Experimental Study on Ready-Mix Concrete: Case Study

Étude expérimentale sur un béton prêt à l'emploi: Étude de cas

Dorra ELLOUZE¹, Aida GHAMMOURI¹, Rahma BEN AMAR¹

¹ ISET SFAX, Département génie civil, Sfax, Tunisie
dorra_ellouze@yahoo.fr

Abstract. Ready-mix concrete (RMC) in Tunisia is becoming more and more in demand in the civil engineering sector thanks to its qualities of handling in the fresh state and resistance in the hardened state, this composite material must respect the quality-price ratio. A RMC with a minimal cost is the object of our work. This research is part of the opening of higher education on professional life, where we optimized the formulation of a RMC. This work has 3 axes. In the first place the resources in building materials were characterized, namely various samples of sand, gravel, cement and water. Subsequently, the adjuvant-cement ratio (A/C) was optimized. Finally, the workability of the concrete as well as its mechanical aptitude at various ages 7, 14 and 28 days were characterized. These examinations have resulted in an appropriate formulation for any type of resource that varies according to the provenance of the quarries (gravel and sand), the effect of the plasticizer-water reducer is found for a very interesting A/C ratio, the mechanical tests for different ages are also conclusive.

Résumé. Le béton prêt à l'emploi en Tunisie devient de plus en plus demandé dans le secteur génie civil grâce à ses qualités de maniabilité à l'état frais et de résistance à l'état durci. Ce matériau composite doit respecter le rapport qualité-prix. Un béton BPE compact avec un coût minimal est l'objet de notre travail. Cette recherche s'inscrit dans le cadre de l'ouverture de l'enseignement supérieur sur la vie professionnelle, où on a optimisé la formulation d'un béton BPE. Ce travail comporte 3 axes. En premier lieu on a caractérisé les ressources en matériaux de construction à savoir de divers échantillons de sable, gravier, ciment et eau, puis on a optimisé le rapport adjuvant-ciment. Enfin on a caractérisé l'ouvrabilité du béton ainsi que son aptitude mécanique à différents âges 7j, 14j, 28j. Ces examens ont abouti à une formulation adéquate pour tout type de ressource qui varie selon la provenance des carrières (gravier et sable), l'effet du plastifiant-réducteur d'eau est trouvé pour un rapport A/C très intéressant, les essais mécaniques pour les différents âges sont aussi concluants.

1 Introduction

Le béton est le matériau le plus utilisé sur le marché grâce à ses performances et sa souplesse d'emploi. Il a mérité sa place pour ses multiples caractéristiques et pour la diversité qu'il permet dans les formes, les teintes et les textures. L'appellation « Béton Prêt à l'Emploi » (BPE) est réservée au béton préparé en usine dans des centrales et transporté jusqu'au lieu d'utilisation. Les centrales de BPE peuvent livrer les bétons les mieux adaptés, dont les caractéristiques font l'objet d'un suivi grâce à des contrôles de laboratoire, qui permettent de s'assurer également de la conformité des constituants. Notre recherche s'inscrit dans ce cadre, elle a pour but de s'ouvrir sur le milieu industriel par le biais d'une convention avec une centrale à béton pour

l'élaboration d'une formulation de béton satisfaisant l'exigence des clients de la centrale.

Un bon béton doit être compact et par la suite résistant à l'état durci et ouvrable à l'état frais, notre travail a été basé sur ces deux caractéristiques. Le but étant de trouver un béton qui résiste bien à la compression tout en garantissant une ouvrabilité qui lui permet d'être pompable. La démarche adoptée dans cette étude, est décomposée en quatre phases distinctes. On commencera par une caractérisation des matériaux utilisés afin de connaître leurs propriétés et pour pouvoir les utiliser judicieusement, on passera en deuxième étape à l'optimisation du pourcentage de l'adjuvant utilisé, on présentera dans cette partie le rapport adjuvant-ciment optimal de plusieurs types de ciments pour mettre en évidence l'effet de composition chimique du ciment sur sa réaction avec l'adjuvant. On

présentera en troisième lieu une analyse des résultats de la formulation et des essais réalisés. On finira par une conclusion

2 Identification des matériaux

Pour pouvoir utiliser efficacement les matériaux de construction, il est indispensable de savoir leurs caractéristiques.

