



Ministère de l'enseignement supérieure
et de la recherche scientifique

Université Mohamed Boudiaf - M'sila

Faculté de technologie



Département de GENIE CIVIL

MEMOIRE

Présenté pour l'obtention du diplôme de
MASTER

FILIERE : *Génie Civil*

SPECIALITE : *Matériaux.*

THEME

Caractérisation aux moyens des essais non-destructifs (NDT) et essai direct d'un béton auto plaçant (BAP) a base de matériaux locaux (effet de la nature du sable).

Dirigé par :

Encadreur : *Belagraa Larbi*

CO- Encadreur : *Djebri Nora*

Présenté par : *Nasri Said*

Promotion : 2015/2016.

Dédicaces

*A ceux qui se sont toujours dévoués et sacrifiés pour moi ; ceux qui m'ont encouragé et soutenu à combattre les aléas de la vie et donner le meilleur de moi ; en témoignage de mon éternelle reconnaissance je dédie essentiellement cette thèse à **mes parents.***

A ma chère sœur ainsi qu'à mes chers frères; qui m'ont énormément aidé et à qui je témoigne toute mon affection et ma profonde admiration.

Je finis par remercier toute personne qui m'a aidé et soutenue, de près ou de loin, pour que ce modeste mémoire aboutisse.

REMERCIEMENTS

Nous remercions tout premièrement Dieu, le tout puissant pour la volonté, la santé et la patience, qu'il nous a donné durant toutes ces Longues années.

En second lieu, J'exprime toute ma reconnaissance à mes encadreurs de mémoire

Dr. BELLAGRAA, et Mme. DJEBRI NORA, Je les Remercie de m'avoir encadré, orienté, aidé et conseillé.

*Nos remerciements vont aussi au chef de département de génie civil **Mr. BAALI LAÏD** qui a contribué à notre formation et à tous les enseignants de département, par ailleurs, Nos remerciements à tous les membres du jury qui ont accepté de juger notre travail.*

En fin, nous tenons à exprimer notre reconnaissance à tous nos amis et collègues.

Résumé :

Le béton auto plaçant (BAP) est un béton capable, sous l'unique effet de la pesanteur, de se mettre en place dans les coffrages même les plus complexes et particulièrement encombrés sans nécessiter pour tout autant des moyens de vibration. Le travail présenté dans ce mémoire s'articule autour de la formulation et de la recherche de bétons autoplaçants (BAP) confectionnés à partir de sables locaux pour voir l'effet de la nature du sable et variation son pourcentage sur les propriétés de ceux-ci rhéologiques à l'état frais et physico-mécaniques à l'état durcis afin d'évaluer la performance à court et long termes.

Un programme expérimental pour l'estimation de cet effet a été élaborés pour des mélanges confectionnés selon, un dosage optimale de super plastifiants de 2 % et des pourcentages variables de sable de dune, sable concassé et en utilisant un sable mixte composé des deux, enfin, un sable corrigé(sable de dune et concassé), avec un module de finesse M_f égale à 2.2 Il a été étudié l'ouvrabilité et la compacité du matériau locaux et ce à l'état frais et à l'état durci. Des essais destructive et non destructive ont été effectués et ce en les comparant à les types du béton étudiés.

Les principaux résultats obtenus dans ce travail montrent que, l'utilisation de fillers de calcaire pour l'amélioration les propriétés du béton à l'état frais et durci est appréciable pour l'amélioration de la fluidité et ainsi la résistance à la compression (R_c) des BAP.

En général, nous pouvons dire qu'après la variation des pourcentages et la qualité du sable on peut obtenir de bonnes performances des BAP avec le sable corrigé en terme de propriétés rhéologiques à l'état frais et mécaniques à l'état durci.

Mots clés; Bétons autoplaçant (BAP), rhéologie, résistance mécanique, essais non destructifs.

Abstract:

The self compacting concrete (SCC) is a capable concrete, under the unique effect of the gravity to be placed in even most complex and particularly densified framework without requiring for as much means of vibration. The work presented in this report articulates around the formulation of the SCC made from local sand to see the effect of the nature of this one and the variation of its percentage on the properties of these rheological at the fresh state and physico-mechanical at the hardened state thus, to evaluate the short and long-term performances. An experimental program for the estimation of this effect was developed for mixtures made according to an optimal dosage plasticizer of 2 % and a variable percentages of sand of dune, crushed sand and by using a compound mixed sand made of both types, finally, a corrected sand (dune and crushed sand), with a fixed fineness modulus M_f equal to 2.2 was studied. The workability and the compactness of the concrete at the fresh state and in the hardened state. Indirect nondestructive tests and compression machine test were performed on the specimens for the comparison of the different concrete types studied.

The main results obtained in this work show that, the use of limestone fillers for the improvement of the properties of the concrete at the fresh and hardened state is considerable for the improvement of the fluidity and also for the compression strength (R_c) of the SCC. Generally, we can say that after the variation of the percentages and the quality of the corrected sand good performances could be obtained.

Key words ;Self compacting concrete (SCC), rheology, mechanical resistance, non destructif tests(NDT)

:

ذاتية هي خرسانة قادرة على التوضع تحت تأثير وحيد هو الجاذبية في القالب الأكثر تعقيدا و ازدحاما على وجه الخصوص بدون حاجة إلى الكثير من وسائل الاهتزاز .

هذا العمل المقدم في هذه المذكرة يتركز حول الخلطات والبحث على الخرسانة ذاتية القولية المشكل من رمل محلي, لرؤية تأثير نوعية الرمل والتغيير في نسبته المؤوية على الخصائص الريولوجية في الحالة الطازجة والفيزيومكانيكية في الحالة الصلبة من اجل تقييم الفعالية على المدى القريب والبعيد .

برنامج تجريبي لأجل تقديرات هذا التأثير قد أنجز لخلطات مشكلة على حساب, تركيز الإضافات الأمثل 2 ونسب متغيرة من رمل الكثبان والرمل المسحوق ومستعملين رمل مختلط مكون من الاثنين وأخيرا من رمل معدل (نعومة يساوي 2.2, ولقد درست قابلية دمج للمواد المحلية في الحالة الطازجة والصلبة . وغير المتلفة أقيمت وهذا بالمقارنة مع أنواع الخرسانة المدروسة.

النتائج الرئيسية المتحصل عليها من هـ العمل تبين أن استعمال الغبار الكلسي لتحسين خصائص الخرسانة في الحالة الطازجة, تبين أنها جيدة لتحسين الميوهة كذلك مقاومة الضغط .

,نستطيع أن نقول أن بعد تغيير النسب المؤوية ونوعية الرمل, نستطيع أن نتحصل على فعالية جيدة للخرسانة مع الرمل المعدل من جانب الخصائص الريولوجية في الحالة الطازجة والميكانيكية في الحالة الصلبة

كلمات مفاتيح : خرسانة ذاتية القولية, الريولوجية, مقاومة الميكانيكية, تجربة غير متلفة.

Sommaire

| | |
|----------------------------|---|
| Introduction générale..... | 1 |
|----------------------------|---|

Chapitre I : Généralités sur le béton autoplaçant

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| I.1 Introduction sur les bétons auto plaçant..... | 4 |
| I.2 Généralités sur le béton autoplaçant | 4 |
| I.2.1 Définition de béton autoplaçant | 4 |
| I.2.2 Domaine d'utilisation des BAP | 5 |
| I.2.3 Les avantages des bétons autoplaçant..... | 5 |
| I.3 Influence des paramètres de formulation sur les propriétés à l'état frais | 5 |
| I.3.1 Rôle des adjuvants | 6 |
| Utilisation de superplastifiant..... | 6 |
| I.3.2 Volume de pate élève..... | 7 |
| I.3.3 Volume de gravillons | 8 |
| I.4 Les constituants du BAP..... | 9 |
| I.4.1 Le ciment | 9 |
| I.4.1.1 Les différents types de ciment | 9 |
| I.4.2 Les granulats | 10 |
| I.4.3 L'eau | 10 |
| I.4.4 Le super plastifiant..... | 10 |
| I.4.5 Les adjuvants | 11 |
| I.4.6 Les fillers calcaires | 12 |
| I.4.6.1 Influence des fillers calcaires sur les paramètres rhéologiques des BAP | 12 |
| I.5 Caractérisation d'un béton autoplaçant | 13 |
| I.5.1 Propriétés des BAP à l'état frais | 13 |
| I.5.1.1 Le remplissage | 13 |
| I.5.1.2 La résistance à la ségrégation | 13 |
| I.5.1.3 La capacité de passage | 13 |
| I.5.2 Caractérisation des BAP | 14 |
| I.5.2.1 Essai d'étalement | 14 |
| I.5.2.2 Essai de la boîte en L (L-BOX TEST)..... | 15 |
| I.5.2.3 Essai de stabilité au tamis | 16 |
| I.5.2.4 Essai de ressuage..... | 16 |
| I.5.3 Caractérisation d'un béton auto plaçant à l'état durci (destructif et non destructif | 17 |
| A) Essais destructifs du béton | 17 |
| I.5.3.1 Les essais de compression | 17 |
| I.5.3.2. Les essais de traction par flexion | 18 |
| I.5.3.3 Module d'élasticité..... | 18 |
| B) Essais non destructifs du beton | 20 |
| I.5.3.4 Essai au scléromètre..... | 20 |
| I.5.3.5 Essai d'auscultation dynamique | 23 |
| I.6 Conclusion | 26 |

Chapitre II : caractérisation des matériaux utilisés

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| II.1 Introduction | 27 |
| II.2 Sable de dune d'oued (bousaada) | 27 |
| II.2.1. Origine du sable..... | 27 |
| II.2.2 Caractéristiques physiques des sables utilisés | 27 |
| II. 2.2.1 Masse volumique (absolue) : NF P 18-555 | 27 |
| II.2.2.2 Masse volumique apparente : NF P 18-554..... | 28 |
| II.2.2.2.1 Masse volumique apparente à l'état lâche | 28 |
| II.2.2.2.2 Masse volumique apparente à l'état compact..... | 28 |
| II.2.2.3 Porosité : (NF P 18-554)..... | 29 |
| II. 2.2.4 Compacité..... | 29 |
| II.2.2.5 L'indice des vides | 29 |
| II.2.2.6 Equivalent de sable : NF P 18-598 | 30 |
| A / Equivalent de sable visuel (ESV) | 30 |
| B / Equivalent de sable visuel (ESP)..... | 31 |
| II.2.2.7 Teneur en eau : NF P 18-555..... | 32 |
| II.2.2.8 Degré d'absorption d'eau : NF P 18-555..... | 33 |
| II.2.2.9 Analyse granulométrique : (NF P 18-560) | 33 |
| II.2.2.10 Module de finesse | 35 |
| II.2.3 Les Caractéristiques chimiques du sable de dune | 36 |
| II.3 Sable concassé | 36 |
| II.3.1 Origine du sable..... | 36 |
| II.3.2 Caractéristiques physiques de sable concassé | 36 |
| II. 3.2.1 Masse volumique (absolue) : NF P 18-555 | 36 |
| II.3.2.2 Masse volumique apparente : NF P 18-554..... | 37 |
| II.3.2.2.1 Masse volumique apparente à l'état lâche | 37 |
| II.3.2.2.2 Masse volumique apparente à l'état compact..... | 37 |
| II.3.2.3 Porosité : (NF P 18-554)..... | 37 |
| II. 3.2.4 Compacité..... | 37 |
| II.3.2.5 L'indice des vides | 38 |
| II.3.2.6 Equivalent de sable : NF P 18-598 | 38 |
| II.3.2.7 Teneur en eau : NF P 18-555..... | 39 |
| II.3.2.8 Degré d'absorption d'eau : NF P 18-555..... | 39 |
| II.3.2.9 Analyse granulométrique : (NF P 18-560) | 39 |
| II 3.2.10 Module de finesse MF | 40 |
| II.4 Caractéristiques physiques de sable mixte ₁ (50% de dune - 50% concassé)..... | 41 |
| II.4.1 Masse volumique (absolue) : NF P 18-555 | 41 |
| II.4.2 Masse volumique apparente : NF P 18-554..... | 41 |
| II.4.2.1 Masse volumique apparente à l'état lâche | 41 |
| II.4.2.2 Masse volumique apparente à l'état compact..... | 41 |
| II.4.3 Porosité : (NF P 18-554)..... | 42 |
| II.4.4 Compacité..... | 42 |

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| II.4.5 L'indice des vides | 42 |
| II.4.6 Equivalent de sable : NF P 18-598 | 42 |
| II.4.7 Teneur en eau : NF P 18-555..... | 43 |
| II.4.8 Degré d'absorption d'eau : NF P 18-555..... | 43 |
| II.4.9 Analyse granulométrique : (NF P 18-560) | 44 |
| II.4.10 Module de finesse MF | 45 |
| II.5 Caractéristiques physiques de sable mixte ₂ : de module de finesse fixée = 2.2 (concassé 60.2 % - 39.8 %)..... | 45 |
| II.5.1 Masse volumique (absolue) : NF P 18-555 | 45 |
| II.5.2 Masse volumique apparente : NF P 18-554..... | 46 |
| II.5.2.1 Masse volumique apparente à l'état lâche | 46 |
| II.5.2.2 Masse volumique apparente à l'état compact..... | 46 |
| II.5.3 Porosité : (NF P 18-554)..... | 46 |
| II.5.4 Compacité..... | 47 |
| II.5.6 L'indice des vides | 47 |
| II.5.7 Equivalent de sable : NF P 18-598 | 47 |
| II.5.8 Teneur en eau : NF P 18-555..... | 48 |
| II.5.9 Degré d'absorption d'eau : NF P 18-555..... | 48 |
| II.5.10 Analyse granulométrique : (NF P 18-560) | 49 |
| II.5.11 Module de finesse MF | 50 |
| III.6 Gravier | 50 |
| III.6.1 Origine de gravier..... | 50 |
| II.6.1.1 Classes granulaires | 50 |
| II.6.1.2 Résistance à la compression de la roche d'origine | 50 |
| II.6.2 Caractéristiques physiques du gravier utilisé | 50 |
| II.6.2.1 Masse volumique apparente | 50 |
| II.6.2.2 Masse volumique absolue..... | 51 |
| II.6.2.3 La densité absolue | 52 |
| II.6.2.4 Porosité, compacité et indice des vides : NF P 18-554 | 52 |
| II.6.2.5 Degré d'absorption d'eau : NF P 18-554..... | 52 |
| II.6.2.6 Teneur en eau..... | 53 |
| II.6.2.7 Analyse granulométrique..... | 53 |
| II.6.3 Les caractéristiques mécaniques des graviers utilisés | 54 |
| II.6.3.1 Essai de résistance au choc (Essai Los Angeles) : NF P18-573 | 55 |
| II.6.4 Caractéristiques chimiques des graviers utilisés | 56 |
| II.7 Ciment | 56 |
| II.7.1.1 Description..... | 56 |
| II.7.1.2 Caractéristiques mécaniques et physiques du ciment utilisé | 56 |
| II.7.1.3 Les caractéristiques chimiques du ciment utilisé | 57 |
| II.8. Le fillers de calcaire | 58 |
| II.8.1 Les fines de calcaire | 58 |
| II.8.1.1 Origine de calcaire | 58 |
| II.8.2 Caractéristique physique et chimiques du calcaire | 58 |
| II.9 Les adjuvants | 58 |

| | |
|----------------------------------------------------------|----|
| II.9.1 Medaplast Sp 40 | 59 |
| II.9.1.1 Description..... | 59 |
| II.9.1.2 Caractéristiques | 59 |
| II.9.1.3 Dosage | 59 |
| II.10 L'eau de gachage | 60 |
| II.10.1 Caractéristique chimique de l'eau utilisée | 60 |

Chapitre III : Techniques expérimentales

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------------|----|
| III.1 Introduction | 61 |
| III.2 Formulation du béton autoplaçant..... | 61 |
| III.2.1 Les compositions des différents bétons..... | 61 |
| III.2.2 La composition d'un m ³ de béton | 62 |
| III.3 Préparation de mélange | 62 |
| III.4 Essais de caractérisations du béton autoplaçant à l'état frais..... | 62 |
| III.4.1 Essai d'étalement au cône d'Abrams NFEN12 350-8 | 63 |
| III.4.2 Essai de stabilité au tamis NF EN 12 350-11..... | 64 |
| III.4.3 Essai de la boîte en « L » NF EN 12 350-10..... | 66 |
| III.4.4 La masse volumique du béton autoplaçant NF EN 12 350-6..... | 68 |
| III.5 Essais de caractérisations du béton autoplaçant à l'état durci (DT, NDT) | 68 |
| A) Les essais destructifs | 68 |
| III.5.1 Essai compression NF EN206-1 | 68 |
| B) Essais non destructifs | 69 |
| III.5.2 Essai d'auscultation dynamique P 18-414 et P 18-418..... | 69 |

Chapitre IV : Résultats et Analyses

| | |
|-------------------------------------------------------------------------------|----|
| IV.1 Introduction..... | 72 |
| IV.2 Présentation de résultats..... | 72 |
| IV.2 .1 Résultats des essais à l'état frais | 72 |
| IV.2 .2 Résultats des essais à l'état durci | 76 |
| IV.2.2.1 a masse volumique à l'état durci..... | 76 |
| IV.3 Propriétés mécaniques | 77 |
| IV.3.1 La résistance mécanique en compression(Rc) | 77 |
| IV.3.2 Essai d'auscultation dynamique (Mesures en transparence directe) | 79 |
| IV.4 Conclusion | 81 |
| Conclusion générale | 82 |

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figure I. 1-Action des superplastifiants- Défloculation des grains de ciment [10]..... | 6 |
| Figure I. 2-Influence de la qualité du superplastifiant sur l'étalement et la viscosité d'un béton [10] | 6 |
| Figure I. 3-dispersion des granulats par excès de pâte [11] | 8 |
| Figure I. 4-Phénomène de blocage des gravillons au droit d'un obstacle | 8 |
| Figure I. 5-Les actions des superplastifiants [10] | 11 |
| Figure I. 6-composition s'un béton ordinaire (BO) et d'un (BAP) Aspect à l'état frais d'un (BO) et d'un (BAP) [12]..... | 12 |
| Figure I. 7-Essai d'étalement au cône d'Abrams (slump flow) | 15 |
| Figure I. 8-Essai de la boîte en L (L-box test) | 15 |
| Figure I. 9-Essai de stabilité au tamis [17] | 16 |
| Figure I. 10-Essai de ressuage [10] | 17 |
| Figure I. 11-Mesure de la résistance à la compression [19]..... | 17 |
| Figure I. 12-Mesure de la résistance à la traction par flexion [19] | 18 |
| Figure I. 13-Comparaison des modules élastiques théoriques de BAP et de bétons vibrés avec leurs valeurs expérimentales | 19 |
| Figure I. 14-Evaluation du module du béton en fonction de sa résistance, d'après le modèle réglementaire et un modèle d'homogénéisation [9] | 19 |
| Figure I. 15- Scléromètre | 21 |
| Figure I. 16-Grille de mesure sur ouvrage | 22 |
| Figure I. 17-Inclinaisons possibles par rapport à l'élément à ausculter [20] | 22 |
| Figure I. 18-Courbe de transformation unique..... | 23 |
| Figure I. 19-Appareil de mesure | 23 |
| Figure I. 20-Mesures en transparence (directe)..... | 24 |
| Figure I. 21-Mesures en surface..... | 25 |
| Figure I. 22-Mesures semi directe..... | 25 |
| Figure I. 23-Courbe RILEM..... | 26 |

Chapitre II : caractérisation des matériaux utilisés

| | |
|-------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figure II 1- Les Tamis..... | 33 |
| Figure II 2- La courbe granulométrique du sable d'oued (0/5)..... | 33 |
| Figure II 3- la courbe granulométrique du sable concassé..... | 40 |
| Figure II 4- La courbe granulométrique sable mixte1..... | 45 |
| Figure II 5- La courbe granulométrique sable mixte2..... | 49 |
| Figure II 6- La courbe granulométrique des graviers concassés (3/8-8/16)..... | 54 |
| Figure II 7- Appareil de l'essai Los Angeles | 55 |

Chapitre III : Techniques expérimentales

| | |
|-----------------------------------------------|----|
| Figure III 1-Essai au cône d'Abrams | 63 |
| Figure III 2- Essai d'étalement Au cône | 64 |
| Figure III 3- Essai au tamis | 65 |
| Figure III 4- Stabilité au tamis | 65 |
| Figure III 5- Essai de boit L | 67 |

| | |
|----------------------------------------------------------------|----|
| Figure III 6- Boite en L | 67 |
| Figure III 7- Presse hydraulique de compression..... | 68 |
| Figure III 8- Appareil de mesure 58-E48 avec oscilloscope..... | 69 |
| Figure III 9- Appareil d'auscultation sonore | 69 |
| Figure III 10- Mesures en transparence (directe) | 70 |
| Figure III 11- Courbe RILEM..... | 71 |

Chapitre IV : Résultats et Analyses

| | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figure IV 1- l'étalement en fonction du type de béton..... | 73 |
| Figure IV 2- résultats de l'essai en L en fonction du type de béton | 74 |
| Figure IV 3- L'indice de ségrégation en fonction du type de béton | 75 |
| Figure IV 4- La masse volumique en fonction du type de béton a l'état frais | 75 |
| Figure IV 5- La masse volumique différents types de béton en fonction de l'âge a l'état Durci . | 76 |
| Figure IV 6.a - La résistance à la compression des différents types de béton en fonction des jours | 78 |
| Figure IV 6.b - La résistance à la compression des différents types de béton en fonction des jours | 78 |
| Figure IV 7.a- Vitesse de son des différents types de béton en fonction des jours..... | 80 |
| Figure IV 7.b- Vitesse de son des différents types de béton en fonction des jours..... | 80 |

Chapitre I : Généralités sur le béton auto plaçant

| | |
|------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tableau I.1: Propriétés d'ouvrabilité des BAP..... | 14 |
| Tableau I.2: Moyens de mesure selon type de recul au scléromètre. [20] | 21 |

Chapitre II : caractérisation des matériaux utilisés

| | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tableau II.1: Masse volumique absolue du sable du dune..... | 28 |
| Tableau II.2: Masse volumique apparente du sable de Boussaâda à l'état lâche..... | 28 |
| Tableau II.3: Masse volumique apparente du sable du dune à l'état compact..... | 29 |
| Tableau II.4: La porosité, la compacité et l'indice de vide Pour le sable du dune..... | 30 |
| Tableau II.5: Equivalent du sable du dune | 31 |
| Tableau II.6: Comparaison des résultats. [21]..... | 32 |
| Tableau II.7: Teneur en eau du sable du dune..... | 33 |
| Tableau II.8: Degré d'absorption du sable du dune..... | 33 |
| Tableau II.9: analyse granulométrique du sable d'oued (Oued Maitre) | 34 |
| Tableau II.10: Analyse chimique du sable du dune | 36 |
| Tableau II.11: Masse volumique absolue du sable concassé | 36 |
| Tableau II.12: Masse volumique apparente du sable concassé à l'état lâche | 37 |
| Tableau II.13: Masse volumique apparente du sable concassé à l'état compact | 37 |
| Tableau II.14: La porosité, la compacité et l'indice de vide Pour le sable concassé | 38 |
| Tableau II.15: Equivalent du sable concassé | 38 |
| Tableau II.16: Teneur en eau du sable concassé | 39 |
| Tableau II.17: Degré d'absorption du sable concassé | 39 |
| Tableau II.18: L'analyse granulométrique du sable concassée..... | 40 |
| Tableau II.19: Masse volumique absolue du sable mixte1 | 41 |
| Tableau II.20: Masse volumique apparente du sable mixte1 à l'état lâche..... | 41 |
| Tableau II.21: Masse volumique apparente du sable concassé à l'état compact | 41 |
| Tableau II.22: La porosité, la compacité et l'indice de vide Pour le sable mixte1 | 42 |
| Tableau II.23: Equivalent du sable mixte1..... | 43 |
| Tableau II.24: Teneur en eau du sable mixte1 | 43 |
| Tableau II.25: Degré d'absorption du sable mixte1..... | 44 |
| Tableau II.26: L'analyse granulométrique du sable mixte1 | 44 |
| Tableau II.27: Masse volumique absolue du sable mixte2 | 46 |
| Tableau II.28: Masse volumique apparente du sable mixte2 l'état lâche | 46 |
| Tableau II.29: Masse volumique apparente du sable concassé à sable mixte2..... | 46 |
| Tableau II.30: La porosité, la compacité et l'indice de vide Pour le sable mixte2 | 47 |
| Tableau II.31: Equivalent du sable mixte2..... | 47 |
| Tableau II.32: Teneur en eau du sable mixte2 | 48 |
| Tableau II.33: Degré d'absorption du sable mixte2..... | 48 |
| Tableau II.34: L'analyse granulométrique du sable mixte2..... | 49 |
| Tableau II.35: Masse volumique apparente du gravier | 51 |
| Tableau II.36: Masse volumique absolue du gravier | 51 |
| Tableau II.37: La densité du gravier | 52 |

| | |
|----------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tableau II.38: Porosité, Compacité Et Indice Des Vides..... | 52 |
| Tableau II.39: Degré d'absorption d'eau du gravier | 53 |
| Tableau II.40: Teneur en eau du gravier | 53 |
| Tableau II.41: Analyse granulométrique du gravier 3/8 | 53 |
| Tableau II.42: Analyse granulométrique du gravier 8/16 | 54 |
| Tableau II.43: Caractéristiques mécaniques du gravier utilisé | 55 |
| Tableau II.44: Classification des roche en fonction du coefficient LA. [23]..... | 56 |
| Tableau II.45: Analyse chimique de la pierre concassée | 56 |
| Tableau II.46: Caractéristiques du CPJ..... | 57 |
| Tableau II.47: Caractéristiques chimiques du CPJ..... | 57 |
| Tableau II.48: Caractéristiques minéralogique du CPJ..... | 57 |
| Tableau II.49: Caractéristiques physiques du calcaire | 58 |
| Tableau II.50: Composition chimique du calcaire | 58 |
| Tableau II.51: Caractéristiques du MEDAPLAST SP 40..... | 59 |
| Tableau II.52: Caractéristiques Chimique D'eau | 60 |

Chapitre III : Techniques expérimentales

| | |
|--------------------------------------------------------------------|----|
| Tableau III.1: Les compositions d'un m ³ de béton | 62 |
|--------------------------------------------------------------------|----|

Chapitre IV : Résultats et Analyses

| | |
|---------------------------------------------------------------------|----|
| Tableau IV.1: Résultats d'essais sur le béton frais..... | 72 |
| Tableau IV.2: La masse volumique en fonction de l'âge..... | 76 |
| Tableau IV.3: Résultats de la résistance à la compression (RC)..... | 77 |
| Tableau IV.4: Résultats de l'Essai d'auscultation dynamique | 79 |

AFGC : Association française gène civile.

Rc : La résistance mécanique.

BAP : Béton autoplaçant.

 : La masse volumique.

BAP_T : Béton autoplaçant témoin (sable de dune 100 %).

BAP 1 : Béton autoplaçant (sable concassée 100 %).

BAP 2 : Béton autoplaçant de sable mixte₁ (SM₁ : 50 % D et 50 % C).

BAP 3 : Béton autoplaçant de sable mixte₂ de module de finesse fixé =2.2 (SM₂_{fix}: 60.2 % C et 39.8 % D).

BV : Béton vibré.

Mf : Module de finesse.

G : Gravier.

S : Sable.

E : Eau.

C : Ciment.

SM : Sable mixte.

P : Le poids.

v: Volume.

M : La masse.

DT : Essais distractive.

NDT : Essais non distractive.

S : Section de l'éprouvette : 100 cm².

F : Force au moment de la rupture.

V : La vitesse du son.

Chapitre 1

Généralités sur le béton auto-plaçant

Introduction générale

De nos jours, le béton doit répondre à des exigences toujours plus sévères en matière de performances mécaniques, de durabilité, d'ouvrabilité, d'environnement et d'aspect. Dans ce but, les recherches continues ont permis l'émergence de bétons spéciaux : les bétons à hautes performances (BHP), les bétons à très hautes performances (BTHP), les bétons de fibres métalliques (BFM) et les bétons autoplaçants (BAP).

Le béton autoplaçant (BAP), « *Self Compacting Concrete (SCC) en anglais* », constitue une véritable révolution culturelle des bétons. Il se distingue par sa fluidité, sa déformabilité et sa facilité de mise en place sans vibration. Il épouse parfaitement les formes des coffrages les plus complexes et permet ainsi la réalisation de formes compliquées ou d'ouvrages à densité d'armatures élevée tout en présentant généralement des surfaces de meilleure qualité.

Le béton est qualifié d'autoplaçant lorsque le matériau final répond à certaines exigences à l'état frais et à l'état durci. Ainsi, sa formulation doit au moins contenir un adjuvant chimique et un ajout minéral pour satisfaire les conditions de maniabilité et de stabilité.

Les BAP entraînent de nombreux avantages, on cite :

Avantages techniques :

- Facilité et rapidité dans la mise en œuvre du béton ;
- Bétonnage en milieux fortement ferrailés ;
- Réalisation d'éléments de forme complexe.

Avantages économiques :

- Réduction du coût de la main d'œuvre et du temps de bétonnage ;
- Absence de systèmes de vibration réduisant ainsi les coûts et les nuisances sonores dans et au voisinage du chantier

Avantages écologiques :

- Valorisation des déchets de construction (récupération de ces déchets au niveau des chantiers, industries, carrières, stations de concassage).
- Diminution de la quantité de CO₂ émise par l'industrie cimentaire (due à la réduction de la quantité de ciment nécessaire au BAP).

Cependant, il est à signaler une augmentation du coût des matières premières suite à l'incorporation d'adjuvants et différentes additions minérales.

Le sujet de ce travail s'articule autour de la formulation et des propriétés de bétons autoplaçants élaborés à partir de l'effet de nature de sable ; L'étude consiste dans l'investigation de l'influence d'ajouts minéraux.

Ce mémoire s'organise en deux grandes parties :

- Une partie théorique ; qui est une synthèse bibliographique qui comporte un rappel des définitions fondamentales sur les bétons autoplaçants (BAP).

Les méthodes de formulation d'un BAP, les essais destructifs et non destructifs (NDT) et de caractérisation à l'état frais et à l'état durci, ainsi que le processus d'élaboration et de transport y sont également développés.

- Une partie expérimentale ; consacrée à la caractérisation des matériaux utilisés aux moyens des essais non destructifs (NDT) et destructifs pour la confection des bétons mis en œuvre dans le cadre de cette étude. La méthode de formulation ainsi que les compositions retenues pour le béton ordinaire et le BAP y sont mentionnées.

Puis, sont détaillés les essais sur bétons à l'état frais et à l'état durci.

Bien entendu tous les résultats des essais effectués au laboratoire sont présentés et suivis d'une interprétation et d'une conclusion générale.

Structure du mémoire :

Notre mémoire est structuré en 4 chapitres comme suit :

1^{er} Chapitre : Généralités sur le béton autoplaçant :

- ❖ Introduction
- ❖ Définition du BAP.
- ❖ Caractérisation d'un béton autoplaçant (Caractérisation du béton à l'état frais à l'état durci). Modes de formulation des BAP

2^{ème} Chapitre: Caractéristiques des matériaux utilisés :

- ❖ Les matériaux : sable, gravier, ciment, filler du calcaire, adjuvant, eau de gâchage.

