

UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA

Faculté des Sciences et de la Technologies et Sciences de la Matière

Département d'Hydraulique et Génie Civil



Mémoire

MASTER ACADEMIQUE

Domaine : Sciences et Technologie

Filière: Génie Civil

Spécialité : V.O.A

Présenté par : Ahmed Oughba Mohamed Abderrahmane NAFE

Thème

Etude des caractéristiques Mécaniques du béton de sable de dunes sous l'effet d'adjuvant

Soutenu publiquement

Le : 22 juin 2013

Devant le Jury:

M^{elle}. MEZIANI Nedjma

Mr. BELFERRAG Allaoua

Mr. MOKHTARI Abdessamed

M.A « A » Président

M.A « A » Encadreur

M.A « A » Examinateur

UKM Ouargla

UKM Ouargla

UKM Ouargla

Année Universitaire : 2012/2013

REMERCIEMENTS



*J*e voudrais avant tout remercier Monsieur BELEFERRAG Allaoua qui m'a fait confiance en acceptant de m'encadrer sur ce sujet. Je lui suis très reconnaissant de l'opportunité qu'il m'a accordée. Ses remarques pertinentes et son esprit de synthèse m'ont permis d'avoir une autre vision sur la problématique. J'estime avoir énormément appris à son contact. Son dévouement et sa rigueur scientifique resteront pour moi des modèles. Je voudrais également saluer ses qualités "humaines", son humour mais aussi sa compréhension et son soutien dans les moments difficiles.

Je tiens à exprimer ma reconnaissance envers ceux qui m'ont fait l'honneur de juger mon travail, à savoir Monsieur MOKHTARI Abdessamed et mademoiselle MEZIANI Nedjma qui ont accepté de rapporter, d'examiner et juger ce travail...

Mes plus sincères remerciements vont aussi à Monsieur HAFSI Abdellatif, Chef département du LTPS de Ouargla, qui m'a favorablement accueilli au sein de son unité. Je remercie aussi tous ceux qui m'ont épaulé tout le long du déroulement de ce travail et l'ensemble des membres du laboratoire.

Mes remerciements vont à tant de personnes dont les noms ne sont pas cités ci-haut mais qui, de près ou de loin, m'ont prêté main forte pour la réalisation du présent travail dont la contribution a été importante.






Photo.1. Superplastifiant

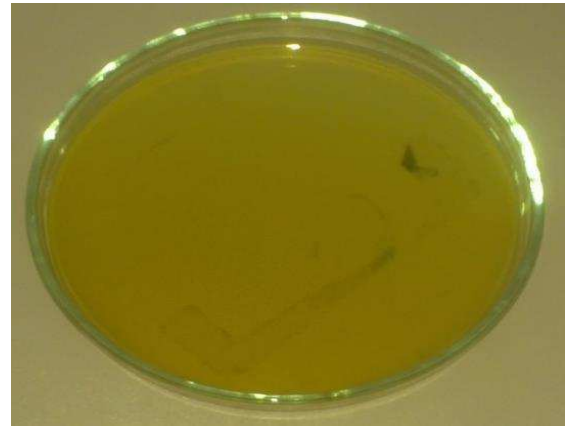


photo.2 Adjuvant



Photos.3. pate de ciment adjuvanté



photo.4 Coulage des éprouvettes



Photo.5. Conservation des éprouvettes



photo.6.écrasement d'une éprouvette en compression



Photo.7.vue de dunes de SIDI KHOULED.



Photo.8. Carrière du sable alluvionnaire



photo.9.appareil de mesure de compression



Photo.10. appareil de mesure de traction par flexion

INTRODUCTION GENERALE

Aujourd'hui, plus que jamais, et surtout avec l'explosion démographique le monde est dans le grand besoin de trouver d'autres matériaux adéquats pour la construction. Malheureusement, les coûts des ressources les plus utilisées dans les constructions sont exorbitants. Par conséquent, le monde se trouve, dans un avenir proche, incapable de se procurer des matériaux de haute qualité et/ou performance pour son développement dans le domaine de construction. De plus, ces ressources dites "nobles", car sélectionnées pour leurs hautes performances, ne sont pas sans causer de sérieux problèmes environnementaux, tels la destruction de la nature, la dégradation du sol, etc. Aussi, ces ressources « nobles » sont-elles en pénurie.

Cependant, pour surmonter ce problème qui semble persister encore pour les années à venir et pour substituer les ressources dite noble en pénurie perpétuelle, il est plus que jamais nécessaire et pressant de valoriser les matériaux locaux à savoir le sable de dunes, alluvionnaire..., comme constituants dans la fabrication du béton de sable, qui est un matériau antérieur au béton classique, ayant l'avantage d'être très maniable, esthétique et présentant des caractéristiques mécaniques et rhéologiques acceptable.

Dans le même contexte et tenant compte de la présence importante du sable de dune dans le Sahara, nous avons jugé important de réaliser une recherche ayant comme trait la contribution à la valorisation de ce matériau dans la construction qui le fait par ailleurs l'objet de notre travail.

Pour mener cette recherche, en qualité de mémoire de fin d'étude, nous nous sommes proposé trois chapitres à savoir :

- Le premier chapitre est une recherche bibliographique qui traite les caractéristiques des différents constituants du béton, formulations et propriétés mécaniques et rhéologiques des bétons de sables.
- Le deuxième chapitre est consacré à la caractérisation des constituants et à la formulation du béton de sable de dunes.
- Le troisième chapitre est une interprétation et une analyse des résultats des propriétés mécaniques obtenus à partir de l'expérimentation.

Ces chapitres seront suivis d'une conclusion générale qui reprendra les principaux résultats dégagés lors de cette étude. Il sera aussi question de rapporter et élaborer les intérêts pratiques qui en découlent, les perspectives et recommandations au développement de ce présent travail.

Conclusion générale

Au terme de notre recherche sur le béton de sable, il nous importe de mettre au clair les résultats auxquels nous avons abouti. Ayant insisté dans ce travail sur le béton de sable de dunes, nous nous sommes rendu compte que son utilisation dans divers domaines d'emploi dépend :

- Des arguments technico-économique contribuant à favoriser son développement, entre autre sa facilité de bétonnage qui conduit à une bonne exécution des ouvrages et leurs bons façonnages.
- De sa composition, sachant qu'il ne contient pas de gravier (si oui en faible dosage) ce qui lui confère à la fois un avantage économique et environnementale.

D'après les résultats trouvés, nous avons conclu ce qui suit :

- ❖ L'ajout de l'adjuvant superplastifiant permet de réduire considérablement le rapport E/C, ce qui agit favorablement sur la résistance mécanique.
- ❖ La correction granulaire du sable de dunes ayant un module de finesse très faible et dont la courbe granulométrique située en dehors du fuseau de référence par un sable alluvionnaire dont le module de finesse est préférentiel, celle-ci a contribué de manière positive dans l'amélioration des résistances mécaniques.
- ❖ le sable alluvionnaire de correction utilisé possède un équivalent de sable argileux (ES=62,46), le lavage a permis l'augmentation de ce dernier, ce qui s'est traduit par une augmentation très significatives de la résistance mécanique du béton de sable de dunes.
- ❖ L'ajout d'adjuvant sans réduction du rapport E/C a causé une diminution de la résistance mécanique du béton de sable de dunes.
- ❖ La correction granulaire avec l'ajout du superplastifiant a permis d'atteindre des résistances mécaniques remarquables.
- ❖ La correction granulaire avec lavage du sable alluvionnaire a donné les meilleurs résultats en résistance mécanique.
- ❖ La présence d'argile dans le sable influe d'une manière néfaste sur le comportement mécanique du béton de sable de dunes.

Voilà à quoi ce travail, sur le béton de sable de dunes a abouti. Ainsi, avons-nous formulé quelques perspectives de la recherche et recommandations à savoir :

- L'utilisation d'une composition tenant en compte l'effet de la correction granulaire, le lavage de sable alluvionnaire et l'ajout d'un super plastifiant.
- Le choix d'un sable de correction ayant des caractéristiques élevées.
- L'utilisation des appareils de mesures standardisés et automatiques.

Table des matières

<u>Introduction générale</u>	1
<u>Chapitre I : Recherche bibliographique et généralité sur les matériaux</u>	
I.1.Introduction	3
I.2.Historique	3
I.2.1.Définition	4
I.3.Constitution du béton de sable	4
I.3.1.Sable.....	4
I.3.1.1. Définition	4
I.3.1.2. Origine des sables	5
I.3.1.3. Propriétés physiques	5
I.3.1.4. Classification des sables selon leurs provenances.....	6
I.3.2.Ciment	6
I.3.3. L'eau	6
I.3.4. Les adjuvants.....	6
I.3.5. Les ajouts	7
a) les fillers	8
b) Les gravillons	8
c) Les fibres	8
I.4.Formulation d'un béton de sable	8
I.4.1.Description de quelques approches de formulation du béton de sable.....	8
a-Approche de GUINEZ, GLUAIS et DELUDE.....	8
b- Approche de J.J.CHAUVIN.....	9
I.4.2.Méthode théorique pour la formulation des bétons de sable..	10
I.5.Propriétés des bétons de sable	11
I.5.1.La résistance mécanique	11
I.5.1.1.La résistance à la compression	11
I.5.1.2.La résistance à la traction par flexion.....	13
I.5.2.Durabilité des bétons de sable	13
I.5.3.Effet de l'ajout d'un adjuvant superplastifiant sur les bétons.....	14

I.6.Déformations Différées	14
I.6.1.Retrait	14
I.6.1.1.Définition de retrait	14
I.6.1.2.Les facteurs agissant sur l'amplitude du retrait.....	15
I.6.2.Le fluage.....	15
I.7.Compacité	16
I.8.Conclusion.....	17
<u>Chapitre II : Caractérisation des matériaux utilisés</u>	
II.1.Introduction	18
II.2.Caractéristiques des matériaux	18
II.2.1.Sable	18
II.2.1.1.Masse volumique absolue	18
II.2.1.2.Masse volumique apparente.....	19
II.2.1.3.Equivalent de sable.....	19
II.2.1.4.Analyse granulométrique.....	22
II.2.1.4.1.Analyse granulométrique méthode de tamisage à sec	22
II.2.1.4.2.Analyse granulométrique méthode de tamisage à sec après lavage.....	28
II.2.1.5.Module de finesse.....	29
II.2.2.Adjuvant	31
II.2.2.1.Description du produit	31
II.2.2.2.Caractéristiques	31
II.2.2.3.Dosage.....	31
II.2.2.4.Propriétés et effets.....	32
II.2.3.Ciment	32
II.2.3.1.Caractéristiques chimiques	32
II.2.3.2.Caractéristiques mécaniques	33
II.2.4.Eau de gâchage.....	33
II.3.Formulation et préparation d'un béton de sable.....	33
II.3.1.Les essais de maniabilité	33

II.3.2.Préparation et confection des éprouvettes	36
II.4.Conclusion.....	36
<u>Chapitre III : Résultats et discussions</u>	
III.1.Introduction.....	37
III.3.Résultats de la résistance mécanique du béton de sable et interprétation.....	38
III.2.1.Résistance à la compression.....	38
III.2.2.Résistance à la flexion.....	44
III.4.Conclusion	52
<u>Conclusion générale</u>	53

Liste des figures

Figure.I.1.Effet de la nature et du dosage en fillers sur la résistance mécanique.....	9
Figure.II.1. Essai d'équivalent de sable.....	20
Figure.II.2 Courbe granulométrique (100 % sable de dunes).....	24
Figure.II.3.Courbe granulométrique (100% sable alluvionnaire).....	25
Figure.II.4.Résultats d'analyse granulométrique (30% SD +70% SA)	26
Figure.II.5.Courbe granulométrique (60% SA + 40% SD).....	27
Figure.II.6.Courbe granulométrique des différents échantillons.....	28
Figure.II.7.Courbe granulométrique du sable alluvionnaire après lavage.....	29
Figure.II.8.Principe de fonctionnement du Maniabilimètre.....	34
Figure.II.9.Maniabilimètre	34
Figure.III.1.Dispositif de rupture en compression.....	38
Figure.III.2.Variation de la résistance à la compression en fonction d'âge (témoins).....	39
Figure.III.3.Variation de la résistance à la compression du béton de sable en fonction d'âge (100%SD).....	40
Figure.III.4.Variation de la résistance à la compression en fonction d'âge (60%SA+40%SD).....	41
Figure.III.5.Variation de la résistance à la compression en fonction d'âge (70%SA+30%SD).....	43
Figure.III.6.Moules (4x4x16) pour moulage des éprouvettes.....	45
Figure.III.7.Dispositif pour l'essai de résistance à la flexion (3 points).....	45
Figure.III.8.Variation de la résistance à la traction en fonction d'âge (témoins).....	46
Figure.III.9.Variation de la résistance à la traction du béton de sable en fonction d'âge (100%SD).....	47
Figure.III.10.Variation de la résistance à la traction en fonction d'âge (60%SA+40%SD).....	48

Figure.III.11.Variation de la résistance à la traction en fonction d'âge
(70%SA+30%SD)..... 50

Liste des tableaux

Tableau.I.1.Résultats de résistance à la compression à différents âge de béton de sable.....	11
Tableau I.2.Résultats à la traction et compression de différents bétons avec et sans incorporation de sable de dune.....	12
Tableau II.1.Résultat de la Masse volumique absolue.....	19
Tableau II.2.Résultat de la Masse volumique apparente.....	19
Tableau.II.3.Nature et qualité du sable selon les valeurs d'équivalent de sable	21
Tableau II.4.Pourcentage d'équivalent de sable.....	21
Tableau II.5.Module et dimensions nominales des tamis.....	22
Tableau II.6 .Résultats d'analyse granulométrique du sable de dune (100%SD).....	24
Tableau.II.7.Résultats d'analyse granulométrique de 100% du sable alluvionnaire (100%SA).....	25
Tableau.II.8.Résultats d'analyse granulométrique de 70%SA+30%SD.....	26
Tableau.II.9.Résultats d'analyse granulométrique de 60%SA + 40%SD.....	27
Tableau.II.10.Résultats d'analyse granulométrique du sable alluvionnaire après lavage.....	29
Tableau II.11. Module de finesse de différents échantillons.....	30
Tableau II.12.L'analyse chimique du ciment.....	32
Tableau II.13.Caractéristiques mécaniques du ciment Portland.....	33
Tableau II.14.Classe de consistance selon la durée d'écoulement.....	35
Tableau II.15.Les résultats de maniabilité.....	35
Tableau II.16.Composition du béton de sable de dune pour 1m ³	35
Tableau.III.1.Résistance à la compression du béton de sable témoin en fonction d'âge.....	39
Tableau.III.2.Résistance à la compression du béton de sable 100%SD.....	40
Tableau.III.3.Résistance à la compression du béton de sable 60%SA+40%SD.....	41
Tableau.III.4.Résistance à la compression du béton de sable 70%SA+30%SD.....	43

Tableau.III.5.Résistance à la traction du béton de sable témoin en fonction d'âge.....	46
Tableau.III.6. Résistance à la traction du béton de sable 100%SD.....	47
Tableau.III.7.Résistance à la traction du béton de sable 60%SA+40%SD...	48
Tableau.III.8. Résistance à la traction du béton de sable 70%SA+30%SD...	50
Tableau.III.9.Récapitulatif des résultats des résistances mécaniques à 28 jours.....	51

Introduction générale

Chapitre I

Recherche bibliographique et généralité sur les matériaux

Chapitre II

Caractérisation des matériaux utilisés

Chapitre III

Résultats et discussions

Conclusions générales

et

recommandations

Bibliographie

Annexes

I.1.Introduction :

Le béton est sans aucun doute été depuis longtemps, le matériau le plus utilisé dans tous les domaines de construction. C'est un matériau artificiel obtenu par un mélange d'un liant (généralement du ciment), d'eau, de granulats (sable et gravier), et éventuellement d'adjuvant, le tout choisi de façon rationnelle.

Comme tous les matériaux, un bon béton se distingue par plusieurs qualités telles que:

- Résistance mécanique élevée (25 ÷ 40 MPa) ;
- Imperméabilité à l'eau;
- Bonne mise en œuvre et durabilité.

Ces résultats sont fonction des paramètres suivants :

- La qualité du ciment et des Agrégats ;
- Le dosage (proportions) ;
- Homogénéité du mélange.

I.2.Historique :

La technique des bétons de sable était tombée en sommeil vers les années 1920 aussi bien en Europe Occidentale qu'en ex URSS pour redevenir d'actualité pendant la deuxième guerre mondiale grâce au comportement de certaines pistes réalisées par l'Allemagne. A travers les différents secteurs (routes, autoroutes, aérodromes, bâtiments et composants du génie civil, ouvrages d'art), les Soviétiques ont développé une méthodologie de formulation et surtout de mise en œuvre dans la préfabrication et la projection [1,2].

Le béton de sable trouve en effet ses origines dans "le béton aggloméré", mis au point par le Français Coignet F. Dans le troisième quart du XIX^e siècle. Ce matériau se composait à l'époque de sable, de ciment, de chaux et d'eau. Plusieurs ouvrages ont été réalisés à partir de ce matériau et constituent les premières applications de cette technique rapport- sablo crête (1987-1991).

On peut citer à titre d'exemple : le mur de soutènement à Passy, la maison COIGNET à Saint Denis, la tour de port Saïd (h=52m) en Egypte et le pont de Clefridge à New York.

