

MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE



UNIVERSITÉ KASDI MERBAH OUARGLA
FACULTÉ DES SCIENCES ET SCIENCES DE L'INGÉNIEUR
DÉPARTEMENT D'HYDRAULIQUE ET GÉNIE CIVIL

N° d'ordre :

N° de série :

Mémoire

Présenté en vue de l'obtention du diplôme de

MAGISTER

Filière : **Aménagement Hydraulique et Génie Civil**

Option : **Génie Civil**

Présenté par :

BOUHNİK Brahim

Thème

**CONTRIBUTION A LA VALORISATION DU SABLE
DE DUNE DANS LA FORMULATION DU BÉTON
DESTINÉ AUX OUVRAGES HYDRAULIQUES
EN MILIEUX SAHARIENS**

Soutenu publiquement le : **14/ 02/ 2007**

Devant le Jury composé de :

BEBBA Ahmed Abdelhafid	MC	Université de Ouargla	Président
KHENFER Mohamed Mouldi	Prof	Université de Laghouat	Examineur
KRIKER Abdalouahed	M C	Université de Ouargla	Examineur
BENTEBBA Mohamed Tahar	MC	Université de Ouargla	Promoteur
LEGHRIEB Youcef	MACC	Université de Ouargla	Invité

Remerciements

Je tiens à exprimer mes profonds sentiments de respections et de remerciements à Dr : **BENTEBBA Mohamed Tahar** directeur de ce mémoire, pour ses conseils efficaces durant la préparation de ce travail.

Mes vifs remerciements à Dr : **BEBBA Ahmed** Maître de conférence à l'Université de Ouargla, pour l'honneur qu'il m'a fait en acceptant de présider le jury de soutenance.

Je tiens, aussi, à remercier Dr : **KHENFER Mohamed Mouldi** professeur à l'Université de Laghouat et Dr : **KRIKER Abdalouahed** Maître de conférence à l'Université de Ouargla, pour l'honneur qu'ils m'ont accordé en acceptant d'évaluer mon travail.

Mes sincères sentiments de remerciements aux établissements suivants :

- ❖ Laboratoire des travaux publics sud (LTPS Ouargla).
- ❖ Direction des mines (DM Ouargla).
- ❖ Société de préfabrication des canalisations en béton armé (Trans-Canal) Ouargla.
- ❖ Agence nationale des ressources hydrauliques (ANRH Ouargla).
- ❖ Laboratoire des études et de contrôle (LEC).

Pour leurs aides et leurs conseils, tout au long de la période de cette recherche.

C'est, aussi, l'occasion de présenter mes expressions de gratitude à tous ceux qui ont contribué, directement ou indirectement, à la réalisation de ce modeste travail.

INTRODUCTION GÉNÉRALE

1. GÉNÉRALITÉS

Le béton, depuis longtemps, a trouvé sa place d'application dans les différentes types de construction à savoir : les constructions civiles, industrielles et hydrauliques. Ces dernières sont, toujours, en contact avec les milieux agressifs tels que les eaux séléniteuses et le sol agressif dans les Oasis.

En se basant sur les analyses des échantillons du sol de la région de Ouargla, réalisés au niveau du laboratoire LTPS [1], on peut classer le sol de cette région de moyen à très agressif (le taux de sulfate est compris entre 0.9 et 5.4 %), le tableau (3, annexe 1) présente les degrés d'agressivité du sol selon leur teneur en sulfate[2].

De plus, les analyses des échantillons des eaux usées, au niveau du laboratoire de l'ANRH [3], montrent que la quantité du SO_4 est très élevée (entre 12 et 33 mg/l).

Vu l'état de dégradation que montre les canalisations des eaux usées, sous l'effet des sols salins et des eaux séléniteuses, elles doivent être remplacées dans des délais très courts, bien sur à des coûts très élevés. Ceci bloque, à son tour, le circuit de la vie. Donc, il est indispensable de confectionner des canalisations à base du béton qui répond aux exigences de différents milieux agressifs de manière qu'il soit plus durable.

Techniquement, le béton en question est à base de sable normalisé de carrière. En effet, cette matière devenue très rare dans notre région. Cela est du à la large consommation du sable de carrière. Les consommations du sable de construction, selon les statistiques de la direction des mines de Ouargla, des années 2001, 2002, 2003 sont, respectivement : 53593, 53789, 53918 (m^3) [4].

Pour ce, la recherche d'une solution technico-économique devient très nécessaire. Vu l'abondance du sable de dune dans notre région, son intégration dans le squelette du béton peut remédier à ce problème.

2. OBJECTIF DE LA RECHERCHE

Cette recherche vise à l'amélioration des caractéristiques du béton destiné aux ouvrages hydrauliques par l'intégration du flintkote dans sa composition en tenant compte de l'aspect économique par la substitution du sable de construction par le sable de dune.

3. PLAN DU TRAVAIL

L'étude a été développée en quatre chapitres : -

CHAPITRE I

Consiste à l'étude bibliographique des caractéristiques du béton et des granulats et leurs influences sur le béton. Ce chapitre est divisé en deux parties;

*La première partie : présente les caractéristiques essentielles du béton destinée aux ouvrages hydrauliques (ouvrabilité, résistance, durabilité, étanchéité, retrait, élasticité);

*La deuxième partie : expose les caractéristiques des granulats et leurs influences sur les propriétés du béton.

CHAPITRE II

Ce chapitre donne des exemples à partir des recherches précédentes sur l'utilisation du sable de dune dans le domaine de génie civil.

CHAPITRE III

Ce chapitre a mis en évidence les caractéristiques des matériaux utilisés dans cette étude (ciment, gravier, sable, eau, adjuvant) selon les normes. On présente aussi les compositions du béton qui doivent être étudiées. La méthode de formulation suivie par nous est la méthode ((DREUX-GORISSE)).

CHAPITRE IV

Dans ce chapitre on étudie les différentes compositions suivantes :

- Composition **BSC** : béton avec 100% sable de construction.
- Composition **BSCD** : béton avec 50% sable de construction + 50% sable de dune.
- Composition **BSD** : béton avec 100% sable de dune.
- Composition **BSCF** : béton avec 100% sable de construction + 2% flintkote.
- Composition **BSCDF** : béton avec 50% sable de construction + 50% sable de dune + 2% flintkote.
- Composition **BSDF** : béton avec 100% sable de dune + 2% flintkote.

A partir des résultats obtenus et leurs interprétations, on achèvera notre étude par une conclusion générale et on donnera quelques recommandations afin de continuer les recherches pour l'utilisation de ce sable de dune dans le béton et le béton armé dans tous les domaines possibles.

CAHAPITRE I

PROPRIETES DU BETON DESTINE AUX OUVRAGES

HYDRAULIQUES

I.1. PROPRIÉTÉS ESSENTIELLES DU BÉTON

I.1.1.INTRODUCTION

Comme notre béton est destiné aux ouvrages hydrauliques, il est préférable qu'il réponde à certaines exigences et spécifications à savoir ;une résistance élevée, une durabilité vis-à-vis des agents agressifs, une absorption minimale et une étanchéité presque parfaite.

Ces exigences ne seront atteints que par le choix judicieux des matériaux utilisés (ciment, granulats, eau et éventuellement les adjuvants), ainsi que par la formulation convenable du béton. La présentation de quelques spécifications du béton en question est l'objectif de ce chapitre.

I.1.2.OUVRABILITÉ

L'ouvrabilité est une qualité essentielle du béton ; elle peut se définir comme la facilité offerte à la mise en œuvre du béton pour le remplissage parfait du coffrage et de ferrailage [5].

Généralement, le béton destiné aux ouvrages hydrauliques exige une consistance plastique ou liquide. Ce qui correspond à un affaissement au cône d'ABRAMS compris entre 5 et 16 cm [6].

Deux exemples du béton sont présentés comme suit :

Béton 1 : est un béton imperméable destiné aux ouvrages hydrauliques [7].

- dosage en ciment : 375 à 400 kg/m³.
- rapport E/C \leq 0.45.
- squelette granulaire continu.

Pour adapter une consistance très plastique à très fluide on utilise :

-un super plastifiant(SIKAFLUID ou SIKAMENT) dosé de 1 à 1.5% du poids de ciment permettent de réduire la quantité d'eau, limitant ainsi le volume des capillaires tout en conservant une consistance adaptée à la mise en œuvre.

Béton 2 : est un béton destiné aux travaux en milieux agricoles [8].

-dosage minimal en ciment : 350 kg/m^3 .

-rapport E/C ≤ 0.50 .

Afin d'obtenir une consistance plastique, l'emploi des adjuvants plastifiants réducteurs d'eau est conseillé.

I.1.3.RÉSISTANCE

La résistance du béton est généralement considérée comme la plus importante propriété bien que, dans de nombreux cas pratiques, d'autres caractéristiques telles la durabilité et la perméabilité peuvent en fait être plus importantes. Néanmoins, la résistance projette généralement une image globale de la qualité d'un béton puisqu'elle est directement reliée à la structure de la pâte de ciment hydraté. De plus, la résistance du béton est presque invariablement l'élément clef lors de la conception des structures en béton et lors de l'établissement des spécifications de conformité [9].

Les bétons peuvent être classés selon la résistance à la compression visée. Le tableau ci-dessous indique les différentes catégories du béton en fonction des résistances caractéristiques [5]; suivant le type d'éprouvette utilisé.

Tableau (I-1)

Les classes de résistances du béton à 28 jours(MPa) [5].

Classe	C 12.5/5	C 16/20	C 20/25	C 25/30	C 30/37	C 35/40	C 40/45	C 45/55	C 55/6
Résistance sur cylindre (15x30cm ²)	12.5	16	20	25	30	35	40	45	55
Résistance sur cube (15 x15 cm ²)	15	20	25	30	37	40	45	55	60

Le béton 2 qui est destiné aux travaux en milieux agricoles, correspond à un environnement d'agressivité chimique moyenne. Ce béton vise une résistance à la compression de 35 MPa à 28 jours (classe 35/40).

I.1.4.DURABILITÉ

La durabilité d'un béton n'est pas une caractéristique, mais plutôt sa réponse aux charges en service et aux conditions environnementales ; la durabilité d'un béton dépend d'une multitude de caractéristiques du matériau, aussi de l'agressivité de son environnement. Un élément en béton qui subit des cycles de chargement et de déchargement ou de mouillage et de séchage, par exemple, peut se fissurer à cause de ces cycles. Des agents agressifs extérieurs pénétreront facilement dans sa matrice à travers les fissures et microfissures formées. Ces agents agressifs peuvent, par la suite, réagir avec les hydrates pour diminuer davantage la capacité portante de l'élément [10].

I.1.4.1.ATTAQUE DU BÉTON PAR LES SULFATES

Une grande variété de sulfates, provenant le plus souvent des eaux souterraines ou des eaux de mer, peut entrer en contact avec le béton et réagir chimiquement avec les hydrates, en particulier avec les aluminates C_3A , et causer la fissuration et l'éclatement du béton [10].

La photo suivante présente un exemple de canalisation des eaux usées dégradée.



Figure (I-1) : Photo d'une canalisation dégradée.

Il existe plusieurs formes de sulfates dans le sol et les eaux dont les principaux sont [11]:

- le sulfate de calcium CaSO_4 .
- le sulfate de magnésium MgSO_4 .
- le sulfate de potassium K_2SO_4 .
- le sulfate de sodium Na_2SO_4 .

Ces solutions de sulfates peuvent être combinées avec les aluminates tricalciques du ciment C_3A pour former une expansion dans la structure du béton dite : l'étringite ($\text{C}_3\text{A} \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot 32\text{H}_2\text{O}$).

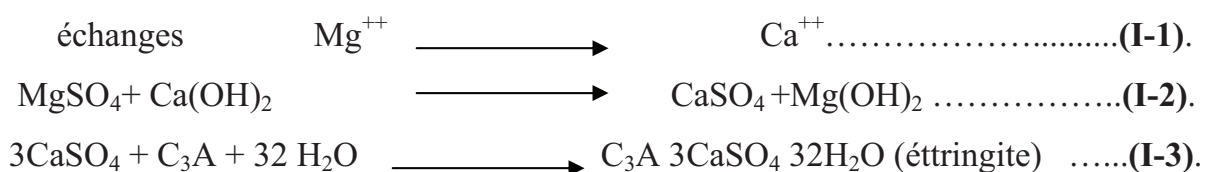
La figure suivante présente les photos des hydrates (C_3A) et d'étringite ($\text{C}_3\text{A} \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot 32\text{H}_2\text{O}$) :



Figure (I-2) : Photos microscopiques de C_3A et d'étringite [11].

L'hydratation des ciments dans un milieu agressif, à titre d'exemple un milieu riche en sulfate de Magnésium (MgSO_4), provoque une substitution des cations Mg^{++} en ions Ca^{++} (la chaux), ce qui est connu par les échanges ioniques. Les conséquences de cette substitution sont [12] :

- 1- La formation d'étringite dû à la réaction chimique de la gypse secondaire (CaSO_4) et le C_3A du ciment, comme il est indiqué dans les équations chimiques suivantes [12] :



2- Diminution de la cinétique d'hydratation du ciment (manque de produits d'hydratation C-S-H) [13] :



C'est à dire : Ciment + Eau \longrightarrow Chaux (CH) + Produits d'hydratation.

Pour stabiliser la chaux libérée par l'échange ionique , on ajoute au ciment des pouzzolanes ou laitier (nature siliceuses C-S-F) :



Le CSF ayant une très grande surface spécifique ($\geq 20 \text{ m}^2/\text{g}$) enrobe le grain de ciment et fait écran entre le C_3S (ou C_3A) et l'eau , cet écran disparaît après la dissolution du CSF dans la solution intergranulaire du C_3S (ou C_3A) [13] .

I.1.4.2.TYPE DU CIMENT ADAPTÉ POUR UN MILIEU SULFATÉ

Les ciments destinés aux travaux des eaux à haute teneur en sulfates présentent des teneurs limitées en aluminates tricalciques C_3A qui permettent de conférer au béton une résistance accrue à l'agression des ions sulfates. C'est la norme expérimentale XP P 15-319 qui fixe les caractéristiques de ces ciments. Cette norme est spécifique du marché français. Elle s'applique aux ciments suivants : CEM I – CEM II/A et B, CEM III/A et B, CEM III/C et CEM V/A et B [11].

Selon l'agressivité de l'environnement, les normes indiquent les mesures à prendre pour la protection du béton contre l'attaque des sulfates, un béton ayant un rapport E/C maximal de 0,50, fabriqué à partir d'un ciment qui répond aux spécifications de la norme ASTM C150 pour un ciment de Type II (teneur maximale en C_3A de 8 % et en SO_3 de 3 %) est recommandé pour une agressivité modérée. Lorsque l'agressivité de l'environnement augmente, il est recommandé de diminuer davantage le rapport E/C et d'utiliser un ciment résistant aux sulfates (Type V ASTM; teneur maximale de 5 % en C_3A et de 2,3 % en SO_3) [10].

Les fortes teneurs en C_3A , SO_3 , Gypse, et C_4AF couplées à une surface spécifique élevée (finesse de mouture) garantissent la réactivité (mauvaise résistance) du ciment vis-à-vis des sulfates [14].

I.1.4.3.ESSAI DE DURABILITÉ

La dégradation chimique du béton sous l'effet de sulfate a des conséquences d'ordre macroscopiques et en particulier d'ordre mécanique : chute de résistance et de rigidité, fissuration et déformation du matériau et physico-chimiques : affaiblissement des propriétés liantes, modification de la porosité [14].

PLANEL.D [14] a préparé une étude expérimentale sur l'attaque sulfatique du béton. Dans ce sens, il a fait une comparaison entre la dégradation d'une pâte de ciment en eau déminéralisé (DEP) et dans un milieu sulfaté (ASSO). Il a utilisé un ciment de type CEMI 52.5R, constitué de 96% de clinker qui a une teneur élevée de C_3A (9.9%). La solution de sulfate utilisée est le sulfate de sodium ($NaSO_4$), de concentration de 15 ml/L.

Des dégradations en eau déminéralisée (DEP) et en milieu sulfatique (ASSO) ont été menées en parallèle sur des échantillons similaires. Les résultats de l'expérimentation menée ont mis en évidence un flux de calcium sortant plus faible dans le cas de l'ASSO par rapport à la DEP, corrélativement à une épaisseur dégradée qui évolue moins vite. Le matériau exposé à l'ASSO consomme une partie des sulfates de la solution externe qui pénètrent à l'intérieur. Il a été montré l'existence d'un phénomène de diffusion des ions sulfates de sens opposé à la diffusion des ions calcium.

Une autre étude faite par **HANHAN.A** et **ZAYED .A.M** [15]. Cette étude a pour objectif d'apparaître l'influence du contenu de sulfate SO_3 en ciment sur la durabilité du béton. Pour cela, les auteurs ont préparé des éprouvettes de mortiers avec deux ciments de différentes compositions; ciment 1 et 2.

Tableau (I-2)

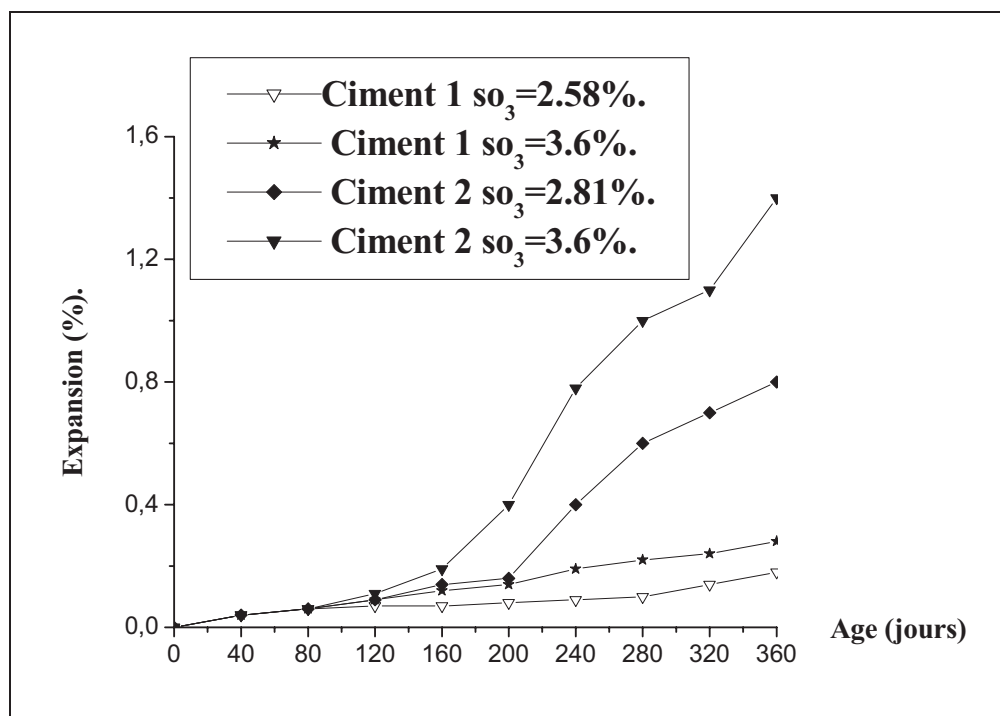
Les compositions chimiques des ciments utilisés [15].

Composants %	Ciment 1	Ciment 2
SO ₃	2.58	2.81
C ₃ A	6	7
C ₃ S/ C ₂ S	3.2	4.3
alcalis	0.4	0.27

L'essai de durabilité consiste à conserver les éprouvettes, confectionnées par les deux ciments, dans une solution de sulfate de sodium, à une concentration de 5 %.

Pour mettre en évidence l'influence de la teneur en SO₃, du ciment, sur la durabilité du béton; on augmente le contenu de SO₃, dans les deux ciments, jusqu'à la teneur de 3.6 %, et on remarque l'évolution de l'expansion (**figure (I-3)**) et de la résistance (**figures (I-4) et (I-5)**).

Par la lecture de la figure (I-3) on constate que le ciment 2 donne la plus grande expansion par rapport au ciment 1.

**Figure (I-3) :** Expansion des éprouvettes conservées dans le sulfate de sodium [15].

Concernant la résistance, les figures (I-4) et (I-5) montrent que le ciment 1 ne présente aucune perte de résistance quelque soit le contenu en SO_3 . Par contre, le ciment 2 présente une perte de résistance pour la teneur en SO_3 de 3.6 %.