3^{ème} Chapitre : Techniques expérimentales:

- ❖ Composition de béton
- ❖ Etude de béton à l'état frais et durci

4^{ème} Chapitre : Résultats et Analyses.

Conclusion générale.

Les références.

Chapitre I : Généralités sur le béton autoplaçant**I.1 Introduction sur les bétons auto plaçant:**

Le béton auto plaçant a été développé au Japon en 1988, il représente l'un des plus importantes avancées dans la technologie des bétons dans les dernières décennies.

Le béton auto plaçant (BAP) est un béton capable, sous le seul effet de la pesanteur, de se mettre en place dans les coffrages même les plus complexes et très encombrés sans nécessiter pour autant des moyens de vibration afin de consolider le mélange avec comme résultat un produit très homogène. Ce type de béton doit être apte à passer à travers les armatures les plus serrées, cependant, une vitesse dépendante de la viscosité du mélange. Pour remplir cette condition, le béton doit être très fluide, c'est-à-dire très déformable. Or ceci n'est possible que si le rapport eau/ciment est élevé ou si le béton contient un super-plastifiant. [1]

Seulement, la fluidité n'est pas la seule propriété recherchée, car il faut bien s'assurer de l'homogénéité de l'ensemble pâte-granulats. De façon corollaire, le mélange du BAP doit être très cohésif et très stable lors de la mise en place et cela jusqu'à son durcissement. Ceci implique que le BAP doit présenter le minimum de tassement et de sédimentation des particules solides et éviter de présenter un ressuage trop fort, car cela génère une hétérogénéité des propriétés mécaniques, telle qu'une chute d'adhérence des armatures en partie supérieure des levées par rapport à celles situées en zone inférieure lors du coulage. [1]

Une bonne stabilité liée, entre autres, à la viscosité du mortier et de son seuil de cisaillement nécessite soit l'ajout d'un agent de viscosité afin d'améliorer la cohésion de l'ensemble, soit d'augmenter la teneur en matière cimentaire et de réduire la teneur en eau libre.

Aussi une bonne stabilité peut être liée à une optimisation de la compacité granulaire. Or, l'augmentation de la teneur en liant n'est pas sans conséquence sur la durabilité, vu le dégagement de chaleur d'une part, et d'autre part, le risque de nuire à la capacité de remplissage, propriété très recherchée pour ce genre de béton. [2]

Cette complexité amène à combiner différents paramètres pour obtenir le niveau désiré en termes de résistance à la compression. Mais avant d'atteindre cette étape, il est indispensable de s'assurer d'une part de la bonne capacité de remplissage de ces bétons, donc une déformabilité supérieure à celle des bétons ordinaires [3]. D'autre part, il faut s'assurer de la stabilité du mélange et éviter, par conséquent, la ségrégation [4]. Très souvent, la satisfaction de ces deux exigences entraîne un compromis. En clair, en plus de garantir un étalement compris entre 500 et 700 mm et d'assurer une très bonne capacité de remplissage, il faut que l'agent de viscosité introduit pour améliorer la viscosité n'abîme pas la déformabilité du béton. [5]

Les maîtres d'œuvres, architectes, ingénieurs, entreprises, fabricants de béton ont toujours recherché un béton permettant :

- Une mise en place aisée,
- Un bon remplissage des coffrages,
- Un parfait enrobage des armatures. [6]

I.2 Généralités sur le béton autoplaçant**I.2.1 Définition de béton autoplaçant:**

Ces bétons sont des bétons spéciaux, très fluides, qui se mettent en place et se serrent sous le seul effet de la gravité, donc sans apport de vibration interne ou externe, même dans des coffrages très ferraiillés. Ces bétons ne sont évidemment qualifiés d'auto-plaçant que si le matériau durci final présente des propriétés homogènes (pas de ségrégation) et présente de très bonne performance à court et à long terme. [7]

Les propriétés caractéristiques de BAP sont :

- fluidité et viscosité élevées, sans aucune tendance à la ségrégation.
- Des aérations du béton pendant son écoulement.
- Excellente aptitude au béton homogène en présence de réservations d'incorporés et de ferrailage dense. [7]

I.2.2 Domaine d'utilisation des BAP :

Les BAP sont utilisables aussi bien pour la réalisation d'ouvrages horizontaux que verticaux, sur tous les types de chantier, de bâtiments ou de génie civil et pour la réalisation de nombreux produits préfabriqués en béton [8]. La plupart des ouvrages peuvent être réalisés en BAP (voiles, poteaux, piles, poutres, planchers, dalles, dallages, fondations, éléments de façade, mobiliers urbains, etc.).

Les BAP sont particulièrement adaptés à la réalisation de structures pour lesquelles la mise en œuvre d'un béton classique est délicate, c'est-à-dire, présentant des :

- Densités de ferrailage importantes ;
- Formes et géométries complexes : voiles, courbes, ... ;
- Voiles minces et de grande hauteur : piles de ponts, ... ;
- Voiles complexes avec de nombreuses réservations ou de grandes ouvertures ;
- Exigences architecturales et qualité de parement particulière. [6]

En Algérie, il existe très peu de rivières, ce qui diminue considérablement la disponibilité des agrégats alluvionnaires et donc roulés, qui sont à la base de la confection d'un bon béton auto plaçant.

Malgré ça on pourra encourager les entreprises de construction algériennes à utiliser ce type de formulation, d'où l'intérêt pour le développement de l'industrie de la construction en Algérie. [9]

I.2.3 Les avantages des bétons autoplaçant :

- facilité et rapidité dans la mise en œuvre du béton ;
- bétonnage en milieux fortement ferraiillés ;
- réalisation d'éléments de forme complexe

I.3 Influence des paramètres de formulation sur les propriétés à l'état frais:

I.3.1 Rôle des adjuvants :

➤ **Utilisation de superplastifiant :**

L'apparition des bétons autoplaçant et des bétons à Hautes performances (BHP) est fortement liée aux progrès réalisés dans le domaine des adjuvants et plus particulièrement celui des superplastifiants(SP). [6]

Les superplastifiants permettent d'obtenir des bétons très fluides. Ces fluidifiants ont le rôle de défloculants, [6] ; L'action principale des superplastifiants est de dé flocler les grains de ciment. Une action de répulsion électrostatique agit en neutralisant les charges électriques présentes à la surface des grains et/ou par répulsion stérique en écartant les grains les uns des autres, grâce à des chaines moléculaires très longues. L'eau piégée par les floccs est de nouveau disponible pour la maniabilité du béton (Figure I.1). Il est alors possible de mettre en œuvre des bétons très fluides, avec des rapports E/C faibles. [10]

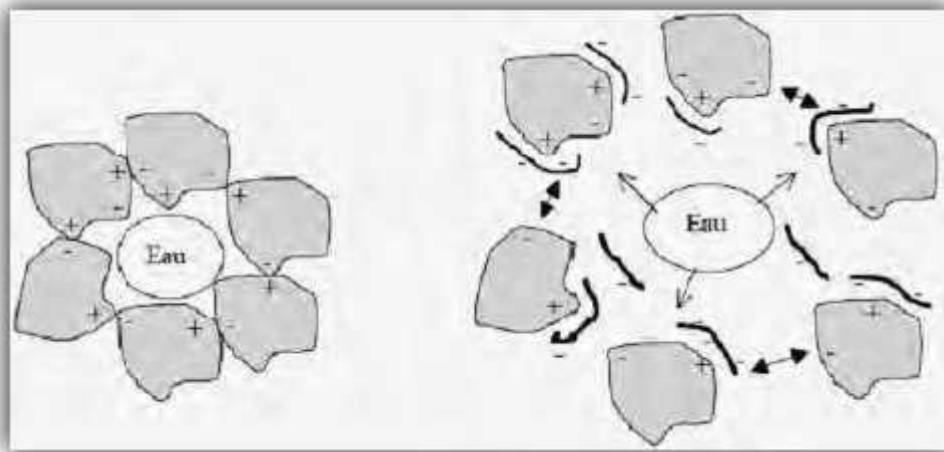


Figure I. 1- Action des superplastifiants- Défloculation des grains de ciment. [10]

L'ajout d'un superplastifiant aide à augmenter la fluidité. La (Figure I.2) montre par exemple que l'étalement augmente très fortement à partir d'un certain dosage en superplastifiants. [10]

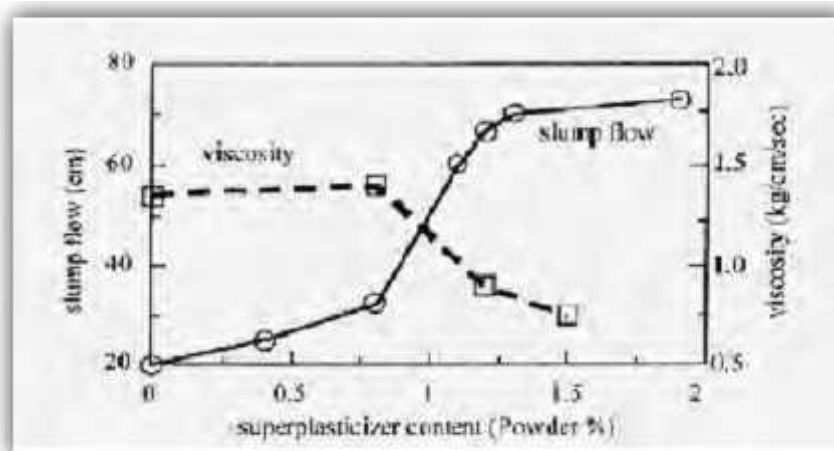


Figure I. 2-Influence de la qualité du superplastifiant sur l'étalement et la viscosité d'un béton. [10]

Flatt et Houst [10] définissent l'action des superplastifiants en trois mécanismes :

- Une partie est adsorbée,
- Une partie est consommée par les réactions avec les hydrates,
- Une partie, en excès, reste en solution.

Ces auteurs [10] montrent qu'une couche de gel ou de monosulfo-aluminate (AFm) peut se former autour du ciment ce qui augmente la surface que doit recouvrir le superplastifiant pour disperser les grains. Donc, plus le ciment est réactif plus la quantité de polymère à ajouter sera importante.

Sugamata et al. [10] ont étudié l'influence de différents superplastifiants et de leurs dosages sur le maintien rhéologique dans le temps d'un mortier. Leurs résultats montrent que l'augmentation du dosage de superplastifiants n'a plus d'influence sur la fluidité du mortier à partir d'une certaine valeur.

Cette caractéristique est maintenant bien connue. Il s'agit du dosage à saturation, c'est-à-dire le dosage au-dessus duquel l'adjuvant ne permet plus de modifier de façon significative la fluidité du mélange. Actuellement, les superplastifiants sont donc utilisés à un dosage proche du dosage à saturation. Différents auteurs [10] ont montré que le moment d'introduction du superplastifiant lors du malaxage joue un rôle sur le dosage à saturation. Si l'introduction est retardée, le dosage à saturation est plus faible, i.e. il est obtenu pour une plus faible quantité de superplastifiants. Ceci est en accord avec ce que nous avons vu, car si l'hydratation du ciment est amorcée alors la consommation du superplastifiants par les hydrates sera moins importante. [10]

Ainsi, le fait de retarder son introduction, permet au superplastifiant d'être plus efficace et d'obtenir des mélanges plus fluides que s'il avait été introduit en début de malaxage

Les BAP contiennent des superplastifiants permettant d'obtenir la fluidité souhaitée. Toutefois un dosage trop élevé (proche ou supérieur au dosage de saturation [10]) peut augmenter la sensibilité du béton à des variations de teneur en eau vis-à-vis du problème de la ségrégation et du ressuage. Il est possible d'utiliser un plastifiant en synergie avec un superplastifiant.

I.3.2 Volume de pâte élève :

Les formules de bétons auto nivelant actuellement réalisées au Japon et au Canada se caractérisent par un fort dosage en liant. En effet, ces bétons ont souvent des teneurs en liant supérieures à 500 Kg/m³ [10]. De plus les chercheurs japonais et canadiens ont montré l'intérêt et d'utiliser des fortes teneurs en additions minérales (laitiers, cendres volantes, fumées de silice, additions calcaires, etc.) afin d'obtenir à la fois une grande fluidité et une bonne stabilité du béton. [10]

Les frottements entre les granulats limitent l'étalement et l'aptitude au remplissage des bétons. C'est pourquoi, les BAP contiennent un volume de pâte (ciment + additions + adjuvants + eau

efficace + air) important, typiquement de 330 à 400 l/m³, dont le rôle est d'écarter les granulats les uns des autres.

Le volume de pâte dans un BAP représente 35 à 45 % du volume total, alors que dans un béton traditionnel il est de 20 à 35 % [10], et qu'un superplastifiant est employé pour fluidifier la pâte. Les frottements entre granulats sont source de limitation vis-à-vis de l'étalement et de la capacité au remplissage des bétons. Le rôle de la pâte (ciment + additions + eau efficace + air) étant précisément d'écarter les granulats les uns des autres, son volume dans les BAP est donc élevé (figure I.3). [6]

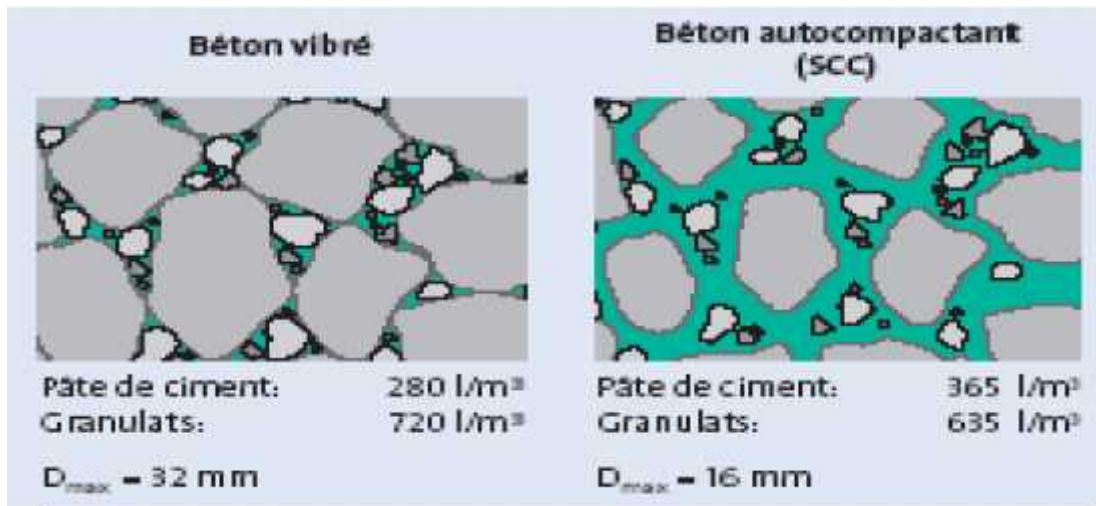


Figure I. 3- dispersion des granulats par excès de pâte. [11]

I.3.3 Volume de gravillons :

Il est possible d'utiliser des granulats concassés ou roulés pour la formulation des BAP. Toutefois, comme les gravillons sont à l'origine du blocage du béton en zone confinée figure I.4, il faut en limiter le volume. D'un autre côté, la présence de gravillons permet d'augmenter la compacité du squelette granulaire du béton et donc de limiter la quantité de liant nécessaire pour obtenir l'ouvrabilité et la résistance souhaitées. En général, ces considérations conduisent à adopter un rapport gravillon/sable de l'ordre de 1 dans les BAP. [10]

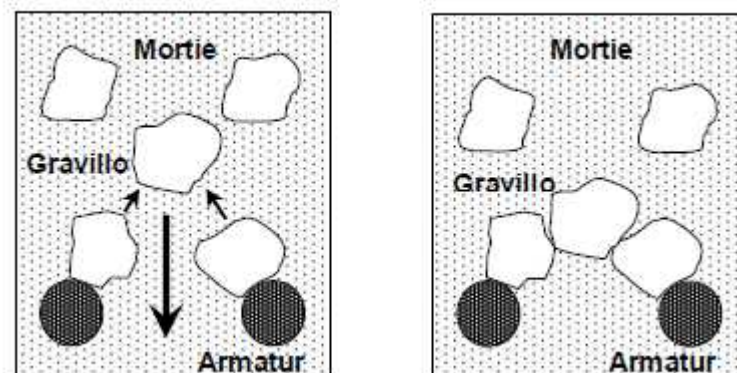


Figure I. 4- Phénomène de blocage des gravillons au droit d'un obstacle.

Tous ces paramètres de formulations conduisent à des compositions différentes des BV. Les BAP présentent à la fois une grande fluidité, l'utilisation de superplastifiants ainsi qu'un volume de pâte importante.

I.4 Les constituants du BAP :

I.4.1 Le ciment :

Le ciment est un liant hydraulique, c'est-à-dire une matière minérale finement moulue qui, mélangée avec l'eau, forme une pâte qui fait prise et durcit à la suite du processus d'hydratation et qui, après durcissement, conserve sa résistance et sa stabilité même sous l'eau.

Le durcissement de la pâte de ciment est principalement dû à l'hydratation des silicates de calcium. Dans les ciments, les aluminates peuvent également intervenir dans le processus de durcissement. La somme des proportions de l'oxyde de calcium (CaO) et du dioxyde de silicium (SiO₂) réactifs doit être d'au moins 50 % en masse.

Le ciment est constitué principalement de clinker Portland (K) qui est un matériau hydraulique. Il est obtenu à partir de la cuisson à haute température, supérieure à 1450°C, d'un mélange approprié de calcaire et d'argile en proportion moyenne de 80 % et 20 %. [10]

Les silicates et aluminates hydrauliques formés lors de cette cuisson (clinkérisation) sont :

- Le silicate tricalcique, 3CaO.SiO₂, que l'on écrit C3S ;
- Le silicate bicalcique, 2CaO.SiO₂, que l'on écrit C2S ;
- L'aluminate tricalcique, 3CaO.Al₂O₃, que l'on écrit C3A ;
- L'aluminoferrite tetracalcique, 4CaO.Al₂O₃.Fe₂O₃, que l'on écrit C4AF.

Suivant la carrière d'origine et les performances recherchées, le clinker est constitué de 62 % à 67 % de chaux combinée (CaO), de 19 % à 25 % de silice (SiO₂), de 2 % à 9 % d'alumine (Al₂O₃), et de 1% à 5 % d'oxyde de fer (Fe₂O₃).

Le ciment peut être constitué aussi de laitier de haut fourneau (S), de pouzzolane naturelle (Z), de cendres volantes siliceuses (V) ou calcaïques (W), de fumée de silice (D), de calcaire (L), de schistes calcinés (T), de constituants secondaires, de sulfate de calcium, (gypse, hélihydrates, anhydrite) et d'additifs.[10]

Le ciment généralement utilisé pour la confection d'un béton auto plaçant est soit le ciment Portland CPA-CEM I 42,5 qui contient au moins 95 % de clinker et éventuellement un constituant secondaire, soit le ciment Portland composé CPA-CEM II/A et B 42,5 dont l'apport en clinker est de 65 à 94 %, le reste étant composé d'un ou de plusieurs ajouts. [10]

I.4.1.1 Les différents types de ciment :

Les ciments constitués de clinker et de constituants secondaires sont classés en fonction de leur composition, en cinq types principale. Ils sont notés CME et numérotés de 1 à 5 en chiffres romains dans leur notation européenne (la notation française est indiquée entre parenthèse) : [10]

CEM I: Ciment Portland (CPA).

CEM II : Ciment Portland composé (CPJ).

CEM III : Ciment de haut-fourneau (CHF).

CEM IV : Ciment pouzzolanique (CPZ).

CEM V : Ciment composé (CLC).

I.4.2 Les granulats :

Les granulats sont définis comme l'ensemble de grains inertes compris entre 0mm et 40mm (sable, graviers et cailloux) dont l'origine peut être naturelle ou artificielle. [10]

Nous distinguons les granulats roulés extraits de ballastières naturelles ou de rivières, et les granulats concassés, obtenus à partir des roches concassées exploitées en carrières.

Les granulats sont classés selon les dimensions des grains qui les constituent et la courbe granulométrique représente la distribution, en pourcentage, des poids des matériaux passants dans des tamis de dimensions normalisées.

Pour faciliter l'écoulement du mélange, la confection d'un bon béton autoplaçant utilise généralement des granulats roulés de rivières et un apport de fines (par exemple des fillers calcaires) plus importants.

Du fait que les frottements entre les granulats limitent l'étalement et l'aptitude au remplissage des bétons, la quantité de granulats est donc limitée, en général le rapport granulats/sable exprimé en masse est de 1 dans un BAP. Le risque de blocage dans un milieu fortement ferrillé augmente lorsque le D max augmente. Ainsi, le D max des granulats doit être compris entre 10 et 20 mm. [8]. la plupart des bétons autoplaçant $D_{max}=16$.

I.4.3 L'eau :

L'eau de gâchage doit être propre et ne doit pas contenir de matière en suspension au-delà des tolérances réglementaires suivantes [10] :

- 2 g/l pour les bétons à haute résistance ;
- 5 g/l pour les bétons à faibles résistances.

L'eau de gâchage ne doit pas contenir des sels dissous au delà de :

- 15 g/l pour les bétons à haute résistance ;
- 30 g/l pour les bétons à faibles résistances

La pâte doit assurer une mobilité suffisante mais doit aussi inhiber tout risque de ségrégation et de ressuage. Un BAP sera dès lors composé d'une quantité de fines élevée et d'une quantité d'eau relativement faible (eau/ciment rarement supérieur à 0,55 voire 0,50). La fluidité souhaitée sera obtenue par l'utilisation de superplastifiants. [10]

I.4.4 Le super plastifiant :

Les superplastifiants sont des produits organiques qui, ajoutés à de faibles proportions (de 0,2 à 2% environ) au béton frais permettent d'en modifier les propriétés rhéologiques durant une période plus ou moins longue. Le béton est un matériau composite poreux constitué de ciment, de granulats et d'eau et ses propriétés mécaniques finales dépendent très étroitement de la quantité d'eau introduite lors du gâchage. L'utilisation de super plastifiants nous permet d'obtenir un béton très liquide pouvant être mis en place sans vibration ni ressuage ou ségrégation. [10]

Les superplastifiants permettent de répondre à deux types d'applications, selon que l'utilisateur travaille dans le domaine de la préfabrication ou du béton prêt à l'emploi. Dans le premier cas, il aura besoin d'un béton qui acquiert des propriétés mécaniques importantes de façon très rapide afin de procéder au démoulage dans les délais les plus brefs et en même temps d'un béton assez fluide pour avoir une mise en place convenable dans les moules. Dans le deuxième type d'utilisation, le béton devra pouvoir être transporté sur des parcours plus ou moins longs et

présenter de bonnes propriétés de mise en œuvre sur le site de construction sans que les performances mécaniques ne soient affectées. [10]

Il apparaît donc que les bétons modernes doivent satisfaire à la fois aux exigences de résistance et de maniabilité. Il s'agit de deux caractéristiques apparemment inconciliables puisque sans l'ajout de super plastifiant, l'augmentation des résistances ne s'obtient qu'avec une réduction d'eau. Or, une réduction d'eau diminue la fluidité. Un gain de maniabilité ne peut être obtenu qu'en augmentant la quantité d'eau de gâchage et donc au détriment des résistances finales du matériau. [10]

L'utilisation de superplastifiants dont l'action est schématisée sur (**Figure I.5**) permet de concilier la diminution de la teneur en eau et la fluidité du béton tout en conservant de bonnes performances mécaniques du matériau.

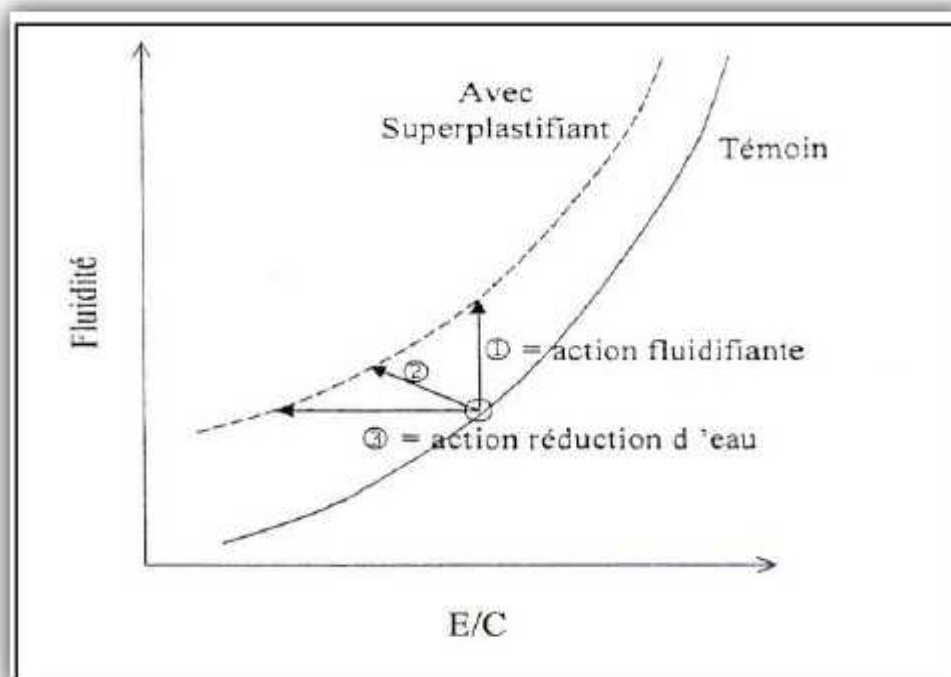


Figure I. 5- Les actions des superplastifiants [10]

- 1 – Augmentation de la fluidité (teneur en eau égale)
- 2 – Diminution de la teneur en eau et augmentation de la fluidité
- 3 – Diminution de la teneur en eau (à fluidité égale).

I.4.5 Les adjuvants :

Ce sont des produits chimiques organiques ou inorganiques qui, incorporés dans les bétons à des dosés précises du poids de ciment et selon leur plage d'utilisation indiquée par le fournisseur. Leur introduction dans le mélange engendre des phénomènes physico-chimiques très complexes et ils ont pour but d'améliorer les propriétés des bétons à l'état frais ou à l'état durci. [10]

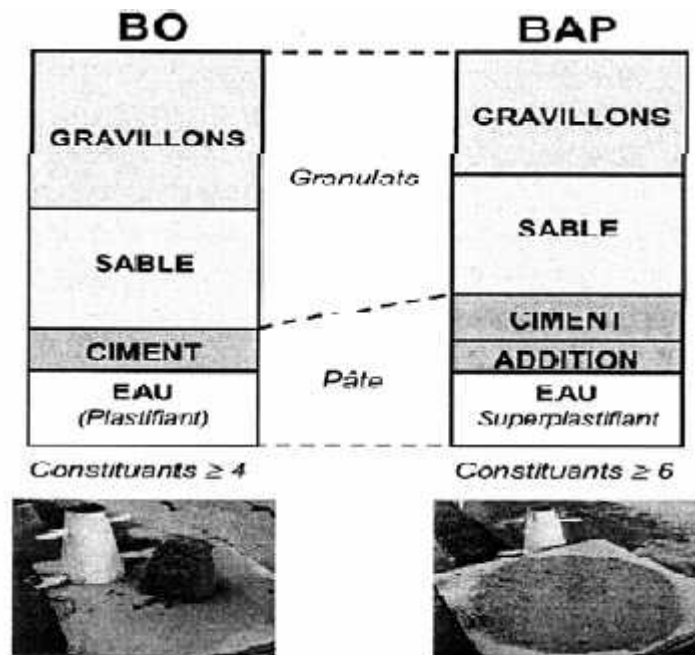


Figure I. 6- composition s'un béton ordinaire (BO) et d'un (BAP) Aspect à l'état frais d'un (BO) et d'un (BAP). [12]

I.4.6 Les fillers calcaires :

Les fillers calcaires sont des produits secs finement divisés obtenus par broyage industriel des roches calcaires, dont les caractéristiques sont définies par la norme NF P18 – 305. Parmi ces caractéristiques, deux sont particulièrement significatives :

- Une teneur minimale en carbonates totaux (calcaire + dolomite) ainsi qu'une teneur minimale en carbonate de calcium CaCO_3 ,
- Une valeur minimale de l'indice d'activité

Les dimensions des particules de fillers s'étendent de quelques μm à quelques dizaines de μm , déterminées en utilisant la granulométrie laser.

I.4.6.1 Influence des fillers calcaires sur les paramètres rhéologiques des BAP :

A formulé deux bétons autoplaçant avec différents pourcentages en fumée de silice et de fillers calcaires dont la dimension des particules est de l'ordre de $3 \mu\text{m}$ et un ciment portland. Les auteurs ont constaté que les deux bétons présentent des paramètres rhéologiques acceptables mesurés avec le rhéomètre IBB (rhéomètre utilisé à l'université de Sherbrooke), et les valeurs de la capacité de remplissage mesurées avec l'essai du caisson sont très satisfaisantes.[10]

Ogawa et coll. (1995) (rapporté par ont développé des formulations de bétons fluides (Détalé = $650 \pm 30 \text{ mm}$) qui présentent de faibles pertes d'étalement au cours du temps (maximum 30 mm après 60 min.). Ces bétons de rapports $\text{E/C} = 0,55 \pm 5\%$, contiennent du filler calcaire, un volume de la pâte supérieur à 300 L , des granulats concassés de diamètre maximum 20 mm , un rapport volumique de Sable / Granulats de $51 \pm 1 \%$, 8 kg/m^3 de superplastifiants (Naphtalène) et 3 kg/m^3 d'agent colloïdal à base de polyacrylate. Ils ont trouvé que pour un remplacement de

20 % du volume des granulats par le filler calcaire, on obtient les meilleures fluidités. De même qu'ils ont obtenus de bonnes résistances à la ségrégation et au ressuage. [10]

I.5 Caractérisation d'un béton autoplaçant [13] :

I.5.1 Propriétés des BAP à l'état frais :

Les propriétés générales d'un béton autoplaçant frais sont la fluidité et l'homogénéité. Ces propriétés sont étudiées sur plusieurs aspects, et peuvent se diviser en trois critères mesurables par des tests empiriques : le remplissage, la résistance à la ségrégation, et la capacité à passer à travers les obstacles que nous appellerons capacité de passage [14], [12].

I.5.1.1 Le remplissage :

Le remplissage du béton, ou la déformabilité, est un critère qui découle directement de sa fluidité. Le béton autoplaçant est capable de remplir les vides et les espaces difficiles dans un milieu confiné, en se déformant sous l'effet de son propre poids, et sans sollicitations. Le remplissage est observé sous deux aspects : la capacité de remplissage et la vitesse de remplissage. Le premier aspect est lié à la capacité de déformation du béton, il traduit le pourcentage rempli ou la distance atteinte dans l'espace. Le second est lié à la vitesse de Déformation, il traduit ainsi la vitesse d'écoulement du béton. Le test d'étalement au cône d'Abrams donne des indications sur les deux aspects. [14]

I.5.1.2 La résistance à la ségrégation :

La ségrégation d'un mélange correspond à l'absence d'homogénéité dans la distribution des constituants ce qui provoque généralement une séparation de phases solide et liquide ou bien une séparation des phases solides en fonction de leurs dimensions [15],[16].

La ségrégation peut donc se manifester dans un béton de façons différentes, comme la séparation entre la pâte et les granulats, la séparation entre le gravier et le mortier qui peut conduire à un blocage en zones confinées, et une répartition non homogène de l'air occlus.