La possibilité d'obtenir des niveaux élevés de résistance avec l'utilisation des gros agrégats a fait tomber, à une certaine époque, le béton de sable dans l'oubli. A la fin de la deuxième

guerre mondiale, le béton de sable revient en force grâce à ses propriétés spécifiques, à la pénurie des gros agrégats dans certaines régions et bien entendu à la disponibilité de gros gisements de sable [2, 3].

I.2.1.Définition :

Un béton de sable est un béton, constitué de sable, de ciment, d'eau et/ou de fines. Par rapport à cette composition de base et pour répondre aux besoins de certains usages, d'autres ajouts peuvent être envisagés tels que: des adjuvants, des fibres, des gravillons, poudre de caoutchouc etc. Comme son nom l'indique, ce mélange est composé de sable comme élément majoritaire, au lieu des agrégats de gros calibres.

Ce qui distingue les bétons de sable des bétons classiques réside essentiellement en leur faible dosage ou non en gravillons tandis qu'un dosage en ciment est similaire aux bétons entre (300 et 400 kg/ m³) et leur destinations.

On les distingue des mortiers destinés à la réalisation des joints et des enduits.

Ce béton est destiné à réaliser des éléments structuraux, dans le domaine du bâtiment et du génie civil, il doit avoir une résistance caractéristique suffisante, qui est liée à la compacité des constituants mélangés. [4]

I.3.Constitution du béton de sable :

I.3.1.Sable

I.3.1.1. Définition :

On définit les sables comme étant la fraction des granulats pierreux dont les grains ont des dimensions comprises entre 80 µm et 05 mm; il s'agit d'une définition globale, dont les bornes varient d'une classification à une autre. Ce sont aussi les matériaux dont le diamètre maximal est inférieur à 6,3mm et dont le passant à 80 microns n'excède pas 30%.

Dans le sens le plus courant, on entend par "sable" les éléments de dimensions 0 à 5 mm, non compris les fillers. A cette définition se rattachent les sables de concassage ; mais lorsqu'on dit sable, on pense essentiellement aux sables naturels abondants dans de nombreux pays et dont les réserves sont quasi inépuisables. En fait, la définition granulométrique du sable est plus compliquée, elle varie suivant les époques et diffère suivant les pays et selon la destination [1].

I.3.1.2. Origine des sables :

Les sables rencontrés sont le résultat d'une décomposition chimique ou d'une désintégration mécanique des roches suivies par un processus de transport qui est à l'origine de leurs caractéristiques physico-chimiques.

Les sables ainsi disponibles sont le résultat d'un processus souvent complexe d'érosion et de sédimentation. Il comporte, à des degrés divers, une décomposition sur place des différentes roches suivie d'un transport fluvial et parfois éolien. Les différents processus qui conduisent de la roche massive aux sables sont suffisamment agressifs vis-à-vis des minéraux pour que seul subsistent les plus résistants; c'est ainsi que la plus grande partie des formations sableuses est constituée de quartz qui devient de plus en plus abondant à mesure que la taille des grains décroît. La fraction comprise entre 0,2mm et 0,5mm est le plus souvent constituée de quartz à plus de 75%. Selon l'importance et la nature de leur transport, ces grains de sable peuvent présenter un aspect différent à savoir [5]:

- Grains émoussés et luisants (usure due au déplacement par l'eau);
- Grains ronds et mats (déplacement par le vent);
- Grains non usés.

Selon leur histoire géologique, les sables se distinguent les uns des autres par une multitude d'aspects: granulométrie, teneur, nature et caractéristiques des fines, composition chimique et minéralogique, forme des grains, dureté [5].

Selon la composition minéralogique, on distingue : les sables de quartz, les sables de feldspath et les sables de carbonate.

Selon la provenance, on distingue : les sables naturels et les sables artificiels.

I.3.1.3. Propriétés physiques :

La masse volumique apparente est généralement comprise entre 1450 et 1650 Kg/m³.

La masse volumique absolue entre 2500 et 2700 kg/m³.

La granularité est déterminée par l'essai d'analyse granulométrique. Selon l'épaisseur des grains, on distingue :

- les sables fins : l'épaisseur est comprise entre 0.08 et 0.31 mm,
- les sables moyens : l'épaisseur est comprise entre 0.31 et 1.25 mm,
- les sables grossiers : l'épaisseur est comprise entre 1.25 et 5 mm.

- Propreté et teneur en fines : Ces deux propriétés sont quantifiables par la valeur de l'équivalent de sable. Cet essai nous permet de déterminer le degré de pollution du sable et le pourcentage des fines.

- $ES = 100$ Sable pure ;
- $ES \geq 80$ Sable propre pour béton ;
- $35 \leq ES \leq 40$ Sable pouvant être utilisé pour couche de fondation ;
- $ES = 0$ Argile pure.

I.3.1.4. Classification des sables selon leurs provenances :

Selon leurs provenances, les sables peuvent être classés comme suit :

- ❖ Sable de rivière : il est obtenu par dragage des lits des cours d'eau. Il doit être dur et propre pour qu'on puisse l'utiliser dans les bétons.
- ❖ Sable de mer : il provient des côtes de la mer. Pour l'utiliser dans les bétons, il faut qu'il ne soit pas trop fin et qu'il soit lavé de son sel.
- ❖ Sable de carrière : Il contient souvent de l'argile qui enrobe les grains et les empêche d'adhérer aux liants.
- ❖ Sable artificiel : il est obtenu par concassage des roches (calcaires durs, gré ...). Il est souvent plein de filler ; Pour qu'il soit utilisable dans les bétons, il faut limiter le pourcentage des fines.
- ❖ Sable de dune : C'est un sable très fin, qu'on retrouve un peu partout au Sahara.

I.3.2. Ciment :

Le ciment est un liant hydraulique, c'est-à-dire capable de faire prise dans l'eau. Il se présente sous l'aspect d'une poudre très fine qui, mélangée avec de l'eau, forme une pâte faisant prise et durcissant progressivement dans le temps. Ce durcissement est dû à l'hydratation de certains composés minéraux, notamment des silicates et des aluminates de calcium [7].

I.3.3.L'eau :

Celle utilisée est conforme à la norme NF P18-303. La proportion élevée d'éléments fins nécessite un volume de mouillage plus important, élevant le rapport E/C au-dessus de celui des bétons ordinaires ; l'incorporation de plastifiant réducteur d'eau peut réduire la quantité d'eau dans des proportions non négligeables.

I.3.4.Les adjuvants:

Un adjuvant est un produit d'addition destiné à renforcer d'une manière définitive certaines qualités convoitées ou à améliorer certaines caractéristiques d'un béton hydraulique. Ce peut être aussi un produit destiné à permettre de réaliser avec le mortier ou le béton, certaines performances d'une nature spécialisées qui ne sauraient être atteintes autrement. Un adjuvant

n'est non plus jamais un palliatif, un adjuvant n'a pas pour mission ni pour effet de faire un bon béton à partir d'une granulométrie incorrecte ou d'un mauvais dosage. [6]

Les cas où il est peut être intéressant ou nécessaire de faire appel à un adjuvant sont [6]:

- Accroissement de la compacité ;
- Accroissement des résistances mécaniques ;
- Augmentation de la maniabilité d'un béton, sans accroissement de la quantité d'eau de gâchage ;
- Diminution du retrait ;
- Diminution de l'hygroscopicité d'un béton ;
- Durcissement par période de gel intense ;
- Résistance aux eaux agressives ;
- Aptitude du béton à être coulé sous l'eau ;

Cette énumération n'est pas complètes ni définitive.

Parmi les divers adjuvants du béton on peut citer:

- Les plastifiants et superplastifiants ou hauts réducteurs;
- Les entraîneurs d'air ;
- Accélérateur de prise et de durcissement ;
- Retardateur de prise ;
- Agent hydrophobe ;
- Agent de cure interne ;
- Agent réducteur de bullage ;
- Antigel ;
- Inhibiteur de corrosion ;
- Hydrofuge de masse ;
- Accélérateur de durcissement.

I.3.5. Les ajouts :

Les bétons de sable constitués uniquement de sable et de ciment ont généralement des résistances inférieures à celle des bétons classiques; pour relever cette insuffisance. On effectue des ajouts (généralement des fines). Ceux-ci sont destinés à augmenter la compacité et par là même obtenir la résistance optimale. [8]

On utilise en particulier :

a) les fillers :

On trouve les fillers ou fines sous diverses formes minérales, artificielles ou naturelles. Ils sont destinés pour le remplissage des vides des sables, dans le but d'augmenter la compacité par création d'une étendue granulaire continue. Ce qui est favorable sur le plan technique par l'augmentation de la résistance à la traction et économique par la diminution des dosages en ciment.

b) Les gravillons :

Possibilité d'utilisation de granulats 0/15 comme constituants dans le béton de sable à condition que le rapport massique G/S ne devrait pas dépasser 1 dans le but d'améliorer certaines caractéristiques mécaniques et rhéologiques (résistance, maniabilité, retrait, ...).

c) Les fibres :

Les fibres sont utilisées comme renfort au sein d'une matrice afin de contribuer à l'amélioration de la résistance à la traction et pour diminuer le phénomène du retrait au jeune âge [9].

I.4. Formulation d'un béton de sable :

Formuler un béton consiste à choisir des constituants et à les proportionner en vue d'obtenir des propriétés spécifiques répondant à des critères techniques et économiques. Les approches de formulation des bétons de sable sont complétées par, la méthode de formulation théorique basée sur l'optimisation de la compacité de squelette granulaire, et la méthode expérimentale basée sur la réalisation de gâchées successives. [10]

I.4.1. Description de quelques approches de formulation du béton de sable**a-Approche de GUINEZ, GLUAIS et DELUDE en 1984 [11]:**

Cette approche est basée sur l'augmentation de la compacité du béton par l'adjonction d'un filler.

L'étude a été menée sur un sable alluvionnaire 0/3 mm pour être ensuite étendue à d'autres types de sable. L'objectif recherché était l'obtention d'une compacité maximale, pour que les caractéristiques physiques et mécaniques soient meilleures.

- La première étape consistait à rechercher par tâtonnements un mélange de sable, ciment et eau (formulation de base) possédant une bonne maniabilité et une résistance à la compression voisine de celle des briques et des parpaings (autour de 8 MPa).

- Cinq formules dosées respectivement de 450, 350, 300, 250 et 200 kg de ciment au m^3 ont été soumises à des essais mécaniques.
- La deuxième étape consistait à améliorer les performances de la formulation de base par la recherche de la meilleure correction granulairé possible, avec l'introduction du type de filler qui convient.

Pour cela, trois types de fillers (calcaires), différents par leurs granulométries ont été utilisés à divers dosages.

Les dosages en ciment et en eau ont été fixés à $300 \text{ kg}/m^3$ et $240 \text{ l}/m^3$ respectivement.

Les fillers employés avaient les caractéristiques granulométriques suivantes :

- Filler V : le plus fin, 75% des grains inférieurs à 20 microns.
- Filler R : 62 % des grains inférieurs à 40 microns.
- Filler F 3 : 20 % des grains inférieurs à 40 microns et 75 % inférieurs à 200 microns.

C'est la correction par le filler le plus fin (filler V) qui a donné les meilleurs résultats mécaniques et rhéologiques :

- Dans la troisième étape, la quantité de ciment a été réduite à $250 \text{ kg}/m^3$ et divers adjuvants (plastifiants) ont été utilisés.

b- Approche de J.J.CHAUVIN en 1987[12]:

Pour formuler ses bétons de sable, J.J.CHAUVIN s'était fixé au préalable le dosage en ciment à $350 \text{ kg}/m^3$ et $250 \text{ l}/m^3$ respectivement; Le dosage en eau a été choisi arbitrairement. Il a ensuite étudié les relations existant entre la nature et le dosage en fillers d'un côté, et les principales caractéristiques du béton de l'autre côté (résistance, compacité et maniabilité).

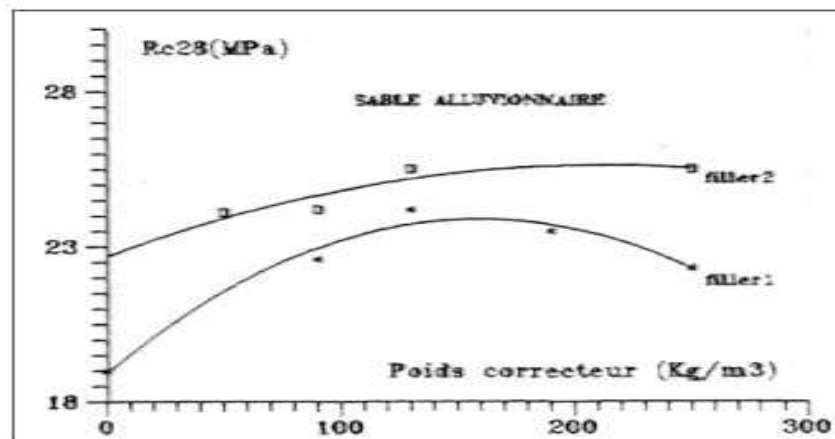


Fig.I.1.Effet de la nature et du dosage en fillers sur la résistance mécanique.

I.4.2.Méthode théorique pour la formulation des bétons de sable[13]:

I.4.2.1.La compacité et la formulation :

Dans le béton, les granulats jouent le rôle d'ossature dans laquelle la pâte assure dans un premier temps un rôle rhéologique (cohésion et fluidité) qui donne au béton frais les propriétés d'agglomération et de maniabilité, puis un rôle de colle permettant de développer les propriétés mécaniques et la durabilité du béton durci.

La formulation d'un béton consiste à optimiser le squelette granulaire selon un choix judicieux des proportions de sable et de gravier ensuite à combler la porosité de cet empilement avec la pâte de ciment. Cette pâte elle-même étant caractérisée par le rapport E/C pour viser une maniabilité à court terme et une résistance et durabilité à long terme. Le problème de la formulation d'un béton se pose principalement en termes d'optimisation de la compacité du squelette granulaire. Cette compacité définie comme le rapport du volume solide sur le volume total, correspond au complément à l'unité de la porosité.

Au début du 20^{ème} siècle, CAQUOT a pu établir, à partir de résultats expérimentaux, une relation mathématique entre le volume des vides (v) d'un mélange granulaire et son étendue granulaire (d/D) tel que :

$$V = V_0 \left(\frac{d}{D} \right)^{1/5} \dots\dots\dots (1.1)$$

Où, d : correspond à la dimension du tamis retenant 90 % des granulats.

v_0 : constante empirique égale à 0,5.

D : correspond à la dimension du tamis retenant 10 % des granulats.

Cette formule sous-entend que le mélange défini par son étendue granulaire est optimisé (sans voir la répartition des grains à l'intérieur de cette étendue granulaire).

Cette formule est à la base de nombreuses méthodes de formulation des bétons qui consistent généralement à définir des courbes granulaires de référence. Nous citerons pour exemple les méthodes de BOLOMEY, FAURY, DREUX....etc.

Dans le cas des bétons de sable, les constituants solides sont le sable, les fines d'addition et le ciment ; les fines d'addition étant de dimensions voisines de celles du ciment.

L'application directe des méthodes de formulation adaptées aux bétons ordinaires conduit généralement à des estimations du dosage des constituants déraisonnables. Il faut donc adapter la démarche de formulation pour ces bétons à partir de la formule de CAQUOT [13].

I.5. Propriétés des bétons de sable

I.5.1. La résistance mécanique:

La résistance mécanique du béton en compression et en traction est une propriété principale dans la conception des bâtiments et des structures.

Cette dernière est fortement dépendante du rapport eau/ciment et de l'âge du béton, du pourcentage d'hydratation, du malaxage...etc [14].

I.5.1.1. Résistance à la Compression :

L'augmentation du dosage en sable de dune dans la composition du béton, crée une diminution de la résistance à la compression du béton.

Il est à noter aussi que cette résistance est influencée par quelques caractéristiques du sable, à savoir : le module de finesse, l'équivalent de sable, et l'état de surface des grains, [15,16].

BOUAZIZ.A et al, ont menés une campagne d'essais de compression sur des compositions de béton de sable alluvionnaire à 100% et un autre dunaire à 100% dont les résultats sont présentés dans le tableau.I.1 ci-dessous [17]:

Tableau.I.1 résultats de résistance à la compression à différents âge du béton de sable.

formulation	100% Dunaire (MP _a)	100% Alluvionnaire (MP _a)
R _c (7 jours)	12.7	25
R _c (28 jours)	21.5	28

Ces résultats, ont été trouvés en fixant la valeur du rapport E/C. Les valeurs montrent que le sable alluvionnaire conduit à des résistances meilleures (gain de 30% à 28j) par rapport au sable de dune.

TEBBAL.N et al, [18], ont montrés que les bétons adjuvantés exposés aux hautes températures présentent des résistances élevées a la compression par rapport aux bétons non adjuvantés du fait du rôle du superplastifiant dans la distribution des grains de ciment et l'amélioration de la compacité du béton.

BOUCHOUIKA.A et al, [19], présentent des résultats en résistance mécanique de différentes compositions de béton avec incorporation et/ou substitution d'une partie du ciment par du sable de dune finement broyé, ces résultats sont présentés dans le tableau suivant [19]:

Le Tableau I.2 montre les résultats à la traction et compression de différents béton avec et sans incorporation de sable de dune, à différents âges.

Tableau.I.2.Résultats à la traction et compression de différents béton avec et sans incorporation du sable de dunes.

