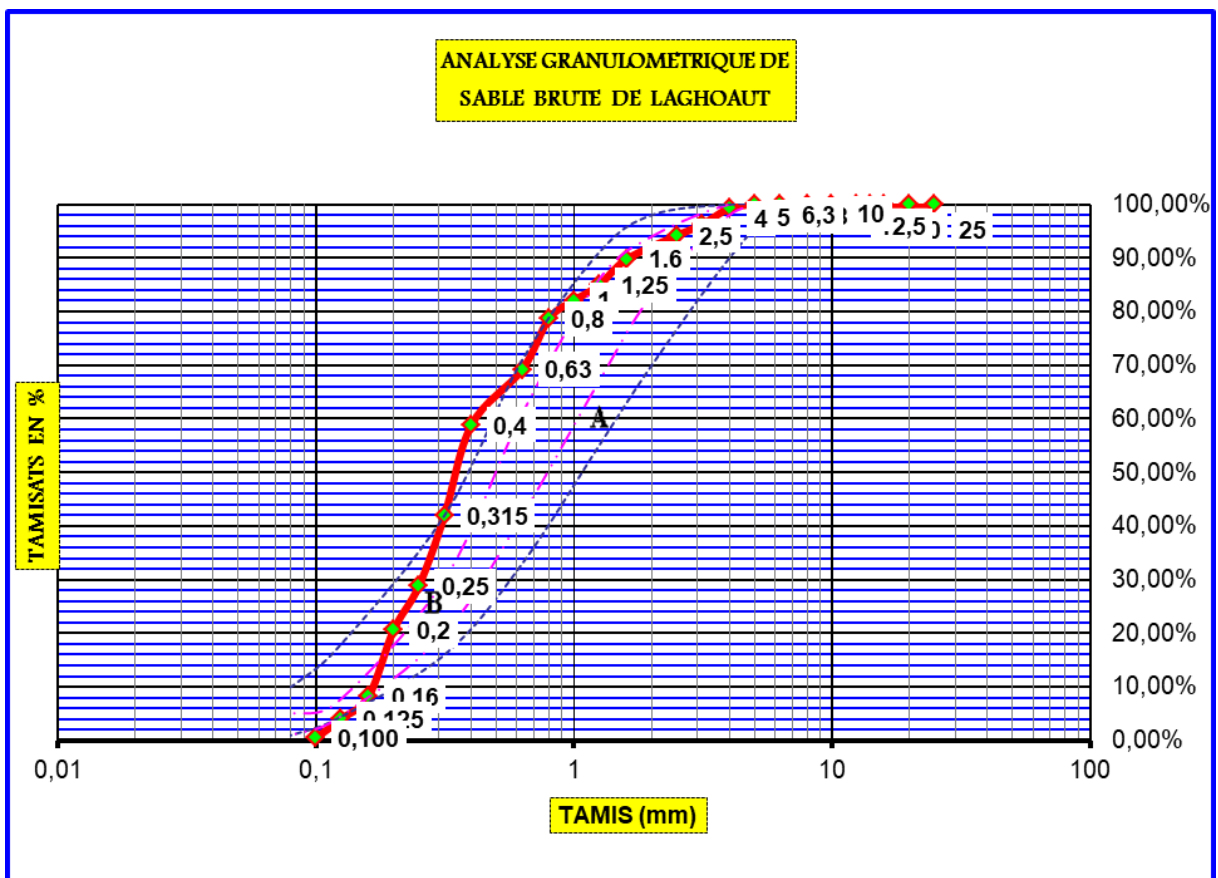


Figure III- 3: Courbes granulométriques de sable.