Pour éviter la ségrégation, il faut réduire la quantité d'eau libre dans le béton en réduisant le rapport E/C du béton. La résistance à la ségrégation du béton peut aussi être augmentée en élevant la viscosité de l'eau dans la suspension, avec certains agents de viscosité.

I.5.1.3 La capacité de passage :

Le béton autoplaçant doit réunir à la fois la fluidité (la capacité de remplissage) et la résistance à la ségrégation pour produire un bon écoulement. Cependant, dans les milieux confinés, il faut que le béton puisse s'écouler dans les espaces étroits et entre les armatures.

En effet, le blocage des granulats est provoqué par la quantité importante de granulats dans le béton, et par la taille des plus gros granulats par rapport à l'ouverture entre armatures ou dans un confinement. [14]

Donc, un béton est qualifié d'autoplaçant s'il satisfait les propriétés citées ci-dessus, en trouvant le bon compromis entre des caractéristiques presque contradictoires : fluidité et résistance à la ségrégation. Pour résumer, on présente les propriétés des BAP, les moyens de les obtenir et les actions entreprises pour leur mise en œuvre dans le **tableau I.1**.

Tableau I.1: Propriétés d’ouvrabilité des BAP.

| Propriétés d’un BAP | Moyens d’obtention | Actions à mener dans la formulation |
|-----------------------------|----------------------------------------------|-----------------------------------------------|
| Remplissage (fluidité) | Réduction des frictions entre les particules | Augmentation du volume de pâte |
| | Optimisation de la pâte | Utilisation des superplastifiants |
| | | Optimisation du rapport E/C |
| Résistance à la ségrégation | Réduction de l’eau libre dans le béton | Réduction du rapport E/C |
| | | Utilisation de matériaux de grande surface |
| | | Utilisation d’agents de viscosité |
| Résistance à la ségrégation | Réduction de la séparation de phases | Réduction du rapport E/C |
| | | Utilisation d’agents de viscosité |
| | | Réduction de la taille maximale des granulats |
| Capacité de passage | Réduction de blocage des granulats | Réduction du volume de gravier |
| | | Réduction de la taille maximale des granulats |

En France, trois essais de caractérisation des bétons auto plaçant à l’état frais ont été recommandés par l’Association Française de Génie Civil « AFGC » en juin 2000. [14] Initialement provisoires, ces recommandations sont devenues par la suite des essais de référence pour valider une formule de BAP. [9]

L’ouvrabilité des bétons auto plaçant se décompose en trois caractéristiques ;

- La mobilité en milieu non confiné (décrit par l’essai d’étalement) ;
- La mobilité en milieu confiné (décrit par la boîte en L) ;
- La stabilité (résistance à la ségrégation et au ressuage). [9]

I.5.2 Caractérisation des BAP :

I.5.2.1 Essai d’étalement :

L’essai d’étalement s’est imposé comme l’essai le plus facile à réaliser, il permet de mesurer la consistance d’un béton. Cet essai s’effectue comme un essai d’affaissement au cône d’Abrams (Figure I.7). Cependant l’affaissement étant toujours supérieur à 25 cm, on mesure le diamètre moyen (moyenne sur deux diamètres orthogonaux) de la galette de béton obtenue au bout d’une minute, ainsi que le temps nécessaire à l’obtention du diamètre d’une galette de 50 cm de diamètre. Cette dernière valeur donne une indication sur la viscosité du matériau. Une observation permet également de constater si une ségrégation horizontale a lieu ou non. Cet essai

réalisable sur chantier ne nécessite qu'un petit échantillon de béton. Une valeur de 60 à 75 cm est en général visée pour obtenir un BAP. [4]



Figure I. 7-Essai d'étalement au cône d'Abrams (slump flow)

Des observations complémentaires peuvent aider à appréhender certaines propriétés à l'état frais des bétons autoplaçant :

- Un ressuage peut être détecté si de l'eau est présente en grande quantité sur les bords de la galette,
- En traçant à la truelle des lignes dans la « galette », on peut vérifier si le béton se referme bien, ce qui est synonyme de bon comportement,
- La fluidité du béton peut être évaluée en mesurant les temps de passage du béton aux diamètres 50 et 60 cm durant un écoulement au cône,
- Une forme bombée de la « galette » traduit un effet de voule, ce qui peut nuire à l'homogénéité du béton.

Toutes ces indications sont plus ou moins subjectives mais aident la formulation, expérimenté à effectuer certaines corrections en vue d'obtenir un béton qui correspond plus à ses attentes.

I.5.2.2 Essai de la boîte en L (L-BOX TEST) :

Tout comme l'essai à l'anneau Japonais, cet essai permet de caractériser la mobilité en milieu confiné, c'est-à-dire la ségrégation dynamique.

La partie verticale du L (**Figure I.8**) est remplie de béton en une seule fois. Après ouverture de la trappe, le béton s'écoule à travers un ferrailage standard (39 mm entre 3 barres Ø 14) qui correspond à des ouvrages très ferrillés mais qui peut être éventuellement allégé (58 mm d'espace libre entre deux barres).

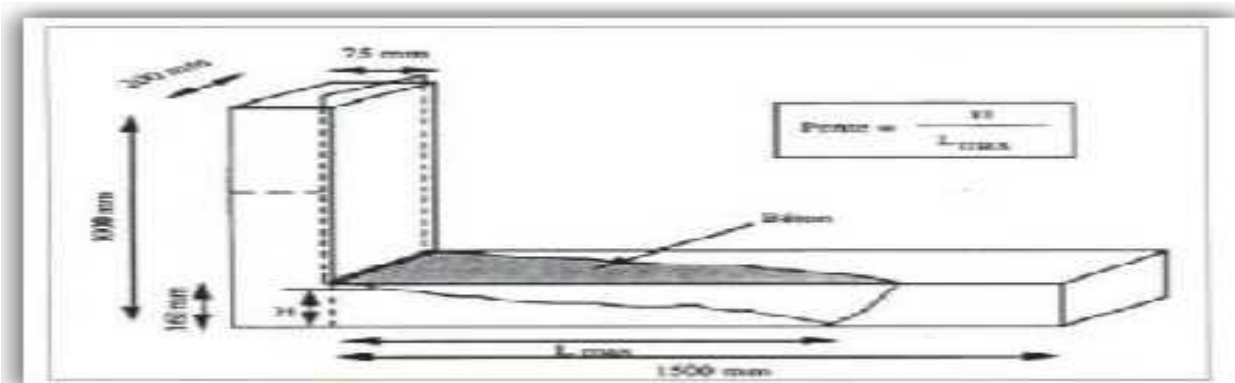


Figure I. 8-Essai de la boîte en L (L-box test)

Pour que le béton autoplaçant soit accepté, le taux de remplissage de la boîte en L (rapport des hauteurs H/L_{\max}) doit être supérieur à 0,8. Des temps d'écoulement peuvent aussi être mesurés pour apprécier la viscosité du béton. [4]

I.5.2.3 Essai de stabilité au tamis :

Appelé aussi essai de caractérisation de la ségrégation des bétons autoplaçants, il vise à qualifier les bétons autoplaçants vis-à-vis du risque de ségrégation (**Figure I.9**). Il peut être utilisé en phase d'étude de formulation d'un béton autoplaçant en laboratoire, ou pour le contrôle de réception de la stabilité du béton livré sur chantier. [17]

Cet essai complète les essais permettant d'apprécier la mobilité, en milieu confiné ou non, en caractérisant la stabilité. Il consiste à évaluer le pourcentage en masse de laitance (P_{laitance}) d'un échantillon de béton ($4,8 \pm 0,2$ kg) passant à travers un tamis de 5 mm.

Les critères d'acceptabilité d'une formulation d'un béton autoplaçant sont divisés en trois classes : [4]

- $0\% \leq P_{\text{laitance}} \leq 15\%$: stabilité satisfaisante,
- $15\% < P_{\text{laitance}} \leq 30\%$: stabilité critique : essai de ségrégation à réaliser in situ,
- $P_{\text{laitance}} > 30\%$: stabilité très mauvaise : ségrégation systématique, béton inutilisable.



Figure I. 9-Essai de stabilité au tamis. [17]

I.5.2.4 Essai de ressuage :

Le ressuage est un type spécial de ségrégation où les particules solides ont un mouvement général inverse à celui du liquide. En fait, pendant la période dormante du béton, les particules solides qui sont plus denses que l'eau sédimentent. L'eau est ainsi chassée vers le haut dans le cas de coffrages imperméables. [18]

Au niveau visuel, le ressuage s'observe par une mince pellicule d'eau à la surface du béton.

Selon les conditions météorologiques, on assiste à une compétition entre le débit d'eau ressuée et le débit d'eau évaporée. Si ce dernier est plus faible, le phénomène de ressuage est visible, sinon, la surface du béton au lieu d'être brillante, devient mate. La quantité d'eau ressuée sera de toute façon égale à la quantité d'eau stagnante ajoutée à celle déjà évaporée. [18]

La capacité de ressuage peut être mesurée par l'essai à l'aéromètre modifié développé au LCPC (**Figure I.10**). Le volume d'eau libéré par l'échantillon de béton remonte au-dessus du perchloéthylène (dont la densité est supérieure à celle de l'eau 1,59) dans une colonne graduée

où il est facile de l'estimer [10]. Ce test semble cependant peu pratique à utiliser étant donné la nocivité du produit.

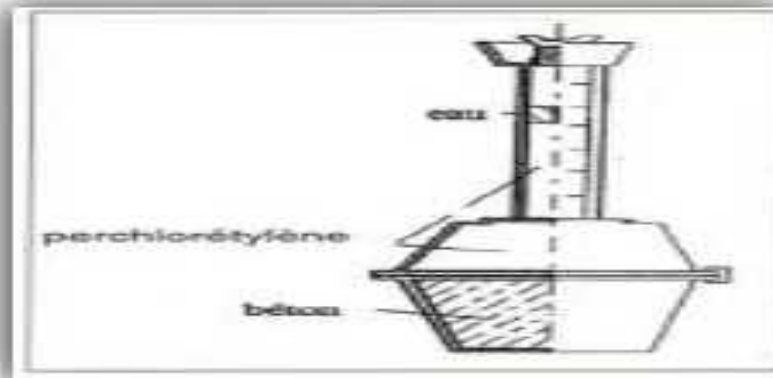


Figure I. 10-Essai de ressuage. [10]

I.5.3 Caractérisation d'un béton auto plaçant à l'état durci (destructif et non destructif :

Le béton doit être soumis à différents essais mécaniques de caractérisation :

a) Les essais destructifs :

- Les essais de compression ;
- Les essais de traction par flexion ;
- Module d'élasticité

b) Les essais non destructifs :

- Essai au scléromètre
- Essai d'auscultation dynamique

A) ESSAIS DESTRUCTIFS DU BETON

I.5.3.1 Les essais de compression :

Les essais de mesure de la résistance à la compression sont réalisés sur des éprouvettes cylindriques 16x32 cm conformément aux prescriptions de la norme.

Ce test fournit la force de compression [N] qui génère la rupture de l'échantillon

(Figure I.11). La contrainte de compression à la rupture [Pa] est déduite de cette force en divisant par la surface de la section sollicitée. [19]



Figure I. 11-Mesure de la résistance à la compression. [19]

I.5.3.2 Les essais de traction par flexion :

Cet essai très utilisé permet de simuler le type de sollicitation le plus courant dans les éléments des ouvrages (**Figure I.12**). Les éprouvettes utilisées pour ce type d'essai sont propre uniquement aux mortiers, elles sont prismatiques de dimensions 7x7x28 cm. La résistance à la traction par flexion est obtenue par l'application de la formule de résistance des matériaux suivante : $\sigma = Mf \cdot a/2I$, avec le moment de flexion :

$Mf = F.L/4$, où F est la charge de rupture, L la portée, I l'inertie de flexion, et a le côté du prisme. [11]



Figure I. 12-Mesure de la résistance à la traction par flexion. [19]

I.5.3.3 Module d'élasticité :

Les différents matériaux de BAP peuvent montrer un différent comportement de relation contrainte-déformation si les BAP contiennent une baisse quantité de gros granulats on se réfère à la formule réglementaire du module ($E_{ij} = 11000 f_{cj}^{1/3}$), celui-ci ne dépend que de la résistance du béton. Ainsi, à résistance égale, un béton autoplaçant aurait donc le même module qu'un béton vibré.

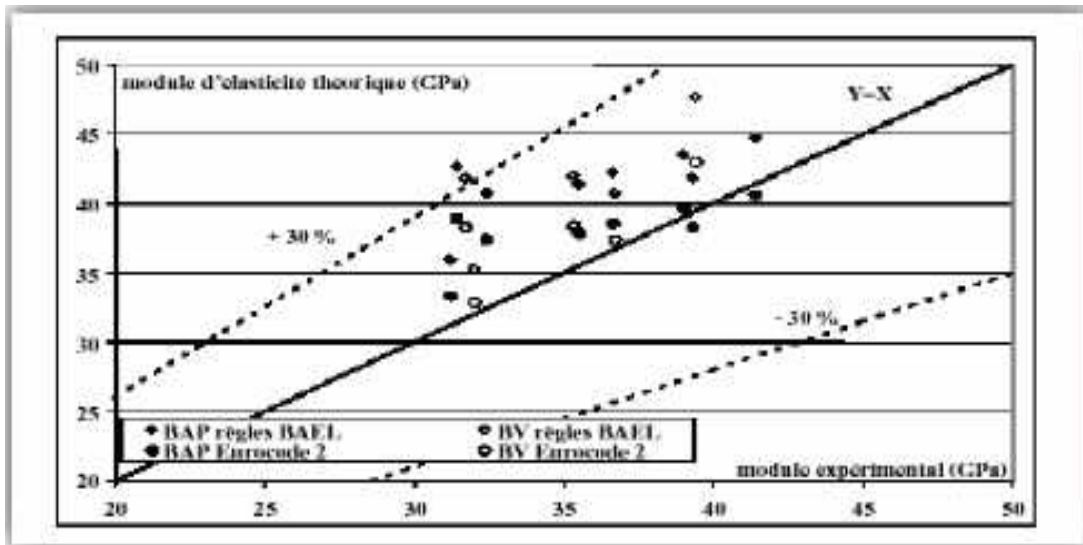


Figure I. 13-Comparaison des modules élastiques théoriques de BAP et de bétons vibrés avec leurs valeurs expérimentales.

Certains auteurs ont trouvé que le module élastique de BAP coïncide bien avec celui de BV avec des propriétés similaires quand la résistance est constante [Person 03], les mêmes résultats trouvés par [1]

Par contre, le module élastique de BAP est inférieur à celui de BV donc le BAP est plus rigide. [9] Ont trouvés qu'avec une résistance donnée le module élastique de BAP est inférieur à celui de BV, ce comportement est dû à la petite dimension de grains de BAP et la quantité élevée de pâte de ciment. En effet, dans un béton formulé avec des granulats classiques, le module de la matrice (6000-25000 MPa) est environ de 3 à 15 fois plus faible que celui des granulats E_g (60000 à 100000 MPa). [1]

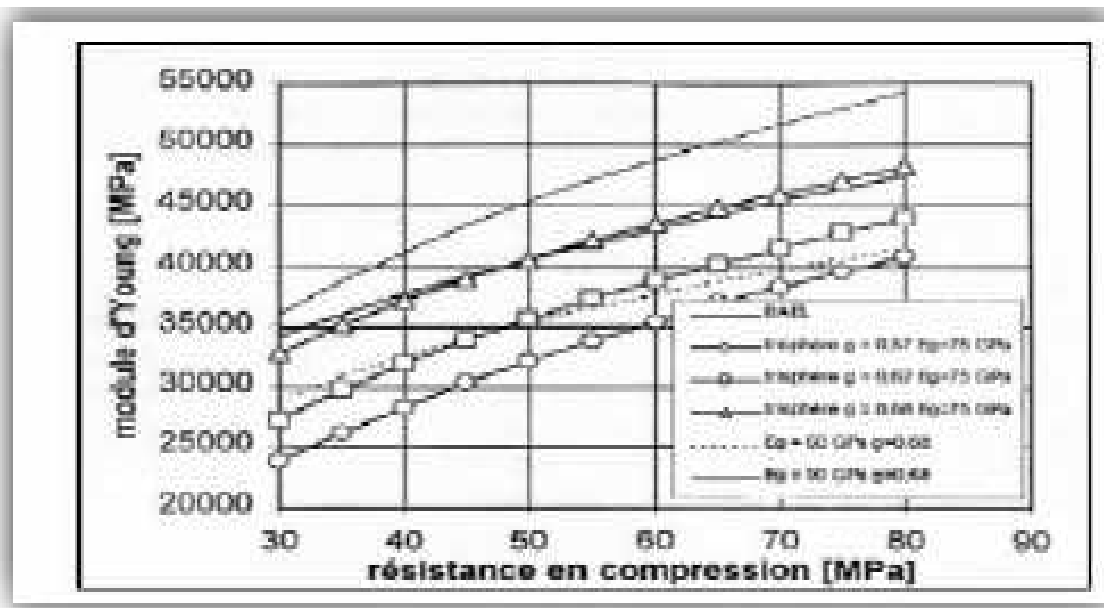


Figure I. 14-Evaluation du module du béton en fonction de sa résistance, d'après le modèle réglementaire et un modèle d'homogénéisation.[9]

B) ESSAIS NON DESTRUCTIFS DU BETON :**➤ Définition :**

Les problèmes de qualité rencontrés dans les structures en béton apparaissent à différentes phases de la réalisation des ouvrages, c'est pour cette raison que depuis longtemps il y a une demande accrue pour des méthodes plus précises et, en même temps, plus souples d'évaluation de la qualité du béton.

Le contrôle par essais destructifs nécessite la confection d'éprouvettes prélevées représentant un échantillon. Ce contrôle ne peut être effectué à 100 % ou tout au moins sur un échantillonnage significatif. De plus, l'échantillon prélevé n'est pas toujours représentatif du béton de la structure réelle. Ainsi, pour répondre à ces problèmes, on a développé une gamme d'essais in situ appelés « Essais non destructifs » venant compléter les essais destructifs.

Les essais non destructifs consistent à prendre des mesures qui n'endommagent pas les constructions, Ils représentent des méthodes de reconnaissance couramment appliquées aux structures de bâtiments. [20]

Les essais non destructifs peuvent jouer un rôle exceptionnel dans la garantie de la qualité du béton et dans le développement ultérieur de la technologie de construction. La signification de ces essais se développera considérablement à l'avenir, parce que sa technologie de mesure automatisée et la réduction de la taille de l'appareillage de mesure ouvriront des applications entièrement nouvelles.

➤ But d'utilisation :

Ces essais sont rapides et faciles à mettre en œuvre, et apportent de surcroît une réponse globale à l'échelle d'une structure ou d'un ouvrage, dans le cadre de contrôles d'ouvrages neufs ou en construction comme de diagnostics d'état d'ouvrages anciens.

➤ Principaux domaines d'application :

Les essais non destructifs permettent de contrôler la qualité de la construction et mesurer de façon indirecte les caractéristiques des matériaux à savoir :

- ✓ La résistance
- ✓ L'homogénéité
- ✓ La porosité
- ✓ La durabilité ...

➤ Avantages des ces méthodes réside dans :

Les méthodes non destructifs présentent les avantages suivants :

- ✓ La performance ou l'apparence de la structure n'est pas modifiée ;
- ✓ La possibilité de suivre le changement des propriétés du béton dans le temps ;
- ✓ Une plus grande sécurité, et une meilleure planification de la construction ;
- ✓ Une progression plus rapide et plus économique

I.5.3.4 Essai au scléromètre:**➤ Introduction**

L'essai au scléromètre consiste à projeter une masse sur la surface du béton avec une énergie initiale constante. Suite au choc, une partie de l'énergie est absorbée par le béton, l'autre partie provoque le rebondissement de la masse. L'énergie d'impact est produite par un système de ressorts dont l'amplitude du mouvement de recul est fonction de :

- ✓ L'énergie de recul ;

- ✓ Caractéristiques des systèmes de ressorts,

La mesure de la dureté au choc permet d'évaluer la résistance d'un béton de manière non destructive. Cette méthode est intéressante en raison de sa simplicité ; elle permet de faire rapidement des contrôles de régularité des bétons d'un ouvrage. [20]



Figure I. 15- scléromètre

➤ **Principe**

Le principe de base de l'essai au scléromètre est que le rebond d'une masse élastique dépend de la dureté de la surface sur la quelle frappe la masse.

Dans l'essai au scléromètre une masse approximative de 1.8 kg montée sur un ressort a une quantité potentielle fixe d'énergie qui lui est transmise par un ressort tendu a partir d'une position fixe, ce que l'on obtient en pressant la tête du marteau contre la surface du béton mis à l'essai. Lors de son relâchement, la masse rebondit depuis la tête, toujours en contact avec la surface du béton et la distance qu'elle parcourt, exprimée en pourcentage de l'extension initiale du ressort est appelée l'indice de rebondissement. Cet indice est indiqué par un curseur qui se déplace le long d'une règle graduée.

Quelques modèles de scléromètres impriment le relevé des résultats sur un rouleau de papier paraffiné. L'indice de rebondissement est une mesure arbitraire, car elle dépend de l'énergie emmagasinée par le ressort et de la dimension de la masse.

Tableau I.2: Moyens de mesure selon type de recul au scléromètre. [20]

| Type de recul | Moyen de mesure |
|-----------------|------------------------|
| Recul linéaire | Un indicateur à lame |
| Recul angulaire | Un système de freinage |

➤ **Mode Opératoire :**

Les mesures doivent être effectuées sur des surfaces nettes ne présentant pas de nids de gravier, des écaillages, de texture grossière, de porosité élevée ou d'armatures affleurantes. La préparation de la surface consiste à éliminer tout enduit ou peinture adhérent ou poncer si cette surface est constituée d'une couche superficielle friable. Toute trace d'eau sur la surface doit être essuyée.

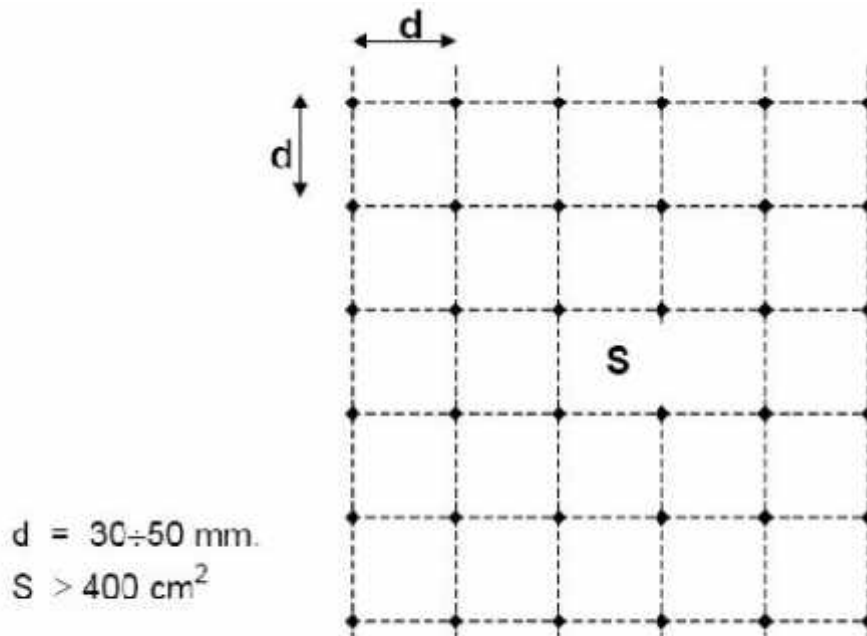


Figure I. 16-Grille de mesure sur ouvrage

➤ **Méthodes de mesure de l'Indice de rebondissement**

L'indice de rebondissement est la mesure enregistrée sur une échelle graduée fixe par rapport au bâti de l'appareil de scléromètre, après la projection d'une masselotte chargée par ressort sur une tige métallique en contact avec la surface du béton. Cette mesure est fonction de l'angle d'inclinaison de l'appareil par rapport à l'horizontal.

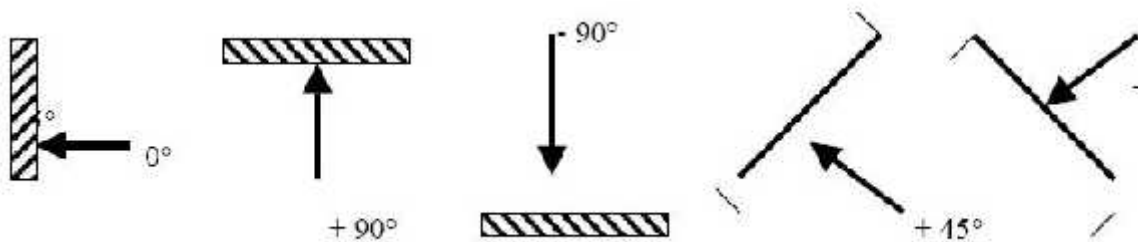


Figure I. 17-Inclinaisons possibles par rapport à l'élément à ausculter. [20]

➤ **Interprétation Des Résultats De Contrôle Du Béton Au Scléromètre :**

✓ **Méthode de la courbe unique :**

Dans la plupart des cas, la composition du béton ainsi que les conditions de conservation affectant la corrélation « Indice sclérométrique – Résistance du béton » sont inconnues. On utilise alors une courbe de transformation unique figurant sur l'appareil fourni par le

fabricant. La précision sur la résistance du béton obtenue par la méthode de la courbe peut être évaluée à $\pm 50 \%$.

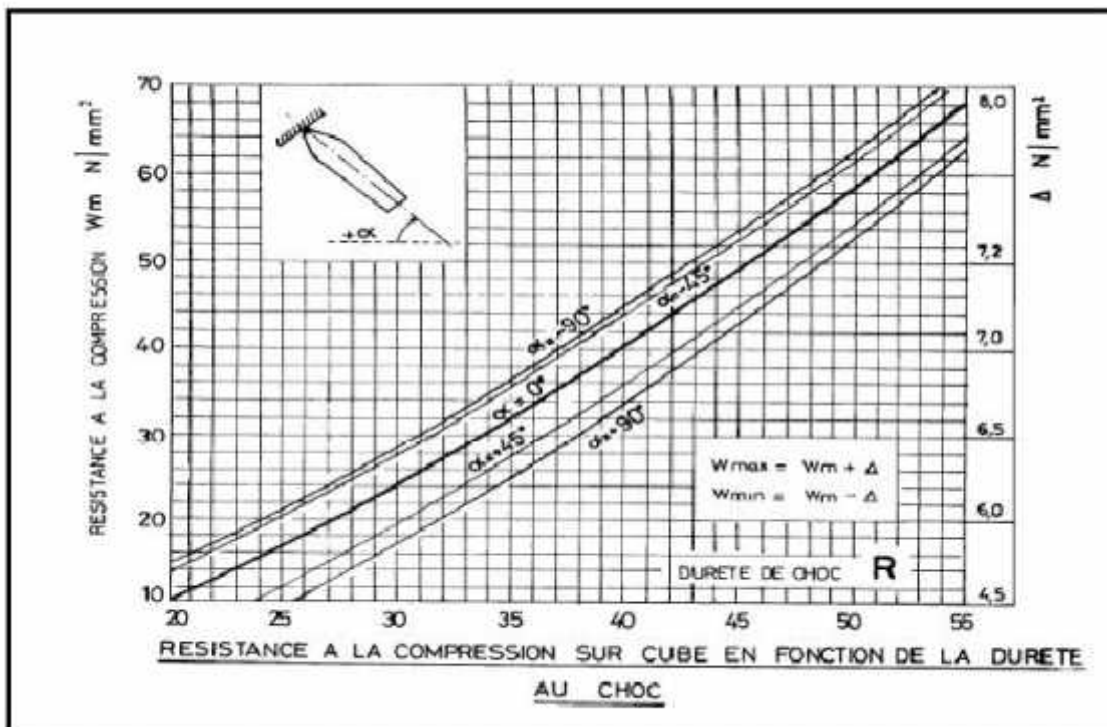


Figure I.18-Courbe de transformation unique

- La résistance du béton peut aussi être obtenue à partir de la formule suivante :

$$R = I^2 / 32$$

Avec:

R : résistance

I: indice sclérométrique

I.5.3.5 Essai d'auscultation dynamique :

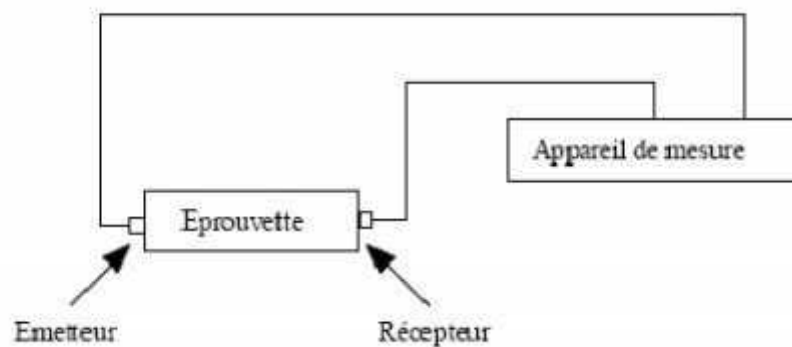


Figure I. 19-Appareil de mesure

➤ **Mode Opératoire :**

- Poncer et égaliser la partie de la surface de l'élément à ausculter où le transducteur sera Fixé,
- Employer un matériau intermédiaire entre les deux et en prenant soin de vérifier que l'appareil est bien appliqué contre la surface à tester à l'aide d'un matériaux d'interposition comme la vaseline, un savon liquide ou une pâte constituée de Kaolin et de glycérol.

➤ **Points de mesures**

Le nombre de points de mesures dépend des dimensions de l'ouvrage à tester. Pour un grand panneau (dalle, voile, radier, etc.) les points de mesures sont situés aux intersections d'un quadrillage d'une maille de 0.5m. Le cas des petits éléments (poteaux, poutres, etc.), les mesures se font en six points.

➤ **Manières de mesure :**

La détermination de la vitesse de propagation des ultrasons se fait de trois manières, suivant le type de l'élément à tester :

✓ **Mesure en transparence (directe) :**

Les mesures en transparence sont utilisées dans le cas des éprouvettes, des poteaux ou de certaines poutres. Les transducteurs sont appliqués sur les deux faces de l'élément à tester. **Figure I.20**

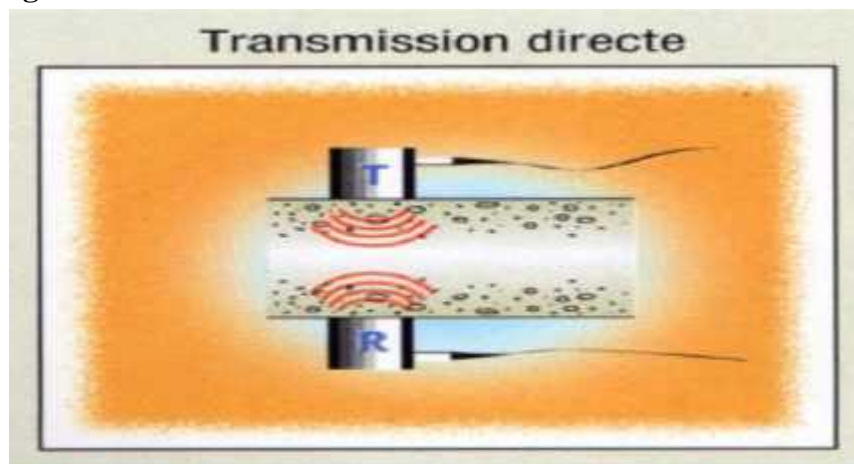


Figure I. 20-Mesures en transparence (directe)

✓ **Mesures en surface (indirecte) :**

Elles sont utilisées sur tous les éléments de structure et sur les éprouvettes, mais plus particulièrement sur les dalles et éléments en longueur **figure I.21**.