Compositions	Traction (MP _a)		Compression (MP _a)	
	7 jours	28 jours	7 jours	28 jours
B1 Témoin	4.5	4.9	47.8	56.2
B2 10% SD	4.0	5.1	46.7	59.0
B3 15%SD	3.8	4.5	39.7	55.2

Avec substitution d'une partie du poids du ciment par du sable de dune finement broyé, les meilleures performances physico-chimiques sont atteintes avec 10% SD, les compositions avec incorporation de 15% SD ont présenté des résultats inférieures par rapport aux témoins selon BOUCHOUIKA et al [19].

D'autres auteurs, BENABED.B et al, [20], ont réalisés une étude expérimentale sur des bétons de sable, par trois compositions, un mortier de sable dunaire sans plastifiant notée MSD, un mortier de sable dunaire avec plastifiant notées MSDP et un mortier de sable mélange (dunaire + alluvionnaire tel que SA/SD =2) avec plastifiant notée MSADP. Les éprouvettes ont été conservées dans deux milieux différents, à l'air et dans l'eau.

Pour les éprouvettes conservées dans l'eau, les résultats montrent que la résistance à la compression augmente progressivement avec l'âge de conservation dans l'eau, ceci peut s'expliquer par le développement du phénomène d'hydratation du ciment dans les mortiers en fonction du temps en présence d'humidité suffisante, on constate d'après les résultats que la vitesse d'évolution des résistances en compression des mortiers à base de sable mélange MSADP se développe rapidement par rapport à celle du sable dunaire seul, plus lente. Les gains de résistance obtenues pour le mortier à base de sable mélange semblent être directement liés aux propriétés particulières des sables et en particulier le sable alluvionnaire qui améliore la compacité des mortiers et par la suite la résistance, selon BENABED.B et al [20].

Pour la cure à l'air, les résultats confirme le rôle du sable alluvionnaire dans le comportement mécanique des mortiers, l'augmentation de la résistance est affectée par la présence des éléments gros dans le sable mélange, ceci veut dire que le sable a une meilleur répartition granulométrique (pour le MSADP) et par conséquent une meilleur résistance. Il ne faut pas négliger le rôle de l'adjuvant dans la réduction de la quantité d'eau et dans l'accroissement de la résistance, et que la conservation saturée (sous l'eau) confère au béton les meilleurs

résistances à la compression et à la flexion, ces résultats sont similaires à ceux trouvés par DAMENE.Z et al [21], BENTATA.A et al, [15].

I.5.1.2. Résistance à la traction par flexion :

Diverses études ont été réalisées concernant la résistance à la traction des bétons de sable, nous citons les travaux réalisés par BENTEBBA.M.T [16], sur des bétons de sable alluvionnaire et dunaire et une troisième composition représentant un mélange des deux (60% SA+40%SD), les résultats de la résistance à la traction dénotent une progression croissante de la résistance à 7, 14 et 28 jours pour le béton de sable alluvionnaire (100% SA), probablement l'augmentation des pourcentages de sable de dunes diminue l'adhérence granulat/matrice, ce qui diminue par la suite la résistance à la flexion, c'est pour cette raison que les bétons avec un grand pourcentage de sable de dunes ont une résistance relativement faible par rapport au béton de type alluvionnaire.

D'autres auteurs, BENABED.B et al, [20], DAMENE.Z et al [21], ont présenté des résultats de résistance à la flexion sur bétons de sable, à 28 jours la résistance pour les mortiers conservés sous l'eau, MSAD et MSDP est de l'ordre de 7 et 6.15 MPa respectivement et la plus faible valeur est de l'ordre de 4.22 MPa pour le MSD, La meilleure résistance observée correspond au mortier du sable mélange (alluvionnaire – dunaire), ceci est dû au rôle du sable alluvionnaire, pour les mortiers conservés à l'air libre, les valeurs de résistance à la flexion à 28 jours sont : MSAD 5.28 MPa, MSDP 4.36MPa et 3.09 MPa pour le MSD, On constate, que les résistances à la flexion des mortiers conservés à l'air libre sont inférieures à celles des mortiers conservés dans l'eau, cette réduction de la résistance est due à l'appauvrissement en eau suite à son évaporation à l'air libre, entraînant un abaissement de la cinétique d'hydratation du ciment qui provoque une diminution de la résistance.

I.5.2. Durabilité des bétons de sable :

La tenue d'un béton vis-à-vis des phénomènes d'échange dépend évidemment de l'environnement de celui-ci. L'estimation de la durabilité se fera par conséquent à l'aide d'essais de perméabilité à l'eau et à l'air, de mesure de la carbonatation et de la pénétration des ions chlorures. Les conclusions suivantes ont été faites vis-à-vis des attaques physico-chimiques [13].

- La perméabilité à l'eau est plus faible qu'un béton ordinaire ($2,5 \cdot 10^{-12}$ contre 10^{-10} m/s) ; quant à la perméabilité à l'air, elle conduit à des résultats inférieurs ou comparables pour des bétons de sable optimisés.

- La profondeur de carbonatation en ambiance naturelle pourrait être importante du fait de la faible dimension des pores ($<10\mu\text{m}$) et de l'absorption initiale. Des résultats expérimentaux montrent un quasi proportionnalité entre profondeur carbonatée et absorption initiale [22].
- Avec un rapport E/C faible et avec un ajout d'un super-plastifiant a comme résultats une imperméabilisation élevée aux ions chlore d'où l'amélioration de la durabilité des bétons [23].

I.5.3. Effet de l'ajout d'un adjuvant superplastifiant sur les bétons:

Plusieurs chercheurs ont montrés que l'avènement d'adjuvant superplastifiant a permis à l'industrie du béton de faire un pas de géant, il est devenu possible de fabriquer des bétons fluides, même avec moins d'eau qu'il ne faut pour hydrater le ciment, donc fabriquer des bétons de très faible rapport Eau/Ciment et facile à mettre en œuvre.

Cette performance rhéologique des superplastifiants a bouleversé les techniques bétonnières en offrant des potentialités insoupçonnées. En effet, La réduction du rapport E/C permet non seulement de diminuer le volume total des pores capillaires mais elle permet aussi de réduire leur diamètre, Elle engendre en suite une augmentation considérable de la résistance à la compression et une forte imperméabilité du béton. Enfin bref, le béton n'est plus une technique de masse mais de finesse, ce n'est plus un matériau « brut » mais d'élégance [6, 9, 23, 24,25].

I.6.Déformations Différées :

Dans les environnements secs et chauds, un grand nombre d'ouvrages et de constructions en béton ont subi diverses actions climatiques (action de la chaleur, et de l'humidité basse), ce qui induit des déformations rhéologiques défavorables. Actuellement, l'avancement des recherches conduit à séparer ces déformations différées en deux grandes familles, le retrait et le fluage.

I.6.1.Retrait :

I.6.1.1 Définition de retrait :

Le retrait d'auto-dessiccation est caractérisé par une cinétique semblable à celle du béton classique. Une différence de l'ordre de 10% existe par rapport à ce dernier. [26,27]

Cette différence, couramment observée à l'intérieur même de la gamme des bétons, est due à une perte en masse plus rapide pour le béton de sable. Le rapport des déformations de retrait de dessiccation des deux bétons (de sable et ordinaire) en fin d'essai (6 mois) est égal à 1.6 correspondant globalement au rapport de perte en masse au même âge, soit 1.48. [14,28]
En conclusion nous pouvons dire que le retrait est une fonction croissante de l'eau évaporable (taux de séchage).

I.6.1.2. Les facteurs agissant sur l'amplitude du retrait :

Tout paramètre influant sur le bilan de l'eau dans le béton, influera sur son retrait puisque ce dernier est lié, en grande partie, aux migrations d'eau.

Ces facteurs qui y agissent sont [28, 29] :

- Le dosage en ciment: le retrait augmente avec le dosage en ciment;
- La quantité d'eau de gâchage.
- Les vides d'air: l'évaporation de l'eau est facilitée par une forte perméabilité du béton;
- La finesse de mouture du ciment: cela nécessite une plus grande quantité d'eau ;
- La présence d'éléments fins: proviennent en général de l'emploi des Agrégats argileux ou des Agrégats de broyage non dépoussiérés;
- Nature du ciment: facteur de toute première importance. Les ciments à forte proportion de laitier conduisent à des valeurs de retrait plus élevées (cas d'une conservation dans l'air).
- Hygrométrie de l'ambiance: le retrait croît quand l'humidité relative diminue.

I.6.2. Le fluage :

I.6.2.1. Définition :

Soumis à une charge permanente, le béton subit en plus de la déformation instantanée qui se manifeste au moment de l'application de la charge, une déformation plastique se développant lentement dans le temps et que l'on appelle fluage, le fluage peut donc être défini comme une augmentation de la déformation sous une contrainte constante [30, 31,32].

Comme cette augmentation de la déformation peut être plusieurs fois supérieure à la déformation sous l'application d'une charge instantanée, la prise en compte du fluage est d'une importance considérable lors du calcul des structures en béton [6,32].

La distinction entre le fluage et la plasticité peut être la suivante : [6]

- Le fluage prend naissance sous des charges inférieures à la limite d'élasticité, son apparition exige une application permanente de la charge, son amplitude est fonction de la durée de la sollicitation.
- Les déformations plastiques sont également des déformations permanentes, mais elles apparaissent instantanément lorsque la charge dépasse la limite élastique du matériau.

Certains des facteurs influençant le fluage sont liés intrinsèquement aux propriétés du béton, d'autres viennent des conditions extérieures. Il faut bien comprendre que c'est la pâte de ciment qui subit le fluage [29].

I.7. Compacité :

La compacité d'un béton est définie comme le volume occupé par les éléments solides rapportés au volume total. Elle est bien sûr complémentaire à la porosité [33].

Les granulats du béton jouent le rôle d'ossature, dans laquelle la pâte assure d'abord un rôle rhéologique (cohésion et écoulement) puis un rôle de colle permettant de développer les propriétés mécaniques et de durabilité du matériau durci.

Le problème de la formulation d'un béton se pose en termes d'optimisation de la compacité du squelette granulaire, par un choix judicieux de la proportion de sable et de gravillons puis par un comblement de la porosité de cet empilement avec la pâte afin d'obtenir l'ouvrabilité désirée.

En effet, au début du siècle, Caquot a pu établir, à partir des résultats expérimentaux une relation mathématique entre le volume des vides (v) d'un mélange granulaire et son étendue granulaire (d/D) [13] :

$$V = V_0 (d/D)^{1/5} \dots\dots\dots(1.1)$$

Avec V_0 : constante expérimentale ;

V : le volume des vides d'un mélange ;

d : diamètre des éléments les plus fin;

D : diamètre des éléments les plus grands.

I.8.Conclusion:

Il apparaît dans l'étude bibliographique que nous avons rapportée dans ce chapitre, qu'il existe une grande famille de matériaux. Et que l'utilisation des bétons de sable dans divers domaines d'emploi dépend :

- Des arguments technico-économique contribuant à favoriser son développement. Entre autre sa facilité de bétonnage qui conduit à une bonne exécution des ouvrages et leurs bons façonnages.
- De la composition des bétons de sable qui est totalement différente de celle d'un béton courant.
- Présence de plusieurs méthodes et approche de formulation de béton de sable selon la conception et les moyens locaux.

II.1.Introduction :

Un béton de haute qualité est le fruit d'une formulation correcte, d'une mise en œuvre irréprochable et d'un traitement ultérieur instantanément appliqué [34].

Le béton possède une structure extrêmement complexe, formée de matériaux de nature minéralogique différente et d'une phase liquide dont l'influence est importante, donc ce chapitre sera consacré à l'étude et à la détermination des propriétés des constituants du béton de sable qui fait l'objet de notre étude.

II.2. Caractéristiques des matériaux :

II.2.1. Sable :

On entend Par le sable tout granulat conformes aux définitions des normes NFP 18-101 et NF P 18-540, quelle que soit sa nature ou son origine [35,36].

Dans cette étude nous avons utilisé un sable alluvionnaire (SA) provenant de la carrière de Hassi Sayah et un sable de dune (SD) de couleur jaune provenant de la région de Sidi Khouiled (Wilaya d'Ouargla).

II.2.1.1.Masse volumique absolue :

Cet essai est régi par la norme NFP 18-555; elle est définie comme étant la masse par unité de volume de la matière qui constitue le granulat sans tenir compte des vides pouvant exister entre les grains [37].

- **But de l'essai**

Cet essai a pour but de déterminer la masse volumique d'un corps ou densité. Ce paramètre est une valeur intrinsèque du matériau en question sa détermination est indispensable aux calculs de masse, volumes ou/et surtout lors de la formulation du béton.

Dans ce travail nous avons utilisé la méthode de l'éprouvette graduée, elle est simple, rapide et qui utilise un matériel courant du laboratoire.

- **Mode opératoire**

1- Remplir une éprouvette graduée avec un volume V_1 d'eau.

2-Peser un échantillon sec M de sable (environ 100 g) et l'introduire dans l'éprouvette en prenant soin d'éliminer toutes les bulles d'air.

3- Lire le nouveau volume V_2 .

La formule qui nous permet la détermination de la masse volumique est :

$$\rho_s = \frac{M}{V_2 - V_1} \dots\dots\dots (2.1)$$

Le tableau II.1 présente les résultats de la Masse volumique absolue.

Tableau.II.1.Résultat de la Masse volumique absolue.

Composition de sable	ρ_s (kg/m³)
Sable de dune	2586
Sable alluvionnaire	2500

II.2.1.2.Masse volumique apparente :

Cet essai est régi par la norme NFP 18-555, elle est définie comme étant la masse de l'unité de volume apparente du corps, c'est-à-dire celle du volume constitué par la matière du corps et les vides qu'elle contient [37].

Le tableau II.2 présente les résultats de la masse volumique apparente.

Tableau.II.2.Résultat de la Masse volumique apparente.

composition de sable	ρ_a (kg/m³)
Sable de dune	1453.83
Sable alluvionnaire	1589.67

II.2.1.3.Equivalent de sable :

Il est défini par la norme NFP 18-598; cet essai d'équivalent de sable, permettant de mesurer la propreté d'un sable, est effectué sur la fraction d'un granulat passant au tamis à mailles carrées de 5 mm. Il rend compte globalement de la quantité et de la qualité des éléments fins, en exprimant un rapport conventionnel volumétrique entre les éléments sableux qui sédimentent et les éléments fins qui flocculent [38].

- **But de l'essai**

Cet essai a pour but de mesurer la propreté des sables entrant dans la composition des bétons et la quantifié.

- **Principe de l'essai**

L'essai est effectué sur la fraction 0/2 mm du sable à étudier. On lave l'échantillon, selon un processus normalisé, et on laisse reposer le tout. Au bout de 20 minutes, on mesure les éléments suivants :

- hauteur H_1 : sable propre + éléments fins,
- hauteur H_2 : sable propre seulement.

On en déduit l'équivalent de sable qui, par convention dit équivalent de sable permettant de déterminer le degré de propreté du sable :

$$ES = \frac{H_1}{H_2} \times 100 \dots \dots \dots (2.2)$$

Selon que la hauteur H_2 est mesurée visuellement ou à l'aide d'un piston, on détermine ES_V (équivalent de sable visuel) ou ES (équivalent de sable au piston)

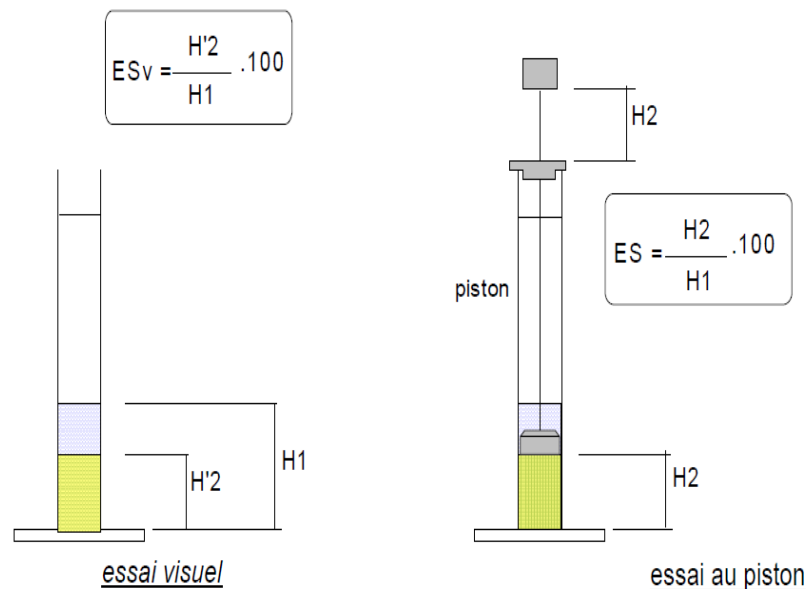


Fig. II.1.Essai d'équivalent de sable.

Tableau.II.3.Nature et qualité du sable selon les valeurs d'équivalent de sable.

E.S à vue	E.S	Nature et qualité du sable
$E.S.V < 65$	$E.S < 60$	Sable argileux : risque de retrait ou de gonflement, problème d'adhérence, à rejeter pour les bétons de qualité.
$65 \leq E.S.V < 75$	$60 \leq E.S < 70$	Sable légèrement argileux de propreté admissible pour les bétons de qualité courante quand on ne craint particulièrement pas le retrait.
$75 \leq E.S.V < 85$	$70 \leq E.S < 80$	Sable propre à faible pourcentage de fines argileuses convenant parfaitement pour des bétons de haute qualité (valeur optimale $E.S = 75$, $E.S.V = 80$).
$E.S.V \geq 85$	$E.S \geq 80$	Sable très propre : l'absence presque totale de fines argileuses risque d'entraîner un défaut de plasticité du béton qu'il faudra rattraper par une augmentation du dosage en eau.