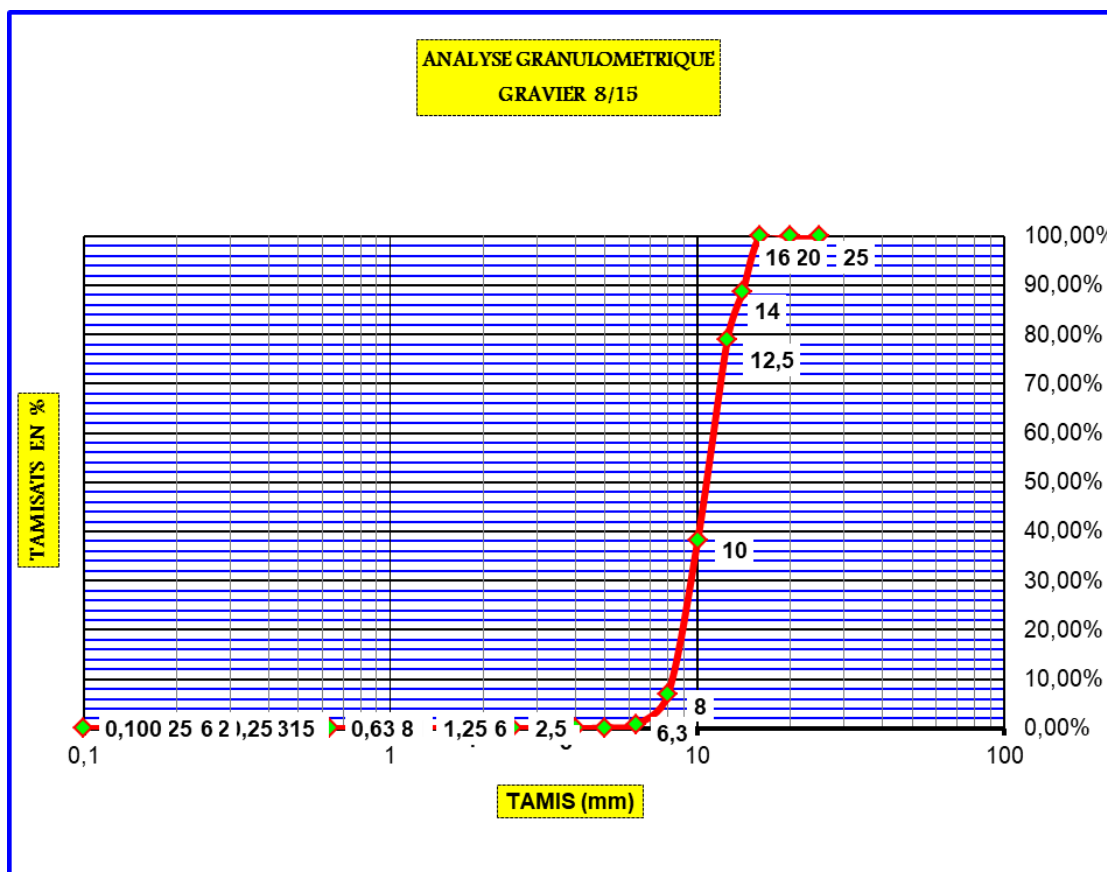


Figure III- 4:Analyses granulométriques du gravier 8/15

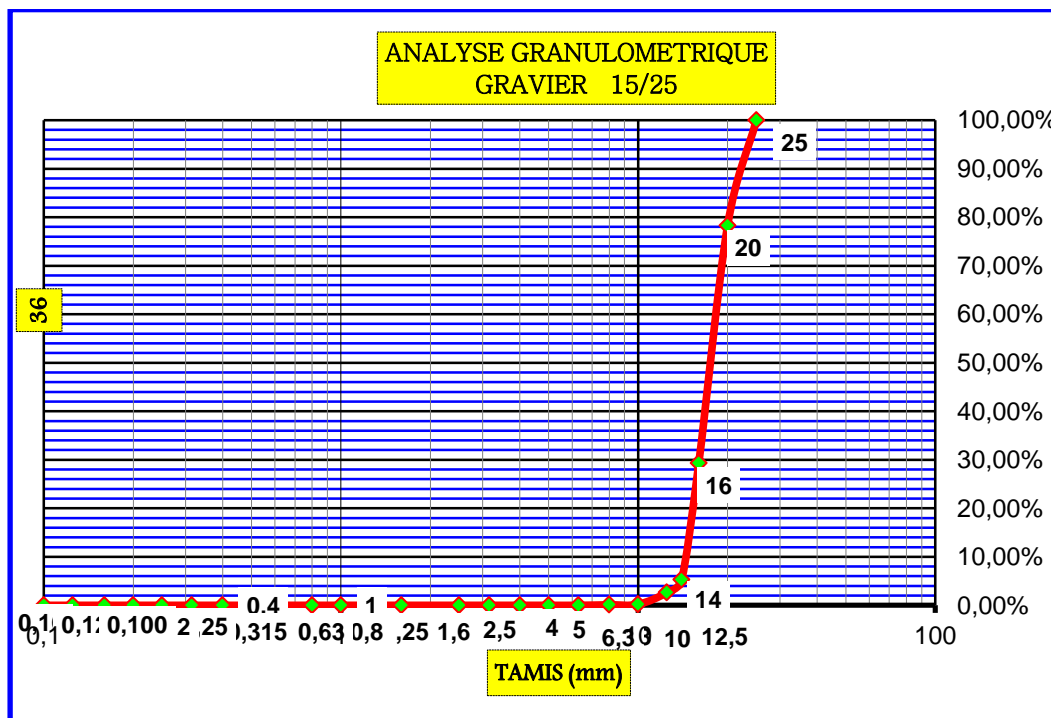


Figure III- 5:Analyse granulométriques du gravier 15/25.

Les résultats après la correction sont présentés sur le tableau suivant:

Tableau III- 7: Composition d'un mètre cube de béton (Dreux-Gorisse numérique).

Constituant	Masse (kg)
Eau	203
Ciment	350
Sable	765
Granulats8/15	262
Granulats15/25	830
La masse d'un mètre cube du béton est de 2410 kg	

III-3.4 Méthode de Faury

Le calcul par cette méthode est fait par un programme établi par le laboratoire de Ponts et Chaussées Sud de la wilaya de Laghouat LTP sud, dont les résultats sont comme suit:

Les compositions en masse, en volume et en bétonnière sont données sur le tableau suivant :

Tableau III- 8: Composition du béton en différents dosages.

Composants	Composition en Masses (kg)	Composition en volume apparents(l)	Bétonnière	
			150 l	350 l
Ciment	350	350	53	123
Sable	712	424	64	148
Gravier 8/15	550	430	65	151
Gravier 15/25	546	434	65	152
Eau	210	210	32	74
Densité théorique	2369	<u>Calcul des facteurs E/C et G/S</u>		
Composants	Composition en Masses(kg)	Composition en volumes apparents(l)	E/C = 0.6	
			G/S = 1.54	
Ciment	50	70	<u>Calcul des facteurs E/C a tenu compte de l'absorption d'eau des granulats.</u>	
Sable	102	61		
Gravier 8/15	79	61		
Gravier 15/25	78	62		
Eau	30	30		

D_{max}	<u>21.71</u>	Y=	<u>100</u>
$D_{max/2}$	<u>10.86</u>	Y=	<u>61.5</u>

0.00650

Courbe de référence	
X	Y
21.71	100
10.86	61.5
0.0065	0

- Calcul du rapport E/C pour 350 kg/m³ (**Tableau III-9**)

Tableau III- 9 : Calcul du rapport E/C

E _{abs} 8/15	10.46
E _{abs} 15/25	7.65
E _{abs} sable	9.97
E _{abs} totale	28.07
E _{abs} efficace	181.93
Rapport E/C	0.6
Rapport G/S	1.54