L'émetteur est maintenu en un point fixe, le récepteur est déplacé successivement à des distances marquées à l'avance.

Après avoir relevé le temps correspondant à un point considéré, on passe au point suivant.

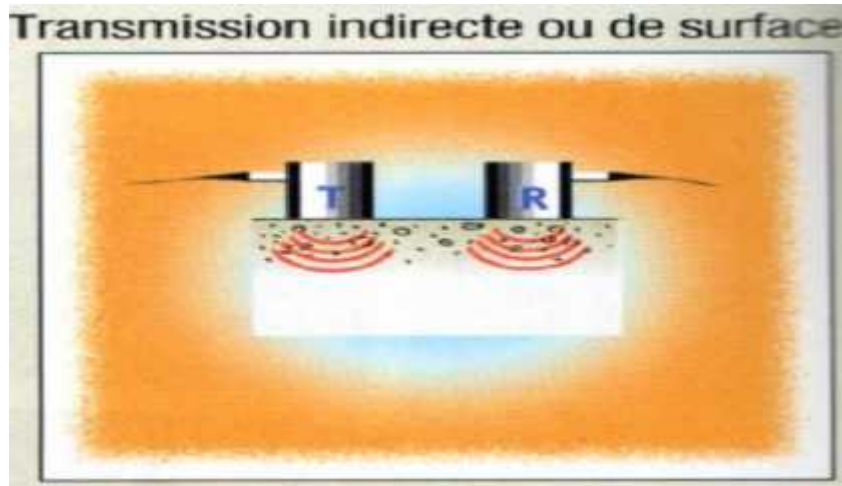


Figure I. 21-Mesures en surface

✓ **Mesures semi directe :**

Elles sont utilisées sur tous les éléments de structure et sur les éprouvettes, mais plus particulièrement sur les éléments de structure où on ne peut pas utiliser les autres manières **figure I.22**.

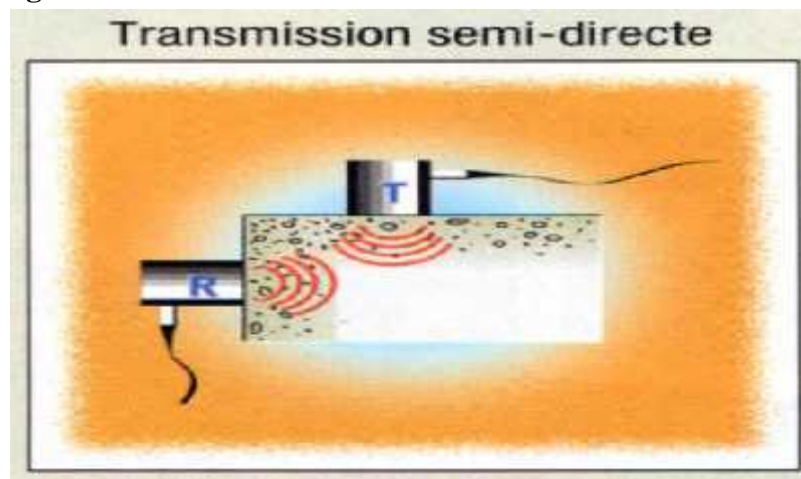


Figure I. 22-Mesures semi directe

➤ **Interprétation Des Résultats De Mesure Aux Ultrasons**

Dans un milieu homogène et isotrope, la vitesse des ondes longitudinales des ultrasons est liée au module d'élasticité et à la masse volumique. Cette relation donne une base logique pour utiliser des mesures de vitesse des ondes pour estimer la résistance à la compression du béton. Mais il faut mentionner qu'il n'y a pas de relation physique unique entre les deux paramètres compte tenu de l'influence des différents constituants entrant dans la composition du béton. Par conséquent une corrélation plus fiable entre la vitesse de propagation des ultrasons et la résistance du béton à la compression ne peut être établie que dans des limites strictes données ci-après.

Les résultats obtenus en appliquant la courbe de la RILEM (voir **figure I.23**) sont donnés dans le cas où le béton testé est considéré connue. Les résistances ne correspondent pas toujours à la

résistance réelle du béton in situ. C'est pour cette raison que par exemple dans les procès verbaux du CNERIB, seuls les appréciations suivantes sont données : [20]

-Classements qualitatifs :

- ✓ 2500 m/s $V < 3200$ m/s béton de faible résistance,
- ✓ 3200 m/s $V < 3700$ m/s béton de moyenne résistance,
- ✓ 3700 m/s $V < 4200$ m/s béton à haute résistance,
- ✓ $V > 4200$ m/s béton à très haute résistance.

-Estimation de la résistance du béton selon RILEM. [20]

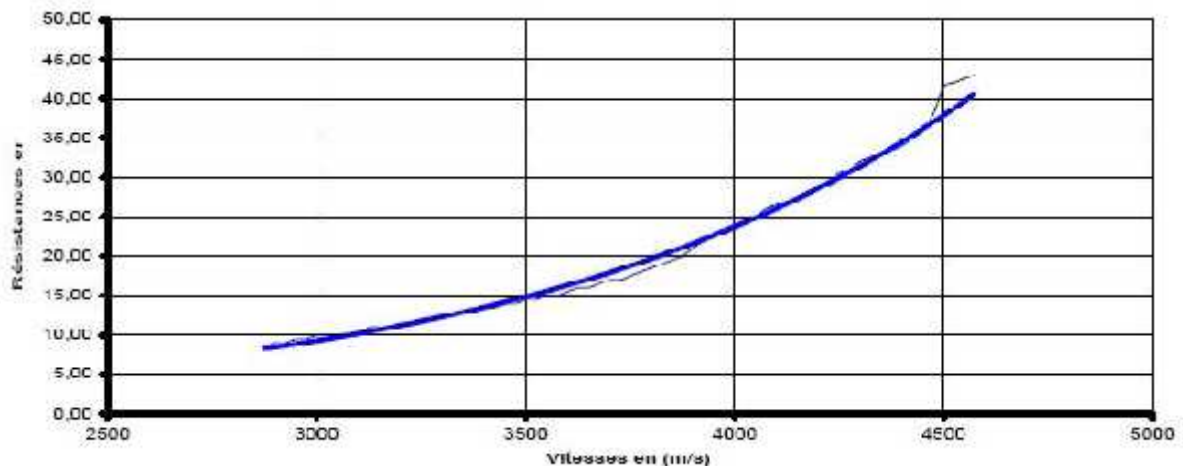


Figure I. 23-Courbe RILEM

Les normes P 18-414 de 1993, P 18-418 de 1989, ASTM C 597- 83 réapprouvée en 1991 et BS 1881 : partie 203 : 1986 spécifient les modes opératoires sans pour autant donner d'interprétation des résultats obtenus.

I.6 Conclusion

Cette synthèse bibliographique a été menée afin de se familiariser avec les bétons autoplaçants, L'objectif étant de les définir, ainsi que leurs multiples propriétés, les caractériser, et résumer les principales méthodes de leur formulation.

Le béton autoplaçant est un béton qui se compacte de lui même par effet gravitaire, sans aucun apport d'énergie de compactage (par ex. vibration, damage).

Les propriétés caractéristiques de ce béton à l'état frais sont :

- Fluidité et viscosité élevées, sans aucune tendance à la ségrégation
 - Capacité de passage dans les milieux confinés
 - Excellente aptitude au remplissage des moindres recoins du coffrage par un béton homogène, même en présence de ferrailage dense. Le fastidieux travail de vibration est ainsi supprimé.
- Un béton est qualifié d'autoplaçant lorsque ces trois critères sont vérifiés. Ainsi, un grand nombre de tests empiriques sont développés pour caractériser le béton vis-à-vis des propriétés d'ouvrabilité.

Chapitre 2

Caractéristiques Des matériaux utilisés

II.1 Introduction:

Nous présenterons dans ce chapitre, les caractéristiques des matériaux utilisés pour la confection du béton.

Les matériaux utilisés sont :

- Le sable de dune de la région de BOUSAADA (OUED MAITAR).
- Le sable concassé de carrière (COSIDER).
- Le gravier concassé de carrière située à 25Km de M'sila, en allant vers B.B.A (COSIDER).
- Le ciment CPJ de la cimenterie ACC de Hammam Dhalàa.
- Les fillers : les fines calcaires.
- Les adjuvants : **MEDAPLAST SP 40** de Granitex. (super-plastifiant).
- L'eau potable du laboratoire.

II.2 SABLE de dune D'OUED (BOUSAADA):

II.2.1 Origine du sable :

Le sable de base de notre recherche provient: des abords d'Oued MAITAR (BOUSAADA)

II.2.2 Caractéristiques physiques des sables utilisés:

Le sable a été soumis à plusieurs essais au laboratoire de Génie civil de l'université de M'sila, suivant les normes françaises **AFNOR**

II. 2.2.1 Masse volumique (absolue) : NF P 18-555

C'est la masse de l'unité de volume de la substance, c'est-à-dire le rapport entre sa masse et son volume absolu.

Mode opératoire :

On détermine la masse volumique absolue du sable à l'aide du récipient de capacité **1000** ml. On prend **03** échantillons de masse **300g**.

On place l'échantillon dans le récipient de capacité **1000** ml et on y verse **300** ml d'eau préparé préalablement dans **2^{ème}** récipient gradué, puis on malaxe soigneusement le contenu pour chasser l'air qui y existe. Après cette opération, on détermine le volume final occupé par le mélange sable – eau. Soit (V) ce volume.

Sachant que le volume (V_e) d'eau versé est 300 ml, il serait facile de déterminer le volume occupé par le sable seul.

Volume de sable : $V_1 = V - 300$ (ml).

La masse volumique absolue du sable est déterminée par la formule:

$$\dots = \frac{M}{V_1} \quad \text{Avec : } M = 300 \text{ g}$$

Résultats obtenus :

Tableau II.1: Masse volumique absolue du sable du dune.

| N° d'essai | M (g) | V_e (cm ³) | V_1 (cm ³) | ... (g / cm ³) | ρ_{moy} (g / cm ³) |
|------------|-------|--------------------------|--------------------------|----------------------------|--------------------------------------------|
| 1 | 300 | 300 | 420 | 2.5 | 2.52 |
| 2 | 300 | 300 | 419 | 2.521 | |
| 3 | 300 | 300 | 418 | 2.542 | |

II.2.2.2 Masse volumique apparente : NF P 18-554

II.2.2.2.1 Masse volumique apparente à l'état lâche :

C'est la masse du matériau par unité de volume y compris des vides existant entre les grains.

Mode opératoire :

- On détermine la masse volumique apparente du sable à l'aide d'un entonnoir standardisé de capacité **2 à 2,5** litres.
- On remplit l'entonnoir avec du sable sec.
- On pèse le récipient vide M_1 .
- On place le récipient sous l'entonnoir à une distance de **10 à 15** cm et on le remplit avec du sable.
- Une fois le récipient est rempli, on nivelle la surface du sable et on pèse le tout. Soit M_2 ce poids.
- Volume de récipient $V_r = 900 \text{ cm}^3$.

La masse volumique apparente du sable est donnée par la formule suivante :

$$\rho_{\text{app}} = \frac{(M_2 - M_1)}{V_r}$$

Tableau II.2: Masse volumique apparente du sable de Boussaâda à l'état lâche.

| N° d'essai | M_1 (g) | M_2 (g) | ... _{app} (g/cm ³) | ... _{app} moye (g/cm ³) |
|------------|-----------|-----------|-----------------------------------------|----------------------------------------------|
| 01 | 116 | 1498 | 1.535 | 1.534 |
| 02 | 116 | 1499 | 1.536 | |
| 03 | 116 | 1496 | 1.533 | |

II.2.2.2.2 Masse volumique apparente à l'état compact :

C'est la masse du matériau par unité de volume après compactage compris les vides restant entre les grains. Généralement elle est supérieure à la masse volumique à l'état lâche.

Mode opératoire :

Même méthode que celle de l'état lâche, après remplissage du récipient « après tassement » on soumet ce dernier à **30** secousses manuelles. On complète le remplissage du récipient après le

tassement du sable, puis on nivelle ce dernier et on le pèse. Soit M_2 le poids de l'ensemble (sable + récipient), la masse volumique à l'état compacte est donnée par la formule suivante :

$$\dots_c = \frac{(M_2 - M_1)}{V_r}$$

Où :

M_1 : Masse du récipient à vide.

M_2 : Masse du récipient plus le sable.

V_r : Volume du récipient.

Tableau II.3: Masse volumique apparente du sable du dune à l'état compact.

| N° d'essai | M_1 (g) | M_2 (g) | \dots_{app} (g/cm ³) | \dots_{app} moy (g/cm ³) |
|------------|-----------|-----------|------------------------------------|----------------------------------------|
| 01 | 116 | 1635.7 | 1.688 | 1.69 |
| 02 | 116 | 1637.4 | 1.690 | |
| 03 | 116 | 1639.4 | 1.692 | |

II.2.2.3 Porosité : (NF P 18-554)

C'est le volume des vides entre les grains du sable. La porosité peut être déterminée par la formule suivante :

$$P(\%) = 100 - (\text{Masse volumique apparente} / \text{masse volumique absolue}) \times 100$$

$$\dots_L P(\%) = \left[1 - \frac{\dots_{app}}{\dots_{abs}} \right] \times 100$$

On distingue deux cas :

Pour le sable du dune :

- Etat lâche : $\dots_L = 39.12$ %.
- Etat compacte : $\dots_c = 32.93$ %.

II. 2.2.4 Compacité :

La compacité d'un matériau est une proportion de son volume réellement occupé par la matière solide qui le constitue, c'est-à-dire le rapport du volume absolu des grains au volume apparent du matériau.

La compacité donnée par la formule :

$$C = (\dots_a / \dots_{ab}) = 100 - P$$

On distingue deux cas :

Pour le sable du dune :

- Etat lâche : $C_L = 60.88$ %.
- Etat compacte : $C_c = 67.88$ %.

II.2.2.5 L'indice des vides :

L'indice des vides est le rapport entre le volume du vide et le volume de solide.

$$e = V_v/V_s = P / (100 - P).$$

Avec P en pourcent (%).

Pour le sable du dune :

- Etat lâche : $e = 0.64$ %
- Etat compacte : $e = 0.49$ %

Les résultats de la porosité, la compacité et l'indice de vide sont regroupés dans les deux tableaux suivants :

Tableau II.4: La porosité, la compacité et l'indice de vide Pour le sable du dune.

| Porosité P% | | Compacité C% | | Indice des vides e | |
|----------------|---------|-----------------|---------|-----------------------|---------|
| Lâche | Compact | Lâche | Compact | Lâche | Compact |
| 39.12 | 32.93 | 60.88 | 67.07 | 0.64 | 0.49 |

II.2.2.6 Equivalent de sable : NF P 18-598

Nous essayons de mettre en évidence la proportion d'impuretés argileuses ou ultrafines contenues dans le sable et le pourcentage de poussières nuisibles et les éléments argileux qui diminuent la qualité du béton et mortier.

Mode opératoire :

- Tamiser une quantité de sable (masse supérieure à **500 g**).
- Prendre une pesée de **120 g**.
- Remplir l'éprouvette de solution la vante jusqu'au premier repère (**10cm**).
- A l'aide de l'entonnoir verser la prise d'essai (**120g**) dans l'éprouvette et taper fortement à plusieurs reprises avec la paume de la main afin de chasser toutes les bulles d'air et favoriser le mouillage de l'échantillon.
- Laisser reposer pendant **10** minutes.
- Fermer l'éprouvette à l'aide du bouchon en caoutchouc et lui imprimer **90** cycles de **20cm** de cours horizontale en **30** secondes à la main à l'aide d'un agitateur mécanique.
- Retirer ensuite le bouchon, le rincer avec la solution la vante au dessus de l'éprouvette, Rincer ensuite les parois de celle-ci.
- Faire descendre le tube laveur dans l'éprouvette, le rouler entre le pouce et l'index en faisant tourner lentement le tube et l'éprouvette et en imprimant en même temps au tube un léger piquage. Cette opération a pour but de laver le sable et de faire monter les éléments fins et argileux. Effectuer cette opération jusqu'à ce que la solution la vante atteigne le **2^{ème}** repère. Laisser ensuite reposer pendant **20** minutes.

A / Equivalent de sable visuel (ESV):

- Après **20** minutes de dépôt de sable, lire la hauteur h_1 du niveau supérieure du floculant jusqu'au fond de l'éprouvette à l'aide d'une réglette.
- Mesurer également avec la règle la hauteur h_2 comprise entre le niveau supérieur de la partie sédimentaire et le fond de l'éprouvette.

$$ESV = \frac{h_2}{h_1} \times 100 \text{ [%]}$$

Où : $h_2 < h_1$ avec : h_1 : sable propre + éléments fins.

B / Equivalent de sable visuel (ESP):

- Introduire le piston dans l'éprouvette et laisser descendre doucement jusqu'à ce qu'il repose sur le sédiment. A cet instant bloquer le manchon du piston et sortir celui-ci de l'éprouvette.
- Introduire le réglet dans l'encoche du piston jusqu'à ce que le zéro vienne buter contre la face intérieure de la tête du piston. Soit h'_2 la hauteur lue et correspondant à la hauteur de la partie sédimentée.

$$ESP = \frac{h'_2}{h_1} \times 100 \text{ [%]}$$

Où h'_2 : La hauteur du sable ($h'_2 < h_1$).

Tableau II.5: Equivalent du sable du dune

| N° d'essai | h_1 (cm) | h_2 (cm) | ESV (%) | h'_2 (cm) | ESP (%) |
|----------------------|------------|------------|---------|-------------|---------|
| 01 | 10.1 | 9.1 | 91.08 | 8.7 | 86.13 |
| 02 | 9.8 | 9.1 | 92.85 | 8.5 | 86.73 |
| 03 | 10.1 | 9.2 | 91.08 | 8.6 | 85.14 |
| moy | | | 91.67 | | 86 |

$(ESV)_{\text{moy}} = 91.67\%$

$(ESP)_{\text{moy}} = 86\%$

Donc :

Tableau II.6: Comparaison des résultats. [21]

| E.S.V | E.S.P | Nature et qualité du sable |
|----------|----------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ES<65 | ES<60 | Sable argileux : Risque de retrait ou de gonflement à rejeter pour des bétons de qualité. |
| 65<ES<75 | 65<ES<70 | Sable légèrement argileux de propriété admissible pour des bétons de qualité courante quand on ne craint pas particulièrement le retrait. |
| 75 ES 85 | 70 ES 80 | Sable propre à faible pourcentage de farine argileux convient parfaitement pour des bétons de hautes qualité. |
| E.S 85 | E.S>80 | Sable très propre : L'absence totale de fines argileuses risque d'entraîner un défaut de plasticité du béton qu'il faudra rattraper par une augmentation du dosage en eau. |

Pour le sable du dune : C'est un sable très propre.

E.S 85 et E.S>80 Sable très propre : L'absence totale de fines argileuses risque d'entraîner un défaut de plasticité du béton qu'il faudra rattraper par une augmentation du dosage en eau.

II.2.2.7 Teneur en eau : NF P 18-555

Le sable à la capacité de retenir une quantité d'eau très grande (elle peut atteindre **20 à 25** % de son poids), si son humidité est comprise entre la limite de **0 à 3%**, on l'appelle sec.

Mode opératoire :

- ◆ Peser un échantillon de sable humide, soit M_h son poids (**500 g**).
- ◆ Laisser l'échantillon dans une étuve à une température dans l'intervalle de **105°C à 110** °C pendant **24** heures.
- ◆ Peser l'échantillon de nouveau, soit M_s son poids.

La teneur en eau du sable est :

$$W = \left(\frac{M_h - M_s}{M_h} \right) \times 100 \text{ [%]}$$

Où :

- M_h : Poids du sable humide en (g).
- M_s : Poids du sable sec en (g).

Tableau II.7: Teneur en eau du sable du dune

| N° d'essai | M_h (g) | M_s (g) | W (%) | W_{moy} (%) |
|------------|-----------|-----------|-------|---------------|
| 1 | 500 | 497.6 | 0.48 | 0.4 |
| 2 | 500 | 498 | 0.4 | |
| 3 | 500 | 498.3 | 0.34 | |

II.2.2.8 Degré d'absorption d'eau : NF P 18-555

Elle est le pouvoir d'un matériau d'absorber et de retenir l'eau, elle est définie en pourcentage d'après la formule suivante.

$$A = \left(\frac{M_2 - M_1}{M_1} \right) \times 100 [\%]$$

Où :

- M_1 : La masse du matériau sec en (g).
- M_2 : La masse du matériau saturé d'eau superficiellement sec en (g).

Tableau II.8: Degré d'absorption du sable du dune.

| N° d'essai | M_1 (g) | M_2 (g) | A (%) | A_{moy} (%) |
|------------|-----------|-----------|-------|---------------|
| 1 | 300 | 307 | 2.33 | 2.44 |
| 2 | 300 | 308 | 2.66 | |
| 3 | 300 | 307 | 2.33 | |

II.2.2.9 Analyse granulométrique : (NF P 18-560)

L'analyse granulométrique permet de mesurer la distribution dimensionnelle en poids des éléments d'un matériau, elle comprend

Deux opérations :

1. Tamisage.
2. Sédimentation.

La granularité est exprimée par une courbe granulométrique qui donne la répartition de la dimension moyenne des grains, exprimée sous forme de pourcentage du poids total du matériau, elle est tracée en diagramme semi-logarithmique avec :

- En abscisse, le logarithme de la dimension des ouvertures des tamis en valeurs croissantes.
- En ordonnée, le pourcentage, en poids du matériau total de la fraction



Figure II 1- Les Tamis.

du sable dont les grains ont un diamètre moyen inférieur à celui de l'abscisse correspondante (passant) on constate que la courbe granulométrique est un élément fondamental de classification du matériau.

Les résultats de cette étude permettent de prévoir certaines propriétés du matériau comme la perméabilité, l'aptitude au compactage et l'utilisation comme filtre.

Mode opératoire :

- Prélever (1,5 kg) de matériau (sable sec).
- Peser chaque tamis à vide à 1 g près, soit m_i la masse du tamis.
- Constituer une colonne de tamis propres et secs dont l'ouverture des mailles est respectivement de haut en bas : 5 - 2,5 - 1,25 - 0,63 - 0,315 - 0,125 et éventuellement 0,08 mm. La colonne est coiffée par un fond pour recueillir les éléments passant au dernier tamis et un couvercle pour éviter la dispersion des poussières. On commence par peser les tamis ainsi que le fond.
 - Verser le matériau (sable sec) sur la colonne et la fixer soigneusement sur la machine d'agitation mécanique, agité pendant 5 minutes. Arrêter l'agitateur, puis séparer avec soin les différents tamis.
 - Peser chaque tamis séparément à 1 g près. Soit M_i la masse du tamis (I) + le sable. La différence entre M_i et m_i (tamis de plus grandes mailles) correspond au refus partiel R_1 du tamis 1.
 - Reprendre l'opération pour le tamis immédiatement inférieur.
 - Ajouter le refus obtenu sur le sixième tamis à R_1 , soit R_2 la masse du refus cumulé du tamis 2 ($R_2=R_1$ +Refus partiel sur tamis).
 - Poursuivre l'opération avec le reste des tamis pour obtenir les masses des différents refus cumulés R_3, R_4, \dots

Le tamisât cumulé est donné par la relation suivante : $T= 100 - R_c$

Où :

- T: Tamisât en %
- R_C : Refus cumulés en %

Tableau II.9: Analyse granulométrique du sable d'oued (Oued Maitre).

| <i>Tamis (mm)</i> | <i>Refus partiel (g)</i> | <i>Refus cumulés</i> | | <i>Tamisât (%)</i> |
|-------------------|--------------------------|----------------------|------------|--------------------|
| | | <i>(g)</i> | <i>(%)</i> | |
| 5 | 00 | 00 | 00 | 100 |
| 2.5 | 28.39 | 28.39 | 1.89 | 98.11 |
| 1.25 | 67.35 | 95.74 | 6.38 | 93.62 |
| 0.63 | 80.02 | 175.76 | 11.71 | 88.29 |
| 0.315 | 345.3 | 521.06 | 34.73 | 65.27 |
| 0.16 | 758.76 | 1279.82 | 85.32 | 14.68 |
| 0.08 | 210.04 | 1489.86 | 99.32 | 0.68 |
| Fond | 10.14 | 1500 | 100 | 00 |

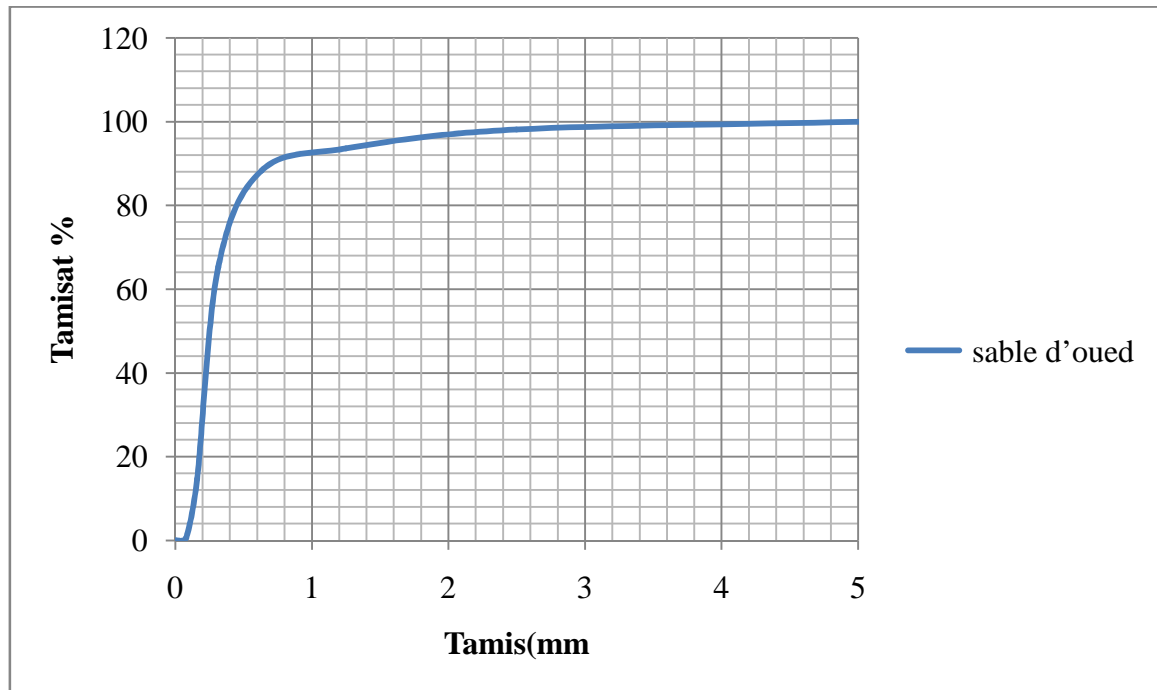


Figure II 2- La courbe granulométrique du sable d'oued (0/5).

Commentaire : => Le sable de dune (Oued Maitre) propre.

⇒ Le sable (0/5) est un sable fin.

Donc : le sable qui utilisé propre et gradué (acceptable).

Nous déduisons que c'est un sable fin et il n'est pas de bonne qualité, il n'est donc spécifié pour la fabrication des bétons du point de vue de l'analyse granulométrique.

II.2.2.10 Module de finesse :

C'est un facteur très important, qui nous permet de juger la grosseur du sable, il est exprimé par le rapport de la somme des refus cumulés des tamis de mailles :

[0.16-0.315-0.63-1.25-2.5 et 5 (mm)] sur 100 et calculé par la relation suivante :

$$M_f = \sum \frac{R_c}{100}$$

Où R_c : Refus cumulé.

Et le refus dont le tamis **0,16 = 85.32 %**

Pour le sable du dune : $M_f = 1.4$

Les normes soviétiques spécifient le M_f des sables comme suit :

- Sable gros $M_f > 2.5$
- Sable moyen $2 < M_f < 2.5$
- Sable fin $1.5 < M_f < 2$
- Sable très fin $1 < M_f < 1.5$

On se basant sur cette classification, on trouve le résultat suivant:

✓ Pour le sable du dune : Sable très fin

II.2.3 Les Caractéristiques chimiques du sable du dune :

La composition chimique du sable de dune (OUED MAITRE) est établie en mars 2005, à la cimenterie de ACC (M'sila). Elle est donnée au (Tableau II.10.).

Tableau II.10: Analyse chimique du sable du dune.

| <i>CONSTITUANTS</i> | | |
|---------------------|--------------------------------|----------------------|
| <i>Elément</i> | <i>Symbole</i> | <i>Teneur en (%)</i> |
| Silice | SiO ₂ | 86.95 |
| Chaux | CaO | 6.33 |
| Oxyde de ferrique | Fe ₂ O ₃ | 0.90 |
| Alumine | Al ₂ O ₃ | 1.92 |
| Oxyde de magnésium | MgO | 0.53 |
| Sulfate | So ₃ | 0.44 |
| Pente au fer | P.A.F | 2.81 |

Commentaire :

Le sable du dune est un sable à haute teneur en silice.

II.3 SABLE CONCASSE :**II.3.1 Origine du sable :**

Le sable de base de notre recherche provient: de carrière située à 25Km de M'sila, en allant vers B.B.A (carrière COSIDER).

II.3.2 : Caractéristiques physiques de sable concassé :

Le sable a été soumis à plusieurs essais au laboratoire de Génie civil de l'université de M'sila, suivant les normes françaises AFNOR.

II. 3.2.1 Masse volumique (absolue) : NF P 18-555

Le mode opératoire est le même que l'on a utilisé pour la masse volumique absolue du sable d'oued.

Résultats obtenus :**Tableau II.11: Masse volumique absolue du sable concassé.**

| N° d'essai | M (g) | V _e (cm ³) | V ₁ (cm ³) | ... (g / cm ³) | ρ _{moy} (g / cm ³) |
|------------|-------|-----------------------------------|-----------------------------------|----------------------------|-----------------------------------------|
| 1 | 300 | 300 | 418 | 2.542 | 2.548 |
| 2 | 300 | 300 | 418 | 2.542 | |
| 3 | 300 | 300 | 417 | 2.564 | |

II.3.2.2 Masse volumique apparente : NF P 18-554**II.3.2.2.1 Masse volumique apparente à l'état lâche :**

Le mode opératoire est le même que l'on a utilisé pour la masse volumique apparente du sable d'oued.

Tableau II.12: Masse volumique apparente du sable concassé à l'état lâche.

| N° d'essai | M ₁ (g) | M ₂ (g) | ... _{app} (g/cm ³) | ... _{app} moye (g/cm ³) |
|------------|--------------------|--------------------|-----------------------------------------|----------------------------------------------|
| 01 | 116 | 1405 | 1.432 | 1.433 |
| 02 | 116 | 1410 | 1.437 | |
| 03 | 116 | 1404 | 1.431 | |

II.3.2.2.2 Masse volumique apparente à l'état compact :

Le mode opératoire est le même que l'on a utilisé pour la masse volumique apparente du sable d'oued.

