

ETUDE COMPARATIVE DE METHODES DE FORMULATION DU BETON

1. Introduction

La composition du béton a pour but de déterminer les proportions des divers constituants (ciment, eau, sable et gravier ou pierres concassées) conduisant à des bétons dont l'ouvrabilité est compatible avec les moyens de mise en oeuvre et qui possédera, après durcissement, les meilleures caractéristiques (bonne étanchéité, résistance mécanique élevée, faible retrait, etc...). Plusieurs méthodes de composition [1, 2, 3] sont proposées par des spécialistes de renom, tels que Bolomey, Faury, Valette, Dreux Gorisse et Scramtaïev, etc...

Quelle que soit la méthode utilisée, la composition du mélange calculée ne peut correspondre parfaitement au béton désiré, car il n'est pas possible d'appréhender avec précision la composition du béton, ceci peut être dû à la qualité des constituants qui influent sur la qualité du béton : forme, angularité, porosité, types de granulats, finesse de mouture et classe de résistance vraie du ciment, etc...

La détermination de la composition du mélange de béton n'est qu'une première approche de préparation de mélanges d'essais qui permettront de corriger expérimentalement la composition calculée pour aboutir au béton désiré.

2. Méthode de formulation du béton

L'étude de la composition du béton a pour but de déterminer le dosage en ciment, granulats (agré-gats fins : sable et gros agrégats : gravier ou pierres concassées) et en eau pour un dosage de 1 m^3 de béton frais, afin d'obtenir un mélange homogène et d'une compacité élevée, ainsi qu'une résistance mécanique voulue (exigée).

2.1 Méthode de Dreux Gorisse

Cette méthode a pour but de définir d'une façon simple et rapide une formule de composition à peu près adaptée au béton étudié, mais seules quelques gachées d'essai et la confection d'éprouvettes permettront d'ajuster au mieux la composition à adopter définitivement en fonction des qualités souhaitées et des matériaux ef-

fectivement utilisés.

Toutes ces méthodes pratiques de calcul du mélange du béton reposent sur des règles empiriques dérivant des recherches expérimentales. Ces règles sont fondées sur certaines hypothèses concernant les propriétés des matériaux utilisés [1, 2].

Les quatre critères de base de cette méthode sont :

- L'ouvrabilité ou la plasticité désirée est fixée par l'affaissement au cône. Elle dépend :
- de la nature de l'ouvrage, de la difficulté de bétonnage, des moyens de serrage, etc...
- La résistance souhaitée R'_{28} (rupture en compression à 28 jours) est prise égale pour la valeur moyenne visée à la résistance caractéristique demandée majorée de 15 %.

$$R'_{28} > R'_n$$

$$R'_{28} = 1,15 \cdot R'_n$$

$$R'_{28} = G \cdot R'_c [(C/E)-0,5]$$

"formule de Bolomey"

avec :

- R'_{28} : résistance moyenne désirée (à 28 jours) en bars,
- G : coefficient granulair, e,
- R'_c : classe vraie du ciment (à 28 jours) en bars,
- C : dosage en ciment en Kg/m^3 ,
- E : dosage en eau sur matériaux secs en l/m^3 .

- La dimension maximale D_{max} des granulats doit être fixée en premier lieu.
- La nature du ciment à utiliser doit tenir compte de l'agressivité du milieu ambiant.

Cette méthode est une synthèse de ce qui nous est apparu comme le plus valable et le plus intéressant dans les méthodes existantes connues (Faury, Bolomey, etc...).

2.2 Méthode de Scramtaïev

Cette méthode est appelée la méthode des vo-

A. NACERI
Université de M'sila

RÉSUMÉ

Le travail présenté dans cet article porte sur l'étude de l'influence de la composition du béton sur la réponse mécanique à la compression. Il présente une étude comparative de méthodes de formulation du béton.

L'étude de la composition du béton consiste à définir le mélange optimal des différents granulats (sable, pierres roulées ou concassées), ainsi que le dosage en ciment et en eau, afin de réaliser un béton donné. Elle a pour but d'établir les dépenses en matières premières pour un mètre cube de béton frais.

Deux critères essentiels doivent guider cette étude, la résistance à obtenir et l'ouvrabilité soit la facilité de mise en oeuvre.

De nombreuses méthodes existent pour composer un béton à partir des matières premières dont on dispose, signalons néanmoins dès à présent qu'aucune d'entre elles n'aboutit à coup sûr à une formulation exacte directement applicable aux chantiers.

L'intérêt de cette étude expérimentale était de choisir la méthode la plus convenable pour répondre aux déficits enregistrés en matériaux de construction afin

d'obtenir une composition du mélange de béton possédant les propriétés désirées.

