



UNIVERSITE DE OUARGLA

N° d'ordre :

N° de série :

**FACULTE DES SCIENCES ET
SCIENCES DE L'INGENIEUR**

**DEPARTEMENT DE L'HYDRAULIQUE
ET GENIE CIVIL**

Mémoire
Présenté pour l'obtention du diplôme de
MAGISTER

Spécialité : Aménagement hydraulique et Génie civil
Option : Construction hydraulique au milieu saharien

Préparé par : BENTATA Aissa

Thème

**ETUDE EXPERIMENTALE
D'UN BETON AVEC LE SABLE DE DUNE**

DE LA REGION DE OUARGLA (Ain Elbaida)

Soutenu publiquement le 26/06/2004

Devant le jury composé de :

Mr HALILAT Med Tahar	Maître de conférence	U. Ouargla	Président
Mr KHENFER Med Mouldi	Professeur	C.U. Laghouat	Examineur
Mr KRIKER Abdelouahd	Maître assi chargé de cours	U. Ouargla	Examineur
Mr BENTEBBA Med Tahar	Maître de conférence	U. Ouargla	Promoteur

Année 2003/2004

Remerciements

Je tiens à exprimer ma profonde et respectueuse gratitude à Monsieur **M.T.BENTABBA** directeur de ce mémoire, pour avoir suivi attentivement et efficacement l'évolution de ce travail.

Mes vifs remerciements à Monsieur **M.T.HALILAT**, maître de conférence à l'université de Ouargla, pour l'honneur qu'il m'a fait en acceptant de juger ce travail et de présider le jury d'examen.

Je tiens à remercier Monsieur **M.M.KHENFER**, professeur à l'université de Laghouat et Monsieur **A.KRIKER**, maître assistant charge de cours à l'université de Ouargla pour l'honneur qu'ils m'ont fait en acceptant d'examiner mon travail et de faire partie du jury soutenance.

Il m'est particulièrement agréable d'exprimer à Monsieur **N.MAZA**, et **R.GHERIANI** ma profonde gratitude pour leurs conseils et leurs aides permanents durant le déroulement de ce travail.

Que monsieur **BASLIMAN**, directeur du laboratoire "BETTA" trouve ma reconnaissance pour m'avoir facilité la réalisation de ce travail

Je ne puis mentionner tous ceux qui ont contribué directement ou indirectement à la réalisation de ce travail que ceux qui m'ont aide d'un simple encouragement à un appui continu trouvent ici l'expression de ma reconnaissance très sincère.

Introduction

Toute recherche relative à la connaissance des comportements des bétons, s'appuie sur des références de ce qu'on appelle le béton témoin.

Ces références qui doivent être connus, comportent particulièrement les propriétés essentielles du béton témoin.

Notre recherche consiste à étudier expérimentalement les comportements d'un béton en modifiant ces constituants. Dans notre cas c'est le sable de dune

Comme les granulats influent considérablement sur la qualité du béton, il est nécessaire de faire une recherche bibliographique sur :

- Les propriétés essentielles du béton.
- Les caractéristiques des granulats et leurs influences sur les propriétés essentielles du béton.

I-1- GENERALITES SUR LES PROPRIETES ESSENTIELLES DU BETON

I-1-1 Ouvrabilité

L'ouvrabilité est une qualité essentielle du béton ; elle se définit par la facilité des mise en œuvre du béton pour le remplissage parfait du coffrage et l'enrobage du ferrailage. Une bonne ouvrabilité comporte une marge de sécurité permettant sans conséquences fâcheuses, une certaine et nécessaire latitude par rapport aux bonnes et plus au moins rigoureuses règles à appliquer pour une exécution optimale. De l'ouvrabilité dépendent, en effet, la plupart des qualités de l'ouvrage: Compacité et résistance réelle du béton dans l'ouvrage lui-même, enrobage et adhérence des armatures, cohésion du béton entraînant un moindre risque de ségrégation, parements de belle apparence, étanchéité. C'est pourquoi l'ouvrabilité doit être considérée par le laboratoire chargé de l'étude d'un béton, comme une qualité aussi importante que la résistance.[2]

Cette notion est tout à fait relative, car la maniabilité dépend énormément des conditions de mise en œuvre du béton et en particulier du serrage. D'une manière générale, on peut dire :

- Un béton est d'autant plus maniable qu'il est mouillé, c'est-à-dire que sa consistance est plus fluide, ce qui nécessite une grande quantité d'eau de gâchage.
- Un béton est d'autant plus maniable que la proportion d'éléments fins (ciment ou sable) est plus élevée. [3]

La documentation technique fournit plusieurs définitions sur la maniabilité et la consistance, mais elles sont toutes de nature quantitative et reflétant plus le point de vue personnel des différents auteurs qu'une définition scientifique rigoureuse. Le même commentaire s'applique également aux termes suivants : facilité d'écoulement, mobilité et comparabilité. Le terme stabilité renvoie à la cohésion du mélange; il exprime la résistance à la ségrégation. Ces termes n'ont pas de définition précise sauf sous certaines conditions; ainsi, ils ne peuvent pas être utilisés pour décrire objectivement et précisément le comportement d'un béton. [4]

I-1-2 Résistance

La résistance a été longtemps considérée comme la qualité essentielle, pour ne pas dire la seule, à rechercher pour un béton ; ouvrabilité et résistance sont à étudier de pair car elles sont étroitement dépendantes l'une de l'autre et d'autant plus qu'elles varient en sens inverse en fonction de certains facteurs essentiels de la composition du béton. [2]

La résistance se présente sous deux aspects : résistance à la compression, et la résistance à la traction. La résistance à la traction joue un rôle très important en béton armé.

On doit donc s'efforcer d'aboutir à des résultats convenables aussi bien pour la résistance à la compression qu'à la traction. [3]

I-1-2-1 Résistance en compression

Notation : la résistance en compression à 28 jours est désignée par f_{c28} . Elle se mesure par compression axiale de cylindres droits de révolution et d'une hauteur double de leur diamètre. Le cylindre le plus couramment employé est le cylindre de ($\varnothing = 15.96$ cm) dont la section est de 200 cm^2 . La normalisation européenne indique comme dimension des cylindres $\varnothing = 15$ cm de $H = 30$ cm

I-1-2-2 Résistance en traction

Notation : la résistance en traction à 28 jours est désignée par f_{t28} .

Plusieurs essais peuvent être réalisés :

- a) *en traction directe*, la mesure se fait par mise en traction de cylindres identiques aux précédents mais l'essai est assez délicat à réaliser car il nécessite, après sciage des extrémités, le collage de têtes de traction parfaitement centrées, l'opération devant avoir lieu sans aucun effort de flexion parasite.
- b) *En traction par fendage*, l'essai consiste à l'écrasement d'un cylindre de béton suivant deux génératrices opposées entre les plateaux d'une presse; cet essai est souvent appelé «essai brésilien».

Si P est la charge de compression maximale produisant l'éclatement du cylindre par mise en traction du plan diamétral vertical, la résistance en traction sera :

$$f_{tj} = \frac{2 P}{\pi D L} \quad [2]$$

avec : j = âge du béton (en jours) au moment de l'essai;

D et L = diamètre et longueur du cylindre

- c) *en traction – flexion* : c'est l'essai le plus couramment utilisé. Il consiste à rompre en flexion une éprouvette prismatique de côté a et de longueur $4a$. avec une charge totale P . Le moment de flexion constant entre les deux points d'application de la charge est égale: [2]

$$M = \frac{pa}{2} \quad a = \text{cote de la section} \quad (\text{I.1})$$

p = force appliquée

La section a pour module d'inertie $I = \frac{a^3}{6}$ et la contrainte de traction correspondante sur la fibre inférieure est : [2]

$$f_{tj} = \frac{Mv}{I} = \frac{6M}{a^3} \quad \text{avec } v=a/2, I= a^4/12$$

Toutefois, la comparaison des résistances obtenues en traction –flexion avec celles mesurées en traction directe ou par fendage montre que ces dernières sont en générale et en moyenne inférieurs de 40% environ par rapport aux premiers. Ceci peut s'expliquer par la plastification du béton dans la phase de pré-rupture. Les lois de l'élasticité qui donnent $\sigma = 6M$ (proportionnalité des contraintes et des déformations) ne sont alors plus valable. On affecte donc d'un coefficient 0.6 aux valeurs trouvées en traction-flexion et le calcul dans ce cas se fait par la formule : [2]

$$f_{tj} = \frac{3.6M}{a^3} \quad (\text{I.2})$$

Généralement la résistance du béton notamment la résistance à la compression projette une image globale sur la qualité d'un béton; et on considère l'élément clé lors de la conception des structures en béton et lors de l'établissement des spécifications de conformité. [3]

I-1-3 Etanchéité

Un béton doit toujours être étanche, aussi bien quand il est en contact avec l'eau que lorsqu'il est en contact avec l'atmosphère, toujours plus ou moins humide. Pour qu'un béton soit étanche, il faut que les cheminements possibles dans la masse pour les infiltrations des eaux extérieures soient aussi réduits que possible. Par conséquent, il faut réaliser un béton très compact pour éviter ces cheminements.

Des essais très nombreux ont été fait sur la perméabilité des bétons pendant plusieurs années. Leurs conclusions sont les suivantes :

- le facteur essentiel est la surface spécifique des grains de ciment
- au-dessous d'une surface spécifique de 1500 cm²/g tous les ciments donnent des bétons perméables
- avec des ciments ayant une surface spécifique comprise entre 1100 et 1300 cm²/g (liants commerciaux de qualité courants) les filtrations atteignent des valeurs considérables
- Au-dessus de 1800 à 1900 cm²/g (valeurs imposées par les normes américaines pour la construction des grands barrages) les filtrations sont pratiquement nulles.[3]

I-1-4 Elasticité

L'élasticité est une propriété très importante pour le béton, notamment dans le cas d'incorporation des armatures, où on devra obtenir un matériau plus au moins homogène.

Le module d'élasticité est compris généralement entre 200000 MPa et 600000 MPa.
La notion de coefficient d'élasticité d'après sa définition : [2]

$$E = \frac{\text{contrainte unitaire}}{\text{déformation relative}} = f_{cj} / \frac{\Delta l}{l} \quad (\text{I.3})$$

Elle est assez vague à cause du fluage ; en effet la déformation totale (fluage compris) est trois fois plus grande que la déformation instantanée : $\Delta t \simeq 3\Delta i$
Cela conduit à considérer deux modules élastiques : [2]

$$\left. \begin{array}{l} \text{Un module instantané : } E_{ij} \\ \text{Et un module différé : } E_{vj} \end{array} \right\} E_{vj} \simeq \frac{E_{ij}}{3} \quad (\text{I.4})$$

Le module élastique est d'autant plus élevé que le béton est plus résistant
Le BAEL 91 propose la relation suivante :

$$E_{ij} = 11000 \sqrt{3 f_{cj}} \quad (f_{cj} \text{ et } E_{ij} \text{ en MPA}) \quad (\text{I.5})$$

(f_{cj} désignant la résistance caractéristique à la compression à j jours)

si on ne dispose pas d'autres valeurs de résistance que celle de f_{c28} , on peut admettre que ,
pour les grandes valeurs de j on a sensiblement : [2]

$$f_{cj} = 1.1 f_{c28}, \text{ et le module est noté } E_i \quad (\text{I.6})$$

Cependant nous estimons que cette valeur de E_{ij} est un peu surestimée ; la formule recommandée est : [2]

$$E_{ij} = 9500 \sqrt{3 f_{cj}} + 8 \quad (\text{I.7})$$

Et il est proposé : $E_{ij} = 10000 \sqrt{3 f_{cj}}$ en valeurs moyennes pour f_{cj} et E_{ij}

Le module d'élasticité instantané peut se déterminer expérimentalement :

- par chargement statique direct d'éprouvettes de béton avec mesure de la déformation correspondante.
- Par mise en vibration d'éprouvettes prismatiques de longueur L : E_j étant proportionnel au carré de la fréquence F on obtient le module d'élasticité dynamique $E_{ij} = \frac{(2LF)^2 \omega}{g}$ avec ω = densité du béton ; g = accélération de la pesanteur
- Par vitesse du son, E_i étant proportionnel au carré de la vitesse du son en m/s : [2]

$$E_i = \frac{K v^2 \omega}{g} \quad (\text{I.9})$$

K étant une fonction du coefficient de poisson ν [2]

$$K = \frac{(1+\nu)(1-2\nu)}{1-\nu} \quad (\text{I.10})$$

Cette dernière mesure peut être faite sur l'ouvrage lui-même et permet de se rendre

compte in situ de la qualité du béton et de sa régularité.

En général, on trouve expérimentalement que le module d'élasticité dynamique est d'environ 25% supérieur au module d'élasticité statique instantané[2].

I-1-5 Retrait

En l'absence de toute charge, le béton se déforme spontanément, ces déformations sont liées à l'humidité du milieu de conservation. Pour les bétons conservés à l'air, on observe une diminution des dimensions initiales. Ce phénomène porte le nom de retrait. [2]

C'est un phénomène de raccourcissement qui accompagne la prise du ciment, on peut l'assimiler à l'effet d'un abaissement de température entraînant un raccourcissement. On a indiqué les valeurs moyennes en mm/m ci-après : [2]

- dans les régions très humides : $\Delta l/l = 1.5 \times 10^{-4}$ à 2×10^{-4}

- dans les régions très sèches (Sahara) : $\Delta l/l = 5 \times 10^{-4}$

Le durcissement sous l'eau diminue beaucoup les effets de retrait. C'est pourquoi il convient de tenir les pièces humides en les arrosant pendant leur durcissement (cure du béton) à une époque où le béton très jeune n'a encore qu'une faible résistance en traction et se fissurerait facilement sous l'effet du retrait.

Certains ciments sont plus sensibles que d'autres à la dessiccation (ciments à base de laitier par exemple ; ciment fondu)

Selon le type d'ouvrage, on peut ne pas tenir compte des effets du retrait et des variations de température pour les constructions dont la longueur totale ou comprise entre joints est inférieure ou égale à 25 m. mais par exemple dans le cas de dallages ou de chapes, on doit prévoir des joints de fractionnement pour éviter que des fissures ne se produisent, soit en limitant au coulage leurs dimensions, soit par sciage mécanique dans les heures qui suivent la prise, soit par mise en place au moment du coulage de profilés plastiques.

D'après les règles BPEL 91 on peut, selon les cas, évaluer ainsi le retrait total final ϵ_r Dans l'air. [2]

$$\epsilon_r = (100 - \text{ph}) \left(6 + \frac{80}{10 + 3r_m} \right) \left(\frac{1}{1 + 20 \text{ps}} \right) 10^{-6} \quad (\text{I.11})$$

r_m = rayon moyen de la section ($r_m = \text{aire}/\text{périmètre}$)

ph = humidité relative

ps = $\frac{\text{section des armatures passives longitudinal}}{\text{section de béton B}}$ A_s = (coefficient de réduction pour retrait « généré »)

Les valeurs de retrait sont amplifiées dans le climat chaud et sec (climat saharien), par les conditions climatiques chaudes et sèches.

I-1-6 Durabilité

Il est essentiel que chaque structure en béton puisse conserver sa résistance et continuer de remplir sa fonction tout au long de sa durée de vie utile. Il en résulte que le béton doit être en mesure de résister aux mécanismes de détérioration auxquels il peut être exposé. On dit d'un tel béton a une bonne durabilité.

Il est utile d'ajouter que le concept de durabilité ne signifie pas une durée de vie infinie, pas plus qu'il ne signifie que le béton doit résister à n'importe quelle agression. De plus, on constate maintenant, ce qui n'était pas toujours le cas auparavant, que, dans bien des cas, un entretien du béton est nécessaire. [4]

La durabilité du béton est un fait reconnu et attesté par la pérennité des ouvrages exposés aux conditions climatiques ou d'environnement les plus variées.

La notion de durabilité est donc indissociable de celle de qualité à tous les niveaux et, en particulier, de celle du matériau béton. L'exigence de la qualité est devenue aujourd'hui une nécessité et aussi un facteur d'économie de par sa contribution à la limitation des coûts de maintenance.

La qualité ne concerne pas uniquement le béton mais aussi ses composants. Le concepteur doit disposer des informations nécessaires sur les matériaux pour réaliser des ouvrages résistants à la fois aux contraintes mécaniques et aux facteurs extérieurs de dégradation. Il ne faut cependant pas oublier que la durabilité du béton est aussi dépendante des conditions de mise en œuvre et que toute négligence à ce niveau peut remettre en cause des matériaux de bonne qualité. [5]

I-2- CARACTERISTIQUES DES GRANULATS ET LEUR INFLUENCE SUR LES PROPRIETES ESSENTIELLES DU BETON

Introduction :

On appelle granulats tout matériau inerte provenant de l'érosion des roches ou de leur concassage. [6]

Les spécifications auxquelles doivent satisfaire les granulats sont précisées dans les nouvelles norme NF P 18-450 d'octobre 1997. Cette norme regroupe les caractéristiques que doivent présenter en général les granulats destinés aussi bien, à la confection du béton hydraulique, que ceux destinés à la confection des chaussées.[2]

Les granulats sont classés en fonction de leurs grosseurs déterminées par criblage sur des tamis à mailles carrées dont la dimension intérieure est exprimée en millimètres.

On appelle «tamisat » la partie des granulats qui est passée à travers le tamis et <<refus >> la partie qui est restée sur le tamis .

Le terme «granulat d/D » est réservé aux granulats dont les dimensions s'étalent de d pour les petits éléments à D pour les gros éléments.

La norme NF P 18-540 précise les appellations des différentes classes granulaires avec leurs caractéristiques dimensionnelles :

filler 0/D pour « D » < 2mm et ayant au moins 70 % de grains passant au tamis de 0.63 mm;
Sablon 0/D pour « D » \leq 1mm et avec moins 70 % de grains passant au tamis de 0.63 mm;
Sable 0/D lorsque « D » est tel que : 1mm < D \leq 6.3 mm ;
Graves 0/D lorsque « D » > 6.3 mm ;
Gravillons d/D lorsque « d » \geq 1 mm et « D » \leq 125 mm ;
Ballast d/D lorsque « d » \geq 25 mm et « D » \leq 50 mm.

La classe des granulats est définie par tamisage au travers d'une série de tamis. Les norme (NF en 933-2) préconise pour d'étude granulométrique, les tamis dont les maille sont les dimension suivante en mm: 0.063- 0.125 - 0.25 – 0.5 – 1 – 2 – 4 – 8 – 12 - 31.5 – 63 - 125 [2]

I-2-1- Caractéristiques des granulats

Il est évident que les granulats occupent la majorité dans la constitution du béton, ce qui révèle l'importance de l'influence des caractéristiques des granulats sur la qualité du béton.

La norme expérimentale NF P 18-540 définit les caractéristiques des granulats pouvant être utilisés pour la confection de béton hydraulique.

I-2-1-1 Propreté

Tous les granulats contiennent une quantité, plus au moins grande, d'impuretés. Les impuretés ont un caractère commun : ils influent négativement sur les qualités essentielles du béton (résistance, imperméabilité, longévité). Cependant, on peut les classer en deux catégories :

- Impuretés prohibées : particules de charbon, de bois, d'argile, micas
- Impuretés tolérées, dans des limites qui seront à définir, parmi lesquelles on peut citer : les éléments très fins et/ou solubles, les matières organiques, les sulfates, les sulfures ..[6]

Pour la propreté des gravillons, il convient d'éviter surtout la présence de la gangue argileuse ou des poussières qui risquent de compromettre l'adhérence du mortier sur les graviers et par voie de conséquence de diminuer la résistance. L'essai de propreté consiste donc à déterminer le pourcentage d'éléments $< 0.5\text{mm}$, conformément à la norme NF P 18-591, que ces éléments soient simplement mélangés ou adhérents à la surface des grains.

Pour les sables, la propreté est contrôlée par l'essai dit «équivalent de sable» (E.S.) [2]

Cet essai consiste à faire flocculer, dans des conditions normalisées de temps et d'agitation, les impuretés du sable [6]

$ES < 60 \rightarrow$ sables argileux à ne pas utiliser pour les bétons.

$60 < ES < 70 \rightarrow$ sables légèrement argileux : Admissible pour les bétons courants avec risque de retrait important.

$70 < ES < 80 \rightarrow$ sables propres : Convient bien pour les bétons de haute qualité.

$ES > 80 \rightarrow$ sables très propres : absence presque totale de fines argileuses.

La valeur optimale de l'équivalent de sable (mesurée à vue sans l'aide d'un piston) est comprise entre 70 et 80, dans le cas des sables silico-calcaires tout au moins et ne contenant que peu de fines argileuses nocives dont une faible importance doit alors être confirmée par l'Essai « au bleu » (norme NF P 18-592). [2]

I-2-1-2 Texture et forme de granulat

Les caractéristiques d'aspect des granulats sont important plus particulièrement les formes du grain et l'état de leur surface.

Dans le béton les grains d'un granulat sont liés par la pâte de ciment qui constitue une matrice pour ces derniers. L'adhérence pâte -granulat est alors un facteur important du point de vue résistances mécaniques du béton. On conçoit donc que l'état de surface des granulats, surtout du sable est un paramètre qui influe beaucoup sur les performances physico-chimiques des bétons. Par ailleurs l'état de surface d'un granulat n'influe pas uniquement sur l'adhérence [4], mais également il a une incidence sur la maniabilité du béton, donc il est préférable de chercher une forme se rapprochant de la sphère. Une mauvaise forme (aiguilles, plats) nécessite une quantité d'eau plus élevée et peut provoquer des défauts d'aspect [5].

En ce qui concerne les grains d'un gravier, ils sont caractérisés par des formes multiples à savoir, sphérique, cubiques, allongés, et plats.

Le coefficient volumétrique permet de donner une idée précise sur la forme de l'élément considéré. C'est pour un grain, le rapport entre le volume v du grain au volume v de la sphère circonscrite de diamètre D (D – étant la plus grande dimension du grain).

Pour un ensemble de grain on a :

$$Cv = \frac{\sum v}{\frac{\sum \pi D^3}{6}}$$

Un coefficient faible correspond à un granulat présentant un certain nombre de plats. A l'opposé, un coefficient élevé correspond à un granulat << cubique >> ou << arrondi >>

La norme AFNOR exige :

$$Cv = 0.15 \text{ pour les gravillons}$$

$$Cv = 0.11 \text{ pour les cailloux}$$

En général la texture et la forme géométrique des granulats se distinguent par deux catégories essentielles :

a) Granulats roulés :

Ils sont plus faciles à mettre en place, ne nécessitent pas de moyens de serrage importants, glissent bien entre les armatures et conviennent particulièrement au béton armé [6].

b) Granulats concassés

Ils donnent lieu à des bétons raides à mise en place difficile. Par contre, ils adhèrent bien à la pâte de ciment et procurent au béton une plus grande résistance notamment à la traction. [6]

I-2-1-3 Granularité:

La granularité est la distribution par dimension des grains des granulats. Elle est déterminée par l'essai d'analyse granulométrique. Cet essai consiste à tamiser le granulat sur une série de tamis à maille carre et à peser les refus sur chaque tamis on trace en suite la courbe granulométrique. [7]

La courbe granulométrique traduit la distribution pondérale des grains composant un granulat donné (d/D).

Les courbes granulométriques sont tracées en coordonnées semi-logarithmiques. En ordonnée on porte le pourcentage, en poids, des tamisats sous les tamis dont les mailles sont indiquées en abscisse selon une graduation logarithmique. [6]

I-2-1-4 Module de finesse :

Le module de finesse d'un granulat est égale au 1/100 de la somme des refus , exprimés en pourcentages sur les différents tamis de la série suivante :

0.16 – 0.315 - 0.63 – 1.25 – 2.5 – 5 – 10 – 20 – 40 – et 80 mm [6]

Le module de finesse étant presque exclusivement vérifié sur les sables, les tamis concernés sont :

0.16 – 0.315 - 0.63 – 1.25 – 2.5 et 5mm .

C'est une caractéristique intéressante surtout en ce qui concerne les sables. Un bon sable à béton doit avoir un module de finesse d'environ 2.2 à 2.8 ; au-dessous, le sable a une majorité d'éléments fins et très fins, ce qui nécessite une augmentation du dosage en eau ; au-dessus, le sable manque de fines et le béton y perd en ouvrabilité. [5]

Des recherches sur l'influence de la finesse des sables sur les diverses qualités du béton ont conduit à délimiter certains fuseaux de granularités admissibles.

Le module de finesse peut être considéré comme égal à la dimension moyenne pondérée du tamis sur lequel le matériau est retenu, les tamis étant numérotés à partir du plus fin. **Popovics** a ainsi montré que le module de finesse correspond à la moyenne logarithmique de la distribution granulométrique.

Cependant, il est clair qu'un paramètre unique, une moyenne, n'est pas représentatif de l'ensemble de la distribution granulométrique. Ainsi, un même module de finesse peut correspondre à un nombre infini de distributions ou de courbes granulométrique totalement différentes. Le module de finesse ne peut donc pas être utilisé seul pour décrire la granulométrie d'un granulat, mais il est valable pour indiquer de petites variations dans le cas de granulats élaborés à partir d'une même source, par exemple pour un contrôle journalier. Néanmoins, à l'intérieur de certaines limites, le module de finesse donne des indications sur le comportement probable d'un mélange de béton fabriqué avec un granulat d'une granulométrie donnée et l'utilisation du module de finesse à des fins d'évaluation des granulats et de formulation des mélanges rallie de nombreux partisans. [4]

I-2-1-5 Porosité des granulats

La présence de pores internes dans les granulats est en rapport direct avec la densité des granulats et effectivement les caractéristiques de ces pores sont très importantes dans l'étude des propriétés des granulats. La porosité des granulats, leur imperméabilité et leur absorption influent certains de leurs propriétés : Leur liaison avec la pâte de ciment hydrate, leur stabilité chimique leur résistance à l'abrasion ainsi que la résistance du béton au gel et au dégel. Comme décrit ci-dessus, la densité d'un granulat dépend aussi de sa porosité et le rendement du béton pour une masse donnée de granulat dépendent aussi de sa porosité et le rendement du béton pour une masse donnée de granulats en est affecté.

