

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
UNIVERSITE DE M'HAMED BOUGARA –BOUMERDES



Faculté des Sciences de l'Ingénieur
Département de Génie Des Matériaux

Mémoire de fin d'étude

Présenté pour l'obtention du diplôme Master

Spécialité : Génie de matériaux

Option : Structure et comportement Mécanique des Matériaux

THEME

**Influence des différentes granulométries du sable sur le
comportement mécanique du béton.**

Réalisé Par :

HACHEMI NADIR

BOUSSA ADEL

Sujet Proposé et suivi par :

Dr. Kheribet R.

Pr. Bezzazi B.

Remerciements

Nous remercions Dieu de nous avoir donné le savoir la volonté surtout la patience pour réaliser ce modeste travail.

*Nous tenons aussi à exprimer notre profonde gratitude au **Pr BEZZAZI** et au **Dr Kheribet** avoir accepté de nous encadrer pour l'élaboration et le suivi de ce travail.*

*Nous à remercier sincèrement tout le personnel l'entreprise **LCTP** pour tous les moyens qu'elle a mis à notre disposition pour que nous puissions effectuer notre stage pratique dans les meilleures conditions. Nous n'oublions pas l'aide qui nous a été fournie par le laboratoire de cette entreprise.*

*Nous saisissons cette occasion pour exprimer toute notre reconnaissance pour tous les enseignants du département **Génie des Matériaux***

Enfin, que toutes celles et ceux qui, de près ou de loin nous ont généreusement offert leurs encouragements à l'élaboration de ce travail, trouvent ici l'expression de notre profonde sympathie.

Merci.



بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Dédicaces

Merci Allah (mon dieu) de m'avoir donné la capacité d'écrire et de réfléchir, la force d'y croire, la patience d'aller jusqu'au bout du rêve

A mes chers parents, et sœurs.

A toute la famille BOUSSA

A tout le groupe MSCM 15.

Boussa Adel



بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Dédicaces

Merci Allah (mon dieu) de m'avoir donné la capacité d'écrire et de réfléchir, la force d'y croire, la patience d'aller jusqu'au bout du rêve

A mes chers parents, et sœurs.

Aux familles Hachemi et Mezani

A tout le groupe MSCM 15.

Hachemi Nadir

Sommaire

INTRODUCTION GENERALE :	1
--------------------------------	----------

I. Chapitre : partie théorique

I.1.L'HISTOIRE DE BETON :	2
I.2.GENERALITES :	3
I.3. PRINCIPAUX AVANTAGES ET INCONVENIENTS DU BETON :	4
I.4. CLASSIFICATION DU BETON :	5
I.5. LES DOMAINES D'EMPLOI DU BETON :	7
I.6. LES CONSTITUANTS DU BETON :	8
I.6.1 LE CIMENT :	8
I.6.2. GRANULAT :	9
I.6.3. SABLE :	10
I.6.4. GRAVIER :	11
I.6.5. EAU DE GACHAGE :	12
I.7. APPROCHE DE FORMULATION D'UN BETON :	14
I.7.1. GENERALITES :	14
I.7.2.La méthode de DRAUX-GORISSE :	15

II. Chapitre : partie pratique

II.1. INTRODUCTION :	23
II.2. CARACTERISTIQUES DES MATERIAUX UTILISES :	23
II.2.1. CIMENT :	23
II.2.2. EAU DE GACHAGE :	24
II.2.3. SABLE :	25
II.2.4. GRAVIER :	28
II.3. L'ELABORATION DES TROIS FORMULATIONS A ETUDIER, FAITE SUIVANT LA METHODE DREUX-GORISSE :	32
II.3.1. CONVERSION DES QUANTITES EN VOLUME & EN MASSE DES FORMULATIONS :	37

II.4. PREPARATION DES BETONS ORDINAIRE :	40
II.4.1. CONSERVATION DES EPROUVETTES :	41
II.4.2. CARACTERISTIQUES DES BETONS A L'ETAT FRAIS :	42
II.4.3. CARACTERISTIQUES DES BETONS A L'ETAT DURCI :	44
II.4.4. RESISTANCE MECANIQUE A LA COMPRESSION ET A LA FLEXION :	44
II.5. CONTROLE NON DESTRUCTIF PAR ULTRASON :	50
CONCLUSION GENERALE	53
RECOMMANDATIONS :	53