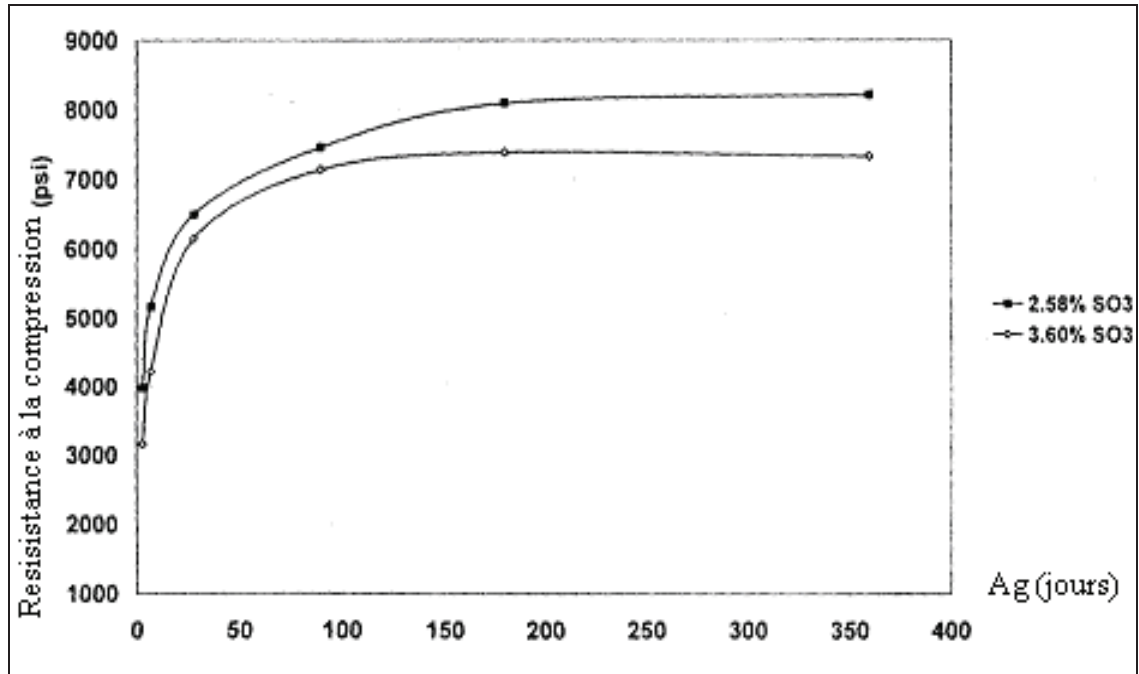


Figure (I-4) : Évolution de la résistance des éprouvettes conservées dans le sulfate de sodium (ciment 1) [15].

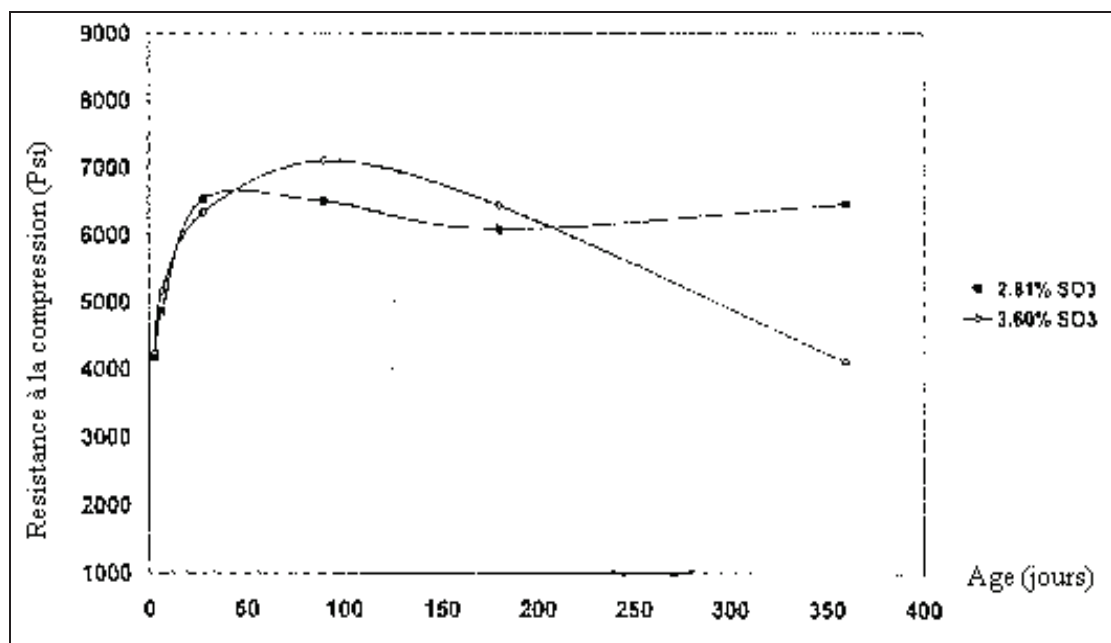


Figure (I-5) : Évolution de la résistance des éprouvettes conservées dans le sulfate de sodium (ciment 2) [15].

Ces résultats se traduisent par les teneurs en C_3A et C_3S qui sont plus grandes dans le ciment 2.

L'étude est achevée par la conclusion suivante :

Pour assurer la durabilité d'un béton contre l'attaque de sulfate, il existe un contenu optimum, de SO_3 , basé sur la teneur en alcalis et la composition chimique du ciment. Donc, pour un ciment avec basses teneurs en alcalis, C_3A , C_3S et SO_3 le béton est plus durable [15].

I.1.5.PERMÉABILITÉ ET ABSORPTION

Béton 1, béton imperméable destiné aux ouvrages hydrauliques[7], pour le rendre imperméable et avec une absorption minimale, il faut utiliser l'un des adjuvants suivants :

-un hydrofuge de masse (SIKA hydrofuge HW), dosé de 0.7 à 1.5 % du poids de ciment. Cet adjuvant se combine à la chaux du ciment pour former des cristallisations complémentaires qui obstruent les capillaires du béton et le rendent étanche à l'eau.

-ou un super plastifiant (SIKAFLUID, SIKAMENT), dosé de 1 à 1.5 % du poids de ciment, permettent de réduire la quantité d'eau et de limiter le volume des capillaires.

-ou une synergie hydrofuge/super plastifiant qui constitue une meilleure solution pour obtenir un béton imperméable. Comme il est représenté dans la figure ci-dessous, l'absorption capillaire pour un béton adjuvanté par l'hydrofuge, est trois fois moins forte que celle du béton témoin.

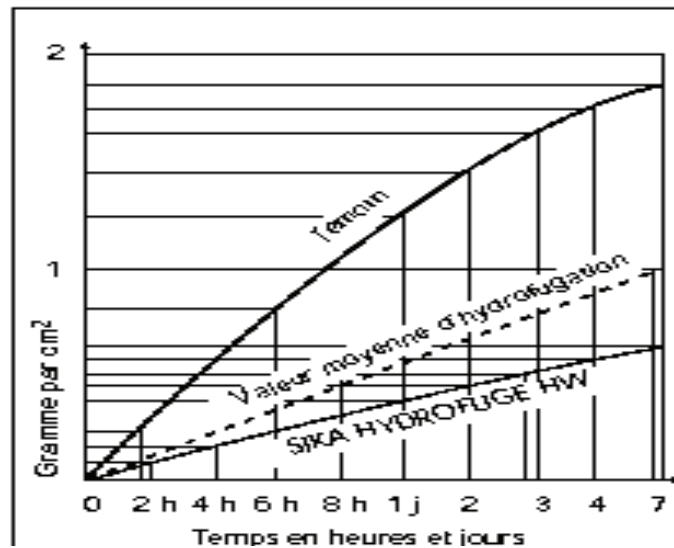


Figure (I-6) : L'absorption capillaire pour un béton adjuganté par l'hydrofuge [7].

I.1.6. Variations volumétriques (RETRAIT et GONFLEMENT)

Dans un béton et après la prise de ciment, des changements volumétriques se produisent et peuvent prendre la forme de retrait ou de gonflement [9].

En 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 libre, on observe une diminution des dimensions initiales. Ce phénomène porte le nom de retrait [16].

Ce phénomène accompagne la prise de ciment, on peut l'assimiler à l'effet d'un abaissement de température entraînant un raccourcissement [5].

Le béton mûri, continuellement dans l'eau après sa mise en place, augmente en volume (expansion). Ce gonflement est dû à l'absorption d'eau par le gel de ciment [9].

On peut distinguer deux type de retrait :

I.1.6.1. Retrait endogène : Ce type de retrait est la conséquence de l'absorption de l'eau des pores capillaires due à l'hydratation du ciment non encore hydraté, phénomène connu comme l'auto dessiccation [9].

I.1.6.1. Retrait de séchage : L'eau qui s'évapore d'un béton conservé dans de l'air non saturé provoque du retrait, dit de séchage. Une partie de ce mouvement est irréversible et doit être distinguée de celui réversible dû à une conservation où alternant des conditions de séchage et d'humidité [9].

On indique les valeurs moyennes de retrait en mm/m ci-après [5] :

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

-dans les région très sèches (Sahara) $\Delta L/L=5 \times 10^{-4}$.

I.1.7.ELASTICITÉ

La notion de coefficient d'élasticité E d'après sa définition est égale à la pente de la courbe (contrainte - déformation) [17].

E=contrainte unitaire/déformation relative $E = \frac{F_{cj}}{\varepsilon}$ (I-3).

F_{cj} : contrainte de compression à j jours en MPa.

ε :déformation relative est égale $\Delta L/L$ (sans dimension).

Le module d'élasticité est compris généralement entre 25000 et 45000 MPa [17].

I.2. CARACTÉRISTIQUES DES GRANULATS ET LEURS INFLUENCES SUR LES PROPRIÉTÉS DU BÉTON

I.2.1.INTRODUCTION

Les granulats sont des matériaux inertes qui, aggloméré par un liant, constituent le squelette du béton [18]. Ils peuvent provenir des dépôts présentant une large plage de dimension, allant des plus petits jusqu' aux gros éléments (entre 0 et 125 mm) [9].

Généralement, les granulats (sable et graviers) occupent environ les trois quarts du volume totale du béton. Pour cela, il n'est pas étonnant que leurs propriétés affectent les performances du béton : ouvrabilité, résistance, durabilité,...etc. Donc on ne peut pas confectionner un bon béton avec des granulats dont les propriétés sont médiocres [9].

Les granulats destinés à la confection du béton hydraulique doivent répondre aux exigences des normes NFP18-540 [5]. La présentation de certains caractéristiques

des granulats (forme, propreté, granulométrie,...) et leurs influences sur les qualités du béton sont l'objectif du chapitre en cours.

I.2.2.TEXTURE ET FORME DES GRANULATS

L'adhérence (pâte de ciment – granulats) étant un phénomène de surface, donc l'état de surface est un paramètre qui influe sur elle et par conséquent sur la résistance du béton [18]. La forme et l'état de surface d'un granulat a aussi une influence sur la maniabilité du béton.

La forme la plus souhaitable se rapprochant de la sphère et les mauvaises formes sont : aiguilles et plats, qui nécessitent une quantité d'eau plus élevée et peut provoquer des défauts d'aspect [5].

Le grain est caractérisé par trois dimensions : sa largeur L et sa grosseur G et sa petite dimension E (épaisseur).Le coefficient d'aplatissement ((A)) qui caractérise la forme des granulats à partir de sa plus grande dimension et de son épaisseur est par définition le pourcentage des éléments tels que $G/E \geq 1.58$.

La norme **NFP 18-541** spécifie que la valeur de $A \leq 30\%$.

On peut définir, aussi, le coefficient volumétrique C_v pour un granulat. Ce coefficient est le rapport du volume absolu d'un grain au volume de la sphère circonscrite à la plus grande dimension de ce grain :

Pour un ensemble de grains

$$C_v = \frac{\sum V}{\pi \frac{\sum d^3}{6}} \dots\dots\dots (I-4).$$

Pour un gravier C_v doit être supérieur à 0.20 [17].

I .2.3.PROPRETÉ

Parmi les impuretés prohibés pour un granulat, on peut citer : le charbon, les scories, les déchets de bois, brindilles, débris végétaux et plastique, algue, ...etc.

Le pourcentage des impuretés doit être inférieur à 0.1%, même les granulats ne doivent pas contenir d'hydrocarbures, d'huiles végétales ou de matière organiques [5].

Pour les granulats supérieurs à 5 mm (gravillon, graviers) la norme tolère un pourcentage de 1.5 % de vase, argile et matière solubles éliminées par lavage et décantation [17].

Le fascicule 23 stipule que ces granulats doivent contenir moins de 2 % de grains passant au tamis de 0.5mm [17].

Si les granulats sont enrobés d'une gangue argileuse, la mise en œuvre du béton sera rendue beaucoup plus difficile, et l'adhérence des grains à la pâte de ciment est très altérée [18].

Pour les granulats inférieurs à 5 mm (sable) la mesure la plus représentative demeure l'essai d'équivalent de sable réalisé dans des éprouvettes à l'aide d'une solution lavante. Le tableau suivant récapitule les résultats d'équivalent de sable et leur influence sur le béton.

Tableau (I-3)

Valeurs d'équivalent de sable [17].

ES à vue	ES au piston	Nature et qualité du sable
ES <65	ES <60	Sable argileux : risque de retrait ou de gonflement à rejeter pour des bétons de qualité.
$65 \leq ES < 75$	$60 \leq ES < 70$	Sable légèrement argileux de propriété admissible pour béton de qualité courante et on ne craint pas particulièrement le retrait.
$75 \leq ES < 85$	$70 \leq ES < 80$	Sable propre à faible pourcentage de fines argileuses convenant parfaitement pour les bétons de haute qualité.
ES ≥ 85	ES ≥ 80	Sable très propre : l'absence presque totale de fines argileuses, risque d'entraîner un défaut de plasticité du béton qu'il faudra rattraper par une augmentation du dosage en eau.

I.2.4. INFLUENCE DE GRANULOMÉTRIE DU SABLE

La granulométrie du sable a une grande importance sur les qualités du béton. Une bonne granulométrie permet d'économiser le liant sans réduire la résistance [19].

La distribution granulométrique et la surface spécifique sont liées l'une de l'autre ; si la taille des grains augmente, la surface spécifique globale et la demande en eau diminue [9]. Donc plus le sable est riche en éléments grossiers, plus la maniabilité s'améliore [20].

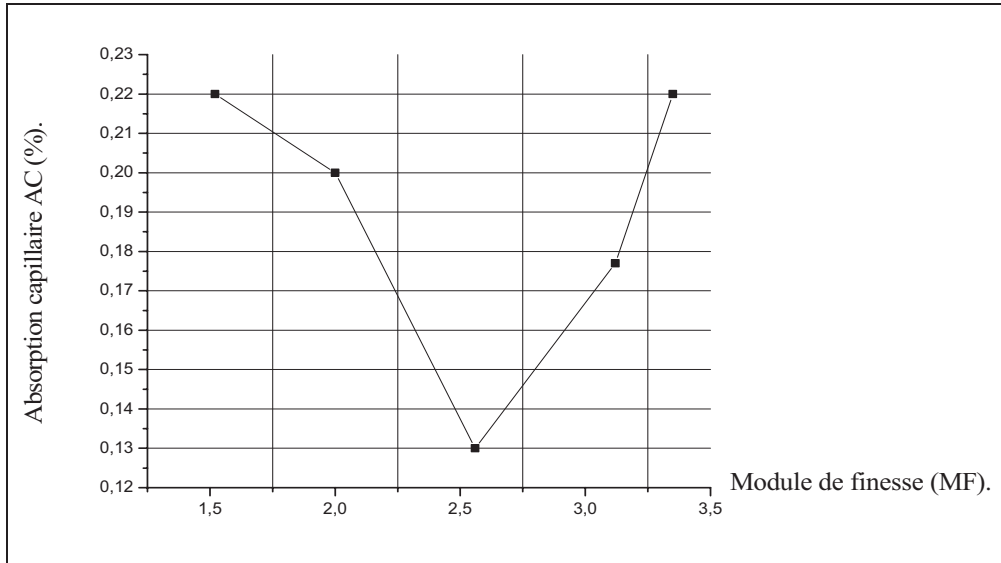
Afin de mettre en évidence l'influence de la granulométrie du sable sur la résistance du béton, **GORDON [19]** a étudié des sables de différentes granulométries ; Cet auteur a conclu que la granulométrie du sable comprise entre 0.15 et 5 mm n'influe pas sur la résistance du béton si sa composition est optimale.

D'autres auteurs ont confirmé cette conclusion [19, 21]. On souligne que lorsqu'on remplace un sable par un autre et cela fait varier la résistance du béton, la cause ne consiste pas en granulométrie, il faut rechercher 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 propriété et le contenu de la fraction 0 à 0.15mm.

I .2.5.MODULE DE FINESSE

Le caractère plus ou moins fin d'un sable peut être quantifié par le calcul du module de finesse MF. Plus que MF est faible, plus que le sable est riche en éléments fins [22]. Un bon sable à béton doit avoir un module de finesse compris entre 2.2 et 2.8 ; au dessous, le sable est très fin ce qui nécessite une augmentation du dosage en eau ; au dessus, le sable manque de fines et le béton y perd en ouvrabilité [5].

Le module de finesse a aussi des effets sur l'absorption capillaire et la perméabilité du béton. Les deux figures suivantes démontrent ces effets.



$$AC = \frac{100P}{S\sqrt{t}} \text{ à } 72 \text{ heures}$$

P : poids d'eau absorbé par l'éprouvette dans un temps t.
 S : surface de section de l'éprouvette.

Figure (I-7) : L'absorption capillaire AC du béton en fonction de MF [17].

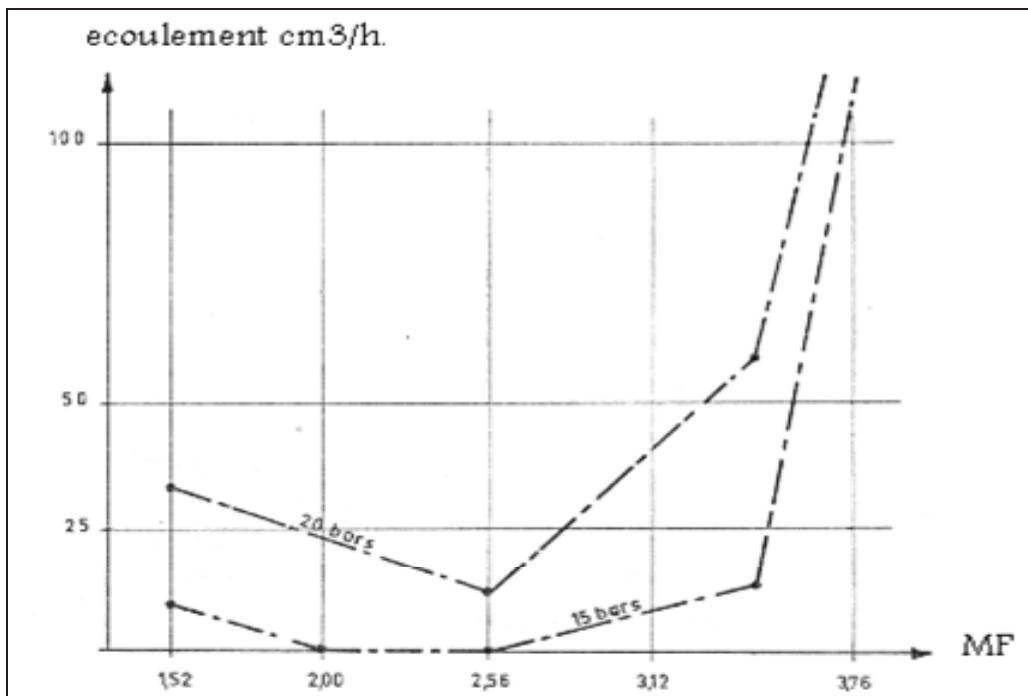


Figure (I-8) : L'influence du module de finesse sur le coefficient de perméabilité mesuré par écoulement de kérosène de pression de 15 et 20 bars [17].

Les deux figures précédentes montrent que la perméabilité et l'absorption capillaire du béton sont minimales pour valeurs de MF comprises entre 2 et 3.2 (les valeurs recommandées par les normes).

I .2.6.RAPPORT GRAVIER / SABLE (G/S)

Le rapport (G/S) correspond à celui des volumes absolus du gravier sur sable. La coupure entre sable et gravier se fait au tamis de module 38(5mm) [5].