En conclusion, nous avons comparé les résultats des essais effectués des principales méthodes étudiées dans le domaine de la pratique à savoir la méthode de Dreux-Gorisse, la méthode de Scramtaïev et la méthode Structurale.

MOTS CLÉS

Méthodes de formulation du béton • matériaux de construction • essais expérimentaux.

lume absolu ou méthode de Scramtaïev.

Le principe de cette méthode est le suivant : la somme des volumes absolus de tous les matériaux composants pour un dosage de 1 m³ de béton frais est égale 1000 litres [3].

$$[(C/\gamma_c)+(E/\gamma_e)+(S/\gamma_s)+(G/\gamma_g)]=1000$$

avec :

C, E, S et G : dépenses en ciment, eau, sable et gravier en (Kg/m³),

γ_c , γ_e , γ_s et γ_g : masses spécifiques ou masses volumiques absolues du ciment, eau, sable et gravier en (Kg/l).

La composition du béton, c'est-à-dire la dépense (quantité) de ciment, d'eau, de sable et de gravier ou pierres concassées est établie approximativement par calcul, ensuite elle est précisée par la méthode d'essai de dosages expérimentaux de mélange du béton.

2.3 Méthode structurale

La théorie structurale du béton présente la dépendance qui existe entre les propriétés du mélange de béton frais et du béton durci en fonction des caractéristiques structurales. Elle permet d'utiliser au cours de l'élaboration de la composition du mélange de béton les "modèles mathématiques" [4, 5].

La formalisation de la structure du béton qui est nécessaire pour l'élaboration des modèles mathématiques "propriétés-composition" prévoit l'établissement de trois caractéristiques de base qui déterminent les propriétés du béton, ce sont :

- la concentration volumique de la pâte de ciment dans le béton (Kc),
- le rapport eau-ciment vrai (Wc),
- le degré d'hydratation du ciment (a).

La valeur Kc exprime le rapport volumique entre la pâte de ciment et les agrégats (caractéristique macrostructurale). Les valeurs Wc et a ensemble déterminent le volume et le type ou le caractère des vides dans le béton, c'est-à-dire ils

caractérisent la microstructure du béton.

Les facteurs Kc et Wc caractérisent non seulement la structure mais aussi la composition du béton, parce que la concentration volumique des agrégats Kg et dépense en ciment C sont reliés par la relation :

$$K_g = 1 - K_c$$

où :

$$K_c = \frac{C}{1000} [(1/\gamma_c) + W_c]$$

Les propriétés du béton dépendent étroitement de la structure et de la qualité des matières premières, on peut alors apprécier l'influence de la qualité des agrégats sur les propriétés du béton en préparant des bétons avec les mêmes caractéristiques structurales mais à base d'agrégats différents.

3. Matériaux utilisés

3.1 Granulats fins (Sable)

Le sable utilisé dans cette étude provient des abords de l'oued Maïter. Cet oued est situé entre les collines de Boussâada, entre lesquelles souffle un vent provenant du sud chargé de grains fins.

L'avancée du désert a permis donc au fil des ans le dépôt du sable dans l'oued, qui par la suite a assuré son transport et son étalement.

Ce sable est d'origine éolienne, c'est un sable de dune, à grains fins.

3.2 Gros granulats (Pierres concassées)

Les pierres concassées utilisées pour la confection du béton sont obtenues par concassage de la roche d'une carrière située à 25 Km de M'sila en allant vers B.B.A (carrière de COSIDER).

Les pourcentages des fractions utilisés sont : 30 % (3/8) et 70 % (8/15).

Ce mélange a donné une compacité maximale (porosité minimale), ce qui assure un dosage minimal en ciment et en eau dans le béton.

Matériaux utilisés	Masse spécifique [γ] en (Kg/l)	Masse volumique [ρ] en (Kg/l)	Module de finesse M _r	Equivalent de sable (ESP/ESV)	Porosité [P] en (%)
Sable	2,58	1,50	1,73	74/76	42
Pierres concassées (3/15)	2,60	1,38	-	-	47
Ciment	3,06	1,10	-	-	64

Tableau 1 : Caractéristiques physiques des matériaux utilisés

Méthodes utilisées	Dreux-Gorisse	Scramtaïev	Structurale
Classe du béton	250	250	250
Dénomination des méthodes	A	B	B'
Dosage en ciment (Kg/m ³)	400	308	318
Dosage en sable (Kg/m ³)	632	623	485
Dosage en pierres concassées (Kg/m ³)	1159	1182	1182
Dosage en eau (l/m ³)	198	200	250

Tableau 2 : Composition théorique des bétons étudiés.