Liste des figures

Figure 1: les constituants de béton.....	3
Figure 2 : dosage approximatif en ciment en fonction de C/E et de l'ouvrabilité désirée.....	17
Figure 3: courbe théorique des mélanges granulaires en fonction des proportions.....	18
Figure 4 : sace de lave du ciment.....	23
Figure 5 : analyse granulométrique des sables.....	27
Figure 6 : analyse granulométrique des gravions.....	30
Figure 7 : courbe granulométrique du mélange des granulats.....	31
Figure 8 : secteurs montrant compositions de formulation 1.....	33
Figure 9 : secteurs montrant compositions de formulation 2.....	35
Figure 10 : secteurs montrant compositions de formulation 3.....	37
Figure 11 : présentations des trois formulations.....	39
Figure 12 : malaxeur du béton.....	40
Figure 13 : vérification de l'état des moules.....	40
Figure 14 : préparation des quantités des constituants.....	41
Figure 15 : table vibrante.....	41
Figure 16 : conservation des éprouvettes dans la chambre humide.....	42
Figure 17 : L'essai d'affaissement au cône d'Abrams.....	42
Figure 18 : histogramme d'affaissement au cône d'abrams.....	43
Figure 19 : rectifieuse.....	44
Figure 20 : éprouvette soumis à la compression.....	44
Figure 21 : courbe de résistance à la compression.....	46
Figure 22 : histogramme de résistance a la compression.....	46
Figure 23 : éprouvette soumis à la traction par flexion.....	47
Figure 24 : courbes de résistance à la flexion.....	48
Figure 25 : histogramme de résistance a la flexion.....	49
Figure 26 : Etalonnage de l'appareil.....	50
Figure 27 : Essai non destructif ultrason.....	51
Figure 28 : Vitesse de propagation du son des composite étudiés à 28 jours.....	51
Figure 29 : histogramme de l'évaluation de flexion, compression et la vitesse de propagation du son.....	52

Liste des tableaux

Tableau 1 : La teneur des constituants de béton en poids et en volume	3
Tableau 2 : composition minéralogique de ciment.	9
Tableau 3 : Composition chimique du ciment.	9
Tableau 4 : Valeurs approximatives du coefficient granulaire G	16
Tableau 5 : correction du dosage en eau selon le diamètre D de mélange granulaire.	17
Tableau 6 : les valeurs du coefficient correcteur K.	19
Tableau 7 : Coefficient de compacité	20
Tableau 8 : Caractéristiques physiques du ciment CPJ 42.5 Lafarge	23
Tableau 9 : Résistance à la compression et à la flexion pour prisme du ciment « 40×40×160 »mm » :.....	24
Tableau 10 : Composition chimique du ciment CPJ 42.5 Lafarge.	24
Tableau 11 : Composition minéralogique du ciment CPJ 42.5 Lafarge.	24
Tableau 12 : caractéristiques physiques du sable de « Boussaâda ».....	25
Tableau 13 : analyse granulométrique du sable de« Boussaâda »	25
Tableau 14 : caractéristiques physiques du sable de « oued sly »	26
Tableau 15 : analyse granulométrique du sable de « oued sly ».....	26
Tableau 16 : caractéristiques physiques de gravier 8/15 « keddara ».....	28
Tableau 17 : analyse granulométrique du Gravier 8/15 de « Keddara » concassé	29
Tableau 18 : caractéristiques physiques de gravier 3/8 de « El' hachimia »	29
Tableau 19 : analyse granulométrique du Gravier 3/8 de « El' hachimia » concassé	30
Tableau 20 : Appréciation de la consistance en fonction de l'affaissement au cône.....	32
Tableau 21 : classes de consistance par mesure de l'affaissement	32
Tableau 22 : Composition de formulation 1 dans 1 m 3.....	33
Tableau 23 : Composition de formulation 2 dans 1 m 3 :.....	35
Tableau 24 : Composition de formulation 3 dans 1 m 3.....	36
Tableau 25 : composition de la formulation 1 en fonction du volume des prismatiques et éprouvettes cylindriques.....	38
Tableau 26 : composition de la formulation 2 en fonction du volume des prismatiques et éprouvettes cylindriques.....	38
Tableau 27 : composition de la formulation 3 en fonction du volume des prismatiques et éprouvettes cylindriques.....	39
Tableau 28 : résultats d'affaissement au cône d'Abrams	42
Tableau 29 : essais de compression à 7 jours.....	45
Tableau 30 : essais de compression à 28 jours.....	45
Tableau 31 : essais de résistance à traction par flexion à 7 jours.....	47
Tableau 32 : essais de résistance à traction par flexion à 28 jours.....	48
Tableau 33 : Vitesse de propagation du son des composite.....	51