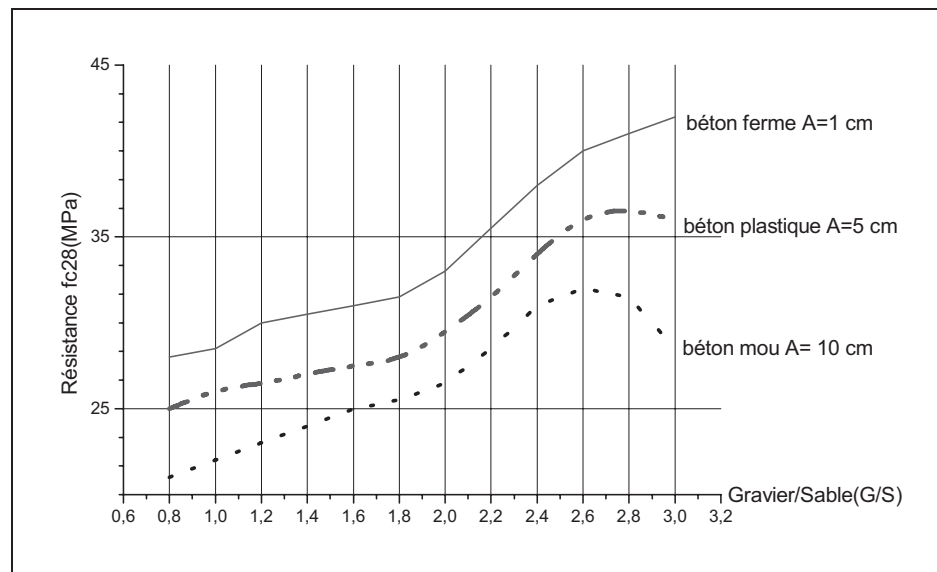
Pour $G/S \leq 2.2$ (valeurs les plus courantes) l'influence de G/S est faible. Mais, la résistance augmente sensiblement pour des valeurs élevées de G/S surtout pour les bétons fermes. Le tableau présente une récapitulation des qualités principales des bétons en fonction de leurs G/S.

Tableau (I-4)

Principales qualités des bétons en fonction de leur (G/S) et leur granularité [5].

Caractéristiques	Appréciation 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 si $G/S > 2.2$	Moins bonne
Résistance à la compression	Meilleure surtout pour $G/S \geq 2.2$	Très légèrement supérieure
Résistance à la 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 de son	Sans corrélation très nette	Légèrement supérieure
Indice sclérométrique	Un peu supérieure	Très légèrement supérieure
Retrait	Sans corrélation très nette	Moins élevé surtout si $G/S > 2.2$
Compacité, densité	Légèrement plus élevé pour $G/S > 2.2$	Un peu plus élevé

La figure ci-dessous montre l'influence de rapport G/S sur la résistance du béton avec plasticités différentes.



A : Affaissement au cône d'ABRAMS

Figure (I-8) : Variation de la résistance à la compression selon le rapport G/S avec différentes plasticités [5].

La tendance actuelle est de ne pas dépasser des valeurs de G/S entre 1.5 à 1.6 ; c'est un léger sacrifice de la résistance au profit de l'ouvrabilité [5].

Concernant l'influence sur le retrait du béton, l'ouvrage [22] montre que l'utilisation de gros granulats diminue le retrait comme ce qui est indiqué sur la figure suivant :

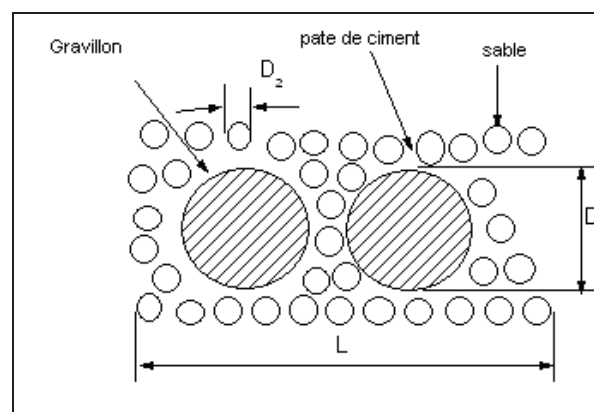


Figure (I-9) : Influence de la dimension de granulat sur le retrait [22].

Soient $D1$ et $D2$ les dimensions respectives des gravillons et du sable composants la squelette du béton. Le retrait éventuel est la réaction de la 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 sera sous forme des retraits qui affectent les liaisons entre tous les grains de sable rencontrés sur la distance L . Mais, dans le cas de présence de deux gravillons sur la distance L , le retrait n'affecte en réalité que la distance $L-2D1$. Ce qui précède veut dire que : plus le rapport G/S est élevé, plus le retrait est diminué.

I .2.7. POROSITÉ ET ABSORPTION

La porosité d'un granulat est le rapport du volume des vides contenus dans les grains au volume des grains [18]. La porosité des granulats, leur imperméabilité et leur absorption influencent sur certaines de leurs propriétés comme la liaison avec la pâte de ciment, leur stabilité chimique et leur résistance à l'abrasion ainsi que la résistance du béton au gel dégel [9].

La taille des pores des granulats est très variable : les plus gros peuvent être vues 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 admis qu'ils affectent la durabilité des granulats soumis à des cycles de gel dégel [9].

L'absorption des granulats est le rapport de l'augmentation de leur masse provoquée au bout de 24 heures par une imbibition partielle par rapport à leur masse sèche. Plus la valeur d'absorption est élevée moins la durabilité du béton est moins assuré dans un milieu agressif. Par exemple la pénétration de l'eau dans les pores des granulats (du béton) fragilise la structure en cas de gel.

Lors de malaxage du béton, l'emploi de granulat à forte absorption peut provoquer un léger raidissement s'ils n'ont pas été pré mouillés avant leur introduction dans le malaxeur [5].

Généralement, le gravier a une absorption plus élevée que la roche de même type pétrographique car, sa surface est plus poreuse et absorbante en raison de son altération.

Il n'y a pas une relation directe et bien définie entre la résistance du béton et l'absorption des granulats. Mais, les pores à la surface des granulats affectent leur liaison avec la pâte de ciment, ce qui influence la résistance du béton [9].

I.3.CONCLUSION

Dans ce chapitre, nous avons exposé les propriétés essentielles du béton destiné aux ouvrages hydrauliques (maniabilité, résistance, durabilité,...etc.). Dans ce sens, nous avons vu que la consistance de ce béton doit être plastique (affaissement entre 5 et 16 cm). La résistance et la durabilité du béton dépendent du dosage et de la qualité du ciment, ainsi que le rapport E/C.

Nous avons montré, aussi, que les qualités d'un béton dépendent des caractéristiques de leurs constituants, en particulier, les granulats qui occupent environ 75% du volume total du béton. Dans ce cadre, on expose les effets de forme, propreté, granulométrie des granulats et du rapport G/S sur les propriétés du béton.

Toutes ces informations doivent être prises en considération dans le cadre de la formulation du béton pour comparer et interpréter les résultats expérimentaux.

CHAPITRE II

SABLE DE DUNE EN GENIE CIVIL

II.1. INTRODUCTION

Le sable de dune est le résultant d'une érosion et d'une sédimentation de différentes roches suivies d'un transport fluvial et parfois éolien. La plus grande partie des formations sableuses est constituée à partir du quartz. Il se caractérise par une granulométrie fine et très serrée [23].

Le sable de dune était utilisé depuis longtemps dans l'exécution des travaux de remblayage des fouilles de fondations et les travaux routiers. Mais, l'utilisation de cette matière avec sa forme actuelle, comme constituant principal du béton, n'apparaissait qu'après la naissance du béton de sable en 1853 par **COIGNET.F [20]**. Le béton de sable ne contient que du sable et d'autres ajouts comme granulats.

L'idée d'utilisation du sable de dune dans la composition du béton est due à la rareté des gros granulats et leurs coûts très élevés à cause du transport. Alors qu'il y a des réserves inépuisables de sable de dune dans certaines régions et à moindre prix.

Dans ce chapitre, on doit présenter quelques travaux et recherches menés dans le sens de la valorisation du sable de dune.

II.2. RECHERCHES MENÉES EN UNION SOVIÉTIQUE

L'Union Soviétique est un pays très pauvre de gros granulats, par contre, il possède des quantités importantes de sable fin. Pour cela, certaines recherches, sur l'intégration de ce sable dans le béton, ont été menées dont l'étude réalisée par **CHAUVIN. J- J [24]**.

L'étude montre les axes suivants :

- L'influence de la forme des grains et de la granularité.
- L'influence des adjuvants ; réducteurs d'eau et fluidifiants.

- La déformation sous charge.

Mais, malheureusement, on n'a pas pu mettre à nu les détails des résultats expérimentaux de ce travail.

Ce béton est généralement destiné :

- A la préfabrication des dalles et pavés pour piétonniers, pieux et toitures.
- Au béton projeté : travaux de rénovation avec ferrailage des surfaces et une couche de béton de sable.

II. 3. RECHERCHES MENÉES AU NIVEAU DU GOLF ARABE

KOTZIAS [25] a préparé un béton à partir du sable de dunes. Ce sable a un module de finesse de 1.5, donc sa granulométrie était en dehors de la limite du fuseau recommandé. Les mélanges proposés dans ce travail sont comme suit :

Tableau (II-1)

Résultats de Résistance obtenues par les mélanges proposés par **KOTZIAS [25]**.

Mélange	Sable (Kg/m ³)	Ciment (Kg/m ³)	E/C	RC28 (Mpa)
1	1350	460	0.65	12
2	1350	460	0.50	22

Les résultats obtenus dans ce travail sont toujours très insuffisants, et généralement ce béton est destiné aux fondations, murs de soutènement et pour planchers.

II. 4. PRÉSENTATION DE LA RECHERCHE MENÉE AU MAROC

L'expérience consiste à la confection d'un béton de sable à base de deux types de sables : un sable grossier et un autre fin de la région de **Casablanca**. Le tableau ci-dessous présente La granulométrie de ces types de sable :

Tableau (II-2)

Granulométrie des sables utilisés [26].

Sable	> 2 mm	0,08 à 2 mm	< 0,08 mm
Grossier	98%	1%	1%
Fin	7%	74%	19%

Les compositions proposées et leurs résultats de résistance sont récapitulés dans le tableau ci-après :

Tableau (II-3)

Les résultats de résistance obtenue par les compositions proposées (au Maroc) [26].

béton	Dosage en ciment	Sable fin (kg)	Sable grossier (kg)	Eau (L)	E/C	Résistance à 28 jours (MPa)	
						à la compression sur cubes	à la traction sur prismes
A	350kg/m ³	644	966	238	0.68	30.8	2.7
B		483	1127	245	0.7	13.3	2.29
C		805	805	245	0.7	19.2	2.08

II. 5. PRÉSENTATIONS DES INVESTIGATIONS ALGÉRIENNES

Afin de confectionner un béton de bonnes performances, le sable recommandé est le sable alluvionnaire dont les caractéristiques sont présentées selon les normes.

Vu la rareté de cette matière au sud algérien et où le sable de dune existe avec une grande abondance, la valorisation de ce matériau dans la squelette du béton est le thème de quelques études et travaux.

Le **CNERIB** a avancé ces premiers pas dans ce thème suite aux nombreux travaux lancés par les intéressés.

● L'étude menée par : **MEROUAINI .Z** et **BATATA .A** [27] l'un de travaux réalisés. Les matériaux utilisés dans ce travail sont :

- Un sable de dune d'**EL-Goléa** qui a une granulométrie serré au diamètre maximale de 0.5mm et au module de finesse de 1,47.
- Le ciment utilisé est le CPJ325.
- Des fines calcaires obtenues par criblage du sable de concassage 0/3 à travers le tamis de 80 μ m.

L'amélioration de la compacité du béton peut varier en fonction du dosage en ciment (270 à 400 kg/m³) : Ainsi qu'en teneurs en fines (0 à 10 %).

La composition optimale obtenue est comme suit [27] : -Ciment = 330 kg/m³.

-Sable = 1530 kg/m³.

-Eau = 260 l/m³.

-Fines = 6%.

Concernant le retrait est assez important (1,5 mm/m).

● Un autre travail était mené dans ce sens par **AZZOUZ .L** et **KENALS** et **BOUHICHA. M** [28]. Cette étude présente les propriétés du béton de sable de dune et l'influence des ajouts calcaires sur le béton de sable.

Les matériaux utilisés sont :

- Sable de dune de **Laghouat** au diamètre maximale qui n'excédait pas 0.63mm ;
- Ciment CPA 325 ;
- Des calcaires fins.

Après une série d'essais préliminaires en vue d'obtenir une composition optimale par la variation du rapport E/C de **0.6** jusqu'à **1.2**. Les compositions obtenues sont :

Tableau (II-4)

Compositions des bétons étudiés (à partir du sable de dune de Laghouat) [28].

Béton	Sable (Kg/m³)	Ciment (Kg/m³)	Fines (Kg/m³)	Eau (l/ m³)	E/C
1	1486	330	-	264	0.8
2	1336	330	150	264	0.8
3	1286	330	200	264	0.8
4	1236	330	250	264	0.8

Ces compositions sont obtenues pour des consistances plastiques et des résistances à la compression de 13 à 18 MPa à 28 jours.

Les éprouvettes confectionnées sont conservées dans les trois environnements suivants :

Environnements I : En l'air libre de $20^{\circ}\pm 5^{\circ}\text{C}$.

Environnements II : Dans l'eau potable à $15^{\circ}\pm 2^{\circ}\text{C}$.

Environnements III : Dans l'étuve à $40^{\circ} \pm 5^{\circ}\text{C}$.

Deux durées de cure sont proposées pour chaque environnement ; de 5 et 7 jours.

Les meilleurs résultats de résistance sont obtenus avec le béton 3 dont les éprouvettes sont conservées dans l'eau (Environnements II).

Tableau (II-5)

Résultats de résistance du béton 3(dans l'eau potable à $15^{\circ}\pm 2^{\circ}\text{C}$) [28].

Duré de cure	Résistance à la compression F_{C 28} (MPa)	Résistance à la flexion F_{f 28} (MPa)
5 jours	17.73	7.90
7 jours	18.30	8.68

Cette étude est achevée par les conclusions suivantes :

-Quel que soit le mode de conservation et le dosage en fillers, l'âge du béton semble influencé positivement sur les résistances.

-La conservation dans l'eau est meilleure que celle à l'étuve et à l'air libre quel que soit le dosage et la nature des fillers.

-L'essai de retrait a montré que le béton de sable de dune présente de forts retraits hydrauliques .Ces retraits sont essentiellement dus à la finesse des fillers calcaires.

-L'ajout des fillers de brique a, légèrement, amélioré les résistances à la compression et à la flexion à tous les ages du béton par rapport au fillers calcaires.

- Une autre étude menée dans ce sens ; elle consiste à améliorer les caractéristiques du béton de sable par différentes manières à savoir : l'addition de fillers, adjuvant et compactage pour le rendre plus résistant et plus compact. Cette étude a été élaborée par : **GUETTELA .A., MEZGHICHE.B et CHEBILI.R [29] .**

Les matériaux utilisés

-Le sable utilisé : est le sable de dune de la région de **Biskra** au module de finesse de 1.4 et un coefficient d'équivalent de sable de 87%.

-Ciment utilisé : est le CPJ45 de la cimenterie de **Ain-Touta**.

-Les fillers : proviennent des déchets de polissage de carrelages a une porosité de 45% et une surface spécifique de 275 m²/kg.

-Les adjuvants : Deux types d'adjuvants sont utilisés ;un plastifiant(SFA) et un fluidifiant(SF).Le rôle d'adjuvant est de réduire la quantité d'eau et d'obtenir des bétons fluides en même temps. Les résultats expérimentaux sont :

-Le béton du sable témoin : sans addition ni de fillers, ni d'adjuvant donne une résistance à la compression de 12.5 MPa, la composition est comme suit :

-ciment 350 Kg/m³.

-sable 1660 Kg/m³.

-E/C=0.7

Tableau (II-6)

Résultats de résistance (E/C=0.7, teneur en adjuvant est de 2.5%) [29].

fillers (Kg/m ³)	Résistance à la compression à 28 jours (MPa)	
	Fluidifiant (SF)	Plastifiant (SFA)
170	14.4	19.2
200	19	20.4
250	26.3	23.5
260	31	27.5
290	28	28.7
320	26	29
350	23.6	29.8

Tableau (II-7)

Influence d'énergie de compactage sur la résistance [29].

Energie(KJ/dm ³)	Résistance à la compression à 28 jours (MPa)	
	Sans fillers	Avec fillers
1.072	21.5	24
1.608	22	24.9
2.144	22.5	28.2
2.680	22.8	30.3

DISCUSSION

-La concentration des fillers assurant la meilleure résistance est de 260 Kg/m³ avec l'adjuvant (SF). Par contre on remarque que la résistance augmente en parallèle avec l'augmentation du dosage en fillers avec l'adjuvant (SFA).

-L'énergie de compactage influe positivement sur la résistance sans ou avec fillers.

Toutes les investigations précédentes traitent le béton de sable, elle donne des résultats acceptables pour quelques destinations .Il reste, maintenant, d'intégrer le sable de dune dans le béton ordinaire qui contient le sable et le gravier comme

granulats. Ce thème à été étudié par **BENTATA. A [30]** qui propose certaines compositions de béton dont le sable de dune est l'un de ses constituants.

Le sable de dune utilisé est celui de la région de **Ain –Beida (Ouargla)** qui se caractérise par un module de finesse de 1.02 et un équivalent de sable de 97% (sable très propre), le ciment est un CPJ CEM-A/325 de la cimenterie de **Ain-Touta**.

Une série d'essais est exécutée sur les compositions suivantes :

Béton A : avec 100% sable alluvionnaire (de **Hassi- Sayeh**).

Béton B: avec 75% sable alluvionnaire et25% sable de dune.

Béton C : avec 50% sable alluvionnaire et50% sable de dune.

Béton D : avec 25% sable alluvionnaire et75% sable de dune.

Béton E: avec 100% sable de dune.

Le dosage en ciment est constant (400 kg/m^3). Les résultats de résistance sont indiqués dans le tableau suivant :

Tableau (II-8)

Les résultats de résistance à 28 jours [30].

béton	E/C	Résistance à 28 jours (MPa)	
		A la compression	A la traction
A	0.52	31	2.5
B	0.52	24	2.2
C	0.52	27	2.6
D	0.53	24	2.4
E	0.55	24	2.5

L'étude semble que le béton ordinaire est toujours prépondérant par rapport aux autres bétons. Le béton à base de sable de dune présente une réduction de résistance à la compression allant jusqu'à 20%, et un retrait triple que celle du béton ordinaire.

Les propriétés de l'ouvrabilité, compacité et module d'élasticité sont convergentes pour les deux bétons.

Dans le but d'étudier l'influence des adjuvants sur la perméabilité du béton, **BENCHEIKH .M., BELOUADAH. M., CYR. M. et ET P. CLASTRES[31]** ont menés une étude dans ce sens.

Les matériaux de construction utilisés sont :

- Un ciment CPJ CMII/B 32.5.
- Un sable de dune de Oued Maàter (Bousaàda) avec un module de finesse de 1,41.
- Trois classes de gravier : 3/8, 8/15 et 15/25.
- Cinq types d'adjuvants ont été utilisés :
 - 1-Super plastifiant **SFR 125**.
 - 2-Retardateur de prise fluidifiant **RPF**
 - 3-Super plastifiant haute réducteur d'eau **SP 40**.
 - 4- Super plastifiant fluidifiant **SF**.
 - 5-Super plastifiant accélérateur de durcissement **S120**.

En utilisant la méthode de formulation (DREUX-GORISSE) les compositions du béton déduites sont :

Tableau (II-9)

Les composition du béton déduites **[31]**.

Sable	606 kg/m ³
Gravier 3/8	182 kg/m ³
Gravier 8/15	194 kg/m ³
Gravier 15/25	813 kg /m ³
Ciment	350 kg/m ³
Eau	200 litres
Adjuvant	0% – 0.5 %– 1% – 2 %

Les résultats(**Figure (II-1)**) montrent que les conditions climatiques extérieures affectent considérablement le béton relativement à celui conservé au laboratoire. De plus, on constate sur les courbes obtenues une diminution très significative de la perméabilité lorsque un adjuvant est utilisé. Les trois adjuvants SFR 122, S120 et SP40 ont montré leur efficacité vis-à-vis d'un béton soumis à des conditions climatiques préjudiciables. Cette réduction peut atteindre 80% pour un béton exposé à l'air et des dosages en adjuvant de 2% (Figure 5).

L'adjuvant influence directement sur la microstructure du béton, il réduit les zones particulières des vides des aréoles de transition, ce qui favorise l'interconnexion pâte-granulat. Connaissant que la perméabilité ne dépend pas de la taille des pores mais de leurs interconnexions, l'adjuvant réduit au maximum les vides et produit un matériau plus compact, et donc, plus durable.