Tableau II.13: Masse volumique apparente du sable concassé à l'état compact.

| N° d'essai | M ₁ (g) | M ₂ (g) | ... _{app} (g/cm ³) | ... _{app} moy (g/cm ³) |
|------------|--------------------|--------------------|-----------------------------------------|---------------------------------------------|
| 01 | 115.7 | 1585.6 | 1.633 | 1.622 |
| 02 | 115.7 | 1574 | 1.620 | |
| 03 | 115.7 | 1569 | 1.614 | |

II.3.2.3 Porosité : (NF P 18-554)

C'est le volume des vides entre les grains du sable. La porosité peut être déterminée par la formule suivante :

$$P(\%) = 100 - (\text{Masse volumique apparente} / \text{masse volumique absolue}) \times 100$$

$$\dots_L P(\%) = \left[1 - \frac{\dots_{app}}{\dots_{abs}} \right] \times 100$$

On distingue deux cas :

Pour le sable concassé :

- Etat lâche : $\dots_L = 43.75 \%$
- Etat compacte : $\dots_c = 36.34 \%$

II. 3.2.4 Compacité :

La compacité d'un matériau est une proportion de son volume réellement occupé par la matière solide qui le constitue, c'est à dire le rapport du volume absolu des grains au volume apparent du matériau.

La compacité donnée par la formule : $C = (\dots_a / \dots_{ab}) = 100 - P$

On distingue deux cas :

Pour le sable concassé :

- Etat lâche : $C_L = 56.25 \%$.
- Etat compacte : $C_c = 63.66 \%$.

II.3.2.5 L'indice des vides :

L'indice des vides est le rapport entre le volume du vide et le volume de solide.

$$e = V_v / V_s = P / (100 - P) \quad \text{Avec } P \text{ en pourcent (\%).}$$

Pour le sable concassé :

- Etat lâche : $e = 0.777 \%$.
- Etat compacte : $e = 0.570 \%$.

Les résultats de la porosité, la compacité et l'indice de vide sont regroupés dans le tableau suivant :

Tableau II.14: La porosité, la compacité et l'indice de vide Pour le sable concassé.

| Porosité P% | | Compacité C% | | Indice des vides e | |
|----------------|---------|-----------------|---------|-----------------------|---------|
| Lâche | Compact | Lâche | Compact | Lâche | Compact |
| 43.75 | 36.34 | 56.25 | 63.66 | 0.777 | 0.570 |

II.3.2.6 Equivalent de sable : NF P 18-598

Nous essayons de mettre en évidence la proportion d'impuretés argileuses ou ultrafines contenues dans le sable et le pourcentage de poussières nuisibles et les éléments argileux qui diminuent la qualité du béton et mortier.

Le mode opératoire est le même que l'on a utilisé pour la masse volumique absolue du sable d'oued.

Tableau II.15: Equivalent du sable concassé.

| N° d'essai | h_1 (cm) | h_2 (cm) | ESV (%) | h'_2 (cm) | ESP (%) |
|------------|------------|------------|---------|-------------|---------|
| 01 | 10.8 | 10.4 | 93.29 | 10.2 | 94.44 |
| 02 | 11.4 | 11 | 96.49 | 10.6 | 92.98 |
| 03 | 11.2 | 10.8 | 96.42 | 10.4 | 92.85 |
| moy | | | 95.4 | | 93.42 |

On a :

$$(ESV)_{\text{moy}} = 95.4 \% \quad \text{et} \quad (ESP)_{\text{moy}} = 93.42 \%$$

Donc :

E.S 85 et E.S>80

Pour le sable concassé

Sable très propre : L'absence totale de fines argileuses risque d'entraîner un défaut de plasticité du béton qu'il faudra rattraper par une augmentation du dosage en eau.

II.3.2.7 Teneur en eau : NF P 18-555

Le sable a la capacité de retenir une quantité d'eau très grande (elle peut atteindre **20 à 25 %** de son poids), si son humidité est comprise entre la limite de **0 à 3%**, on l'appelle sec.

Le mode opératoire est le même que l'on a utilisé pour la masse volumique absolue du sable d'oued.

Tableau II.16: Teneur en eau du sable concassé.

| N° d'essai | M_h (g) | M_s (g) | W (%) | W_{moy} (%) |
|------------|-----------|-----------|---------|---------------|
| 1 | 500 | 494.5 | 1.11 | 1.1 |
| 2 | 500 | 494.2 | 1.17 | |
| 3 | 500 | 494.9 | 1.03 | |

II.3.2.8 Degré d'absorption d'eau : NF P 18-555

Elle est le pouvoir d'un matériau d'absorber et de retenir l'eau, elle est définie en pourcentage d'après la formule suivante.

$$A = \left(\frac{M_2 - M_1}{M_1} \right) \times 100 [\%]$$

Où :

- M_1 : La masse du matériau sec en (g).
- M_2 : La masse du matériau saturé d'eau superficiellement sec en (g).

Tableau II.17: Degré d'absorption du sable concassé.

| N° d'essai | M_1 (g) | M_2 (g) | A (%) | A_{moy} (%) |
|------------|-----------|-----------|---------|---------------|
| 1 | 300 | 305 | 1.66 | 1.72 |
| 2 | 300 | 305,3 | 1.76 | |
| 3 | 300 | 305,25 | 1.75 | |

II.3.2.9 Analyse granulométrique : (NF P 18-560)

Le mode opératoire est le même que l'on a utilisé pour l'analyse granulométrique du sable d'oued.

Les résultats obtenus sont regroupés dans le tableau suivant :

Tableau II.18: L'analyse granulométrique du sable concassé.

| Tamis (mm) | Refus partiel (g) | Refus cumulés | | Tamisât (%) |
|------------|-------------------|---------------|-------|-------------|
| | | (g) | (%) | |
| 5 | 1.4 | 1.4 | 0.09 | 99.91 |
| 2.5 | 283.8 | 285.2 | 19.01 | 80.99 |
| 1.25 | 619.2 | 904.4 | 60.29 | 39.71 |
| 0.63 | 250.5 | 1154.9 | 76.99 | 23.01 |
| 0.315 | 197.2 | 1352.1 | 90.14 | 9.86 |
| 0.2 | 65.1 | 1417.2 | 94.48 | 5.52 |
| 0.08 | 75.9 | 1493.1 | 99.54 | 0.46 |
| Fond | 6.3 | 1499.4 | 99.96 | 0.04 |

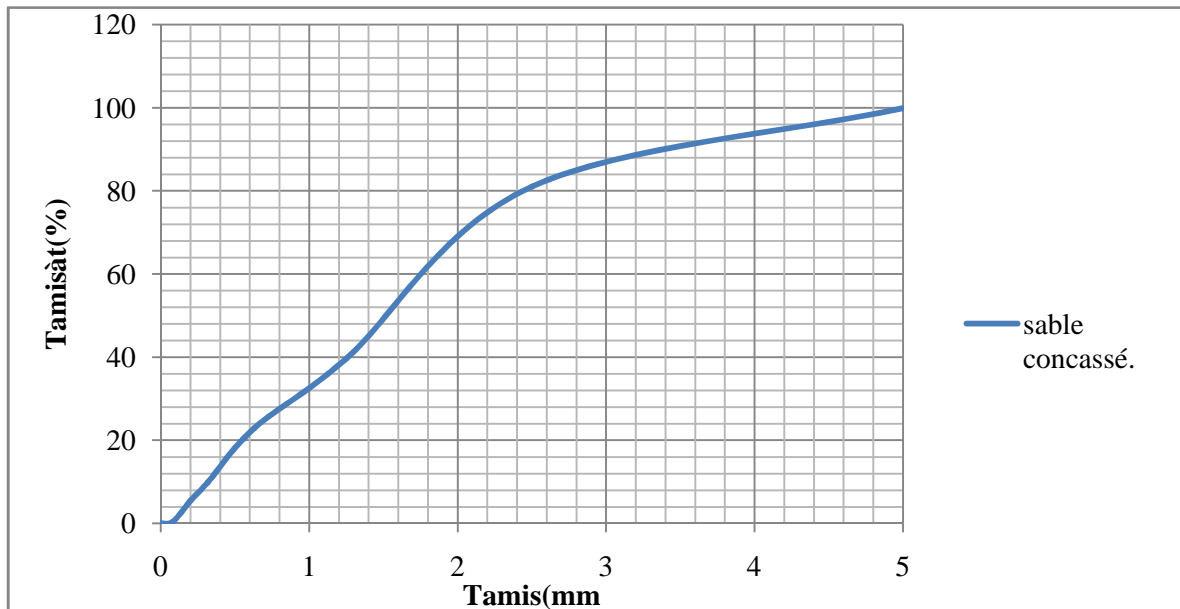


Figure II 3- la courbe granulométrique du sable concassé.

II 3.2.10 Module de finesse MF :

C'est un facteur très important qui nous permet de juger la grosseur du sable, il est exprimé par le rapport de la somme des refus cumulés par les tamis, il est donné par relation suivante :

$$M_F = R_c/100 \Rightarrow M_F = 3.14 .$$

- sable gros : $M_F > 2.5$.
- sable moyen : $M_F = 2$ à 2.5 .
- sable fin : $M_F = 1.5$ à 2 .

On se basant sur cette classification, on trouve le résultat suivant:

Pour le sable concassé : $M_f > 2,5$: C'est un sable gros.

II.4 : Caractéristiques physiques de sable mixte₁ (50% de dune - 50% concassé) :

Le sable a été soumis à plusieurs essais au laboratoire de Génie civil de l'université de M'sila, suivant les normes françaises **AFNOR**.

II.4.1 Masse volumique (absolue) : NF P 18-555

Le mode opératoire est le même que l'on a utilisé pour la masse volumique absolue du sable d'oued.

Résultats obtenus :

Tableau II.19: Masse volumique absolue du sable mixte₁.

| N° d'essai | M (g) | $V_e (cm^3)$ | $V_1 (cm^3)$ | ... (g/cm^3) | $\rho_{moy} (g/cm^3)$ |
|------------|-------|--------------|--------------|------------------|-----------------------|
| 1 | 300 | 300 | 112 | 2.67 | 2.67 |
| 2 | 300 | 300 | 111 | 2.7 | |
| 3 | 300 | 300 | 113 | 2.65 | |

II.4.2 Masse volumique apparente : NF P 18-554**II.4.2.1 Masse volumique apparente à l'état lâche :**

Le mode opératoire est le même que l'on a utilisé pour la masse volumique apparente du sable d'oued

Tableau II.20: Masse volumique apparente du sable mixte₁ à l'état lâche.

| N° d'essai | $M_1 (g)$ | $M_2 (g)$ | ... _{app} (g/cm^3) | ... _{app} moye (g/cm^3) |
|------------|-----------|-----------|---------------------------------|--------------------------------------|
| 01 | 115.42 | 1545.30 | 1.588 | 1.578 |
| 02 | 115.42 | 1532.26 | 1.574 | |
| 03 | 115.42 | 1532.61 | 1.574 | |

II.4.2.2 Masse volumique apparente à l'état compact :

Le mode opératoire est le même que l'on a utilisé pour la masse volumique apparente du sable d'oued.

Tableau II.21: Masse volumique apparente du sable concassé à l'état compact.

| N° d'essai | $M_1 (g)$ | $M_2 (g)$ | ... _{app} (g/cm^3) | ... _{app} moy (g/cm^3) |
|------------|-----------|-----------|---------------------------------|-------------------------------------|
| 01 | 115.42 | 1653.80 | 1.709 | 1.725 |
| 02 | 115.42 | 1667.34 | 1.724 | |
| 03 | 115.42 | 1685.52 | 1.744 | |

II.4.3 Porosité : (NF P 18-554)

C'est le volume des vides entre les grains du sable. La porosité peut être déterminée par la formule suivante :

$$P(\%) = 100 - (\text{Masse volumique apparente} / \text{masse volumique absolue}) \times 100$$

$$P(\%) = \left[1 - \frac{\dots_{app}}{\dots_{abs}} \right] \times 100$$

On distingue deux cas :

Pour le sable mixte₁ :

- Etat lâche : $\dots_L = 40.89\%$.
- Etat compacte : $\dots_c = 35.39\%$.

II.4.4 Compacité :

La compacité d'un matériau est une proportion de son volume réellement occupé par la matière solide qui le constitue, c'est à dire le rapport du volume absolu des grains au volume apparent du matériau.

$$\text{La compacité donnée par la formule : } C = (\dots_a / \dots_{ab}) = 100 - P$$

On distingue deux cas :

Pour le sable mixte₁ :

- Etat lâche : $C_L = 59.11\%$.
- Etat compacte : $C_c = 64.61\%$.

II.4.5 L'indice des vides :

L'indice des vides est le rapport entre le volume du vide et le volume de solide.

$$e = V_v / V_s = P / (100 - P) \quad \text{Avec } P \text{ en pourcent } (\%).$$

Pour le sable mixte₁ :

- Etat lâche : $e = 0.69\%$.
- Etat compacte : $e = 0.54\%$.

Les résultats de la porosité, la compacité et l'indice de vide sont regroupés dans le tableau suivant :

Tableau II.22: La porosité, la compacité et l'indice de vide Pour le sable mixte₁.

| Porosité P% | | Compacité C% | | Indice des vides e | |
|----------------|---------|-----------------|---------|-----------------------|---------|
| Lâche | Compact | Lâche | Compact | Lâche | Compact |
| 40.89 | 35.39 | 59.11 | 64.61 | 0.69 | 0.54 |

II.4.6 Equivalent de sable : NF P 18-598

Nous essayons de mettre en évidence la proportion d'impuretés argileuses ou ultrafines contenues dans le sable et le pourcentage de poussières nuisibles et les éléments argileux qui diminuent la qualité du béton et mortier.

Le mode opératoire est le même que l'on a utilisé pour la masse volumique absolue du sable d'oued.

Tableau II.23: Equivalent du sable mixte₁.

| N° d'essai | h_1 (cm) | h_2 (cm) | ESV (%) | h'_2 (cm) | ESP (%) |
|------------|------------|------------|---------|-------------|---------|
| 01 | 10.4 | 9.35 | 89.90 | 8.3 | 79.80 |
| 02 | 10.7 | 9.3 | 86.91 | 8.4 | 78.5 |
| 03 | 10.8 | 9.5 | 87.96 | 8.9 | 82.40 |

On a :

$$(ESV)_{\text{moy}} = 88.25\% \quad \text{et} \quad (ESP)_{\text{moy}} = 80.23\%.$$

Donc :

E.S 85 et E.S > 80

Pour le sable mixte₁.

Sable très propre : L'absence totale de fines argileuses risque d'entraîner un défaut de plasticité du béton qu'il faudra rattraper par une augmentation du dosage en eau .

II.4.7 Teneur en eau : NF P 18-555

Le sable a la capacité de retenir une quantité d'eau très grande (elle peut atteindre **20 à 25 %** de son poids), si son humidité est comprise entre la limite de **0 à 3%**, on l'appelle sec.

Le mode opératoire est le même que l'on a utilisé pour la masse volumique absolue du sable d'oued.

Tableau II.24: Teneur en eau du sable mixte₁.

| N° d'essai | M_h (g) | M_s (g) | W (%) | W_{moy} (%) |
|------------|-----------|-----------|---------|----------------------|
| 1 | 500 | 494.8 | 1.04 | 1.02 |
| 2 | 500 | 494.5 | 1.1 | |
| 3 | 500 | 495.3 | 0.94 | |

II.4.8 Degré d'absorption d'eau : NF P 18-555

Elle est le pouvoir d'un matériau d'absorber et de retenir l'eau, elle est définie en pourcentage d'après la formule suivante.

$$A = \left(\frac{M_2 - M_1}{M_1} \right) \times 100 \text{ [%]}$$

Où :

- M_1 : La masse du matériau sec en (g).
- M_2 : La masse du matériau saturé d'eau superficiellement sec en (g).

Tableau II.25: Degré d'absorption du sable mixte₁.

| N° d'essai | M_1 (g) | M_2 (g) | A (%) | A_{moy} (%) |
|------------|-----------|-----------|-------|---------------|
| 1 | 300 | 306 | 2 | 1.88 |
| 2 | 300 | 305 | 1.66 | |
| 3 | 300 | 306 | 2 | |

II.4.9 Analyse granulométrique : (NF P 18-560)

Le mode opératoire est le même que l'on a utilisé pour l'analyse granulométrique du sable d'oued.

Les résultats obtenus sont regroupés dans le tableau suivant :

Tableau II.26: L'analyse granulométrique du sable mixte₁

| Tamis (mm) | Refus partiel (g) | Refus cumulés | | Tamisât (%) |
|------------|-------------------|---------------|-------|-------------|
| | | (g) | (%) | |
| 5 | 0.2 | 0.2 | 0.01 | 99.99 |
| 2.5 | 90.8 | 91 | 6.06 | 93.94 |
| 1.25 | 259.5 | 350.1 | 23.34 | 76.66 |
| 0.63 | 191.9 | 542.4 | 36.16 | 63.84 |
| 0.315 | 393.8 | 936.2 | 62.41 | 37.59 |
| 0.2 | 300.7 | 1236.9 | 82.46 | 17.54 |
| 0.08 | 253 | 1489.9 | 99.32 | 0.68 |
| Fond | 9.6 | 1499.5 | 99.96 | 0.03 |

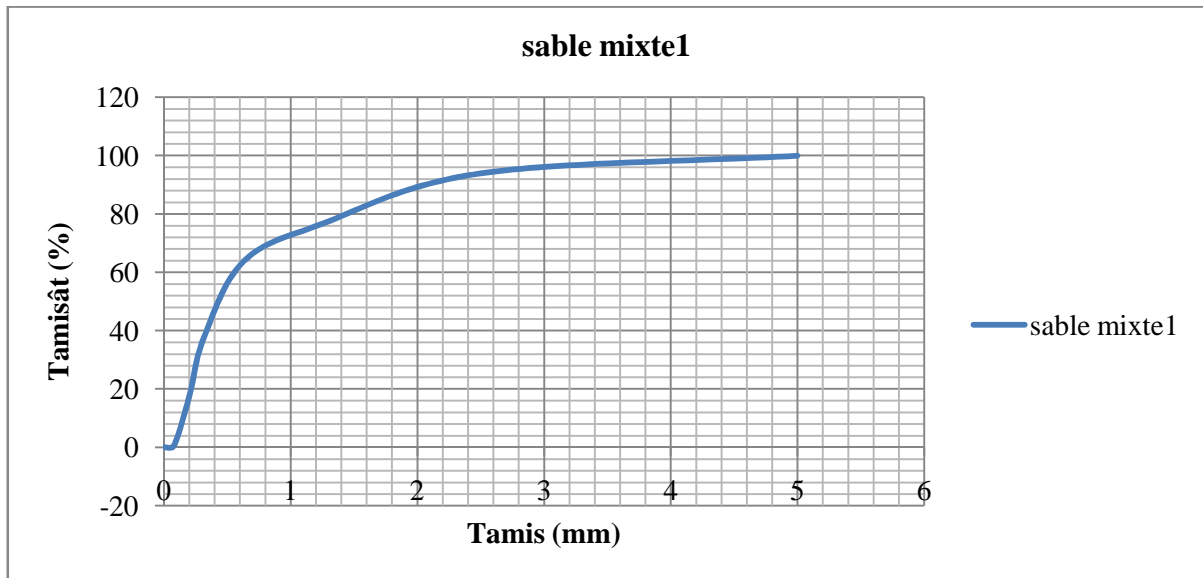


Figure II 4- La courbe granulométrique sable mixte₁.

II. 4.10 Module de finesse MF :

C'est un facteur très important qui nous permet de juger la grosseur du sable, il est exprimé par le rapport de la somme des refus cumulés par les tamis, il est donné par relation suivante :

$$M_F = R_c/100 \Rightarrow M_F = 2.1.$$

- sable gros : $M_F > 2.5$.
- sable moyen : $M_F = 2$ à 2.5 .
- sable fin : $M_F = 1.5$ à 2 .

On se basant sur cette classification, on trouve le résultat suivant:

- Pour le sable mixte₁: $M_F = 2$ à $2.5 \Rightarrow$ sable moyen

Commentaire :

Le sable mixte₁ (0/5) est un sable moyen

Donc : le sable qui utilisé propre et gradué (acceptable).

II.5 Caractéristiques physiques de sable mixte₂ : de module de finesse fixée = 2.2 (concassé 60.2 % - 39.8 % de dune).

Le sable a été soumis à plusieurs essais au laboratoire de Génie civil de l'université de M'sila, suivant les normes françaises AFNOR.

II.5.1 Masse volumique (absolue) : NF P 18-555

Le mode opératoire est le même que l'on a utilisé pour la masse volumique absolue du sable d'oued.

Résultats obtenus dans le tableau suivant :

Tableau II.27: Masse volumique absolue du sable mixte₂.

| N° d'essai | M (g) | $V_e (cm^3)$ | $V_1 (cm^3)$ | ... (g/cm^3) | $\rho_{moy} (g/cm^3)$ |
|------------|-------|--------------|--------------|------------------|-----------------------|
| 1 | 300 | 300 | 113 | 2.65 | 2.67 |
| 2 | 300 | 300 | 112 | 2.67 | |
| 3 | 300 | 300 | 411 | 2.7 | |

II.5.2 Masse volumique apparente : NF P 18-554

II.5.2.1 Masse volumique apparente à l'état lâche :

Le mode opératoire est le même que l'on a utilisé pour la masse volumique apparente du sable d'oued.

Tableau II.28: Masse volumique apparente du sable mixte₂ l'état lâche.

| N° d'essai | $M_1 (g)$ | $M_2 (g)$ | ... _{app} (g/cm^3) | ... _{app} moye (g/cm^3) |
|------------|-----------|-----------|---------------------------------|--------------------------------------|
| 01 | 115.7 | 1557 | 1.601 | 1.603 |
| 02 | 115.7 | 1554.1 | 1.598 | |
| 03 | 115.7 | 1565.6 | 1.611 | |

II.5.2.2 Masse volumique apparente à l'état compact :

Le mode opératoire est le même que l'on a utilisé pour la masse volumique apparente du sable d'oued.

Tableau II.29: Masse volumique apparente du sable concassé à sable mixte₂.

| N° d'essai | $M_1 (g)$ | $M_2 (g)$ | ... _{app} (g/cm^3) | ... _{app} moy (g/cm^3) |
|------------|-----------|-----------|---------------------------------|-------------------------------------|
| 01 | 115.7 | 1682.3 | 1.74 | 1.736 |
| 02 | 115.7 | 1681.8 | 1.74 | |
| 03 | 115.7 | 1671.7 | 1.728 | |

II.5.3 Porosité : (NF P 18-554)

C'est le volume des vides entre les grains du sable. La porosité peut être déterminée par la formule suivante :

$$P (\%) = 100 - (\text{Masse volumique apparente} / \text{masse volumique absolue}) \times 100$$

$$\dots_L P (\%) = \left[1 - \frac{\dots_{app}}{\dots_{abs}} \right] \times 100$$

On distingue deux cas :

Pour le sable mixte₂:

- Etat lâche : $\dots_L = 39.96\%$.
- Etat compacte : $\dots_c = 34.98\%$.

II.5.4 Compacité :

La compacité d'un matériau est une proportion de son volume réellement occupé par la matière solide qui le constitue, c'est à dire le rapport du volume absolu des grains au volume apparent du matériau.

La compacité donnée par la formule : $C = (\dots_a / \dots_{ab}) = 100 - P$

On distingue deux cas :

Pour le sable mixte₂:

- Etat lâche : $C_L = 60.04\%$.
- Etat compacte : $C_c = 65.02\%$.

II.5.6 L'indice des vides :

L'indice des vides est le rapport entre le volume du vide et le volume de solide.

$$e = V_v / V_s = P / (100 - P) \quad \text{Avec } P \text{ en pourcent } (\%).$$

Pour le sable mixte₂:

- Etat lâche : $e = 0.66\%$.
- Etat compacte : $e = 0.53\%$.

Les résultats de la porosité, la compacité et l'indice de vide sont regroupés dans le tableau suivant :

Tableau II.30: La porosité, la compacité et l'indice de vide Pour le sable mixte₂.

| Porosité P% | | Compacité C% | | Indice des vides e | |
|----------------|---------|-----------------|---------|-----------------------|---------|
| Lâche | Compact | Lâche | Compact | Lâche | Compact |
| 39.96 | 34.98 | 60.04 | 65.02 | 0.66 | 0.53 |

II.5.7 Equivalent de sable : NF P 18-598

Nous essayons de mettre en évidence la proportion d'impuretés argileuses ou ultrafines contenues dans le sable et le pourcentage de poussières nuisibles et les éléments argileux qui diminuent la qualité du béton et mortier.

Le mode opératoire est le même que l'on a utilisé pour la masse volumique absolue du sable d'oued.

Tableau II.31: Equivalent du sable mixte₂.

| N° d'essai | h_1 (cm) | h_2 (cm) | ESV (%) | h'_2 (cm) | ESP (%) |
|------------|------------|------------|---------|-------------|---------|
| 01 | 10.8 | 8.9 | 82.40 | 8.3 | 76.85 |
| 02 | 10.3 | 9.1 | 88.34 | 8.5 | 82.52 |
| 03 | 10 | 9.15 | 91.5 | 8.6 | 86 |

On a :

$$(ESV)_{\text{moy}} = 87.41\% \quad \text{et} \quad (ESP)_{\text{moy}} = 81.79\%.$$

Donc :

E.S 85 et E.S > 80 .

Pour le sable mixte₂.

Sable très propre : L'absence totale de fines argileuses risque d'entraîner un défaut de plasticité du béton qu'il faudra rattraper par une augmentation du dosage en eau .

II.5.8 Teneur en eau : NF P 18-555

Le sable a la capacité de retenir une quantité d'eau très grande (elle peut atteindre **20 à 25 %** de son poids), si son humidité est comprise entre la limite de **0 à 3%**, on l'appelle sec.

Le mode opératoire est le même que l'on a utilisé pour la masse volumique absolue du sable d'oued.

Tableau II.32: Teneur en eau du sable mixte₂.

| N° d'essai | M_h (g) | M_s (g) | W (%) | W_{moy} (%) |
|------------|-----------|-----------|---------|----------------------|
| 1 | 300 | 298.9 | 0.36 | 0.37 |
| 2 | 300 | 298.8 | 0.40 | |
| 3 | 300 | 298.9 | 0.36 | |

II.5.9 Degré d'absorption d'eau : NF P 18-555

Elle est le pouvoir d'un matériau d'absorber et de retenir l'eau, elle est définie en pourcentage d'après la formule suivante.

$$A = \left(\frac{M_2 - M_1}{M_1} \right) \times 100 \text{ [%]}$$

Où :

- M_1 : La masse du matériau sec en (g).
- M_2 : La masse du matériau saturé d'eau superficiellement sec en (g).

Tableau II.33: Degré d'absorption du sable mixte₂.

| N° d'essai | M_1 (g) | M_2 (g) | A (%) | A_{moy} (%) |
|------------|-----------|-----------|---------|----------------------|
| 1 | 300 | 303 | 1 | 1.11 |
| 2 | 300 | 303 | 1 | |
| 3 | 300 | 304 | 1.33 | |

Pour vérification de Module de finesse de sable mixte₂ (MF=2.2).

II.5.10 Analyse granulométrique : (NF P 18-560)

Le mode opératoire est le même que l'on a utilisé pour l'analyse granulométrique du sable d'oued.

Les résultats obtenus sont regroupés dans le tableau suivant :

Tableau II.34: L'analyse granulométrique du sable mixte₂.

| Tamis (mm) | Refus partiel (g) | Refus cumulés | | Tamisât (%) |
|------------|-------------------|---------------|-------|-------------|
| | | (g) | (%) | |
| 5 | 0.6 | 0.6 | 0.04 | 99.96 |
| 2.5 | 117.3 | 117.9 | 7.86 | 92.14 |
| 1.25 | 376.4 | 494.3 | 32.95 | 67.05 |
| 0.63 | 208.5 | 702.8 | 46.85 | 53.15 |
| 0.315 | 263.1 | 965.9 | 64.39 | 35.61 |
| 0.2 | 195 | 1160.9 | 77.33 | 22.67 |
| 0.08 | 314 | 1474.9 | 98.32 | 1.68 |
| Fond | 24.5 | 1499.4 | 99.96 | 0.04 |

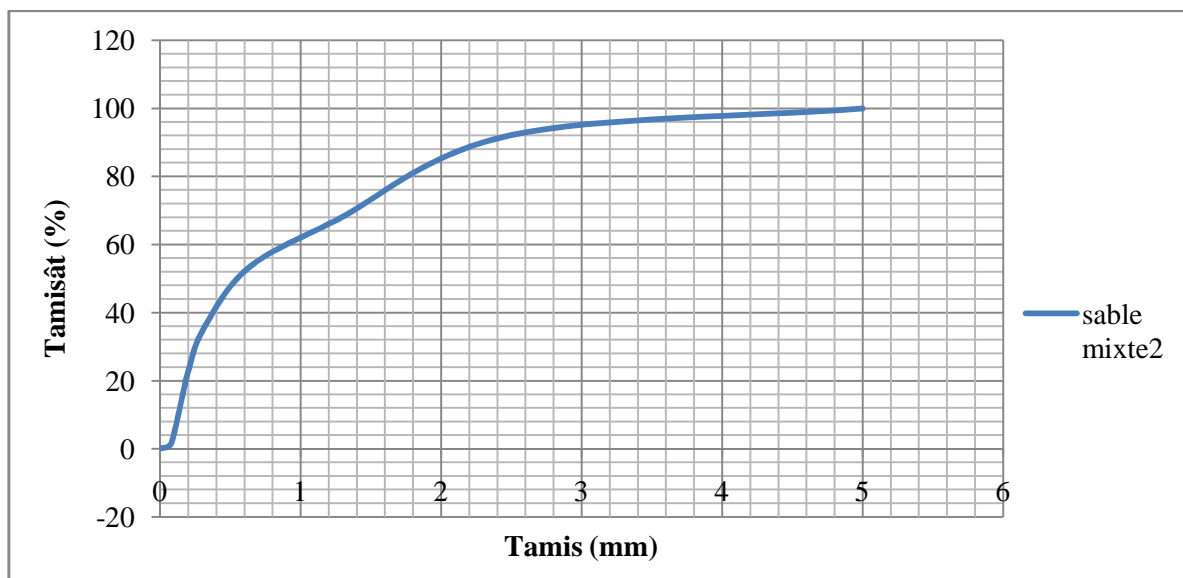


Figure II 5- La courbe granulométrique sable mixte₂.

II. 5.11 Module de finesse MF :

C'est un facteur très important qui nous permet de juger la grosseur du sable, il est exprimé par le rapport de la somme des refus cumulés par les tamis, il est donné par relation suivante :

$$M_F = \frac{R_c}{100} \Rightarrow M_F = 2.29 \dots \dots \dots \text{ok (vérifié)}$$

- sable gros : $M_F > 2.5$.
- sable moyen : $M_F = 2 \text{ à } 2.5$.
- sable fin : $M_F = 1.5 \text{ à } 2$.

On se basant sur cette classification, on trouve le résultat suivant:

- **Pour le sable mixte₂ : $M_F = 2 \text{ à } 2.5 \Rightarrow$ sable moyen**

Commentaire :

Le **sable mixte₂ (0/5)** est un sable moyen

Donc : le sable qui utilisé propre et gradué (acceptable).