3.3 Liant hydraulique (Ciment)

Le liant hydraulique utilisé est un ciment portland artificiel fabriqué à la cimenterie de Ain-Touta (Wilaya de Batna), il est commercialisé comme étant un C.P.A 325.

Les principales caractéristiques physiques des matériaux utilisés sont regroupées dans le tableau 1.

4. Résultats expérimentaux

4.1 Fluidité (ouvrabilité) du béton frais

La fluidité du mélange (béton frais) est évaluée par sa capacité de couler sous l'action de son poids propre ou d'une vibration.

Cette caractéristique est déterminée au moyen du cône d'Abrams. Cet essai, assez simple, est le plus fréquemment utilisé. Il consiste à remplir un moule tronconique (D = 20 cm, d = 10 cm et h = 30 cm) par du béton frais. Le remplissage est réalisé en trois couches compactées avec une tige métallique de 16 mm de diamètre à raison de 25 coups par couche. A la suite de cela le moule est soulevé avec une grande précaution pour mesurer ainsi l'affaissement.

Le contrôle expérimentale de la fluidité désirée nous a permis d'effectuer un certain nombre de correction concernant la composition des trois bétons étudiés.

Les tableaux 2 et 3 présentent les compositions théoriques et pratiques des bétons étudiés.

4.2 Masse volumique du béton à différents âges

L'on détermine la masse volumique après avoir retiré les éprouvettes des bacs et les avoir laissées à l'air libre 20 minutes afin qu'elles aient une humidité normale.

Juste avant l'écrasement aux différents âges, on détermine la masse volumique en pesant l'éprouvette. La masse volumique est donnée par la relation suivante :

$$\rho = \frac{m}{V}$$

Méthodes utilisées	Dreux-Gorisse	Scramtaïev	Structurale
Classe du béton	250	250	250
Dénomination des méthodes	A	B	B'
Dosage en ciment (Kg/m ³)	400	308	318
Dosage en sable (Kg/m ³)	632	623	485
Dosage en pierres concassées (Kg/m ³)	1159	1182	1182
Dosage en eau (l/m ³)	223	208	200

Tableau 3 : Composition pratique (corrigée) des bétons étudiés.

avec :

m : masse de l'éprouvette,
V : volume de l'éprouvette.

Les résultats obtenus sont regroupés dans le tableau 4.

Dénomination des méthodes	Classe du béton (bars)	ρ ₁ (Kg/m ³)	ρ ₂ (Kg/m ³)	ρ ₃ (Kg/m ³)	ρ ₃ (Kg/m ³)
A	250	2328	2355	2358	2362
B	250	2337	2360	2362	2365
B'	250	2361	2382	2384	2388

Tableau 4 : Masses volumiques des bétons étudiés.

4.3 Résistance mécanique à la compression

Le béton résiste le mieux à la compression et cet indice sert de caractéristique principale des propriétés mécaniques des bétons. Pour cette raison on ne s'intéresse qu'à l'étude du comportement du béton à la compression.

L'essai s'effectue sur des éprouvettes cubiques de dimensions 10 x 10 x 10 cm³. La presse utilisée est une machine de type "STRASSEN-TEST" de capacité maximale de 1500 KN et à une vitesse de chargement allant de 0 à 10 Kg/f/s. Avant l'écrasement, les éprouvettes sont retirées de l'eau et exposées à l'air libre pendant une heure pour qu'elles acquièrent l'état normal d'humidité.

L'écrasement s'effectue en respectant les règles suivantes :

- l'éprouvette doit être centrée sur le plateau de la presse,
- la charge doit être appliquée d'une manière continue et uniforme jusqu'à la rupture de l'éprouvette.

A la rupture l'on effectue la lecture de la charge P, la résistance à la compression est donnée par la relation suivante :

$$R_c = \frac{P}{S}$$

où :

- R_c : résistance à la compression,
- P : charge de rupture,
- S : section de l'éprouvette.

Les essais de résistance à la compression se font à l'âge de 7, 14 et 28 jours. Les résultats obtenus sont regroupés dans le tableau 5.

5. Discussion des résultats

En conclusion finale, on peut dire que la réponse mécanique du béton en compression dépend essentiellement de la composition du mélange choisie.

L'analyse des tableaux 4 et 5 et figures 1 et 2 nous a permis de tirer les conclusions suivantes :

Dénomination des méthodes	Classe du béton (bars)	R ₇ (bars)	R ₁₄ (bars)	R ₂₈ (bars)
A	250	322	355	405
B	250	228	260	293
B'	250	220	253	319

5.1 Masse volumique du béton à différents âges

On observe une augmentation significative de la masse volumique en fonction du temps pendant les époques I et II (délais de durcissement), ceci est dû essentiellement à l'hydratation et à l'absorption.