Présentation générale de l'organisme d'accueil (L.C.T.P) :

Présentation générale de l'entreprise :

Le laboratoire centrale des travaux public (L.C.T.P) est une société par actions (S.P.E) au capitale de 886.000.000 DA. Son siège social se trouve au 1.rue kaddour Rahim Hussein-dey. Il emploie un effectif de 462 éléments dont : 113 cadres ,191 maitrises, 158 opérateurs.

Son activité est orientée principalement dans les études des sols de fondation, de construction de génie-civil ainsi que le contrôle des matériaux et des travaux rentrant dans la réalisation des infrastructures.

Historique de cette entreprise :

Le L.C.T.P existé depuis le colonialisme et a connu plusieurs changements et nominations.

Il existe deux structures de travaux publics et bâtiment:

- Le laboratoire central des ponts et chaussées (L.C.T.P)
- Le central des études de bâtiment et de travaux publics

Après l'indépendance, ces deux structures se sont fusionnées pour donner naissance au laboratoire national des travaux publics et bâtiments(L.N.T.P).

Au cours des années quatre-vingts, on a procédé à une décentralisation qui a donné naissance à cinq laboratoires :

- Le laboratoire national des travaux publics (L.N.T.P)
- Le laboratoire des travaux publics du centre (L.T.P.C)
- Le laboratoire des travaux publics de l'ouest (L.T.P.O)
- Le laboratoire des travaux public de l'est (L.T.P.E)
- Le laboratoire des travaux publics de sud (L.T.P.S)

Chaque laboratoire était indépendant de l'autre et assurait ses travaux. Des transformations ont faites. Le (L.T.P.C) en (L.C.T.P) tandis que les trois laboratoires restant sont devenus filiales.

Domaines d'activités :

Le laboratoire central des travaux publics intervient dans les domaines suivants :

- Travaux publics
- Hydraulique
- Transport
- Habitat

Le L.C.T.P procède à toutes les analyses, aux essais et contrôles des matériaux utilisés dans les travaux publics et bâtiments. La stabilité aux fondations des ouvrages de génie-civil.

Les études routiers constituent le domaine privilégié du L.C.T.P elles permettent :

- La reconnaissance du tracé
- La prospection géologique
- Les dimensionnent des chaussées
- Les études géophysiques

Introduction générale :

Le béton (mélange de ciment, de sable et de gravite) est un matériau de construction largement utilisé.

Cependant, malgré l'importance du sable, nous avons remarqué que peu d'intérêt a été accordé au pourcentage du sable fin (0.1 mm).

A cet effet, nous nous sommes proposés d'étudier l'influence du sable fin de Boussaâda, sur les propriétés physico-mécaniques du béton. Pour ce, nôtre mémoire comportera d'abord une partie théorique qui sera ensuite suivie par les essais effectués, les résultats obtenus et leur interprétation, avant de proposer une conclusion qui résumera le travail effectué.

Chapitre I :

Partie

théorique

I.1.Historique du béton :

Le béton est un composite qui résulte d'un mélange intime de ciment, de granulats, d'eau et parfois, d'ajouts minéraux et de faible quantité d'adjuvant. Ces constituants sont dosés de manière à obtenir, après le durcissement, un produit solide dont les capacités de résistance dépassent celles des meilleures roches naturelles. Cette roche artificielle résiste bien à la compression et mal à la traction, C'est pourquoi son utilisation ne s'est véritablement développée qu'avec l'invention du béton armé en 1784, ce qui permit de compenser son insuffisance de résistance à la traction.

En 1930, un pas conceptuel important est alors franchi avec l'invention du béton précontraint qui permet la distribution des contraintes dans la matière, qui donnent une grande résistance à la compression, tout en évitant les inconvénients dus à sa faible résistance à la traction.