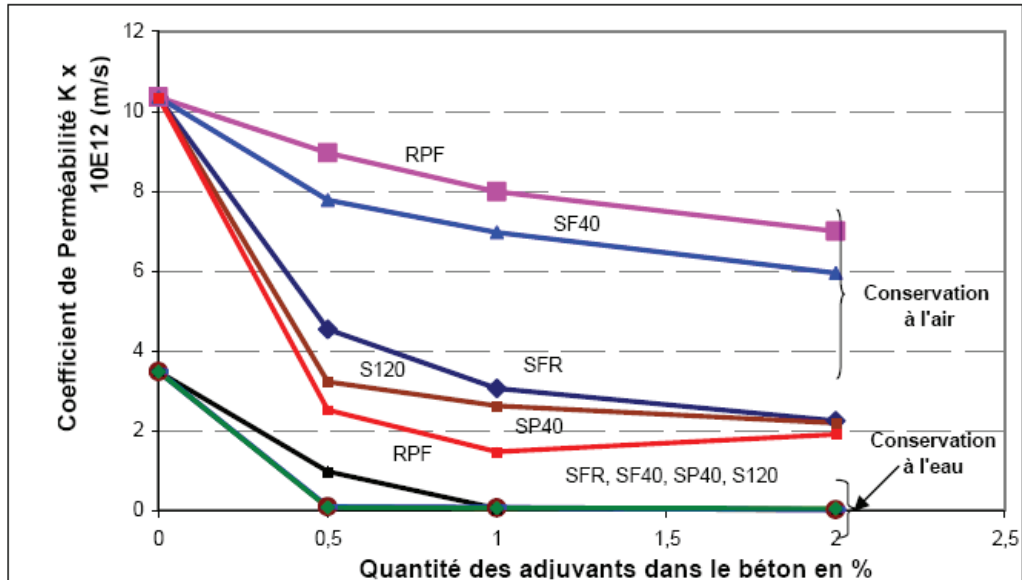


Figure (II-1) : Effet des adjuvants sur la perméabilité du béton[31].

Il y a d'autres domaines de valorisation du sable de dune, parmi ces domaines, on peut citer :

-Béton pour constructions de pistes d'aérodrome ; une étude dans ce sens montre la validité du sable de dune pour les couches des roulement dont la résistance minimale est de l'ordre de 15 MPa [32].

-Dans le domaine des ouvrages routières [30].

II.6.CONCLUSION

Dans le cadre de la valorisation du sable de dune, plusieurs travaux et investigations ont été menés .Dans ce chapitre, nous avons exposé quelques travaux de recherches menés en Russie, au golf d'Arabie; au Maroc et les investigations Algériennes.

Des résultats très intéressants ont été obtenus dont les meilleures sont remarqués dans la référence [29] où la résistance à la compression est de l'ordre de 31 MPa pour un béton du sable adjuvanté par un fluidifiant (2.5%) et avec l'ajout du filler (260 kg/m³).

Concernant le béton traditionnel : la référence [30] donne une résistance modérée (24 MPa), ce qui traduit la prépondérance du béton ordinaire. La bibliographie [31] montre que le béton à base de sable de dune avec quelques adjuvants présente une perméabilité très réduite.

Les études précédentes ont montré que le retrait du béton de sable est plus important que celui du béton traditionnel. Particulièrement, l'écart sera plus considérable, si on utilise un sable fin tel que le sable de dune.

Les résultats précédents nous encouragent à continuer les recherches dans cette axe afin d'assurer une bonne exploitation de ce matériau.

CHAPITRE III

MATERIAUX DE CONSTRUCTION UTILISES ET FORMULATION **DU BETON**

III. 1. INTRODUCTION

Le béton est un matériau de construction, composé du ciment, gravier, sable, d'eau et éventuellement d'adjuvant pour modifier ces propriétés [33]. Afin de formuler un béton qui doit répondre aux exigences demandées, il est préférable que ses constituants soient convenables aux normes.

Dans ce chapitre, on doit détailler les caractéristiques des matériaux utilisés par l'exécution de quelques essais d'identification qui nous aident au choix des matériaux ainsi que la formulation du béton.

III. 2.CIMENT

Le ciment est un liant minéral en poudre qui, associé aux granulats et à l'eau, permet, à partir de réactions chimiques complexes, de produire des bétons et des mortiers. Il est préparé à partir d'un mélange de 80% de calcaire et de 20% d'argile concassé puis finement broyés pour donner ((le cru)). Ce cru est malaxé et cuit dans un four rotatif à une température de 1450 °C. La fusion des composants donne naissance au clincker (ensemble de granules gris et foncés, durs et cristallisés) qui, en lui ajoutant 5 % de gypse, on obtient le ciment portland [34].

Dans cette étude, le ciment utilisé est un ciment résistant aux sulfates CPA CEM I 42.5 ES (CRS) de la cimenterie Algérienne.

-Sa masse volumique absolue est de 3,02 g/cm³ [35].

III.2.1.ANALYSE CHIMIQUE

La composition chimique du ciment en question est indiquée au tableau ci-dessous.

Tableau (III-1)

L'analyse chimique de ciment CPA CEM I 42.5 ES (CRS) [36].

Elément	MgO	SO ₃	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	K ₂ O et Na ₂ O	Cl ⁻	P.A.F	Résidus insolubles
%	1.7	1.9	22	5.5	3	64.5	0.2- 1.3	0.02	<1.5	<0.7

***INDICE D'HYDRAULICITÉ** : Il est appelé aussi indice de Vicat. Par définition, il est le rapport de la fraction acide du ciment à la fraction basique [5].

$$I = \frac{\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3}{\text{CaO} + \text{MgO}} \dots\dots\dots(\text{III-1}).$$

Pour nous : $I = \frac{22+5.5}{64.5+1.7} = 0.415 < 0.5$ donc le ciment est dit neutre.

III.2.2. COMPOSITION DU CLINKER

Tous les ciments courants sont à base de clinker portland ; le clinker est le produit qui sort du four et qui est sous forme de granules aux dimensions centimétriques. Pour le fabriquer, il faut mélanger les quatre oxydes (CaO - SiO₂ - Al₂O₃ - Fe₂O₃), qui se trouvent couramment dans les calcaires et les argiles [37].

Le tableau ci-dessous indique les proportions de ces oxydes dans notre cas :

Tableau (III-2)

Proportion des oxydes dans le clinker [36].

Silicates-tricalciques (C ₃ S) %	silicates bi calciques (C ₂ S) %	Aluminates tricalciques (C ₃ A) %	Alumino-ferrites tetracalciques (C ₄ AF) %
55 – 59	17 – 21	2.8 – 3.2	13 – 15

Les tableaux (III-1) et (III-2) montrent que le taux du sulfate (SO_3) est inférieur à 2.3 et que la teneur de C_3A est inférieure à 5% , ce qui signifie que notre ciment est résistant aux sulfates [10, 36].

III.2.3. SURFACE SPÉCIFIQUE

Elle est aussi appelée finesse de mouture ou surface spécifique blaine. Cet essai consiste à faire passer un volume d'air connu à travers d'une poudre de ciment. Plus la surface spécifique de cette poudre est importante, plus le temps mis par l'air pour traverser la poudre est long .La relation suivante permet d'apprécier ce paramètre [22] :

$$SSB = \frac{K}{\delta_c(1-P)} \sqrt{\frac{tP^3}{0.1\eta}} \dots\dots\dots \text{(III-2)}.$$

K : constante de l'appareil.

δ_c :masse volumique absolue de ciment.

P : porosité de ciment.

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

SSB de notre ciment est comprise entre 3000 et 3200 cm^2/g .

III.2.4.CHALEUR D'HYDRATATION

Pendant l'hydratation du ciment, un dégagement de chaleur se produit et se poursuit pour plusieurs jours. Mais la plus grande partie de la chaleur est dégagée dans les premières 24 heures [17].

La valeur de la chaleur d'hydratation de notre ciment est inférieure à 310 J/g.

III.2.5.TEMPS DE LA PRISE

La mesure du début et de fin de la prise nous permet d'avoir un aperçu sur le comportement ultérieur du ciment dans des conditions particulières d'utilisation tels que le bétonnage au temps chaud ou froid.

Des appareils automatiques ont été spécifiés pour l'exécution de cette mesure. Mais l'aiguille de Vicat demeure le procédé le plus employé.

- Temps du début de la prise : 3 heures
- Temps de fin de la prise : 04 heures et 20 minutes.

III.2.6.RÉSISTANCE À LA COMPRESSION

La résistance à la compression d'un béton conservé à 20 °C jusqu'à l'échéance j est proportionnelle à la résistance normale du ciment, mesurée à la même échéance.

Cette résistance est mesurée sur des éprouvettes de mortiers normalisés réalisés par le ciment lui - même [37].

La résistance à la compression à 28 jours, du ciment CPA CEM I 42.5, est supérieure à 42.5 MPa.

On définit, aussi, que la classe vraie d'un ciment σ_c est comprise entre la résistance minimale et maximale de ce ciment qui a pour $\sigma_c = 52.5$ MPa.

III.3.GRAVIER

Deux classes de gravier ont été utilisées :

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

Ces deux classes proviennent de la carrière de **Haoud El -Hamra** (voir Photos 1 et 2, annexe 2)

III.3.1.COMPOSITION CHIMIQUE

Le tableau suivant indique les résultats de l'analyse chimique du gravier selon le laboratoire LTPS :

Tableau (III-3)

Composition chimique du gravier [1].

Calcite (C₃SO₃)	Sulfate (CaSO₄2H₂O)	Insolubles
55 à 70 %	0 à 5 %	Le reste

De ce tableau , on peut constater que la teneur en sulfate de calcium dans le gravier est faible. Mais cette quantité, elle va augmenter le risque d'agressivité vis à vis du béton.

Remarque : Les résultats des essais suivants sont récapitulés dans le Tableau (III-4).

III.3. 2.MASSE VOLUMIQUE (NFP18-301)

a. MASSE VOLUMIQUE ABSOLUE : Elle est la masse par unité du volume de la matière qui constitue le granulats, sans tenir compte des vides qui peuvent prendre place dans ou entre les grains .La formule qui permet de calculer ce paramètre est :

$$\delta_s = \frac{M}{V_s} \dots\dots\dots \text{(III-3)}.$$

Tels que [22]

δ_s : La masse volumique absolue (t/m³, g/cm³,...).

M : La masse de l'échantillon. (g).

V_s : Le volume absolu de l'échantillon. (cm³).

b. MASSE VOLUMIQUE APPARENTE : Elle est la masse du granulats occupant l'unité du volume, tous les vides sont inclus .Elle est déterminée par la relation suivante [18] :

$$\delta_a = \frac{M}{V_a} \dots\dots\dots \text{(III-4)}.$$

δ_a :masse volumique apparente (g/cm³).

M : masse de l'échantillon (g).

V_a : volume apparent de l'échantillon (cm³).

III.3.3.PROPRETÉ DU GRAVIER (NFP18-301)

Cet essai consiste à peser un échantillon bien déshydraté, puis le laver à grande eau jusqu'à atteindre sa propreté parfaite, et puis, le sécher et peser de nouveau.

Le pourcentage d'impuretés est donné par la relation suivante :

$$PI = \frac{P1 - P2}{P2} \dots\dots\dots \text{(III-5)}.$$

P1 et P2 sont, respectivement, les masses du gravier sec avant et après le lavage.

III.3.4.COEFFICIENT D'ABSORPTION (NFP18-555)

Le coefficient d'absorption est défini comme le rapport d'augmentation de la masse d'un échantillon imbibé par l'eau, à la masse sèche de cet échantillon.

Le coefficient d'absorption est obtenu par :

$$Ab = \frac{Ma - Ms}{Ms} \dots\dots\dots \text{(III-6)}.$$

Ms : masse de l'échantillon sec après passage à l'étuve à 105⁰C.

Ma : masse de l'échantillon imbibé.

Tableau (III-4)

Différentes caractéristiques du gravier utilisé.

Classe de gravier	Masse volumique absolues (g/cm ³)	Masse volumique apparente (g/cm ³)	Taux d'impuretés T I (%)	Coefficient d'absorption CA (%)
G1 (3/8)	2500	1213	1.01	0.05
G2 (8/15)	2500	1287	0.60	0.04

III.3.5. ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE (NFP18-560)

L'analyse granulométrique permet de classer un granulat dans les différentes Classes granulaires. Il est atteint par le tamisage automatique d'un échantillon dans une série de tamis et de déterminer le pourcentage de passants et du refus sur chaque tamis (annexe 02, photo 06). Les quantités tamisées sont : 2000 g (3/8) et 3500 g (8/15).

Tableau (III-5)

Analyse granulométrique des graviers G1 (3/8) et G2 (8/15) .

Diamètre des tamis (mm)	Tamisât (%)	
	G1(3/8)	G2(8/15)
20		100
16		100
12.5		59.15
10	100	25.15
8	98.75	6.14
6.3	86.25	0.57
5	59.75	0
3.15	13	
3	2.75	
2	0	

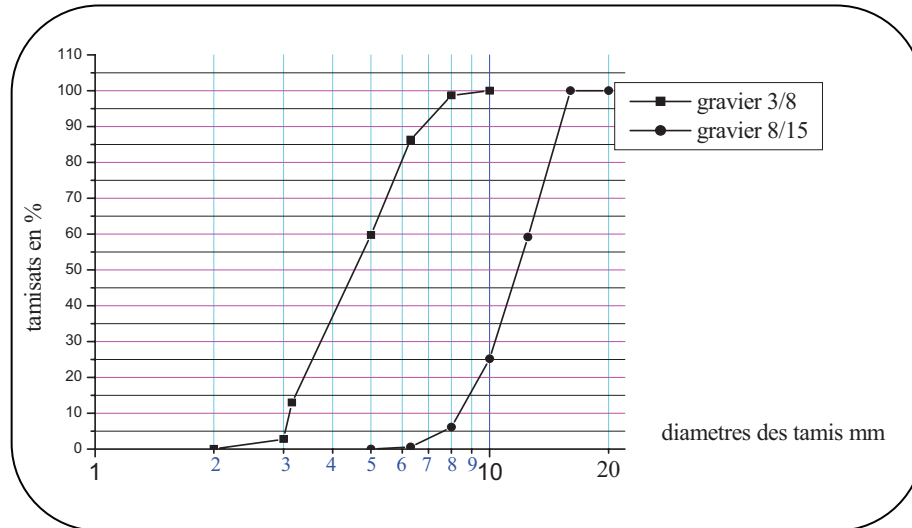


Figure (III-1) : Analyse granulométrique des graviers.

III.4. SABLE

Deux types de sable ont été utilisés dans cette étude :

Un sable de construction de **Hassi -Essayeh** et un sable de dune de la région de Ain El-Beida (annexe 02, photos 03 et 04).

En ce qui suit, on doit présenter quelques résultats d'essais pour les faire comparer avec les normes et même entre eux.

III.4.1. ANALYSE CHIMIQUE

D'après l'analyse chimique réalisée au laboratoire LTPS le tableau ci-après présente les pourcentages des éléments rentrant dans les compositions chimiques de chacun de ces sables.

Tableau (III-6)

Analyses chimiques des sables utilisés [1].

Pourcentages des éléments	Sable alluvionnaire	Sable de dune
SO_3	0.00	0.39
$CaSO_4 \cdot 2H_2O$	0.03	2.10
$Ca CO_3$	3.04	1.30
insolubles	90.48	93.80

Le **tableau (III-6)** montre que les éléments sulfatiques (SO_3 , $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) sont présents dans le sable de dune et sont négligeables dans le sable de construction. La présence de ces éléments dans les granulats peut provoquer des effets néfastes pour le béton.

Remarque : Les résultats des essais suivants sont récapitulés dans le Tableau (III-8).

III.4.2. PROPRETÉ DU SABLE

La propreté du sable peut être appréciée par l'essai d'équivalent du sable (NF P18-598) qui suit les étapes suivantes :

- Poser 120 g de sable dans l'éprouvette de l'essai.
- Remplir l'éprouvette avec la solution lavante jusqu'au trait inférieur (10cm), et laisser reposer pendant 10 minutes.
- Boucher l'éprouvette et l'agiter horizontalement pendant 30s.
- Remplir l'éprouvette en eau jusqu'au trait supérieur (38cm), et le laisser reposer pendant 20 minutes. Puis, on lit les hauteurs H1, H2 qui sont respectivement : la hauteur du sable propre et la hauteur total y compris le flocculat.

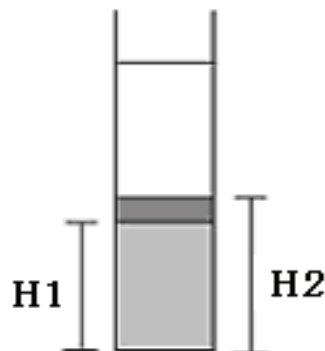


Figure (III-2) : Principe d'essai d'équivalent du sable [38].

$$ES = \frac{H1}{H2} \times 100 \% \dots\dots\dots(III-7).$$

Les accessoires de cet essai sont représentés dans l'annexe 02(photo 07).

III.4.3.POROSITÉ

La porosité d'un granulat est donnée par la relation :

$$P = \frac{v}{V} \dots\dots\dots (III-8).$$

V, v sont respectivement le volume total et le volume de vide.

Cette relation peut être traduite par les masses volumiques apparentes (δ_{ap}) et absolues (δ_{ab}) :

$$P = \frac{1 - \delta_{ap}}{\delta_{ab}} \dots\dots\dots(III-9).$$

III.4.4.ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE (NFP18-560)

Tableau (III-7)

Analyse granulométrique des sables utilisés(quantité tamisée est 1500 g) .

Diamètre des Tamis (mm)	Tamisât (%)			
	Sable de construction(SC)	50 % SC + 50 %SD	Sable de dune (SD)	Fuseau recommandé
5	100	100		95-100
2.5	97.33	98.13		75-100
1.25	90.53	69.8		55-91
0.63	59.07	41.47	100	30-70
0.315	19.73	4.13	64.47	5-20
0.16	2.4	0.13	2.94	0-10
0.08	0.13	0	0.02	0

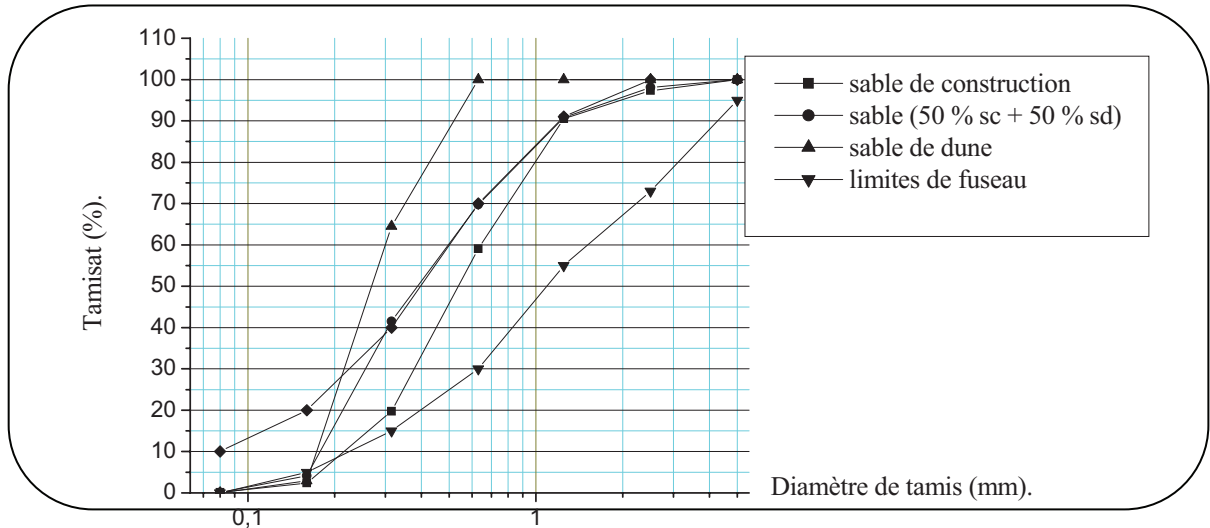


Figure (III-3) : Analyse granulométrique des sables utilisés.

On observe que la courbe granulométrique du sable de dune est située en dehors du fuseau recommandé. Le sable mélange (50 % SC + 50 % SD) est presque analogue à la limite supérieur du fuseau , le sable de construction est rentre dans le fuseau.

Tableau (III-8)

Les propriétés des sables utilisés.

Caractéristiques	Sable de construction	Sable de dune	Valeurs recommandées
Masse volumique Apparente (kg/m ³)	1541.14	1465.01	-
Masse volumique Absolue (kg/m ³)	2500	2500	-
ES visuel (%)	71	97	65 ≤ ESV < 75
ES au piston (%)	66	93	60 ≤ ESP < 70
Porosité (%)	38.35	41.39	-
Module de finesse MF	2.31	1.33	1.8 - 3.2

III.5.L'EAU DE GÂCHAGE

L'eau de gâchage joue un rôle primordial au cours de l'hydratation du ciment, aussi bien que dans le béton frais (pour faciliter la mise en œuvre).

L'eau utilisée est l'eau de robinet du laboratoire de génie civil d'Université de Ouargla. Leur composition chimique est indiquée au tableau ci-dessous.

Tableau (III-9)

Composition chimique de l'eau (PH = 7.75) [30].

Élément	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺	Na ⁺⁺	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ⁻	HCO ₃ ⁻
(mg/L)	242	125	31	536	755	14.5	755	124

Les quantités de chlorure Cl⁻ et de sulfate SO₄⁻ sont très élevées dans l'eau de gâchage, ce qui influe négativement sur la durabilité du béton.