Tableau.II.4 Pourcentage d'équivalent de sable.

Nature de sable	ES (%)		Observation
Sable de dune	Piston	96.32	Sable très propre
	Visuel	99.99	
Sable alluvionnaire	Piston	62.46	Sable légèrement argileux
	Visuel	68.97	
Sable alluvionnaire après lavage	Piston	86.64	Sable très propre
	Visuel	91.28	

II.2.1.4. Analyse granulométrique:

Les courbes granulométriques des différents granulats peuvent être déterminées par l'essai de l'analyse granulométrique.

II.2.1.4.1. Analyse granulométrique méthode de tamisage à sec :

Cet essai est régi par la norme française NF P18-560.

L'essai consiste à classer les différents grains constituant l'échantillon en utilisant une série de tamis, emboîtés les uns sur les autres, dont les dimensions d'ouvertures sont décroissantes du haut vers le bas. Le matériau étudié est placé en partie supérieure des tamis et le classement des grains s'obtient par vibration de la colonne de tamis [39].

- **But de l'essai :**

L'analyse granulométrique permet de déterminer la grosseur et les pourcentages pondéraux respectifs des différentes familles de grains constituant les échantillons. Elle s'applique à tous les granulats de dimension nominale inférieure ou égale à 63 mm, à l'exclusion des fillers.

A noter qu'il faut éviter la confusion entre la granulométrie qui s'intéresse à la détermination des dimensions des grains et la granularité qui concerne la distribution dimensionnelle des grains d'un granulat.

- **Principe de l'essai :**

L'essai consiste à classer les différents grains constituant l'échantillon en utilisant une série de tamis, emboîtés les uns sur les autres, dont les dimensions des ouvertures sont décroissantes du haut vers le bas. Le matériau étudié est placé en partie supérieure des tamis et les classements des grains s'obtiennent par vibration de la colonne de tamis.

Afin d'éviter toute ambiguïté, un tamis et une passoire équivalent désigné par un même numéro de module et une dimension nominale normalisée des tamis.

Le tableau II.5 présente les modules et les diamètres nominaux des tamis

Tableau.II.5.Module et dimensions nominales des tamis.

Modules	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Tamis	0,08	0,100	0,125	0,160	0,200	0,250	0,315	0,40	0,50	0,63	0,80
Modules	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41
Tamis	1,00	1,25	1,60	2,00	2,50	3,15	4,00	5,00	6,30	8,00	10,00
Modules	42	43	44	45	46	47	48	49	50		
Tamis	12,50	16,00	20,00	25,00	31,50	40,00	50,00	63,00	80,00		

- **Dimension des tamis utilisés**

Pour les sables, on utilisera en général les tamis de modules 20, 23, 26, 39, 32, 35 et 38.

- **Préparation de l'échantillon**

La masse à utiliser sera telle que : $M \geq 0,2 D_{\max}$ avec M, masse de l'échantillon en kg et D_{\max} diamètre du plus gros granulat exprimé en mm.

Nous avons utilisé quatre échantillons :

- Premier échantillon : 100% de sable de dune ;
- Deuxième échantillon: 100% de sable alluvionnaire ;
- Troisième échantillon : 70 % du Sable alluvionnaire + 30% du sable de dune ;
- Quatrième échantillon: 60 % du Sable alluvionnaire + 40% du sable de dune.

Les tableaux suivants représentent les résultats d'analyse granulométrique obtenus :

▪ **Premier Échantillon:**

Tableau.II.6.Résultats d'analyse granulométrique du sable de dune (100%SD).

Tamis en (mm)	Refus cumulés Rn en (g)	Refus cumulés en(%)	Tamisés cumulés en (%)
5	0	0,00	100,00
2,5	0	0,00	100,00
1,25	0	0,00	100,00
0,63	0	0,00	100,00
0,315	49	4.08	95.92
0,16	1066.5	88.88	11.13
0,08	1194.6	99.55	0,45
Fond	1198.6	99.88	-

La figure II.2 représente la courbe granulométrique du sable de dunes.

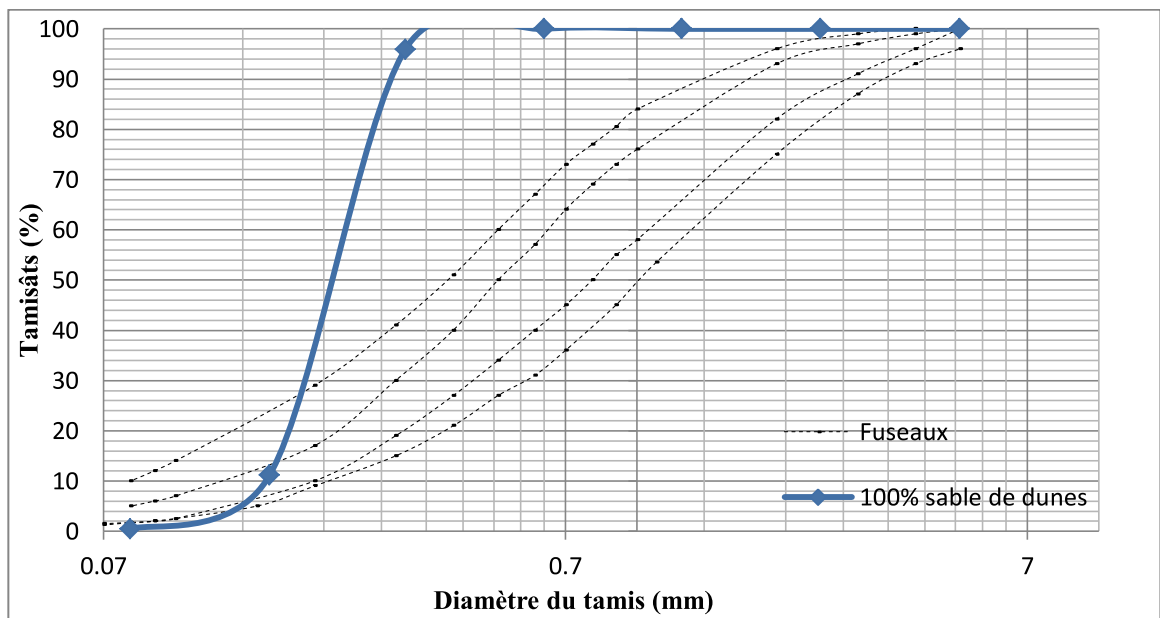


Fig.II.2.Courbe granulométrique (100 % sable de dunes).

▪ **Deuxième échantillon :**

Tableau.II.7.Résultats d'analyse granulométrique de 100% du sable alluvionnaire (100%SA).

Tamis en (mm)	Refus cumulés Rn en (g)	Refus cumulés en(%)	Tamisas cumulés en (%)
5	28.7	2.39	97.61
2,5	94.2	7.85	92.15
1,25	270.3	22.53	77.48
0,63	600.4	50.03	49.97
0,315	866.2	72.18	27.82
0,16	970.9	80.91	19.09
0,08	988	82.33	17.67
Fond	994.6	82.88	-

La figure II.3 (ci-dessous) représente la courbe granulométrique du sable alluvionnaire.

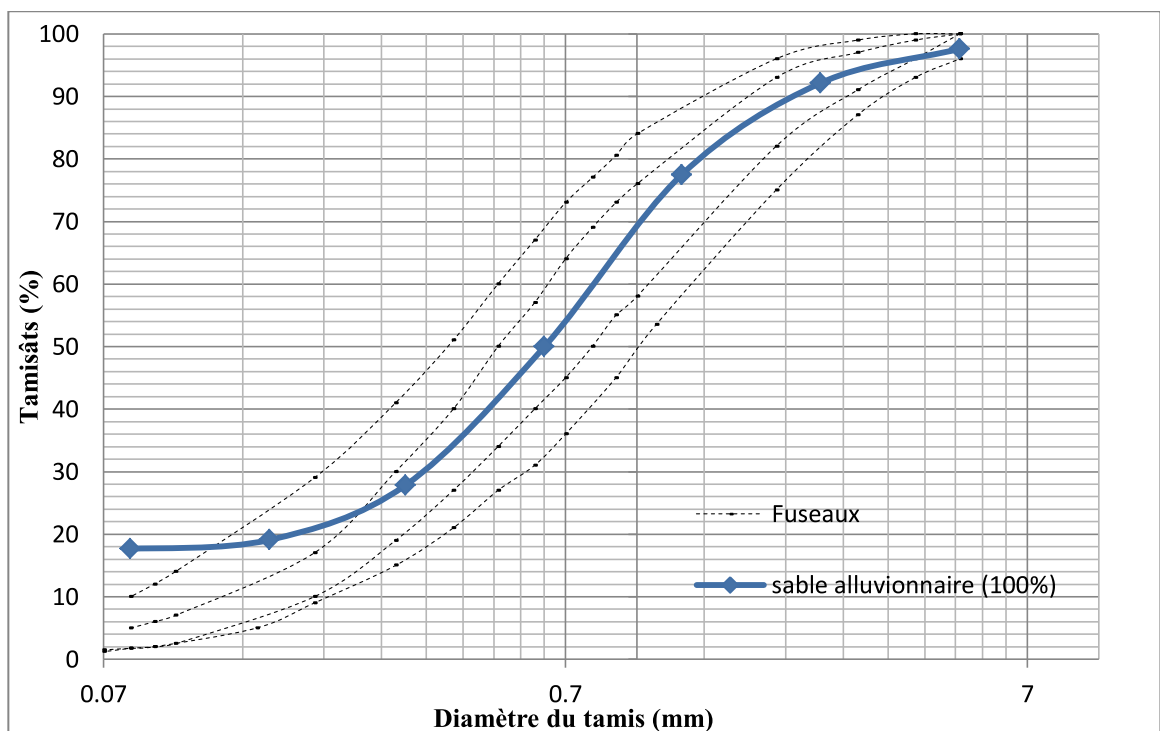


Fig.II.3.Courbe granulométrique (100% sable alluvionnaire).

▪ **Troisième échantillon:**

Tableau.II.8.Résultats d'analyse granulométrique de 70% (SA) +30% SD.

Tamis en (mm)	Refus cumulés Rn en (g)	Refus cumulés en(%)	Tamisés cumulés en (%)
5	20.5	2.05	97.95
2,5	67.8	6.78	93.22
1,25	185.9	18.59	81.41
0,63	419.8	41.98	58.02
0,315	621.9	62.19	37.81
0,16	897.2	89.72	10.28
0,08	981.3	98.13	1.87
Fond	996.5	99.65	-

La figure II.4 (ci-dessous) représente la courbe granulométrique du sable de dunes corrigé à 70% avec du sable alluvionnaire.

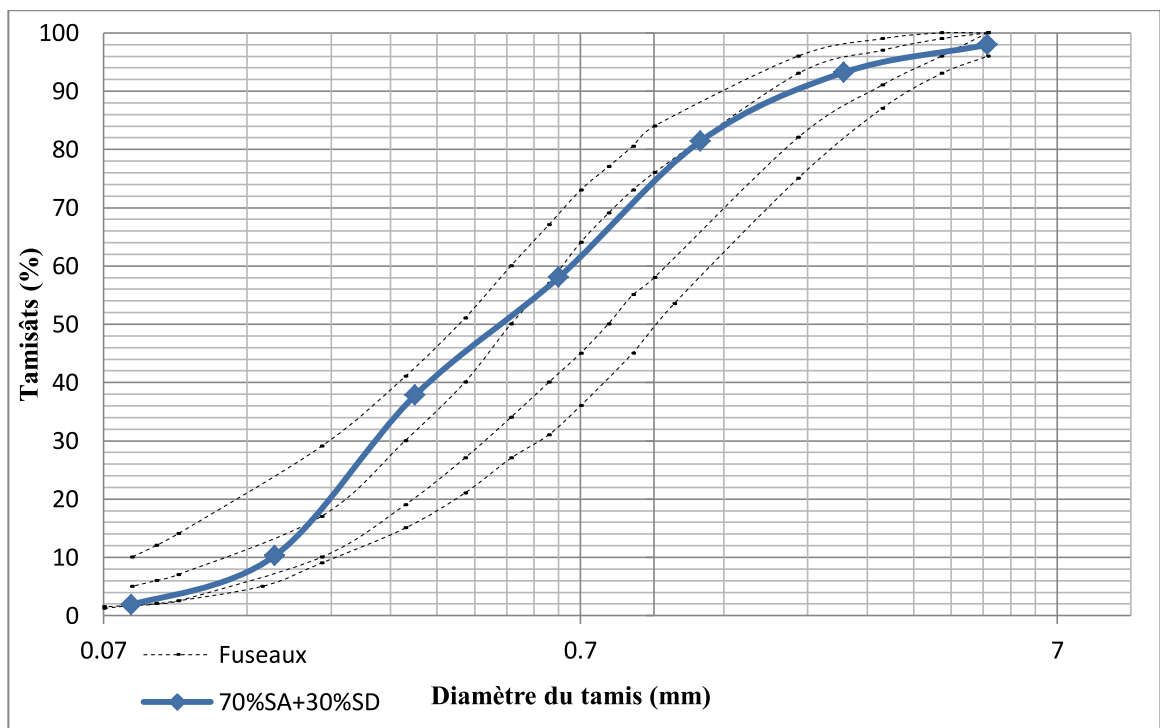


Fig.II.4.Résultats d'analyse granulométrique (30% SD +70% SA).

- **Quatrième échantillon:**

Tableau.II.9. Résultats d'analyse granulométrique de 60% SA + 40% SD.

Tamis (mm)	Refus cumulés (g)	Refus cumulés (%)	Tamisats cumulés (%)
5	19.7	1.97	98.03
2,5	66	6.6	93.4
1,25	177	17.7	82.3
0,63	376.6	37.66	62.34
0,315	548.6	54.86	45.14
0,16	876.2	87.62	12.38
0,08	990.3	99.03	0,97
Fond	995.6	99.56	-

La figure.II.5 représente la courbe granulométrique du sable de dunes corrigé à 60% avec du sable alluvionnaire.

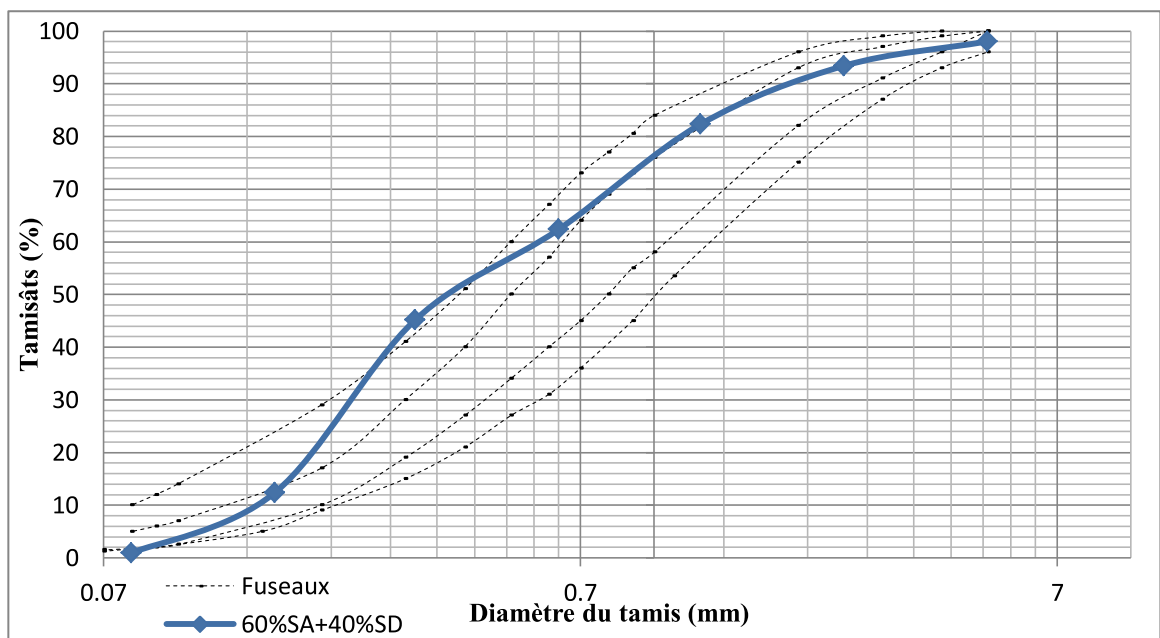


Fig.II.5. Courbe granulométrique (60% SA + 40% SD).