Depuis 1970, des recherches menées sur le béton, et particulièrement sur ses constituants actifs conduisent à un nouveau bond qualitatif et quantitatif de ses propriétés, tels que les bétons à hautes performances dont la résistance à la compression atteint 100 MPA. Ce béton fabriqué est mis en place en 1980. Par la suite, des bétons de poudres réactives qui sont utilisées pour la 1ere fois lors de la construction de la passerelle de SHERBROOK avec des bétons de 400 MPA, sont fabriqués par un traitement thermique et mécanique approprié et simple. Ensuite, Pierre RICHARD a pu fabriquer un béton de 800 MPA en utilisant une poudre métallique.

En 1986, des chercheurs Japonais ont pour la première fois fabriquée le béton auto plaçant ou le béton auto nivelant.

Le béton, mélange de plusieurs constituants très différents, dont les uns sont actifs et les autres sont inertes, présente des caractéristiques qui sont fonctions de celles de ses composants. [1]

I.2.Généralité :

Le béton est un matériau composite aggloméré constitué de granulats durs de diverses dimensions collés entre eux par un liant. Dans les bétons courants, les granulats sont des grains de pierre, sable, gravier, cailloux et le liant est un ciment, généralement, un ciment portland. Les composants sont très différents : leur masse volumique vont, dans les bétons courants de 1 (eau) à 3 (ciment) t/m³. Si le type de liant utilisé n'est pas un ciment, on parle alors, selon le liant utilisé, de béton de résine, de béton d'hydrocarboné, de béton d'argile, etc.

Dans le béton où une très grande compacité est recherchée (béton HP par exemple), la dimension des éléments les plus fins peut descendre en dessous de 0,1 mm (fillers, fumée de silice).

De même les granulats très légers ont des masses volumiques inférieures à 100 kg/m³. Ordre de grandeur des proportions des constituants d'un béton courant, présentés dans le tableau ci-dessous. [2]

Tableau 1: La teneur des constituants du béton en poids et en volume

Constituants	Eau	Air	Ciment	Granulats
Volume (%)	14 – 22	1 - 6	7 – 14	60 - 78
Poids (%)	5 – 9	-	9 – 18	63 - 85

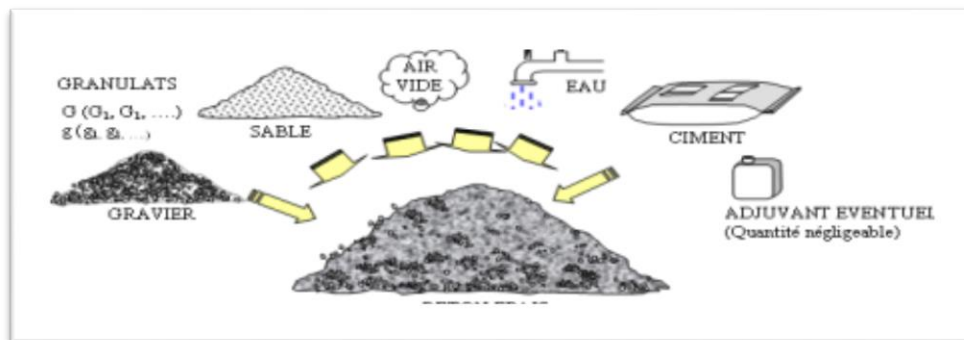
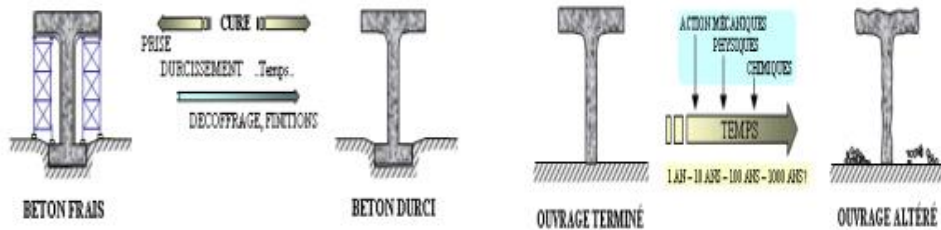


Figure 1 : les constituants de béton.

Toutes les opérations de mise en œuvre (Formulation, préparation du béton frais, transport et mise en place) sont importantes si on veut obtenir un béton dense et qualité homogène.



Pour être durable, un béton doit :

- être bien composé ;
- correctement mis en œuvre ;
- protégé des causes possibles d'altération par des dispositions constructives adéquates.