2.1 Granulats

La caractérisation se fait par la détermination des propriétés intrinsèques, liées à la nature minéralogique de la roche et à la qualité du gisement et des caractéristiques de fabrication, liées aux procédés d'exploitation et de production des granulats. Tous les essais ont été réalisés en se référant à la norme française européenne, on indiquera pour chaque essai le numéro de la norme. Les propriétés physiques et mécaniques des granulats utilisés pour la formulation sont présentées dans le tableau 1.

Essais	Mapp (g/cm ³)	Mabs (g/cm ³)	Es (%)	Micr o Deval (%)	LA (%)	Apl a (%)	Abs (%)
Norme	NF EN 1097-6 [1]	NF EN 1097-6 [1]	NF EN 933-8 [2]	NF EN 1097-1 [3]	NF EN 1097-2 [4]	NF EN 933-3 [5]	NF EN 1097-6 [1]
Sable	1.54	2.5	91	-	-	-	-
Gravier 4/12	1.55	2.56	-	15	21	8	0.5
Gravier 12/20	1.58	2.6	-	15	21	8	0.5

Tableau 1. Propriétés physiques et mécaniques des granulats

L'essai de l'analyse granulométrique est réalisé selon la norme [NF EN 933-1] [6] sur les granulats objet de la formulation, le gravier utilisé est divisé en deux classes granulaires 4/12 et 12/20 ayant la même provenance carrière Fayedh, pour le sable utilisé c'est un sable fin de module de finesse 1.86 et de classe granulaire 0/5 il a comme provenance carrière Wesletia le résultat de l'analyse granulométrique est donné par la figure 1

Fig. 1. Courbes d'analyse granulométrique des graviers et du sable

2.1 Ciment

Le choix du type de ciment et son dosage dépendent à la fois des performances recherchées et de la nature des autres composants. On se propose de confectionner un béton courant, en utilisant un ciment dont la provenance est cimenterie Kairouan de type CEM I et de classe de résistance 42,5. Les essais réalisés sur le ciment sont optés pour déterminer sa masse volumique absolue et apparente et pour vérifier sa classe vraie, le tableau 2 fournit les résultats de différents essais réalisés.

Tableau 2. Propriétés physiques et mécaniques du ciment 1

Essais	Masse volumique apparente (g/cm ³)	Masse volumique absolue (g/cm ³)	Classe vraie de la résistance (MPa)
Norme	NF EN 196-1 [7]	NF EN 196-1 [7]	NF EN 196-1 [7]
Résultat	1.04	3.11	42.9

3 Optimisation du dosage en adjuvant

L'ajout d'un adjuvant plastifiant-réducteur d'eau permet d'améliorer l'ouvrabilité du béton tout en réduisant la quantité d'eau. Le but est de déterminer le dosage optimum d'adjuvant pour une quantité de ciment donnée et d'étudier la variation de fluidité en cas de changement de type de ciment puisque le dosage optimal en adjuvant varie selon sa composition chimique du ciment [8].

L'essai Cône de Marsh permet de déterminer le dosage optimum d'adjuvant [9], lorsque la quantité d'adjuvant augmente, la fluidité de la pâte augmente, le but étant de trouver le rapport noté A/C (Adjuvant/Ciment) pour lequel la pâte est saturée en adjuvant et au-delà duquel la fluidité n'augmente plus. Du point de vue économique, on a intérêt à utiliser le moins d'adjuvant possible. L'essai est répété après 60 minutes pour voir l'effet du temps de transport sur la perte de fluidité. On a testé 3 types de ciments de différentes provenances. On a étudié cet effet sur le ciment 1 de provenance cimenterie Kairouan, ciment 2 de provenance cimenterie Jebel Elwest, ciment 3 de provenance cimenterie Carthage. Les résultats sont présentés dans le tableau 3.