III.6 Gravier :

Dans ce paragraphe, on présente les caractéristiques du gravier utilisé dans notre étude

III.6.1 Origine de gravier:

Le gravier de base utilisé dans la confection du béton est obtenu, par concassage de la roche d'une carrière située à **25Km** de M'sila, en allant vers **B.B.A** (carrière **COSIDER**). [22]

II.6.1.1 Classes granulaires:

Les fractions du gravier sont :

- Fraction **3/8**.
- Fraction **8/16**.

II.6.1.2 Résistance à la compression de la roche d'origine:

La roche d'origine, est un calcaire compact de résistance à la compression, égale à **610 g /Cm²**.

II.6.2 Caractéristiques physiques du gravier utilisé:**II.6.2.1 Masse volumique apparente:****Mode opératoire :**

- Sécher le matériau jusqu'au poids constant.
- Peser le récipient à l'état vide (M_1).
- Poser le récipient sur une table et à l'aide d'une pelle le remplir de gravier avec un certain excédent que l'on relève au ras de la surface du récipient. La distance séparant le récipient de la pelle doit être aux environ de 10cm.
- Peser de nouveau le récipient plein de gravier. Soit M_2 ce poids.

La masse volumique apparente est déterminée par la formule suivante :

$$\chi = \frac{(M_2 - M_1)}{V}$$

Où :

- V: Volume du récipient.
- M₁: Le poids du récipient à l'état vide.
- M₂: Le poids du récipient plein de gravier.

Tableau II.35: Masse volumique apparente du gravier.

| Graviers | N° d'essai | M ₁ (kg) | M ₂ (kg) | ... _{app} (kg/l) | ... _{moy} (kg/l) |
|-----------------|------------|---------------------|---------------------|---------------------------|---------------------------|
| 3/8 V = 7 L | 01 | 2.922 | 12.587 | 1.380 | 1.401 |
| | 02 | 2.922 | 12.794 | 1.410 | |
| | 03 | 2.922 | 12.818 | 1.413 | |
| 8/16 V = 10L | 01 | 3.4938 | 17.378 | 1.388 | 1.380 |
| | 02 | 3.4938 | 17.298 | 1.38 | |
| | 03 | 3.4938 | 17.238 | 1.374 | |

II.6.2.2 Masse volumique absolue :

Mode opératoire :

Le mode opératoire est le même que l'on a utilisé pour la masse volumique absolue du sable.

Tableau II.36: Masse volumique absolue du gravier.

| Graviers | N° d'essai | M ₁ (g) | V _e (cm ³) | V(cm ³) | ... _{abs} (g/cm ³) | ... _{moy} (g/cm ³) |
|----------|------------|--------------------|-----------------------------------|---------------------|-----------------------------------------|-----------------------------------------|
| 3/8 | 01 | 300 | 300 | 410 | 2.727 | 2.71 |
| | 02 | 300 | 300 | 410 | 2.727 | |
| | 03 | 300 | 300 | 412 | 2.678 | |
| 8/16 | 01 | 300 | 300 | 420 | 2.5 | 2.572 |
| | 02 | 300 | 300 | 415 | 2.608 | |
| | 03 | 300 | 300 | 415 | 2.608 | |

II.6.2.3 La densité absolue :

La densité est le rapport entre la masse volumique absolue du matériau et la masse volumique de l'eau.

Les résultats sont regroupés dans le tableau suivant :

Tableau II.37: La densité du gravier.

| Les fractions | Gravier 3/8 | Gravier 8/16 |
|-----------------|-------------|--------------|
| Densité normale | 2,71 | 2,572 |
| Densité SSS | 2,73 | 2,44 |

II.6. 2.4 Porosité, compacité et indice des vides : NF P 18-554

Le mode opératoire est semblable à celui effectué pour le sable.

On calcule la porosité selon la formule :

$$P(\%) = \left[1 - \frac{\dots_{app}}{\dots_{abs}} \right] \times 100$$

La compacité donnée par la formule :

$$C = (\dots_a / \dots_{ab}) = 100 - P$$

L'indice des vides est donné par la formule suivante :

$$e = \frac{P}{(100 - P)}$$

Tableau II.38: Porosité, Compacité Et Indice Des Vides.

| <i>fraction de gravie</i> | Porosité (%) | Compacité (%) | l'indice de vide |
|---------------------------|--------------|---------------|------------------|
| 3/8 | 48.30 | 51.7 | 0.93 |
| 8/16 | 46.34 | 53.66 | 0.86 |

II.6.2.5 Degré d'absorption d'eau : NF P 18-554

Tableau II.39: Degré d'absorption d'eau du gravier.

| <i>Graviers</i> | <i>N° d'essai</i> | M_1 (g) | M_2 (g) | A (%) | A_{moy} (%) |
|-----------------|-------------------|-----------|-----------|---------|---------------|
| 3/8 | 01 | 700 | 709,06 | 1,29 | 1,29 |
| | 02 | 700 | 709,77 | 1,39 | |
| | 03 | 700 | 708,53 | 1,21 | |
| 8/16 | 01 | 700 | 712 | 1,71 | 1,66 |
| | 02 | 700 | 711 | 1,57 | |
| | 03 | 700 | 712 | 1,71 | |

II.6.2.6 Teneur en eau :

Tableau II.40: Teneur en eau du gravier.

| <i>Graviers</i> | <i>N° d'essai</i> | M_h (g) | M_s (g) | W (%) | W_{moy} (%) |
|-----------------|-------------------|-----------|-----------|---------|---------------|
| 3/8 | 01 | 500 | 495 | 1 | 0,80 |
| | 02 | 500 | 497 | 0,60 | |
| | 03 | 500 | 496 | 0,80 | |
| 8/16 | 01 | 500 | 497 | 0,60 | 0,53 |
| | 02 | 500 | 498 | 0,40 | |
| | 03 | 500 | 497 | 0,60 | |

II.6.2.7 Analyse granulométrique :

Les résultats obtenus de chaque fraction du gravier, sont regroupés dans les tableaux ci-dessous :

a)- Fraction 3/8 (2Kg)

Tableau II.41: Analyse granulométrique du gravier 3/8.

| <i>Tamis (mm)</i> | <i>Refus partiel (g)</i> | <i>Refus cumulés</i> | | <i>Tamisât (%)</i> |
|-------------------|--------------------------|----------------------|------------|--------------------|
| | | <i>(g)</i> | <i>(%)</i> | |
| 8 | 23.95 | 23.95 | 1.19 | 98.80 |
| 6,3 | 510.38 | 534.33 | 26.71 | 73.29 |
| 5 | 645.39 | 1197.72 | 59.88 | 40.12 |
| 4 | 469.53 | 1649.25 | 82.46 | 17.54 |
| 3,15 | 284.72 | 1933.97 | 96.69 | 3.31 |
| 2,5 | 44.95 | 1972.92 | 98.94 | 1.06 |
| Fond | 20.6 | 1999.52 | 99.97 | 0.03 |

b)- Fraction 8/16 (3Kg)

Tableau II.42: Analyse granulométrique du gravier 8/16.

| Tamis (mm) | Refus partiel (g) | Refus cumulés | | Tamisât (%) |
|------------|-------------------|---------------|-------|-------------|
| | | (g) | (%) | |
| 16 | 56.34 | 56.34 | 1.87 | 98.13 |
| 12.5 | 480.95 | 537.29 | 17.90 | 82.1 |
| 10 | 1657.41 | 2194.7 | 73.15 | 26.85 |
| 8 | 671.72 | 2866.42 | 95.54 | 4.46 |
| 6,3 | 121.42 | 2987.84 | 99.59 | 0.41 |
| Fond | 13.1 | 3000 | 100 | 00 |

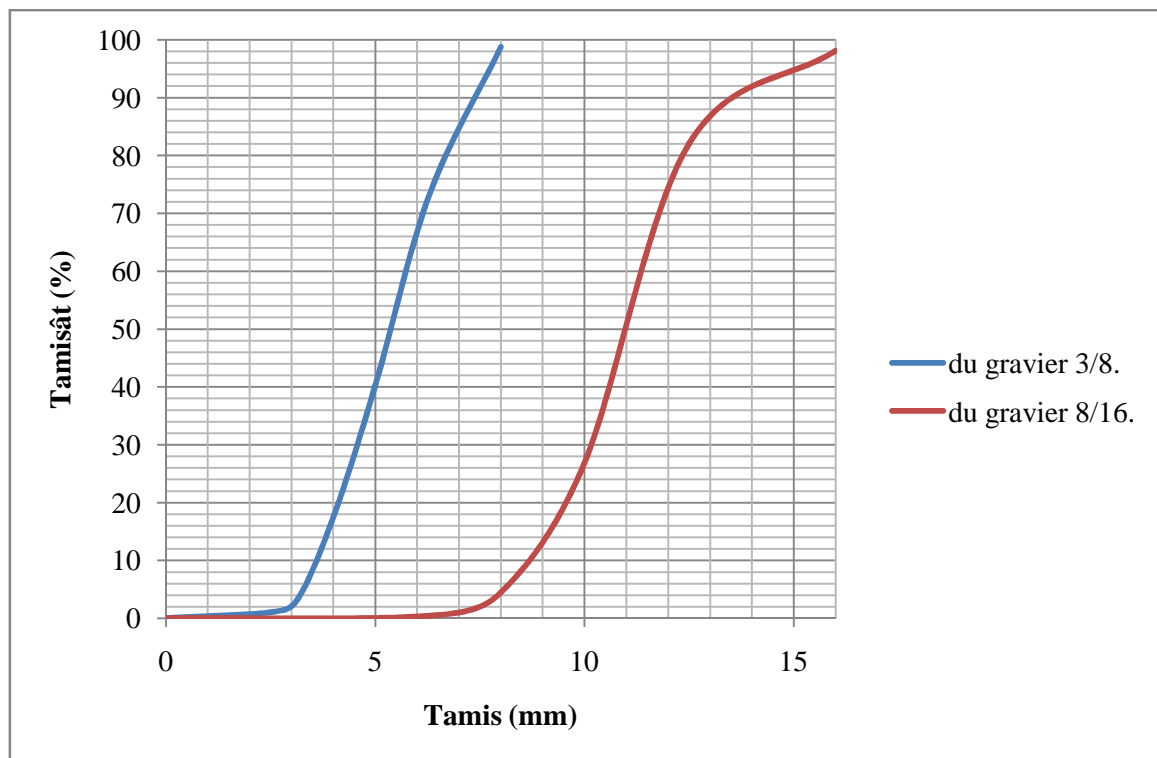


Figure II 6- La courbe granulométrique des graviers concassés (3/8-8/16).

II.6.3 Les caractéristiques mécaniques des graviers utilisés:

Ce sont des essais importants pour les granulats routiers. En effet, le passage répété de véhicules conduit à émousser, à polir progressivement les granulats et ainsi à diminuer l'adhérence des pneumatiques sur la chaussée.

Ces caractéristiques permettent également d'estimer la qualité des granulats utilisés dans la confection de bétons.

II.6.3.1 Essai de résistance au choc (Essai Los Angeles) : NF P18-573.

Comme l'essai précédent, cet essai renseigne sur la dureté des roches se basant sur un coefficient, appelé coefficient Los Angeles L_A , et sur le principe de l'effritement par abrasion.



Figure II 7- Appareil de l'essai Los Angeles.

✓ Principe de l'essai:

L'essai consiste à mesurer la masse m d'éléments inférieurs à **1.6** mm, produits par la fragmentation du matériau testé (diamètres compris entre **4** et **50** mm) et que l'on soumet aux chocs de boulets normalisés, dans le cylindre de la machine Los Angeles en **500** rotations.

✓ Formulation:

Si M est la masse du matériau soumis à l'essai et m la masse des éléments inférieurs à **1.6** mm produits au cours de l'essai, la résistance à la fragmentation aux chocs s'exprime par le coefficient Los Angeles (L_A) : $L_A = (m/M) \cdot 100$

Les résultats obtenus sont présentés au tableau suivant :

Tableau II.43: Caractéristiques mécaniques du gravier utilisé.

| Gravier | Masse initiale M (Kg) | Masse m (Kg) | Coef de Los A L_A |
|--------------|----------------------------|----------------|------------------------|
| Gravier 3/8 | 5 | 0.30 | 30 |
| Gravier 8/16 | 5 | 0.964 | 19.28 |

✓ Classification :

Un tableau de classification a été déjà tracé. Il permet de classer les roches en fonction du coefficient Los Angeles.

Tableau II.44: Classification des roche en fonction du coefficient L_A . [23]

| Coefficient L_A | Nature de la roche |
|-------------------|--------------------|
| < 20 | Très dure |
| 20 à 25 | Dure |
| 25 à 30 | Assez dure |
| 30 à 40 | Mis dure |
| 40 à 50 | Tendre |
| > 50 | Très tendre |

Dance :

Gravier 3/8 : $25 < L_A < 30 \Rightarrow$ **Assez dure**

Gravier 8/16 : $L_A < 20 \Rightarrow$ **Très dure**

II.6.4 Caractéristiques chimiques des graviers utilisés :

La composition chimique du gravier de carrière COSIDER est établie en mars 2004, à la cimenterie de ACC (M'sila). Elle est donnée au (Tableau II.45). [23]

Tableau II.45: Analyse chimique de la pierre concassée.

| ELEMENT | SiO_2 | Al_2O_3 | CaO | Fe_2O_3 | MgO | SO_3 | K_2O | Na_2O |
|------------|---------|-----------|-------|-----------|-------|--------|--------|---------|
| Teneur (%) | 40.65 | 8.87 | 40.56 | 3.25 | 3.65 | 0.79 | 0.65 | 0.01 |

II.7 CIMENT :

Le ciment de base utilisé dans notre recherche, est un ciment portland composé de classe **42.5** provient de la cimenterie de l'ACC de M'sila.

II.7.1 Caractéristiques du ciment CPJ-CEM II :

II.7.1.1 Description :

Le ciment portland composé **CPJ-CEM II / 42,5** est un produit en broyant le clinker qui se compose essentiellement de silicate de calcium avec le gypse comme ajout constitué de différentes forme se calcium, il est conforme à la norme EN 196-1, (2002). Il est généralement utilisé lorsqu'il n'y a pas de besoins spéciaux, dans les ouvrages en béton qui ne sont pas exposés à des conditions sévères comme l'attaque des sulfates du sol ou de l'eau.

Il est appliqué dans plusieurs domaines à savoir :

Le secteur de construction en béton armé pour les bâtiments résidentiels et administratifs

Le secteur de travaux publics pour les ponts, les revêtements des routes ou les structures ferroviaires.

II.7.1.2 Caractéristiques mécaniques et physiques du ciment utilisé EN 196-1, (2002):

Les caractéristiques du CPJ sont regroupées dans le tableau suivant:

Tableau II.46: Caractéristiques du CPJ.

| | | <i>Unités</i> | <i>Valeur</i> |
|------------------------------------|-----------------|--------------------|---------------|
| <i>Masse volumique absolue</i> | | g/cm ³ | 3,1 |
| <i>Consistance normale</i> | | % | 26 – 28 |
| <i>La finesse (Blaine)</i> | | cm ³ /g | 4000 – 4200 |
| <i>Le Chatelier</i> | A froid | mm | 00 |
| | A chaud | | 2 |
| <i>Temps de prise</i> | Début | Heur : min | 2 : 30 |
| | Fin | | 3 : 30 |
| <i>Résistance à la compression</i> | 2 jours | MPa | 18 |
| | 7 jours | | 32 |
| | 28 jours | | Plus de 42.5 |

II.7.1.3 Les caractéristiques chimiques du ciment utilisé EN 196-2, (2002):

L'analyse chimique et minéralogique du CPJ est établie au laboratoire de l'ACC. Les résultats sont regroupés dans les tableaux suivants :

Tableau II.47: Caractéristiques chimiques du CPJ.

| <i>ELEMENT</i> | <i>S₁O₂</i> | <i>AL₂O₃</i> | <i>C_AO</i> | <i>FE₂O₃</i> | <i>M_GO</i> | <i>SO₃</i> | <i>N_{A2}O</i> |
|-------------------|-----------------------------------|------------------------------------|-----------------------|------------------------------------|-----------------------|-----------------------|------------------------|
| <i>Teneur (%)</i> | 20.7 | 4.75 | 62.92 | 3.75 | 1.90 | 1.98 | 0.09 |

Tableau II.48: Caractéristiques minéralogique du CPJ.

| Eléments | C3S | C2S | C3A | C4AF |
|-----------------|----------------------|----------------------|-----------------------------------|-------------------------------------------------------------------|
| | 3CaOSiO ₂ | 2CaOSiO ₂ | 3CaAl ₂ O ₃ | 4CaOAl ₂ O ₃ Fe ₂ O ₃ |
| Teneur % | 59 | 14 | 6 | 10 |

II.8. Le fillers DE Calcaire :**II.8.1 Les fines de calcaire :****II.8.1.1 Origine de calcaire :**

L'addition calcaire provient du calcaire de cimentaire d'ain el kbira.

II.8.2 Caractéristique physique et chimiques du calcaire :

Les caractéristiques physiques et chimiques de ce filler calcaire sont :

Tableau II.49: Caractéristiques physiques du calcaire

| Propriétés physiques | Fine calcaire |
|------------------------------------------|---------------|
| Masse volumique apparent g/cm^3 | 0.87 |
| Masse volumique | 2.66 |
| Surface spécifique Blaine | 3500 |

Tableau II.50: Composition chimique du calcaire

| Analyse chimique | Fines calcaires |
|--------------------------------|-----------------|
| SiO ₂ | 10,81 |
| CaO | 47,51 |
| MgO | 0,21 |
| Fe ₂ O ₃ | 0,31 |
| Al ₂ O ₃ | 40,69 |
| Perte au feu | 85,45 |
| Carbonatation | 37,60 |
| CO ₂ | 37,60 |
| H ₂ O | 3,09 |

II.9 LES ADJUVANTS:

Les adjuvants sont des produits incorporés au moment du malaxage du béton à un dosage inférieur ou égale à 5 % en masse du poids de ciment pour modifier ou améliorer les propriétés du mélange à l'état frais et ou du béton durci, (norme NF EN 934 – 2).

Dans notre étude on a utilisé les super-plastifiants à savoir :

MEDAPLAST SP 40 de GRANITEX (super-plastifiant).**II.9.1 MEDAPLAST SP 40:****II.9.1.1 Description:**

Le MEDAPLAST SP 40 est un super-plastifiant haut réducteur d'eau, permettant d'obtenir des bétons et mortiers de très haute qualité. [14]

En plus de sa fonction principale de super plastifiant, il permet de diminuer considérablement la teneur en eau du béton. [14]

Il peut être utilisé dans plusieurs domaines à savoir :

- Bétons hautes performances.
- Béton pompés
- Bétons précontraints.
- Bétons architecturaux.
- Bétons extrudés
- Béton BCR

Son utilisation permet :

A- sur le béton frais :

- Amélioration la fluidité.
- Augmenter la maniabilité
- Réduire l'eau de gâchage
- Eviter la ségrégation
- faciliter la mise en œuvre du béton.

B- sur le béton durci :

- augmenter la résistance mécanique même à jeune âge
- diminuer la porosité
- augmenter la durabilité
- diminuer le retrait

II.9.1.2 Caractéristiques:

Les Caractéristiques du MEDAPLAST SP 40 sont regroupées dans le tableau suivant [14]

Tableau II.51: Caractéristiques du MEDAPLAST SP 40.

| Nature | Couleur | PH | Densité | Teneur en chlore | Extrait sec |
|---------|---------|-----|-----------|------------------|-------------|
| Liquide | marron | 8.2 | 1.20±0,01 | < 1g/L | 40% |

II.9.1.3 Dosage :

La page de dosage recommandée est : 0,6 à 2,5% du poids de ciment, soit 0,5L à 2, L pour 100 Kg de ciment.

Le dosage optimal doit être déterminé sur chantier en fonction du type de béton et des effets recherchés.

II.10 L'EAU DE GACHAGE :

L'eau de gâchage utilisé est une eau potable du laboratoire de département de génie civil.

II.10.1 Caractéristique chimique de l'eau utilisée :

La composition chimique d'eau du laboratoire de département de génie civil est établie en 10/05/05, à laboratoire de département de chimie (M'sila).

Elle est donnée par le (Tableau II.52).

Tableau II.52: Caractéristiques Chimique D'eau.

| <i>La mesure</i> | <i>Teneur en (mg / l)</i> |
|----------------------------------|---------------------------|
| Le temps de prise d'échantillon | 10/10/05 (9.25) |
| Degré de température | 24.7 |
| PH | 7.78 |
| Conductibilité | 1799 |
| Chlore cl^- | 234.3 |
| Sulfate So_4^- | 351.60 |
| Magnesium Mg^{2+} | 110.8 |
| Sodium Na^+ | / |
| Calcium Ca^{2+} | 267.2 |
| Sédiment sec | 1412 |
| rééligibilité d'oxydation en eau | 1024 |

Chapitre 3

Techniques expérimentales

Chapitre III : Techniques expérimentales

III.1 Introduction :

Les connaissances acquises depuis l'apparition des BAP et la meilleure maîtrise de toutes les étapes (formulation, fabrication, mise en œuvre et contrôle) sont suffisantes pour permettre l'utilisation de ces bétons dans de nombreuses applications. Certains points restent cependant à améliorer pour en étendre l'emploi.

Le comportement d'un BAP à l'état frais se différencie notablement de celui d'un béton Ordinaire. Son ouvrabilité se décline classiquement suivant: sa mobilité en milieu non confiné, sa mobilité en milieu confiné et sa stabilité. Nous avons choisi de présenter différemment les caractéristiques des BAP et d'aborder la complexité du matériau selon ses trois principales caractéristiques:

- la fluidité
- l'homogénéité
- la robustesse.

En plus de la capacité. à se compacter de lui-même, les propriétés les plus importantes pour la mise en œuvre du BAP sont la fluidité, la viscosité, et la résistance envers la ségrégation.

Il existe de nombreux procédés pour effectuer le contrôle de ces propriétés sur béton frais. Ils vont du complexe et coûteux rhéomètre à béton, jusqu'au simple cône servant la mesure de l'étalement (Slump Flow). [9]

III.2 Formulation du béton autoplaçant :

Pour la formulation du béton auto plaçant nous n'avons pas suivi une formulation classique.

Nous avons respecté les conditions nécessaires permettant de garantir l'autoplaçabilité tout en se basant sur des compositions proposées dans la littérature spécialisée.

Il s'agit de choisir les proportions des constituants dans 1m³ de béton en ayant comme données Les paramètres suivants :

Un rapport G/S = 1.

Un rapport E/C = 0.5

Un dosage en ciment plutôt élevé C = 400 kg /m³

Un pourcentage déterminé en ajouts (superplastifiant, les fillers).

III.2.1 Les compositions des différents bétons:

(D : sable de dune et C : sable concassée) avec (SM : sable mixte)

BAP_T : béton autoplaçant témoin (sable de dune 100%).

BAP 1 : béton autoplaçant (sable concassée 100%)

BAP 2 : béton autoplaçant de sable mixte₁ (SM₁ : 50% D et 50% C).

BAP 3 : béton autoplaçant de sable mixte₂ de module de finesse fixé =2.2 (SM_{2 fix}: 60.2% C et 39.8% D).

III.2.2 La composition d'un m³ de béton :

Tableau III.1: Les compositions d'un m³ de béton

| | BAP (kg/m ³) |
|-------------------|--------------------------|
| Sable | 806.4 |
| Gravier 3/8 | 433.6 |
| Gravier 8/16 | 411.2 |
| Ciment | 400 |
| Eau | 200 |
| Super plastifiant | 8.8 |
| Filler (calcaire) | 40 |
| E/C | 0.5 |
| G/S | 1 |

III.3 Préparation de mélange :

La préparation du béton autoplaçant demande plus d'attention et de précision que la préparation d'un béton ordinaire. Pour parvenir à effectuer plusieurs essais sur le béton frais, il faut suivre une certaine méthodologie.

Le premier paramètre à prendre en compte est la capacité du malaxeur utilisé.

Après avoir déterminé les proportions de chaque constituant on suit le mode opératoire suivant :

- ✓ Vérifier en premier le nombre et l'état des moules cubique nécessaires pour les essais. Ces derniers doivent être graissés à l'aide d'une huile pour faciliter le décoffrage
- ✓ Réunir tout le matériel nécessaire pour effectuer les essais.
- ✓ Vérifier que les matériaux ne sont pas humides, si non les sécher préalablement dans l'étuve
- ✓ Préparer la quantité d'eau nécessaire pour la gâchée. Le superplastifiant est ajouté à un quart de l'eau de gâchage.
- ✓ Peser les matériaux secs (gravier, sable, ciment, calcaire) et les introduire dans le malaxeur.
- ✓ Mettre le malaxeur en marche pour homogénéiser le mélange sec.
- ✓ Laisser le malaxeur en marche et ajouter progressivement la première un quart de l'eau de gâchage (celle qui contient l'adjuvant).
- ✓ Ajouter la trois quart d'eau graduellement.
- ✓ Effectuer immédiatement les essais après arrêt du malaxage, les essais sont réalisés au moins deux fois pour valider les valeurs obtenues.
- ✓ Remplir les éprouvettes en deux/trois couches sans vibration.

III.4 Essais de caractérisations du béton autoplaçant à l'état frais :

Dans la suite du document seront présentés les essais proposés par L'AFGC qui servent Actuellement de référence à défaut d'être normalisés. Les résultats de ces essais permettent de donner une vision qualitative pour les BAP.

Trois principaux essais permettent de caractériser et de contrôler la rhéologie des BAP :

- Mobilité en milieu non confiné (décrit par l'essai d'étalement au cône d'Abrams).
- Mobilité en milieu confiné (décrit par l'essai d'écoulement à la boîte en L).
- Stabilité (résistance à la ségrégation décrite par l'essai de stabilité au tamis).

III.4.1 Essai d'étalement au cône d'Abrams NF EN 12 350-8:

La fluidité des BAP peut être caractérisée par la mesure de l'étalement au cône d'Abrams (essai d'étalement ou slump flow). Des valeurs cibles de l'ordre de 600 à 750 mm correspondent à l'étalement moyen conseillé d'un BAP. La valeur cible d'étalement doit être définie en fonction des caractéristiques de la formulation et des conditions et méthodes de mise en œuvre. Cet essai caractérise la mobilité du BAP en milieu non confiné. Il permet en particulier de vérifier la fluidité du béton lors de sa réception sur chantier.

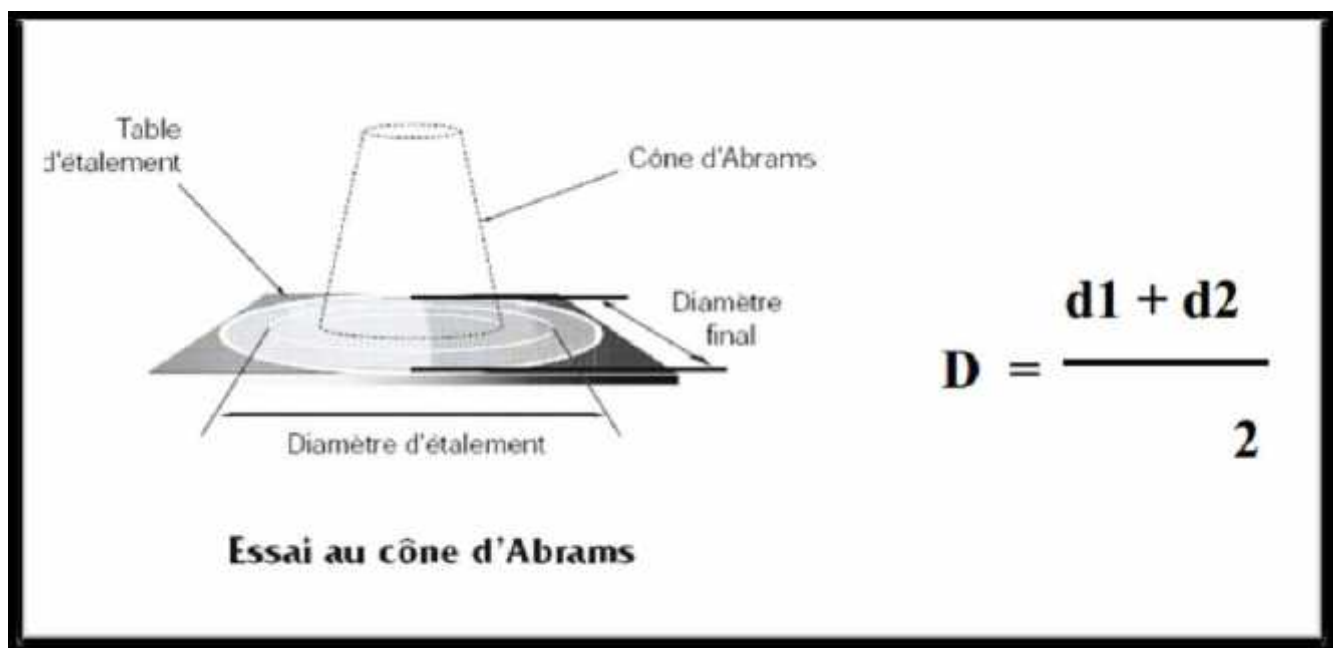


Figure III 1-Essai au cône d'Abrams

✓ **Objet d'étalement (slump flow) :**

L'essai d'étalement ou slump flow est utilisé pour caractériser la fluidité du béton.

✓ **Matériel nécessaire :**

- Plateau équipé en partie supérieure d'une plaque métallique plane (type table DIN) constituant un carré d'au moins 90 cm de coté
- Cône d'Abrams disposant d'un empattement à sa base afin qu'il puisse être maintenu contre le plateau avec les pieds par l'opérateur.
- Mètre ou règle de 90 cm.

✓ **Mode opératoire :**

- S'assurer que le plateau est placé sur un support stable et horizontal.
- Humidifier la surface de la plaque (éliminer l'eau en excès avec un chiffon).
- Placer et centrer le cône d'Abrams sur le plateau.
- Prélever un échantillon de béton représentatif.
- Equiper la partie supérieure du cône d'un entonnoir. Remplir le cône en déversant de manière continue, jusqu'à l'arase supérieure du cône.
- Retirer l'entonnoir, araser si nécessaire à l'aide d'une truelle et nettoyer la plaque si nécessaire avec un chiffon humide.
- Soulever le cône verticalement à l'aide des deux poignées.
- Une fois que le béton s'est étalé sur la table, mesuré (au centimètre le plus proche) le diamètre final (D final) sur deux cotés perpendiculaires.
- Noter le résultat des deux valeurs. Exemple : ((68/70cm)). Si les deux valeurs différentes de plus de 5 cm, l'essai doivent être invalidé et reconduit.
- Exprimer le résultat final en termes de moyenne des deux valeurs obtenue, en arrondissant au centimètre supérieur. [26]



Figure III 2- Essai d'étalement Au cône.

III.4.2 Essai de stabilité au tamis NF EN 12 350-11:

Cet essai permet d'étudier la résistance à la ségrégation et au ressuage du BAP, qui doit être stable sous l'effet de la gravité. Il consiste à déverser une quantité de béton (2 litres) sur un tamis (de maille 5 mm) avec une hauteur de chute de 50 cm.

Le pourcentage en poids de laitance ayant traversé le tamis par rapport au poids de l'échantillon initial exprime la stabilité du béton. Ce rapport doit être compris entre 10 % et 20 %



Figure III 3- Essai au tamis.