La figure II.6 représente la courbe granulométrique du sable des différents échantillons

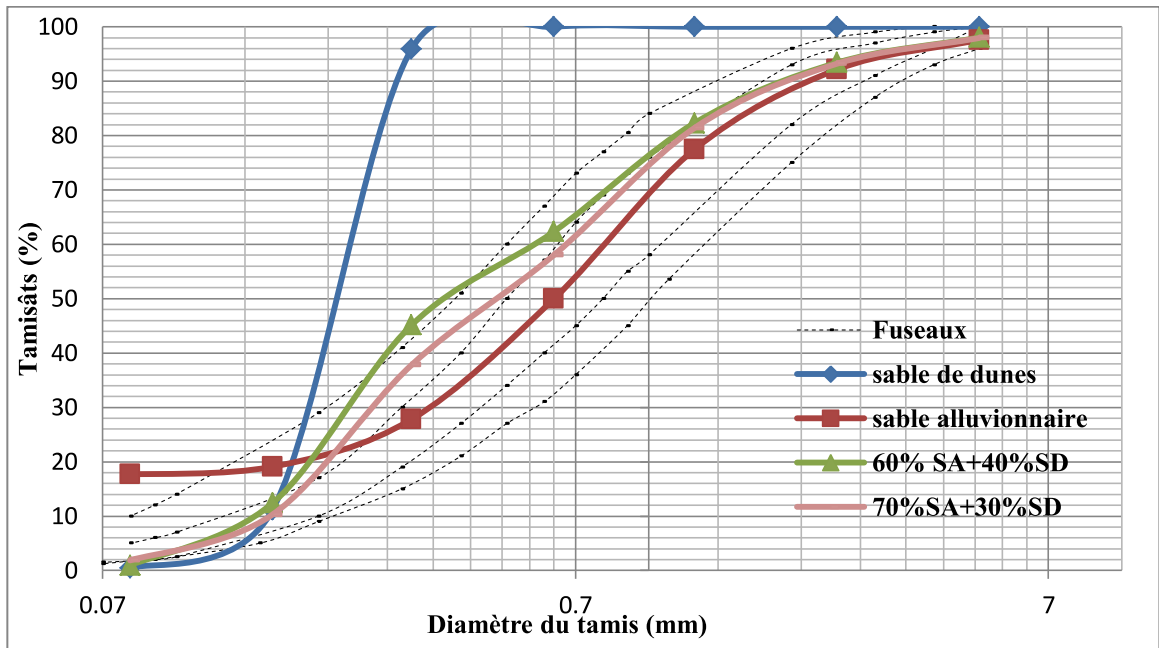


Fig.II.6.Courbe granulométrique des différents échantillons.

II.2.1.4.2. Analyse granulométrique méthode de tamisage à sec après lavage :

Cet essai est régi par la norme NF P94-056 [40].

L'essai est une variante de l'essai d'analyse granulométrique vu précédemment la différence se présente dans la préparation de l'échantillon, la prise d'essai est conforme aux mêmes lois, l'échantillon est imbibé dans un récipient remplis d'eau puis subit un lavage continu pour l'élimination des fines et impureté, ensuite l'échantillon est mis dans une étuve à 105°C pendant 24h, après récupération, l'échantillon est passé par la série de tamis vu précédemment.

Pour des raisons de propreté cet essai a été appliqué au sable alluvionnaire, ceci a permis de mettre cette procédure en évidence en tenant compte de ce nouveau sable dans la confection des éprouvettes du béton de sable et l'étude par quelque variantes de correction.

Le tableau suivant présente les résultats d'analyse granulométrique obtenue après lavage du sable alluvionnaire.

Tableau.II.10.Résultats d'analyse granulométrique du sable alluvionnaire après lavage.

Tamis en (mm)	Refus cumulés Rn en (g)	Refus cumulés en(%)	Tamisés cumulés en (%)
5	27.9	2.33	97.68
2,5	89.5	7.4	92.54
1,25	258.7	21.56	78.44
0,63	632	52.67	47.33
0,315	901	75.08	24.92
0,16	978.3	81.53	18.48
0,08	991.8	82.65	17.35
Fond	995.5	82.96	-

La figure.II.7 représente la courbe granulométrique du sable alluvionnaire après lavage.

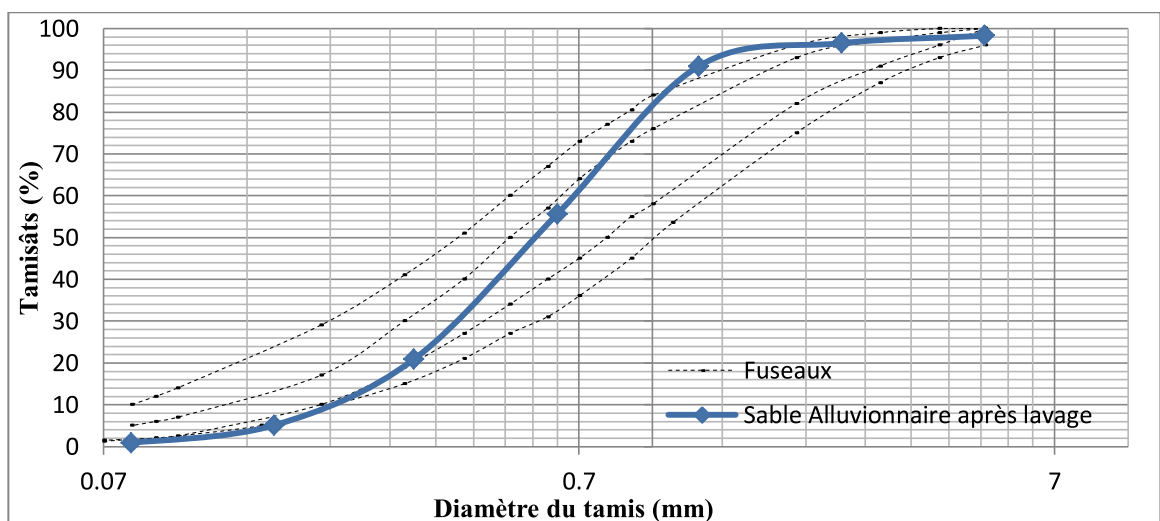


Fig.II.7.Courbe granulométrique du sable alluvionnaire après lavage.

II.2.1.5.Module de finesse:

Les sables doivent présenter une granulométrie telle que les éléments fins ne soient ni en excès, ni en trop faible proportion. S'il y a trop de grains fins, il sera nécessaire d'augmenter le dosage en eau du béton tandis que si le sable est trop gros, la plasticité du mélange sera insuffisante et rendra la mise en place difficile. Le caractère plus ou moins fin d'un sable peut être quantifié par le calcul du module de finesse (M_f). Celui-ci correspond à la somme de pourcentages des refus cumulés, ramenés à l'unité, pour les tamis de modules 23, 26, 29, 32,

35 et 38. Ce paramètre est en particulier utilisé pour caractériser la finesse des sables à bétons (NF P 18-540) [36].

$$M_f = \sum R_c / 100 \dots\dots\dots (2.3)$$

R_c : refus cumulé en (%) sous les tamis de module 23 à 38 ;

La valeur du module de finesse nous renseigne sur la situation du sable utilisé vis-à-vis le fuseau de référence, lorsque M_f est compris entre :

- 1.8 et 2.2 : le sable est à majorité de grains fins, c'est le fuseau B;
- 2.2 et 2.8 : on est en présence d'un sable préférentiel, c'est le fuseau A ;
- 2.8 et 3.3 : le sable est un peu grossier, c'est le fuseau C, Il donnera des bétons résistants mais moins maniables.

Les modules de finesse de chaque échantillon après les calculs sont représentés dans le tableau ci-dessus :

Tableau.II.11 Module de finesse de différents échantillons.

Echantillons	100%SD	100% SA	70%SA+30%SD	60%SA+40%SD	100%SA après lavage
Module de finesse M_f	0.93	2.36	2.21	2.06	2.4

- D'après la valeur du M_f qui est égal à 0.93 pour le premier échantillon qui contient 100% de sable de dune, on peut dire que ce sable est très fin, d'une granulométrie très serré 0/0.315, avec l'absence d'éléments entre 0.63–5 mm. Si nous comparons cette courbe granulométrique avec une courbe granulométrique de référence (fuseau) (Fig. II.2), nous trouvons qu'elle ne s'inscrit pas à l'intérieur des fuseaux loin de là, donc une correction de la courbe granulométrique est plus que nécessaire afin de permettre son utilisation dans les bétons, de ce fait, nous avons utilisé un sable de correction (sable alluvionnaire avant lavage) disponible dans la région d'Ouargla.

- d'après la valeur du M_f du deuxième échantillon et du cinquième, composé de 100% de sable alluvionnaire qui est égal à 2.36 avant lavage et 2.4 après, et vu leurs courbes, on note que c'est un sable préférentiel (Fig. II.3).
- Pour le troisième échantillon qui contient 70% de Sable alluvionnaire et 30% du sable de dune, dont la valeur du M_f est égale à 2.21, on remarque que ce sable est un sable qui se situe à la limite inférieure d'un sable préférentiel avec une bonne inscription de la courbe granulométrique.
- Pour le quatrième échantillon qui contient 60% du Sable alluvionnaire et 40% du sable de dune, avec un M_f égal à 2.06, on peut dire que ce sable est un sable plutôt fins.

II.2.2. Adjuvant :

II.2.2.1. Description du produit :

L'adjuvant utilisé, le MEDAFLOW 145 est un super plastifiant haut réducteur d'eau de la nouvelle génération d'adjuvant. Il est conçu à base de poly carboxylates d'éther modifiés et son utilisation dans le béton permet l'obtention d'un long maintien d'ouvrabilité, il permet également d'obtenir des bétons et mortiers de haute qualité.

Le MEDAFLOW145 permet de diminuer la quantité d'eau de gâchage du béton d'une façon remarquable. [41]

II.2.2.2. Caractéristiques: [41]

- Forme.....liquide
- Couleur.....brai clair
- pH..... 5-6
- Densité.....1.065±0.015
- Teneur en chlorure.....<0.1g/l
- Extrait sec..... 30±1.5%

II.2.2.3. Dosage:

Plage de dosage recommandée: 0.3 à 2.0% du poids de ciment, le pourcentage utilisé dans cette étude est de 2.0%.

II.2.2.4. Propriétés et effets: [41]

Grace à ses propriétés le **MEDAFLOW 145** permet:

Sur béton frais :

- L'obtention d'un E/C très bas
- Béton plastique à fluide
- Une très bonne maniabilité
- Un long maintien d'ouvrabilité
- De faciliter la mise en œuvre du béton

Sur béton durci:

- Bonne résistances initiale et finales
- De diminuer la porosité
- Bel aspect de parement au décoffrage
- De diminuer le retrait

II.2.3. Ciment :

Le ciment utilisé est un ciment CPJ CEM II/A 32.5 disponible sur le marché fabriqué par la cimenterie d'Ain-Touta (la cimenterie la plus proche d'Ouargla).

Les résultats des essais de la masse volumique apparente et absolue du ciment utilisé sont donnés d'après la fiche [42].

La masse volumique apparente : $\rho_a = 2120 \text{ kg /m}^3$

La masse volumique absolue : $\rho_s = 3034 \text{ kg /m}^3$

II.2.3.1. Caractéristiques chimiques :

L'analyse chimique du ciment utilisé a révélé l'existence des éléments qui sont présentés en pourcentage massique dans le tableau suivant :

Tableau II.12 L'analyse chimique du ciment

Si O ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Ca O	Mg O	SO ₃	Na ₂ O	K ₂ O	PAF
21.90	5.73	3.13	60.18	1.85	2.29	0.19	0.83	4.07

Nous remarquons que le ciment utilisé contient des pourcentages appréciables en chaux et en silice [42].

II.2.3.2. Caractéristiques mécaniques :

Le tableau suivant résume certaines caractéristiques mécaniques de ciment utilisé réalisées dans le laboratoire de l'usine d'Ain-Touta.

Tableau.II.13. Caractéristiques mécaniques du ciment Portland [42].

Temps (jours)	Résistance à la traction(MPa)	Résistance à la compression(MPa)
2	4.97 ± 0.41	22.27 ± 2.24
7	7.11 ± 0.43	37.61 ± 2.77
28	8.48 ± 0.52	48.24 ± 2.89

II.2.4. Eau de gâchage :

L'eau de gâchage utilisée est l'eau du réseau public de la ville d'Ouargla.

II.3. Formulation et préparation d'un béton de sable:

Pour la composition du béton de sable, nous avons utilisé un dosage en ciment et sable correspondant à celui d'un mortier normalisé c'est-à-dire une part de ciment et trois part de sable. Concernant le dosage en eau nous avons utilisé l'essai de maniabilité pour la détermination de la quantité d'eau correspondant à un béton plastique.

II.3.1. Les essais de maniabilité :

Elles nous permettent d'apprécier la fluidité d'un béton de sable qu'est l'objet des essais définis par la norme NF P 18-452. [43]

- **Principe de l'essai :**

Dans ces essais, la consistance est caractérisée par le temps que met le mortier pour s'écouler sous l'effet d'une vibration.

- **L'appareil utilisé :**

L'appareil utilisé est appelé Maniabilimètre LCPC (B) (figure II.8), avec illustration par photo II.2 en annexe. Il consiste en un boîtier parallélépipédique métallique (7.5cm x 7.5cm x 15cm), posé sur des supports en caoutchouc, équipé d'un vibreur et muni d'une cloison amovible.

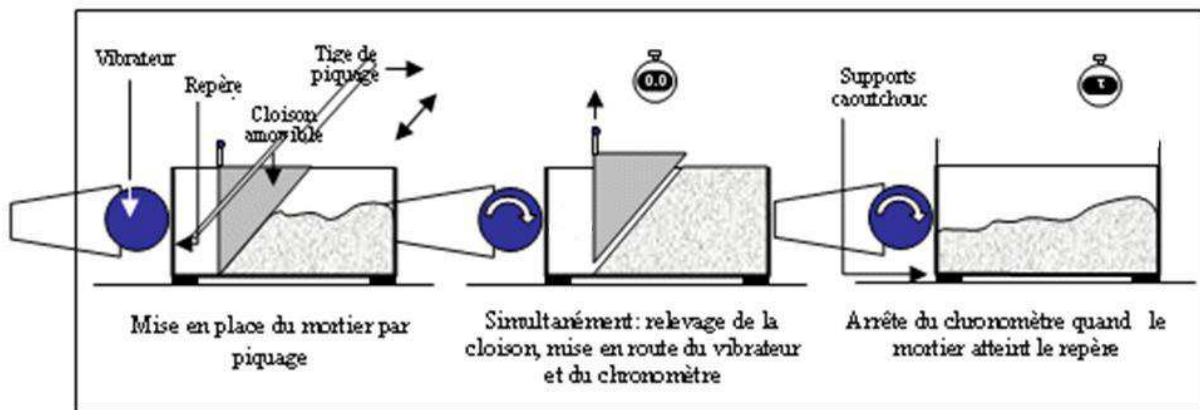


Fig.II.8.Principe de fonctionnement du maniabilimètre LCPC(B).

- **Conduite de l'essai :**

Le mortier est introduit dans la partie désigné sur la figure II.8, délimitée par la cloison et mis en place par piquage en quatre couches. Quatre minutes après la fin du malaxage, la cloison est retirée, provoquant la mise en route du vibreur et le déclenchement d'un chronomètre par l'opérateur. Sous l'effet de la vibration le mortier s'écoule, le chronomètre est arrêté une fois le mortier atteint un trait repère sur la paroi opposée du boîtier (Fig II.9)

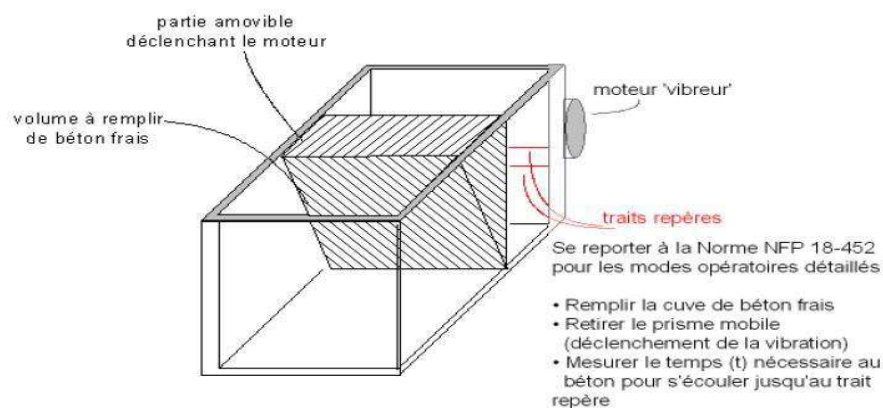


Fig. II.9. Maniabilimètre (B).

Le temps t mis par le mortier pour s'écouler caractérise sa consistance. Ce temps sera d'autant plus court que le mortier sera plus fluide ou plus maniable, d'où le nom de l'appareil. Comme illustré au tableau II.13.

Tableau.II.14. Classe de consistance selon la durée d'écoulement [44].

Classe de consistance	Durée (s)
Ferme	$t \geq 40$
Plastique	$20 < t \leq 30$
Très plastique	$10 < t \leq 20$
Fluide	$t \leq 10$

Les résultats obtenus au niveau du laboratoire sont présentés dans le tableau.II.15.

Tableau.II.15. Les résultats de maniabilité.

Compositions du béton de sable	E/C	Temps d'écoulement (secondes)
100% SD	0.6	27
60 % SA + 40 % SD	0.54	24
70 % SA + 30 % SD	0.54	24
100% SD + Adj	0.52	27
60%SA +40%SD + Adj	0.48	25
70%SA+30%SD+Adj	0.48	25

On remarque d'après les résultats présentés sur le tableau II.14, qu'il s'agit d'un béton plastique ayant un temps d'écoulement variant entre 24 et 28 secondes.

Tableau.II.16. Composition du béton de sable de dunes pour 1m^3

Composition	SD (kg)	SA (kg)	Ciment (kg)	E/C
100% SD	1383	/	461	0.60
30%SD+70%SA	420	981	467	0.54
40%SD+60%SA	560	841	467	0.54
100% SD +Adj	1407	/	469	0.52
70%SA+30%SD+Adj	426	993	473	0.48
60%SA+40%SD+Adj	568	851	473	0.48

II.3.2.Préparation et confection des éprouvettes :

Une fois les essais sur les constituants du béton sont réalisés et la formulation du béton de sable déterminée on procède à la préparation des éprouvettes par un procédé de malaxage défini comme suit :

- ❖ Mélange de sable (S) seul pendant 30 secondes ;
- ❖ Ajout de ciment (C), puis on mélange l'ensemble (S) +(C) ;
- ❖ Ajout de l'eau (E) d'une manière progressive pendant le malaxage de la matrice (S+C+E), ensuite on procède au malaxage pendant une durée de 4 minutes ;
- ❖ En ce qui concerne les compositions qui contiennent l'adjuvant, ce dernier est ajouté avec l'eau (E+Adj) et malaxer avec les autres composants selon la même procédure qu'avant.
- ❖ Enfin, on procède au remplissage des moules par couche (02) suivi d'une vibration à la table par couche.