I.3. Principaux avantages et inconvénients du béton :

➤ Avantages du béton :

- Il est peu coûteux, facile à fabriquer et nécessite peu d'entretien ;
- Il épouse toutes les formes qui lui sont données. Des modifications et adaptations du projet sur le chantier sont faciles à effectuer ;
- Il devient solide comme la pierre. Correctement utilisé, il dure des millénaires. Il résiste bien au feu et aux actions mécaniques usuelles ;
- Associé à des armatures en acier, il acquiert des propriétés nouvelles qui en font un matériau de construction aux possibilités immenses (béton armé, béton précontraint) ;
- Il convient aux constructions similaires. Les assemblages sont faciles à réaliser dans le cas du béton coulé sur place. Dans la plupart des cas, les dimensions des ouvrages et éléments d'ouvrage en béton sont suffisants pour ne pas poser de problème délicat de stabilité ;
- Les ressources nécessaires pour sa fabrication existent dans de nombreux pays en quantités presque illimitées ;
- Il exige peu d'énergie pour sa fabrication. [3]

➤ Inconvénients du béton :

Les principaux inconvénients du béton ont pu être éliminés grâce à son association à des armatures en acier ou à l'utilisation de la précontrainte. De toute façon, il reste les inconvénients suivants :

- Son poids propre élevé (densité de 2,4 environ qui peut être réduite à 1,8 dans le cas de bétons légers de structure et à moins de 1,0 dans le cas de bétons légers d'isolation) ;

- Sa faible isolation thermique (elle peut être facilement améliorée en ajoutant une couche de produit isolant ou en utilisant des bétons légers spéciaux) ;
- Le coût élevé entraîné par la destruction du béton en cas de modification d'un ouvrage. [4]

I.4. Classification des bétons :

Le béton fait partie de notre cadre de vie. Il a mérité sa place par sa caractéristique de résistance, ses propriétés en matière thermique, sa résistance au feu, son isolation phonique, son aptitude au vieillissement, ainsi que par la diversité qu'il permet dans les formes, les couleurs et les aspects. Le béton utilisé dans le bâtiment, ainsi que dans les travaux publics comprend plusieurs catégories.

En général, le béton peut être classé en 4 groupes, selon la masse volumique :

- Béton très lourd : $> 2500 \text{ kg/m}^3$;
- Béton lourd (béton courant) : $1800 - 2500 \text{ kg/m}^3$;
- Béton léger : $500 - 1800 \text{ kg/m}^3$;
- Béton très léger : $< 500 \text{ kg/m}^3$.

Le béton courant peut aussi être classé en fonction de la nature des liants :

- Béton de ciment (le ciment),
- Béton silicate (la chaux),
- Béton de gypse (le gypse) et
- Béton asphalte ou bitumineux (bitume).

Le béton peut varier en fonction de la nature des granulats, des adjuvants, des colorants, des traitements de surface et peut ainsi s'adapter aux exigences de chaque réalisation, par ses performances et par son aspect.

a) Les bétons courants sont les plus utilisés, aussi bien dans le bâtiment que dans les travaux publics. Ils présentent une masse volumique de 2003 kg/m^3 environ. Ils peuvent être armés ou non, et lorsqu'ils sont très sollicités en flexion, précontraints.

b) Les bétons lourds dont les masses volumiques peuvent atteindre 6000 kg/m^3 servent, entre autres, pour la protection contre les rayons radioactifs.

c) Les bétons de granulats légers dont la résistance peut être élevée, sont employés dans le bâtiment, pour les plates-formes offshore ou les ponts.

d) Les bétons cellulaires (bétons très légers) dont les masses volumiques sont inférieures de 500 kg/m^3 , sont utilisés dans le bâtiment, pour répondre aux problèmes d'isolation.

e) Les bétons de fibrés, plus récents, correspondent à des usages très variés : dallages, éléments décoratifs, mobilier urbain.

Le béton est composé de granulats, de ciment, d'eau et, éventuellement, d'adjuvants. Parmi les quatre constituants, les granulats jouent un rôle important, d'une part, car ils forment le squelette et présentent, dans les cas usuels, environ 80 % du poids total du béton et d'autre part car, au point de vue économique, ils permettent de diminuer la quantité de liant qui est le plus cher. En plus, du point de vue technique, ils augmentent la stabilité dimensionnelle (retrait, fluage) et ils sont plus résistants que la pâte de ciment.