III.6. LE FLINTKOTE

Le flintkote est une émulsion sur stabilisée à base de bitume (annexe 02, photo 05). Ce produit résiste bien à l'eau, l'alcool et aux solutions salines, ce produit a plusieurs domaines d'utilisation à savoir [39] :

-Hydraulique : imperméabilisation des barrages, canalisations d'eau et barrages Collinaires.

-Ouvrages d'art : protection des ponts et viaduc contre la corrosion.

-Agriculture : surfaçage des branches après coupe lors de la taille des arbres.

-Badigeonnage des infrastructures en contact avec l'eau et les sols salins.

Nous avons, aussi, confectionné un béton avec l'ajout de flintkote afin d'examiner son effet sur la durabilité et l'étanchéité du béton.. Il est l'un des produits de la société de dérivés de bitume Algérie (DBA) conformément aux normes D.T.U .34.1 et à la réglementation relative au bâtiment [39].

III.6.1.COMPOSITION CHIMIQUE

Les éléments rentrant dans la composition du flintkote sont :

- bitume distillé.
- émulsifiant.
- bentonite.
- eau.
- Le pourcentage de la matière solide est supérieur à 40%.

III.6.2. CARACTÉRISTIQUES TECHNIQUES :

- couleur : noir.
- Type de solvant : eau.
- Température de service : -10°C à 60°C
- perméabilité à la vapeur d'eau : $089 \text{ g/m}^2/24\text{h}$.
- l'application : à froid.

III.7. FORMULATION DU BÉTON

L'étude de la composition d'un béton consiste à définir le mélange optimal des granulats, où l'on dispose le dosage en ciment et en eau afin de réaliser un béton dont les qualités sont celles recherchées pour la construction de l'ouvrage désiré [5].

Généralement les qualités recherchées avec une telle composition sont :

- ❖ Une consistance adaptée à sa destination.
- ❖ Des qualités de résistance à différentes échéances, le plus souvent à 28 jours.
- ❖ Des qualités de durabilité qui conduisent à imposer un dosage minimum en ciment et un rapport E/C maximum.

On peut conclure que la formulation d'un béton doit permettre de respecter les qualités de consistance et de résistance aux moindres coûts possibles [22]. Plusieurs méthodes de formulation ont été élaborées par : **ABRAMS, BOLOMEY, CAQUOT, FAURY...etc.**

Mais, dans notre cas, nous avons choisi la méthode ((**DREUX-GORISSE**)) parce qu'elle a l'avantage d'être issue de nombreuses formulations ayant été testées sur chantiers et ayant donné une satisfaction, d'une part, et d'autre part, elle est très simple à utiliser puisqu'elle ne demande que de connaître les courbes granulométriques des granulats utilisés [22].

III.7.1. PRÉSENTATION DE LA MÉTHODE ((DREUX-GORISSE))

Cette méthode a pour but de réaliser une composition du béton à partir de son ouvrabilité et résistance recherchées. Ces deux qualités sont liées par des abaques selon le dosage en ciment connu.

Les proportions de différents granulats sont déterminées à travers la courbe de référence. Cette courbe est tracée à travers les courbes granulométriques des granulats qui doivent être utilisées. Un coefficient de compacité est probablement donné au béton, il permet, avec la connaissance des masses volumiques des granulats, de déterminer les dosages pondéraux de notre béton.

Quelques essais préliminaires de plasticité doivent avoir lieu pour fixer le dosage en eau afin d'adapter la maniabilité désirée.

III.7.2. DOSAGE EN CIMENT ET EN EAU

Le rapport C/E est évalué par la formule de BOLOMEY [5].

$$F_{C28} = G \sigma_c \left(\frac{C}{E - 0.5} \right) \dots\dots\dots \text{(III-10)}.$$

D'où : F_{C28} : Résistance moyenne en compression désirée (MPa). Pour notre cas $F_{C28} > 30$ MPa.

G : Coefficient granulaire donné en fonction de serrage du béton et du diamètre de gros granulats, il est indiqué dans le tableau 1 (annexe 01).

Pour notre cas, on prend $G=0.45$ qui correspond aux granulats courants de $D < 16$ mm.

σ_c : Classe vraie de résistance de ciment (MPa).

C : dosage en ciment (Kg/m^3).

E : dosage en eau (L/m^3).

Le dosage en ciment qu'on a choisi est de $C=400 \text{ Kg/m}^3$ selon [5] qui donne la relation $C \geq 700 / \sqrt[3]{D}$ dans le cas du béton coulé aux conditions sévères.

III.7.3. TRACE DE LA COURBE GRANULAIRE DE RÉFÉRENCE

Après le traçage des courbes granulométriques des différents granulats, et sur le même graphique, on trace la composition granulométrique optimale qui est représentée par une ligne brisée OAB comme celle présentée dans les figures (III-4, III-5, III-6). Cette ligne est appelée courbe granulatoire de référence.

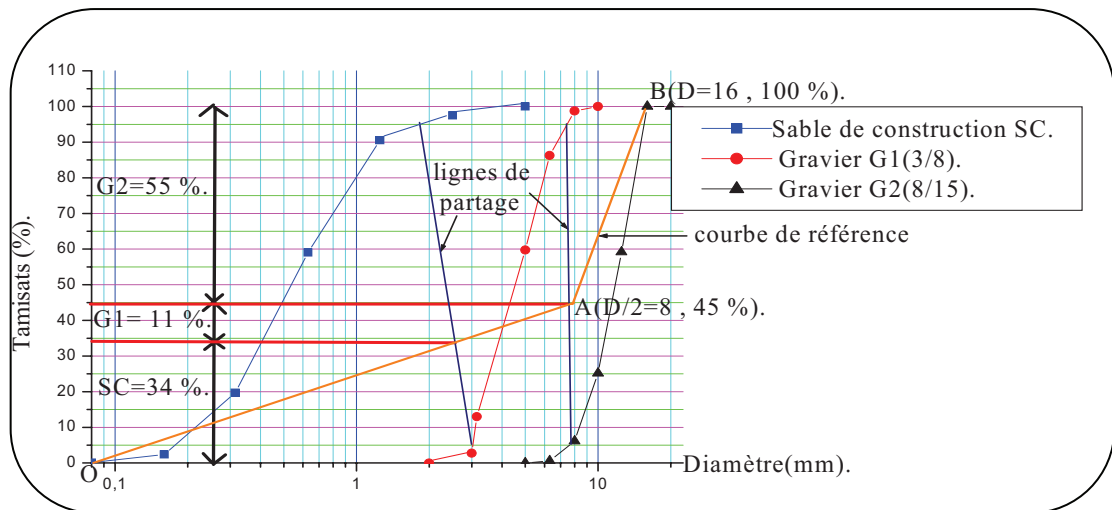


Figure (III-4) : Courbe granulatoire de référence pour BSC.

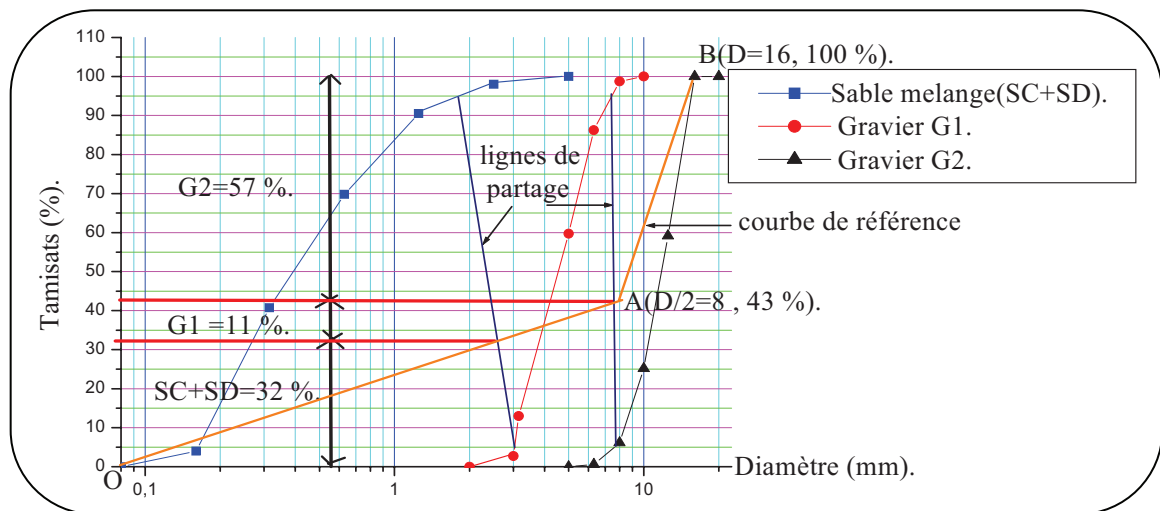


Figure (III-5) : Courbe granulatoire de référence pour BSCD.

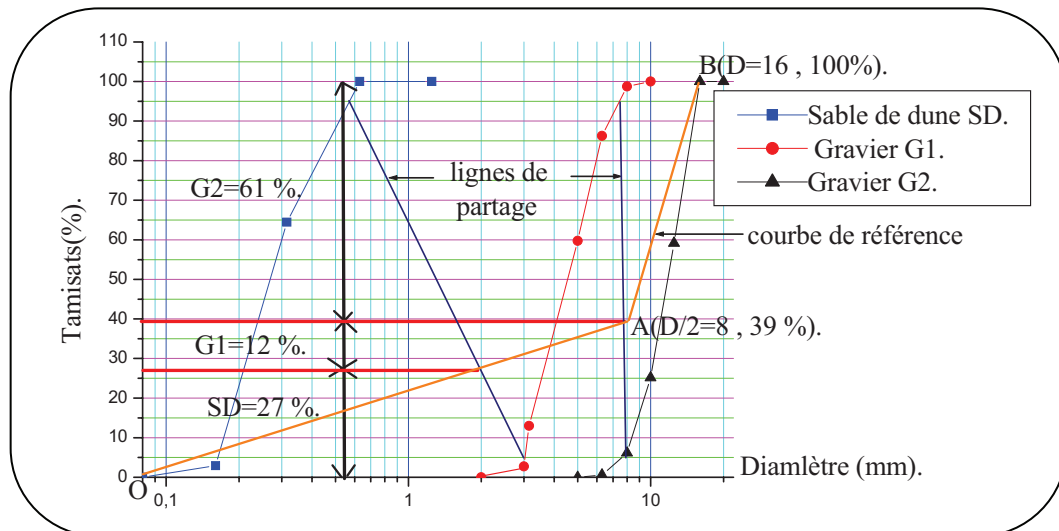


Figure (III-6) : Courbe granulométrique de référence pour BSD.

Le point **B** correspond à l'ordonnée de 100% et du diamètre de gros granulats en abscisse.

Le point **A** est défini comme ce qui suit :

En abscisse :

-Si, $D \leq 20\text{mm}$ l'abscisse est $D/2$.

-Si, $D \geq 20\text{mm}$ l'abscisse est situé au milieu du segment délimité par le tamis de maille 5mm.

En ordonnée : $y = 50 - \sqrt{D} + K$ [22].

K est un terme correcteur qui dépend du dosage en ciment, de l'efficacité de serrage à la mise en place, de la forme des granulats, en particulier du sable (roulé ou concassé) et du module de finesse de sable, **K** a pour expression [22] :

$K = 6MF - 15$ si le sable est roulé ;

$K = 6MF - 13$ si le sable est concassé.

Pour obtenir les proportions des granulats, on doit tracer les lignes de partage en joignant le point de 95% de la première courbe avec le point de 5% de la courbe

suivante. Les points de croisement entre chacun des lignes de partage et ceux de la courbe de référence représentent le pourcentage de chaque granulat.

III.7.4.DOSAGE EN GRANULATS

Connaissant la masse volumique du ciment δ_c et son dosage C , on peut déduire son volume $V_C = C / \delta_c$. Après le choix du coefficient de compacité de béton γ qui est fonction de D , de la consistance et de l'efficacité de serrage. On peut déterminer le volume total absolu $V_t = 1000\gamma$ pour nous $\gamma = 0.825$ (tableau 2, annexe01)

Donc le volume du granulat :

$$V_g = V_t - V_C. \quad \dots\dots\dots \text{(III-11).}$$

$$V_g = 1000\gamma - V_C.$$

Si ; g_1, g_2 et g_3 sont les pourcentages en volume absolu des granulats déterminés par le Graphique, donc leurs volumes absolus sont :

$$V_1 = g_1 V_g.$$

$$V_2 = g_2 V_g.$$

$$V_3 = g_3 V_g.$$

Soit : δ_1, δ_2 et δ_3 les masses volumiques absolues des trois granulats, leurs masses seront respectivement :

$$M_1 = V_1 \delta_1.$$

$$M_2 = V_2 \delta_2.$$

$$M_3 = V_3 \delta_3.$$

Après l'application numérique, les compositions des bétons doit étudié sont représentées dans le tableau ci-après.

Tableau (III -10)

Les différentes compositions du béton (dosage en ciment de 400 Kg/m³).

Béton	E/C	Eau (L/m ³)	Sable de dune (Kg/m ³)	Sable de construction (Kg/m ³)	Gravier 3/8 (Kg/m ³)	Gravier 8/15 (Kg/m ³)	G/S	Affaissement Au cone D'Abrams (cm)
BSC 100% sable de construction	0.58	232	/	565	189	960	1.50	6
BSCD 50% sable de construction + 50% sable de dune	0.55	220	276	276	190	984	1.67	6.5
BSD 100% sable de dune	0.53	212	468	/	208	1058	1.85	7
BSCF 100% sable de construction +2% flintkote	0.55	220	/	565	189	960	1.50	6.5
BSCDF 50% sable de construction + 50% sable de dune +2% flintkote	0.52	208	276	276	190	984	1.67	7
BSDF 100% sable de dune +2% flintkote	0.50	200	468	/	208	1058	1.85	7.5

III.8.CONCLUSION

Dans ce chapitre on a donné des informations détaillées sur les propriétés des matériaux utilisés afin de les comparer avec les normes. Ainsi que pour confectionner des formulations convenables du béton.

Etant donné que notre béton est destiné aux ouvrages hydrauliques ; Le ciment utilisé dans cette étude est de type CRS, c'est à dire résistant aux milieux agressifs (milieux riches en sulfate).

Quant au gravier ; Deux classes doivent être utilisées, (3/8) et (8/15) en vue d'obtenir une continuité dans la granulométrie du béton pour le rendre cohérent et homogène.

On a utilisé deux types de sable ; un sable alluvionnaire de Hassi - Essayeh, qui se caractérise par une granulométrie bien distribuée et d'un module de finesse appropriée et une propreté admissible ; l'autre type de sable est celui de dune provenant de la région de Ain – El-Beida, très propre et caractérisé par une granulométrie très serrée et un module de finesse faible et en dehors de l'intervalle recommandé par les normes.

L'eau de gâchage provient du robinet du laboratoire de génie civil de l'université de ouargla.

On utilise aussi, comme adjuvant, une émulsion bitumineuse (flintkote) en vue de diminuer l'absorption et la perméabilité.

On achève ce chapitre par la formulation du béton. La méthode de formulation est de ((**DREUX-GORISSE**)).

Une série d'essais doit être exécutée sur les compositions obtenues. Le chapitre suivant a pour objectif d'exposer ces essais et leurs résultats.

CHAPITRE IV

PRESENTATION DES ESSAIS EXPERIMENTAUX ET INTERPRETATION DES RESULTATS

IV.1. INTRODUCTION

Dans le chapitre précédent, nous avons exposé les caractéristiques des matériaux utilisés ainsi que la formulation des bétons qui doivent être étudiées.

Dans ce chapitre, nous allons effectuer quelques essais expérimentaux sur ces bétons, à savoir l'essai de résistance à la compression, à la traction et l'essai de retrait. Ces essais ont pour but de juger la validité de notre proposition : substitution du sable normal par le sable de dune dans la confection du béton destiné aux ouvrages hydrauliques. Ce béton doit répondre en matière de résistance aux différents agents agressifs tels que :

- Les sols sulfatés.
- Les eaux superficielles, souterraines et ménagères.

En conclusion, notre objectif est d'obtenir un béton résistant, étanche, durable et par conséquent capable à résister à n'importe quelle agression. Le jugement est établi sur les résultats expérimentaux et leurs comparaisons avec ceux du béton témoin.

IV.2. CONFECTION DES ÉPROUVETTES

Les éprouvettes utilisées dans notre étude sont des éprouvettes prismatiques $7 \times 7 \times 28 \text{ cm}^3$ (annexe 02, photo 09). Le nombre d'échantillons est de trois éprouvette pour chaque essai. Le nombre total est de 294 éprouvettes.

Le malaxage est exécuté manuellement à l'aide de truelles, les étapes de malaxage sont :

IV.2.1. MALAXAGE

Il faut suivre les étapes suivantes;

-Peser les quantités nécessaires des constituants pour un mélange ;

- Introduire les granulats dans le récipient de malaxage du plus gros jusqu'au plus fin conformément à la norme **NF P18-404** ;
- Ajouter du ciment aux granulats et les mélanger tous à sec puis avec l'eau de gâchage.

IV.2.2.MOULAGE ET DÉMOULAGE

Après le malaxage qui dure environ 5 minutes, le béton est prêt à l'emploi. Le béton est introduit dans des moules déjà graissés par une huile pour faciliter le démoulage après 24 heures de leur coulage.

Le coulage est exécuté en deux couches vibrées jusqu'à la stabilisation de niveau du béton. Le but de la vibration est le remplissage parfait du moule.

A la fin du coulage, il faut araser les éprouvettes à l'aide d'une règle selon les normes **NF P18-422** et **423**. La face supérieure de l'éprouvette doit être lisse est bien finie.

IV.3.LES ESSAIS EXPÉRIMENTAUX

IV.3.1. ESSAI D'AFFAISSEMENT AU CÔNE D'ABRAMS (NFP 18-451)

Cet essai consiste à remplir un moule tronconique ($D=20\text{cm}, d=10\text{cm}, h=30\text{cm}$) en trois couches tassées par une tige d'acier de 16 mm de diamètre et d'extrémité arrondie (annexe 02, photo 08). Le piquage est exécuté de l'ordre de 25 coups par couche. On soulève, ensuite, le moule avec précaution, puis, on mesure l'affaissement [5].

IV.3.2. DÉTERMINATION DE LA MASSE VOLUMIQUE FRAIS

Pour déterminer la masse volumique d'un béton frais, il faut suivre les étapes suivantes :

- Remplir en béton frais un récipient de volume V_r et de masse M_r . Le remplissage est exécuté en deux couches.
- Araser le haut du récipient.
- Peser le récipient rempli du béton, soit M_t .

La masse volumique du béton frais δ_f est donnée par la relation suivante :

$$\delta_f = \frac{M_t - M_r}{V_r} \quad (\text{kg/m}^3) \dots \dots \dots \text{(IV-1)}$$

IV.3.3. DÉTERMINATION DE LA MASSE VOLUMIQUE DURCIE

Pour déterminer la masse volumique durcie δ_d d'un béton, on doit :

-Peser la masse d'une éprouvette durcie M. Pour notre cas, on utilise des éprouvettes 7x7x28(cm³).

-La masse volumique est obtenue en divisant la masse M par le volume correspondant aux dimensions de fabrications V [38].

$$\delta_d = \frac{M}{V} \quad (\text{kg/m}^3) \dots \dots \dots \text{(IV-2)}$$

IV.3.4.ESSAI DE MESURE DE LA RÉSISTANCE

IV.3.4.1. RÉSISTANCE À LA TRACTION

L'essai choisi est celui de traction par flexion de quatre points (NFP 18-407). L'essai est exécuté sur des éprouvettes (7x7x28) cm³. La machine d'essai est d'une capacité de 200KN et d'une vitesse de chargement de 0.1MPa par seconde (annexe 02, photo11).

La contrainte de traction par flexion est : $\sigma_t = 1.8 \frac{P_f}{a^2}$

(IV-3).

P_f : la charge (KN).

a : dimension de section de l'éprouvette(cm²).

IV.3.4.2. RÉSISTANCE À LA COMPRESSION

L'essai de traction par flexion fende l'éprouvette en deux parties égales. La norme ASTM C116-90 autorise l'utilisation de ces parties pour l'essai de compression

sur cube équivalent [9]. Pour notre cas, la compression est réalisée sur des cubes de $(7 \times 7) \text{ cm}^2$.

La machine d'essai (type **CONTROLS** (annexe 02, photo10), ayant une capacité maximale de 5000 kN et d'une vitesse de chargement de l'ordre de $0.5 \pm 0.2 \text{ MPa}$ par seconde [17].

La contrainte de compression σ_c est : $\sigma_c = \frac{P_c}{S}$ (IV-4).

P_c : charge de compression appliquée.

S : la section de l'éprouvette.