	Ciment 1		Ciment 2		Ciment 3	
%A/C	T0+5 min	T0+60 min	T0+5 min	T0+60 min	T0+5 min	T0+60 min
0	8,18	8,37	8,37	9,05	8,76	8,91
1,6	7,79	8,09	7,99	8,5	7,7	8,2
2,4	7,57	7,89	7,79	8,27	7,16	7,61
3,5	7,4	7,68	7,5	7,97	7,3	7,68
4	7,61	8,02	8,01	8,42	7,79	7,98
4,8	7,58	8	7,89	8,2	7,55	7,8

Tableau 3. Résultats d'Essai cône de MARSH à 5 et 60 min.

4 Résultats et interprétation

Cette étude de cas propose une formulation optimale dans les constituants d'un BPE dosé à 350 kg/m³ en utilisant un adjuvant (plastifiant-réducteur d'eau), il en résulte des performances mécaniques qui dépassent 40 MPa à 28 jours à l'état durci et une meilleure fluidité à l'état frais.

4.1 Formulation du béton BPE

On se propose dans cette partie de déterminer la composition d'un béton prêt à l'emploi satisfaisant l'exigence de la centrale ayant une valeur d'affaissement égale à 16 cm (A= 16 cm) et une valeur de résistance à 28 jours est 30 MPa en utilisant un adjuvant local nommé « SIKA BV40 » qui est un plastifiant-réducteur d'eau. L'étude de la composition d'un béton vise 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, la méthode utilisée pour la formulation est celle de Dreux Gorisse [10]. Le choix de la méthode est expliqué par sa simplicité à définir une formule de composition adaptée au béton étudié. Nous avons confectionné 12 éprouvettes de dimensions 16x32 en cm pour l'écrasement à différents âges (7 jours, 14 jours et 28 jours). Pour s'assurer de l'obtention de la valeur d'affaissement souhaitée nous avons réalisé l'essai de cône d'Abrams.

4.2 Résultats

Le travail a été élaboré suivant le plan expérimental suivant :

- La formulation d'un béton prêt à l'emploi qui satisfait les exigences souhaitées à l'état frais et durci
- L'optimisation du pourcentage de l'adjuvant utilisé, en étudiant le rapport adjuvant-ciment optimal de plusieurs types de ciments.

Les résultats seront présentés selon cette démarche.

4.2.1 Béton frais

Le béton doit être ouvrable pour faciliter sa mise en place, l'essai de cône d'Abrams permet de renseigner sur la valeur d'affaissement, en tenant compte des résultats souhaités pour le béton et la qualité des granulats utilisés et la nature de ciment pour la formulation, le résultat d'affaissement trouvé A = 16 cm, ce qui vérifie l'exigence de la centrale pour un béton pompable. [11]

4.2.2 Béton durci

La résistance à la compression est vérifiée par l'essai d'écrasement [12], Les résultats de l'essai sur des éprouvettes cylindriques 16x32 en cm sont données par le tableau 4, on note Ep pour désigner une éprouvette.

Tableau 4. Résultats d'essai de compression à différents âges

Age	7j		14j		28j	
	Masse Kg	f _c MPa	Masse kg	f _c MPa	Masse kg	f _c MPa
Ep1	15,99	24,3	15,91	31,5	15,88	46,58
Ep2	15,70	21,6	15,83	32	15,94	44,23
Ep3	15,50	23,6	15,83	32,1	15,89	41,09
		23,73		29,87		43,96

Les valeurs de résistance à la compression obtenues à 7j, 14j, 28 jours montrent l'obtention de bonnes valeurs souhaitées et même un dépassement léger, ainsi l'étude expérimentale était concluante, comme le montre la figure 2, une aptitude mécanique à 28j égale 44 MPa, une valeur supérieure à celle proposée dans les hypothèses de formulation (30 MPa), ceci est expliqué par la bonne formulation dans les conditions expérimentales dans un laboratoire, ainsi que l'impact de l'optimisation de l'adjuvant BV40 dans le processus de durcissement.