Les moules utilisées sont prismatiques (4x4x16) cm³.

Après 24 heures on procède au démoulage des éprouvettes où ces dernières seront mises dans l'eau pour une conservation durant 14 jours, d'après la recherche bibliographique, ce mode de conservation offre au béton une bonne consistance et lui procure une bonne résistance à la compression et à la traction [15,44].

II.4.Conclusion:

D'après les résultats obtenus dans l'étude des caractéristiques des constituants de béton de sable, nous pouvons en déduire ce qui suit:

- Le sable de dune possède un module de finesse faible, au contraire, le sable alluvionnaire utilisé a un module de finesse préférentiel. De là, Nous avons proposé, une amélioration de la granulométrie de sable de dune par l'ajout de ce dernier.
- Les compositions ayant les proportions (30%SD+70%SA, 40%SD+ 60%SA), donnent un module de finesse relativement acceptable.
- L'adjuvant diminue remarquablement le rapport E/C donc l'eau de gâchage tout en procurant une fluidité impressionnante au mélange.
- Pour la formulation du béton de sable, nous avons utilisé une part de ciment et trois parts de sable ; pour le dosage en eau nous avons utilisé l'essai de maniabilité afin de déterminer la quantité d'eau nécessaire qui correspond à un béton de sable "plastique".

III.1.Introduction :

En pratique, on lie souvent la résistance mécanique du béton, qui apparait comme facteur essentiel dans la conception des ouvrages, au rapport eau/ciment. Cependant à coté de ce facteur, d'autres paramètres jouent également un rôle très important sur les caractéristiques mécaniques et rhéologiques du béton. Parmi ces paramètres, on peut citer: l'âge du béton, la nature et le dosage en ciment, la nature minéralogique des granulats, l'adhérence de la pâte aux granulats, le dosage en eau, la température, l'humidité et les conditions de mise en œuvre. Dans ce travail nous avons étudié les caractéristiques mécaniques de plusieurs compositions de béton de sable de dunes à savoir:

- Composition 1 : 100% SD ;
- Composition 2 : 40% SD + 60%SA ;
- Composition 3 : 30% SD + 70%SA ;
- Composition 4 : 100% SD + Adjuvant ;
- Composition 5 : 40% SD + 60%SA +Adjuvant ;
- Composition 6 : 30% SD + 70%SA + Adjuvant ;
- Composition 7 : 40% SD + 60%SA lavé ;
- Composition 8 : 30% SD + 70%SA lavé ;
- Composition 9 : 100% SD +Adjuvant ($E/C = 0.52$) ;
- Composition 10 : 40% SD + 60%SA +Adjuvant ($E/C = 0.48$) ;
- Composition 11 : 30% SD + 70%SA +Adjuvant ($E/C = 0.48$).

Les compositions ci-dessus prennent en considération l'effet de de quelque ajouts (produits ou procédés), ces ajouts et leurs effet font l'objet de ce travail, delà on note les variantes suivantes :

- Première variante : correction du sable de dune avec le sable alluvionnaire;
- Deuxième variante : composition avec ajout d'adjuvant sans pour autant varier le rapport E/C notée : composition **+A** ;
- Troisième variante : composition avec utilisation du sable alluvionnaire après lavage notée : composition **L**;
- Quatrième variante : composition avec ajout d'adjuvant et diminution du rapport E/C (réduction de la quantité d'eau de gâchage) noté : **E** suivit de la valeur du rapport E/C.

III.2.Résultats de la résistance mécanique du béton de sable et interprétation :

Il s’agit de l’ensemble des résultats de la résistance à la flexion et à la compression du béton de sable de dunes des différentes compositions.

III.2.1.Résistance à la compression :

Les essais mécaniques (compression et traction) sont régis par la norme EN 196-1. Les essais de résistance à la compression ont été effectués au sein du laboratoire de génie civil de l’institut de génie civil et hydraulique de l’université Kasdi Merbah de Ouargla.

• **Principe de l'essai :**

Les éprouvettes étudiées sont soumises à une charge croissante jusqu'à la rupture. La résistance à la compression est le rapport entre la charge de rupture et la section transversale de l'éprouvette.

Les demi-prismes d'éprouvettes obtenues après rupture en flexion seront rompus en compression comme indiqué sur la figure III.3. Si F_C est la charge de rupture, la contrainte de rupture vaudra :

$$R_C = \frac{F_C}{b^2} \dots \dots \dots (3.1)$$

R_C : Résistance à la compression en (MPa);

F_C : Charge de rupture en (N);

b : Côte de l'éprouvette est égale à 40mm.

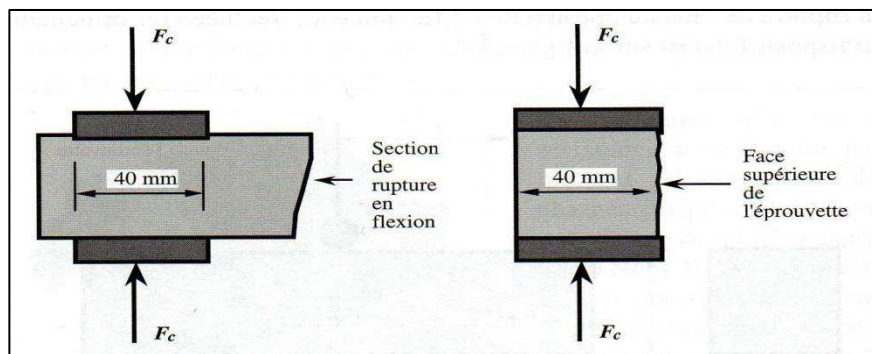


Fig.III.1.Dispositif de rupture en compression.

Les résultats obtenus pour chacun des 6 demi-prismes sont arrondis à 0,1 MPa près, la valeur de la contrainte prise en compte sera la moyenne des résultats de six éprouvettes.

1. Béton de sable témoin :

Le tableau (III.1) présente les résultats de la résistance à la compression des compositions du béton de sable témoin en fonction d'âge.

Tableau.III.1.Résistance à la compression du béton de sable témoin en fonction d'âge.

		Compression		
		7 j (MP _a)	21 j (MP _a)	28 j (MP _a)
Première variante (témoins)	100% SD	9.84	13.5	16.25
	60%SA+40%SD	17.1	18.28	28.33
	70%SA+30%SD	19.8	25	33.8

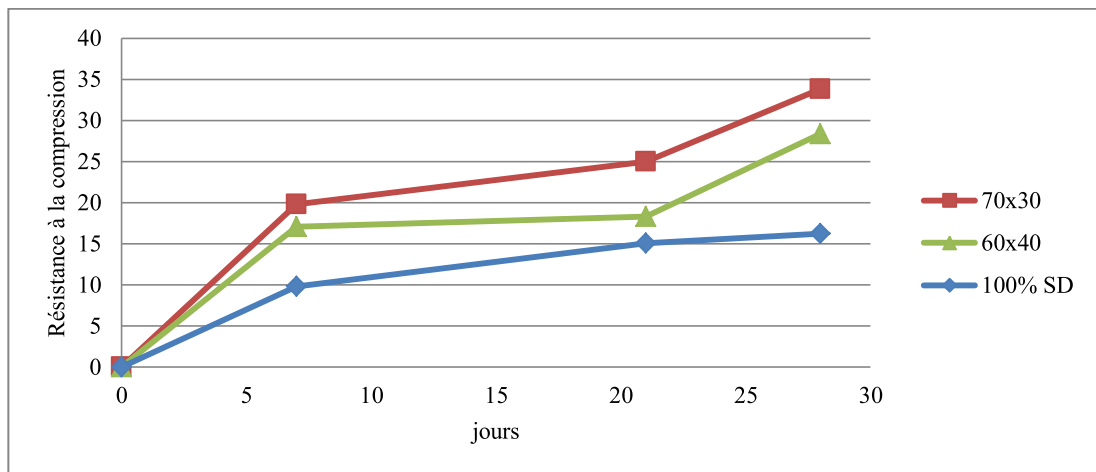


Fig.III.2.Variation de la résistance à la compression en fonction d'âge (témoins).

D'après la figure.III.2, nous remarquons que la résistance à la compression à 28 jours des compositions 3 et 2 (70%SA+30%SD, 60%SA+40%SD) sont nettement élevées par rapport à celle de la composition 1 (100%SD), ce qui montre que le dosage en sable de dunes agit d'une manière néfaste sur la résistance à la compression, cette diminution est due à la granulométrie du sable de dune ayant un module de finesse faible ($M_f = 0.9$), à cet égard, on a trouvé lors de la formulation du béton de sable et/ou sa mise en œuvre, que l'augmentation du dosage en sable de dune conduit à une augmentation de la quantité d'eau de gâchage, une augmentation qui est liée probablement aux taux élevés de grains fins qui caractérisent ce sable et à leur forme monométrique, favorisant l'augmentation de la surface spécifique influant directement sur l'augmentation du rapport E/C ce qui va baisser d'une manière non négligeable, la résistance à la compression. C'est pour cette raison que nous avons opté pour une correction granulaire. Dans le même contexte, plusieurs chercheurs ont démontrés à travers leurs recherches l'intérêt que porte la correction granulaire sur la résistance à la compression [16,20, 21].

2. Béton de sable 100%SD:

Le tableau (III.2) présente les résultats de la résistance à la Compression du béton de sable 100% SD des différentes variantes en fonction d'âge.

Tableau.III.2.Résistance à la compression du béton de sable 100%SD

	Compression		
	7 j (MP _a)	21 j (MP _a)	28 j (MP _a)
100% SD	9.84	13.5	16.25
100% SD + Adjuvant	8.125	15.06	15.76
100 SD + Adjuvant avec E/C = 0.52			23.98

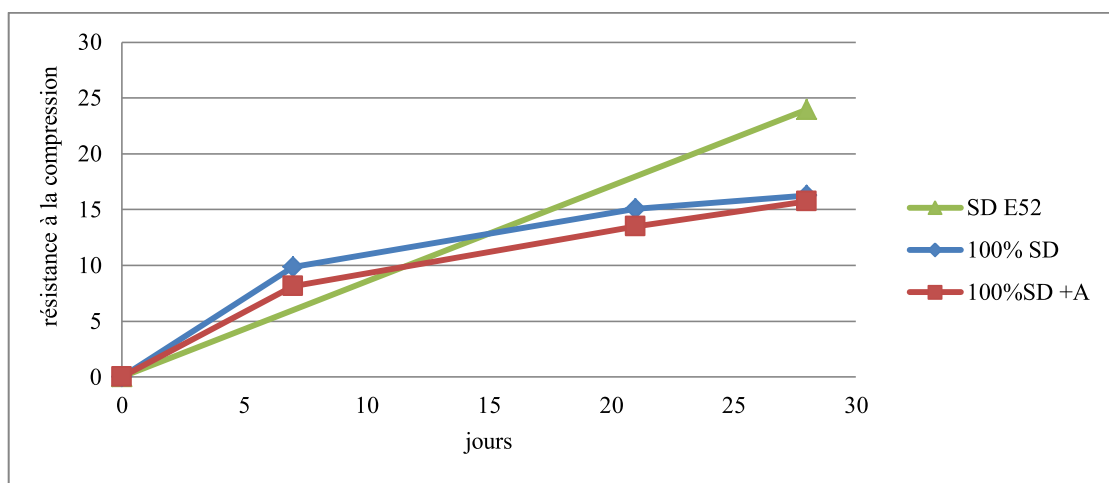


Fig.III.3.Variation de la résistance à la compression du béton de sable en fonction d'âge (100%SD).

D'après les résultats présentés dans le tableau III.2, la meilleure résistance est celle donnée par la composition 9 (100% SD E52) ayant un rapport E/C =0.52, d'où la clarté du rôle important que joue ce paramètre dans la résistance mécanique et surtout la résistance à la compression, l'utilisation d'un adjuvant du type haut réducteur d'eau a permis de réduire considérablement la quantité d'eau de gâchage et de ce fait, nous avons remarqué une augmentation de la résistance à la compression de 47% à 28j par rapport au béton de sable témoin (composition 1 ayant un rapport E/C=0.6), cette augmentation est due vraisemblablement à la diminution de la quantité d'eau de gâchage, dans le même contexte R.DUPAIN et al ont montrés à travers leurs résultats que cette accroissement est directement liée à la diminution de la porosité de la pâte consécutive à la diminution du dosage en eau [45].

En ce qui concerne la quatrième composition qu'est le béton de sable 100% SD avec ajout d'adjuvant sans la réduction du rapport E/C, d'après la figure III.3, on constate que ce dernier présente des résistances plutôt faible par rapport au béton de sable témoin, cela est due probablement à la ségrégation liée à la liquidité du mélange comme constaté durant la confection des éprouvettes.

3. Béton de sable 60%SA+40%SD:

Le tableau (III.3) présente les résultats de la résistance à la Compression du béton de sable 60%SA+40% SD des différentes variantes en fonction d'âge.

Tableau.III.3. Résistance à la compression du béton de sable 60%SA+40%SD

	Compression		
	7 j (MP _a)	21 j (MP _a)	28 j (MP _a)
60%SA+40% SD	17.1	18.28	28.33
60%SA+40% SD + Adjuvant	19	20.2	26.87
60%SA+40% SD (lavé)	26.37	27.96	37.7
60%SA+40% SD + Adjuvant avec E/C = 0.48			36.5

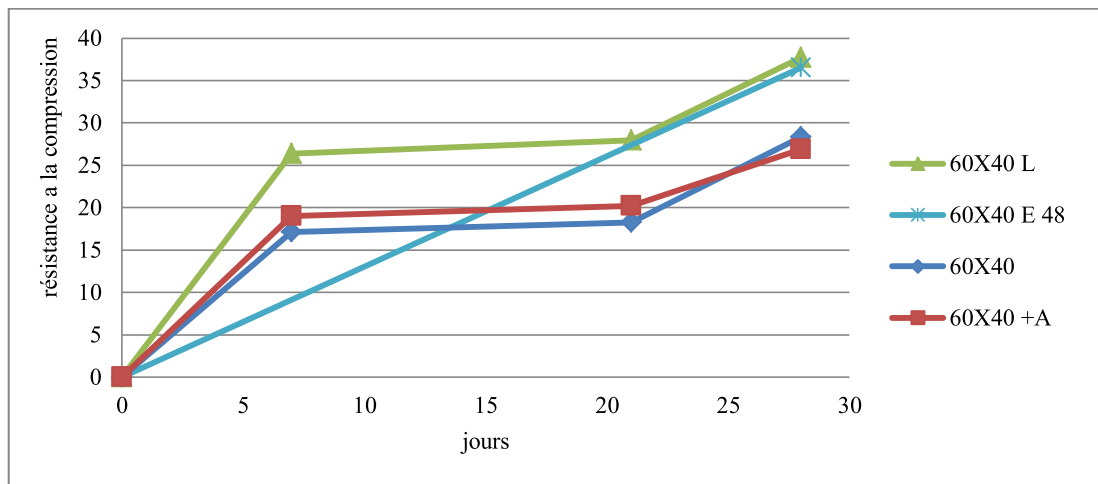


Fig.III.4.Variation de la résistance à la compression en fonction d'âge (60%SA+40%SD).

D'après la figure.III.4, la composition 7 du béton de sable (60%SA+40%SD L) avec le lavage du sable alluvionnaire utilisé, a présenté des résistances très élevés à la compression durant tout le durcissement du béton, elles atteignent 37.7 MPa à 28 jours, un durcissement qui s'avère rapide et important en comparaison avec celui de la composition 2 qui est le béton de sable témoin 60%SA+40%SD, ce développement de

résistance est lié à une caractéristique très importante du sable qui n'est d'autre que l'équivalent de sable.

L'amélioration en résistance est due donc à la propreté du sable alluvionnaire suite au lavage de ce dernier, cela a modifié l'état des surfaces des grains de sable, ce qui a donné une augmentation de l'ordre de 40% par rapport au béton de la composition 5, un gain de 3.3% par rapport au béton de sable de la composition 10, tandis qu'il a montré une amélioration de l'ordre de 33% par rapport au béton de sable de la composition 2 et enfin une augmentation de 124% par rapport au béton de sable de la composition 1, ce qui montre l'importance de la propreté des granulats dans la résistance mécanique et aussi l'importance de l'effet qu'elle peut avoir en étant combiné avec la correction granulaire qui fait preuve d'un rendement impressionnant (124%).

Pour la composition 10, la résistance à la compression présente à 28 jours une augmentation de 35% par rapport à la composition 5, un gain de 29% par rapport à la composition 2 et 124% par rapport à la composition 1, cette augmentation est expliquée par l'effet du rapport E/C sur la résistance en compression par son pouvoir de diminution de la porosité de la pâte consécutive à la diminution du dosage en eau, ce qui est similaire, dans le même contexte aux constats tirés par R.DUPAIN et al [45].