La taille des pores des granulats est très variable : les plus gros peuvent être vus au microscope ou même à l'œil nu ; les plus petits sont à peine plus gros que les pores de la pâte de ciment. Les pores inférieurs à $4\mu\text{m}$ sont d'un intérêt particulier : il est généralement admis qu'ils affectent la durabilité des granulats soumis à des cycles de gel-dégel. [4]

La porosité des granulats exprimée en % est le rapport du volume de vide contenu dans le grain au volume absolu des grains. Pratiquement on le détermine en multipliant par 100 la différence entre les volumes des grains à l'état saturé sans vide et l'état sec. [8]

I-2-1-6 Coefficient d'absorption

L'absorption de l'eau par les granulats est déterminée en mesurant l'augmentation de masse d'un échantillon séché au four après avoir été immergé dans l'eau pendant 24 heures et séché superficiellement. Le rapport entre l'augmentation de la masse immergée et la masse de l'échantillon sec, exprimé en pourcentage, est défini comme étant l'absorption ou coefficient d'absorption. [4]

Ce coefficient mesure le volume des pores accessibles à l'eau, ce qui signifie que plus sa valeur est élevée, moins la durabilité du béton est assurée dans un milieu agressif. En particulier la pénétration de l'eau dans les pores des granulats, donc du béton, fragilise la structure en cas de gel. Par ailleurs dans un milieu à faible hygrométrie, de l'ordre de 60 à 70 %, la vitesse de pénétration de la carbonatation est plus rapide. Enfin lors du malaxage du béton, l'emploi de granulats à fort coefficient d'absorption peut provoquer un léger raidissement s'ils n'ont pas été pré-mouillés avant leur introduction dans le malaxeur. [2]

I-2-2- Influence des caractéristiques des granulats sur les propriétés du béton

Il est intéressant pour la fabrication des éléments en béton de savoir et connaître l'influence des caractéristiques des granulats sur la qualité du béton, afin d'avoir l'opportunité pour le choix des granulats compatibles au béton souhaité.

A cet effet, plusieurs recherches ont étudié l'influence des caractéristiques des granulats sur la propriété du béton, et en ce qui suit on va citer l'effet des principaux caractéristiques sur la propriété du béton.

I-2-2-1 Influence de G/S

Le rapport G/S exprime le rapport volumique entre le dosage en gravier (G) et le dosage en sable(S)

Au cours des nombreuses études réalisées sur la composition des bétons, ce qui surprend, c'est l'influence relativement faible de la composition granulométrique du béton, tant en ce qui concerne les proportions relatives de sable et de gravier (rapport G/S) que la continuité ou discontinuité de la courbe granulométrique. Les appréciations concernant cette influence sur les différentes qualités des bétons ont résumé dans le **tableau I-1** récapitulant les principales qualités des bétons en fonction de leur G/S

Il y apparaît en effet que pour des $G/S \leq 2$ (valeurs les plus courantes) l'influence du rapport G/S est relativement faible, tandis que la résistance augmente plus sensiblement pour des valeurs plus élevées de G/S surtout pour les bétons fermes ; mais pour des raisons d'ouvrabilité, il ne convient pas de dépasser $G/S = 2.0$ à 2.2 pour les bétons courants, sauf à prendre des précautions particulières à la mise en œuvre [2]

Tableau 1-1

Récapitulation des principales qualités des bétons en fonction de leur G/et de leur granularité continue ou discontinue [2]

Caractéristiques	Appréciations concernant les bétons	
	à G/S élevé par rapport à ceux à G/S faible	à granularité discontinue par rapport à ceux à granularité continue
Ouvrabilité	Moins bonne surtout pour $G/S > 2.2$	Moins bonne surtout si $G/S > 2.2$
Résistance en compression	Meilleur, surtout pour $G/S \geq 2.2$	Très légèrement supérieure
Résistance en traction	Sans corrélation apparente	Très légèrement inférieure
Module d'élasticité	Sans corrélation très nette sauf pour le module statique un peu plus élevé en fonction de G/S	Un peu plus élevé
Vitesse du son	Sans corrélation très nette	Légèrement supérieure
Indice sclérométrique	Un peu supérieur	Très légèrement supérieur
Retrait	Sans corrélation très nette	Moins élevé surtout si $G/S > 2.2$
Compacité	Légèrement plus élevée pour $G/S > 2.2$	Un peu plus élevée

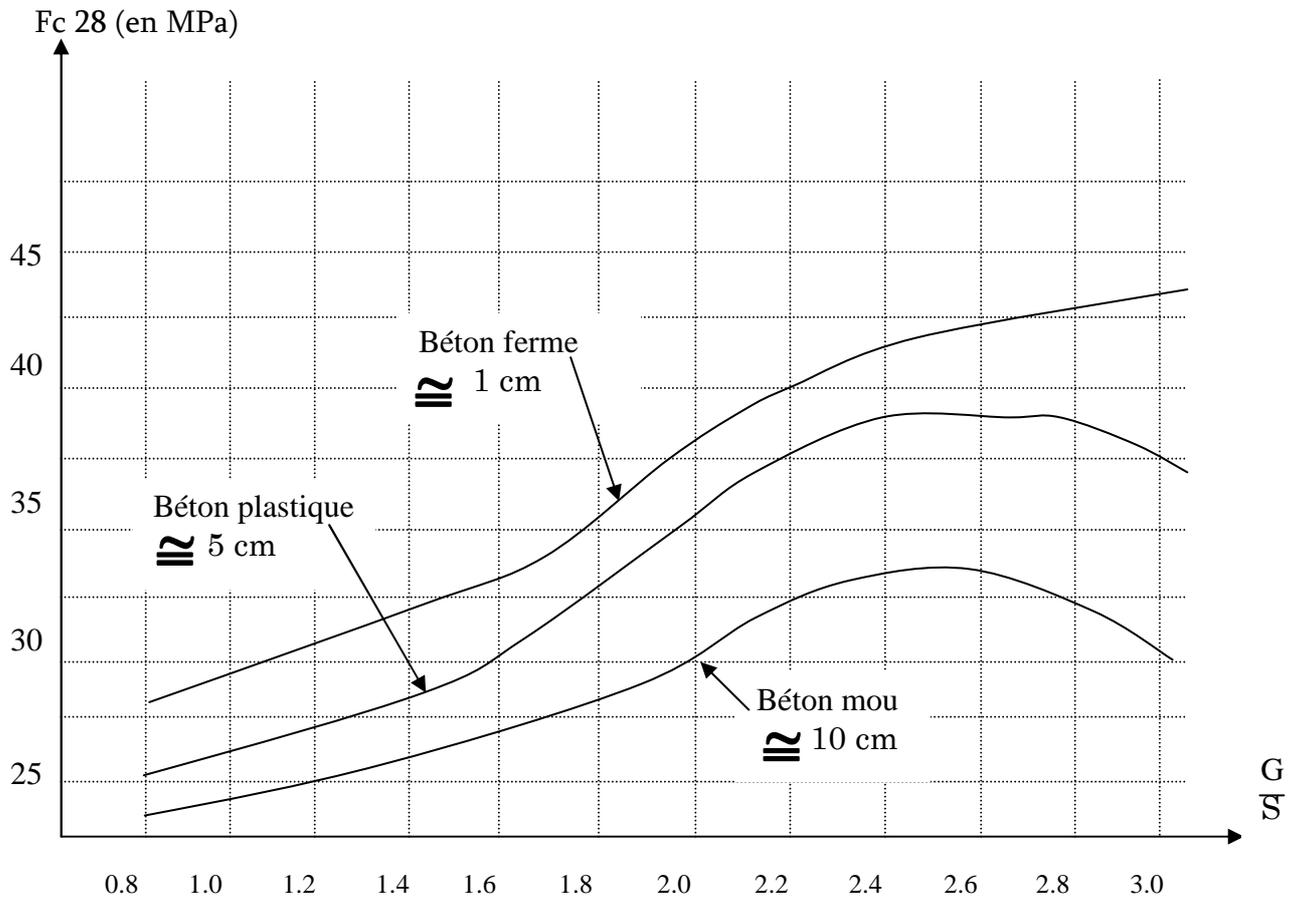


Fig. I-01 Exemple de variation de la résistance en compression à 28 jours
En fonction de G/S et pour trois plasticités différentes.
Béton à 350 kg de ciment par mètre cube- granularité continue D=25mm. [4]

La présente figure montre bien que le rapport G/S influence positivement sur la résistance du béton à 28 jours, et qui s'accroît suivant la diminution de la plasticité du béton, ce qui nécessite lors de la formulation du béton un rapport G/S adapté à la plasticité du béton.

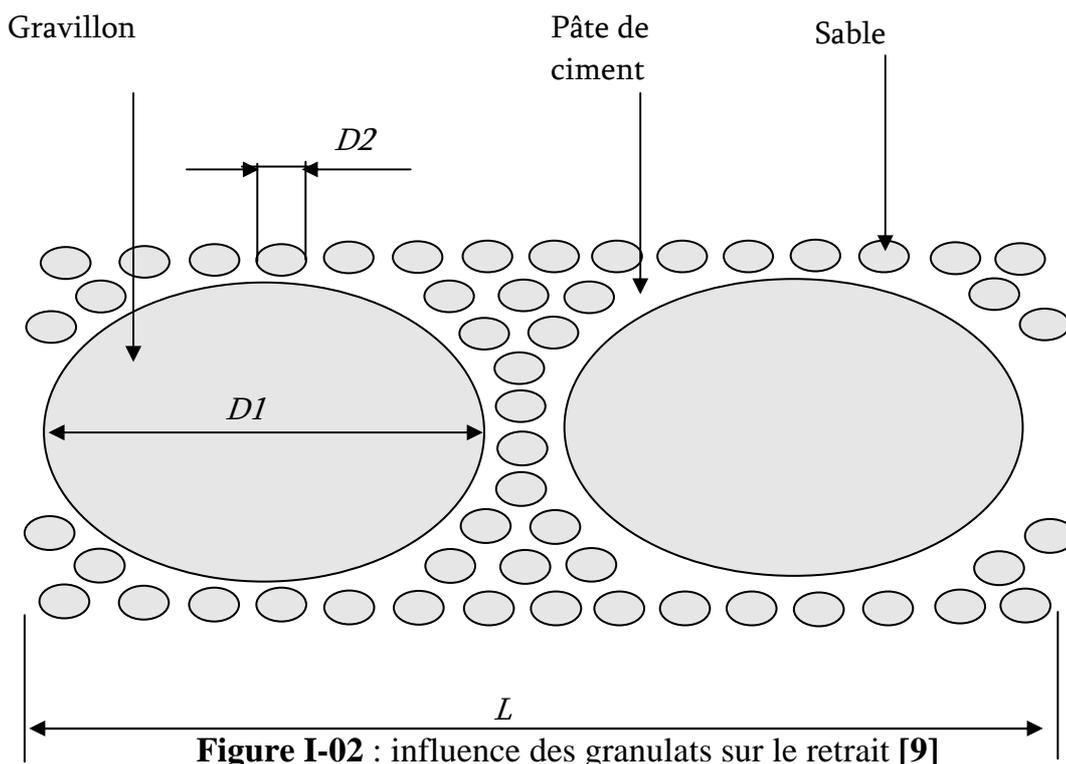
I-2-2-2 Effet de G/S sur le retrait du béton

Pour montrer bien l'effet de G/S sur le retrait du béton on explique le schéma ci-dessus. Soient $D1$ et $D2$ les dimensions respectives des gravillons et du sable composant le squelette granulaire du béton.

Le retrait éventuel est le fait que la seule pâte liante qui enserre ces grains. Le retrait se produit donc dans l'épaisseur de la pâte qui lie les granulats deux à deux

Si le sable était le seul granulat, le retrait ΔL sur la distance L serait la somme des retraits affectent les liaisons entre tous les grains de sable rencontrés sur la distance L .

La présence de 2 gravillons sur la distance L (telle qu'elle est représentée sur la figure I-02) fait que le retrait n'affectera en réalité que la distance $L-2D1$. Le retrait total en sera diminué d'autant, d'où l'intérêt d'utiliser des granulats de dimension la plus importante possible pour limiter le retrait [9]



I-2-2-3 Influence de grosseur maximale des gros granulats

Le choix de la grosseur maximale des gros granulats dépend de différents facteurs tels que les dimensions des éléments façonnées, le degré de ferrailage, les dispositions de l'armature. etc.

Dans le cadre d'apprécie bien l'influence de la grosseur maximale des granulats sur la qualité du béton, des recherches dans quelques pays se sont développées

En **U.R.S.S** les essais ont été réalisés où la dimension des morceaux de pierres concassées a été la seule variable. [6]

Comme modèle on a pris les boulets en acier polis de diametre 5 ; 10 et 25 mm. La résistance du béton des éprouvettes cubiques d'arrête 10cm a été respectivement égale à 392 ; 352 ; et 276 kgf/cm² [6]

D'après ces résultats il a été conclu qu'au cours de l'augmentation de la grosseur des gros granulats de haute résistance dans le béton à composition granulométrique discontinue la résistance du béton diminue.

Aux **Etats-Unis** des recherches sur l'influence de la grosseur des gros granulats sur la résistance du béton ont été réalisés lors de la construction du barrage **boldouer**. ces résultats montrent qu'au cour de l'augmentation de Dmax des gros granulats de 10 à 230 mm la dépense en sable dans le béton diminue en volume absolu de 0.45 à 0.210 tandis que le contenu de gros granulats augmente de 0.136 à 0.6. Pour les gros granulats de dimensions constantes la résistance du béton augmenterait, mais en pratique elle ne change pas d'où on peut conclure que l'utilisation des gros granulats de grandes dimensions au lieu des gros granulats fins diminue la résistance du béton . [6]

Avec l'augmentation de Dmax des gros granulats la dépense en ciment a diminué de deux fois pour les bétons de même résistance. Donc, dans les conditions considérées l'augmentation de Dmax accompagnée de la variation de la composition du béton est efficace. D'après les auteurs des recherches l'accroissement de Dmax est avantageuse pour les bétons hydrauliques de résistance modérée, car l'abaissement du dosage en ciment mène à la diminution du dégagement calorifique au cours de l'hydratation du ciment et, donc à l'augmentation de la résistance à la fissuration. [6]

Brouks [10] a montré a l'aide de la figure I-03 les relations entre les grosseur maximal des granulats et les résistances à la compression du béton a 28 jour

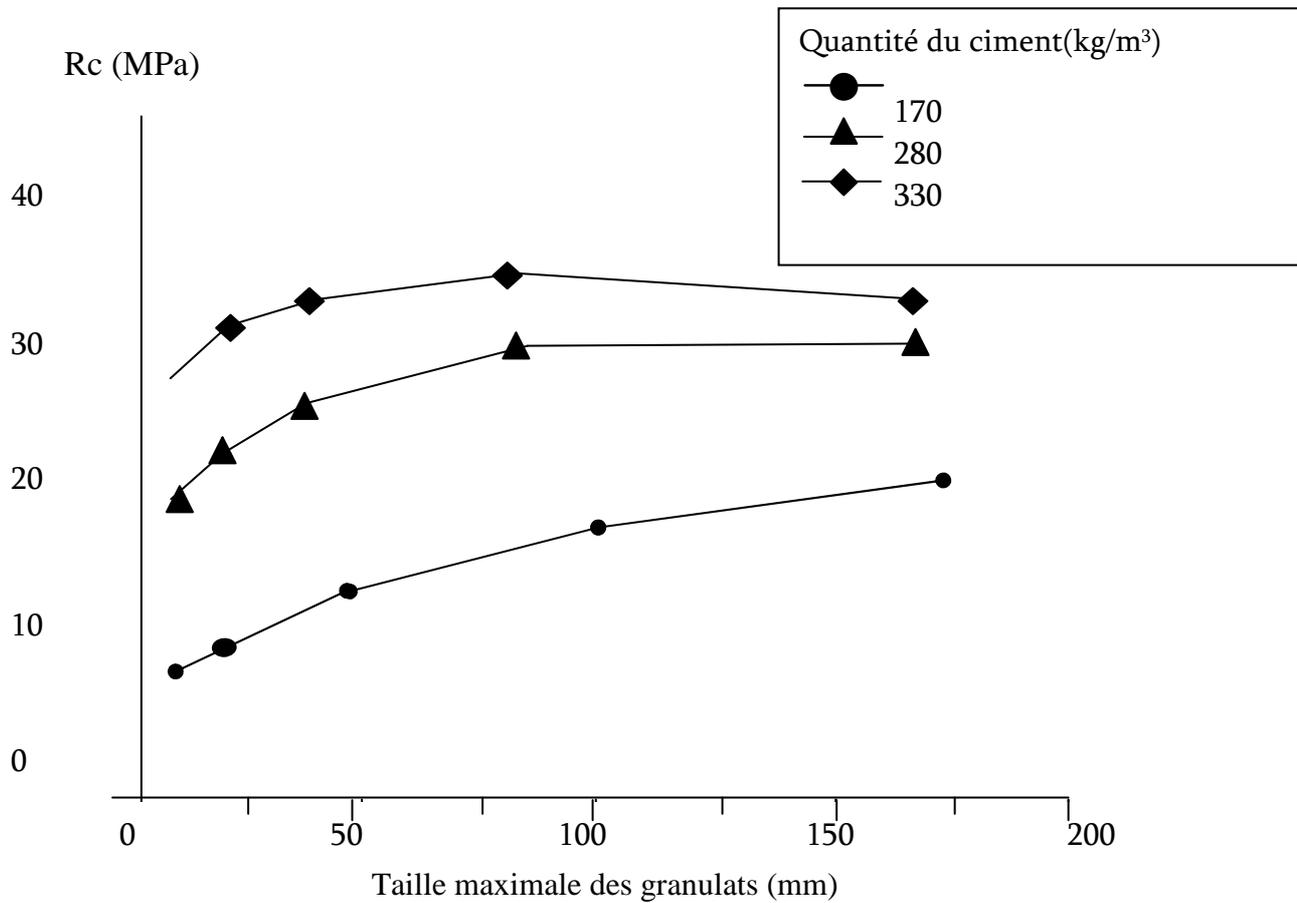


Figure I-03 : influence du diamètre maximal des granulats sur la résistance en Compression du béton à 28 jours d'âge (11) [10]

La présente courbe montre que la résistance en compression du béton dépend de la taille maximale des granulats, alors que l'augmentation de cette dernière augmente la résistance et vice versa. Ceci dit les gros granulats sont les éléments inerts dans la masse du béton.

I-2-2-4 Influence de la granularité

La figure I-04 ci-après donné une idée de l'effet de la granularité sur la résistance du béton à 28 jours [11]

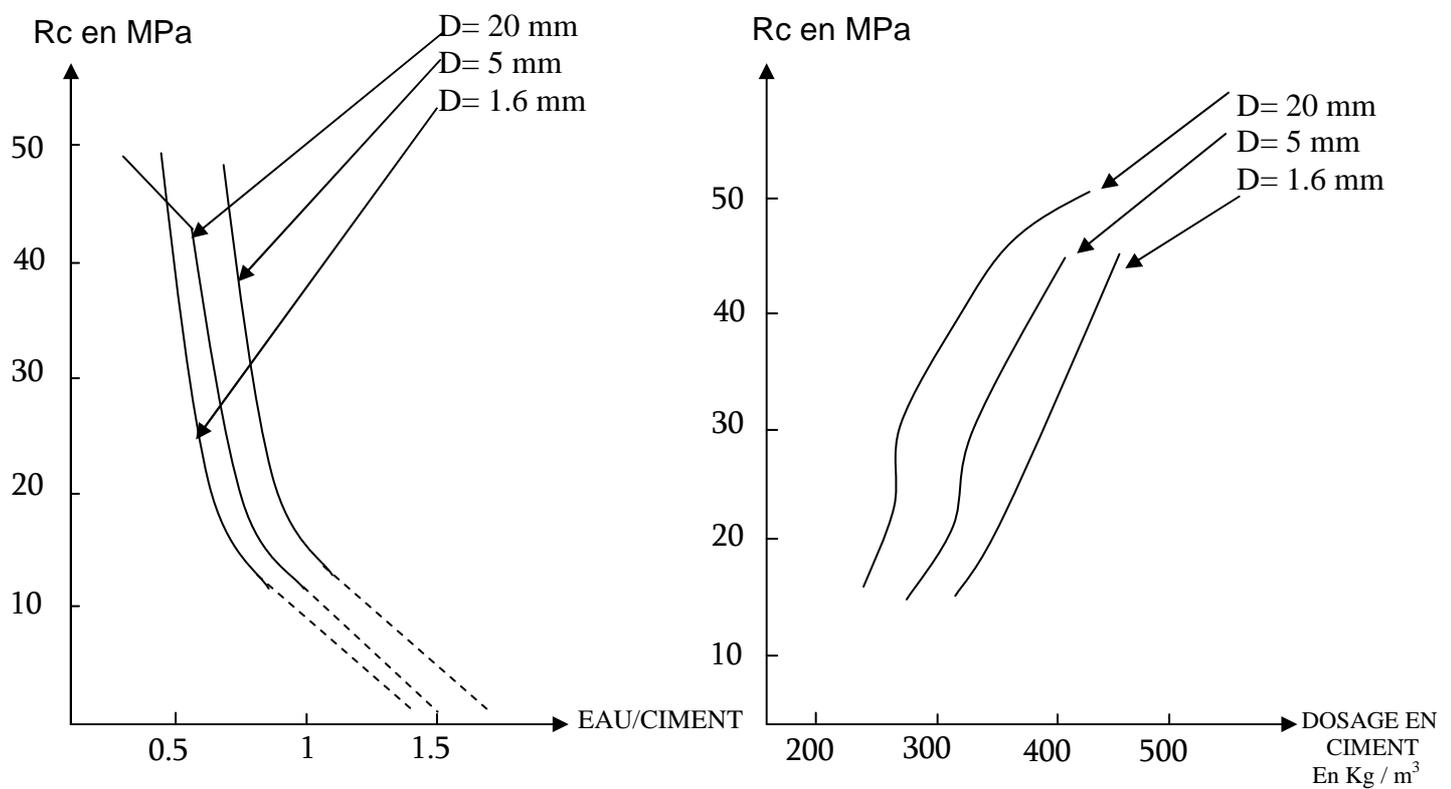


Figure I-04 : Effets de la granularité sur la résistance du béton [11]

On remarque sur cette présentation, que l'augmentation de la granularité augmente la résistance. Mais si on fixe le paramètre E/C dans les limites de plasticité (0.5-1.5) les meilleurs résultats correspondent de granularité moyenne.

I-2-2-5 Influence de l'état de surface des granulats

La forme géométrique des granulats influe sur la cohésion entre les grains des granulats et la pierre de ciment, ce qui nécessite donc lors des choix des granulats une large connaissance des paramètres.

La forme et l'état de surface des granulats sont des paramètres selon le quelles on peut choisir le granulats favorable pour la composition du béton.

Quelques chercheurs indiquent le rôle négatif des agrégats lamelleux sous forme d'aiguilles dont l'utilisation diminue la résistance et augmente la dépense en ciment. [12]

Hermite[13] ne permet l'utilisation des gros granulats sous forme d'aiguilles et de plaques lamelleuses qu'en faible quantité. En procédant à un bon compactage on peut obtenir des bétons avec des caractéristiques mécaniques élevées en utilisant des agrégats sous forme de lamelles.

Quelques auteurs proposent l'addition dans la composition 30% des agrégats sous forme d'aiguilles. La présence de ces morceaux en aiguilles en grande quantité (supérieure à 50%). Entraîne des difficultés au cours du compactage du béton provoquant ainsi l'abaissement de la résistance mécanique du béton.

En fait, dans l'ouvrage [7] on indique que la présence d'agrégats sous forme de lamelles influe positivement sur la résistance du béton à la flexion et par fendage. Pour teneur en gros granulats sous forme de lamelles égale à 30% la maniabilité ne change pas tandis que sa résistance à la compression augmente de 20%, celle à la flexion et par fendage augmente de 5%.

Ainsi que , et comme montre les figures (I-05 , I-06) [11] la forme des fines influent sur la consommation d'eau de gâchage.