L'analyse de la quantité d'eau absorbée par le matériau a permis de préciser les remarques principales suivantes :

- absorption d'eau rapide pendant l'époque I (0-7 jours) : forte augmentation de la masse volumique en fonction du temps,
- absorption d'eau légère pendant l'époque II (7-

28 jours) : faible augmentation de la masse volumique en fonction du temps.

5.2 Résistance mécanique à la compression

Dans cette analyse on a jugé nécessaire de discuter les résultats obtenus des trois méthodes utilisées en deux parties :

- étude de l'évolution de la résistance mécanique du béton à la compression dans le temps,
- évaluation de la résistance du béton à la compression en fonction de la masse volumique à l'âge de 7, 14 et 28 jours de durcissement.

Pour l'analyse de l'accroissement de la résistance à la compression dans le temps, on a tracé les courbes représentant la résistance des bétons étudiés en fonction des délais de durcissement (Figure 1).

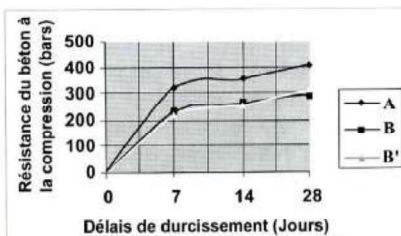


Figure 1 : Résistance mécanique à la compression en fonction des délais de durcissement.

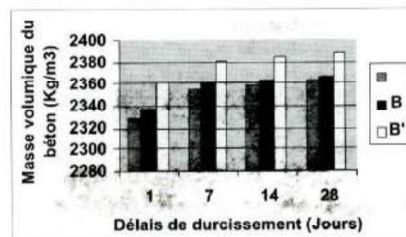


Figure 2 : Masse volumique en fonction des délais de durcissement.

Cette figure montre clairement que l'accroissement de la résistance mécanique dans le temps a

Tableau 5 : Réponses mécaniques des bétons étudiés.

une forme hyperbolique. Cet accroissement est nettement plus rapide dans l'intervalle (0-7 jours) que dans l'intervalle (7-28 jours).

D'après la courbe donnant la variation de la résistance à la compression dans le temps, on constate que la résistance mécanique augmente au cours du temps pour les trois types de bétons testés.

Cette augmentation est meilleure pour le béton de type A (méthode de Dreux-Gorisse) que pour les deux autres méthodes B et B' (Scramtaïev et structurale), cela est dû, à la différence de proportion de ciment (dosage en ciment) entrant dans la composition du béton.

On remarque, que pour tous les bétons testés (figure 2), il ya toujours une amélioration de la résistance quel que soit le dosage utilisé. D'après cette figure on confirme que la performance reste toujours meilleure pour le béton de type A (méthode de Dreux-Gorisse) que pour les deux autres méthodes (types B et B').

6. Conclusion

Face à l'ampleur des déficits enregistrés en matériaux de construction et à l'urgence des besoins, la recherche d'une méthode efficace pour la détermination de la composition du mélange de béton touchant de près ou de loin le domaine de génie civil s'impose. La recherche scientifique et technique ainsi que la bonne maîtrise des méthodes de détermination de la composition du béton notamment au niveau des entreprises de construction deviennent donc indispensables afin de contribuer à l'effort national de développement.

Les résultats obtenus dans le cadre de cette étude sont valables pour les matériaux et conditions utilisées, mais donnent des informations satisfaisantes sur les méthodes utilisées.

Finalement, nous pouvons dire que la méthode de Dreux-Gorisse peut être utilisée avec un grand intérêt pour la confection du béton désiré (performance mécanique élevée) à base de matériaux locaux (sable fin de Boussâada et pierres concassées d'El-Euch) ■

BIBLIOGRAPHIE

- [1] Dreux G., 1981, "Nouveau guide du béton", Eyrolles, Paris, 1981.
- [2] Vénuat M., 1969, "Ciments et bétons", Presses Universitaires de France, Paris, 1969.
- [3]- Kômar A., 1978, "Matériaux et éléments de construction", Mir, Moscou, 1978.
- [4] Nacéri A., 1985, "Calcul de la composition du béton par la méthode structurale", XI conférence scientifique des étudiants, Université de Annaba, 1985.
- [5] Rémadnia A., 1986, "Etude de l'influence de la qualité des granulats locaux sur les propriétés des mélanges du béton frais et durci", Thèse de Magister, Université de Annaba, 1986.