✓ **Objet de l'essai :**

Cet essai vise à qualifier les bétons autoplaçant vis-à-vis du risque de ségrégation. Il peut être utilisé en phase d'étude de formulation d'un béton autoplaçant en laboratoire, ou pour le contrôle de la stabilité du béton livré sur chantier.

Cet essai complète les essais permettant d'apprécier la mobilité, en milieu confiné ou non, en caractérisant la stabilité. [9]

✓ **Matériel utilisé :**

- Seau de 10 L + couvercle
- Tamis 5 mm diamètre 315 mm + fond
- Bascule : précision minimale 20 g, portée minimale 20kg



Figure III 4- Stabilité au tamis.

✓ **Mode opératoire :**

- Echantillonnage :
- En laboratoire : Malaxer, verser directement 10 litres de béton dans le seau.
- Temps d'attente entre l'arrêt du malaxeur et le prélèvement <30s.
- Sur chantier, BPE amené par camion malaxeur : Malaxer à grande vitesse pendant 1 minute.
- Remplir le seau avec 10 litres de béton directement depuis la goulotte du camion.
- Sur chantier avec centrale, mise en œuvre à la benne : Prélever 10 L de béton en tête de benne à la main écope pour remplir le seau.
- Couvrir le seau pour protéger le béton de la dessiccation.
- Attendre 15 mn.
- Peser le fond et le tamis à vide.
- Peser le fond seul.
- Poser tamis+fond sur la bascule.
- Faire la tare.
- Observer et noter l'éventuelle présence d'eau claire de ressuage à la surface du seau après les 15mn.
- Verser sur le tamis un poids de béton égal à 4,8 kg - tolérance ± 0.2 kg ; verser ce béton au centre du tamis : hauteur de chute du béton de 50 cm ± 5 cm.
- Noter le poids réel lu de l'échantillon.
- Attendre 2 mn.
- Faire la tare.

Peser le fond avec la laitance :

- On a : $P_{\text{laitances}} = P_{\text{fond + laitance}} - P_{\text{fond}}$
- Calculer le pourcentage en poids de laitance par rapport au poids de l'échantillon.
- $\delta = (P_{\text{laitance}}/P_{\text{échantillon}})*100$

Critères d'acceptabilité :

Les critères qui suivent sont particulièrement adaptés aux applications de béton autoplaçant en éléments verticaux. La mesure de pourcentage de laitance conduit à classer les formules de béton autoplaçant de la façon :

- 0% \leq % $P_{\text{laitance}} \leq$ 15% **stabilité satisfaisante.**
- 15% < % $P_{\text{laitance}} \leq$ 30% **stabilité critique** (essai de ségrégation à réaliser in situ).
- % $P_{\text{laitance}} >$ 30 **stabilité très mauvaise** (ségrégation systématiquement, béton inutilisable). Par ailleurs, la détection d'eau de ressuage lors de l'essai n'est pas acceptable.

Cela induit des risques de tassement, de délavage du parement et d'altération de la perméabilité

III.4.3 Essai de la boîte en « L » NF EN 12 350-10:

La cohésion armée peut se mesurer avec l'essai de la boîte en forme de L. Cet essai permet de vérifier que la mise en place du béton ne sera pas contrariée par des blocages de granulats en amont des armatures.

La méthode consiste à remplir de BAP la partie verticale d'une boîte, puis en levant une trappe à laisser le béton s'écouler dans la partie horizontale à travers un ferrailage (le nombre et le diamètre des du béton, sa mobilité en milieu confiné et son aptitude à traverser une zone fortement armatures peuvent être adaptés pour traduire le ferrailage réellement présent dans la structure). Après écoulement du béton, on mesure la différence de hauteur dans la partie verticale (H1) et horizontale (H2). Le résultat de l'essai s'exprime par le taux de remplissage $H2/H1$. Une valeur de ce rapport supérieur à 0.8 traduit un bon écoulement.



Figure III 5- Essai de boit L.

✓ **Objet de boîte en L :**

La boîte en L permet de tester la mobilité de béton en milieu confiné et de vérifier sue la mise en place du béton ne sera pas contrariée par des phénomènes de blocage inacceptables.

✓ **Matériel utilisé :**



Figure III 6- Boîte en L.

✓ **Mode opératoire :**

La parie verticale de la boîte est entièrement remplie de béton (le volume nécessaire est d'environ 13 litres). Après arasement, on laisse le béton reposer pendant une minute. Puis on lève la trappe et on laisse le béton s'écouler dans la partie horizontale de la boîte en L à travers le ferrailage. La distance libre entre les barres est de 39mm. Quand le béton ne s'écoule plus, on

mesure les hauteurs H1 et H2 (**Figure 4-7**) et on exprime le résultat en terme de taux de remplissage H2/H1.

Lorsque le béton s'écoule mal à travers le ferrailage et qu'il se produit un amoncellement de granulat en aval de la grille, c'est le signe d'un problème de blocage ou de ségrégation.

A noter que les temps nécessaires pour des écoulements horizontaux respectifs de 20 cm et 40 cm (à matérialiser sur le fond de la boîte en L) peuvent être mesurés pour estimer la viscosité du béton. [14]

III.4.4 La masse volumique du béton autoplaçant NF EN 12 350-6:

Voir été essuyées ou nettoyées, les éprouvettes sont pesées avec une erreur inférieure à 1/1000.

La masse volumique est alors calculée en divisant sa le volume de l'éprouvette.

C'est-à-dire : $\rho = M/V$.

La masse volumique exprimée en kg/dm³ car la densité.

III.5 Essais de caractérisations du béton autoplaçant à l'état durci (DT, NDT) :

A) LES ESSAIS DESTRUCTIFS :

III.5.1 Essai compression NF EN206-1 :

✓ But de l'essai :

- Le but est de déterminer la résistance à la compression du béton.
- L'essai se fait sur une éprouvette cubique 10x10x10. [9]

✓ Principe de l'essai :

- Après malaxage, on remplit en béton un moule cubique normalisé, le remplissage du moule se fera en 3 couches bien vibrées chacune.
- L'éprouvette sera immergée dans un bac d'eau pour durcir à une température moyenne de 20 C°.
- Le démoulage se fera après une 48 heure. Généralement, la résistance est déterminée à 28 jours. remarque (le démoulage 48heurs parce que dans le climat Hiver



Figure III 7- Presse hydraulique de compression.

✓ Conduite de l'essai :

- Ce temps écoulé, on retire le moule et on fait passer l'éprouvette à la presse permet la lecture de la force qui s'exerce sur les facettes latérales du cylindre ou cubique de béton.
- Epreuve sera placée entre les deux mâchoires de la machine et on élèvera une seule lecture. Celle de la force correspondant à la rupture de l'échantillon. Soit F cette lecture.

Calculs : La résistance sera: $G = \frac{F}{S}$

- S : section de l'éprouvette : 100 cm².
- F : force au moment de la rupture.

Et essai se fait également sur les roches que l'on doit tailler au préalable sous forme de cubes d'arête égale à 7 cm.

B) ESSAIS NON DESTRUCTIFS :**III.5.2 Essai d'auscultation dynamique P 18-414 et P 18-418:**

- ✓ **Principe :** Le principe de la méthode consiste à mesurer le temps mis par une onde, d'où le nom de la méthode (essai de vitesse de propagation d'ondes sonores) à parcourir une distance connue ; l'état du béton totalement inconnu peut se déterminer approximativement selon la vitesse mesurée.

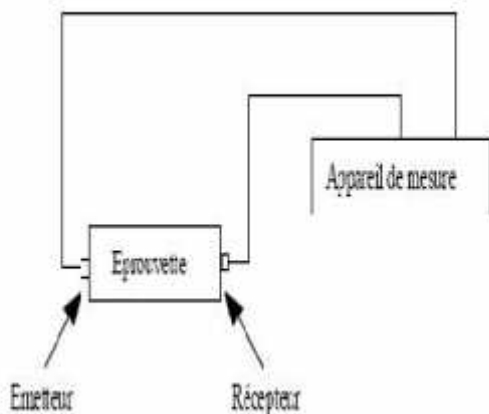


Figure III 8- Appareil de mesure 58-E48 avec oscilloscope



Figure III 9- Appareil d'auscultation sonore

✓ Mode Opérateur :

- Travaux préparatoires : Poncer et égaliser la partie de la surface de l'élément à ausculter où le transducteur sera fixé. Employer un matériau intermédiaire entre les deux et en prenant soin de vérifier que l'appareil est bien appliqué contre la surface à tester à l'aide d'un matériau d'interposition comme la vaseline, un savon liquide
- Points de mesures : Le nombre de points de mesures dépend des dimensions de l'ouvrage à tester. Pour une éprouvette de béton le point de mesure dans deux façades centrées
- Manières de mesure : Mesure en transparence (directe), Les mesures en transparence sont utilisées dans le cas des éprouvettes, Les transducteurs sont appliqués sur les deux faces de l'élément à tester. **Figure (III.10)**

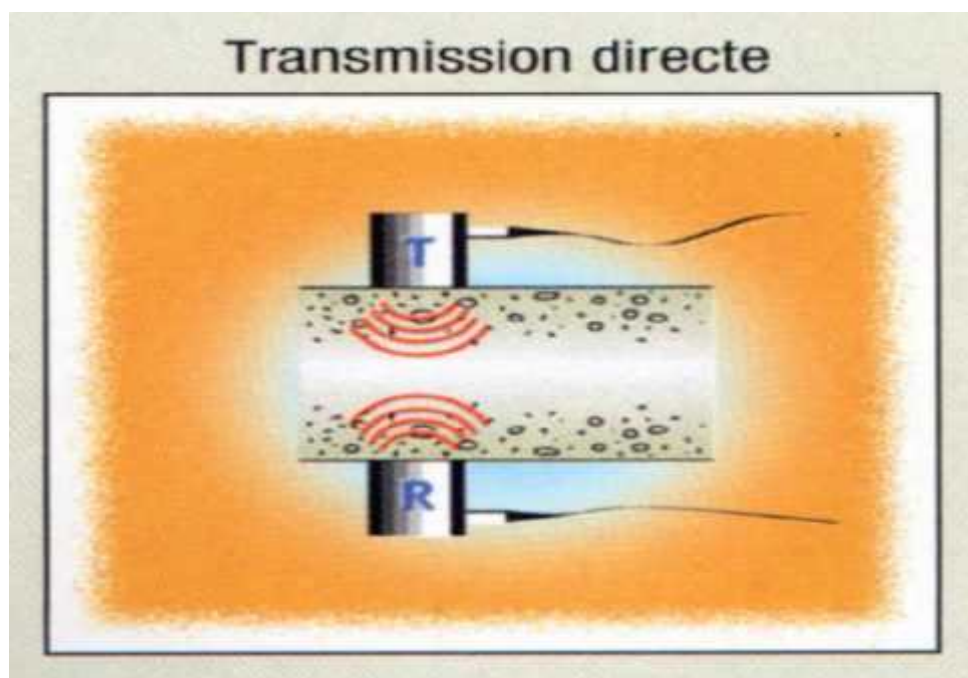


Figure III 10- Mesures en transparence (directe)

✓ Interprétation Des Résultats De Mesure Aux Ultrasons

Les résultats obtenus en appliquant la courbe de la RILEM (voir **figure III.11**) sont donnés
Donnés dans le cas où le béton testé est considéré connue.

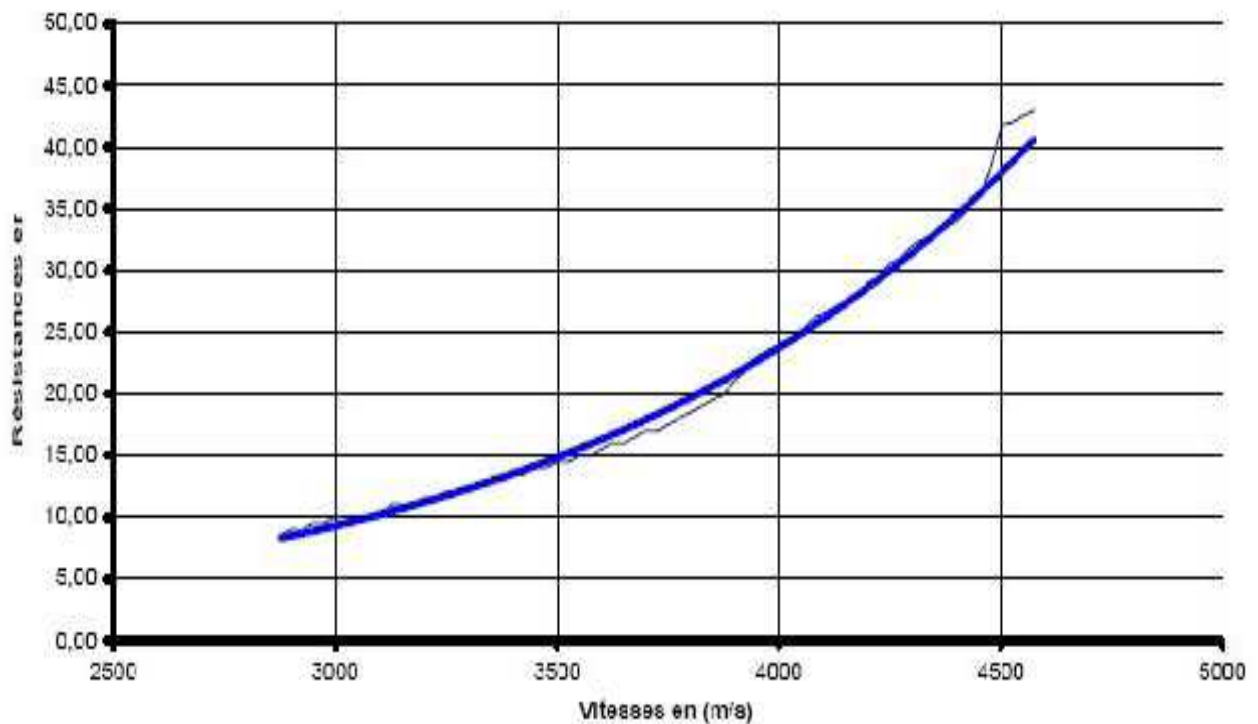


Figure III 11- Courbe RILEM

Classements qualitatifs :

- 2500 m/s $V < 3200$ m/s béton de faible résistance,
- 3200 m/s $V < 3700$ m/s béton de moyenne résistance,
- 3700 m/s $V < 4200$ m/s béton à haute résistance,
- $V > 4200$ m/s béton à très haute résistance.

Chapitre 4

Résultats et analyses

Chapitre IV : Résultats et Analyses

IV.1 Introduction :

Le but de notre travail est l'étude des propriétés mécaniques du béton autoplaçant avec L'effet de nature de sable.

IV.2 Présentation de résultats :

A partir des mélanges obtenus, il faut procéder à différents essais afin de caractériser les BAP confectionnés. Pour cela, nous utilisons les tests recommandés par l'AFGC. [14]

Les compositions des bétons autoplaçant donnent une grande fluidité sans ségrégation et sans ressuage qui constituent d'ailleurs ses spécificités.

L'étude du béton autoplaçant à l'état frais est basée sur les essais d'étalement, la boîte en L, la stabilité au tamis, donnant des résultats qui correspondent aux critères des recommandations provisoires dictés par les normes en vigueur.

➤ L'influence de la qualité du sable sur les propriétés rhéologique du BAP :

En variant le pourcentage du sable de (100 % - 60.2 % - 50 % et 39.8 %) pour les deux fractions (sable de dune et concassé) et en gardant le pourcentage du super-plastifiant fixé à (2 %) et le filler de calcaire à (10 %).

Les résultats obtenus sont présentés ci-après:

IV.2 .1 Résultats des essais à l'état frais :

Les résultats des bétons à l'état frais sont représentés au tableau suivant :

Tableau IV.1 : Résultats d'essais sur le béton frais

| Type de Béton | L'étalement (mm) | Stabilité de tamis (%) | Boîte en L H2/H1 | Masses volumiques de béton (kg/m ³) |
|------------------|------------------|------------------------|------------------|-------------------------------------------------|
| BAP _T | 700 | 4.04 | 0.76 | 2.384 |
| BAP ₁ | 635 | 5.22 | 0.58 | 2.361 |
| BAP ₂ | 705 | 4.34 | 0.93 | 2.46 |
| BAP ₃ | 745 | 4.1 | 0.84 | 2.463 |

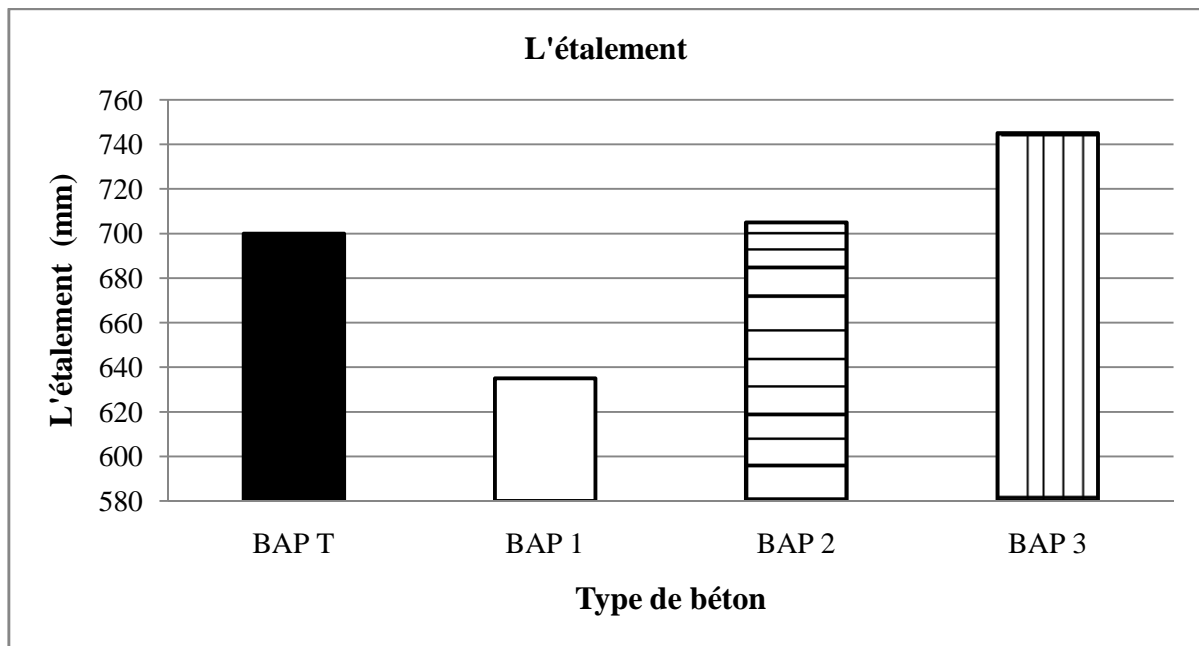


Figure IV 1- l'étalement en fonction du type de béton

L'objectif de cet essai est de valoriser la capacité du béton à s'écouler dans une zone confinée, sans qu'il sera contrarié par des phénomènes de blocage inacceptable.

Les résultats obtenus de cet essai (pour les différents mélange des bétons formulés) sont représentés sur la **Tableau IV.1** et **Figure IV.1**

D'après le tableau IV.1 et la figure IV.1, on constate que le béton BAP₃ qui est composé d'un sable mixte2 SM₂ avec un pourcentage de 60.2 % sable concassé et 39.8 % sable dune, atteint une valeur maximale de l'étalement qui est de 750 mm, et le béton BAP₂, qui est composé d'un sable mixte1 SM₁ avec un pourcentage de 50 % sable dune et 50 % sable concassé, atteint une valeur de 705 mm et les deux valeurs de l'étalement des BAP₃ et BAP₂ sont plus proches.

Quant au mélange témoin BAP_T qui est composé de 100 % sable de dune représente une valeur moyenne de l'étalement qui est de 700 mm.

Contrairement au béton BAP₁ à base de sable concassé qui donne une valeur inférieure par rapport aux autres bétons (635 mm).

-les meilleurs valeurs obtenues des bétons BAP₃, BAP₂ reviennent a leurs enrichissement et homogénéités par les fines (le mélange utilise et relativement modifié pour diminuer le frottement entre les grains sans ressuage et ségrégation, sans oublier le rôle de remplissage des vides par fillers de calcaire.

Quant au BAP_T qui a une valeur d'étalement inférieure par rapport aux BAP₃ et BAP₂, c'est a cause du la nature des fines pour le cas du béton avec sable de dune de fines qui absorbent l'eau et provoquent plus de frottements en comparaison avec BAP composé de fines de calcaire. Ce qu'en résulte une augmentation du frottement entre les grains et sa le rend moins fluide.

Finalement on peut dire les valeurs obtenues sont acceptables.

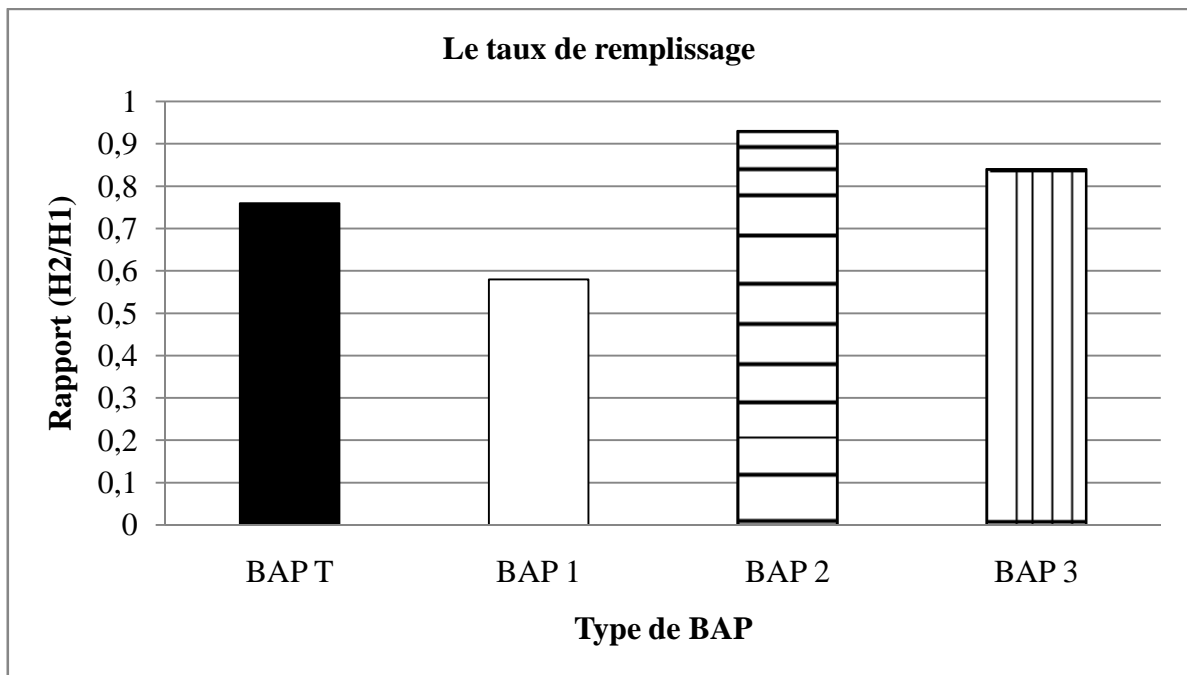


Figure IV 2–résultats de l’essai en L en fonction du type de béton

D’après les résultats obtenus dans le tableau IV.1 et la figure IV.2, On peut dire que les valeurs de l’écoulement des bétons BAP₂ et BAP₃ sont des valeurs similaires après la modification dans la qualité et le pourcentage du sable rentrant dans la composition des BAP. On enregistre une valeur maximale de 0.93 pour BAP₂ et BAP₃ avec une valeur de 0.84, consécutives; ces deux valeur étaient répondez aux normes de AFGC pour le cas de formulation des BAP.

$H_2/H_1 > 0.8$ et cela veut dire un bon écoulement.

Ce qui concerne le BAP_T, il a une valeur moyenne qui est de 0.76, suivi par le BAP₁ qui marque une valeur faible d’écoulement (0.58) par apport aux autres mélanges, donc ; les BAP_T et BAP₁ donnent un écoulement faible dans un milieu confiné.

Les valeurs acceptables obtenues de l’écoulement des deux bétons BAP₂ et BAP₃ peut être justifié par plusieurs facteurs et parmi ces facteurs le diamètre des granulats $D_{max} < 16$ mm ; les grains fines qui aide à obtenir un bon écoulement sont frottement et sans blocage lors du coulage du béton frais à son état rhéologique frais.

Quand aux bétons BAP_T et BAP₁ avec un écoulement faible à cause du manque de bonne fluidité qui est due au frottement des granulats et blocage inter granulaire et ce qui en résulte un faible écoulement.

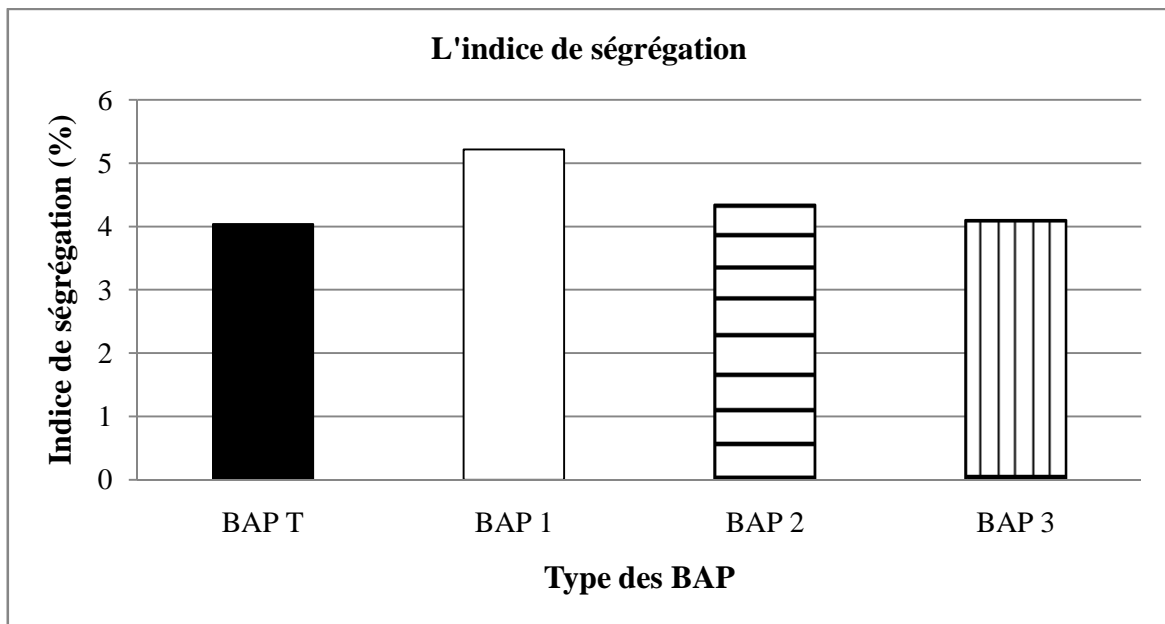


Figure IV 3-L'indice de ségrégation en fonction du type de béton

En se basant sur le tableau IV.1 et la figure IV.3 et en conformité avec la norme AFGC [14]; si la laitance <15 %, on peut dire que le BAP_T avec 4.04 % et BAP₃ avec 4.1 % et BAP₂ avec 4.34 ont des bons résultats de faible valeur de l'indice de ségrégation. Lorsque BAP₁ enregistre une valeur plus élevée qui atteint un maximum de 5.22 %.

On peut justifier ce résultat par influence des grains fins et le rôle de superplastifiant qui diminue la quantité d'eau dans les bétons et défloculation des grains.

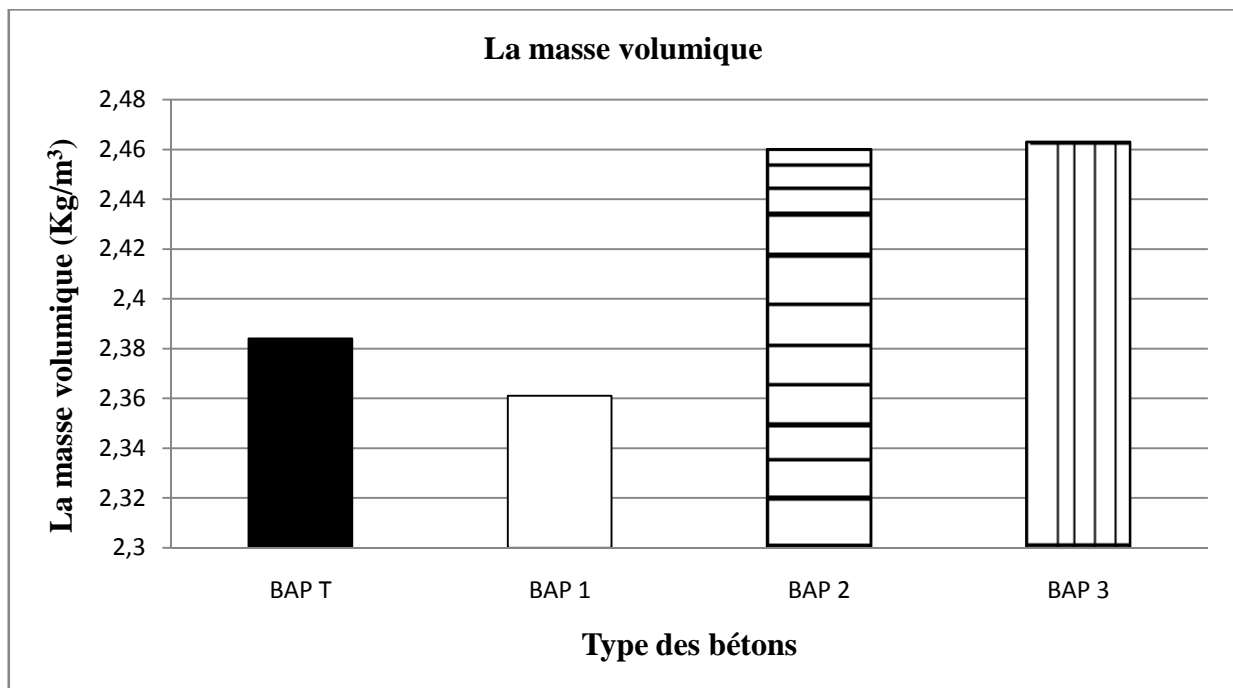


Figure IV 4- La masse volumique en fonction du type de béton a l'état frais

D'après les résultats obtenus dans le tableau IV.1 et la figure IV.4, on constat que le BAP₃ et BAP₂ donnent de grande valeurs de la masse volumique qui sont 2.463 kg/m³ et 2.46 kg/m³, consécutivement, suivi par le BAP_T avec une valeur moyenne de 2.384 kg/m³. Le béton BAP₁ a une valeur faible avec une masse volumique de 2.460 kg/m³.

Les valeurs obtenus des bétons BAP₃ et BAP₂ étaient meilleures grâce aux pourcentages des grains et leurs homogénéité ce qui minimise les bulle d'air dans la pate ; et la modification sur le pourcentage du sable et la qualité et la fluidité du béton qui rend un béton ne nécessite pas de vibration pour minimiser ces bulles d'air; le béton, BAP₁ était faible en fines qui produisent des bulles d'air pour cela la masse volumique voit une réduction.