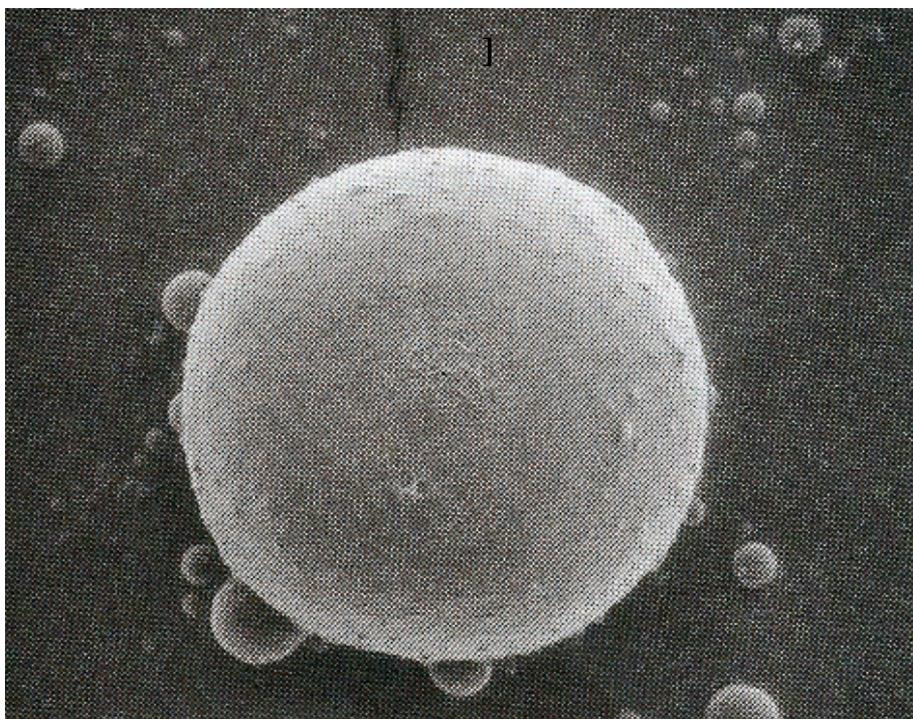


Figure I-05 : la forme sphérique conduit une réduction d'eau [11]



Figure I-06 : la forme anguleuse conduit à un dosage supérieur en eau [11]

Tableau I-2 ci-après récapitule en générale l'influence d'état de surface des granulats sur la facilité de mise en oeuvre

Tableau I-2

Influence qualitative des paramètres d'état de surface sur la facilité de mise en œuvre du béton et l'adhérence pâte –granulat. [8]

Caractéristique du granulat	Mise on œuvre	Adhérence
Mal propreté du granulat	Défavorable	Très défavorable
Granulat roulé (angularité faible ou nulle)	Favorable	Défavorable
granulat concassé (angularité maximale)	Défavorable	Favorable
forme mauvaise (granulats roulés)	Défavorable	Défavorable
forme mauvaise (granulats concassés)	Défavorable	Très défavorable

I-2-2-6 Influence de la granulométrie du sable :

La granulométrie du sable a une grande importance sur la qualité des bétons. Une bonne granulométrie du sable permet d'économiser le liant sans réduire la résistance mécanique du béton. La granulométrie du sable doit assurer :

- d'une part un volume minimal des vides entre les grains.
- une surface spécifique minimale des grains.

L'analyse réalisé a été consacrée à la mise en évidence de l'influence de la composition granulométrique du sable sur les propriétés du béton et les mélanges de béton . D'après l'analyse expérimentale on voit que lorsque les intervalles entre les particules de sable sont petits, ils peuvent être remplis partiellement d'air ou d'eau mais ils ne remplissent pas de pierre de ciment. Ce phénomène apaise la résistance au gel et la résistance du béton ainsi que son étanchéité. [14]

Quand on utilise le sable avec une grande teneur en grains fins (de dimensions 0.15 à 0.6 mm)les boules sableuses non imbibé de pâte de ciment se forment.

Les grains de sable dont les dimensions s'approchent de celles du ciment jouent en réalité le rôle d'adjuvants minéraux actifs ou inertes en fonction de leur composition minéralogique et du régime de durcissement.

Le sable dont les dimensions dépassent 50 μ peut être considéré comme un vrai agrégat. On recommande de séparer les fractions inférieures à 0.15 mm en deux ou trois fractions ; par exemple :

- la fraction 0 à 50 μ
- la fraction 50 à 100 μ
- la fraction 100 à 150 μ

Pour préciser l'influence de la granulométrie du sable sur la résistance du béton et la consommation en ciment, **Gordon [7]** a étudié les sables de granulométries diverses ; Cet auteur a conclu que la granulométrie du sable de 0.15 à 5 mm n'influe pas sur la résistance du béton si sa composition est optimale.

D'autres chercheurs ont aussi confirmé cette conclusion [15]. On souligne que lorsqu'on remplace un sable par un autre et que cela fait varier la résistance du béton, la cause ne consiste pas en granulométrie. Il faut rechercher dans d'autres facteurs tels que : la composition du béton, son ouvrabilité, le coefficient de compactage du béton frais, la composition minéralogique et forme des grains ainsi que leur propreté. Contenu de la fraction granulométrique 0 à 0.15 mm. Présence des grains argileux de dimensions 0 à 0.15mm et des impuretés nuisibles.

Un facteur de grande importance c'est la dépense en ciment qui dépend beaucoup de la granulométrie du sable. Le béton préparé à base de sable moyen exige une dépense minimale en ciment. Le besoin en eau et la dépense en ciment augmentent de 8 à 20% quand on utilise le sable fin ; pour le sable gros cette augmentation est insignifiante. Le fait que l'utilisation des gros sables mène à un petit excédent de dépenses en ciment peut être expliqué par le contenu diminué de la fraction inférieure à 0.6mm dans ces sables ; ce qui influe négativement sur l'ouvrabilité du béton frais. Les sables fins augmentent la surface spécifique totale ce qui exige aussi l'augmentation de la dépense en pâte de ciment dans les mélanges de béton de même maniabilité. Il convient de noter que les auteurs précédemment cités indiquent qu'au cours de la réalisation des recherches de l'influence de la granulométrie du sable sur la résistance du béton. Il n'était pas possible de sélectionner la granulométrie des sables comme l'unique variable car la variation de la composition est aussi nécessaire.

I-2-2-7 Influence de module de finesse

La figure I-07 montre les variations de la plasticité et de la résistance d'un béton en fonction du module de finesse à dosage en eau constant.

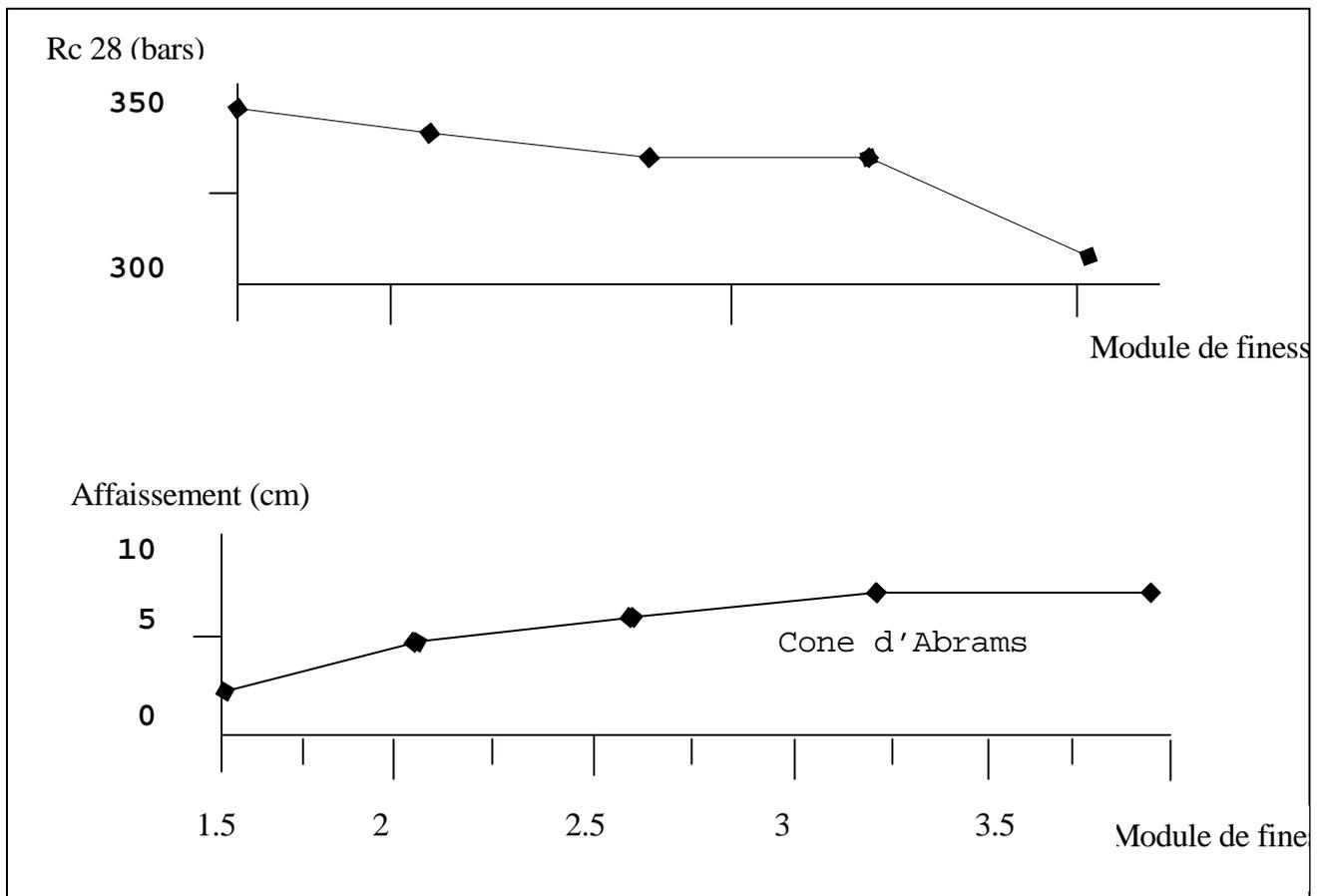


Figure I-07 : variation de la plasticité et de la résistance en compression en fonction du module de finesse à dosage en eau constant [14]

Les figures I-08 et I-09 montrent successivement la variation du coefficient de perméabilité et de la résistance en fonction du module de finesse selon [14] [16]

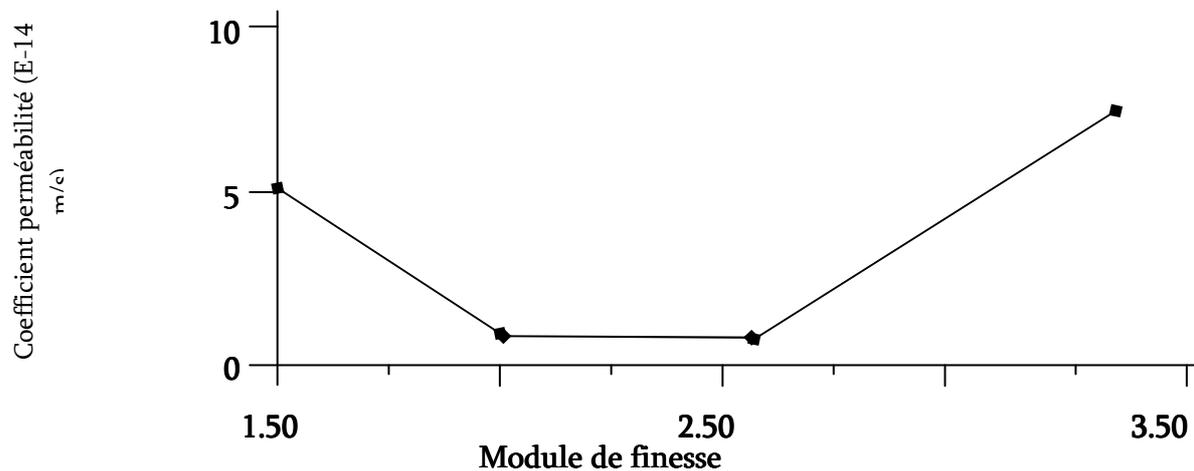


Figure I-08: perméabilité mesurée par écoulement de kérosène sous pression (20bras) et pendant une heure (un dosage en ciment de 350 Kg/ m³) et un affaissement constant [14]

Rc 28 (bars)

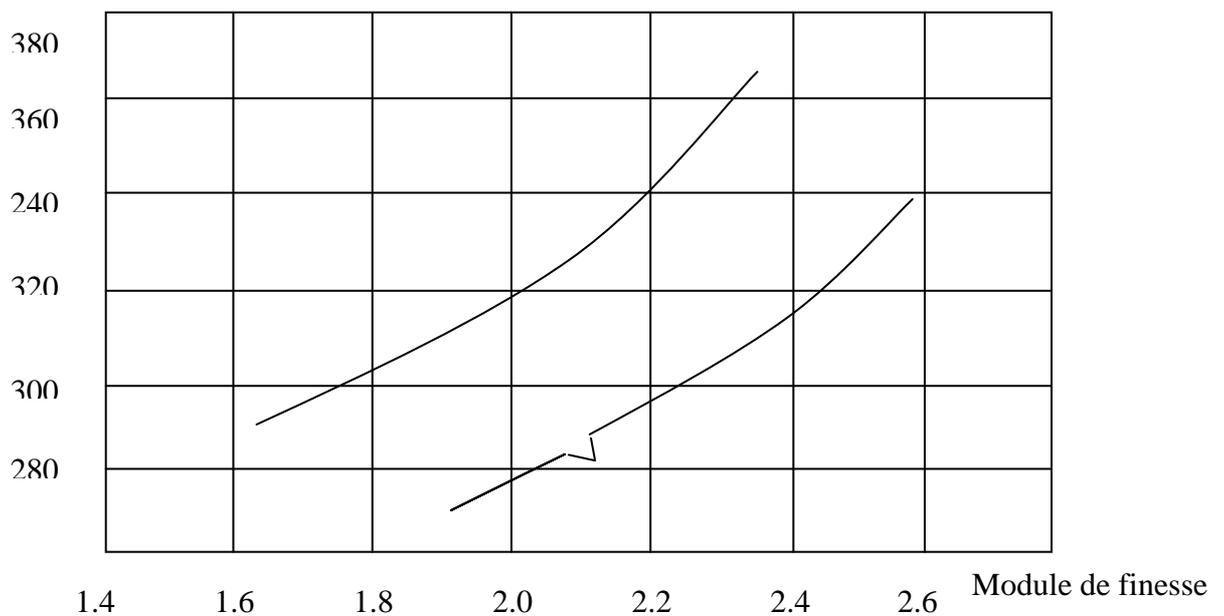


Figure I-09 : Relation approximative entre le module de finesse

et la résistance en compression du béton [16]

La figure I-10 montre la variation de la résistance en compression et de la quantité d'eau en fonction du module de finesse selon [14]

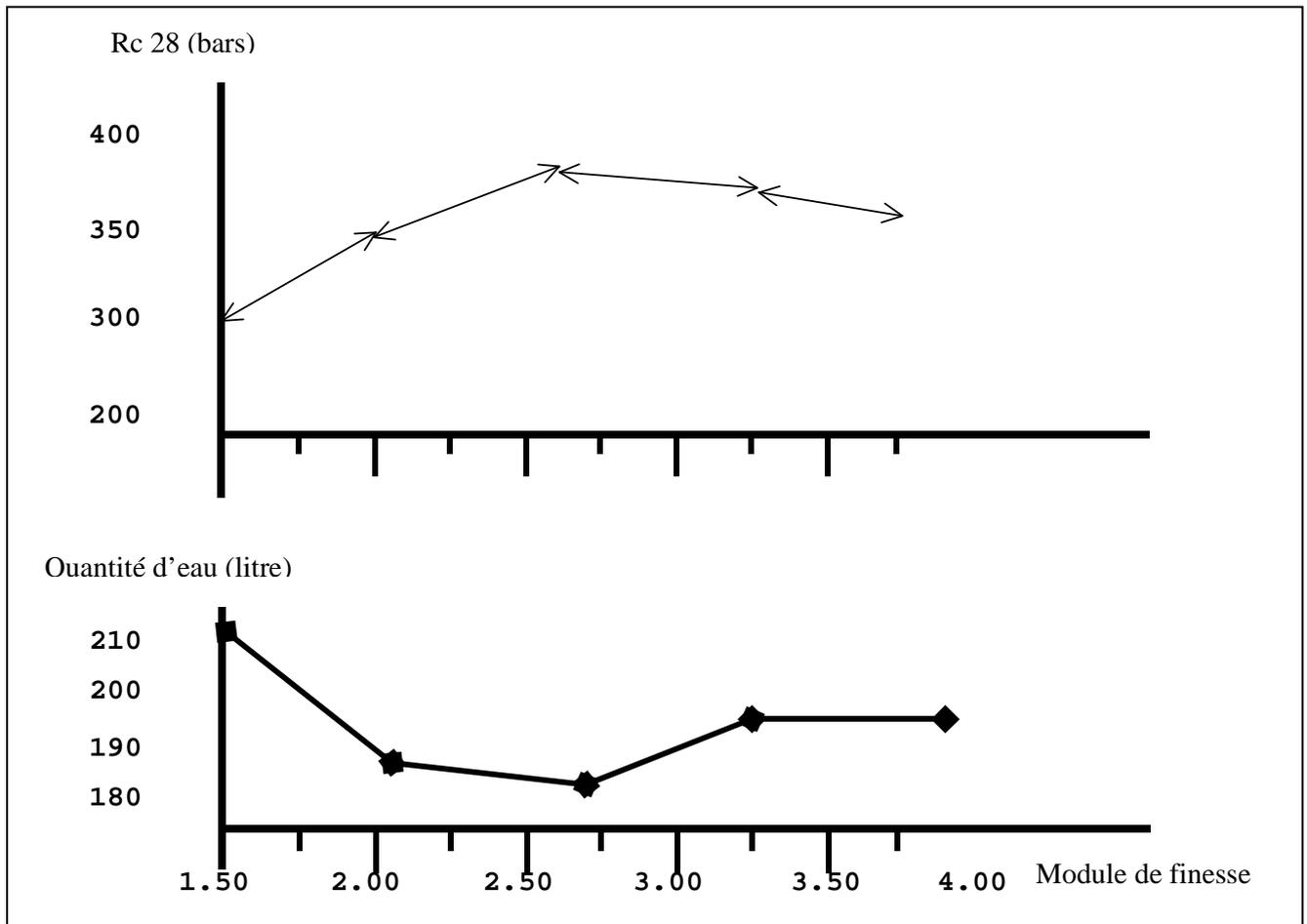


Figure I-10 : variation de la résistance en compression et de la quantité d'eau en fonction du module de finesse [14]

Selon l'ouvrage [14], et comme l'indique la figure I-10 ci-dessus ; l'augmentation de module de finesse conduit à une augmentation en résistance et diminution en eau de gachage jusqu'à la limite où la résistance soit minimum pour des valeurs de module de finesse entre 2.2 et 2.8, au delà la résistance diminue et l'eau de gachage augmente.

La figure I-11 explique approximativement l'effet du module de finesse sur l'affaissement [17]

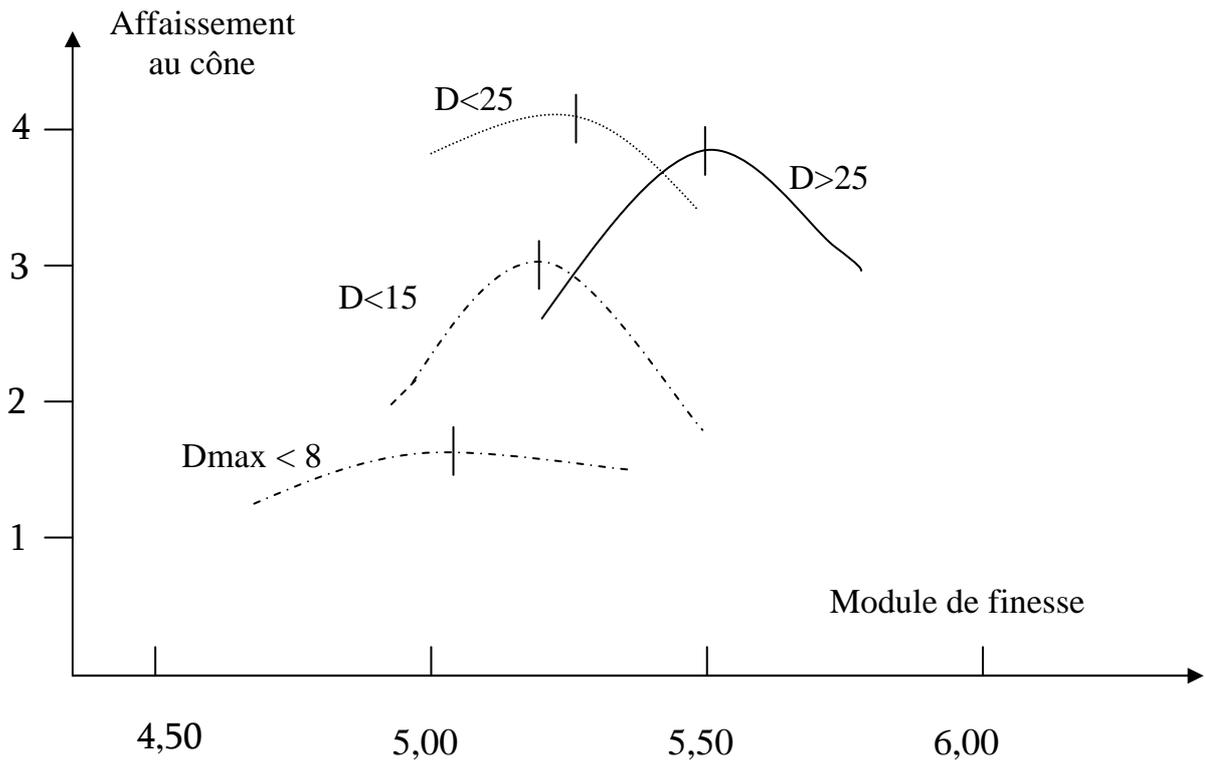


Figure I-11 : affaissement au cône d'Abrams en fonction du module de finesse [17]

La figure I-11, montre que la variation d'affaissement au cône en fonction de module de finesse, est liée également par les dimensions des granulats. Sachant que le module de finesse d'un bon sable est compris entre 2,2 à 2,8.

I-2-2-8 Influence de l'équivalent de sable

La figure I-12 suivante explique bien la variation de la résistance du béton en fonction de l'équivalent de sable

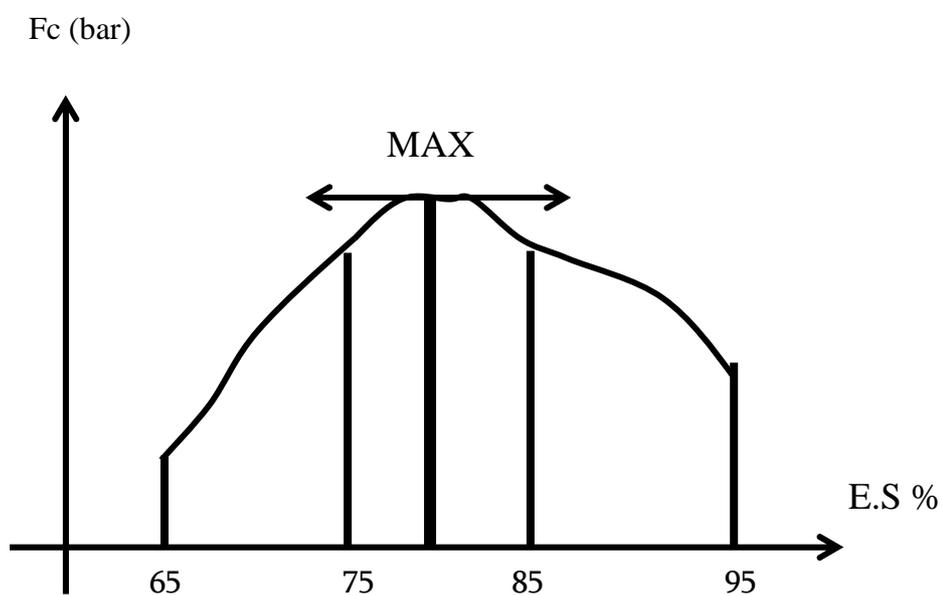


Figure I-12 : Résistance du béton en fonction de l'équivalent de sable [18]

La figure I-12, montre bien que les valeurs favorables de l'équivalent de sable (E.S) pour un béton résistant, se trouvent dans l'intervalle entre 75% et 85%.

I-3- RECHERCHES SUR LES UTILISATIONS DU SABLE DE DUNE EN GENIE CIVIL

Pour limiter les recherches sur le sable de dune, on doit préciser qu'est ce qu'un sable de dune.

D'après **OBERTO OSSERA [19]** ; le sable de dune c'est un ensemble des grains fins de différentes compositions, gypseuse, quartzeuse, et carbonées avec des proportions très faibles d'argile. Ces grains subissent une déflagration éolienne, et sont caractérisés par une granulométrie fine, la grosseur maximal entre 0 et 5 mm, et une granulométrie arrondie et bien classé.

A l'aide de cette définition on peut dire que l'utilisation du sable de dune dans le domaine de génie civil n'est pas un problème nouveau, au point que cette utilisation se manifeste dans les travaux de remplissage des fouilles, travaux de revêtement, étanchéité...etc.

Il s'agit donc des travaux de finitions et de corps d'état secondaire, mais dans les dernières années un travail d'investigations qui a étudié la possibilité d'utiliser le sable de dune comme un constituant principal dans les structures des ouvrages en génie civil. Plusieurs actions de recherches ont été entreprises et engagées.

I-3-1- Présentations générales de la recherche

Dans la quasi totalité des documents et des ouvrages bibliographiques concernant le béton à base de sable de dune sont effectués sur le bétons de sable, c'est à dire des bétons qui ne contiennent comme granulats que le sable et autres ajout. Ce qui révèle que l'utilisation de sable de dune dans le béton n'avait été connue clairement qu'après l'apparition du béton de sable.

Dans la recherche bibliographique qui se suit nous rassemblons quelques recherches menées dans ce sujet, notamment dans la région où ce matériau est abondance, ainsi que les régions qui présentent un sable de même caractéristique que le sable, de dune comme le cas de la Russie.

Egalement on complète la recherche par d'autres efforts relatifs à l'exploitation du sable de dune dans les ouvrages routiers.

I-3-2- Recherche menée dans le golfe d'Arabie

Suivant le rapport de synthèse des travaux élaboré par **KOTZIAS [20]** relatif aux recherches menées dans ces régions, le sable de dune à été utilisé dans le béton de sable pour les deux raisons suivantes :

- Les gros granulats ne sont disponibles que dans des endroits très lointains.
- Il y a abondance de sable de dune qu'on peut obtenir à moindre frais

Le sable de dune de ces régions se caractérise par un module de finesse égale à 1.5 par ailleurs la granulométrie de ce sable était en dehors de la limite du fuseau granulaire recommandé.