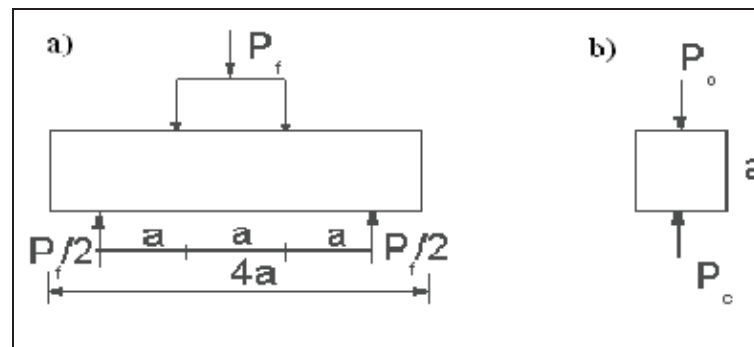


Figure (IV-1) : a) Essai de traction par flexion (4 points) [9].

b) Essai de compression sur cube [9].

IV.3.5. ESSAI DE DURABILITÉ

Dans l'essai de durabilité, on a posé les éprouvettes dans un sol avec une solution du sulfate de magnésium MgSO_4 , pendant un mois. Puis, les éprouvettes sont conservées dans le sulfate de magnésium à une concentration de 2 %, selon les normes **ASTM C1012** [15]. On mesure la résistance à la traction et à la compression à différentes échéances.

IV.3.6. ESSAI D'ABSORPTION PAR CAPILLARITÉ

Après le sciage des éprouvettes sur une de leurs faces, on les déshydrate à l'étuve et imperméabilise les autres faces (résine époxy ou paraffine).

Les éprouvettes sont, ensuite, posées dans un bac contenant de l'eau sur leurs faces sciées. On mesure l'accroissement de poids, P (g), des éprouvettes par la montée capillaire d'eau [17].

Le coefficient d'absorption capillaire AC est donné par la relation suivante :

$$\boxed{AC = \frac{P}{S}} \dots\dots\dots(\text{IV-5}).$$

S : surface sciée de l'éprouvette (cm²).

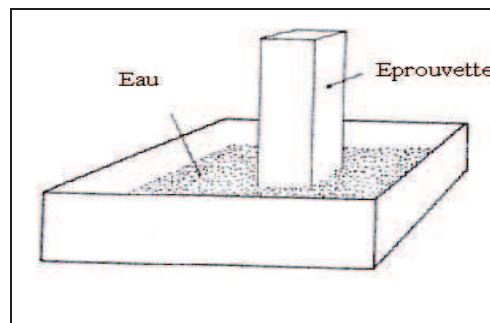


Figure (IV-2) : Essai d'absorption par capillarité [17].

IV.3.7. ESSAI DE RETRAIT (NFP 15-433)

La mesure de retrait consiste à évaluer les variations des déformations (ΔL) par rapport aux longueurs initiales (L_0) de l'éprouvette en fonction de temps ($\Delta L / L_0$) en ($\mu\text{m}/\text{m}$). ΔL et L_0 sont mesurés à l'aide d'un déformomètre équipé d'un comparateur permettant de réaliser des mesures avec une exactitude inférieure ou égale à 0.005mm, une tige de 280 mm de longueur doit mettre le comparateur à zéro (annexe 02, photo12) .Cette tige est en INVAR de façon à ce que les variations de température, au cours de la manipulation, n'entraînent par des modifications appréciables sur sa longueur [22].

IV.3.8. ESSAI ULTRASONIQUE

C'est un essai non destructif permettant de déterminer la vitesse de propagation des ondes longitudinales. Le principe de la méthode consiste à mesurer le temps mis par onde à parcourir une distance connue. L'appareil de l'essai comprend des capteurs

mis en contact avec le béton, un générateur d'ondes dont la fréquence est comprise entre 10 et 150hz, un amplificateur, un circuit de mesure du temps et un affichage digital du temps mis par ondes pour traverser le béton (voir photo 13, annexe 02) [9].

A partir de cet essai, on peut déduire le module d'élasticité dynamique E_d et la résistance à la compression σ_c :

$$E_d = \delta V^2 \frac{(1 + \mu)(1 - 2\mu)}{g(1 - \mu)} \dots\dots\dots \text{(IV-6)}.$$

$$\sigma_c = 16.7 \exp \frac{E_d}{122500} \dots\dots\dots \text{(IV-7)}.$$

Tels que : δ : densité de béton (kg/m^3) ;

-V : vitesse de propagation de son (m/s);

- μ : coefficient de poisson ;

-g : accélération gravitaire.

IV.4. PRÉSENTATION DES RÉSULTATS

IV.4.1.AFFAISSEMENT ET MASSES VOLUMIQUES DES COMPOSITIONS DU BÉTON

Les résultats des essais de détermination des masses volumiques des béton sont présentés dan le tableau suivant :

Tableau (IV -1)

Masses volumiques des différents bétons

Béton	Masse volumique frais (M1) (Kg/m^3)	Masse volumique durcie (M2) à 28 jours (Kg/m^3)	Écart (M1-M2)
BSC	2370.37	2330.53	39.84
BSCD	2370.37	2327.19	43.18
BSD	2388.88	2370.01	18.87
BSCF	2320.98	2311.01	9.97
BSCDF	2327.16	2317.78	9.38
BSDF	2364.19	2332.36	41.21

L'eau se trouve dans la composition du béton en trois situations différentes à savoir :

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

Donc, dans notre cas l'écart (**M1-M2**) représente la quantité d'eau évaporable. Le rôle de cette quantité d'eau est de contribuer à la plastification (ouvrabilité) du béton.

On observe que cette eau est plus élevée dans les bétons **BSC** et **BSCD** que le béton **BSD**. Ce résultat peut s'expliquer par la quantité du sable dans le béton; plus cette quantité augmente, plus la demande en eau lors de malaxage augmente. Pour les bétons avec l'adjonction du flintkote, on constate que l'eau évaporable est diminuée, ce qui traduit par le rapport E/C qui est diminuée, aussi.

Tableau (IV-2)

Affaissement au cône d'ABRAMS pour les bétons proposés.

béton	E/C	Affaissement (cm)
BSC	0.58	6
BSCD	0.55	6.5
BSD	0.53	7
BSCF	0.55	6.5
BSCDF	0.52	7
BSDF	0.50	7.5

Selon la recherche bibliographique [7, 8], on peut constater que : le béton destiné aux ouvrages hydrauliques exige une consistance plastique (affaissement entre 5 et 9 cm). Pour obtenir la consistance désirée de chaque béton ; il faut adapter des rapports convenables E/C. Le tableau précédent montre que le rapport E/C est plus important dans le béton **BSC** (béton témoin) que le béton **BSCD**, et il est minimal dans le béton **BSD**.

On peut expliquer ce résultat par la quantité du sable dans le béton .plus cette quantité est augmentée, plus la surface spécifique du mélange augmente, donc le besoin en eau augmente aussi.

Pour obtenir une consistance presque similaire, on observe que le rapport E/C diminue de l'ordre de 3% quand on utilise 2% du flintkote dans les bétons (**BSCF**, **BSCDF**, **BSDF**).

IV.4.2.RÉSULTAS DE RÉSISTANCE

IV.4.2.1. CONSERVATION À L'AIR LIBRE (Température de 28 ± 5 °C et humidité relative de $30\% \pm 2\%$).

Les résultats de la résistance des éprouvettes conservées à l'air libre sont donnés dans les tableaux (IV -3 et IV -4) .

Tableau (IV -3)

Résultats de résistance du béton à la compression (à l'air libre, MPa).

Composition	7J	14J	28J	90J	180J
BSC	21.25±2.36	24.94±0.98	28.91±1.51	27.95±0.67	25.94±1.00
BSCD	27.87±1.93	33.18±0.82	34.96±0.74	34.59±0.59	34.54±0.17
BSD	29.65±1.24	30.69±1.53	35.60±2.74	35.13±1.43	34.64±0.72
BSCF	22.45±0.72	25.31±0.30	26.73±1.17	26.48±1.12	26.39±0.87
BSCDF	26.06±1.44	30.89±2.09	32.01±1.76	32.71±1.54	31.22±0.57
BSDF	28.88±1.28	32.21±0.49	33.03±1.15	34.69±2.00	34.58±1.93

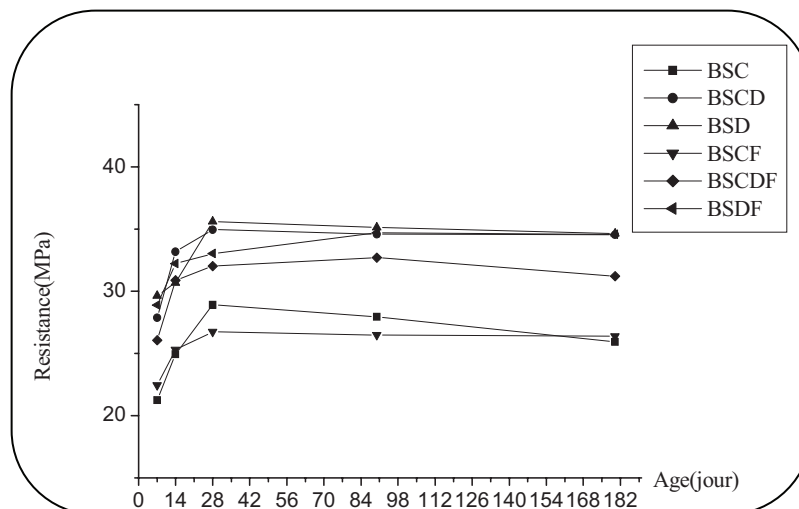
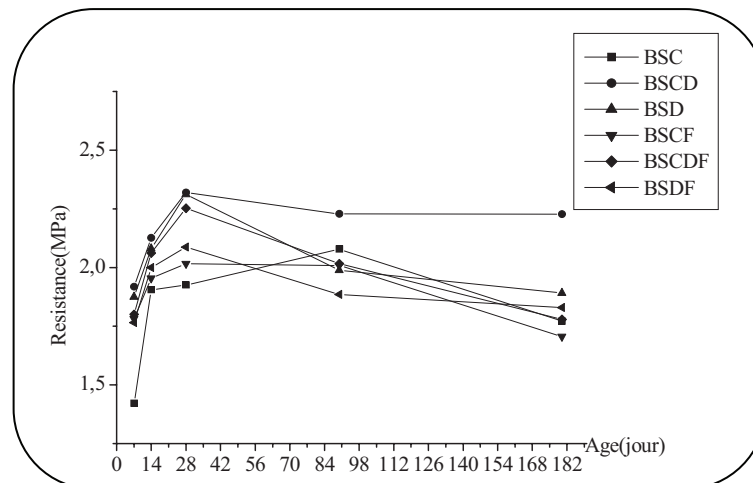


Figure (IV-3) : Résistance à la compression (conservation à l'air libre).**Tableau (IV -4)**

Résultats de résistance du béton à la traction (à l'air libre, MPa).

composition	7J	14J	28J	90J	180J
BSC	1.422±0.106	1.905±0.045	1.926±0.088	2.078±0.140	1.771±0.093
BSCD	1.918±0.110	2.126±0.125	2.320±0.033	2.228±0.019	2.227±0.011
BSD	1.875±0.062	2.081±0.112	2.312±0.138	1.989±0.018	1.891±0.044
BSCF	1.781±0.147	1.955±0.175	2.017±0.110	2.009±0.140	1.706±0.053
BSCDF	1.800±0.167	2.062±0.074	2.252±0.015	2.016±0.077	1.779±0.020
BSDF	1.765±0.086	2.000±0.153	2.087±0.116	1.885±0.090	1.829±0.099

**Figure (IV-4) :** Résistance à la traction (conservation à l'air libre).

Les résultats représentés dans les figures (IV-4) et (IV-5) montrent que la résistance (traction et compression) augmente avec l'âge. A l'âge de 28 jours, la résistance atteint des valeurs constantes et parfois elle chute. A l'âge de 90 jours, la perte de résistance est comprise entre 0 et 15 %.

Cette réduction de Résistance est due à la température élevée (mois de Juillet et Août, plus de 30°C). Un appauvrissement en eau peut être occasionné, suite à son évaporation rapide sous l'effet de la température élevée. Cette évaporation provoque un abaissement de la cinétique d'hydratation qui conduit à son tour à une diminution de la résistance.

IV.4.2.2. CONSERVATION DANS L'EAU

Les résultats de la résistance des éprouvettes conservées dans l'eau sont donnés dans les tableaux (IV -5 et IV -6) .

Tableau (IV -5)

Résultats de résistance du béton à la compression (dans l'eau, MPa).

composition	7J	14J	28J	90J	180J
BSC	27.04±2.02	31.35±1.35	41.85±1.13	45.57±0.78	52.27±2.97
BSCD	30.78±1.43	38.92±2.00	44.14±0.35	50.82±1.03	59.50±4.11
BSD	31.53±0.20	34.58±0.17	43.02±0.07	51.78±0.08	57.55±3.65
BSCF	26.06±1.95	31.50±1.49	37.27±1.62	43.84±0.60	47.68±0.66
BSCDF	28.92±0.34	35.42±1.26	40.87±1.33	50.72±0.76	53.66±1.41
BSDF	30.83±0.92	36.95±0.19	41.63±0.62	51.01±2.17	52.33±1.47

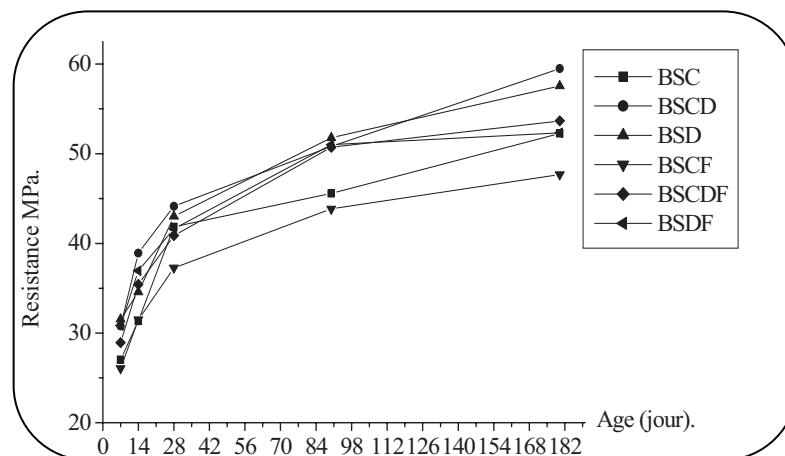


Figure (IV-5) : Résistance à la compression (Conservation dans l'eau).

Tableau (IV -6)

Résultats de résistance du béton à la traction (dans l'eau, MPa).

composition	7J	14J	28J	90J	180J
BSC	1.950±0.190	2.452±0.0123	2.744±0.371	3.147±0.146	3.887±0.249
BSCD	2.034±0.071	2.773±0.270	3.054±0.131	3.197±0.168	4.313±0.357
BSD	2.049±0.206	2.542±0.172	3.230±0.068	3.292±0.087	4.138±0.162
BSCF	1.836±0.070	2.140±0.103	2.741±0.138	3.031±0.112	3.602±0.256
BSCDF	2.199±0.056	2.702±0.099	2.705±0.046	2.973±0.289	3.936±0.221
BSDF	2.050±0.104	2.609±0.136	2.740±0.572	3.019±0.363	4.164±0.163

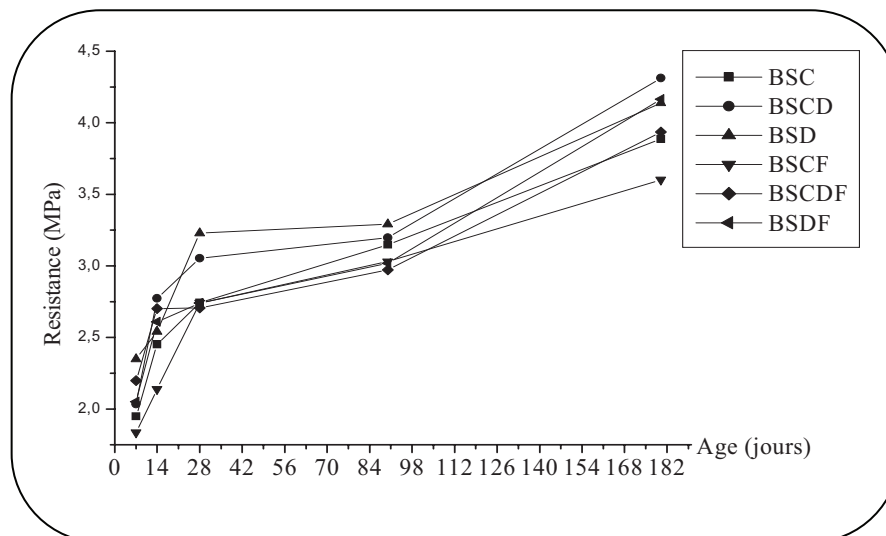


Figure (IV-6) : Résistance à la traction (conservation dans l'eau).

Les résultats montrent que la résistance accroît avec l'âge du béton. La conservation dans l'eau peut créer un environnement humide et avec une température convenable permettant de continuer l'hydratation du ciment de manière uniforme.

On constate que la résistance est plus importante dans le béton à base de sable de dune (**BSD**) que celui composé d'un mélange des deux sables (**BSCD**) par rapport au béton témoin (**BSC**). Cela est dû aux causes suivantes :

- Le rapport E/C : est plus important dans le béton **BSC** par rapport aux bétons **BSCD** et **BSD**.

- Le rapport G/S : plus le rapport G/S augmente, plus la résistance augmente à son tour, ce rapport est indiqué au tableau (IV-1).

- La discontinuité : la bibliographie [5] a mis en évidence que la discontinuité de la granularité peut affecter légèrement l'augmentation de la résistance. Le béton **BSD** présente une discontinuité dans sa granulométrie par l'absence de quelques classes granulaires entre le sable de dune et le gravier.

Les résultats montrent que la résistance des bétons (**BSC**, **BSCD**, **BSD**) est plus importante que celle des bétons qui contiennent l'adjonction de flintkote (**BSCF**, **BSCDF**, **BSDF**). L'écart de résistance entre les deux types de bétons est compris entre 0 et 10 %. Cela peut être expliqué par l'eau supplémentaire incluse dans la composition du flintkote.

IV.4.3. RÉSULTATS D'ESSAI DE DURABILITÉ

Les résultats de la résistance des éprouvettes conservées dans la solution de sulfate sont donnés dans les tableaux (IV -7 et IV -8) .

Tableau (IV -7)

Résultats de résistance du béton à la compression (dans la solution du Sulfate, MPa).

composition	7J	14J	28J	90J	180J
BSC	24.35±1.23	31.10±1.86	36.96±0.38	35.88±0.54	35.03±0.23
BSCD	27.33±1.40	35.79±2.18	40.17±0.83	39.78±0.64	39.03±0.27
BSD	30.16±0.06	39.26±3.41	44.40±0.77	39.37±0.75	38.22±2.20
BSCF	24.79±0.48	33.01±1.354	37.25±1.38	33.59±1.62	33.19±2.71
BSCDF	28.44±0.41	37.18±0.63	41.57±1.34	40.11±0.33	39.60±0.82
BSDF	30.25±1.54	38.38±1.36	43.85±0.98	39.01±2.17	39.13±1.10

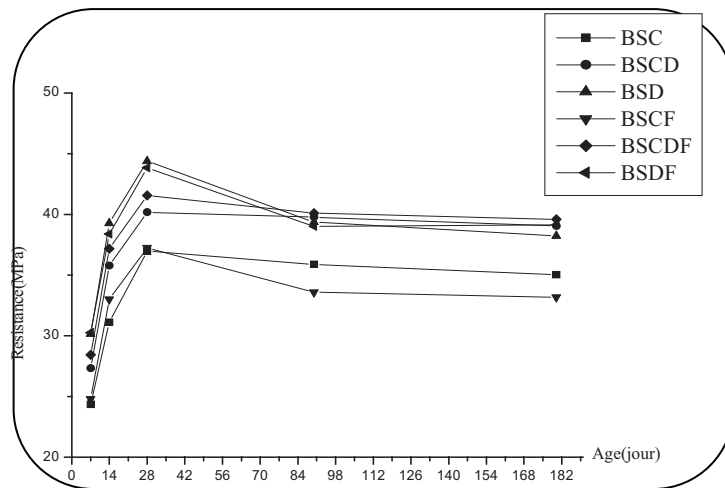


Figure (IV-7) : Résistance à la compression pour les éprouvettes conservées dans une solution de sulfate.