Nous avons constaté aussi, que la vitesse d'évolution des résistances de la composition 5 à 7, 14 et 28 jours se développe rapidement par rapport au béton de sable de la composition 2, par contre, il présente un résultat final (à 28 jours) plus faible par rapport à ce dernier, ceci montre que l'utilisation d'un superplastifiant comme ajout cimentaire et non comme réducteur d'eau c'est-à-dire sans diminuer la quantité d'eau de gâchage peut avoir un effet contraire à l'effet voulu, cette perte de résistance est probablement lié à la ségrégation causé par la liquidité importante du mélange consécutive à l'ajout d'adjuvant, comme constaté durant la confection des éprouvettes.

4. Béton de sable 70%SA+30%SD :

Le tableau (III.4) présente les résultats de la résistance à la Compression du béton de sable 70%SA+30% SD des différentes variantes en fonction d'âge.

Tableau.III.4. Résistance à la compression du béton de sable 70%SA+30%SD

	Compression		
	7 j (MP _a)	21 j (MP _a)	28 j (MP _a)
70%SA+30% SD	19.8	25	33.8
70%SA+30% SD + Adjuvant	18.75	21.87	28.77
70%SA+30% SD (lavé)	21.46	31.98	46.64
70%SA+30% SD + Adjuvant avec E/C = 0.48			42.26

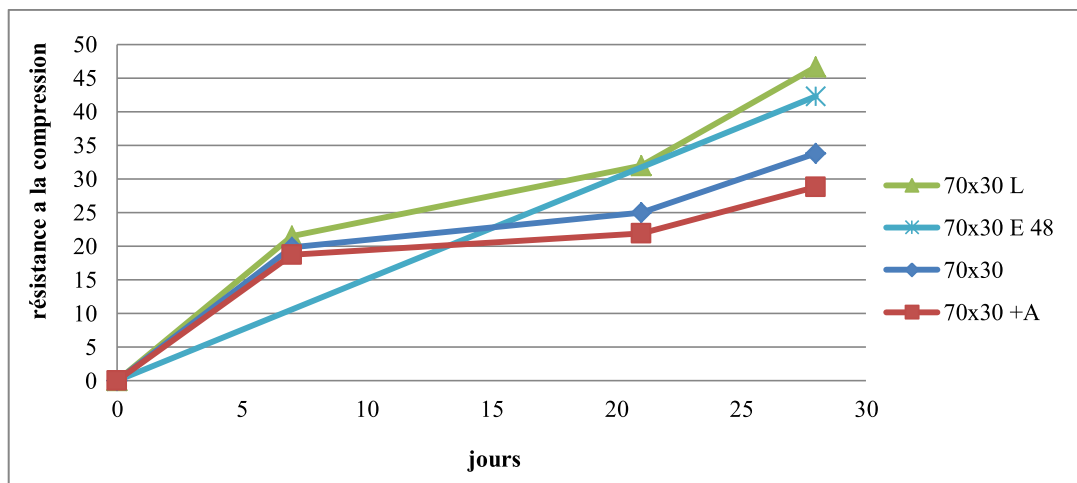


Fig.III.5.Variation de la résistance à la compression en fonction d'âge (70%SA+30%SD).

En générale, les résultats de la composition 70%SA+30%SD ont donné les meilleurs résultats en résistance mécanique par rapport aux autres compositions durant tout le durcissement du béton et dès le jeune âge. La composition 8 tenant compte de l'amélioration de l'équivalent de sable (utilisation du sable alluvionnaire lavé) a donnée des résistances en compression très élevé de l'ordre de 46.64 MPa à 28 jours, par rapport au béton de sable témoin (composition 3) cette augmentation de résistance est de l'ordre de 38% à 28j ce qui est remarquable.

Les résultats de la résistance en compression du béton de sable avec utilisation d'un sable alluvionnaire lavé (composition 8), obtenues à 28j, dépassent ceux obtenus par la composition 11 faisant appel à l'adjuvant avec réduction d'eau de 10.4% par rapport à ce dernier et une augmentation de 187% par rapport au béton de sable de la composition 1.

Le béton de sable avec réduction du rapport E/C (composition 11) a donné des résultats élevés en résistance à la compression par rapport au béton de sable témoin (composition 3), cette augmentation est de l'ordre de 25% à 28j par rapport à ce dernier et 160% par rapport au béton de sable de la première composition (100% SD), cette augmentation est lié à la diminution de la porosité de la pâte d'où l'amélioration de la compacité consécutive à la réduction de la quantité d'eau de gâchage, dans le même ordre d'idées, d'autres auteurs dont TEBBAL.N et al ont montrés que les bétons adjuvantés présentent des résultats plus élevés en résistance à la compression que ce qui ne le sont pas [18, 45].

Par ailleurs, le béton de sable avec ajout d'adjuvant sans réduction du dosage en eau (composition 6) présente un résultat plus faible en résistance à la compression que celui du béton de sable témoin durant tout le durcissement du béton.

La combine de plusieurs facteurs tels que la correction granulaires et l'effet d'une autre propriété intrinsèque comme l'équivalent de sable ou le rapport eau/liant permet comme on peut le constater d'aboutir à des bétons très performant en résistance mécanique qui a leurs tour permettent l'obtention de gain non négligeable en résistance, à titre d'exemple nous citons l'augmentation de 187% à 28 jours obtenu grâce à la composition 8 en comparaison avec celle de la composition 1 (100% SD).

III.2.2.Résistance à la flexion :

Les essais mécaniques (compression et traction) sont régis par la norme EN196-1.

Les essais de résistance à la traction par flexion ont été effectués au laboratoire de travaux publics du sud (LTPS) à Ouargla.

- **Principe de l'essai :**

Cet essai est exécuté par une machine (voir Annexe photo.10) désignée pour les tests de flexion sur les éprouvettes de béton de sable ou de mortier 40x40x160mm (fig III.6). La capacité maximale de cette machine est de 10 kN, le taux de chargement constant est égal à 2.67 kN/min.



Fig.III.6.Moules (4x4x16) pour moulage des éprouvettes.

La rupture de chaque éprouvette en flexion est effectuée conformément au dispositif décrit sur la figure III.2.

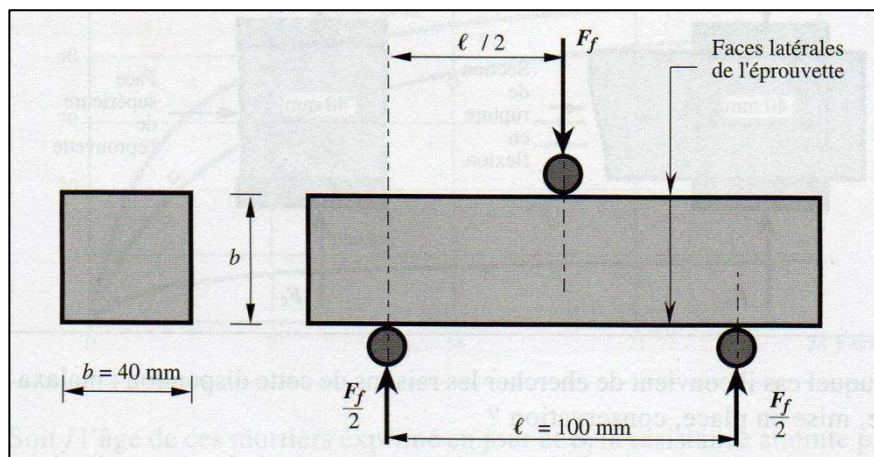


Fig.III.7.Dispositif pour l'essai de résistance à la flexion (3 points).

La résistance à la flexion est calculée selon l'équation (3.1).

$$R_f = \frac{1.5 \cdot F_f \cdot l}{b^3} \dots \dots \dots (3.1)$$

R_f : Résistance à la flexion en (MPa);

F_f : Charge de rupture de l'éprouvette en flexion (N);

l : Longueur qui sépare les deux appuis en (mm);

b : Côte de l'éprouvette est égale à 40mm.

1. Béton de sable témoin :

Le tableau (III.5) présente les résultats de la résistance à la flexion des compositions du béton de sable témoin en fonction d'âge.

Tableau.III.5.Résistance à la traction du béton de sable témoin en fonction d'âge.

		Traction par flexion		
		7 j (MP _a)	21 j (MP _a)	28 j (MP _a)
Première variante (<i>témoins</i>)	100% SD	2.31	2.67	3.57
	60%SA+40%SD	3.67	3.84	5.5
	70%SA+30%SD	4.38	4.9	5.8

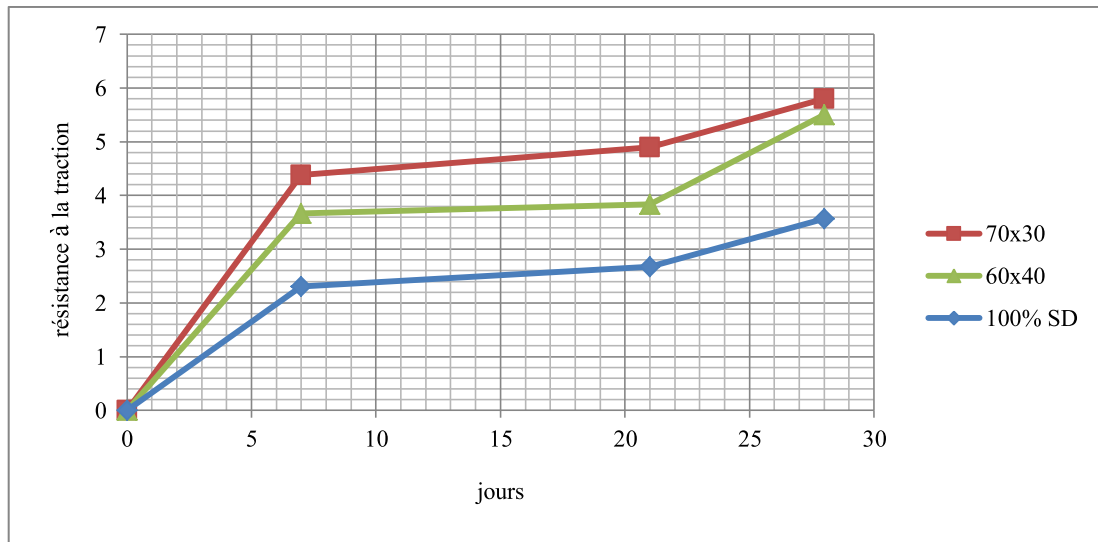


Fig.III.8.Variation de la résistance à la traction en fonction d'âge (témoins).

Les normes préconisent un module de finesse entre 2.2 et 2.8 pour un sable préférentiel, dans cette étude, le sable de dune utilisé est caractérisé par un M_f qui est égal à 0.93, on peut dire que ce sable est très fin d'une granulométrie très serré, de là nous avons utilisé un sable de correction (sable alluvionnaire) qui présente un module de finesse égale à 2.36 pour obtenir un sable de substitution plus performant en matière de résistance, ceci peut être à l'origine de l'attribution de meilleurs résistances en son utilisation dans ce béton témoin comme vu en littérature [17].

Selon la figure.III.8, la composition 3 présente des résultats très élevés en résistance à la traction par rapport aux autres compositions, il présente une résistance d'une valeur de 5.8 MPa à 28 jours, cette valeur présente un gain de résistance important, il est de l'ordre de 62% par rapport au béton de sable témoin de la composition 1(100% SD) et 5% par rapport à la

composition 2. Cette augmentation est vraisemblablement liée à l'apport de la correction granulaire du sable et son effet sur le comportement mécanique de résistance.

La résistance à la traction est influencée par l'adhérence de la pâte aux granulats (interface liant-granulat) et l'enrobage qui sont des phénomènes très complexes et qui peuvent éprouver des modifications considérables dû fait des variations des circonstances extérieures les plus insignifiantes en apparence.

2. Béton de sable 100%SD:

Le tableau (III.6) présente les résultats de la résistance à la traction par flexion du béton de sable 100% SD des différentes variantes en fonction d'âge.

Tableau.III.6.Résistance à la traction du béton de sable 100%SD.

	Traction par flexion		
	7 j (MP _a)	21 j (MP _a)	28 j (MP _a)
100% SD	2.31	2.67	3.57
100% SD + Adjuvant	2.35	3.28	3.41
100 SD + Adjuvant avec E/C = 0.52			4.68

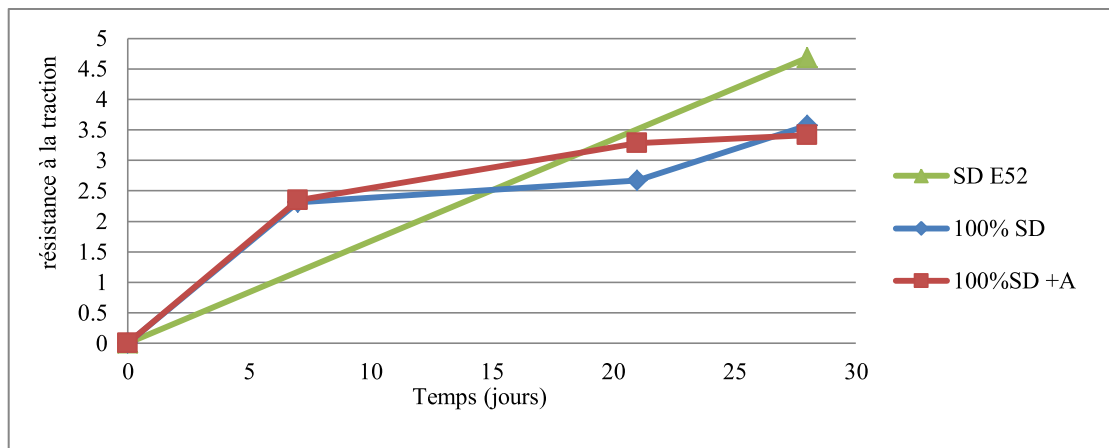


Fig. III.9.Variation de la résistance à la traction du béton de sable en fonction d'âge (100%SD).

Comme la compression, les résultats de la résistance à la traction par flexion sont aussi liés d'une part aux pouvoirs de l'adjuvant et l'effet du rapport E/C sur le comportement mécanique des bétons, comme on peut le constater, les meilleurs résultats ont été obtenu à partir de la composition 9, cette dernière présente un gain de 31% a 28 jours par rapport à la première composition, par une résistance de 4.68 MPa, cette augmentation est due à l'amélioration de la compacité que subit le béton grâce à l'utilisation de superplastifiant, dans le même contexte,

d'autres chercheurs notent que la réduction du rapport E/C permet non seulement de diminuer le volume total des pores capillaires mais elle permet aussi de réduire leur diamètre, Elle engendre en suite une augmentation considérable de la résistance à la compression et une forte imperméabilité du béton [23, 24].

Pour la composition 4, et d'après la figure.III.9 on constate un développement rapide de la résistance à la flexion liée à la vitesse de durcissement par rapport au béton de sable témoin (composition 1), la résistance à la traction atteint à 28 jours 3.41 MPa, plus faible que celle obtenu par la composition 1.

3. Béton de sable 60%SA+40%SD:

Le tableau (III.7) présente les résultats de la résistance à la traction par flexion du béton de sable 60%SA+40% SD des différentes variantes en fonction d'âge.

Tableau.III.7.Résistance à la traction du béton de sable 60%SA+40%SD

	Traction par flexion		
	7 j (MP _a)	21 j (MP _a)	28 j (MP _a)
60%SA+40% SD	3.67	3.84	5.5
60%SA+40% SD + Adjuvant	4.37	4.5	4.98
60%SA+40% SD (lavé)	4.5	5.33	6.45
60%SA+40% SD + Adjuvant avec E/C = 0.48			6.39

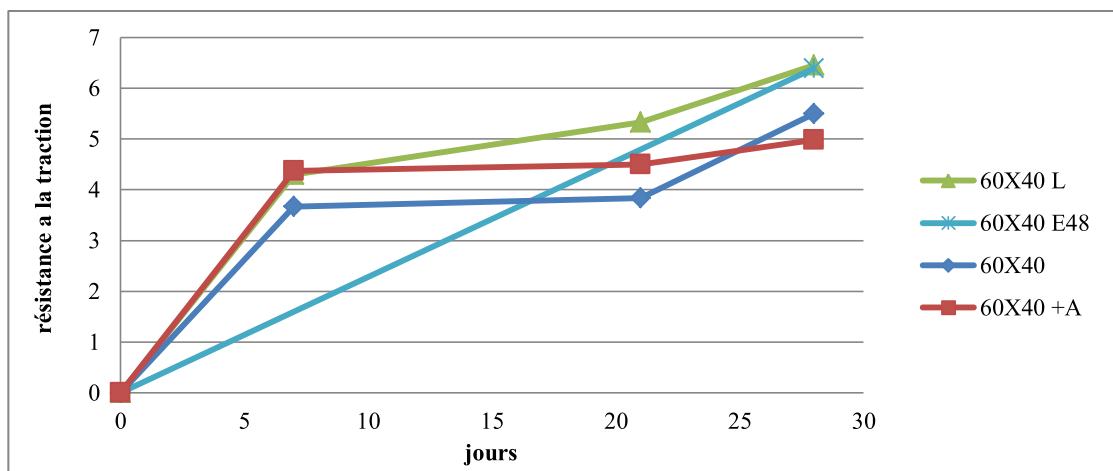


Fig.III.10.Variation de la résistance à la traction en fonction d'âge (60%SA+40%SD).