Le mélange adopté pour la construction est le suivant:

Sable	1350 kg/m ³
Ciment (CPJ II)	460 kg/m ³
E/C	0.65 a 0.50

Les résultats des essais de résistance obtenue pour deux valeurs de rapport E/C

E/C = 0.5 la résistance à la compression à 28 jours 22 MPa

E/C = 0.65 la résistance à la compression à 28 jours 12 MPa

L'utilisation de ce matériau dans ces régions, généralement consiste dans la construction des fondations, murs de soutènement et dalles des planchers

I-3-3- Recherches menées en Afrique occidentale

TYLER [21] dans son rapport il a collecté toutes les informations disponibles sur les bétons de sable.

En ce qui concerne les matériaux utilisés :

Sable : a une qualité qui varie beaucoup d'une région à l'autre mais généralement il se caractérise par une granulométrie fine, et module de finesse est de l'ordre de 1.6

Le ciment utilisé, est conforme les normes britanniques BS12

Pour la composition recommandée c'est : 1 volume de ciment avec 6 volumes du sable. L'utilisation de cette composition se manifeste dans les blocs des murs. Les résistances en compression de ces blocs, ne dépassaient pas 4.5 Mpa

Dans la même région une autre recherche a été effectuée par **UZOMAKA**, au **Nigeria** dont le but était l'analyse des quelques facteurs comme l'effet de la dimension des particules du sable, qui affectent la résistance des blocs.

UZOMAKA [22] a utilisé deux sables différents, un sable de dune très fin, et autre grossier, les résultats obtenus montrent que la résistance augmente avec le sable grossier, ce qui n'est pas le cas pour le sable de dune.

Il apparaît évident, quand il s'agit de sable de dune pour obtenir une résistance égale à celle du matériau coulé avec du sable grossier, on est obligé d'utiliser une grande quantité de ciment.

I-3-4- Recherches menées en Russie

La Russie parmi les premiers pays qu'a connu la technique de béton du sable, ce ci peut être expliqué par le fait que ce pays est très pauvre en gros granulats, et ses ressources sont mal réparties.

Dans certaines régions de ce pays, le sable a des caractéristiques presque similaires à celle du sable de dune particulièrement, la propreté et la granulométrie.

La plupart des articles du Russie ne donnent pas assez d'information sur les compositions choisies. Ils sont très peu les documents qui traitent sur le comportement de béton de sable.

Parmi ces documents :

L'étude qui a été élaboré par **I. J. CHAUVIN [23]** porte sur l'influence de la forme des grains et sur la granularité dans la qualité du béton de sable.

Autres études effectuées par **MIKHAILOV, [24]** dans laquelle il définissait un nombre limité des essais permettant de connaître les caractéristiques à obtenir pour une large gamme de ce matériau

L'utilisation du béton de sable se manifeste dans ces régions dans :

- les dalles pavées pour allées piétonnières.
- des toitures.

I-3-5- Recherches menées en Algérie

Vu l'abondance de sable de dune dans le sud Algérien, plusieurs recherches ont été établi pour la composition d'un béton a base de sable de dune pendant les deux dernières décennies

Dans ce cadre, les premières études ont été lancées par le **CNERIB** d'où une série de travaux de recherche ont été engagé pour la valorisation de ce matériau dans la masse de béton. [19]

La première étude avait été menée sur un sable apporte de Djelfa vers l'année 1985[25], ce sable présente une porosité de 45% et classe granulaire de 0/0,63 mm

L'étude consiste en première phase a une recherche d'une formule à dosage optimum en ciment pour le sable utilisé.

- Le dosage en ciment varie de 300, 330 et 350kg/m³
- La granulométrie du sable a été corrigée par l'incorporation des fillers en trois types différents, calcaire, siliceuses et chaux aérienne,

Les résultats des essais de résistance obtenus lors de cette étude n'ont pas dépassés les 100 bars.

En revanche, la mesure de retrait malgré qu'elle ne dépasse pas le 21 jours, a donné de fortes valeurs, ce qui révèle la médiocrité de ces résultats, si l'on envisage les confections d'un béton de sable structural à base de sable de dune.

Après quelques années plus tard, une étude apportée par **A. AHMED CHAOUCH [26]** consolide les premiers pas dans ce sens.

Cette étude vise principalement, l'étude des propriétés physiques de béton du sable de dune.

AHMED CHAOUCH a trait en première étape l'effet du rapport E/C et le dosage en filler calcaire sur la maniabilité de ce béton, ainsi il a pris un aperçu sur l'influence de ces deux paramètres sur la résistance du béton, pour le retrait et le fluage.

Le sable utilisé c'est le sable de dune provenant de la région d'EL Golea, qui présente une granulométrie très fine avec un module de finesse de l'ordre de 1,5.

La composition minéralogique de ce sable, quartzeuse et très peu de portion de feldspath et le gypse.

Pour le ciment c'est le CPA 325

L'étude a commence par la formulation d'une composition sur la base de maniabilité. 5 valeurs ont été prises pour le rapport E/C : 0,4- 0,5- 0,6- 0,7et 0,8; Chaque valeur et accompagne par une variation croissante de concentration en ciment et en sable. En 2ème étape d'autres séries d'essais ont effectués avec l'incorporation des filler et des adjuvants pour le but d'améliorer les propriétés du béton de sable de dune avec le minimum de dosage en ciment. Les compositions obtenues ont subi des essais mécaniques, à savoir les essais de compression et de traction.

La composition optimum aboutie dans cette étude a été formulée comme suit :

E/C	0,6
Dosage en filler	300 kg / m ³
Dosage en ciment	400 kg/ m ³
Sable de dune	1160 kg/ m ³
Eau	240 l/m ³
Adjuvant	2,8% du poids de ciment

Par ailleurs les résultats des essais pour cette composition sont:

	COMPRESSION (BAR)	TRACTION BAR
7 jours	149,18	13,67
28 jours	206,00	19,33

Pour les essais de retrait opérés sur cette composition montrent que le béton de sable de dune a une grande valeur de retrait que celle de béton ordinaire, où cette valeur atteint jusqu'à 2,5 mm/m, ces valeurs apprécient fortement avec le dosage en eau et ciment.

En ce qui concerne le phénomène du fluage de béton de sable de dune, et d'après cette recherche, les déformations dépendent toujours de l'état de chargement.

D'autre étude menée par le **CNERIB [27]** c'est l'étude qui a été présentée par **A. BATATA**. La présente étude consiste en formuler un béton de sable dune pour l'obtention d'une compacité maximale.

La démarche suivie lors de cette étude est:

- Recherche du dosage en ciment pour atteindre la compacité optimale.
- Substitution d'une fraction du ciment par des fines.

Le sable utilisé c'est le sable de dune d'**EL GOLEA**, qui se distingue par sa finesse et son homométrie (granulométrie serrée) l'équivalent de sable égal 90%, et le module de finesse égal 1,47.

Les fines utilisées se sont les fillers calcaires par calibrage de sable de concassage 0/3 à travers un tamis de 80 μ m

Le ciment employé c'est le CPJ 325.

En première phase l'étude a compris la formulation d'une composition de ciment – sable pour le but d'obtenir une compacité maximale allant jusqu'à 70%, avec un dosage en ciment de 400 kg/m³

La deuxième phase dans cette étude consiste d'ajouter les fines par des portions croissantes de 0 à 10%, et suivant un dosage en ciment varié (270 kg/m³, 330 kg/m³, 370 kg/m³, 400 kg/m³).

En troisième phase, des essais de compression ont été réalisés, et les résultats sont traités par deux manières différentes :

- La résistance en fonction E/ C+F
- La résistance en fonction C/ S+F

E : est le dosage en eau.

C, S, F sont les dosages respectifs en ciment, sable et fines.

La composition finale obtenue comporte:

Le ciment	330 kg/ m ³
Le sable	1530 kg/ m ³
Eau	260 L/ m ³
Fine	6%

A la fin de cette étude, des essais d'informations concernant le retrait du béton de sable de dune ont été réalisées, et ont abouti à des valeurs assez importantes (1,5 mm/m).

Suivant ces recherches et les résultats encourageants qui les ont envisagées, l'opportunité de faire une étude d'application par l'incorporation des armatures est offerte.

Cela qu' a venu par une étude apportée par **M.BENMALEK [27]** l'étude de ce dernier fait un pas intéressant et un travail nouveau concernant le béton de sable de dune, au point que , **M.BENMELK** a opère une étude sur des éléments de structure en béton de sable de dune. Le béton de sable dans cette étude a été fait sur le sable de dune de la région de BOUSAADA, le module de finesse de ce sable égale 1.2.

La formulation suivie pour composé ce béton a été basé sur une meilleure maniabilité pour une résistance maximale

Après série d'essais sur des éprouvettes (16x32) , la composition optimal a envisage les proportions suivantes :

Sable	1243 kg/m ³
Ciment	350 kg/m ³
Filtre calcaire	300 kg/m ³
Eau	281 l/m ³

Cette composition a subi en première étape un essai d'information pour tirer une idée sur l'adhérence entre le béton de sable de dune et les armatures.

Les valeurs obtenues ont été comparées avec celle des bétons classiques, où les résultats de ces essais sont à l'ordre de 6.7N/mm². Ce pendant les valeurs des bétons classiques varier entre 3 a 9 N/mm².

Ces résultats a permis **M.BENMELK** de compléter sa recherche par une application sur une poutre ferrailée.

Les dimensions de poutre étaient 2.2m de longueur et (12.5x22) cm² de section, avec un ferrailage en 4T12 quadrille en Ø6.

Dans cette application deux essais différents ont été étudiés ; Les comportements en flexion et les comportements au cisaillement.

Les résultats trouvés à travers ces essais ont montré que les comportements en flexion et au cisaillement pour une pièce armé en béton de sable de dune ne diffère plus à tel comportements pour un béton classique, alors on a remarqué la présence de tous les phases de déformation, qu'il soit élastique que plastique.

A travers ces travaux d'investigation, la recherche dans ce sujet ne cesse pas de se contenir, mais par contre, elles se diversifient et faisant l'objet de recherche dans d'autres ouvrages que celles à base de béton ; Comme les recherches sur le sable bitumineux appliqué dans des ouvrages routiers, et les pistes aéronautiques.

Dans ce sens, deux études ont été réalisées, ayant pour objet de mettre en valeur le sable de dune dans la construction des corps de chaussées.

La première étude concernant une recherche qui a été effectuée par **A.GHERIEB [28]**.

L'objet de cette étude c'est l'obtention d'une composition à base de sable de dune pour la construction des pistes aéronautiques.

Le sable utilisé c'est le sable de dune de la région de Hassi Berkine, qui se caractérise par une granulométrie serrée (sable homométrique) avec module de finesse $MF=0.72$

La composition obtenue contient les composants suivants:

- ciment 350kg/m³
- eau 245 l/m³
- sable de dune 1358 kg/m³
- adjuvants 4.13 kg/m³
- filler calcaire 200gk/m³

L'étape de formulation se base sur la résistance maximale pour une maniabilité admissible.

Après la détermination du dosage avec différents composants, une série d'essais a été effectuée ayant pour but de connaître la performance de cette composition.

Les résultats trouvés ont donné une résistance à la compression égale 15 MPa, et une résistance à la traction égale 3Mpa. Les résultats ne sont pas valables pour une couche de roulement dont la résistance à la compression doit être supérieure à 25 MPa, en revanche, ces résultats donnent à cette composition l'aptitude d'être utilisée en couche de fondation dont la résistance à la compression minimale à l'ordre de 15 MPa.

La deuxième étude celle concernant l'utilisation le sable de dune dans les ouvrages routiers, et qu'a été élaboré par la **CTTP [29]** (contrôle technique en travaux publics) en collaboration avec la DTP de Ouargla.

L'objectif de cette étude c'est la formulation d'un sable enrobé qui présente les meilleures performances mécaniques à base de sable de dune.

Le sable utilisé provient de la région d'Ouargla (Ain El-Beida), qui se caractérise par un module de finesse égale 1.02 et un équivalent de sable de 94%..

Ce travail a été réalisé en deux étapes :

- La première étape consiste à choisir une formulation sur la fondation des performances mécaniques.
- La deuxième étape a été réalisée sur site pour but d'assurer la résistance de la planche expérimentale.
- Dans l'étape de sélectionner la formulation optimale quatre compositions ont été étudiées.
- Sable enrobé de 100% sable de dune
- 85% SD+15% sable alluvionnaire
- sable enrobé de 70% SD+ 30% sable alluvionnaire

- sable enrobé de 30% sable de dune +70% sable alluvionnaire
Ces compositions sont subies aux essais de performance recommandés dans ces ouvrages.
Finalement, les formules qu'ont rempli aux exigences de performance sont :
- 70% sable de dune + 30% sable alluvionnaire + 7% bitume
- 30% sable de dune + 70% sable alluvionnaire + 6.5% bitume

Concernant les résultats sur site ont été insuffisante, ce qui exige quelque amélioration par des ajouts.

CONCLUSION

Sur la base des études bibliographiques vu dans le présent chapitre , le sable de dune fait l'objet des plusieurs travaux d'investigation menés dans des différentes régions, aussi bien en Algérie qu'en d'autre pays, où le sable de dune est très abondant, comme le golf d'Arabie et l'Afrique occidentale.

Dans la plus part de ces travaux, on remarque que l'utilisation du sable de dune dans la masse du béton n'a été connue qu'après la connaissance de béton de sable.

La recherche en première phase est effectuée pour l'obtention d'une formule de composition, qui s'appuie sur la base d'une meilleure compacité avec une maniabilité adéquate, à ce point la, dans la majorité des études, les compositions obtenues sont contenues les constituants suivant :

Ciment + Eau + Sable de dune + Fin (filler calcaire)

Egalement, on a rassemble préalablement dans cette étude bibliographique, les propriétés essentiels du béton ordinaire, afin de ressortir les arguments de comparaison entre les propriétés d'un béton ordinaire et celles trouvée expérimentalement dans le béton de sable de dune, cependant on a constate que le béton de sable de dune présente des comportement presque similaire aux béton ordinaire, notamment l'ouvrabilité, la résistance, la compacité. En revanche, la propriété de retrait du béton de sable de dune présente des valeurs médiocres par rapport aux celles connus dans le béton ordinaire, ce qui pose une inquiétude relative à la composition de ce dernier.

Ainsi que pour le complément des connaissances, une collecte des caractéristiques des granulats et leur influence sur la composition du béton a été regroupée, pour le but de mettre en évidence le rôle des granulats s'il s'agit un changement entier ou partiel dans le squelette granulaire, et ce qui fait un objet intégral dans cette étude.

Introduction

Pour la composition d'un béton normal, il faut satisfaire les normes internationales, pour cela on doit choisir des constituants convenables qui remplissent les exigences recommandées.

Dans ce chapitre nous allons étudier les caractéristiques des constituants du béton, on opère des essais d'identifications suivant les normes AFNOR .

Les matériaux utilisés, sont ceux disponibles au niveau local a savoir : sable de dune de AIN EL-BEIDA, sable alluvionnaire de H.ESSAYEH, gravier de HAUD ELHAMRA, et le ciment de AIN TOUTA.

II-1-Gravier

Le gravier utilisé provenant de la carrière de HAUD EL-HAMRA est constitué de calcaire compact.

Dans notre étude deux classes de gravier ont été utilisées.

- gravier G₁ (3/8)
- gravier G₂ (8/15)

Le tableau **II-1** donne la composition chimique du gravier [29]. Cette analyse chimique est réalisée au laboratoire de LTPS de Ouargla

Tableau II-1 : Composition chimique du gravier

Calcit C_a Co₃	Sulfate CaSo₄24₂O	Les Insolubles
55 à 70 %	O à 5 %	Le reste

D'après cette analyse on constate que le gravier utilisé contient une teneur en sulfate plus au moins admissible par la composition du béton.

II-1-1-Masse volumique apparente :

La masse volumique apparente du gravier, c'est la masse à l'état naturel du matériau rapporté à l'unité de volume, y compris les grains et les vides, elle est donnée par la formule suivante [9] [30]

$$\rho_a = M_t/V_t \quad (\text{II.1})$$

M_t = La masse totale d'échantillon

V_t = Le volume total d'échantillon

II-1-2-Masse volumique absolue :

C'est la masse par unité de volume de la matière qui contient les grains solides sans tenir compte des vides existants entre les grains, elle est donnée par la formule suivante : [9] [30]

$$\rho_s = M_s/V_s \quad (\text{II.2})$$

M_s = La masse des grains solides

V_s = Le volume des grains solides

Les résultats des essais de la masse volumique apparente et la masse volumique absolue du gravier sont :

Gravier G_1 (3/8) : la masse volumique apparente $\rho_a = 1300 \text{ kg/m}^3$

la masse volumique absolue $\rho_s = 2630 \text{ kg/m}^3$

Gravier G_2 (8/15) : la masse volumique apparente $\rho_a = 1330 \text{ kg/m}^3$

la masse volumique absolue $\rho_s = 2630 \text{ kg/m}^3$

II-1-3-Essai de propreté (Norme NF 18.301):

On lave un échantillon de gravier sur le tamis de 0,5 mm, le pourcentage des passants est appelé degré des impuretés, ce pourcentage est calculé par la formule suivante :

$$IA = (M_1 - M_2)/M_2 \times 100 \% \quad (\text{II.3})$$

M_1 = la masse de l'échantillon avant lavage

M_2 = la masse de l'échantillon après lavage

- La norme (NF 18 - 301) préconise un pourcentage IA < 5 % [31]

G_1 (3/8) IA = 0,83 %

G_2 (8/15) IA = 1,91 %

Nous remarquons que la propreté du gravier est admissible

II-1-4-Coefficient d'absorption d'eau : (NF P18-555) :

Le coefficient d'absorption d'eau du gravier est calculé comme la suite :

$$CA = (M_1 - M_2)/M_2 \times 100 \% \quad (\text{II.4})$$

M_1 = la masse du gravier à l'état de saturation

M_2 = la masse du gravier à l'état sec

Les résultats obtenus pour les deux classes de gravier sont :

G_1 (3/8) CA = 1,1 %

G_2 (8/15) CA = 1,61 %

On remarque que le gravier utilisé a une capacité d'absorption d'eau acceptable

Les normes préconisent pour un bon gravier à béton un CA < 2,5 % [32], ce qu'est vérifié pour notre gravier

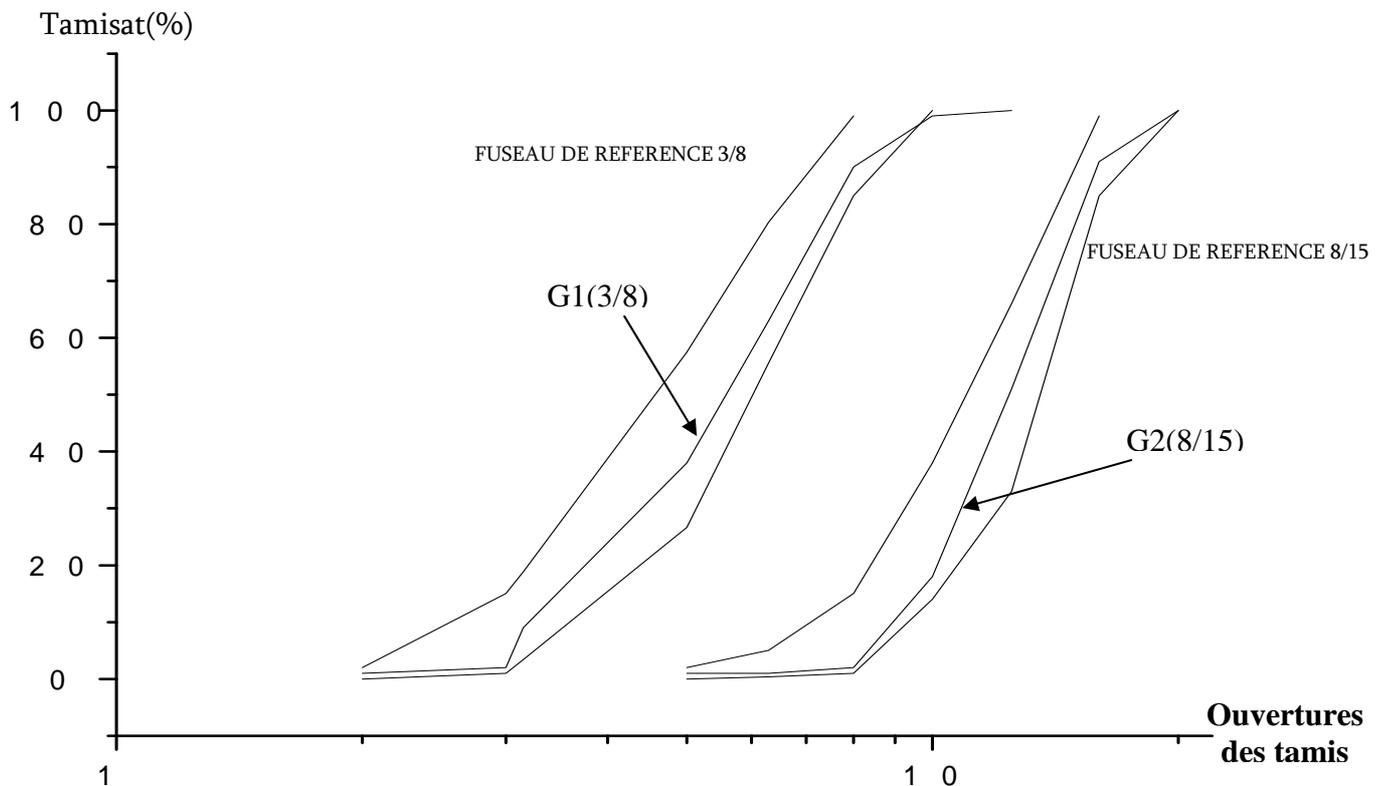
II-1-5- Analyse granulométrique :

L'analyse granulométrique permet de déterminer la grosseur et les pourcentages pondérés respectifs des différentes familles des grains constituant l'échantillon. Cet essai est défini par la norme (NF P18-560)

- Pour les deux classes de gravier, les analyses granulométriques effectuées sont données dans le tableau **II.2** et sont représentées dans la figure **II.1**.
- Ces résultats montrent que les courbes granulométriques pour les deux classes de gravier, se situent dans les fuseaux recommandés.

Tableau : II – 2 Analyse granulométrique de gravier G1(3/8) & G2 (8/15)

Ouvertures des tamis(mm)	FUSEAU 3/8		FUSEAU 8/15		COURBE 3/8 & 8/15	
31,5						
25						
20			100			100
16			85	99		91
12,5			33	66	100	51
10	100		14	38	99	18
8	85	99	1	15	90	2
6,3	55,53	80,3	0,33	5	63	1
5	26,67	57,5	0	2	38	1
3,15	3,4	18,83			9	
3	1	15			2	
2	0	2			1	

**Fig. : II – 1** Courbe granulométrique de gravier G1 (3/8) & G2(8/15)

II-2- Le sable :

On a utilisé deux sables de différentes origines, le sable de dune de Ain EL –BEIDA (OUARGLA), et le sable alluvionnaire de HASSI-ESSAYAH. Egalement on a opère les essais d'identifications pour les autres compositions de sables, qui sont le résultat du mélange des deux sables.

II-2-1 Analyse chimique :

Le tableau **II.3** montre les pourcentages des composants chimiques du chaque sable. Cette analyse chimique est réalisée au laboratoire LTPS de Ouargla [29].

Tableau II.3 : Compositions chimique des sables. [29]

Pourcentages des composants	Sable de dune	Sable alluvionnaire
% Fe 2O ₃ - AL ₂ O ₃	0,25	0,67
% SO ₄ Ca	2,05	1,03
Insoluble	95,36	95,98
% Nacl	trace	trace
% Perte au Feu	1,16	0,67
% Eau de constitution	1,16	0,67

D'après cette analyse nous remarquons que les composition chimiques pour les deux sables presque sont les mêmes, ce qu'est va être compatible à la melange entre les deux.

II-2-2 Analyse minéralogique du sable de dune :

Suivant les résultats menés à partir de diffractogramme (**figure II-2**), qui a été effectué au niveau du laboratoire de physique à l'université de OUARGLA, on peut constater ce qui suit :

- Le quartz forme une grande part des minéraux avec un pourcentage de 80 %
- Le gypse se trouve sous forme des grains fin de couleur blanchâtre avec un pourcentage de l'ordre de 3 %.
- Le feldspath et la calcite sont trouvé avec des pourcentages faibles au tour de 10 %.