IV.2 .2 Résultats des essais à l'état durci :

IV.2.2.1 a masse volumique à l'état durci :

Tableau IV.2: La masse volumique en fonction de l'âge

| Type de béton Age en jours | La masse volumique (kg/m ³) | | |
|-------------------------------|-----------------------------------------|-------|-------|
| | 7j | 14j | 28j |
| BAP _T | 2.381 | 2.383 | 2.385 |
| BAP ₁ | 2.324 | 2.328 | 2.330 |
| BAP ₂ | 2.434 | 2.438 | 2.441 |
| BAP ₃ | 2.406 | 2.411 | 2.412 |

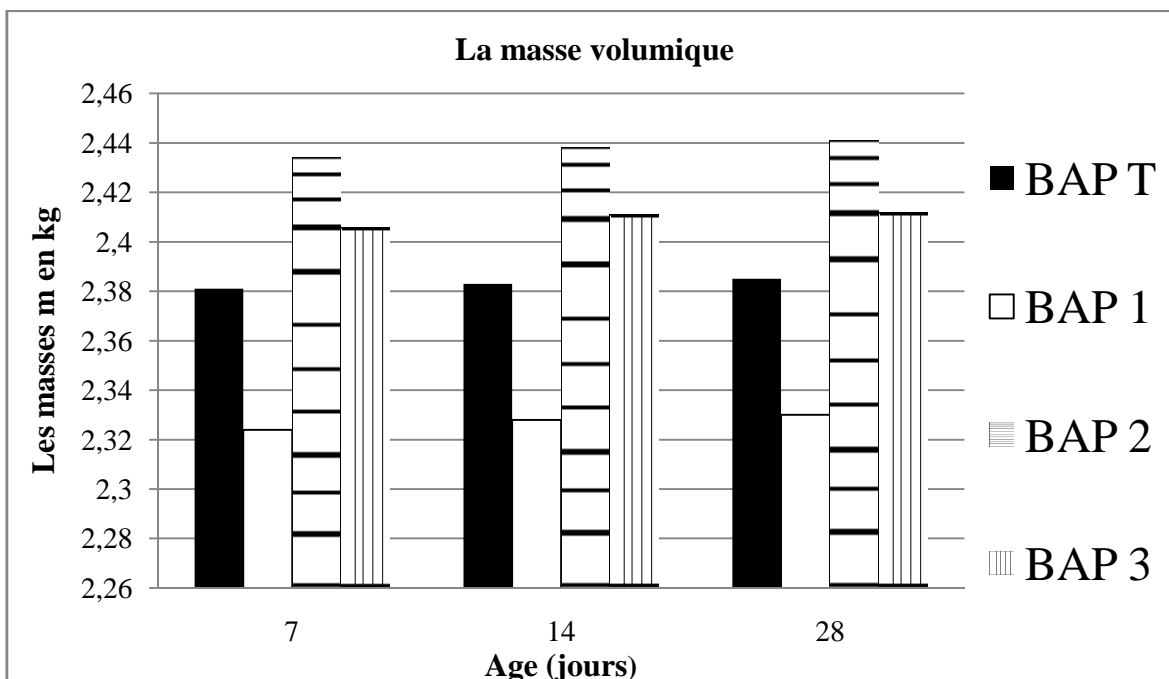


Figure IV 5- La masse volumique différente types de béton en fonction de l'âge à l'état Durci

Après les résultats obtenues dans le tableau IV.2 et la figure IV.5 on constat que le BAP₂ avec une valeur augmente peu à peu par apport à l'âge des jours et la même chose de BAP₃ ont des grandes valeurs de la masse volumique, suivi par le BAP_T avec une valeur moyen. Enfin le béton BAP₁ avaient une valeur faible avec une masse volumique.

Ces résultats nous pouvons être justifiées par les vides et homogénéités les granulats dans les bétons et par l'influence des fins, notez que l'augmentation de la masse volumique liée à diminution des vides interne.

IV.3 Propriétés mécaniques :

IV.3.1 La résistance mécanique en compression(R_c):

Les formulations des bétons étudiés ont été confectionnées en moyenne de 3 éprouvettes cubiques (10×10×10) cm³ chaque béton pour chaque essais.

Tableau IV.3 : Résultats de la résistance à la compression (R_c).

| Type de béton | Résistance à la compression R _c (MAP) | | | |
|------------------|--------------------------------------------------|-------|-------|-------|
| | Age en jours | 7j | 14j | 28j |
| BAP _T | | 32.62 | 36.21 | 38.29 |
| BAP ₁ | | 33.19 | 35.35 | 36.39 |
| BAP ₂ | | 39.33 | 40.90 | 42.09 |
| BAP ₃ | | 34.54 | 40.6 | 45.53 |

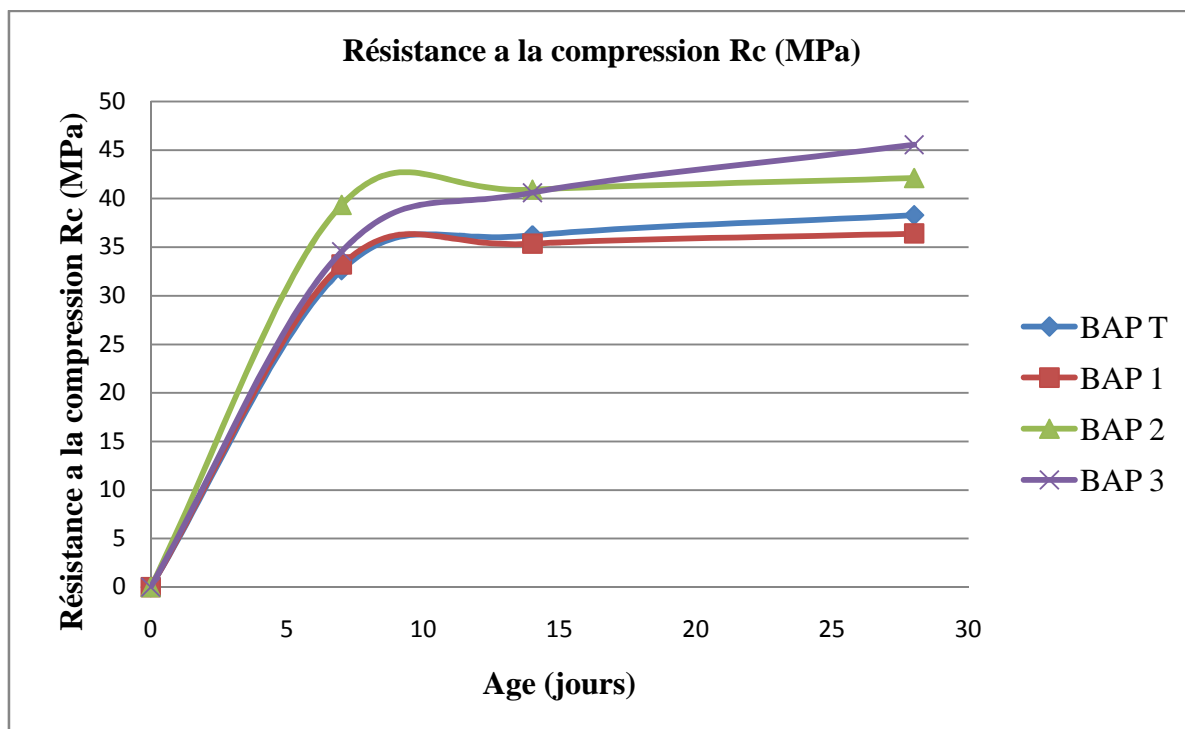


Figure IV 6.a - La résistance à la compression des différents types de béton en fonction des jours

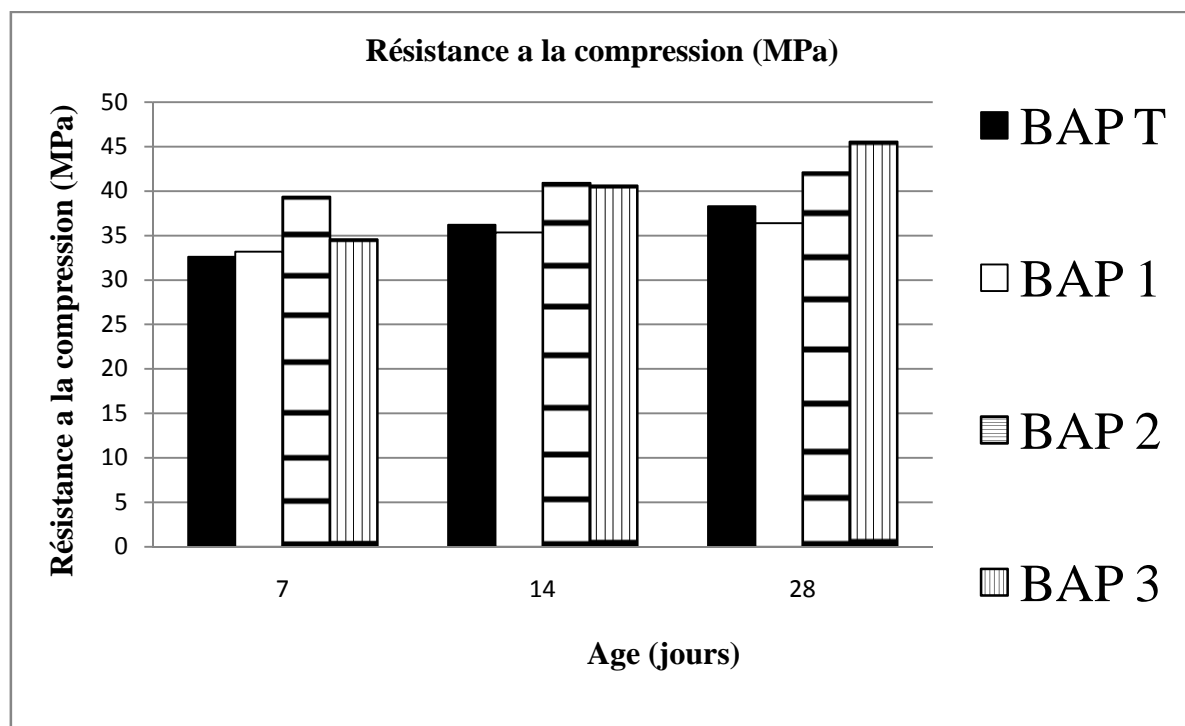


Figure IV 6.b La résistance à la compression des différents types de béton en fonction des jours

Selon le Tableau IV.3 et la figures IV.6 (a et b), on constate que le béton BAP₃ à base de sable mixte2 avec un module de finesse (Mf =2.2) enregistre une résistance mécanique Rc maximale à 28 jours (45.53 MPA) par apport aux autres types des bétons.

Le béton BAP₂ à base de sable mixte1 (50 % dune, 50 % concassé), donne une réponse mécanique Rc (42.09 MAP), plus convergente à celui de BAP₃ ; cette résistance est supérieure à celui de BAP_T (sable 100 % dune) avec une valeur de 38.29 MAP et BAP₁ (100 % concasse) de valeur minimale de 36.39 MPA.

La variation de la résistance est totalement dépendante principalement, de l'effet de la nature de sable par la correction de pourcentage des fines réguler pour la cas des sables corrigés, les fines et la ajout de fillers de calcaire sans oublier le rôle de l'adjuvant ; comme c'est le cas pour le BAP₃ avec un optimum de 45.53 MPa.

IV.3.2 Essai d'auscultation dynamique (Mesures en transparence directe) :

Tableau IV.4: Résultats de l'Essai d'auscultation dynamique

| Type de béton jour | Vitesse de son V (m/s) | | |
|------------------------------|------------------------|------|------|
| | 7j | 14j | 28j |
| BAP _T | 4284 | 4318 | 4448 |
| BAP ₁ | 4161 | 4182 | 4334 |
| BAP ₂ | 4274 | 4483 | 4502 |
| BAP ₃ | 4267 | 4445 | 4474 |

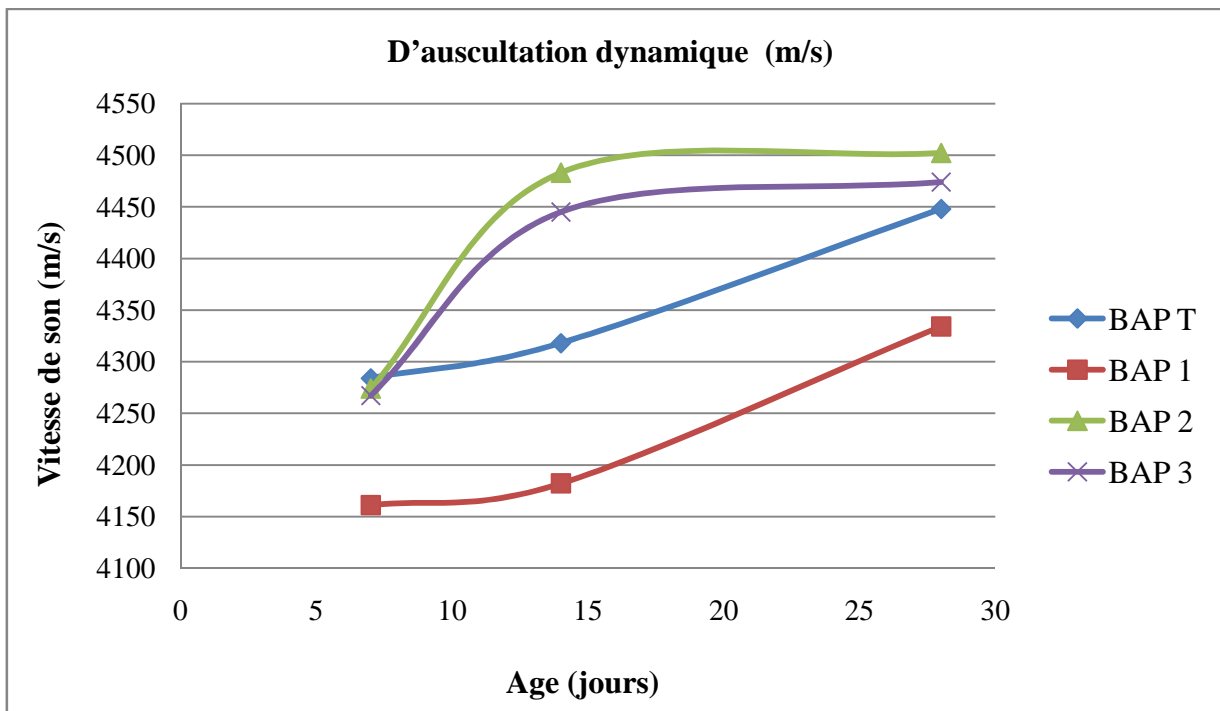


Figure IV 7.a- Vitesse de son des différents types de béton en fonction des jours

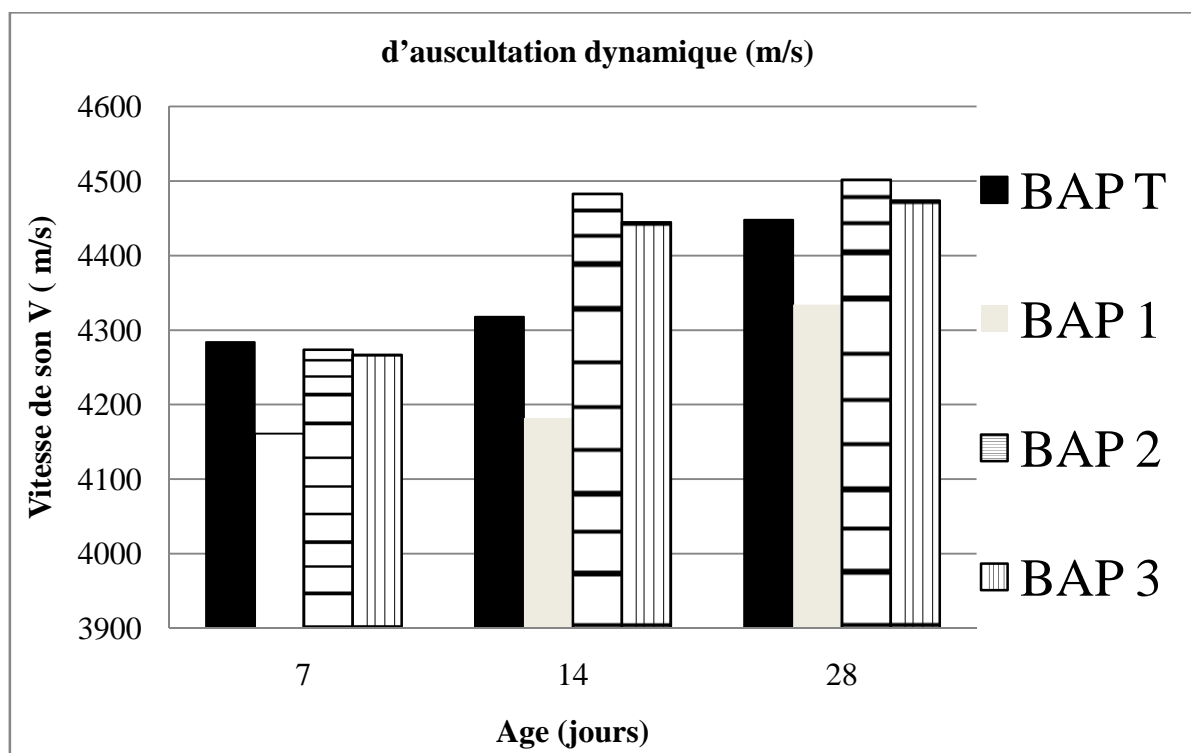


Figure IV 7.b -Vitesse de son des différents types de béton en fonction des jours

Selon aux les résultats qui obtenues dans le tableau IV.4 et la figure IV.7(a et b) on constat que le BAP₂ BAP₃ qui est composé d'un sable mixte SM₂ avec un pourcentage de 60.2 % sable dune et 39.8 % sable concassé, avec une valeur augmente peu à peu par apport à l'âge des jours ;

prenant ou atteint une valeur maximale de vitesse de son à 28 jour et la même chose de BAP₃ ont des grandes valeurs de la vitesse, suivi par le BAP_T avec une valeur moyen. Enfin le béton BAP₁ avaient une faible de valeur.

Ces résultats nous pouvons être justifiées par les vides (la masse volumique) et homogénéités les granulats et le bon l'étalement et bon écoulement et bon résistants a ségrégations dans les bétons et par l'influence des fins, notez que l'augmentation de vitesse de son liée à diminution des vides interne pour obtenir un bon résultat.

IV.4 Conclusion

A la lumière de cette étude qui concerne l'influence de la nature du sable sur la rhéologie et la réponse mécanique des BAP, ainsi sur l'évolution de la résistance mécanique à fait l'Object de ce projet de recherche; les conclusions suivantes peuvent être tirées seront reportées dans la conclusion générale ci-après.

-Le BAP₃ avec un sable mixte de module fixe (2.2) donne de bonnes performances rhéologiques à l'état frais par apport à un béton de sable de dune individuellement utilisé ou même pour le sable concassé de moindre performance.

- Le BAP₂ avec un sable concassé donne un mauvais résultat ceci peut être lier par l'absence des fines qui assure une bonne fluidité dans le cas de béton autoplaçant avec usage de superplastifiants dans le but d'une rhéologie acceptable.

Enfin, nous pouvons dire qu'après la variation des pourcentages et la qualité du sable en peut obtenir des bonne performances des BAP avec le sable corrigé en terme de propriétés rhéologiques à l'état frais et mécaniques à l'état durci.

Conclusion générale

Conclusion générale

Les bétons autoplaçants (BAP) constituent une nouvelle avancée pour la construction en béton et ils offrent en cela des avantages aussi bien d'ordre économiques, techniques que sociaux.

L'absence de vibration qui caractérise leur mise en place permet en effet de réduire le coût, de construire des éléments à géométrie complexe ou fortement ferrailés et également de constituer une véritable alternative aux bétons traditionnels. Cependant, leur formulation et le contrôle de leurs propriétés lors de la mise en œuvre nécessitent une attention particulière, les BAP demeurent en dessous de l'utilisation qui pourrait en être faite en raison de questions sans réponses posées par de nombreux industriels et maîtres d'ouvrage. Certaines des inconnues qui les concernent nécessitent donc d'apporter des résultats de recherches probantes, notamment en terme de rhéologie et de résistance.

L'objectif de ce travail était d'apporter de manière expérimentale un nouveau point de vue sur les propriétés rhéologiques et mécaniques du béton autoplaçant pour éclairer l'effet de la nature du sable (dune, concassé et mixte).

Sur à la lumière de cette étude qui concerne l'influence de la nature du sable sur la rhéologie et la réponse mécanique des BAP, ainsi une évolution de la résistance mécanique à fait l'objet de ce projet ; les conclusions suivantes peuvent être tirées :

- Le BAP₃ avec un sable mixte de module fixe (2.2) donne de bonnes performances rhéologiques à l'état frais par rapport à un béton de sable de dune individuellement utilisé ou même pour le sable concassé de moindre performance.
- Le BAP₂ avec un sable concassé donne un mauvais résultat ceci peut être lié par l'absence des fines qui assure une bonne fluidité dans le cas de béton autoplaçant avec usage de superplastifiant dans le but d'une rhéologie acceptable.
- La présence des fillers du calcaire jouent un rôle important d'influence sur l'aspect rhéologique des bétons autoplaçants
- La composition des bétons auto plaçant donne une grande fluidité sans ségrégation et sans ressuage qui constituent d'ailleurs leurs spécificités
- L'étude du béton auto plaçant avec les sables locaux de la région, à l'état frais basée sur les essais d'étalement, la boîte en L et l'essai de stabilité au tamis, donne des résultats qui correspondent aux critères des recommandations en vigueur.
- Le variation de pourcentage du sable influe directement sur la résistance de béton autoplaçant. L'augmentation de dosage des fines augmente la résistance à la compression ; et l'influence des grains fins et le superplastifiant nous a donné une diminution de la quantité d'eau dans les bétons et défloculation des grains donc une bonne performance mécanique.

Enfin, nous pouvons dire qu'après la variation des pourcentages et la qualité du sable en peut obtenir de bonnes performances des BAP avec le sable corrigé en terme de propriétés rhéologiques à l'état frais et mécaniques à l'état durci.

Les résultats obtenus sont très appréciables, nous espérons que variation des pourcentages et la nature du sable trouvent une place importante dans nos constructions d'avenir.

Référence de mémoire nasri 2016

- [1] Haddad O., 1er congrès international sur la technologie et la durabilité du béton à Alger, les 24,25 et 26 Mai 2004.
- [2] Abib Z., Thèse de Magistère en Génie Civil, « Formulation et caractérisation des bétons autoplaçants », Université des sciences et de la technologie houari boumediene, Alger, le 06 Juillet 2006.
- [3] Sedran T., Thèse de doctorat en structure et matériaux, « Rhéologie et rhéométrie des bétons -Application aux bétons autonivelants », Ecole Nationale des Ponts et Chaussées de Nantes, le 08 Mars 1999.
- [4] Association Française de Génie Civil «AFGC», Bétons autoplaçants – Recommandations provisoires, Juillet 2002, 63 pages.
- [5] Seddik A. Thèse de magistère en Génie Civil, « Le béton autoplaçant sous conditions locales », Département de Génie Civil, Université de Sétif (Algérie), Février 2008.
- [6] Mme Benakli Sarah mémoire de magistère génie civil option modélisation et calcul non linéaire, «Caractérisation expérimentale des bétons autoplaçants obtenus par ajout des déchets de construction», Département de Génie Civil université mouloud mammeri de tizi-ouzou.
- [7] Khayat K., «Les bétons auto nivelants, Les bétons, bases et données pour leur formulation », p 479-483, Eyrolles, 1997.
- [8] Collection Technique CIM béton, Fiches techniques, Tome 2 ", Les bétons : formulation, fabrication et mise en œuvre ", Édition octobre 2006.
- [9] Kasmi zin eddine , Propriétés mécaniques et rhéologiques des bétons autoplaçant fibrés exposés à haute température », Memoire de master en génie civil, matériaux département de genie civil, université mohamed boudiaf - M'sila. 2014/2015.
- [10] Hanaa Fares. Thèse de doctorat en Génie Civil «Propriétés mécaniques et physicochimiques de bétons autoplaçants exposés à une température élevée», Ecole Doctorale Sciences et Ingénierie Université de Cergy-Pontoise, le 07 Décembre 2009
- [11] Boukni.B, "tenue au feu des bétons autoplaçants", thèse de magister UMC, 2007.
- [12] Turcry.P, " Retrait et fissuration des bétons autoplaçants : Influence de la formulation", Thèse doctorale, université de Nantes, 2004.
- [13] Belhadj.N, " Caractérisation expérimentale des bétons autoplaçants en traction directe. Influence des ajouts de déchets de brique, de poudre de marbre et de tuf", mémoire de master en structure, génie civil, 2012.
- [14] Association française de génie civil, "Bétons auto-plaçants – Recommandations provisoires", documents scientifiques et techniques, AFGC, juillet 2000.
- [15] Skarendahl.A , Petersson.O, "Self-Compacting Concrete: State-of-the-art report of RILEM Technical Commite 174-SCC", RILEM Publications, France, 2001.
- [16] Legrand.C, "La structure des suspensions de ciment", Le Béton Hydraulique, Presses de l'ENPC, 1982.

- [17] Turcry P., Thèse de doctorat en Génie Civil, « Retrait et fissuration des bétons autoplaçants –Influence de la formulation », Ecole Centrale de Nantes, Université de Nantes, le 3 février 2004,
- [18] Josserand L, Thèse de doctorat en Structures et Matériau, «Ressuage des bétons hydrauliques », Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, le 11 octobre 2002.
- [19] NF P 18-406 relative aux essais de compression des bétons.
- [20] Mohammed el amin bouakkaz mémoire magister en génie civil « caracterisation du beton par les methodes non destructives – application de la methode de frequence de resonance» universite abou bekr belkaid – tlemcen ,le 28/06/2012.
- [21] Le béton auto compactant: "Recommandations provisoires Holcim " Suisse 2004
- [22] Fiche technique : Group COSIDER
- [23] " R.Dupain / R.Lanchon / J.C.Saint-Arroman" Granulats, Sols, Ciments et Bétons Edition 2000
- [24] Fiche technique : Carrière de boussaada
- [25] Belgraa L et aL "l'effet des fillers de marbre sur la réponse mécanique d'un béton recyclé a base de ciment CRS ", mémire de fin d'études ingéniorat, 2005, université de M'sila, Algérie.
- [26] Castillo, C. and Durrani, A.J., 'Effect of transient high temperature on high-strength concrete, ACI Materials journal, Jan-Feb. 1990, pp 47-53.

Résumé :

Le béton auto plaçant (BAP) est un béton capable, sous l'unique effet de la pesanteur, de se mettre en place dans les coffrages même les plus complexes et particulièrement encombrés sans nécessiter pour tout autant des moyens de vibration. Le travail présenté dans ce mémoire s'articule autour de la formulation et de la recherche de bétons autoplaçants (BAP) confectionnés à partir de sables locaux pour voir l'effet de la nature du sable et variation son pourcentage sur les propriétés de ceux-ci rhéologiques à l'état frais et physico-mécaniques à l'état durcis afin d'évaluer la performance à court et long termes.

Un programme expérimental pour l'estimation de cette cet effet a été élaborés pour des mélanges confectionnés selon, un dosage optimale de super plastifiants de 2 % et des pourcentages variables de sable de dune, sable concassé et en utilisant un sable mixte composé des deux, enfin, un sable corrigé(sable de dune et concassé), avec un module de finesse M_f égale à 2.2 Il a été étudié l'ouvrabilité et la compacité du matériau locaux et ce à l'état frais et à l'état durci. Des essais destructive et non destructive ont été effectués et ce en les comparant à les types du béton étudiés.

Les principaux résultats obtenus dans ce travail montrent que, l'utilisation de fillers de calcaire pour l'amélioration les propriétés du béton a l'état frais et durci est appréciable pour l'amélioration de la fluidité et ainsi la résistance à la compression (R_c) des BAP.

En général, nous pouvons dire qu'après la variation des pourcentages et la qualité du sable en peut obtenir de bonnes performances des BAP avec le sable corrigé en terme de propriétés rhéologiques à l'état frais et mécaniques à l'état durci.

Mots clés; Bétons autoplaçant (BAP), rhéologie, résistance mécanique, essais non destructifs.

Abstract:

The self compacting concrete (SCC) is a capable concrete, under the unique effect of the gravity to be placed in even most complex and particularly densified framework without requiring for as much means of vibration. The work presented in this report articulates around the formulation the SCC made from local sand to see the effect of the nature of the one and the variation of its percentage on the properties of these rheological at the fresh state and physico-mechanical at the hardened state thus, to evaluate the short and long-term performances.

An experimental program for the estimation of this effect was developed for mixtures made according to an optimal dosage plasticizer of 2 % and a variable percentages of sand of dune, crushed sand and by using a compound mixed sand made of both types, finally, a corrected sand (dune and crushed sand), with a fixed fineness modulus M_f equal to 2.2 was studied. The workability and the compactness of the concrete at the fresh state and in the hardened state. Indirect nondestructive tests and compression machine test were performed on the specimens for the comparison of the different concrete types studied.

The main results obtained in this work show that, the use of limestone fillers for the improvement of the properties of the concrete at the fresh and hardened state is considerable for the improvement of the fluidity and also for the compression strength (R_c) of the SCC.

Generally, we can say that after the variation of the percentages and the quality of the corrected sand good performances could be obtained.

Key words ; Self compacting concrete (SCC), rheology, mechanical resistance, non destructif tests (NDT)

:

ذاتية القولبة هي خرسانة قادرة على التوضع تحت تأثير وحيد هو الجاذبية في القالب الأكثر تعقيدا و ازدحاما على وجه الخصوص بدون حاجة إلى الكثير من وسائل الاهتزاز .
هذا العمل المقدم في هذه المذكرة يتركز حول الخلاطات والبحث على الخرسانة ذاتية القولبة ال , لرؤية تأثير نوعية الرمل والتغيير في نسبته المؤوية على الخصائص الريولوجية في الحالة الطازجة والفيزيوميكانيكية في الحالة الصلبة من اجل تقييم الفعالية على المدى القريب والبعيد .
برنامج تجريبي لأجل تقديرات هذا التأثير قد أنجز لخلاطات مشكلة على تركيز الإضافات الأمثل 2 ونسب متغيرة من رمل الكثبان والرمل المسحوق ومستعملين رمل مختلط مكون من الاثنتين وأخيرا من رمل معدل (مع معامل النعومة يساوي 2.2 , قابلية دمج للمواد المحلية في الحالة الطازجة والصلبة . متلفة وغير المتلفة أقيمت وهذا بالمقارنة مع أنواع الخرسانة المدروسة.
النتائج الرئيسية المتحصل عليها من هذا العمل تبين أن استعمال الغبار الكلسي لتحسين خصائص الخرسانة في الحالة الطازجة والصلبة , تبين أنها جيدة لتحسين الميوهة كذلك مقاومة الضغط .

نستطيع أن نقول أن بعد تغير النسب المؤوية ونوعية الرمل , نستطيع أن نتحصل على فعالية جيدة للخرسانة مع الرمل المعدل من جانب الخصائص الريولوجية في الحالة الطازجة والميكانيكية في الحالة الصلبة

كلمات مفاتيح : خرسانة ذاتية القولبة , الريولوجية , مقاومة الميكانيكية , تجربة غير متلفة.