Fig. 2. Evolution de la résistance à la compression de 7 j à 28 j

Avec la formulation décrite précédemment on a obtenu un béton durci ayant un excellent comportement mécanique, en effet la résistance à la compression a atteint presque sa moitié (52%) à 7j, on remarque ainsi une vitesse de durcissement rapide accompagné d'augmentation de la résistance à la compression, 20% de cette résistance est obtenue entre 7j et 14j, et 28% de l'aptitude mécanique est obtenue entre 14 j à 28 jours (cf. Figure 3).

Fig. 3. Pourcentage d'évolution de la résistance à la compression de 7 j à 28 j

4.2.3 Optimisation de l'adjuvant

Les résultats représentés sur les figures 4, 5 et 6 nous aident à analyser la fluidité d'un coulis de ciment (ciment adjuvant Sika BV40), la figure 4 présente la courbe d'écoulement d'un coulis de ciment fait avec le ciment 1 de provenance cimenterie Kairouan, les figures 5 et 6 représentent les courbes d'écoulement de deux autres ciments utilisés sur le marché Tunisien, de même type CEM I et classe vraie que la premier ciment (42.5 N), ils diffèrent uniquement par leurs compositions chimiques vue leurs différentes provenances. [7]

Fig. 4. Résultats essai cône de MARSH pour le ciment 1

Fig. 5. Résultats essai cône de MARSH pour le ciment 2

Fig. 6. Résultats essai cône de MARSH pour le ciment 3

Les courbes obtenues dans les figures 4, 5 et 6 nous renseignent sur des critères qui décrivent le comportement rhéologique de la combinaison ciment - adjuvant étudiée.

Le premier critère est que le dosage critique correspondant au point de saturation, c'est une brisure dans la courbe de temps de fluidité/dosage en plastifiant :
Ciment 1 : le dosage critique égale 3,5% (cf. Figure 4)
Ciment 2 : le dosage critique égale 3,2% (cf. Figure 5)
Ciment 3 : le dosage critique égale 2,4% (cf. Figure 6)

Le deuxième critère affirme que le degré de fluidité atteint pour ce dosage critique, dépend en termes de temps d'écoulement du type de ciment utilisé. Autrement dit, pour l'évolution dans le temps de la fluidité de la combinaison ciment-plastifiant et pour les 3 types de ciment, on remarque une position relative des deux courbes à 5 minutes et à 60 minutes.

Un troisième critère paraît opportun, c'est que l'adjuvant joue son rôle inverse en cas de dépassement du point critique, il était un accélérateur de prise, il devient retardateur de prise si on dépasse le pourcentage A/C critique.

Un couple ciment-plastifiant est dit compatible lorsqu'à un dosage approprié il atteint une bonne fluidité à 5 minutes et ne subit pas de perte considérable de cette fluidité à 60 minutes [13]. Pour notre cas de formulation, avec le ciment type 1, cette compatibilité est excellente car au voisinage d'un dosage A/C=3,5%, on a une perte de fluidité de l'ordre de 4% (cf. Figure 7). Les ciments 2 et 3 présentent une bonne compatibilité avec l'adjuvant comme c'est illustré à 5 min et à 60min, on trouve une perte qui ne dépasse pas 6% au voisinage du dosage critique A/C.

Pour récapituler, un coulis est dit stable s'il conserve sa fluidité aussi longtemps que possible. La perte de la fluidité d'un coulis est caractérisée par la différence du temps d'écoulement enregistrée à 5 et à 60 minutes (cf. Figure 7). Les résultats illustrés sur la figure 7 montrent que la perte de fluidité diminue avec le dosage en plastifiant et se stabilise avec l'augmentation du dosage en plastifiant. Cela est aussi justifié et trouvé dans divers travaux de recherches fait sur des bétons et des coulis à savoir O. Benjeddou et al.2016, F.taieb et al. 2017 [8, 13, 14,15].