Les normes préconisent : $0.45 \leq E/C \leq 0.55$ et $1.2 \leq G/S \leq 1.7$

Données :

1- coefficient d'absorption d'eau du gravier 8/15 = 1.9 %

2- coefficient d'absorption d'eau du gravier 15/25 = 1.4 %

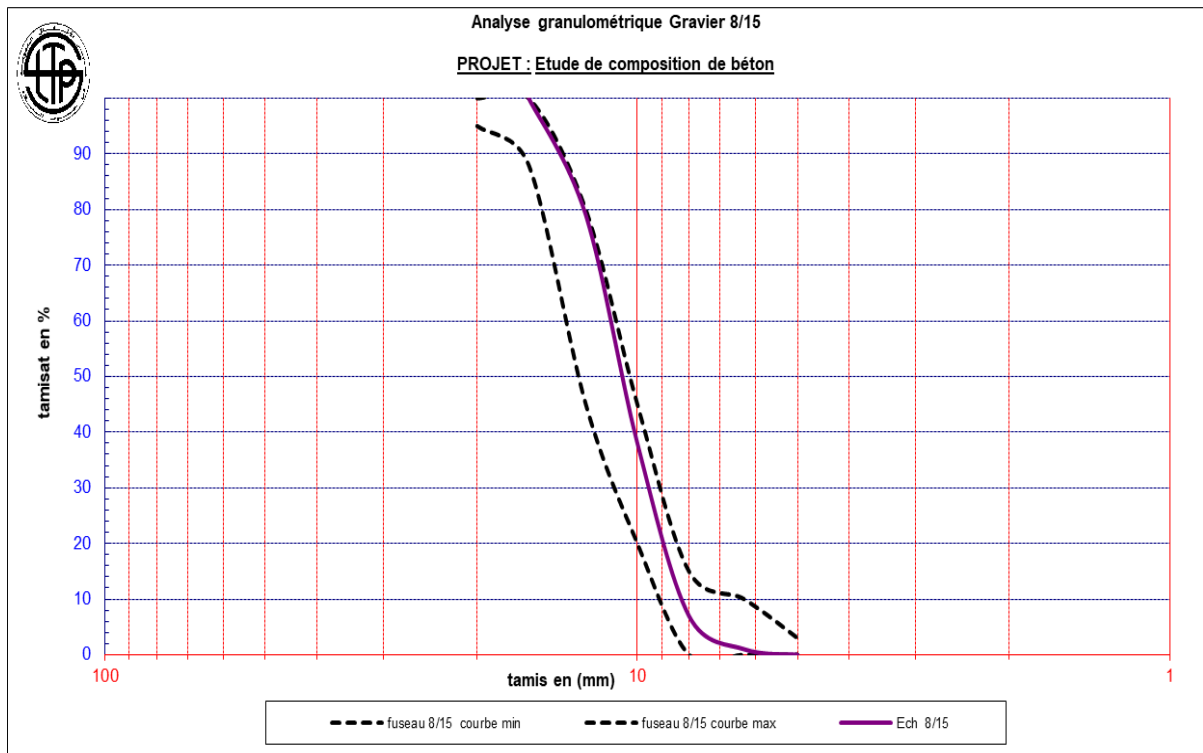
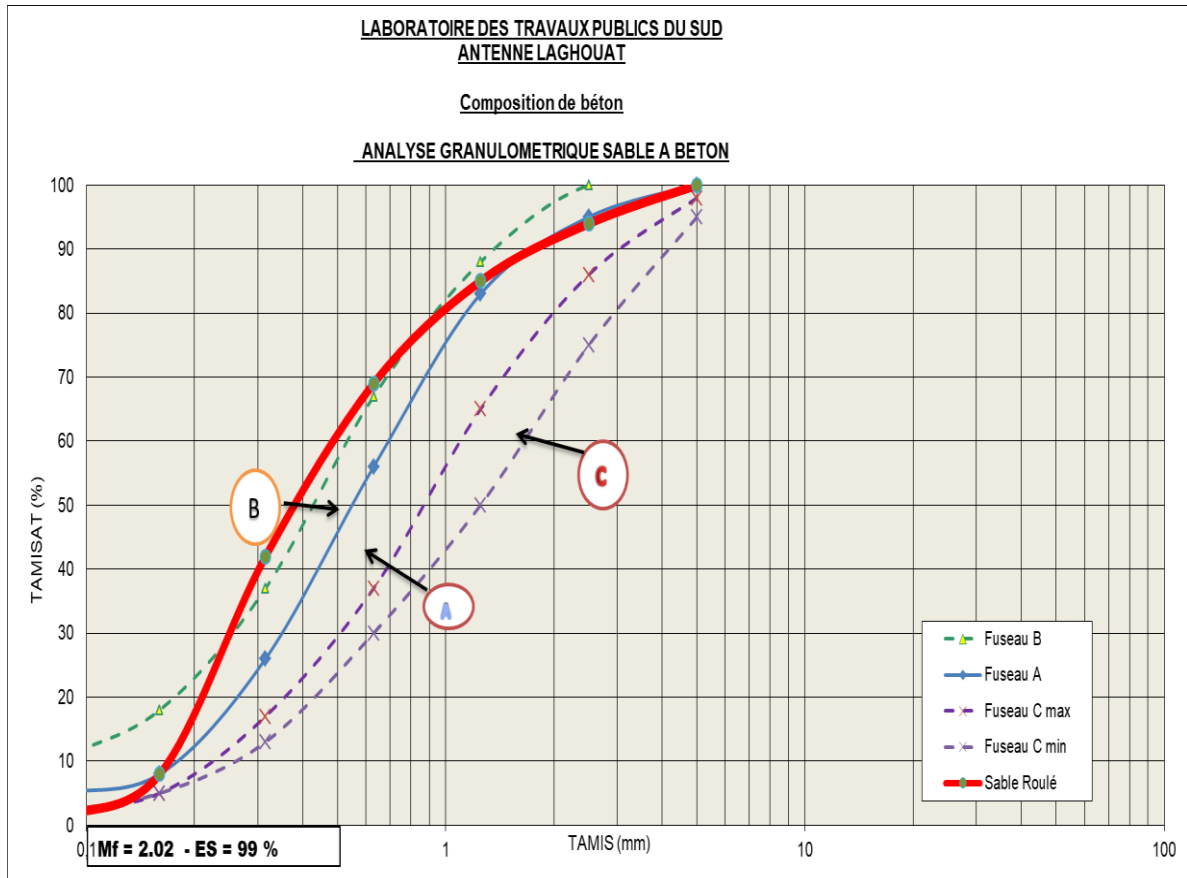
3- coefficient d'absorption d'eau du sable a béton = 1.4 %