Les granulats utilisés dans les travaux de génie civil doivent répondre à des impératifs de qualité et des caractéristiques propres à chaque usage.

De nombreuses méthodes de composition du béton plus ou moins compliquées et ingénieuses ont été élaborées. On notera qu'une étude de composition de béton doit toujours être contrôlée expérimentalement et qu'une étude effectuée en laboratoire doit généralement être adaptée ultérieurement aux conditions réelles du chantier.

Une méthode de composition du béton pourra être considérée comme satisfaisante si elle permet de réaliser un béton répondant aux exigences suivantes :

- Le béton doit présenter, après durcissement, une certaine résistance à la compression ;
- Le béton frais doit pouvoir facilement être mis en œuvre avec les moyens et méthodes utilisés sur le chantier ;
- Le béton doit présenter un faible retrait et un fluage peu important ;
- Le coût du béton doit rester le plus bas possible.

Dans le passé, pour la composition du béton, on prescrivait des proportions théoriques de ciment, d'agrégat fin et d'agrégat grossier. Mais l'élaboration des ciments ayant fait des progrès considérables, de nombreux chercheurs ont exprimé des formules en rapport avec les qualités recherchées :

- Minimum de vides internes, déterminant une résistance élevée ;
- Bonne étanchéité améliorant la durabilité ;
- Résistance chimique ;
- Résistance aux agents extérieurs tels que le gel, l'abrasion, la dessiccation.

Sur un petit chantier où l'on fabrique artisanalement et souvent bien son béton l'on utilise le vieux principe : 2/3 de gros éléments et 1/3 d'éléments fins, soit 800 litres de gravillons et 400 litres de sable par mètre cube de béton pour 350 à 400 kg de ciment. La quantité d'eau de gâchage varie trop souvent

au gré du savoir-faire du maçon, la nature de ciment, l'humidité du granulats passant après la consistance du béton à obtenir.

La composition d'un béton et le dosage de ses constituants sont fortement influencés par l'emploi auquel est destiné le béton et par les moyens de mise en œuvre utilisés. [5]

I.5. Les domaines d'emploi du béton :

➤ Le bâtiment

Le béton tient une place essentielle dans l'urbanisme moderne. Cela semble normale lorsqu'on considère son utilisation dans la construction de logements : pour les murs, 80% des techniques en individuelle, plus de 90% en collectif pour les structures ; pour les planchers, le béton est pratiquement le matériau idéal.

Le béton s'est également largement imposé dans les autres secteurs de la construction : bureaux, hôpitaux, locaux, ainsi que dans grands édifices publics et les bâtiments industriels.

➤ Les travaux publics

a) Les ponts

Les progrès techniques et, en particulier, l'évolution des caractéristiques du béton, permettent de réaliser des portées atteignant plusieurs centaines de mètres.

b) Les tunnels

Pour les grands tunnels dont les exemples se multiplient dans le monde, le béton est, soit coulé sur place, soit utilisé dans des voussoirs préfabriqués.

Ceux-ci sont posés à l'avancement de la machine à forer-le tunnelier.

c) Les barrages

Les grands barrages sont le plus souvent en béton permettant des implantations dans les sites les plus difficiles.

d) Les routes

La chaussée béton prend une part de plus en plus importante dans les grandes voiries routières et autoroutières, grâce au développement de techniques modernes : béton armé continu, dalle épaisse traitement de surface les voiries à faible trafic et aménagements urbains montrent un regain d'intérêt pour les solutions béton, qui leur assurent durabilité et faible coût d'entretien.

e) Autres ouvrages

Il faut également citer les ouvrages hors du commun : structures offshores ou centrales nucléaires, dont les exigences requièrent des bétons aux caractéristiques mécaniques et à la durabilité élevées. [6]

I.6. Les constituants du béton :

I.6.1 Le ciment :

Définition :

Le ciment est un liant hydraulique : la réaction chimique entre la poudre de ciment et l'eau produit un des hydro silicates. Plus les grains de ciment sont fins, plus cette réaction (hydratation) s'opère rapidement. Le durcissement a lieu aussi bien à l'air que sous eau. • ABC du ciment et du béton, FEBELCEM. [7]

➤ Constituants des liants hydrauliques :

Les liants hydrauliques sont constitués de sels minéraux anhydres instables, en particulier des silicates et aluminates de calcium qui forment avec l'eau une pâte capable de faire prise et de durcir.