Fig. 7. Perte de fluidité pour différents dosages A/C

5 Conclusions

L'objectif de ce projet est atteint par l'optimisation de la quantité d'adjuvant utilisé dans un BPE d'une centrale à béton sis à Sfax-Tunisie, les résultats trouvés à l'échelle mécaniques sont excellents avec une $f_{c28}=44$ MPa. Sachant que les méthodes de formulation de béton dans la centrale différent de celle dans un laboratoire, alors il faut tenir compte de l'influence de la teneur en eau des granulats et leurs propriétés lors de la formulation. Il faut faire quelques gâchées d'essais pour la confection des éprouvettes permettant d'ajuster au mieux la composition à adopter définitivement.

La méthode de mesure de la fluidité par le cône de Marsh est un moyen efficace pour une première sélection du couple ciment-plastifiant, susceptible d'être utilisé pour la confection d'un béton prêt à l'emploi. La fluidité du coulis est très liée à la composition du ciment et au type de l'addition minérale présente dans sa composition.

Références

1. NF EN 1097-6 (Janvier 2014) : *Essais pour déterminer les caractéristiques mécaniques des granulats et physiques des granulats - Partie 6 : détermination de la masse volumique réelle et du coefficient d'absorption d'eau*
2. NF EN 933-8/IN1 (Juillet 2015) : *Essais pour déterminer les caractéristiques géométriques des granulats - Partie 8 : évaluation des fines - Équivalent de sable*
3. NF EN 1097-1 (Aout 2011) : *Essais pour déterminer les caractéristiques mécaniques et physiques des granulats - Partie 1 : détermination de la résistance à l'usure (micro-Deval)*
4. NF EN 1097-2 (Juin 2010) : *Essais pour déterminer les caractéristiques mécaniques et physiques de granulats - Partie 2 : méthodes pour la détermination de la résistance à la fragmentation*
5. NF EN 933-3 (Mars 2012) : *Essais pour déterminer les caractéristiques géométriques des granulats - Partie 3 : détermination de la forme des granulats - Coefficient d'aplatissement*
6. NF EN 933-1 (Mai 2012) : *Essais pour déterminer les caractéristiques géométriques des granulats - Partie 1 : détermination de la granularité - Analyse granulométrique par tamisage*
7. NF EN 196-1 (Septembre 2016) : *Méthodes d'essais des ciments - Partie 1 : détermination des résistances - Méthodes d'essais des ciments - Partie 1 : Détermination des résistances.*
8. F. Taieb et al, *Effet couplé des fines et de l'adjuvant sur la fluidité du coulis de ciment, Université de Mostaganem.* (2017)
9. NF P18-507 (Novembre 1992) : *Additions pour béton hydraulique - Besoin en eau, contrôle de la régularité - Méthode par mesure de la fluidité par écoulement "au cône de Marsh"*
10. J. Festa, *Nouveau guide de béton et de ses constituants* (1998).
11. NF EN 12350-2 (décembre 1999) : *Essai pour béton frais Partie 2 : Essai d'affaissement.*
12. NF EN 12390-3 (Février 2003) : *Essai pour béton durci Partie 3 : Résistance à la compression des éprouvettes.*
13. O. Benjeddou, M. Jedidi, C. Soussi, M. Benali, *Experimental and theoretical study of the effect of the particle size of limestone fillers on the rheology of self-compacting concrete*, Journal of Building Engineering, Vol 10, Pages 32–41. (2017)
14. A. Hallal, *Effets combinés des ajouts minéraux et des superplastifiants sur la compatibilité des coulis, mortiers et bétons*, Thèse de Doctorat, USTOMB, (2011)
15. Ch. Amouri, *Contribution à l'étude de l'influence des différents ajouts sur les propriétés des matrices cimentaires (caractérisation, Performances, Durabilité)*, thèse soutenue à université Mentouri Constantine, 158 pages (2009).