La composition: est donnée sur le tableau ci-dessous :

Tableau III- 10: Composition du béton pour un mètre cube par la méthode de Faury numérique

Ciment	350
Sable	712
Gravier 8/15	550
Gravier 15/25	546
Eau	210
La masse d'un mètre cube du béton est de 2368 kg	

Les **Figure III-6** donnent les courbes granulométriques du sable et des deux graviers employés.



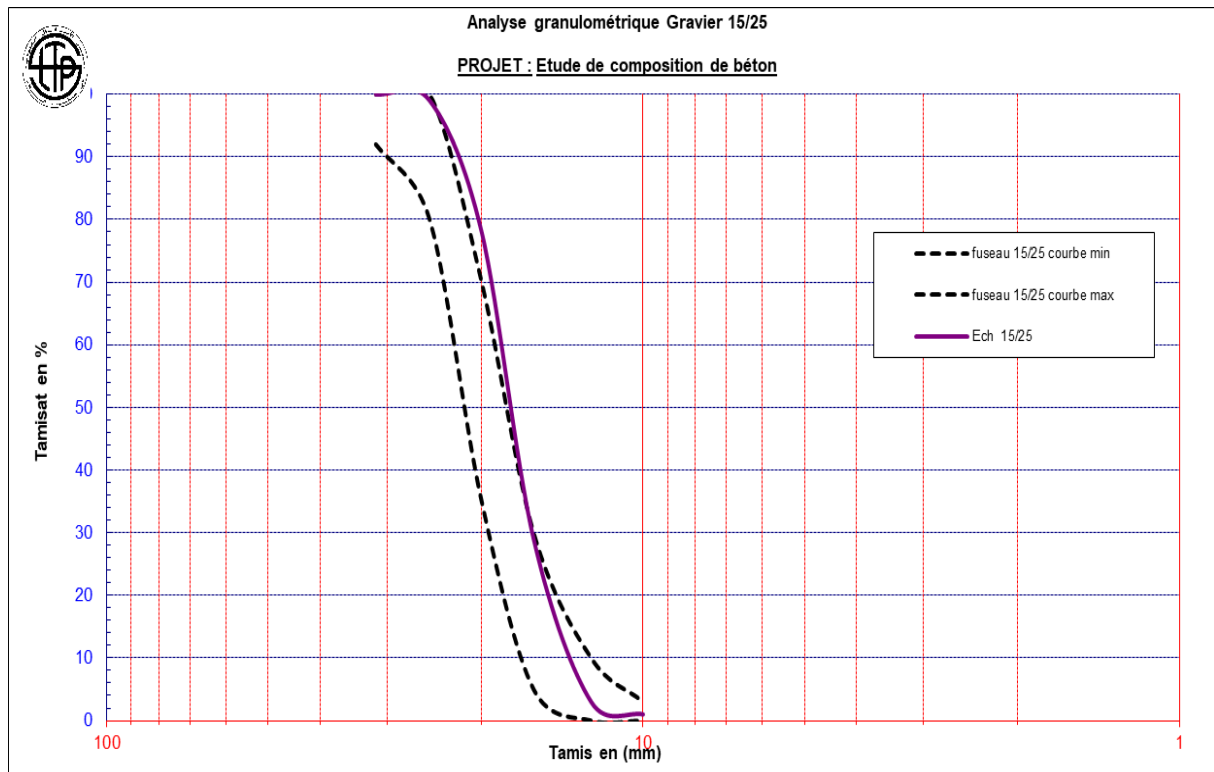


Figure III-8: Analyse granulométriques du gravier 15/25.

La composition du béton à dosage de 350 kg/m^3 est donnée sur la Figure III-9.