Tableau (IV -8)

Résultats de résistance du béton à la traction (dans la solution du sulfate, MPa).

composition	7J	14J	28J	90J	180J
BSC	2.046±0.070	2.345±0.231	2.835±0.092	2.773±0.026	2.698±0.039
BSCD	2.394±0.143	2.523±0.078	2.837±0.154	2.790±0.037	2.657±0.057
BSD	2.202±0.0215	2.680±0.140	2.866±0.778	2.846±0.029	2.648±0.603
BSCF	1.962±0.017	2.317±0.141	2.922±0.147	2.775±0.031	2.682±0.052
BSCDF	2.176±0.171	2.237±0.101	2.803±0.004	2.745±0.062	2.614±0.035
BSDF	2.020±0.130	2.653±0.070	2.738±0.036	2.744±0.046	2.668±0.024

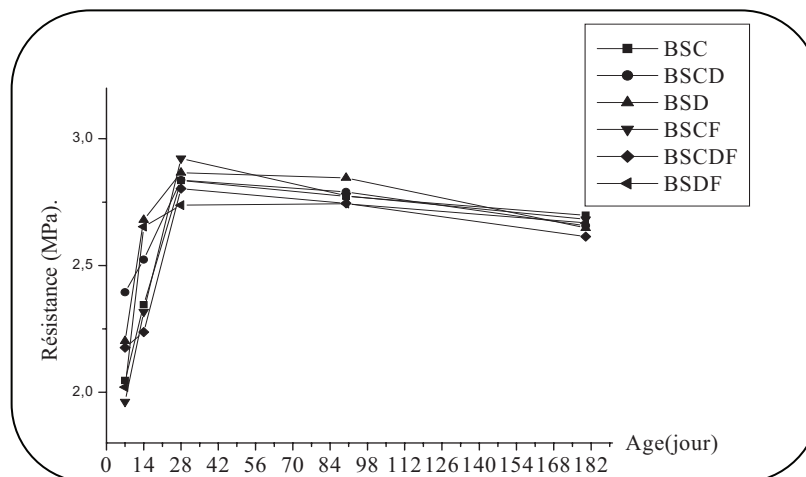


Figure (IV-8) : Résistance à la traction pour les éprouvettes conservées dans une solution de sulfate.

L'effet du milieu agressif peut apparaître à long terme selon la concentration du milieu (notre milieu est de 2 % de sulfate de magnésium) et la teneur en C_3A du ciment. Pour cela, on observe que la résistance a chuté à l'âge de 90 jours (trois mois). La perte de résistance peut être expliquée par la faiblesse du béton engendrée par les réactions chimiques entre le sulfate de magnésium ($MgSO_4$) et l'aluminate tricalcique de ciment (C_3A) qui conduit à la formation d'étringite [10]. La perte de résistance n'excède pas 10%. On observe, aussi, que les bétons **BSD** et **BSDF** présentent les plus grandes pertes de résistance à la compression par rapport aux autres bétons. Ceci peut s'expliquer par la présence des éléments sulfatiques dans le sable de dune.

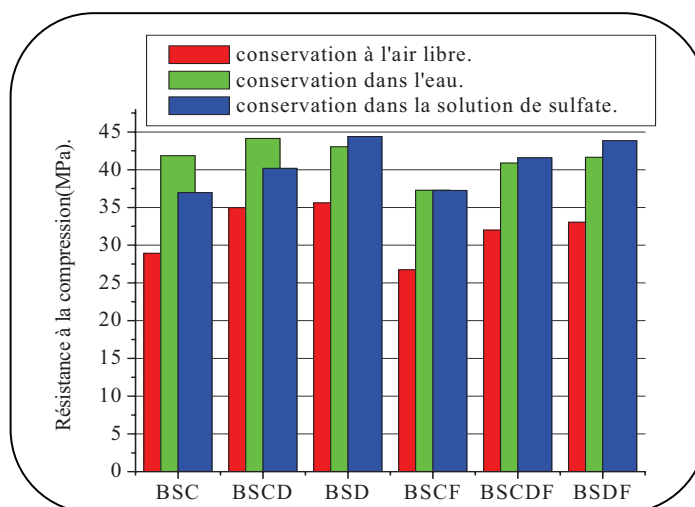


Figure (IV-9) : Résistance à la compression à 28 jours pour les différents bétons.

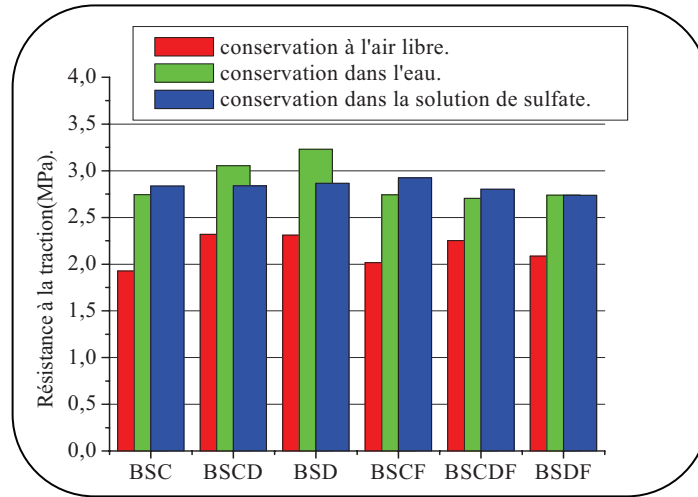


Figure (IV-10) : Résistance à la traction à 28 jours pour les différents bétons.

Faisant la comparaison des résultats de résistance à 28 jours dans les différents milieux de conservation, on observe que ; les résistances à l’air libre sont inférieures de 20 à 30% à celles aux autres milieux. On peut interpréter ces résultats par les conditions de conservation (température et humidité) qui sont plus convenables dans l’eau et dans l’eau sulfatée qu’à l’air libre où la température et l’humidité sont variables d’un jour à l’autre.

Les deux figures (IV-11) , (IV-12) représentent l’évolution de la résistance à la compression des bétons **BSC** et **BSD** dans les différents milieux de conservation. Concernant le pourcentage de perte de résistance à l’air libre et dans la solution de sulfate sont récapitulés dans les tableaux de l’annexe 3.

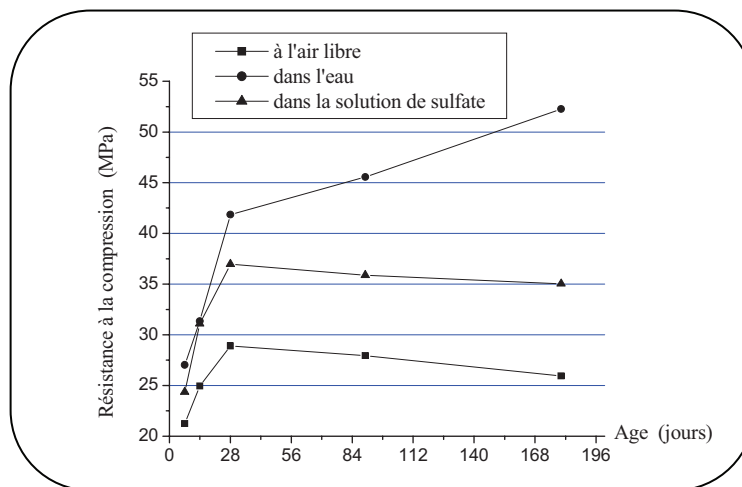


Figure (IV-11) : Résistance à la compression dans les différents milieux de conservation pour le béton **BSC**.

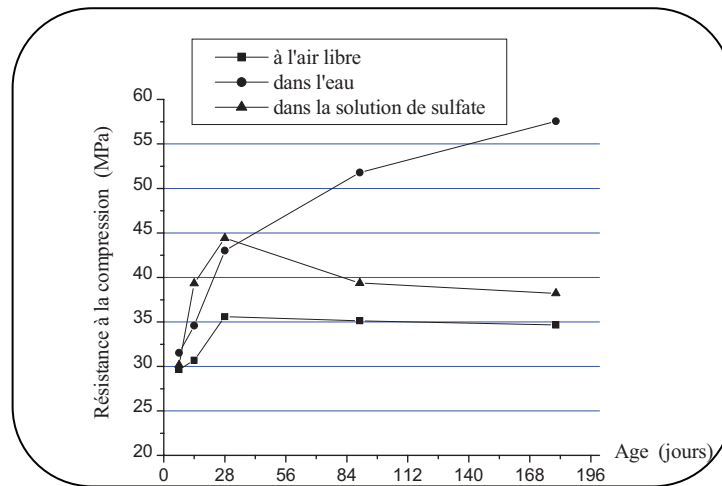


Figure (IV-12) : Résistance à la compression dans les différents milieux de conservation pour le béton **BSD**.

***Remarque :** Les essais suivants seront effectués, uniquement, sur les bétons **BSC**, **BSCD**, **BSD** et **BSDF** dont le choix est basé sur leurs résultats de résistance.

IV.4.4. RÉSULTAS D'ESSAI D'ABSORPTION CAPILLAIRE

Les résultats d'essai d'absorption capillaire sont récapitulés dans le tableau suivant :

Tableau (IV-9)

Résultats d'essai d'absorption capillaire d'éprouvettes à 28 jours d'age.

Béton	Absorption (g/cm ²).		
	1 J	2 J	3 J
BSC	1.74	2.02	2.04
BSCD	1.70	2.08	2.10
BSD	1.86	2.02	2.03
BSDF	1.77	1.87	1.88

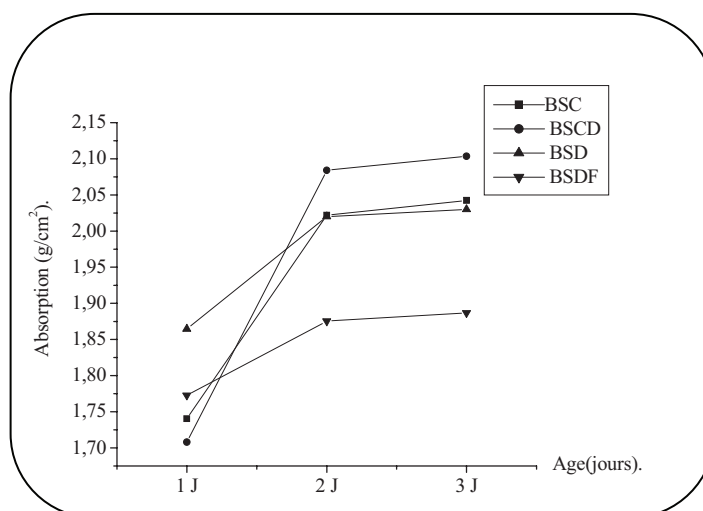


Figure (IV-13) : Représentation d'absorption capillaire pour les différents bétons.

En faisant recours aux résultats d'absorption capillaire, on observe que le béton **BSD** marque une absorption minimale, à 3 j, par rapport aux autres bétons (**BSC** et **BSCD**). Ce résultat peut être expliqué par le rapport E/C .Plus ce rapport soit élevé, plus le pourcentage des pores s'augmente et par conséquence l'absorption augmente.

En comparant le béton **BSD** avec le **BSDF** (100 % sable de dune+2 % flintkote), on constate que ce dernier présente une diminution d'absorption de l'ordre de 7 %.

IV.4.5. RÉSULTAS D'ESSAI DE RETRAIT

Les résultats d'essai de retrait sont récapitulés dans le tableau suivant :

Tableau (IV-10)

Résultats d'essai de retrait (variation de longueur , $10^{-3}\mu\text{m}/\text{m}$).

composition	2 J	7 J	14 J	28 J	60 J
BSC	30.9728	115.5153	277.466	434.0813	464.4538
BSCD	92.8626	232.0597	370.0719	446.2819	456.992
BSD	55.9648	104.7538	280.945	424.9959	454.7518
BSDF	36.9025	142.8628	261.9815	445.2905	464.3408

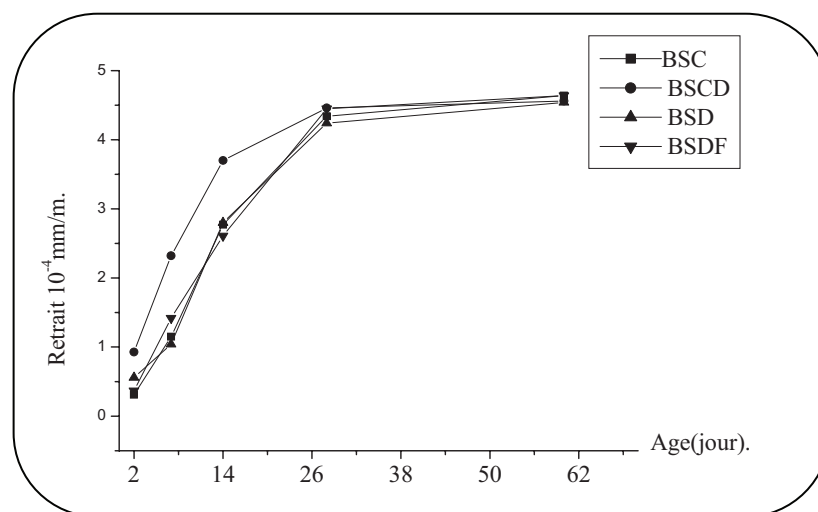


Figure (IV-14) : Évolution de retrait en fonction d'âge.

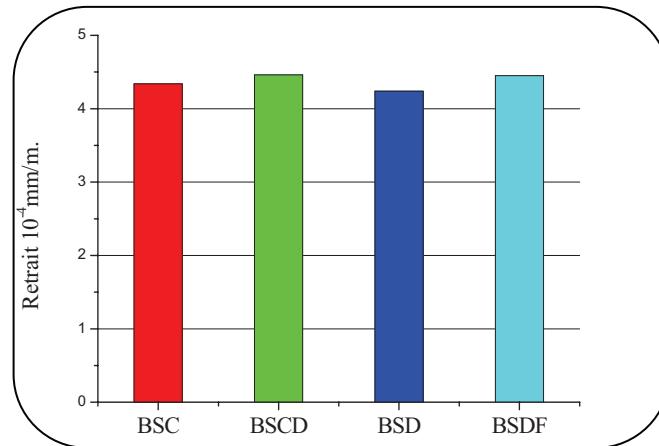


Figure (IV-15) : Comparaison du retrait à 28 jours pour les différents bétons.

Le béton **BSD** marque un retrait minimal que les autres. Ceci met à nu l'effet des rapports G/S et E/C sur le phénomène du retrait ; le rapport G/S est plus élevé dans le béton **BSD** par contre, le rapport E/C est minimal. Nous avons mis en évidence l'influence du rapport G/S sur le retrait dans la bibliographie, et ceci a été représenté dans le tableau (I-4) et la figure (I-4).

Le retrait du béton **BSDF** adjuvanté par le flintkote est plus important que celui des bétons (**BSC**, **BSCD**, **BSD**).

Généralement, le retrait est admissible dans tous les bétons **BSC**, **BSCD**, **BSD** et **BSDF** (inférieur à 5×10^{-4} mm/m) [5].

IV.4.6. RÉSULTAS D'ESSAI ULTRASONIQUE

Les résultats d'essai ultrasonique sont récapitulés dans le tableau suivant :

Tableau (IV-11)

Résultats d'essai ultrasonique.

Composition	Vitesse de son (m/s)	Module d'élasticité (MPa)	Résistance à la compression (MPa)
BSC	3425.83	25125.31	20.50
BSCD	3589.74	27379.81	20.88
BSD	3668.18	29646.64	21.27
BSDF	3658.53	28595.79	21.09

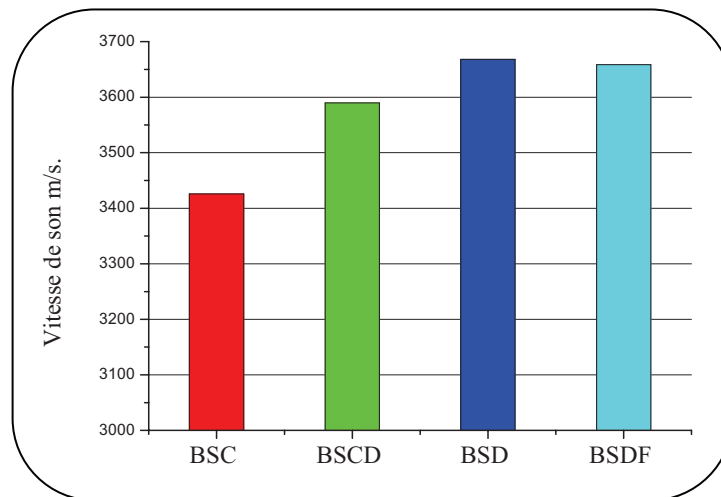


Figure (IV-16) : Représentation de vitesse de son pour les différents bétons à 28 jours...

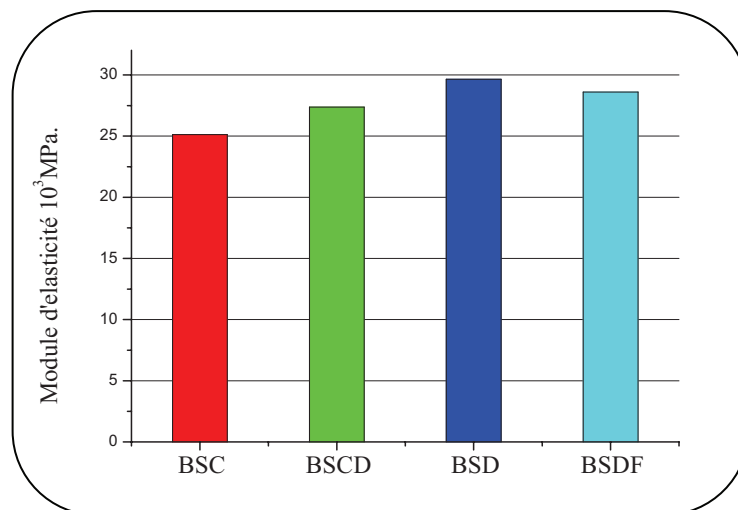


Figure (IV-17) : Variation du module d'élasticité dynamique selon les bétons.

La vitesse du son et le module dynamique sont variables dans le même sens que la résistance. Il est évident que le son est plus vite dans les corps rigides, donc, plus le béton est compact, plus la vitesse du son, le module dynamique et la résistance sont meilleure.

IV.5. DISCUSSION

Afin de donner une image claire sur l'influence du sable de dune sur les propriétés du béton, le tableau (IV-13) récapitule les résultats obtenus par les bétons suivants :-béton témoin **BSC**.

-béton avec 100% sable de dune **BSD**.

- béton avec 100% sable de dune de **BENTATA .A (E)** [30].

Tableau (IV-12)

Comparaison entre béton témoin et béton avec 100% du sable de dune.

Propriétés		BSC	BSD	BENTATA.A (E)
Ciment (kg/m ³)		400	400	400
Eau (L/m ³)		232	212	220
Rapport E/C		0.58	0.53	0.55
Sable de dune (kg/m ³)		-	468	586
Sable de construction (kg/m ³)		565	-	-
Gravier 3/8(kg/m ³)		189	208	380
Gravier 8/15(kg/m ³)		960	1058	832
Rapport G/S		1.50	1.85	-
F _{t28} (MPa)		1.926	2.312	2.4
F _{c28} (MPa)		28.91	35.60	20
Retrait à 28 jours (µm/m)		0.434	0.425	1.20
Type des moules utilisés	compression	Cubes 7x7	Cubes 7x7	Cylindres 16x32
	traction	Prismes 7x7x28	Prismes 7x7x28	Prismes 7x7x28

Selon le tableau (IV-13), on constate que notre béton **BSD** donne les meilleurs résultats de résistance à la compression et de retrait. Ceci peut être expliqué par le rapport E/C modéré et le rapport G/S élevé.

La méthode de formulation ((**DREUX-GORISSE**)) est basée sur la granulométrie des différents granulats. Plus le sable est fin, plus sa quantité dans la composition est faible. Par contre, la quantité des gros granulats (graviers) augmente et par conséquent le rapport G/S augmente.

Plusieurs facteurs influent sur les qualités du béton (granulométrie du sable, son module de finesse, sa propreté,...etc.). La prise en considération des différentes

propriétés du sable utilisé lors de la confection des compositions (même s'ils ne sont pas admissibles par les normes), et le choix convenable de la méthode de formulation ; permettent tous d'obtenir un béton avec des propriétés similaires au béton témoin et parfois plus satisfaisantes.

Pour comparer notre béton avec le béton destiné aux ouvrages hydrauliques, exposé dans la recherche bibliographique, le tableau suivant a mis en évidence une comparaison entre les bétons suivants :

- béton avec 100% sable de dune **BSD**.
- béton avec 100% sable de dune + 2 % flintkote **BSDF**.
- béton 1 et 2 destiné aux ouvrages hydrauliques [7, 8].

Tableau (IV-13)

Comparaison de différents bétons destinés aux ouvrages hydrauliques.

Béton	BSD	BSDF	Béton 1 et 2
Ciment kg/m ³	400	400	350 à 400
E/C	0.53	0.50	0.45 à 0.50
Adjuvants	/	flintkote	Plastifiants et hydrofuges
Consistance	plastique	plastique	plastique
Classe de résistance	35/40	35/40	35/40
Absorption à 3 jours (g/cm ²)	2.03	1.88	0.67

On remarque que la classe de résistance est la même pour tous les bétons (35/40). Quant à l'absorption, en comparant notre béton **BSD** avec les bétons 1 et 2, on note que ces derniers présentent une diminution d'absorption de l'ordre de 67 % (3 fois moins). on peut interpréter ce résultat par les paramètres suivants :

- Le rapport E/C dans le béton BSD est plus important que celui des bétons 1 et 2.
- L'utilisation des adjuvants (hydrofuges) pour les béton 1 et 2

Lorsqu' on ajoute du flintkote au béton **BSD** (béton **BSDF**) ; on remarque une petite diminution d'absorption (7 %). Donc, le flintkote ne joue plus le rôle des hydrofuges.