II-2-3 Masses volumiques :

Les résultats des essais de la masse volumique apparente et la masse volumique absolue de différents sables sont :

Sable alluvionnaire	$\rho_a = 1450 \text{ kg/m}^3$
	$\rho_s = 2450 \text{ kg/m}^3$
Sable de dune	$\rho_a = 1330 \text{ kg/m}^3$
	$\rho_s = 2520 \text{ kg/m}^3$

La figure II-2 présente le diffractogramme pour les analyses minéralogiques du sable de dune
Lintensity (counts)

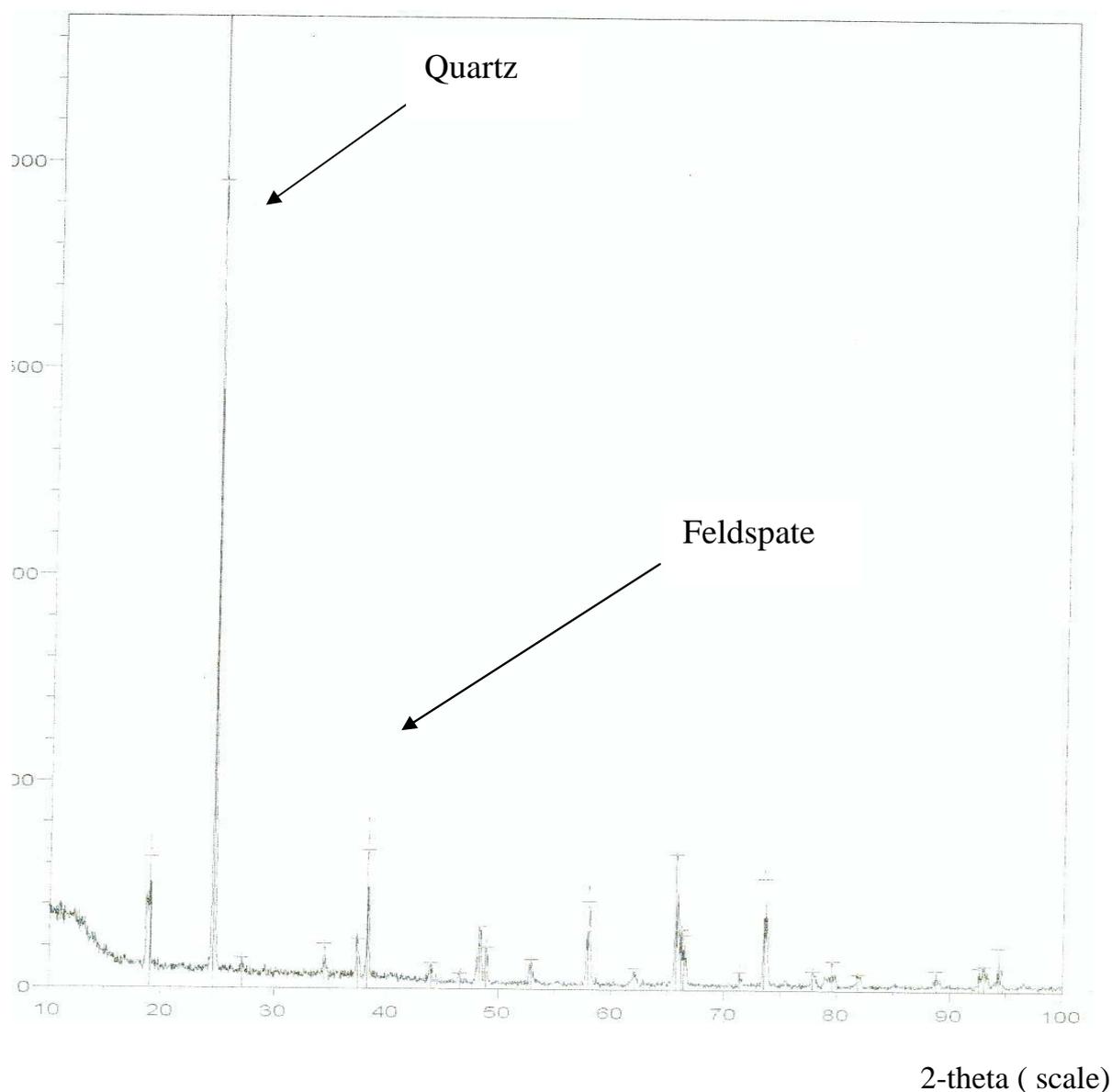


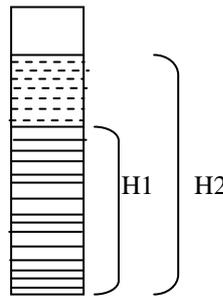
Figure II-2: Diffractogramme de sable de dune

II-2-4 Essai d'équivalent de sable (Norme NF P18-598) :

Cet essai consiste à plonger un poids défini de sable dans une solution flocculant. Après agitation, on laisse décanter le mélange pendant 20 minutes, ensuite on mesure la hauteur dans l'éprouvette normalisée du sédiment (H_1) et du sédiment + flocculant (H_2)

L'équivalent de sable est donné par :

$$ES = (H_1/H_2) \times 100 \% \quad (\text{II.5})$$



L'équivalent de sable est d'autant plus élevé que la teneur en argile est plus faible

Pour notre essai nous avons trouvé les résultats suivantes :

Sable alluvionnaire (SA)	ES = 83 %
Sable de dune (SD)	ES = 97 %
50 % SA + 50 SD	ES = 84 %
25 % SA + 75 SD	ES = 91 %
75 % SA + 25 SD	ES = 90 %

Tous les analyses donnent un $ES > 80$ ceci dit, l'absence presque totale des fines argileuses.

II-2-5 Coefficient d'absorption d'eau :

Pour cet essai les résultats obtenus sont les suivantes :

Sable alluvionnaire	CA = 1,80 % < 2.50
Sable de dune	CA = 2,70 % > 2.50

On remarque que le sable de dune présente un coefficient d'absorption d'eau qui dépasse un peu la valeur admissible ce qui va gêner la fluidité du béton.

II-2-6 Analyse granulométrique :

Puisque la courbe granulométrique intervient dans la composition du béton, on a effectué ces analyses sur tous les sables utilisés y compris ceux obtenus par le mélange entre le sable de dune et le sable alluvionnaire, à savoir :

Sable de dune (SD)

Sable alluvionnaire (SA)

50%SA+50%SD

75%SA+25%SD

25%SA+75%SD

Tableau II- 4 Analyse granulométrique de sable de dune (SD)				
10				
5	0	0	0	100
2,5	0,38	0,38	0,076	99,924
1,25	1,38	1,76	0,352	99,648
0,63	3,41	5,17	1,034	98,966
0,31	97,39	102,56	20,512	79,488
0,16	301,74	404,3	80,86	19,14
0,08	88,51	492,81	98,562	1,438
Ouvertures des Tamis(mm)	Refus Partiel en (g)	Refus cumulé en (g)	Refus cumulé en%	Tamisat en%

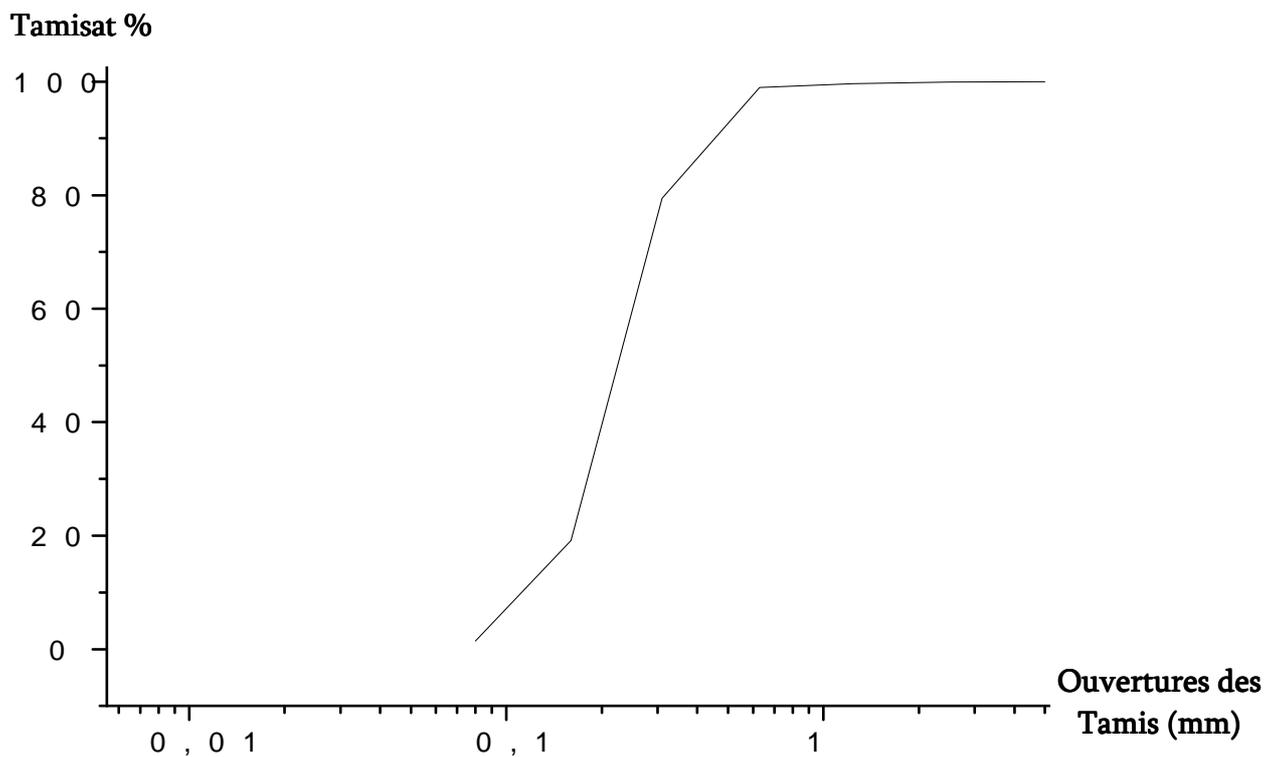


Fig : II – 3 Courbe granulométrique de sable de dune (SD)

La présente courbe montre bien que la granulométrie du sable de dune utilisée est bien serrée, se caractérisé par une granularité discontinue.

Tableau II- 5 Analyse granulométrique de sable de alluvionnaire (SA)				
10	0	0	0	100
5	4,9	4,9	0,98	99,02
2,5	22,73	27,63	5,526	94,474
1,25	77,86	105,49	21,098	78,902
0,63	158,04	263,53	52,706	47,294
0,31	108,62	372,15	74,43	25,57
0,16	85,6	457,75	91,55	8,45
0,08	36,91	494,66	98,932	1,068
Ouvertures des Tamis(mm)	Refus Partiel en (g)	Refus cumulé en (g)	Refus cumulé en%	Tamisé en%

Tamisé %

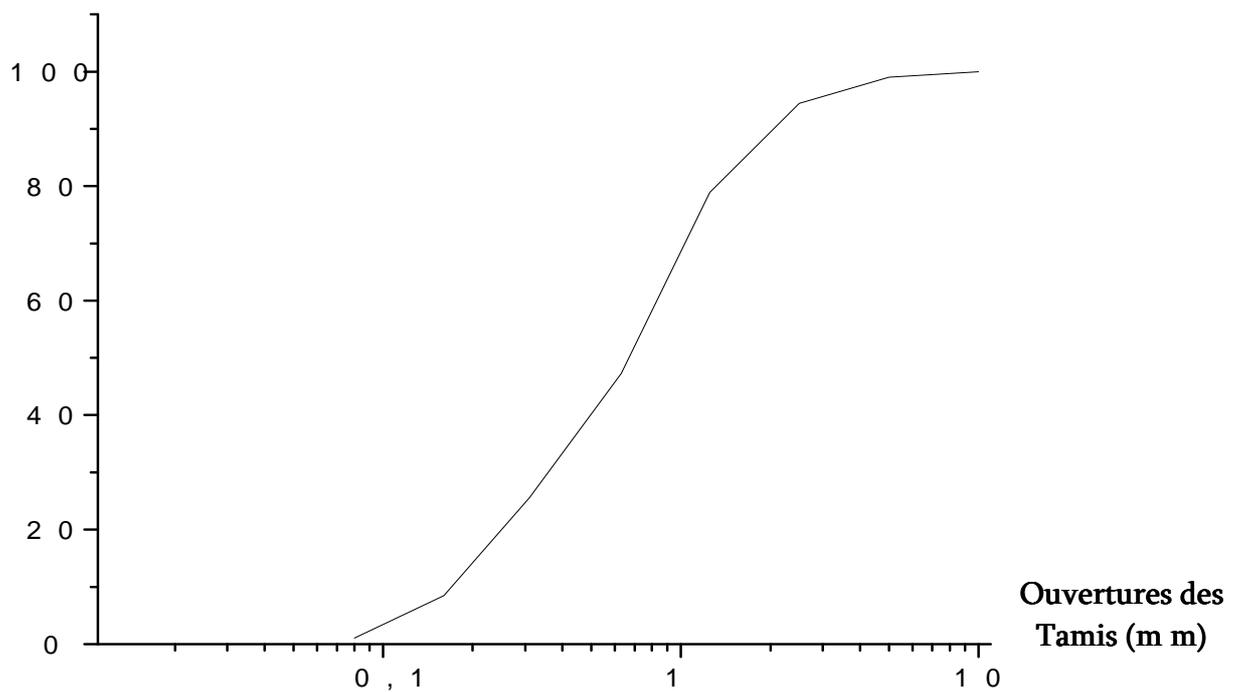


Fig : II – 4 Courbe granulométrique de sable alluvionnaire (SA)

On remarque sur le présent courbe que le sable alluvionnaire utilisé a une granularité étalée et contenue.

Tableau II- 6 Analyse granulométrique de 50 % (SA) + 50 % (SD)				
10	0	0	0	100
5	11,24	11,24	2,248	97,752
2,5	16,75	27,81	5,562	94,438
1,25	47,51	75,32	15,064	84,936
0,63	85,9	161,22	32,244	67,756
0,31	100	261,22	52,244	47,756
0,16	184,35	445,57	89,114	10,886
0,08	49,53	495,1	99,02	0,98
Ouvertures des Tamis(mm)	Refus Partiel en (g)	Refus cumulé en (g)	Refus cumulé en%	Tamisé en%

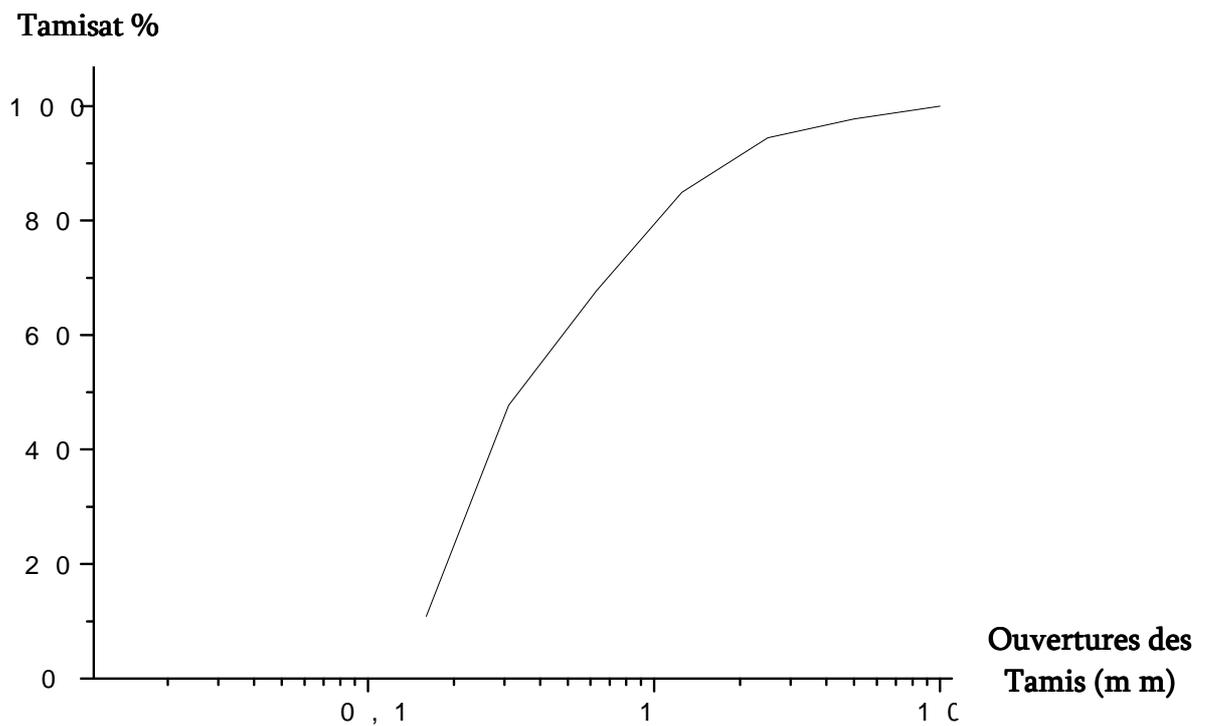


Fig : II – 5 Courbe granulométrique de 50 % (SA) + 50 % (SD)

La présente courbe montre que le mélange de 50%SD+ 50%SA se caractérise par granulométrie légèrement serrée et une granularité un peu discontinue

Tableau II- 7 Analyse granulométrique de 75 % (SA) + 25 % (SD)				
10	0	0	0	100
5	6,39	6,39	1,278	98,722
2,5	24,85	31,24	6,248	93,752
1,25	77,31	108,55	21,71	78,29
0,63	129,92	238,47	47,694	52,306
0,31	97,86	336,33	67,266	32,734
0,16	122,75	459,08	91,816	8,184
0,08	34,21	493,29	98,658	1,342
Ouvertures des Tamis(mm)	Refus Partiel en (g)	Refus cumulé en (g)	Refus cumulé en%	Tamisé en%

Tamisé %

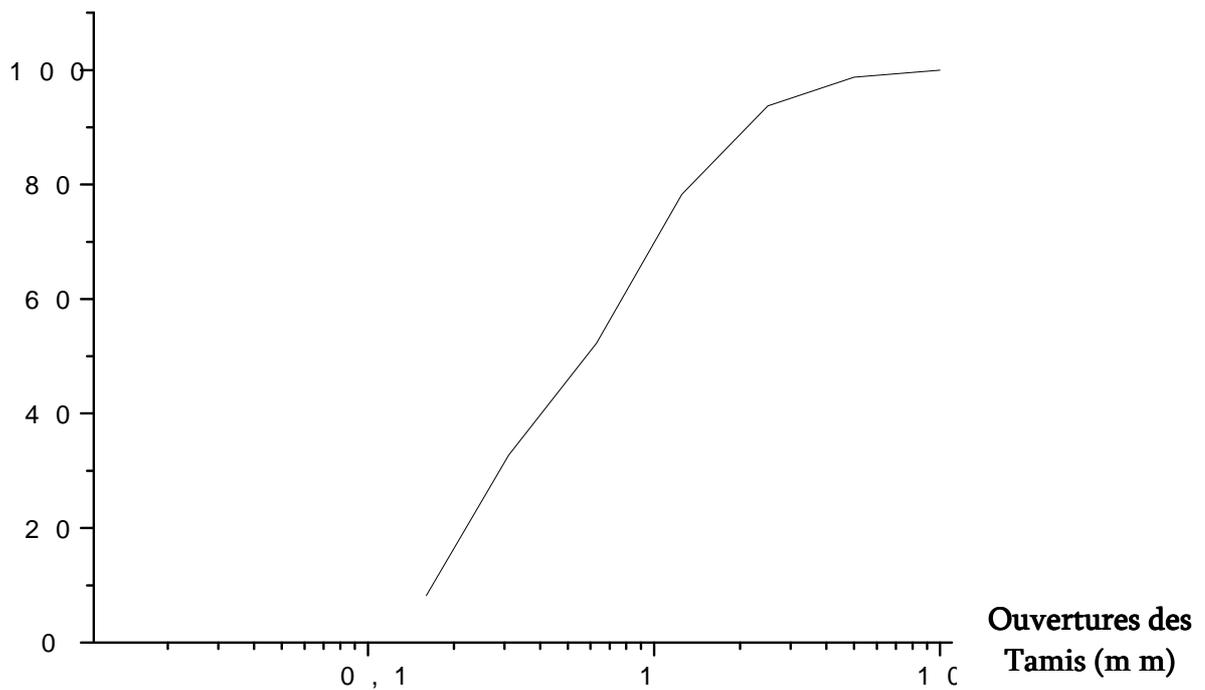


Fig : II – 6 Courbe granulométrique de 75 % (SA) + 25 % (SD)

L'analyse granulométrique du présent sable montre bien que ce dernier se caractérise par une granulométrie un peu étalée.

Tableau II- 8 Analyse granulométrique de 25 % (SA) + 75 % (SD)				
10	0	0	0	100
5	3,38	3,38	0,676	99,324
2,5	9,35	12,73	2,546	97,454
1,25	25,2	37,93	7,586	92,414
0,63	46,86	84,79	16,958	83,042
0,31	103,26	188,05	37,61	62,39
0,16	246,71	434,76	86,952	13,048
0,08	58,69	493,45	98,69	1,31
Ouvertures des Tamis(mm)	Refus Partiel en (g)	Refus cumulé en (g)	Refus cumulé en%	Tamisat en%

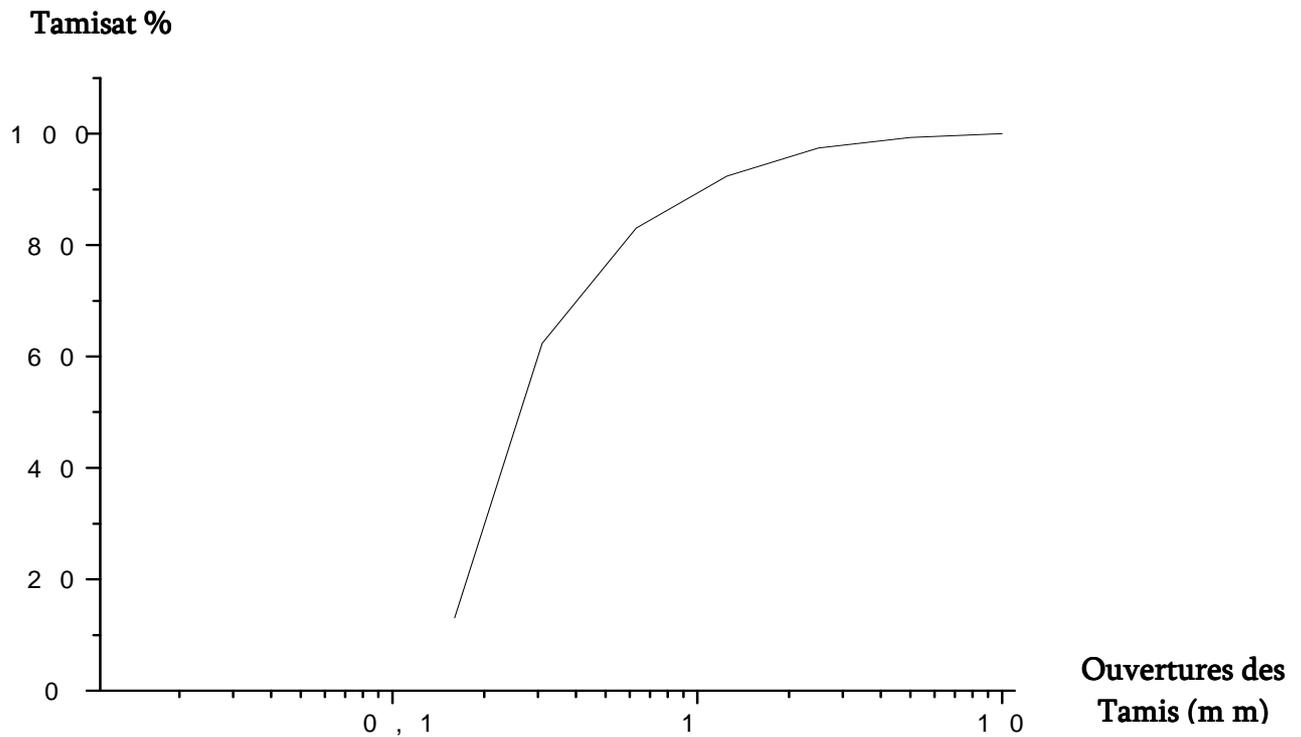


Fig : II – 7 Courbe granulométrique de 25 % (SA) + 75 % (SD)

La courbe granulométrique présentée dans la figure **II-6** montre que le présent sable a une granularité discontinue.

II-2-7 Modules de finesse (norme NF P18-304)

Le module de finesse d'un sable est égal au 1/100^e de la somme des refus exprimés en pourcentage sur les différents tamis de la série suivante :

$$0.16-0.315-0.63-1.25-2.5-5$$

Pour les sables utilisés dans notre étude expérimentale on a trouvé les valeurs suivantes :

Sable alluvionnaire SA	MF=2.4
Sable de dune SD	MF= 1.02
50%SA+50%SD	MF= 1.96
25%SA+75%SD	MF= 1.6
75%SA+25%SD	MF= 2.36

Les normes préconisent pour un bon sable à béton un module de finesse de l'ordre de 2.2 à 2.8

II-3- Le ciment

Le ciment utilisé est un ciment CPJ 45-CEM II –A/32.5 disponible sur le marché, fabriqué par la cimenterie de AIN TOUTA. Les résultats des essais de la masse volumique et de la masse volumique absolue du ciment utilisé sont :

- La masse volumique apparente : $\rho_a = 2120 \text{ kg/m}^3$
- La masse volumique absolue : $\rho_a = 3034 \text{ kg/m}^3$

II-3-1 Surface spécifique

Elle est mesurée par comparaison avec un ciment de référence dont la surface spécifique est connue. Il s'agit de faire passer un volume d'air connu à travers une poudre de ciment, plus la surface spécifique de cette poudre est importante et plus le temps mis par l'air pour traverser la poudre est longue. Dans les conditions normalisées, la surface spécifique est proportionnelle à \sqrt{t} . L'appareil d'essai est appelé « Blaine »

La surface spécifique de Blaine est donnée par la formule suivante :

$$SSB = \frac{k \sqrt{e}^3 \sqrt{t}}{\rho (1-e) \sqrt{\eta}} \quad (\text{II.6})$$

t : temps de passage de l'air dans la couche de la poudre en seconde

η : viscosité de l'air à la température de l'essai

ρ : masse volumique absolue en g/cm^3

k : constante de l'appareil

e : porosité

La surface spécifique du ciment utilisé suivant les essais réalisés au laboratoire de la cimenterie de Ain Touta est de $3859 \text{ cm}^2/\text{g}$

II-3-2 Temps de prise

Il constitue une indication précieuse pour la mise en œuvre des mortiers et des bétons normaux. Il varie en fonction de la nature du ciment (à prise lente ou rapide), de la finesse de mouture qui favorise l'hydratation et de la température qui influe sur la vitesse des réactions chimiques et accélère la prise. Il est généralement supérieur à 90 mn pour les ciments courants à une température de 20°C. L'essai de prise est réalisé avec l'appareil de Vicat. Le temps de prise du ciment utilisé est:

- Début de prise : 02h 08
- Fin de prise : 03h 04

II-3-3 Caractéristiques chimiques

L'analyse chimique du ciment utilisé d'après [33] a révélé l'existence des éléments qui sont présentés en pourcentages dans le **tableau II-9**

Tableau II-9 : analyse chimique du ciment utilisé[33]

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	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 de chaux et de silice % alcalis = Na₂O + 0.658K₂O = 0.736 > 0.6% Mais il n'y a pas risque de réaction alcalis-granulats car ces derniers ne sont pas des calcaires dolomitiques

II-3-4 Composition minéralogique du clinker

Le clinker est obtenu par la cuisson des matières premières constituées principalement de calcaire et d'argile. Il est composé essentiellement par les quatre phases cristallines qui sont données dans **Tableau II-10** ci-dessous

Tableau II-10 : Analyse minéralogique du clinker

Composé	Silicate tricalcique 3CaO, SiO ₂ (C3S)	Silicate bicalcique 2CaO.SiO ₂ (C2S)	Aluminate tricalcique 3CaO.Al ₂ O ₃ (C3A)	Alumino-ferrite Tétracalcique 3CaO.Al ₂ O ₃ .Fe ₂ O ₃
Moyenne	55.05 ± 2.27	19.97 ± 1.85	9.44 ± 0.27	9.27 ± 0.24

On remarque que le clinker a un pourcentage élevé de C3S, donc il présente de forte résistance initiale [32].