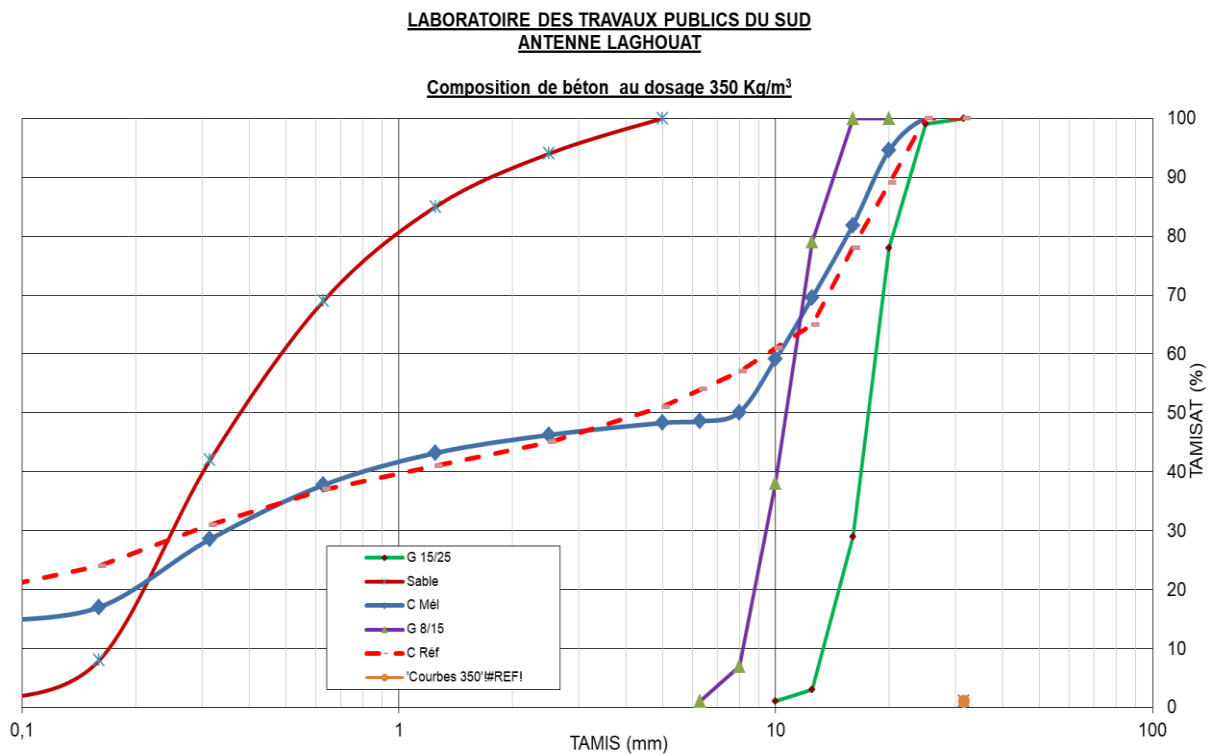


Figure III-9: Composition du béton à dosage de 350 kg/m^3

III-4 Résultats et Discussions

Les résultats de la composition du béton sont présentés sur le tableau ci-dessous pour les différentes méthodes.

Tableau III- 11: Résultats de la composition du béton par les différentes méthodes.

Constituants	Manuelles		Par logiciels (Numériques)			
	Méthode de Dreux-Gorisse	Méthode Américaine ACI	Méthode de Dreux-Gorisse		Méthode de Faury	
Ciment (kg)	350	350	350		350	
Sable 0/5 (kg)	669	782	765		712	
Granulats 8/15 (kg)	567	1203	1024	262	1092	550
Granulats 15/25 (kg)	636			830		546
Eau (litres)	203	193	203		210	
E/C	0.58	0.55	0.58		0.6	
G/S	1.8	1.3	1.43		1.54	
Affaissement (cm)	8	8	8		Béton plastique	
Masse d'un m ³ du béton (kg)	2425	2349	2410		2368	
Résistance à la compression à 28 jours R _{c28j}	A mesurer	A mesurer	A mesurer		A mesurer	

- Concernant les dosages en granulats, il est remarqué que pour un même dosage de ciment C = (350 kg), la quantité des granulats fin (sable) dans un mètre cube de béton est plus grande avec la méthode ACI, de l'ordre de (782 kg) par contre la méthode de Dreux-Gorisse manuelle a donné la valeur la plus faible qui est au voisinage de 669 kg. Alors que pour les gros granulats (G_{8/15}+G_{15/25}), les méthodes numériques Dreux-Gorisse et Faury ont donné presque la même

quantité, variant entre 1992 kg et 1996 kg. Cette quantité est beaucoup plus élevée avec la méthode Dreux-Gorrisse manuelle, elle est de l'ordre de 1203 kg.

- Il est remarqué aussi que le dosage en eau varie entre 193 litres avec la méthode ACI manuelle, qui est le plus faible volume et 210 litres, le volume, le plus élevé, en utilisant la méthode de Faury.

- Du point de vu rapport E/C, il semble très proche dans tous les cas; il est situé dans l'intervalle 0.55 - 0.6. Ce rapport paraît très satisfaisant sans l'emploi d'adjuvant, si un mélange plastique est recherché.

- Concernant le rapport G/S, il varie entre 1.3 et 1.8, la valeur la plus grande, obtenue avec la méthode de Dreux Gorisse manuelle, ce qui signifie que le béton contient plus de gros granulats dans ce cas.

- Concernant l'affaissement qui est le premier facteur majeur dans l'étude de composition du béton et qui reflète son comportement à l'état frais, les compositions trouvées par toutes les méthodes employées ont donné théoriquement des mélanges de bonne plasticité, avec un affaissement de l'ordre de 8 cm. Cet affaissement une fois vérifié par des essais au laboratoire permet d'avoir un béton de bonne maniabilité et de remplissage parfait dans le coffrage, ainsi qu'entre les barres de ferrailage dans le cas du béton armé.

- Pour la masse totale d'un mètre cube de béton calculée pour les différentes compositions, il semble qu'elle respecte parfaitement la fourchette (2200 – 2400 kg) usuellement trouvée dans les différents essais pratiques testées aux laboratoires ou sur terrain.

- Il est très important ici de signaler que ces compositions ne peuvent être adoptées en pratique, qu'après leur vérification par des essais de maniabilité, généralement par la mesure d'affaissement au cône d'Abrams, sur les gâchées au laboratoire et aussi par mesure après 3, 7, 21 ou 28 jours de durcissement, la résistance à la compression sur des cylindres 16 x32 cm ou des cubes 10x10x10 cm et qui est le deuxième facteur majeur dans une étude de composition du béton.