CONCLUSIONS GÉNÉRALES **ET RECOMMANDATIONS**

1.CONCLUSIONS GÉNÉRALES

Notre étude rentre dans le cadre de la valorisation du sable de dune pour la confection du béton destiné aux ouvrages hydrauliques. Suite aux résultats obtenus, on peut conclure que le sable de dune a permis de donner quelques résultats satisfaisants et régler un grand nombre de problèmes posés pour la région :

-Remplacement du sable de construction qui fait défaut dans la région donc, il est économique.

-Propriétés techniques satisfaisantes :

- Résistance à la traction et à la compression acceptables.
- Absorption et retraits minimaux.

L'étude a été présentée en deux grandes axes à savoir : une synthèse des informations bibliographiques et une série d'essais expérimentaux, effectués, sur les bétons proposés.

● La recherche bibliographique peut être divisée en trois parties :

- La première partie consiste à rassembler quelques informations sur les propriétés du béton destiné aux ouvrages hydrauliques à savoir : l'ouvrabilité, la résistance, la durabilité, l'étanchéité, le retrait et l'élasticité.
- Dans la deuxième partie, on a présenté l'influence des propriétés des granulats sur les qualités essentielles du béton. Dans ce sens, on note que :

-l'état de la surface et la géométrie des grains influent la consommation en eau et par conséquent la maniabilité.

-la propreté des granulats est nécessaire pour confectionner un béton de qualité.

-la granulométrie du sable et son module de finesse joue un rôle dans l'étanchéité et l'absorption du béton.

-le rapport G/S a une influence directe sur la résistance et l'ouvrabilité du béton.

- La troisième partie est une recherche bibliographique sur les investigations menées dans le cadre de la valorisation du sable de dune en génie civil. La majorité des études rassemblées s'intéressent au sujet du béton de sable. Ces études montrent que le béton du sable de dune, avec quelques ajouts et adjuvants, a donné des performances acceptables qui concurrencent celles du béton traditionnel, sauf le retrait qui est trois fois plus grand.

On note qu'il y a une seule investigation qui prend en considération le sujet de la valorisation du sable de dune dans le béton traditionnel. Cette étude montre que le béton à base du sable de construction reste toujours prépondérant.

● L'étude expérimentale a été présentée en deux parties :

- la première partie est consacrée aux essais d'identification, effectués sur les matériaux de construction utilisés ainsi qu'à la présentation de la méthode de formulation du béton.

Les matériaux utilisés sont :

- Ciment : est un CPA CEM I 42.5 ES de la cimenterie Algérienne, de type CRS (résistant au sulfate).
- Gravier : deux classes de graviers ont été utilisés (3/8 et 8/15) de la carrière de Haoud El-Hamra. Les deux classes ont une faible absorption et une propriété admissible.
- Sable : deux types de sable ont été utilisés ;
 - sable de construction : de la région de Hassi Essayeh a une granulométrie dans le fuseau recommandé avec un module de finesse $MF = 2.31$ et un coefficient d'équivalent de sable $ESV = 71\%$;

-sable de dune : de la région de Ain El-Beida, caractérisé par une granulométrie serrée et se trouve en dehors du fuseau recommandé. Son module de finesse MF=1.33, son ESV=98 %.

- Eau : l'eau utilisée provient du robinet du laboratoire de génie civil de l'Université de Ouargla.
- L'adjuvant : nous avons utilisé le matériau flintkote, destiné à la protection du béton enterré dans le sol, comme un adjuvant (2%). Ceci est pour améliorer quelques propriétés du béton (résistance, étanchéité, durabilité).

Quant à la méthode de formulation des différents bétons étudiés sont la méthode de ((DREUX-GORISSE)).

Six bétons ont été proposés :

- Composition **BSC** : béton avec 100% sable de construction.
 - Composition **BSCD** : béton avec 50% sable de construction + 50% sable de dune.
 - Composition **BSD** : béton avec 100% sable de dune.
 - Composition **BSCF** : béton avec 100% sable de construction + 2% flintkote.
 - Composition **BSCDF** : béton avec 50% sable de construction + 50% sable de dune + 2% flintkote.
 - Composition **BSDF** : béton avec 100% sable de dune + 2% flintkote.
- La deuxième partie de l'étude expérimentale présente une série d'essais expérimentaux effectués sur les bétons proposés (résistance, durabilité, absorption capillaire, ...) ainsi que l'exposition de leurs résultats et leurs interprétations.

Selon les résultats, on peut déduire les constatations suivantes :

- ❖ Le béton obtenu à base du sable de dune donne une résistance plus grande que celle du béton obtenu à base du sable de construction.
- ❖ L'adjonction du flintkote affecte une amélioration de l'ouvrabilité et une légère diminution de la résistance. Donc le flintkote a un effet défavorable vis-à-vis l'hydratation du ciment (retarder l'hydratation).

- ❖ Concernant la durabilité, on observe que toutes les éprouvettes conservées dans la solution du sulfate présentent une perte de résistance à l'âge de 90 jours. On observe, aussi, que la durabilité a diminué sous l'effet de la température élevée.
- ❖ Les phénomènes du retrait et de l'absorption capillaire sont presque similaires pour tous les bétons.
- ❖ L'adjonction du flintkote a un effet de diminuer le taux d'absorption capillaire de l'ordre de 7 %. Mais, cette diminution est très faible en comparaison avec celle des adjuvants hydrofuges qui diminuent le taux d'absorption de l'ordre de 67 %.

D'après ces résultats, on peut constater qu'il est possible de confectionner un béton à base du sable de dune avec des caractéristiques similaires à celles du béton témoin ou parfois, plus performantes. Ceci est obtenu avec la prise en considération des particularités de ce sable (granulométrie fin et serré, grande porosité, propreté,...), le choix succincte de la méthode de formulation. Ainsi que l'analyse chimique du sable qui est très importante du point de vue durabilité du béton (taux en sulfate du sable).

Enfin, on met en évidence l'effet négatif de la température élevée sur la résistance et la durabilité. Pour cela, l'arrosage des ouvrages en béton est recommandé, surtout aux jeunes âges, pour éviter leur dessiccation rapide.

2.RECOMMANDATIONS

Concernant la continuité de la recherche dans le sens de la valorisation du sable de dune on propose les recommandations suivantes :

- ✓ Etude du béton confectionné à base du sable de dune avec différentes teneurs en flintkote et étude de la possibilité d'utiliser une synergie (plastifiants- flintkote), qui peut améliorer l'ouvrabilité et l'étanchéité du béton.

- ✓ La correction du sable de dune par un autre sable grossier ou par le sable contenu dans le gravillon de concassage 3/8.
- ✓ Optimisation du béton à base du sable de dune par les différentes méthodes de formulation.
- ✓ Consacrer une étude à la durabilité du béton à base de sable de dune en différents milieux agressifs tels que :
 - Les eaux usées.
 - Les eaux de la nappe phréatique.
 - Aux cycles de gel - dégel.
 - Aux cycles de mouillage et séchage.
- ✓ Étude des propriétés thermiques du béton à base du sable de dune (conductivité thermique).
- ✓ Étude de l'adhérence du béton à base du sable de dune avec les armatures.

RESUME

Cette étude s'inscrit dans le cadre de la valorisation du sable de dune en matière de confection du béton, destiné aux ouvrages hydrauliques. Ce qui traduit, automatiquement, la rareté et la cherté du sable de construction, recommandé selon les normes. Par contre, dans notre région, le sable de dune existe en des quantités inépuisables et à des prix très bas.

Généralement, le béton en question exige une haute étanchéité et résister aux eaux agressives. A cet effet, les adjuvants hydrofuges sont couramment utilisés. Mais, dans notre cas, on remplace les hydrofuges par l'adjonction du flintkote (émulation bitumineuse).

Cette étude vise l'amélioration de certaines caractéristiques du béton (résistance, durabilité, étanchéité,...etc.) par l'intégration du sable de dune dans sa composition et tout en proposant une nouvelle matrice (béton - flintkote).

La méthodologie du travail à suivre est d'effectuer une série d'essais expérimentaux sur les bétons proposés et de comparer leurs résultats avec ceux du béton témoin.

Mots clés : béton, ouvrages hydrauliques, valorisation, sable de dune, flintkote, résistance, durabilité, étanchéité, ...etc.

SUMMARY

This study appears in the setting of the valorisation of the dune sand concerning the confection of the concrete, intended to the hydraulic constructions. This interprets, automatically, the rarity and the dearness of the construction sand, advisable according to the norms. On the other hand, in our region, the sand of dune exists with inexhaustible quantities and to very low prices.

Generally, the concrete in question requires a high tightness and resisted to aggressive waters. To this effect, the waterproof adjuvant is habitually used. But, in our case, one must replace the waterproof by the addition of the flintkote (bituminous emulsion).

This study aims the improvement of some features of the concrete (resistance, durability, tightness...etc.) by the integration of the dune sand in its composition and while proposing a new matrix (concrete - flintkote).

The methodology of work to follow is to do a set of experimental tests on the proposed concretes and to compare their results with those of the concrete witness.

Key words: concrete, hydraulic constructions, valorisation, sand of dune, flintkote, resistance, durability, tightness ...etc.

ملخص:

تندرج هذه الدراسة في إطار تثمين رمل الكثبان في تحضير الخرسانة الموجهة لمنشآت الري. و هذا يعود إلى ندرة و غلاء رمل البناء المنصوح به تقنيا في إعداد الخرسانة. في المقابل نجد وفرة لا مثيل لها من رمل الكثبان في منطقتنا.

الخرسانة الموجهة لهذا النوع من المنشآت تتطلب كتامة عالية لمنع تسرب المياه المحملة بالعناصر العدوانية لداخلها. لهذا الغرض يستعمل عادة إضافة كاتمة للرطوبة و لكن في دراستنا هذه سنجرب مادة الفلنتكوت (مستحلب زفتي) بدلا منها.

الهدف المرجو من هذه الدراسة هو تحسين بعض خصائص الخرسانة (مقاومة، ديمومة، كتامة..... الخ) من خلال إدراج كميات متفاوتة من رمل الكثبان في تركيبها مع اقتراح مصفوفة جديدة (الخرسانة -فلنتكوت). سنعتمد في دراستنا هذه على إجراء تجارب مخبرية على التركيبات الخرسانية المقترحة و مقارنة نتائجها فيما بينها و الخرسانة العادية .

الكلمات المفاتيح: خرسانة ، منشآت الري ، رمل الكثبان ، الفلنتكوت ، مقاومة ، ديمومة ، كتامة، ...الخ.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1]-LTPS, : «Rapports internes de laboratoire des travaux publics sud» 2005.
- [2]-GARNIER.M., : «Guide vérité» Tome 1, publication du moniteur1993.
- [3]-ANRH: «Rapport interne de l'agence nationale des ressources hydrauliques» 1990.
- [4]- DMO, : «Rapport interne de direction des mines» Ouargla2003.
- [5]- DREUX. G et FESTA. J., : «Nouveau guide du béton et ses constituants» P 409 édition Eyrolles 1998.
- [6]-GUERRIN.A et DANIEL. G., : «La fabrication et l'utilisation des tuyaux en béton armé et non armé» édition Eyrolles1953.
- [7]-www.sika.fr, Fiche système A 04 : «Le béton imperméable destiné aux ouvrages hydrauliques» 101, rue de Tolbiac - 75654 PARIS 2004.
- [8]-Creargos.com ; Web expert de construction : «Le Durabat : Ciment en sacs pour travaux en milieux agricoles et viticoles» 2004.
- [9]- NEVILLE. A.M.,: «Propriétés des bétons» P805 édition Eyrolles 2000 .
- [10]- PETROV. N, THIBAUT. M et TAGNIT-HAMOU.A., : «Attaques externes et internes par les sulfates; similarités et différences» ; Communication en 1^{er} congrès international sur la technologie et la durabilité du béton, USTHB2004.
- [11]-www.ciments-calcia.fr «Ciments Calcia» Italcementi Group, les Techno des BP 01 - 78931 Guerville2006.
- [12]- KRIKER. A., : «Durabilité du béton à base de laitier» Thèse de magistère école national polytechnique 1992.
- [13]- ARROUDJ. K et OUDJIT. M. N., «Influence du sable de dune finement broyé sur l'hydratation des ciments» Communication en 2^{eme} colloque maghrébin Biskra2002.
- [14]-PLANEL.D., :«Les effets couplés de la précipitation d'espèces secondaires sur le comportement mécanique et la dégradation chimique de Bétons»Thèse de doctorat 2002.

- [15]- HANHAN .A and ZAYED. A.M.,: «Influence of SO₃ content of cement on durability» P (141-146) 2005.
- [16]- Réunion d'ingénieurs « Matériaux de construction» P401, 3^{eme} édition Eyrolles 1979 Paris.
- [17]- GORISSE. F., : « Essais et contrôle des bétons » P200 édition Eyrolles1978.
- [18]- Presse de l'école national des ponts et chaussées LCPC : «Le béton hydraulique, connaissances et pratique» P409, 1998.
- [19]- REMADNIA .A.,: «Etude de l'influence de la qualité des granulats locaux sur les propriétés des mélanges de béton et des bétons durcis dans les conditions des entreprises de préfabrication de la région de Annaba » Thèse de magistère université de Annaba P180, 1986.
- [20]-Presse de l'école national des ponts et chaussées LCPC : «béton de sable ; caractéristiques et pratique» P237, 1994.
- [21]- DREUX.G.,: «Contribution à l'étude de l'influence de la propreté du sable sur les qualités du béton »Anneles J.T.B.T.P, 1964 .
- [22]- DUPAIN. R, LANCHON.R et SAINT-ARROMAN .J.C.,: «Granulats , sols , ciments et bétons» P236, édition Casteilla 1995.
- [23]- CHAUVIN.J.J.,: «Les sables, guide pratique d'utilisation routière» ; Laboratoire régional de Bordeaux, centre d'étude technique de l'équipement du sud-ouest P(7-14), 1970.
- [24]- BENMALEK .L.,: «Contribution à l'étude des bétons de sable dunaire pour élément de structure» Thèse de magistère, école national polytechnique P111 ENPT1992.
- [25]- KOTZIAS., : «Concrete without coarse aggregate» A.C.I journal1971.
- [26] MELKMI. S et TEBERMACINE. N.,: «Étude comparative entre un béton de sable à base d'un sable roulé et un béton de sable à base d'un sable de dune de la région de Biskra» Mémoire de fin d'étude, université de Biskra1996 .
- [27]- MEROUAINI .Z et BATATA .A.,: «Le béton de sable : sa formulation et ses propriétés» Revue de construction N^o 44, 1992 .

- [28]- **AZZOUZ. L, KENAI .S et BOUHICHA .M.,** : «Comportement physico mécanique du béton de sable dunaire avec additions calcaires» Communication en 2^{ème} colloque maghrébin Biskra P(111-118) ,2002.
- [29]- **GUETTELA. A , MEZGHICHE. B et CHEBILI .R.,** : «Valorisation d'un déchet industriel pour la confection d'un béton de sable» Communication en 2^{ème}seminaire international M'sila P(413-421), 2003.
- [30]- **BENTATA .A.,**: «Etude expérimentale d'un béton avec le sable de dune»Thèse de magistère université de Ouargla P 79, 2004.
- [31]- **BENCHEIKH .M., BELOUADAH. M., CYR. M. et ETP. CLASTRES,**: «effets des adjuvants sur la perméabilité et la porosité d'un béton a base de matériaux locaux sous conditions climatiques» Communication en 1^{er} colloque international USTHB Algérie 2004.
- [32]- **GHRIEB. A.,**: «Etude d'un béton de sable de dune pour pistes aéronautiques» Thèse de magistère, école nationale polytechnique ENPT.
- [33]- « Définition du béton» Article extrait de l'Encyclopédie Encarta 2005.
- [34]- **www.industrie.gouv.fr/sessi,** Novembre : « société des études statistiques industrielles du secrétariat d'état à l'industrie» Ministère de l'économie Paris, France 2001.
- [35]-**LARRARD.F. ,** : «Construire en béton ; l'essentiel sur les matériaux» édition LCPC, P29, 2002.
- [36]- **Cimenterie d'Algérie** : «Fiche technique de ciment CPA CEMI ES 42.5».
- [37]-**Association technique de l'industrie des liants hydrauliques,**: «Guide pratique pour l'emploi des ciments » P 74, édition Eyrolles1998.
- [38]- **KEDJOUR. N.E.,** : «Le laboratoire de béton» office des publications universitaires P 308, 2003.
- [39]- **Société de dérivés de bitume Algérie (DBA)** : «Fiche technique de flintkote».

TABLE DE MATIERE

	PAGE
REMERCIEMENTS	I
RESUME	II
LISTE DES TABLEAUX	V
LISTE DES FIGURES	VII
INTRODUCTION GENERALE	1
 <u>CHAPITRE I</u> 	
RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE SUR LES PROPRIETES DU BETON DESTINE AUX OUVRAGES HYDRAULIQUES	4
I .1. PROPRIETES ESSENTIELLES DU BETON	4
I.1.1.Introduction	4
I .1.2.Ouvrabilité	4
I.1.3.Résistance	5
I .1.4.Durabilité	6
I .1.5.Perméabilité et absorption	12
I .1.6.Variations volumétriques(Retraît et Gonflement)	13
I .1.7.Elasticité	14
I.2 .CARACTERISTIQUES DES GRANULATS ET LEURS INFLUENCE SUR LES PROPRIETES DU BETON	14
I.2.1.Introduction	14
I .2.2.Texture et forme des granulats	15
I .2.3.Propreté	15
I.2.4.Influence de la granulométrie du sable	16
I.2.5.Module de finesse	17
I .2.6.Rapport Gravier /Sable (G/S)	19
I .2.7.Porosité et absorption	21
I.3.Conclusion	22

<u>CHAPITRE II</u>	
RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE SUR L'UTILISATION	
DU SABLE DE DUNE EN GENIE CIVIL	23
II.1.1.Introduction.....	23
II.1.2.Recherches menées en Union Soviétique.....	23
II.1.3.Recherches menées au niveau du Golf Arabe.....	24
II.1.4. Présentation de la recherche menée au Maroc.....	25
II.1.5.Présentation des investigations algériennes.....	25
II.1.6.Conclusion.....	32
<u>CHAPITRE III</u>	
MATERIAUX DE CONSTRUCTION UTILISES	
ET FORMULATION DU BETON	34
III.1.Introduction.....	34
III.2. Ciment.....	34
III.2.1.Analyse chimique.....	34
III.2.2.Composition de clincker.....	35
III.2.3. Surface spécifique Blaine.....	36
III.2.4.Chaleur d'hydratation.....	36
III.2.5.Temps de prise.....	37
III.2.6.Résistance à la compression.....	37
III .3.Gravier.....	37
III.3.1.Composition chimique.....	38
III.3.2.Masse volumique du gravier.....	38
III.3.3.Propreté du gravier.....	39
III.3.4.Coefficient d'absorption.....	39
III.3.5.Analyse granulométrique.....	40

III.4.Sable	41
III.4.1.Analyse chimique	41
III.4.2.Propreté du sable	42
III.4.3.Porosité	43
III.4.4.Analyse granulométrique	43
III.5.Eau de gâchage	44
III.6.Adjuvant (flintkote)	45
III.6.1.Composition chimique	45
III.6.2.Caractéristiques techniques	46
III.7.Formulation du béton	46
III.7.1. Présentation de la méthode (DREUX -GORISSE)	47
III.7.2.Dosage en eau et en ciment E/C	47
III.7.3.Tracé de la courbe granulométrique référence	48
III.7.4.Dosage en granulats	50
III.8.Conclusion	51

CHAPITRE IV

PRESENTATION DES ESSAIS EXPERIMENTAUX

ET INTERPRETATION DES RESULTATS

IV.1.Introduction	53
IV.2.Confection des éprouvettes	53
IV.3.Les essais expérimentaux	54
IV.3.1.Essai d'affaissement au cône d'Abrams	54
IV.3.2.Détermination de la masse volumique frais	54
IV.3.3Détermination de la masse volumique durcie	55
IV.3.4.Essai de mesure de la résistance	55
IV.3.4.1.Résistance à la traction	55
IV.3.4.2.Résistance à la compression	55
IV.3.5.Essai de durabilité	56
IV.3.6.Essai d'absorption par capillarité	56

IV.3.7.Essai de retrait.....	57
IV.3.8.Essai ultrasonique.....	57
IV.4.Présentation des résultats.....	58
IV.5. Discussion.....	70
CONCLUSIONS GENERALES ET RECOMMANDATIONS.....	73
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	78
ANNEXES	