D'après les recherches bibliographiques et les constats au laboratoire nous savons que la résistance à la traction est fortement influencée par l'enrobage des grains et l'état des surfaces des granulats, ceci explique les résultats obtenus pour la composition 7 qui fait appel au sable alluvionnaire lavé, en notant que ce dernier, comme on peut le constater a donné les meilleurs résultats en flexion même par rapport à la variante utilisant le réducteur d'eau (composition 10), en parlant chiffre la résistance atteint à 28 jours les 6.45 MPa et la différence entre la résistance en flexion du béton de sable de la composition 7 et celle de la composition 10 est de l'ordre de 1% par rapport à ce dernier et elle est de l'ordre de 17 % par rapport au béton de sable de la composition 2 (témoin) et enfin 29% par rapport à la composition 5.

La composition 10 du béton de sable avec adjuvant et réduction d'eau a donnée des résultats élevés en traction par rapport au béton de sable témoin de la composition 2, il s'agit d'une différence de 16% par rapport à ce dernier, ceci est due à La réduction du rapport E/C qui comme vue en bibliographie, permet non seulement de diminuer le volume total des pores capillaires mais elle permet aussi de réduire leurs diamètres ce qui engendre en suite une augmentation considérable de la résistance à la compression et une forte imperméabilité du béton [23,24].

La composition 5 du béton de sable avec adjuvant sans réduction du dosage en eau a donnée des résultats médiocre en traction comme en compression par rapport au béton de sable de la composition 2, ceci est dû à la fluidité excessive qui fut porter au béton suite à l'utilisation de l'adjuvant haut réducteur d'eau ce qui a probablement causé par la suite des ségrégations dans le mélange lors de la confection des éprouvettes.

L'augmentation des pourcentages de sable de dunes diminue l'adhérence granulat/matrice ce qui diminue par la suite la résistance à la flexion, c'est pour cette raison que les bétons avec un grand pourcentage de sable de dune ont une résistance relativement faible, par leur travaux, BENTEBBA et al ont montrés que plus le pourcentage de sable de dunes est important dans la composition du béton, plus la résistance de celui-ci est faible [16].

4. Béton de sable 70%SA+30%SD :

Le tableau (III.8) présente les résultats de la résistance à la traction par flexion du béton de sable 70%SA+30% SD des différentes variantes en fonction d'âge.

Tableau.III.8.Résistance à la traction du béton de sable 70%SA+30%SD.

	Traction par flexion		
	7 j (MP _a)	21 j (MP _a)	28 j (MP _a)
70%SA+30% SD	4.38	4.9	5.8
70%SA+30% SD + Adjuvant	4.12	5.23	5.57
70%SA+30% SD (lavé)	4.14	5.42	6.93
70%SA+30% SD + Adjuvant avec E/C = 0.48			6.87

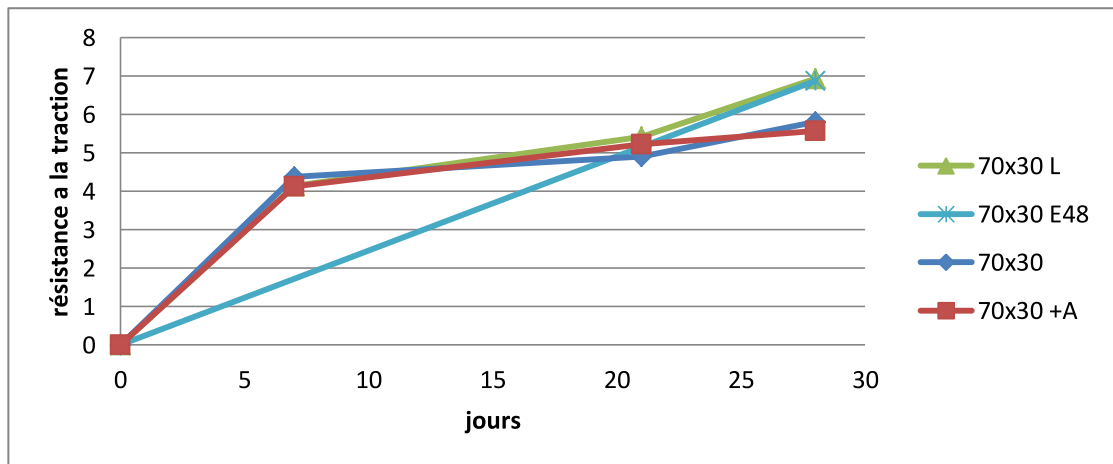


Fig.III.11.Variation de la résistance à la traction en fonction d'âge (70%SA+30%SD).

Comme en compression les compositions du béton de sable avec 70%SA+30%SD ont donné les meilleurs résultats en traction par flexion comme en compression par rapport aux autres compositions ceci montre l'importance du module de finesse et la correction granulaire dans le comportement mécaniques des bétons.

Ainsi, la composition 8 avec lavage du sable alluvionnaire a donné le meilleur résultat en résistance à la traction par rapport aux autres compositions, par une valeur de l'ordre de 6.93 MPa à 28j, cette valeur marque une augmentation de 19.5% par rapport au béton de sable témoin de la composition 3, une augmentation de 1% à 28j par rapport à la composition 11 avec réduction du dosage en eau et 94% par rapport à la composition 1.

D'après le tableau.III.8, la composition 10 du béton de sable avec adjuvant et réduction d'eau a donné des résultats élevés en traction par rapport au béton de sable témoin de la composition 2, il s'agit d'une différence de 18% par rapport à ce dernier.

Hélas, les résultats de la composition 6 avec ajout d'adjuvant et sans réduction du dosage en eau, comme en compression, restent médiocre par rapport même au béton témoin (composition 3) il s'agit d'une baisse de 4% par rapport à ce dernier.

Le tableau.III.9 présente les résultats récapitulatifs des résistances mécaniques à 28 jours des différentes compositions.

		28 jours	
		Compression (MP _a)	Traction par flexion (MP _a)
Nature du Béton	100% SD	16.25	3.57
	100% SD + A	15.76	3.41
	100% SD +A E52	23.98	6.68
	60%SA+40%SD	28.33	5.5
	60%SA+40%SD+A	26.87	4.98
	60%SA+40%SD L	37.7	6.45
	60%SA+40%SD+A E48	36.5	6.39
	70%SA+30%SD	33.8	5.8
	70%SA+30%SD + A	28.77	5.57
	70%SA+30%SD L	46.64	6.93
	70%SA+30%SD+A E48	42.26	6.87

III.4.Conclusion :

D'après les résultats obtenus dans ce chapitre, nous pouvons déduire ce qui suit:

- Le lavage du sable alluvionnaire utilisé dans la correction du sable de dune a permis d'obtenir des résultats en résistance mécaniques (Traction-Compression) très élevés;
- L'ajout d'adjuvant superplastifiant a permis d'obtenir des résultats élevés en résistance et ceci est grâce à la diminution du dosage en eau ou rapport E/C;
- L'ajout d'adjuvant sans réduction du dosage en eau conduit à une diminution des résistances à la fois en compression qu'en traction;
- La correction du sable de dune a permis une augmentation de la résistance à la compression et à la traction par flexion par rapport au béton de sable dunaire (100%).
- La combine de deux ou plus des facteurs cités précédemment tel que la correction granulaire + la réduction du rapport E/C (utilisation d'Adjuvant), une telle combine permet d'obtenir des résultats impressionnant.

Références bibliographiques

- [1] **KETTAB .R**, «valorisation du sable de dune», thèse de doctorat ENP 2007.
 - [2] **CHAUVIN J.J**, 1991, «le béton de sable en union soviétique, bulletin de liaison du laboratoire des ponts et chaussées N°174 juillet août».
 - [3] **BENAISSA A.** «Déformations différées d'un béton de sable» – Thèse de doctorat, Université de bordeaux; Laboratoire régional des ponts et chaussées, nov.1992.
 - [4] **GUENNOUN R**, « Etude et formulation d'un béton de sable de dune», P.F.E., ENP, Alger—Algérie juin 2003.
 - [5] **CHAUVIN J.J.** (1987), Les sables, guide pratique d'utilisation routière, I.S.T.E.D, Paris, France.
 - [6] **KEDJOUR.N.**, "Propriétés et pathologie du béton", office de publications universitaires ALGER 1993.
 - [7] **DREUX G, FESTA J.**, (2002), Nouveau guide du béton et de ses constituants, Huitième édition, Edition Eyrolles.
 - [8] **Prof. J.P. DELISLE, F. ALOU**, « Matériaux de construction 1 », Lausanne, Octobre 1978.
 - [9] **BELFERRAG A**, « Valorisation des fibres métalliques issues des déchets pneumatiques dans le béton de sable de dunes », Mémoire de Magister, Université de Ouargla, Algérie, 2006.
 - [10] **CHANVILLARD G., et BASUYAUX O.**, (sep-oct.1996), Une méthode de formulation des bétons de sable à maniabilité et résistance fixées, Bulletin de liaison du laboratoire des ponts et chaussées, N° 205, réf 4047, France.
 - [11] **GUINEZ R., GLUAIS G. et DELUDE P.**, (1984), Les bétons de sable ministre de l'urbanisation et du logement, laboratoires régionaux de Blois et de Bordeaux, France.
 - [12] **CHAUVIN J.J.** (1987), Les sables, guide pratique d'utilisation routière, I.S.T.E.D, Paris, France, P.74
 - [13] **SABLOCRETE**, (1994), « Bétons de sable », Presse de l'école nationale des ponts et chaussées, Paris, France.
 - [14] **CHAOUACH A. A.** « Etude des caractéristiques du béton de sable de dunes », Thèse de Magister, Ecole National Polytechnique (ENP), juillet 1993.
 - [15] **BANTATA .A**, «Etude expérimentale d'un béton avec sable de dune de la région de Ouargla (Ain El Baida) » Mémoire de Magister, Université de Ouargla, 2003 / 2004.
-

- [16] **BENTEBBA.M.T, BEDADI.L**, « Etude expérimentale d'un béton de sable de dune pour la fabrication des dalles et prédalles armées et faiblement armées », UKMO, LTPS, Annales des Sciences et Technologie Vol. 3, N° 1, Juin 2011.
- [17] **BOUAZIZ.A, HAMZAOUI.R, REZIGUIS, BENNABIA.A** « Valorisation du sable de dune dans les formulations des mortiers et des bétons » université de Biskra, université Paris-Est, institut de recherche en constructibilité, ESTP/ 31^{ème} Rencontre de l'AUGC ENS Cachan, 29 au 31 mai 2013.
- [18] **TEBBAL.N, RAHMOUNI.Z**, « Etude paramétrique de l'effet du dosage en superplastifiant sur la performance d'un béton à haute performance » université de M'sila, INVACO2, Séminaire International, INNOVATION & VALORISATION EN GENIE CIVIL& MATERIAUX DE CONSTRUCTION, N° : 10-275.
- [19] **BOUCHOUKA.A, OUDJIT.M.N**, « Influence du sable de dune finement broyé sur les propriétés physico-chimique et mécanique des bétons » SBEIDCO, 1^{er} International Conference on Sustainable Built Environment Infrastructures in Developing Countries, ENSET Oran, octobre 2009.
- [20] **BENABED.B, AZZOUZ.L, KADRI.H, BELAIDI.A.S.E, SOUALHI.H**, « Propriétés physico-mécanique et durabilité des mortiers à base du sable de dunes » Université Amar Telidji de Laghouat, Algérie, Université Cergy-Pontoise, France.
- [21] **DAMENE.Z, BENABED.B, AZZOUZ.L**, «Comportement mécanique et durabilité des mortiers à base du sable de dunes», Université Amar Telidji de Laghouat, Colloque CMEDIMAT Décembre 2005.
- [22] **BALAYSSAC JP., DETRICHE CH., GRANDET J.** (1993), intérêt de l'essai d'absorption d'eau pour la caractérisation du béton d'enrobage
- [23] **F.BERKANI; A. BELAKROUF** «Influence de la teneur en eau sur la durabilité du béton par mesure de la perméabilité aux ions chlore», séminaire UKM Ouargla, février 2013.
- [24] **BELOUADAH MESSAOUDA** « Evaluation des effets secondaires liés à l'incorporation des adjuvants sur les propriétés de durabilité du béton à base de matériaux locaux» UMB de M'sila, sept 2004.
- [25] **CETIM**, <http://www.cetim-dz.com/bul/bulletin%2015.pdf>, note trimestrielle d'information, éditorial N°15.
- [26] **BOUGLADA Mohamed Salah**, «Effet de l'activation du ciment avec ajout minéral par la chaux fine sur le comportement mécanique du mortier», Mémoire de Magister,
-

- Université de M'sila, Année 2007 / 2008.
- [27] **AKCHICHE Hamida**, « Contribution à la modélisation du retrait et de fluage des bétons et mortiers renforcés des fibres de palmier dattier en régions désertiques », Mémoire de Magister, Université Kasdi Merbah de Ouargla, mai 2007.
- [28] **BENAISSA A, MORLIER P, VIGUIER C, CHAUVIN J.J**, (juin 1992), "Cinétique de dessiccation et retrait du béton de sable" ; Annales de l'institut technique du bâtiment et de travaux publics (ITBTP) N°504.
- [29] **O.MEZIDI**, « Etude comparative des caractéristiques et du comportement d'un béton de sable de dunes et d'un béton ordinaire modifiés à la poudre de caoutchouc », Mémoire de Magistère, ENP 2008.
- [30] **MERKHOUI A.** " Contribution à l'étude des propriétés et déformations du béton renforcé par les fibres du palmier dattier en climat sec et chaud " mémoire de Magister, Ouargla, 2004.
- [31] **SHEKARCHIZADEH M.**, "Calcul par méthode itérative, du fluage en flexion d'une poutre en béton", Rapport D.E.A INSA, Lyon, Juillet 1993.
- [32] **ADAM M.NEVILLE**, "Propriétés des bétons", CRIB. édition EYROLLES, Sept 2000.
- [33] **DR. IR. P. BOERAËVE**, «Cours de Béton armé», Dernière impression le 17/01/2010, pp6.
- [34] **Adjuvant pour béton et environnement**, GÜTESIEGEL, www.fshbz.ch/dokumente/fshbz_f_betonzusatzmittel.pdf
- [35] **Normes française**, « Granulats » NF P18-101.
- [36] **Normes française**, « Granulats » NF P18-540 octobre 1997.
- [37] **Normes française** «Mesure des masses volumiques, coefficient d'absorption et teneur en eau des sables » NF P18-555 décembre 1990.
- [38] **Normes française** « Equivalent de sable » NF P18-598 octobre 1991.
- [39] **Norme française** « Analyse granulométrique » NF P18-560 septembre 1990.
- [40] **Norme française** «Analyse granulométrique» NF P 94-056 mars 1996.
- [41] **Recueil des notices techniques**, Grantiex Oued Smar (Algérie) B.P.N°85-16270, Site web : www.granitex.dz
- [42] **FICHE DE QUALITE** "Ciment CPJ – CEM II / B 32.5", Conformément à la norme NA 442, Edition, 2000.
- [43] **Norme française** «Mesure du temps d'écoulement des bétons et des mortiers au
-

maniabilimètre »NF P18-452 mai1988.

[44] **AYACHI A.M.** « Etude des propriétés mécaniques du béton de sable de dunes »,
Mémoire de Master, Université de Ouargla, Algérie juin 2012.

[45] **R.Dupain, R.Lanchone et J.C.Saint-Arroman**, « GRANULATS, SOLS, CIMENT
ET BETONS » Edition CASTEILLA, Paris 2000.

Résumé :

Les matériaux de constructions performants se font de plus en plus rares. Ceci est dû aux nombreux facteurs, entre autre: socio-économique et spatio-temporels. Pour cela, il s'avère nécessaire de valoriser les matériaux locaux au cout accessible. Ainsi, est-il pressant et judicieux de penser au sable de dunes dont les ressources sont énormes dans les zones sahariennes. L'objectif de ce travail se résume à l'amélioration des caractéristiques mécaniques (compression, traction) du béton de sable de dunes sous l'effet d'adjuvant et la réduction du rapport E/C qui en résulte, outre, d'autres paramètres tel que la correction granulaire et l'équivalent de sable. Les études de reconnaissance ont montré qu'il se devait une correction granulaire du sable de dunes ayant une granularité serrée et un module de finesse non conforme aux normes en vigueur, pour cela nous avons procédé à sa correction par le biais d'un sable alluvionnaire.

Les résultats expérimentaux de résistance mécanique ont montrés l'importance du rôle que jouent les facteurs cité précédemment dans la résistance mécanique et surtout celui de l'équivalent de sable et l'ajout d'adjuvant dont l'impact d'utilisation a assuré d'importante amélioration du comportement mécanique du béton de sable de dune.

Mots clés: Sable de dunes, sable alluvionnaire, correction granulaire, béton de sable, Adjuvant, Résistance à la compression, Résistance à la flexion.

Abstract:

The efficient construction materials are becoming increasingly scarce. This is due to many factors, among others: socio-economic and spatial-temporal. To do this, it is necessary to promote local materials at affordable cost. So, it's pressing and advisable to think of dune sand with huge resources in Saharan zones. This work aims to the improvement of the mechanical characteristics (compression, tensile) of sand dune concrete under the effect of adjuvant and the reduction of the w/c ratio resulting, in addition, other parameters such as the granular correction and the equivalent of sand. Recognition studies showed that a granular correction of dune sand having a tight granularity and a module of fineness not in accordance with the standards is necessary, for this we conducted its correction with alluvial sand.

Experimental results of strength showed the importance of the role played by the factors mentioned earlier in the mechanical resistance and especially that of the equivalent of sand and the addition of adjuvant whose impact of use provided significant improvement in the mechanical behavior of concrete of dune sand.

Key words: dune sand, alluvial sand, granular correction, sand concrete, Adjuvant, compressive strength, flexural strength.