- La fermeture des portes du laboratoire devant les étudiants de graduation à cause des préventions sanitaires prises par mon université contre la pandémie COVID-19 que tout le monde vit est la cause principale qui m'a empêché de réaliser la partie expérimentale, qui est indispensable pour ce genre de thématiques. Mais je souhaite que mes collègues de futures promotions puissent achever ce travail.

III-5 Conclusion

Les résultats obtenus dans cette étude sont satisfaisants pour toutes les méthodes mais, il faut signaler que ces compositions ne peuvent être adoptées en pratique, qu'après leur vérification par des essais au laboratoire.

Conclusion Générale

Conclusion générale

Une surveillance générale de la qualité du béton est souhaitée durant tout le cycle de sa fabrication. Il s'agit de s'assurer que le béton, à sa sortie du malaxeur, il présente les caractéristiques déjà précisées dans le cahier des charges, malgré les variations qualitatives des constituants. L'estimation précise du dosage en eau et du dosage des autres constituants est, sans doute, l'opération principale à mener dans un premier temps. Cela n'est possible qu'à travers une étude de composition du béton. Cette recherche a pour but de voir la différence entre les compositions du béton données par différentes méthodes, soient des méthodes manuelles ou des méthodes utilisant des outils numériques, méthode de Dreux-Gorisse, méthode ACI et méthode de Faury.

Les principaux points que nous pouvons retenir comme conclusion à la fin de ce travail sont:

- Dans une étude de composition du béton, des exigences constructifs et de mise en œuvre doivent être tenues en compte pour avoir un bon mélange, conduisant à un matériau résistant et durable. Parmi ces exigences, le dosage en ciment, la qualité des granulats, le matériel de mise en œuvre, les conditions climatiques et le type d'ouvrage.
- Le rapport E/C, la granularité et la forme du granulat, l'air entraîné et la présence des adjuvants, le volume de pâte et la mise en œuvre, tous ses paramètres influent directement sur la composition du béton et par la suite sur ses propriétés et sa durabilité.
- La formulation d'un béton est basée essentiellement sur quatre points majeurs, la détermination de la dimension maximale des granulats, la détermination de la courbe granulométrique optimale du matériau, la détermination du dosage en eau et en air, en fonction de d'ouvrabilité et la détermination du dosage optimal en fines, qui sera une fraction par rapport au ciment, en fonction des objectifs de résistances mécaniques, et en respectant les prescriptions relatives à la durabilité.
- Toutes les méthodes sont à base de quelques paramètres, telle que la méthode d'Abrams, qui est basée sur le choix judicieux du module de finesse du mélange à fabriquer. Pour obtenir des bétons riches en éléments fins, résistants, maniabiles et faciles à décoffrer, tels que les bétons des travaux routiers et les bétons pompés, l'utilisation de la méthode de Bolomey est un très bon choix. La méthode de Faury est une méthode basée sur l'étude des granulats seuls, ce qui rend les calculs plus faciles, mais il reste le problème de résistance qui n'est pas pris en compte. La méthode de Dreux-Gorisse est la seule méthode qui prend en compte tous les ingrédients du béton, de ce fait elle s'approche plus de la réalité.

Conclusion générale

- Les résultats obtenus par toutes les méthodes soit manuelles ou en utilisant des outils numériques dans notre étude semblent tous acceptables et peuvent aboutir à des bétons de qualité, mais ils nécessitent une vérification par des tests au laboratoire sur la maniabilité, généralement réalisés par la mesure d'affaissement au cône d'Abrams, sur des gâchées et aussi par des tests de mesure de la résistance à la compression, réalisés sur des cylindres 16 x32 cm ou des cubes 10x10x10 cm, après 3, 7, 21 ou 28 jours de durcissement du béton.
- Il faut toujours que le constructeur met dans sa tête que non seulement l'élaboration d'une bonne étude de composition du béton conditionne sa qualité, mais sur terrain, intervient la compétence de l'exécution des travaux et s'ajoutent aussi les conditions climatiques qui influent directement la qualité du béton.

Recommandations

- Toutes les formulations trouvées dans ce travail doivent être testées au laboratoire.

Les résultats obtenus ne sont qu'une estimation, seul le personnel compétant et expérimenté qui peut déterminer la quantité exacte des ingrédients du béton, selon les exigences demandées.

Bibliographies

.Références :

Adjoudj, M, « Effet des additions minérales et organiques sur le comportement rhéologique du béton », Thèse de Doctorat, Université de Cergy-Pontoise, France et Université Hassiba Aïtcin, P-C, « Portland cement », Science and Technology of Concrete Admixtures, Elsevier, pp 27-51, 2016.

Amouri, C, « Contribution à l'étude de l'influence des différents ajouts sur les propriétés des matrices cimentaires (Caractérisation, Performances, Durabilité) », Thèse de doctorat, Université Mentouri Constantine, 2009.

Annales de l'Institut technique du bâtiment et des travaux publics. France, 1952.

Bounoua A, Boukhelkhal A, Bederina M, et Makhloufi Zr. « Durabilité des mortiers à base de sable alluvionnaire siliceux substitué par du sable calcaire de concassage vis-à-vis des agressions chimiques » Revue des Sciences et Sciences de l'ingénieur article Vol.09 N 02, 2020.

Bendjillali, Khadra « Comportement physico-mécanique du béton en zones arides : Apport du traitement de cure en climat réel de Laghouat », Thèse de Magister, Université Amar Telidji de Laghouat, Algérie, 2001.

Bendjilali, Fatiha « Study of mechanical behaviour and shrinkage of mortars reinforced by micro and macro synthetic fibers », Mémoire de Master, Université Amar Telidji de Laghouat, Algérie, 2019.