II-3-5 indices d'hydraulicité

L'indice d'hydraulicité ou indice de Vicat, le rapport de la fraction acide du ciment à la fraction basique [2]

$$I = (SiO_2 + Al_2O_3) / (CaO + MgO)$$

Pour le ciment utilisé I = 0.44 < 0.5 donc le ciment est neutre.

II-3-6 Caractéristiques mécaniques

Les essais ont été réalisés au laboratoire de la cimenterie de Ain Touta. Le nombre d'éprouvettes était égal, chaque fois, au nombre de six. Les résultats moyens obtenus en compression et traction sont [31].

$$\begin{aligned} R_{c28} &= 48.24 \pm 2.89 \text{ MPa} & R_{c7} &= 37.61 \pm 2.77 \text{ MPa} & R_{c2} &= 22.27 \pm 2.24 \text{ MPa} \\ R_{t28} &= 08.48 \pm 0.52 \text{ MPa} & R_{t7} &= 07.11 \pm 0.43 \text{ MPa} & R_{t2} &= 04.97 \pm 0.41 \text{ MPa} * \end{aligned}$$

II-4-Eau de gâchage

L'eau utilisée est celle du robinet du laboratoire de génie civil de l'université de Ouargla. L'eau sert d'une part à l'hydratation du ciment et d'autre part elle permet la fluidification de la pâte. Dès que l'eau entre en contact avec le ciment anhydre, elle réagit pour se combiner et former les hydrates de ciments.

L'analyse chimique de l'eau a été effectuée au laboratoire de traitement des eaux de l'université de Ouargla et elle a donné la constitution suivante :

Tableau II-11 : composition chimique de l'eau [32]

Ca	Mg	K	Na	Cl	NO3	SO4	HCO	PH	CE
242	125	31	536	755	14.5	755	124	7.75	2799

* les concentrations sont données en mg/l.

* CE = Conductivité Eléctique

II-5-Composition du béton :

La composition du béton à donner à un béton des qualités que l'on désire. Généralement deux qualités essentielles à rechercher conjointement, la résistance et l'ouvrabilité.

Si la qualité primordiale recherchée est la résistance mécanique à la compression on devra rechercher un mélange plein comportant le minimum de vide, c'est-à-dire une haute compacité et une faible d'eau gâchage [34]

Si l'on recherche une bonne ouvrabilité, on devra en outre augmenter le taux des éléments fin par rapport aux gros éléments.

La recherche simultanée de ces deux qualités pose donc un éternel dilemme dont on ne peut sortir que par des solutions de compromis. De plus, il convient souvent de rechercher d'autres qualités agissant surtout sur la durabilité telles que, étanchéité, résistance à l'usure,... c'est pourquoi, il est difficile, pour ne pas dire impossible, d'élaborer une théorie au sens propre et scientifique du terme, permettant de prendre en compte ces nombreux paramètres et d'aboutir à la meilleure composition donnant elle seule le béton présentant toutes les qualités souhaitées [31].

En se basant sur une longue expérience, et sur une connaissance très riche de la pratique du béton, « **Dreux et Gorisse** » ont pu élaborer une méthode de composition pratique et simple. qui est d'une part, le fruit d'une centaine de formules destinées aux différents ouvrages, et d'autre part elle représente la synthèse de plusieurs méthodes basées sur la connaissance préalable d'une courbe granulométrique de référence telle que les méthodes d'Abrams, de Bolomy, de Caquot, de Joisel et Faury. [2]

II-5-1 Présentation de la méthode de « Dreux et Gorisse »

Le principe de cette méthode est basé sur la résistance et l'ouvrabilité désirée lesquelles conduisent à déterminer le dosage en ciment et le dosage en eau.

Une courbe de référence granulaire est ensuite tracée schématiquement en tenant compte des différents paramètres concernant le béton étudié et ses constituants : dimension des granulats, dosage en ciment, plasticité, intensité du serrage, module de finesse du sable, etc.

Cette courbe de référence permet de déterminer les proportions des différents granulats. En fin, la prise en compte d'un coefficient de compacité probable du béton et de la masse volumique des différents granulats, permet d'aboutir à la formule de dosage pondéral pour le béton désire.

A noter qu'un ajustement de la teneur en eau par la mesure de l'ouvrabilité est toujours nécessaire.

II-5-2 Dosage en ciment et en eau :

Le dosage en ciment et en eau est évalué par la formule de Bolomey [2]

$$\delta'_{28} = G \times \delta'_c \left(\frac{C}{E} - 0,5 \right) \quad (\text{II.7})$$

D'où :	δ'_{28}	résistance moyenne désiré
	G	coefficient granulaire
	δ'_c	classe de résistance vraie du ciment
	C	dosage en ciment (kg/m^3)
	E	dosage en eau (l/m^3)

Dans notre cas nous avons choisi un dosage en ciment de 400 kg/m^3 et cela suivant la recommandation défini en [33] et présenté dans le **tableau II-12**, qui préconise l'augmentation de dosage quand la dimension des granulats et plus petites.

Tableau II-12 : Fourchette de dosage en ciment en fonction de la dimension D du plus gros granulat[33]

D (mm)	8	16	20	25	40
Valeur inférieure (kg/m^3)	390	340	320	310	280
Valeur supérieure (kg/m^3)	510	440	420	400	370

Par ailleurs, le dosage en eau extrait par l'abaque qui lie entre le rapport E/C et l'ouvrabilité, (Affaissement au cône). (**Annexe 4**).

A notre travail on a considéré que le béton est plastique (Affaissement de 5 à 9 cm).

II-5-3 Trace de la courbe granulométrique de référence

Sur un graphique granulométrique type AFNOR (semi-logarithmique), on trace une composition granulaire de référence OAB (**fig II-8**), le point B d'ordonnée 100% correspond à la dimension D du plus gros granulat, et le point A sera caractérisé par les coordonnées suivantes :

En abscisse :

Si $D \leq 25 \text{ mm}$ l'abscisse XA est $D/2$

Si $D > 25 \text{ mm}$ l'abscisse XA est située au milieu du segment limité par le module 38 (5 mm tamis) et le module correspondant à D

En ordonnée :

$$Y_A = 50 - \sqrt{D} + K \quad (D \text{ en mm})$$

K est un terme correcteur qui dépend du dosage en ciment, de l'efficacité du serrage, de la forme, de granulats, (et c'est surtout le sable)

Pour notre cas nous avons choisi $k = 0$, correspondant à un dosage en ciment de 400 kg/m^3 et une vibration normale (**annexe 1**).

La courbe granulaire de référence OAB doit être tracée sur le même graphique que les courbes granulométriques des granulats composants. On trace les lignes de partage entre chacun, en joignant le point 95% de la courbe granulaire du premier, au point 5% de la courbe du granulat suivant, et ainsi de suite (**figure II .8**).

On lira alors sur la courbe de référence au point de croisement avec la ou les droites de partage le pourcentage en volume absolu de chacun de granulat.

Si **C** est le dosage en ciment, le volume absolu de ciment est :

$$V_c = C / \omega_c \quad (\text{II.8})$$

Où ω_c est la masse spécifique des grains de ciment.

On choisira une valeur convenable du coefficient de compacité γ en fonction de D, de la consistance et de l'efficacité du serrage, pour qu'on puisse déterminer le volume absolu total soit alors : $V_{\text{total}} = 1000\gamma$. (pour notre cas $\gamma = 0,82$ – voir **annexe 2**) (II.9)

Le volume de granulats seul (sans ciment) est alors :

$$V_g = 1000\gamma - V_c. \quad (\text{II.10})$$

Si , g_1 , g_2 et g_3 sont les pourcentages en volume absolu des granulats déterminés à partir de graphique. Les volumes absolus de chacun des granulats sont comme suit :

$$\begin{aligned} V_1 &= g_1 V_g \\ V_2 &= g_2 V_g \\ V_3 &= g_3 V_g \end{aligned} \quad (\text{II.11})$$

Si les masses spécifiques de chacun de ces granulats sont (ω_1), (ω_2) et (ω_3), les masses de chacun d'eux sont:

$$\begin{aligned} P_1 &= V_1 \omega_1 \\ P_2 &= V_2 \omega_2 \\ P_3 &= V_3 \omega_3 \end{aligned} \quad (\text{II.12})$$

Des corrections et ajustements du dosage seront effectués suivant l'ouvrabilité et la résistance mécanique trouvées, [3].

II-6 Conclusion :

Dans ce chapitre on a essayé d'identifier les caractéristiques des matériaux utilisés suivant les normes "AFNOR", et cela afin d'avoir l'opportunité de savoir la compatibilité de ces matériaux pour la composition d'un béton courant.

Cependant les conclusions qu'on peut tirer de la caractérisation de ces matériaux sont :

Le ciment utilisé est le CPJ 45 - CEM II - A/32,5 de poids spécifique inférieur à la moyenne habituelle, avec une finesse et une prise satisfaisante aux spécifications des ciments courants.

Pour le gravier, deux classes sont utilisées, le gravier 3/8 et le gravier 8/15, leur provenance c'est carrière Haoud El-Hamra et d'origine calcaire compacte et dure, avec une granulométrie continue et un degré d'impureté acceptable, ce qui est compatible à la composition du béton.

Pour les sables utilisés, sont des sables de différents origines, le sable alluvionnaire de Hassi Essayah, qui se caractérise par une granulométrie étalée d'une propreté admissible, et un taux d'absorption d'eau faible, l'autre sable, c'est le sable de dune de région de Ain El-Beida, qui se caractérise par une granulométrie serrée, propreté excellente, et un taux d'absorption d'eau considérable.

En ce qui concerne la composition du béton on a présenté une méthode couramment utilisée, c'est la méthode de "Dreux et Gorisse". Cette méthode est très simple et efficace, elle se base par l'obtention d'une bonne compacité avec une ouvrabilité adéquate, sachant qu'on a pris préalablement un dosage en ciment de 400 kg/m^3 ,

Dans le chapitre qui suit on étudiera les différentes compositions de béton, et les résultats des essais effectués.

Introduction :

La variation de type de sable influe considérablement sur quelque propriété du béton, et cela à été étudié expérimentalement dans ce chapitre, où on a étudié quelques propriétés du béton en fonction de type de sable dont se varie régulièrement en substituent le sable ordinaire à chaque fois par l'incorporation des pourcentages variable en sable de dune qui seraient : 25 %, 50 %, 75 % et 100 % sable de dune.

Les démarches suivies au cours de cette étude expérimentale sont :

- 1) La formulation de différents types des bétons en déterminent le dosage de différents constituants y compris le béton ordinaire témoin.
- 2) La réalisation des essais de reconnaissance sur chaque type de béton à savoir, essai de traction, essai de compression essai ultrasonique, et essai de mesure de retrait
- 3) Interprétation des résultats et discussion.

III-1 Formulation de différents types du béton :

- D'après les résultats obtenus à l'aide de la méthode de "**Dreux et Gorisse**", concernant à chaque sable, nous présentons dans le suit, les différentes compositions. Le mélange entre le sable de dune et le sable alluvionnaire est effectué sur la base de la masse de chaque sable :

- Béton type "A" (Béton témoin - 100 % sable ordinaire)

Ciment	400 kg/m ³
Eau	210 L/m ³
G1 (3/8)	289 kg/m ³
G2 (8/15)	832 kg/m ³
Sable	690 kg/m ³
E/C	0.52

- Béton type "B" (75 % sable alluvionnaire + 25 % sable de dune)

Ciment	400 kg/m ³
Eau	210 L/m ³
G1 (3/8)	307 kg/m ³
G2 (8/15)	832 kg/m ³
Sable alluvionnaire	586 kg/m ³
Sable de dune	168 kg/m ³
E/C	0.52

- Béton type "C" (50 % sable de dune + 50 % sable alluvionnaire)

Ciment	400 kg/m ³
Eau	210 L/m ³
G1 (3/8)	316 kg/m ³
G2 (8/15)	832 kg/m ³
Sable alluvionnaire	330 kg/m ³
Sable de dune	330 kg/m ³
E/C	0.52

- Béton type "D" (75 % sable de dune + 25 % sable alluvionnaire)

Ciment	400 kg/m ³
Eau	215 L/m ³
G1 (3/8)	344 kg/m ³
G2 (8/15)	832 kg/m ³
Sable alluvionnaire	156 kg/m ³
Sable de dune	468 kg/m ³
E/C	0.53

- Béton type "E" (100 % sable dune)

Ciment	400 kg/m ³
Eau	220 l/m ³
G1 (3/8)	380 kg/m ³
G2 (8/15)	832 kg/m ³
Sable de dune	586 kg/m ³
E/C	0.55

III-2 Confection des éprouvettes :

Après la détermination du dosage des différents constituants, on opère par la préparation des éprouvettes soigneusement suivant les conditions et les normes recommandées à cette procédure.

Le nombre d'éprouvettes effectuées pour l'écrasement est à raison de 3 éprouvettes à chaque age d'essai (7jours, 14jours et 28jours), soit un nombre total de 90 éprouvettes cylindriques (16x32), et 90 éprouvettes prismatiques (7x7x28).

III-2-1 Préparation des mélanges :

Conformément à la norme NF 18.404, les constituants, après avoir été pesés, sont introduits du plus gros au plus fin à l'intérieur du malaxeur (le ciment étant introduit juste avant le sable). Le malaxage dure une minute à sec et se prolonge durant deux minutes après ajout de l'eau. L'ajustement de la teneur en eau a été réalisé en fonction de l'affaissement au cône d'Abrams.

III-2-2 Mise en place du béton dans les moules :

Le remplissage des moules se fait en deux couches successives systématiquement piquées à l'aide d'une tige métallique de 16 mm de diamètre.

III-2-3 Conservation :

Après la mise en place du béton, les éprouvettes sont conservées dans leurs moules à l'intérieur du laboratoire à une température de 20°C.

Pour éviter tout échange hydrique avec l'extérieur, la face supérieure du moule est protégée par un film en plastique.

Les éprouvettes confectionnées sont démoulées 24 heures après leur mise en place puis conservées dans un milieu approprié.

An cours de notre travail nous avons utilisé deux principaux mode de conservation :

- dans l'eau pour les éprouvettes destinées aux essais de résistances uniquement.
- à l'air libre (ambiance du laboratoire) pour les éprouvettes destinées à tous les essais.

III-3- Types des essais réalisés

III-3-1 Essais sur béton frais :

III-3-1-1 Mesure de la consistance (Norme NF P 18.451):

Le contrôle de l'ouvrabilité est effectué grâce à l'essai d'affaissement au cône d'Abrams qui consiste à :

- Remplir le cône en trois couches, tassées avec une tige d'acier pointue de 16 mm de diamètre à raison de 25 coups par couche;
- Soulever le moule avec précaution et mesurer l'affaissement en cm.

III-3-1-2 Masse volumique du béton frais :

Cet essai consiste à :

- Remplir un récipient de volume V en (litre) et de masse Mr en (Kg) d'un échantillon de béton frais, en deux couches tassées par vibration, à raison de 30 secondes par couche.
- Araser et lisser la surface du béton à l'aide d'une truelle;
- Peser le récipient rempli, soit de masse totale Mt en Kg.

La masse volumique du béton frais sera alors :

$$\rho_{hf} = \frac{Mt - Mr}{V} \text{ (Kg/litre)} \quad \text{(III-1)}$$

III-3-2 Essais sur béton durci

III-3-2 -1 Détermination de la masse volumique du béton durci :

Avant d'entamer les essais mécaniques sur le béton durci, une mesure de la masse volumique a été effectuée. La détermination de cette caractéristique est simple :

- On pèse l'éprouvette après nettoyage; soit de masse M en (kg)
- Puis on détermine son volume V en (m³) à partir des mesures précises des longueurs des trois cotés.

La masse volumique sera alors calculée par l'équation suivante :

$$\rho_{bd} = \frac{M}{V} \text{ (Kg/m}^3\text{)} \quad \text{(III-2)}$$

III-3-2 -2 Teneur en eau :

La mesure de la teneur en eau consiste à :

- Peser une certaine quantité de l'échantillon (P₁) en Kg.

- Le sécher dans l'étuve à 105°C jusqu'à un poids constant (P_2) en Kg.

La teneur en eau est alors donnée par :

$$W = \frac{P_1 - P_2}{P_1} \times 100 (\%) \quad (\text{III-3})$$

III-3-2-3 Essais de résistance mécanique :

a) Essai de compression(Norme NF P 18.406) :

L'essai de compression est l'essai le plus connu des essais mécaniques. Il s'effectue sur des éprouvettes cylindriques (16 x 32). La presse utilisée est une machine de type«CONTROLS» à double quadrant, ayant une capacité maximale de 2000 KN. Sa mise en marche s'effectue avec une vitesse de chargement constante de 0,5 MPa seconde. La résistance à la compression correspond à la contrainte maximale calculée par la formule suivante [9]:

$$\sigma_c = P/A \quad (\text{III-4})$$

- P : La charge appliquée;
- A : La section de l'éprouvette

b) Essai de traction par flexion(Norme NF P 18.407) :

L'essai de traction par flexion 4 points est réalisé sur des éprouvettes prismatiques (7x7x28cm) suivant la norme NF P 18.407.L'essai est effectué sur une machine (SINTCO), d'une capacité de 200 KN, et ayant une vitesse de chargement de 0.1 MPa par seconde. La résistance à la traction (par flexion) correspond à la contrainte maximale calculée par la formule suivante [9]:

$$\sigma_1 = \frac{1.8P}{a^2} \quad (\text{III-5})$$

-P : La charge appliquée; a : Le coté de l'éprouvette prismatique (a x a x 4 a)

III-3-2-4 Essai de retrait (Norme NF P 15.433):

Le retrait a été déterminé seulement pour les bétons A,C et E. Les essais ont été effectués sur des éprouvettes prismatiques (7x7x28cm).

III-3-2-5 Essai ultrasonique (Norme NF P 18.418):

C'est un essai non destructif très important qui nous permet de détecter - à la fois- plusieurs caractéristiques du béton durci telles que : le degré de compacité, le taux de fissuration, les dommages causés par le gel ou l'écart de température...etc. Cet essai consiste à mesurer la vitesse longitudinale du son dans le béton à l'aide d'un appareil comportant une boîte de mesure, et deux têtes (une émettrice et l'autre réceptrice) [9].

Deux méthodes peuvent être utilisées pour mesurer la vitesse du son :

- Mesure en surface;
- Mesure en transparence.

Cette dernière présente la meilleure méthode. Elle consiste à presser les deux têtes de mesure sur les deux faces de l'éprouvette, en utilisant une pâte de contact qui facilite la transmission du son. La surface du béton doit être raisonnablement plane et bien nettoyée.

Une fois l'appareil mis en marche, on peut lire le temps de propagation en micro-seconde. La vitesse de propagation est donnée alors par l'équation suivante :

- V : vitesse de propagation en m / sec.
- S : distance entre les têtes en (mètre) mesurée avec une précision de 1 %
- t : temps en micro-seconde.

La vitesse dans un béton normal est environ de 4000 à 4800 m/sec.

A partir de cette vitesse on peut déterminer le module d'élasticité dynamique par la relation suivant [9]:

$$E_{dyn} = \rho v^2 \frac{(1+\nu).(1-2.\nu)}{1-\nu} \quad (III-6)$$

- ρ : masse volumique du béton en Kg/m³
- ν : coefficient de poisson du béton.
- v : vitesse de propagation du son dans le béton en m/sec.

Les essais ultrasoniques ont été effectués sur des éprouvettes prismatiques (7x7x28cm) sur les bétons A,C et E [9].

III-4 Résultats et interprétation

III-4-1 Essai de consistance

le **tableau III-1** présente les résultats de cet essai

Tableau III-1 : Variation de l'affaissement et la teneur en eau en fonction de type de béton

type de béton	affaissement (cm)	masse volumique du béton frais (M1) kg/m ³	masse volumique du béton durci (M2) kg/m ³	M1-M2
A 100% SA	7	2423	2348,5	74.5
B 75% SA+25% SD	7	2422	2317,8	104.2
C 50% SA+50% SD	6	2420	2325	95
D 25% SA+75% SD	6	2411	2230	181
E 100% SD	5	2409	2258,5	150.5

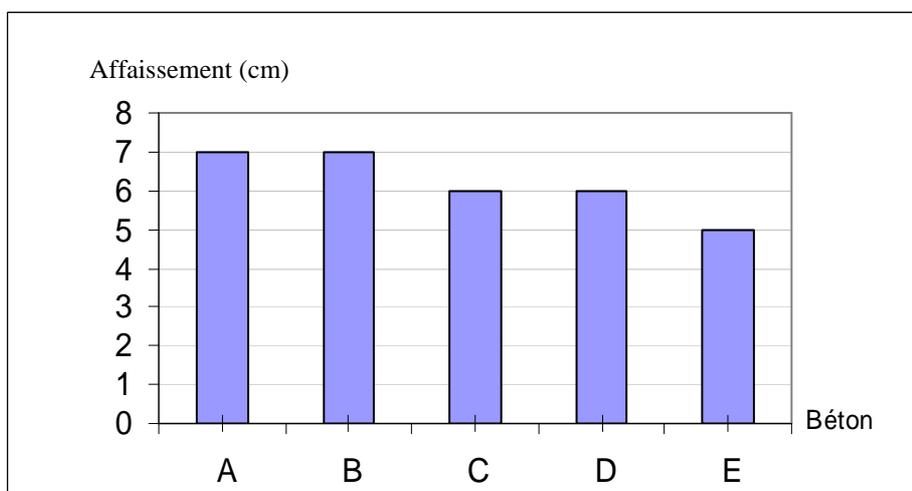


Figure III-1 : Variation de l'affaissement en fonction de type de béton

Les figures (III-1) présentent la relation entre l'eau de gâchage et le type du béton. Cette eau se trouve dans la composition du béton en trois situations différentes à savoir :

- L'eau évaporable, qui s'évaporé par séchage à la température normale.
- L'eau vaporisable, qui ne s'évaporé que par échauffement.
- L'eau non vaporisable qui ne s'évaporé qu'à un échauffement plus élevé.

Pour les résultats présentes ci-dessus, concerne les différents types du béton qui ont été étudiés. Elles sont relatives à l'eau dite évaporable, qui est calculé par la différence entre la masse volumique du béton frais et la masse volumique du béton durci.

Cette eau représente la quantité rajoutée pour l'obtention d'une ouvrabilité suffisante. Les calculs ont mis en évidence que la masse d'eau évaporable pour le béton témoin (type A), représente 35% de la masse d'eau initial, pour les bétons type B et C, cette masse égale presque 50% à la masse initial, tandis que pour les bétons type D et E, la masse d'eau évaporable dépasse 65% à la masse initiale.

Ces résultats, montrent bien que, l'augmentation de dosage en sable de dune correspond à une diminution en eau évaporable, donc l'augmentation de dosage en sable de dune produit une consommation supérieure en eau de gâchage.

Ceci, a été justifié par l'étude bibliographique, où on a constaté que la teneur en élément fin, et ainsi que l'état de surface des éléments granulaire, influent sur la consommation d'eau.

III-4-2 Essai de résistance à la compression

Les résultats obtenus sont indiqués ci-après.