Progressivement plus ou moins rapidement, d'où le nom de liants hydrauliques avec les liants aériens, à base de chaux grasse et maigre qui ne peuvent durcir qu'au contact de l'air [7]

➤ Le ciment Portland (aussi appelé clinker Portland) :

Il s'agit d'un mélange, finement moulu de roche calcaire(craie) et de schiste (argile) , homogénéisé, séché, décarbonaté puis fondu partiellement(1500°C) dans un four rotatif. Ensuite ce mélange est refroidi rapidement et enfin broyé. Le clinker est finement broyé pour donner un ciment. Ce broyage s'effectue dans des broyeurs à boulets, gros cylindres chargés de boulets d'acier et mis en rotation. Lors de cette étape, le gypse (3 à 5%), indispensable à la régulation de prise du ciment, est ajouté au clinker. On obtient alors le ciment. Les matières premières (calcaire, argile) sont obtenus à partir de carrières naturelles à ciel ouvert. Ils sont extraits des parois

Rocheuses par abattage à l'explosif ou à la pelle mécanique. C'est la raison pour laquelle les cimenteries sont situées près des carrières de calcaire. [7]

➤ Les autres types de ciment :

Au clinker Portland peuvent être additionnés un ou plusieurs ajouts suivants :

- laitier de haut-fourneau : produit granulé qui est obtenu par le refroidissement brusque de la gangue en fusion des hauts fourneaux. Constituant à hydraulicité latente, c.-à-d. que l'hydratation doit être activée. Le rôle de démarreur est joué par le clinker Portland.

Partie théorique

- cendre volante : réagit avec la chaux libérée par l'hydratation du clinker.
- calcaire : constituant inerte. Intervient physiquement comme plastifiant dans le béton frais [7]

➤ **Composition minéralogique de ciment :**

Tableau 2 : composition minéralogique de ciment.

Phase	constituants	Teneur en %
Clinker	C ₃ S	57
	C ₂ S	19
	C ₃ A	05
	C ₄ AF	13
	CaOL	01
Régulateur	Gypse	05
Ajouts	Calcaire	23

➤ **Caractéristiques chimiques :**

Tableau 3 : Composition chimique du ciment.

CaO	SiO₂	AL₂O₃	Fe₂O₃	SO₃	Na₂O	K₂O	MgO	Chlorures	PAF	insoluble
61.90	15.80	4.15	2.31	2.80	0.06	0.69	2.39	0.023	9.59	0.7-2
Éléments	C₃S	C₂S	C₃A	C₄AF	CaO	gypse	calcaire	pouzzolane		
%	58	16	7	12	01	06	17	-		

I.6.2. Granulat :

On appelle « granulats » les matériaux inertes, graviers ou cailloux qui entrent dans la composition des bétons : c'est l'ensemble des grains compris entre 0 et 125mm dont l'origine peut être naturelle, artificielle ou provenant du recyclage des matériaux qui sont quelque fois encore appelés « agrégats » Cependant, cette appellation est abandonnée depuis fort longtemps ; certains persistent à l'utiliser ; l'appellation « agrégats » vicilusage tout à fait impropre, agrégats ; réunion de substances diverses formant un tout non homogène.

Les granulats sont classés en plusieurs catégories avec des spécifications particulières pour chacune d'elles.

I.6.3. Sable :

Définition :

On définit les sables comme étant la fraction des granulats pierreux dont les grains ont des dimensions comprises entre 80 μ m et 05 μ m ; il s'agit d'une définition globale dont les bornes varient d'une classification à une autre, ce 'est un matériau dont le diamètre maximal est inférieur à 6.3mm et dont le passant à 80 μ m n'excède pas 30%

Dans le sens le plus courant, on entend par « sable » les éléments de dimension 0 à 5mm.les fines. [8]

Origine des sables :

Les sables rencontrés sont le résultat d'une décomposition chimique ou d'une désintégration mécanique des rochers, suivie par un processus de transport qui est à l'origine de leurs caractéristiques physico-chimiques ; les sables ainsi disponibles sont le résultat d'un processus souvent complexe d'érosion et de sédimentation. Ils comportent, a des degrés divers une décomposition sur place, des différentes roches, suivie d'un transport fluvial et parfois éolien. [8]