Boudchicha A, « Utilisation des additions minérales et des adjuvants fluidifiants pour l'amélioration des propriétés rhéologiques et mécaniques des bétons », Thèse de Doctorat, Université Mentouri de Constantine, Algérie 2017.

Badreddine-Bessa, A, « Etude de la contribution des additions minérales aux propriétés physiques, mécaniques et de durabilité des mortiers », Thèse de Doctorat, Université de Cergy-Pontoise, France, 2004.

Baron, J « Les bétons-bases et données pour leur formulation », Editions Eyrolles, 1996.

Baron, J, et René L, « La composition du béton hydraulique du laboratoire au chantier ». 502(471), pp 3-57, 1976.

Billberg, P, « Influence of filler characteristics on SCC Rheology and early hydration », journal pp 285-94.

Bissonnette, B, et Pigeon M, « Tensile creep at early ages of ordinary, silica fume and fiber reinforced concretes », Cement and Concrete Research, 25 (5): pp1075-10, 1995.

Boudra, S, Bensebti S, et Lassoued R, « Effet de filler calcaire sur le retrait des bétons autoplaçants », Prix Jeunes Chercheurs « René Houpert ». ISABTP/UPPA, Anglet, pp 02-08, 2015.

Bouhamou, N, Belas N, Mesbah H, Mebrouki A, et Yahia,A « Influence des paramètres de composition sur le comportement du béton autoplaçant à l'état frais », *Afrique Science: Revue Internationale des Sciences et Technologie*, 4 (1): pp 1-20, 2008.

Bouhamou, N, Belas Nadia, Mesbah H, Raoul J Ouali, A, et Mebrouki A « Influence des rapports eau/ciment et fines/ciment sur le comportement à l'état durci du béton autoplaçant à base de matériaux locaux algériens ». *Canadian Journal of Civil Engineering*, 36 (7): pp 1195-1206, 2009.

Boukli H, et, El Amine S, « Contribution à l'étude de la résistance caractéristique des bétons de la région de Tlemcen », Thèse de Doctorat, Université Abou Bekr Belkaid - Tlemcen, Algérie, 2010.

Boufedah Baddissi A, « Influence de la granularité (classe granulaire 4/22.4) sur les caractéristiques des granulats et sur les propriétés des bétons ordinaires » Mémoire de Magister Université Mentouri Constantine, Algérie, 2011.

Chelouah, N, et Boukellouda A, « Comparaison des caractéristiques mécaniques et retrait du béton en utilisant les différentes méthodes de compositions de béton » Mémoire de Magistère Université A.MIRA Bejaïa, Algérie, 2010.

Chekireb, S, « Valorisation de la poudre de verre dans le béton autoplaçant » Thèse de Doctorat. Université de Sherbrooke. Canada, 2015.

Creath, Mc, Newman JB, et Newman K « The influence of aggregate particles on the local strain distribution and fracture mechanism of cement paste during drying shrinkage and loading to failure », *Matériaux et Construction*, 2 (1), pp 73-85. 1969.

Debouba, H, Laabidi R, et Reyahi. R, « Valorisation des déchets de construction dans la fabrication du ciment ». *Algerian Journal of Environmental Science and Technology* 5(4), pp 1149-1154, 2019.

Diederich, P,« Contribution à l'étude de l'influence des propriétés des fillers calcaires sur le comportement autoplaçant du béton », Thèse de Doctorat, Université de Toulouse France, 2010.

Dreux, G, « Nouveau guide du béton », Edition Eyrollès, 1986.

Dreux, G, et Festa J, « Nouveau guide du béton et de ses constitutants », Edition Eyrolles, 1998.

DupainR, Lanchon R, et Saint a Jc,« Granulats, sols, ciments et bétons ». Edition Casteilla,.Edition Casteilla, 2004.

Hermida, G,« Influence du volume de pâte et de la concentration en ciment sur la performance du béton: vers le développement d'un béton à contenu minimal en pâte » Thèse de Doctorat L'école Normale Supérieure de Cachan France, 2008.

Ishaq, A « Tenue et comportement au feu des bétons » Thèse de magister, 2015.

- Guerzou T** « Influence de la pré-saturation des granulats recyclés sur le comportement de béton ordinaire » Thèse de doctorat Université Mohamed Boudiaf - M'SILA ,Algérie, 2019.
- Kennedy, Charles T**« The design of concrete mixes », (36): pp 373-400, 1940.
- Kosmatka, Steven H, Beatrix K, et William C Panarese**« Design and control of concrete mixtures». Portland Cement Association Skokie IL, (5420): pp 2000-1083,2002.
- Kovler, K,** « Interdependence of creep and shrinkage for concrete under tension ». Journal of materials in civil engineering 7 (2): pp 96-101 ,1995.
- Kedjour N,**«laboratoire du béton». Édition office. costantine,2009.
- Larrard, F, et Sedran Th** ,« Une nouvelle approche de la formulation des bétons » vol(6): pp 39-54, 1999.
- Lê, Ngoc Dong,** « Amélioration de la régularité du béton en production », These de Doctorat de L'école Nationale des Ponts et Chaussées, 2007.
- Neville, AM.,**« Propriétés des bétons», Editions Eyrolles, 2000
- Nkengue N, Charlène B, Narcisse M, Gilbert G, Paul, et Guy R** « Influence of Aggregate Grain Size on the Formulation of Sand Concrete in the Construction Industry in Congo ». Geomaterials, 9 (4): 81-96, 2019.
- Pliskin, L.** « Le béton ». Culture technique. N 0 26 PP 58-65, 1992.
- Petersson, O.** « Limestone powder as filler in self-compacting concrete-frost resistance and compressive strength », pp 277-84, 2001.
- Planete, TP** « CIMbéton 2009: journée technique à Lyon ». Agenda,2009.
- Poullain, Philippe** « Etude comparative de l'écoulement d'un fluide viscoplastique dans une maquette de malaxeur pour bétons: PIV, IRM et simulation numérique. », Thèse de Doctorat. Université de Nantes.France,2003.
- Richard, P. et Cheyrezy, M.,** « Composition of reactive powder concretes», Cement and Concrete Research, S8 (7), pp. 1501-1511,1995.
- Mohammed, M, Floyd, O, et Arthur, HN**« Shrinkage and creep of high-, medium-, and low-strength concretes, including overloads ». Materials Journal,84 (3), pp 224-34,1987.
- Sadok. A,** « Formulation de matériaux de construction à base de sous-produits industriels avec des méthodes issues de l'intelligence artificielle », Thèse de Doctorat Université De Lille 1 France, 2016.
- Salem N, Ltifi M, et Hédi H,** « Etude de la durabilité d'un béton à base de granulats légers d'une argile Tunisienne expansée », Le Laboratoire de Génie Civil de l'Ecole Nationale d'Ingénieurs de Tunis LGC-ENIT (13) : pp 22,2013.