Tableau III-2 : Variation de la résistance à la compression en fonction de type de béton et à différents d'âge. (en MPa)

Type de béton	7 jours		14 jours		28 jours		90 jours	
	air	eau	air	eau	air	eau	air	eau
A 100% SA	18± 2.80	19 ± 2.20	24± 3.20	26± 2.90	29± 3.70	31± 3.90	29 ± 4.20	32 ± 3.80
B 75% SA+25% SD	12± 2.20	11 ± 3.10	21± 2.50	22± 2.20	23± 2.80	24± 4.40	23 ± 4.10	26 ± 3.60
C 50% SA+50% SD	12± 2.50	14 ± 2.80	16± 3.20	17± 3.00	23± 2.70	27± 2.00	23,5± 3.30	27 ± 3.10
D 25% SA+75% SD	9 ± 3.00	9,5 ± 2.40	14± 3.20	15± 2.80	22± 3.10	24± 3.50	22,5± 3.80	23,5±2.70
E 100% SD	12± 2.70	12 ± 3.10	14± 3.60	14± 2.50	20± 2.60	24± 2.00	21 ± 3.00	24,5±3.50

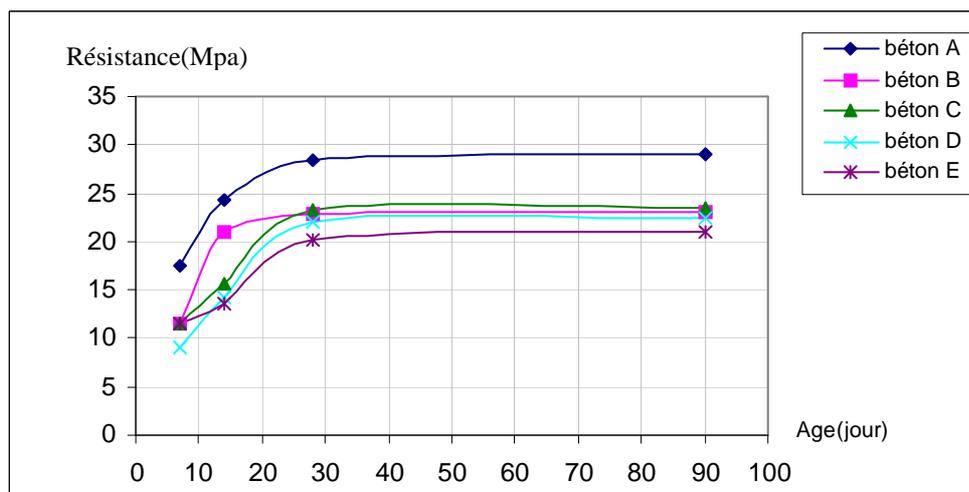


Figure III-2 : Variation de la résistance à la compression à l'air libre à différents ages

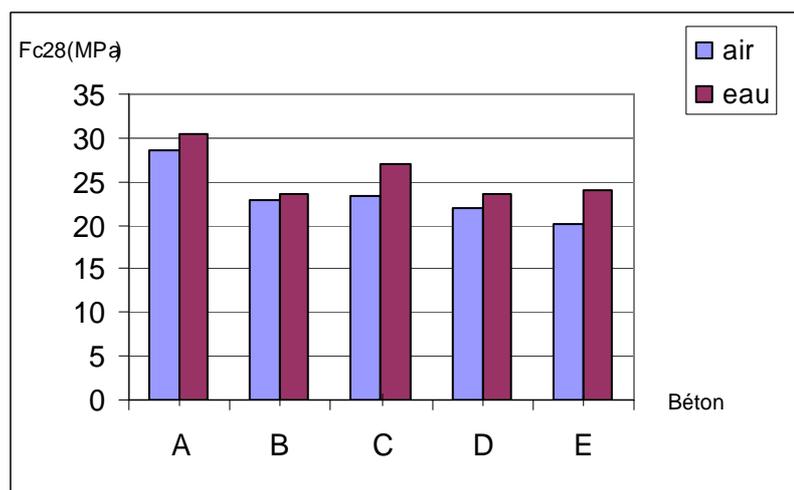


Figure III-3 : Variation de la résistance à la compression en fonction de type de béton à 28j pour les différents cures

D'après les résultats menés en **figures III-2 et III-3** on peut observer les constatations suivantes :

Le béton témoin toujours présente une meilleure résistance à la compression dans les différents ages d'essai.

La cure et le milieu de conservation maintiennent la même variation pour les différents types des bétons, ce qui montre l'indépendance entre l'hydratation de ciment et la qualité du sable utilisé

L'augmentation de dosage en sable de dune dans la composition du béton, crée une diminution en résistance à la compression du béton. Ce qui se justifie, par l'étude bibliographique qui donne les résultats suivants :

La résistance a la compression est influée par quelques caractéristiques du sable, à savoir, le module de finesse, l'équivalent de sable, et l'état de surface des grains.

A l'aide de ce qu'on a rapporte dans l'étude bibliographique, on peut limiter quelque caractéristique, qui peut influée sur la résistance à la compression, à savoir, le module de finesse, l'équivalent de sable, et l'état de surface des grains

D'après ce qu'on a vu dans la partie bibliographique, où les normes préconise un module de finesse entre 2.2 et 2.8, ce qui n'a pas été réalise au cour de notre étude à l'exception le sable alluvionnaire qui présente un module de finesse égale 2.4, et cela peut être exprime l'attribution de meilleure résistance à ce béton témoin.

Autre facteur, influençant sur la résistance, c'est le dosage en eau, à cet égard on a trouve lors de la formulation du béton, que l'augmentation du dosage en sable de dune conduit à une augmentation en dosage en eau, ce qui va baisser la résistance à la compression.

III-4-3 Essai de résistance a la traction

dans le tableau III-3 nous montrons les résultats de cet essai.

Tableau III-3 : Variation de la résistance à la traction en fonction de type de béton pour les différents ages d'essai (en MPa)

Type de béton	7 jours		14 jours		28 jours		90 jours	
	air	eau	air	eau	air	eau	air	eau
A 100% SA	1,1 ± 0.21	1,1 ± 0.25	1,8 ± 0.16	1,8 ± 0.16	2,4 ± 0.20	2,5 ± 0.16	2,6 ± 0.23	2,6 ± 0.24
B 75% SA+25% SD	1,4 ± 0.19	1,7 ± 0.24	1,5 ± 0.27	1,8 ± 0.26	2 ± 0.22	2,2 ± 0.20	2,1 ± 0.28	2,5 ± 0.28
C 50% SA+50% SD	1,7 ± 0.20	1,8 ± 0.15	1,9 ± 0.16	2,2 ± 0.15	2,5 ± 0.26	2,6 ± 0.24	2,4 ± 0.30	2,6 ± 0.30
D 25% SA+75% SD	1,7 ± 0.13	1,5 ± 0.20	2 ± 0.17	1,9 ± 0.18	2,4 ± 0.24	2,4 ± 0.24	2,3 ± 0.23	2,3 ± 0.23
E 100% SD	1,9 ± 0.18	1,9 ± 0.17	2 ± 0.18	2,1 ± 0.19	2,4 ± 0.26	2,5 ± 0.25	2,6 ± 0.26	2,5 ± 0.26

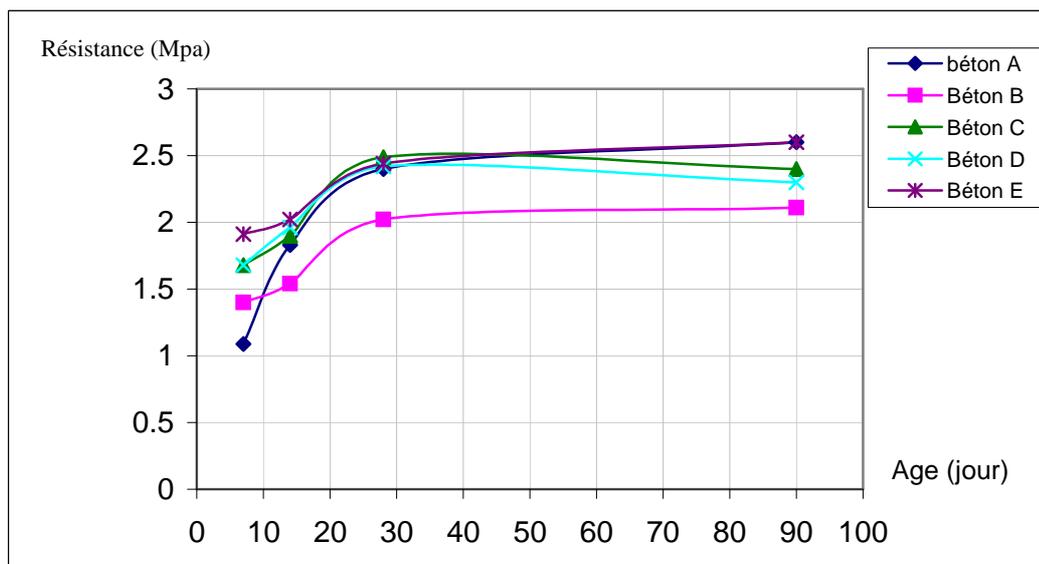


Figure III-4 : Variation de la résistance à la traction en fonction d'âge d'essai

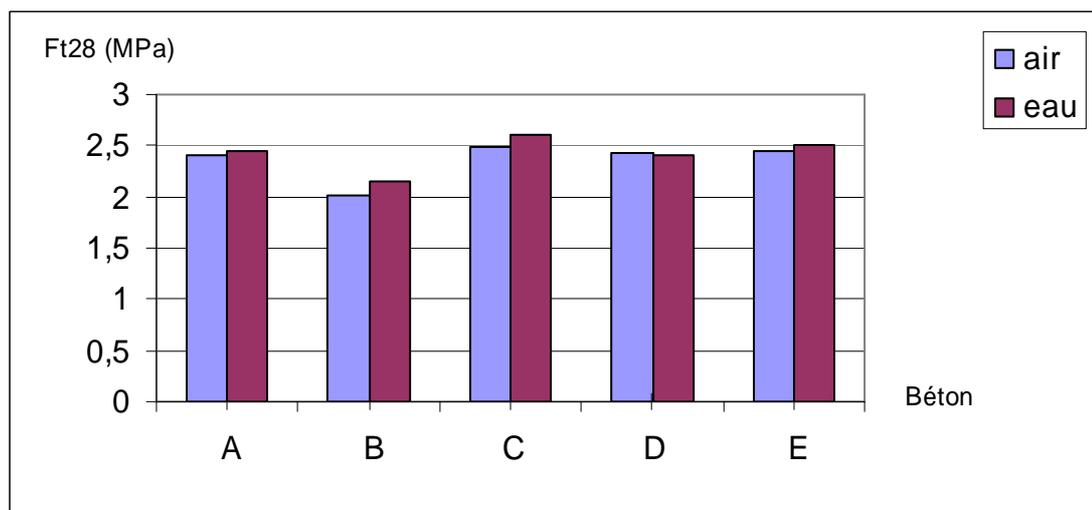


Figure III-5 : Variation de la résistance à la traction en fonction de type de béton à 28j pour les différents cures

Les figures III-4 et figure III-5 représentent successivement la variation de la résistance à la traction des différents bétons en fonction de l'âge d'essais, et la variation de ft28 en fonction de type de béton dans les différentes cures.

Les principales remarques qu'on tire des résultats c'est que les valeurs de la résistance à la traction restent invariables dans tous les types des bétons. Les résultats restent presque voisins à celles présente par le béton témoin.

Conclusion : la résistance a la traction ne dépend pas des différents dosages en sable de dune.

III-4-4 Essai ultrasonique

Le **tableau III-4** nous donne les résultats trouvées dans cet essai.

Tableau III-4 : Vitesse longitudinale du son en fonction de type du béton à différents ages (en m/s)

type de béton	7 jours	14 jours	21 jours	28 jours
béton A	4186 ± 122	4230 ± 126	4280 ± 124	4285 ± 119
béton E	4091 ± 113	4305 ± 124	4310 ± 122	4370 ± 120

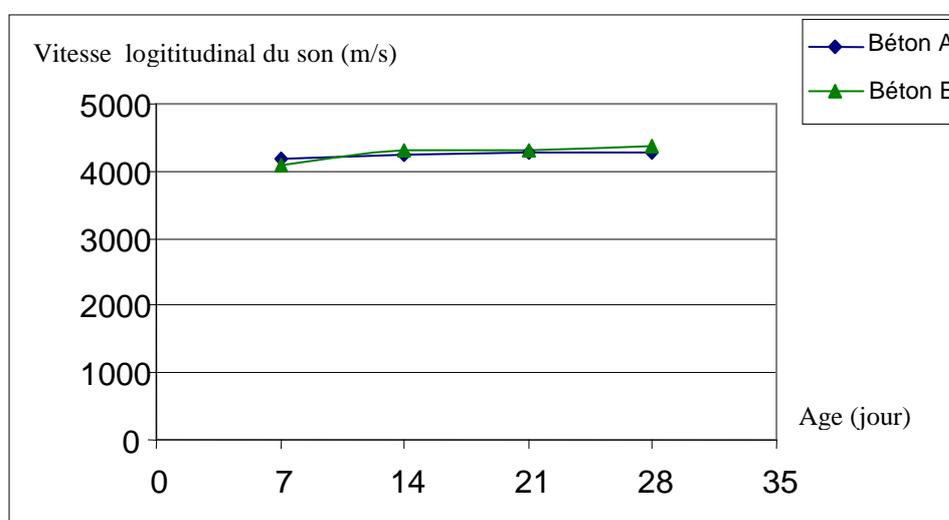


Figure III-6 : Variation de la vitesse du son en fonction d'âge d'essai

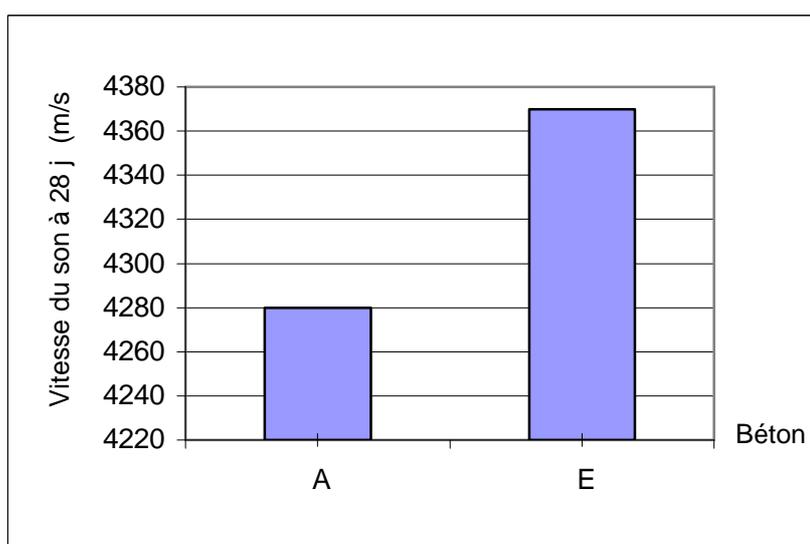


Figure III-7 : Variation de la vitesse du son en fonction de type du béton à 28 j

Les figures (III-6 et III-7) présente les résultats des essais de propagation de son à différent age dans les bétons de type **A** et **E**.

L'évolution de cette vitesse donne une idée sur le degré de compacité du béton ainsi que sur l'état des fissures.

Dans les différents essais, les deux bétons **A** et **E** donnent des mêmes résultats et cela peut traduire les caractéristiques suivantes :

- Le sable alluvionnaire donne d'un béton compact que le mélange de sable alluvionnaire à cause de sa granulométrie étallé.
- La finesse du sable de dune utilisé sert bien la compacité du béton, cette finesse empêche la création des pores vides.

A partir de tous ce qui est précède, on peut conclure que la granulométrie du sable de dune sert bien la compacité du béton qui n'a été pas influée par le sable de dune.

III-4-5 Mesure de module d'élasticité dynamique

Les résultats sont trouvés à partir de la formule (III-6), et nous les présentons dans le tableau ci-après.

Tableau III-5 : module d'élasticité dynamique en fonction de type du béton à différents ages (en GPa)

type de béton	7 jours	14 jours	21 jours	28 jours
béton A	37.03	38.80	38.71	38.80
béton E	34.02	37.67	37.75	38.81

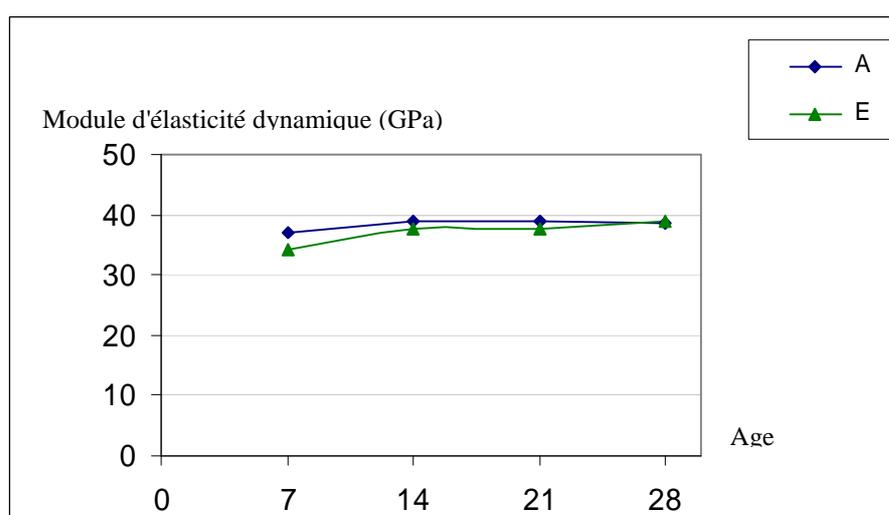


Figure III-8 : Variation du module d'élasticité dynamique en fonction d'âge d'essai

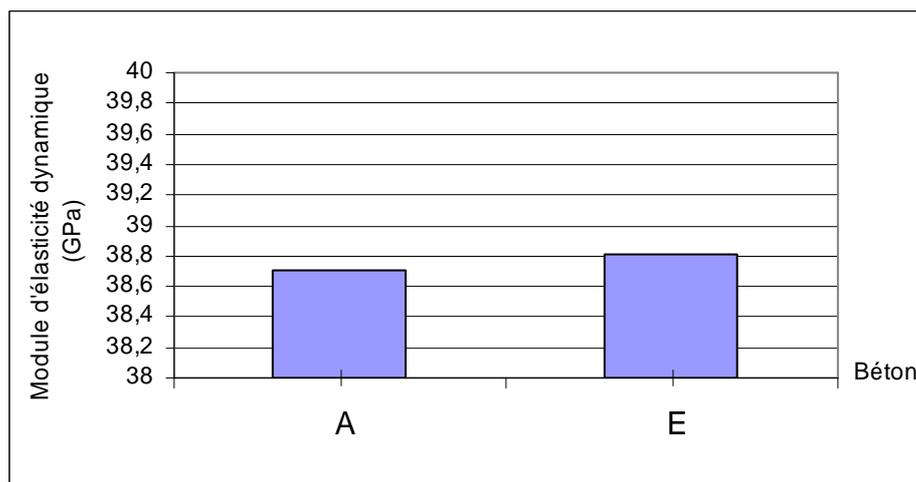


Figure III-9 : Variation du module d'élasticité dynamique en fonction de type du béton à 28 j

Les deux **figures III-8** et **III-9** montrent une variation du module de l'élasticité dynamique en fonction du type de béton, et se vérifie par les essais ultrasoniques. On peut conclure que le sable alluvionnaire et le sable de dune donnent des mêmes résultats, ce qui veut dire que le sable de dune utilisé n'influe pas sur le module d'élasticité dynamique.

III-4-6 Mesure de retrait:

Nous présentons les résultats de cet essai dans le tableau suivant:

Tableau III-6: Valeurs de retrait en fonction de type du béton à différents âges (en mm/m)

Bétons	1 jours	7 jours	28 jours	60 jours
A	0,050	0,35	0,45	0,455
C	0,2	0,4	0,5	0,65
E	0,25	0,8	1,2	1,4

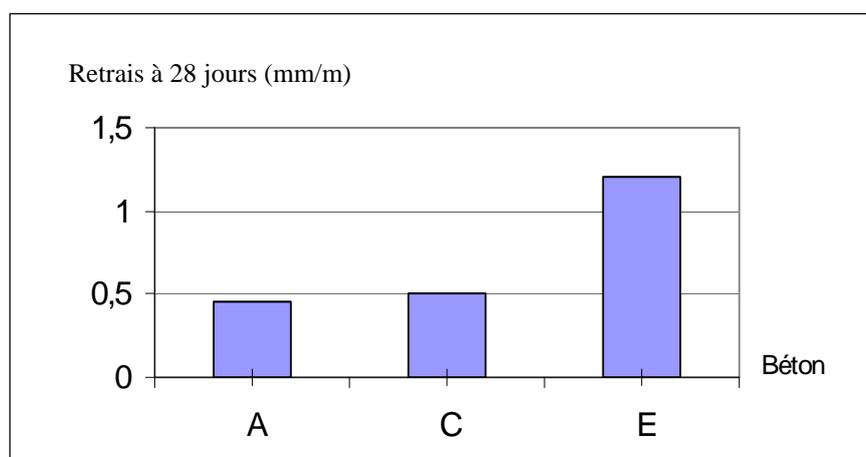


Figure III-10 : Variation de retrait en fonction de type du béton à 28 j

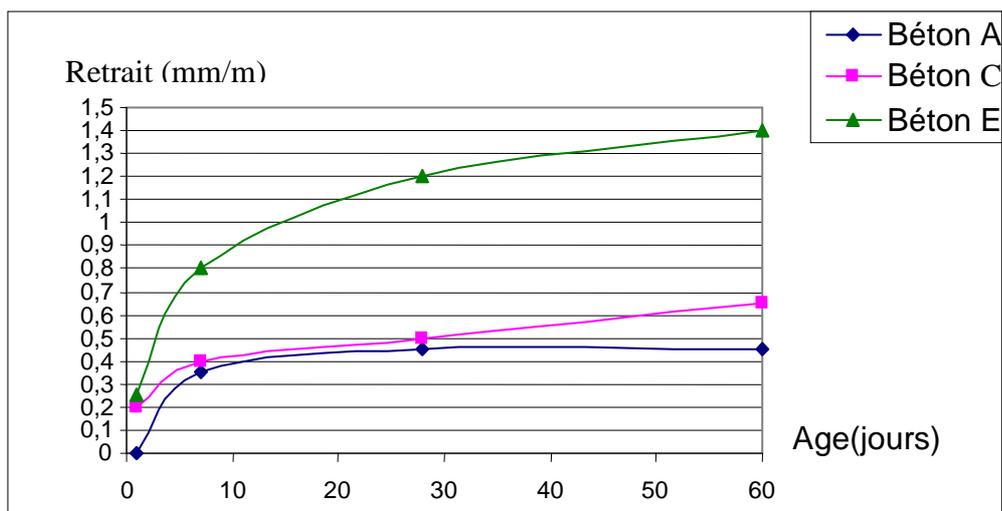


Figure III-11 : Variation du retrait en fonction de l'âge de l'essai.

Sur les figures (III-10 et III-11), on remarque qu'il y a une faible variation entre le béton A et C par contre cette variation est considérable entre les bétons A et E. A cet égard, on distingue deux niveaux de variations :

1er niveau, représente une variation qui est remarquée pour un pourcentage de dosage en sable de dune entre 0% et 50%, à ce niveau, la variation est presque nulle, où les deux types de béton ont des valeurs identiques, et cela traduit le fait que la distribution des éléments fins ne dépasse pas la portion des éléments grossiers de sable alluvionnaire, ainsi que la surface spécifique ne subit qu'une augmentation faible lors de l'augmentation du sable de dune.

2em niveau, représente la variation du retrait entre les bétons C et E. Dans ce niveau, les valeurs du retrait augmentent rapidement, ce qui signifie la croissance des éléments fins en dépassant le taux de teneur en éléments grossiers du sable alluvionnaire, à la limite où cette portion est disparue, et cela va engendrer une augmentation de la surface spécifique du sable, et par conséquent va augmenter les valeurs du retrait.

III-6 Discussion :

Les résultats trouvés sur les différents types de bétons, nous permettent d'avoir un aperçu sur l'effet de sable de dune sur la qualité du béton.

Pour mettre en évidence cette influence nous présentons dans le **tableau III-9** une comparaison entre le béton témoin (type A), le béton de 100 % sable de dune (type E) et le béton de sable de dune étudié par A.CHAOUCH. [20]

Le tableau III-7 : la comparaison entre le béton témoin (A) , le béton avec 100% sable de dune (E) et le béton de sable de dune

Bétons	Béton témoin (type A)	Béton avec 100 % Sable de dune (type E)	Béton de sable de dune (A.CHAOUCH)
Dosage en ciment (kg/m^3)	400	400	400
Dosage en eau (l/m^3)	210	220	240
Dosage en sable de dune (Kg/m^3)	00,00	586	1160
Dosage en sable alluvionnair (Kg/m^3)	690	00,00	00,00
Dosage en gravier (3/8)	289	380	00,00
Dosage en gravier (8/15)	832	832	00,00
Masse volumique durcie (kg/m^3)	2348,50	2258,50	2142
Fc28 (MPa)	29,50	20,00	20,60
Ft28 (MPa)	2,40	2,40	1,80
Module d'élasticité dynamique (GPa)	38,80	38,81	35,95
Retrait (mm/m)	0,45	1,20	2.50

N.B: Le béton de sable de dune étudié par (A.CHAOUCH) c'est un béton ne contient pas le gravier.

- **Le tableau III-9** donne une idée sur l'influence de sable de dune sur les qualités essentielles du béton, à cet effet, nous constatons que, l'augmentation de dosage en sable de dune diminue la masse volumique et la résistance à la compression, et augmente la consommation en eau et les valeurs du retrait.

Ces remarques ont été justifiées par l'étude bibliographique qui donne les résultats suivantes :

- L'influence de module de finesse sur la résistance en compression, où on a trouvé un bon sable à béton doit avoir un module de finesse d'environ 2,2 à 2,8, ce qui n'a été vérifié que par le béton témoin.
- L'influence de l'E.S sur la résistance en compression, qui montre qu'un bon sable à béton ayant un E.S entre 75% et 85%, alors que l'E.S du sable alluvionnaire égal 83% tandis que l'E.S du sable de dune est supérieur à 85%.
- L'influence de la granulométrie du sable sur le retrait et la consommation d'eau, où on a trouvé que l'augmentation en éléments fins augmente les besoins en eau et les valeurs du retrait.