Tebbal, N. « Effet de la nature des granulats sur les propriétés physico-mécaniques et durabilité d'un béton à haute performance » Thèse de doctorat Université de Mouhamed Boudiaf- M'sila , Algérie ,2017.

Utsi, S, Emborg M, et Carlsward J « Relation between workability and rheological parameters », (5), pp 154-64, 2003.

Yousfi S, « Recherche D'une Méthode Universelle De Formulation De Béton Par une Etude Stochastique Correlative »Thèse de Doctorat, Université de Houari Boumediene, Algérie ,2014.

Vallette, R. « Manuel de composition des bétons » Editions Eyrolles, 1969.

Norme :

XP P18-540 : Octobre 1997.

عنوان المذكرة: التحليل المقارن لمختلف طرق تركيب الخرسانة العادية.

المؤطر: بن جيلالي خضراء

الاسم: سمية

اللقب: تريح

ملخص

إن البحث عن صياغة خراسنة أمر في غاية الأهمية وهذا لضمان جودة المواد ومقاومة وديمومة البناية فمنذ اكتشاف العديد من الطرق لصياغة الخرسانة استعملت لتكوين هذه الأخيرة وهذا بدءا بقواعد الخلط والتوصل إلى أساليب أكثر دقة وكفاءة ومن بين هذه الطرق طريقة فالت وطريقة ابرامس وطريقة فوري وطريقة بولواي وجويسال وكاكو ودروغوريس طريقة بارون ولاساج والطريقة الأمريكية..... الخ وفي هذا العمل، سنضع مقارنة عملية لبعض الأساليب التركيبية (يدوية أو رقمية) وأكثرها استخداما من قبل شركات التصميم، مثل طريقة فوري، وطريقة درو-غوريسي، والطريقة الأمريكية. **الكلمات المفتاحية:** الخرسانة، تركيبة، منحني حجم الحبيبات، علاقة الماء والاسمنت، المقاومة، مطاوعة.طريقة دروقوريس المقاومة الميكانيكية .

Memory Title : Comparative Analysis of Ordinary Concrete Composition Method

Name : Terbah

First Name : Soumia

directed by: Bendjillali Khadra

Abstract

The search for a concrete formulation is extremely important in order to ensure a good quality of the material and subsequently to have a strong and durable structure. Since its creation, many methods have been used to determine its composition, starting with mixing rules and arriving at more precise and more efficient methods. Among these rules or saying these methods, there is the method of Valette, of Abrams, of Faury, of Bolomey, of Joisel, of Caquot, of Dreux-Gorriese, of Baron and Lesage, of ACI, the Structural Method. In this present work, we will establish a practical comparison of some composition methods (manual or digital) most used by design offices, such as the Faury method, the Dreux-Gorriese method and the American method. From ACI. according to the results obtained from this research, we think that all tested formulation method can give good concretes but it is necessary to verify in laboratory their workability and their compressive strength.

Key Words: Concrete, Composition, Grading curve, W/C Ratio, workability, mechanical strength

Titre du Mémoire : Analyse Comparative de Méthode de Composition du Béton Ordinaire.

Name : Terbah

Prénom : Soumia

Encadreur : Bendjillali Khadra

Résumé

La recherche d'une formulation de béton est une tâche extrêmement importante afin d'assurer une bonne qualité du matériau et par la suite avoir une structure résistante et durable. Depuis sa création, de nombreuses méthodes ont été utilisées pour déterminer sa composition, en démarrant par des règles de mélange et en arrivant à des méthodes plus précises et plus performantes. Parmi ces règles ou disant ces méthodes, il existe la méthode de Valette, d'Abrams, de Faury, de Bolomey, de Joisel, de Caquot, de Dreux-Gorriese, de Baron et Lesage, d'ACI, la Méthode Structurale,... Dans ce présent travail, nous allons établir une comparaison pratique de quelques méthodes de composition (manuelles ou numériques) les plus utilisées par les bureaux d'étude, telles que la méthode de Faury, la méthode de Dreux-Gorriese et la méthode américaine d'ACI. Selon les résultats obtenus de cette recherche, il semble que tous les méthodes de formulation testes dans ce travail peuvent aboutir à des bétons de qualité et durables sauf qu'il faut amener des tests au laboratoire pour vérifier leur maniabilité et leur résistance à la compression

Mots clés

Béton, Composition, méthode de Dreux gorriese ,Courbe granulométrique, Rapport E/C, Maniabilité, Résistance.