-Par ailleurs, il y a d'autres facteurs influençants sur les propriétés du béton, sont rassemblés dans l'étude bibliographique, à savoir, l'état de surface la géométrie des grains des granulats, le rapport gravier/sable (G/S), et la taille maximale des granulats.

Tous ces facteurs sont les arguments justificatifs des résultats récapitulés dans le tableau **III-9**.

La conclusion qu'on peut tirer de ces résultats c'est la prépondérance de la qualité du béton témoin

Malgré les résultats obtenus des différents types des bétons à base de sable de dune, en comparaison avec le béton à base de sable alluvionnaire, on peut conclure que ces bétons peuvent être utilisés dans d'autre destination autre que le béton armé en attendant des études plus poussées.

Finalement, on peut dire que cette étude a mise en évidence qu'il est désormais possible d'obtenir un béton normal à base de sable de dune, si on fait intervenir quelque amélioration pour limiter la valeur de retrait et améliorer un peu la résistance.

CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

Conclusion :

- Le but visé par cette étude, est le remplacement du sable de construction ordinaire, par le sable de dune, a fin de mettre en valeur ce dernier qui se trouve en abondance au sud du pays, et l'intégré dans la masse de béton, tout en menant une recherche basée conjointement sur une synthèse bibliographique et un travail expérimental.

- La réalisation de cette étude à été effectuée en trois chapitres, une étude bibliographique, une caractérisation empirique des matériaux utilisés, et une étude expérimentale des différents bétons obtenus.

Concernant la recherche bibliographique, nous l'avons subdivisée en trois parties.

- Dans la première partie, on a ressorti les propriétés essentielles du béton ordinaire, afin d'avoir les arguments de comparaison. A cet effet, et selon les documents élaborés dans ce sens, nous avons trouvé que ces propriétés doivent être présentes dans tout béton ayant le même rôle que le béton ordinaire, à savoir la résistance, l'ouvrabilité, l'élasticité, l'étanchéité, le retrait et la durabilité.

En deuxième partie, on a étudié les caractéristiques des granulats et leur influence sur les propriétés essentielles du béton, on note à cet égard, que plusieurs ouvrages (livres) qui traitent le rôle des caractéristiques des granulats dans la composition des bétons, où on a pris les constatations suivantes :

- L'augmentation de la teneur en éléments fins diminue la résistance à la compression et augmente l'ouvrabilité et le retrait.
- La consommation d'eau de gâchage dépend de l'état de surface et la géométrie des grains des granulats.
- La taille maximale des granulats influe sur le retrait et l'ouvrabilité.

Aussi nous avons trouvé à l'aide des figures présentées dans cette étude, la relation entre les propriétés essentielles du béton et les modules de finesse du sable utilisé.

La troisième partie est consacrée pour les recherches menées sur l'utilisation de sable de dune dans la masse de béton.

La plupart des recherches ont envisagé des études sur ce qu'on appelle le béton de sable, cependant on remarque que le béton de sable de dune présente des propriétés presque similaires à celles de béton ordinaire, tel que la résistance à la compression, l'ouvrabilité, l'élasticité, mais en revanche, le béton de sable de dune donne des valeurs de retrait très importantes par rapport au béton ordinaire.

- A travers cette recherche, nous avons effectué un travail complémentaire qui met en évidence la possibilité d'obtenir un béton à base de sable de dune satisfaisant aux normes, avec le maintien de la fraction granulaire du gravier. Ce travail se représente dans les chapitres deux et trois.

- Le chapitre deux contient les essais de convenance des matériaux utilisés pour l'identification de ces derniers afin de connaître les caractéristiques des différents composants des bétons étudiés.

Les essais réalisés sont ceux recommandés par les normes AFNOR, à savoir, la granulométrie, mesure des masses volumiques, mesure de module de finesse, mesure de propreté, et les analyse chimiques.

Les essais ont montre que :

- Le sable de construction utilisé c'est le sable du Hassi-Essayeh d'origine siliceux, de couleur jaunâtre, à granulométrie étalée.
- Le sable de dune utilisé c'est le sable de Ain El-Beida d'origine siliceux, de couleur blanchâtre, à granulométrie serrée et fine.

Pour les deux classes de gravier utilisées, sont d'origine calcaire provenant de carrière de "Haoud - El-Hamra" de couleur blanchâtre, d'un taux d'absorption faible.

L'étude expérimentale des différents types des bétons obtenus, est indiquée dans le troisième chapitre.

Cette étude a été élaborée en deux étapes.

En première étape, on a confectionné les différents bétons d'après la méthode de «Dreux - Gorisse» et selon les différents pourcentages de dosage en sable de dune qui seraient : 25 %, 50 %, 75 % et 100 %.

- La deuxième étape, c'est la réalisation des essais de reconnaissance pour la détermination les propriétés physico-chimiques des différents bétons étudiés.

D'après les résultats trouvés nous ressortons les remarques suivantes :

1. Le béton ordinaire est toujours prépondérant par rapport aux autres bétons.
2. Le béton à base de sable de dune présente une résistance à la compression assez insuffisante, où on a constaté une réduction de résistance par rapport à béton ordinaire à raison de 20 %.
3. Les propriétés de l'ouvrabilité et la compacité maintiennent presque même valeurs aussi bien dans le béton ordinaire que dans le béton à base de sable de dune.
4. La convergence des valeurs de module d'élasticité entre le béton ordinaire et le béton à base de sable de dune.

5. Une grande divergence des valeurs de retrait entre le béton ordinaire, et le béton à base de sable de dune, au point que ces valeurs dans le béton à base sable de dune sont trois fois plus grande que celles du béton ordinaire.

Recommandations :

1. Le béton à base de sable de dune se caractérisé par une forte consommation en eau ce qui réduit la résistance à la compression, à cet effet nous suggérons d'utiliser des plastifiants.
2. La finesse du sable de dune exige un dosage en ciment élevé, donc nous recommandons d'utilisés des filler inerte pour minimiser ce dosage.
3. L'adaptation d'une formulation convenable et compatible pour le béton à base sable dune, sur la base des études statistiques tiennent compte les trois facteurs «ouvrabilité - résistance - retrait».

En perspective, nous proposons les axes de recherches suivants :

1. L'étude de la durabilité du béton à base de sable de dune à différentes cures.
2. L'étude de l'évolution des caractéristiques physico - mécaniques de ce béton à long terme «plus de 4 mois.
3. L'étude des éléments de structure ferrailés, à l'échelle réelle, en basant sur l'adhérence béton-acier.

Résumé

Toutes les études menées dans le cadre des constructions en béton armé et sur la qualité du béton en général sont fait à base de sable normalisé de carrière, d'oued ou de plage à l'état naturel.

C'est un matériau indispensable, malheureusement, sa disponibilité se fait très rare et coûteuse.

Cependant vu la disponibilité du sable de dune à l'état naturel dans le sud en quantité très importante et a bas prix nous avons décidé d'étudier les différentes caractéristiques de ce matériau pour son utilisation dans le béton.

Vu sa granulométrie très fine nous suggérerons que l'étude soit faite avec un mélange de sable de dune plus un autre sable normalisé.

Pour permettre une bonne compacité du béton, la composition de celui-ci sera étudié avec une granulométrie de deux types de gravier (3/8) et (8/15)

L'objectif de l'étude consistera à valoriser ce sable de dune dans la composition du béton qui permettra de réduire les coûts du mètre cube du béton et l'amélioration éventuelle de ces qualités mécaniques.

La composition du béton sera étudié suivant les pourcentages suivants avec les différents sables utilisés.

- 100% sable alluvionnaire de Hassi Essayah
- 100% sable de dune de Ain Elbeida
- 75% sable de dune + 25 % sable alluvionnaire
- 50% sable de dune + 50 % sable alluvionnaire
- 25% sable de dune + 75 % sable alluvionnaire

Mots clés : béton, sable de dune, résistance.

Abstract

All studies led in the setting of constructions in reinforced concrete and on the quality of the concrete in general are made to basis of sand normalized of career, owed or beach, to the free state.

It is an indispensable material; unfortunately, its availability makes it very rare and expensive.

However seen the availability of the dune sand to the natural state in the south in very important quantity and has low price we decided to study the different features of this material for its use in the concrete.

Seen its very fine granulométrie we will suggest that the survey is made with a mixture of dune sand more another normalized sand.

To permit a good compactness of the concrete, the composition of this one will be studies with a granulométrie of two types of gravel (3/8) and (8/15).

The objective of the survey will consist in valorizing this sand of dune in the composition of the concrete that will permit to reduce costs of the meter cubes of the concrete and the possible improvement of theirs mechanical qualities.

The composition of the concrete will be studied according to different sand proportion next one used.

- 100% sand of dune
- 75% sand of dune + 25% sand of curry
- 50% sand of dune + 50% sand of curry
- 25% sand of dune + 75% sand of curry
- 100% sand of curry

Keywords : concrete, sand of dune, strength.

ملخص

كل الدراسات المنجزة في إطار إنشاءات الخرسانة المسلحة ، تعتمد أساسا على الخرسانة المكونة بالرمل العادي الخاص للبناء و الذي يأتي عادة من المقالع ، الوديان أو شواطئ البحار. فهذه المادة ضرورية جدا في تكوين الخرسانة ، و لكن توفرها اصبح جد نادر و مكلف.

بينما و نظرا لتوفر رمال الكثبان ، في الطبيعة بالمناطق الجنوبية ، بكثرة و بأسعار جد منخفضة ، قررنا إعداد دراسة تجريبية لخصائص هذه المادة قصد استعمالها في خليط الخرسانة. نظرا لنعومة رمال الكثبان. استعملنا في خليط الخرسانة ، الرمل العادي المستعمل في البناء ، كما استعملنا في هذا الخليط نوعين من الحصى، (3/8) و (8/15) و هذا من اجل الحصول على خرسانة مرصوفة.

الهدف من الدراسة ، هو إمكانية تأهيل رمال الكثبان لاستعماله في خليط الخرسانة و ذلك قصد التقليل من تكلفة المتر مكعب من هذه المادة و التحسين المحتمل لخصائصها الميكانيكية .

اتبعنا في هذه الدراسة إعداد خلطات الخرسانة المختلفة حسب النسب المئوية لكميات رمال الكثبان في كل خليط و التي هي :

- 100 % رمل الكثبان بمنطقة عين البيضاء
- 75 % رمل الكثبان + 25 % رمل المقالع
- 50 % رمل الكثبان + 50 % رمل المقالع
- 25 % رمل الكثبان + 75 % رمل المقالع
- 100 % رمل المقالع بمنطقة حاسي السايح

كلمات مفتاحية : الخرسانة, رمل الكثبان, المقاومة.

- [1] - **DMI** direction des mines de Ouargla 2002 « Rapporte interne de contrôle des gisements » - P 12
- [2] - **Dreux G., Festa J.** 1998.« Nouveau guide de béton et ces constituants » Eyrolles- P358
- [3] - « Matériaux de construction » par une réunion d'ingénieur 1979-Eyrolles- P401
- [4] - **Neville A. M.**, 2000« Propriétés des bétons »-Eyrolles- P806
- [5] - **Derbala A.**1999« contribution aux possibilités d'amélioration du béton » thèse de magistère - Université de Blida - 1999 P 169
- [6] - **Brahma A.**, « Le béton » - Université de Blida P 130
- [7] - **Remadnia A.** , 1986« Etude de l'influence de la qualité des granulats locaux sur les propriétés des melanges de béton et du bétons durci dans les conditions des entreprises de fabrication de la région d'Annaba » -thèse de majester -Université de Annaba - P 180
- [8]- **Baron J.et Sauterey R.** 1995« Le béton hydraulique » -Presse de L'E.N.P.C- P
- [9] - **Dupain R.,lanchon R. et Saint -Arroman J.C** 2000« Granulats, Sols , ciment et béton » -Educative- P 237
- [10] - **Brouks J.J.**,1987 « concrete technologie »- London -
- [11] - « Béton de sable »- ENPC 1994- P 236
- [12] - « Rapport interne » - LTPS Ouargla - P 21
- [13] -**Hermite R.L**, 1979« Expérience et théories sur la technologie du béton » Annales de J.T.B.T.P-
- [14] -**Dreux G.**, 1969« contribution à l'étude de la finsse des sables sur diverses qualités des bétons »-Annales J.T.B.T.P-
- [15] -**Dreux G.**,1964 « contribution à l'étude de l'influence de la propreté du sable sur les qualités du béton »-J.T.B.T.P - P
- [16] - **Nassim K.**,1994 « Etude sur la qualité des bétons dans le sud d'Algérie » Proceeding de séminaire international Ghardaïa - P 279
- [17] - **Djouidi A.**,2001 « caractérisation structurelle et rhéologique des bétons de plâtre et leurs renforcement par les fibres végétales du palmier dattier » thèse de magistère - Centre universitaire de Laghouat - P 134
- [18] - Bultin de C.T.C mars - 1292« contrôle du béton » - P 38
- [19] - **Ossera O.** « L'environnement éolien »
- [20] - **Kotziaz** 1971« concrète without coars aggregate »A.C.I journal-
- [21] -**Tyler R.**, 1961« Sandcrete blocks » west Africain building -Research institut-
- [22] - **Uzomaka O.J.**,1977« Some factors with effet the cruching strenght of sandcrète blocks »-
- [23] - **Ben malek M.L.**, 1992 « contribution à l'étude des bétons de sable dunaire pour éléments de structure » thèse de majistère -ENP- P 111.
- [24] - **Mikhalov N.V.**,1970« Influence de la composition et de la technologie de préparation des béton de sable sur ces caractéristiques »-

- [25] - **Chelgoum F. et Louati M.**, 1985 « Béton de sable de dune » M.F.E
ENP- P 78
- [26] - **Ahmed-Chaouch A.**, 1993 « Etude des caractéristiques de béton de sable de dune » thèse de magistère - ENP- P 104
- [27] - **Batata A.**, 1994 « le béton de sable de dune - sa formulation et ces propriétés » -CNERIB- P (345-353)
- [28] - **GHRIEB A.**, 1994 « Etude d'un béton de sable de dunes pour pistes aéronautique » -thèse de magistère -E.N.P- P 98
- [29] - **C.T.T.P** ,1999 « choix de formulation de sable de enrobé » -Ouargla- P 21
- [30] - **Goual M.S.**, 2001 « contribution à l'élaboration d'un procédé de valorisation de co-produits argileux - cas du béton argileux cellulaire obtenu par réaction avec l'aluminium pulvérulent : caractérisation et comportement thermohydrrique » thèse de doctorat -ENP -P 142
- [31] - **Logbi A.**, 1999 « Effet de l'incorporation des ajouts minéraux les propriétés physico-mécaniques du béton » thèse de magistère –ENP- P 108
- [32] - **Abbani S.** , 2003 « caractérisation et durabilité des bétons renforcés des fibres végétales de palmier dattier » thèse de magistère - Université de Ouargla - P 70
- [33] - « Guide pratique pour l'emploi des ciments » Association technique de l'industrie des liants hydrauliques -ATHIL- P 74
- [34] - **N.Kedjour N.**, 1993 « propriété et pathologie du béton »- O.P.U- P 275
- [35] - **M.Arnold M. et Virlogeux M.**, 1986 « Granula et béton léger »- Presse de L'ENPC -P 513

SOMMAIRE

INTRODUCTION GENERALE

Généralités.....	01
Objectif de la recherche.....	02
Plan de travail.....	02

CHAPITRE I : RECHERCHES BIBLIOGRAPHIQUE

Introduction.....	04
I.1 - Généralités sur les propriétés essentielles du béton.....	04
I.1.1 – Ouvrabilité.....	04
I.1.2 – Résistance.....	05
I.1.3 – Etanchéité.....	06
I.1.4 – Elasticité.....	06
I.1.5 – Retrait.....	08
I.1.6 – Durabilité.....	09
I.2 - Caractéristiques des granulats et leur influence sur les propriétés essentielle du béton.....	10
I.2.1 - Caractéristiques des granulats.....	11
I.2.1.1 – Propreté.....	11
I.2.1.2 - Texture et forme de granulat.....	12
I.2.1.3 – Granularité.....	13
I.2.1.4 - Module de finesse.....	13
I.2.1.5 - Porosité des granulats.....	14
I.2.1.6 – Coefficient d'absorption.....	14
I.2.2 - Influence des caractéristiques des granulats sur les propriétés essentielles du béton.....	15
I.2.2.1 - Influence de G/S.....	15
I.2.2.2- Effet de G/S sur le retrait du béton	17
I.2.2.3 - Influence de grosseur maximale des gros granulats.....	18
I.2.2.4 - Influence de la granularité.....	20
I.2.2.5 - Influence de l'état de surface des granulats.....	21
I.2.2.6 - Influence de la granularité du sable.....	23
I.2.2.7 - Influence de module de finesse.....	25
I.2.2.8 - Influence de l'équivalent du sable.....	29
I.3 - Recherches sur l'utilisation de sable de dune en génie civil.....	30
Introduction.....	30
I.3.1 - Présentation général de la recherche.....	30
I.3.2 - Recherches menées dans les golfs d'Arabie.....	30
I.3.3 - Recherches menées en Afrique Occidental.....	31
I.3.4 - Recherches menées en Russie.....	32
I.3.5 - Recherches menées en Algérie.....	32
I-4- Conclusion.....	37

CHAPITRE II : CARACTERISATION DES MATERIAUX ET COMPOSITION DU BETON

Introduction.....	38
II.1 - Le gravier.....	38
II.1.1 - Masse volumique apparente.....	38
II.1.2 - Masse volumique absolue.....	38
II.1.3 - Essai de propreté.....	39
II.1.4 - Coefficient d'absorption d'eau.....	39
II.1.5 - Analyse granulométrique.....	40
II.2 - Le Sable.....	42
II.2.1 - Analyse chimique.....	42
II.2.2 - Analyse minéralogique du sable de dune	42
II.2.3 - Masses volumiques.....	42
II.2.4- Essai d'équivalent de sable.....	43
II.2.5 - Coefficient d'absorption.....	43
II.2.6 - Analyse granulométrique.....	43
II.2.7 - Module de finesse.....	50
II.3 - Le Ciment.....	50
II.3.1 - Surface spécifique.....	50
II.3.2 - Temps de prise.....	51
II.3.3 - Caractéristiques chimiques.....	51
II.3.4 - Composition minéralogique de clinker.....	51
II.3.5 - Indice d'hydraulicité.....	51
II.3.6 - Caractéristiques mécaniques.....	52
II.4 - Eau de gâchage.....	52
II.5 - Composition du béton.....	52
II.5.1 - Présentation de la méthode «Dreux et Gorisse».....	53
II.5.2 - Dosage en ciment et en eau.....	53
II.5.3 - Trace de la courbe granulométrique de référence	54
II-6- Conclusion	56

CHAPITRE III : ETUDE EXPERIMENTALE DES DIFFERENTS BETONS PRODUITS

Introduction.....	57
III.1 - Formulation de différents bétons.....	57
III.2 - Confection des éprouvettes.....	58
III.2.1 - Préparation des mélanges.....	58
III.2.2 - Mise en place du béton dans les moules.....	58
III.2.3 – Conservation.....	58
III.3 - Type des essais réalisés.....	59
III.3.1 - Essais sur béton frais.....	59
III.3.1.1 - Mesure de la consistance.....	59
III.3.1.2 - Masse volumique du béton frais.....	59
III.3.2 - Essais sur béton durci.....	59
III.3.2.1 - Détermination de la masse volumique.....	59
III.3.2.2 - Teneur en eau.....	59
III.3.2.3 - Essais de résistance mécanique.....	60
III.3.2.4 - Essais de retrait.....	60
III.3.2.5 - Essais ultrasonique.....	60
III.4 - Résultats et interprétation.....	62
III.4.1 - Essai de résistance.....	62
III.4.2 - Essai de résistance à la compression.....	63
III.4.3 - Essai de résistance à la traction.....	65
III.4.4 - Essai ultrasonique.....	67
III.4.5 - Mesure de module d'élasticité dynamique.....	68
III.4.6 - Mesure de retrait.....	69
III.5– Discussion.....	70
- CONCLUSITON ET RECOMMANDATIONS	
- Conclusion.....	73
- Recommandations.....	75

- REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ANNEXES.

LISTE DES TABLEAUX

CHAPITRE I : RECHERCHES BIBLIOGRAPHIQUE

Tableau I-1 : Récapitulation des principales qualités des bétons en fonction de leur G/S et de leur granularité continue ou discontinue	15
Tableau I-2 : Influence qualitative des paramètres d'état de surface sur la facilité de mise en œuvre du béton et l'adhérence pâte –granulat.....	23

CHAPITRE II : CARACTERISATION DES MATERIAUX ET COMPOSITION DE BETON

Tableau II-1 : Composition chimique du gravier.....	39
Tableau II-2 : Analyse granulométrique de gravier G1(3/8) &G2 (8/15)	41
Tableau II-3 : Compositions chimique des sables.....	42
Tableau II-4 : Analyse granulométrique de sable de Dune (SD).....	44
Tableau II-5 : Analyse granulométrique de sable de Alluvionnaire (SA).....	45
Tableau II-6 : Analyse granulométrique de 50 % (SA) + 50 % (SD).....	46
Tableau II-7 : Analyse granulométrique de 75 % (SA) + 25 % (SD).....	47
Tableau II-8 : Analyse granulométrique de 25 % (SA) + 75 % (SD).....	48
Tableau II-9 : Analyse chimique du ciment utilisé.....	48
Tableau II-10 : Analyse minéralogique du clinker	51
Tableau II-11 : Composition chimique de l'eau.....	52
Tableau II-12 : Fourchette de dosage en ciment en fonction de la dimension D du plus gros granulat.....	53

CHAPITRE III : ETUDE EXPERIMENTALE DES DIFFERENTS BETONS PRODUITS

Tableau III-1 : Variation de l'affaissement et la teneur en eau en fonction de type de béton.....	62
Tableau III-2 : Variation de la résistance à la compression en fonction de type de béton et à différents d'age. (en MPa).....	63
Tableau III-3 : Variation de la résistance à la traction en fonction de type de béton pour les différents ages d'essai (en MPa).....	65
Tableau III-4 : Vitesse longitudinale du son en fonction de type du béton à différents ages (en m/s).....	67
Tableau III-5 : Module d'élasticité dynamique en fonction de type du béton à différents ages (en GPa).....	68
Tableau III-6 : Valeurs de retrait en fonction de type du béton à différents ages (en mm/m).....	69
Tableau III-7 : La comparaison entre le béton témoin (A) , le béton avec 100% sable de dune (E) et le béton de sable de dune.....	71

LISTE DES FIGURES

CHAPITRE I : RECHERCHES BIBLIOGRAPHIQUE

Figure I-1: Exemple de variation de la résistance en compression à 28 jours.....	16
Figure I-2: influence des granulats sur le retrait.....	17
Figure I-3: influence du diamètre maximal des granulats sur la résistance en compression du béton à 28 jours d'âge.....	19
Figure I-4: Effets de la granularité sur la résistance du béton	20
Figure I-5: la forme anguleuse conduit à un dosage supérieur en eau	22
Figure I-6: la forme sphérique conduit une réduction d'eau.....	22
Figure I-7: variation de la plasticité et de la résistance en compression en fonction du module de finesse à dosage en eau constant.....	25
Figure I-8: perméabilité mesurée par écoulement de kérosène sous pression (20bras) et pendant un heur (un dosage en ciment de 350 Kg/ m3) et un affaissement constant.....	26
Figure I-9: Relation approximative entre le module de finesse et la résistance en compression du béton.....	26
Figure I-10: variation de la résistance et de l'eau en fonction du module de finesse.....	27
Figure I-11: affaissement au cône d'Abrams en fonction du module de finesse.....	28
Figure I-12: Résistance du béton en fonction de l'équivalent de sable.....	29

CHAPITRE II : CARACTERISATION DES MATERIAUX ET COMPOSITION DE BETON

Figure II-1: Courbe granulométrique de gravier G1 (3/8) & G2(8/15).....	41
Figure II-2 : diffractogramme du sable de dune	43
Figure II-3: Courbe Granulométrique De Sable De Dune (SD).....	45
Figure II-4: Courbe Granulométrique De Sable Alluvionnaire (SA).....	46
Figure II-5: Courbe Granulométrique De 50 % (SA) + 50 % (SD).....	47
Figure II-6: Courbe Granulométrique De 75 % (SA) + 25 % (SD).....	48
Figure II-7: Courbe Granulométrique De 25 % (SA) + 75 % (SD).....	49
Figure II-8: Courbe granulométrique de référence.....	55

CHAPITRE III : ETUDE EXPERIMENTALE DES DIFFERENTS BETONS PRODUITS

Figure III-1: Variation de l'affaissement en fonction de type de béton.....	62
Figure III-2: Variation de la résistance à la compression à l'air libre à différents ages.....	64
Figure III-3: Variation de la résistance à la compression en fonction de type de béton à 28j pour les différentes cures.....	64
Figure III-4: Variation de la résistance à la traction en fonction d'âge d'essai.....	66
Figure III-5: Variation de la résistance à la traction en fonction de type de béton à 28j pour les différentes cures.....	66
Figure III-6: Variation de la vitesse du son en fonction d'âge d'essai.....	67
Figure III-7: Variation de la vitesse du son en fonction de type du béton à 28 j.....	67
Figure III-8: Variation du module d'élasticité dynamique en fonction d'âge d'essai.....	68
Figure III-9: Variation du module d'élasticité dynamique en fonction de type du béton à 28 j.....	69
Figure III-10: Variation de retrait en fonction de type du béton à 28 j.....	69
Figure III-11: Variation du retrait en fonction de l'âge de l'essai.....	70