➤ **Différents types de sables :**

- **Sable d'origine naturelle**

Le sable est une roche sédimentaire, constituée principalement de quartz, provenant de la désagrégation des roches sous l'action de divers agents d'érosion et de cours d'eau les plus gros grains de sable se retrouvent ainsi le long des cours d'eau, aux bords des mers, ou dans les régions désertiques. En milieu fluvial, les grains s'usent peu et restent donc gros et anguleux. En milieu continental, l'usure des grains de sable par le vent et l'eau entraîne une modification de leur forme (ou morpho scopie) au cours des temps géologiques : les grains de sable usés deviennent émoussés et luisants (milieu littoral), ou l'altération des roches riches en quartz (granites, gneiss) sous l'action de processus physiques (vent, eaux courantes) ou chimiques (action dissolvante de l'eau)

Les grains de sable qui se forment sont généralement gros et anguleux, difficilement transportables par le vent et les ronds et mats (milieu éolien). En s'arrondissant, les grains deviennent plus petits. Les sables peuvent également se consolider et se cimenter ultérieurement pour donner naissance à des grès (grès quartzeux, grès calcaires). Ce type de sables est principalement constitué de quartz (silice), avec de faibles proportions de mica, de feldspath et de magnétite. La couleur du sable est d'autant plus que la teneur en silice est élevée. Les sables sont toujours définis en fonction des constituants majoritaires : on parle ainsi de sables quartzeux, feldspathiques, ferrugineux, micacé, calcaire, ou encore de sable coquillier. Toutefois, dans le langage courant, le sable est généralement associé au sable quartzeux. [8]

- **Sables non alluvionnaires (sable de dune)**

Il s'agit essentiellement de sables anciens, c'est –à-dire de dépôts détritiques déposés à des périodes géologiques variées, à des distances plus ou moins grandes des rivages. En fonction des conditions paléogéographiques, ces dépôts ont été plus ou moins brassés par les courants et recouverts par d'autres formations sédimentaires et se retrouvent actuellement émergés sur des étendues variables et des épaisseurs également très diverse. De façon générale, ces dépôts constituent cependant des gisements beaucoup plus étendus et généralement plus épais que les dépôts alluviaux.

La pluparts de ces sables ont actuellement des utilisations soit limitées (essentiellement remblais et couchers de forme, parfois granulats pour couche de fondation), soit très spécialisées (sables de verrerie et de fonderie, béton de type cellulaire). [8]

- **Sables d'origine artificielle**

Proviennent de concassage des roches naturelles comme le calcaire, ou artificielle (pouzzolane) ; dit aussi sable concassés, caractérisés par une meilleure adhérence agrégat/liant.

Ce sont des matériaux produits dans une chaîne d'élaboration de granulats, et qui peuvent se trouver en excédent pour la production recherchée (gravier ou gravillon), ils peuvent être soit :

Des sables roulés de dessablage qui résultent du criblage primaire d'un tout-venant

Des sables de concassage qui sont très souvent l'excédent de la production d'une carrière ou d'une ballastière caractérisés par une meilleure adhérence agrégat/liant. [8]

I.6.4. Gravier :

Définition :

Les graviers ont des origines semblables à celles des sables, ils proviennent de la désagrégation des roches. La dimension maximale des agrégats est conditionnée, d'une part, par la distance minimale à réaliser et, d'autre part, de la distance minimale entre les différents armatures de l'ouvrage.

La fraction 3/8 est considérée comme sable concassé. [9]

➤ **Propriétés recherchées dans le gravier :**

- **Module de finesse :**

Le module de finesse d'un granulats est égal à la somme des refus exprimés en % sur les différents tamis de série suivante :

Gravier : 10. 20. 40 .80mm.

- **Coefficient de compacité :**

Le Coefficient de compacité est le rapport de volumes absolus des matières solides $V_m = V_s + V_c + V_g$

Au volume total du béton frais en œuvre soit un m^3 .

Coefficient de compacité = V_m (entres)/1000.

- **Essais de dureté (los Angeles) :**

L'essai Los Angeles est un essai très fiable et de très courte durée ; il nous permet d'évaluer la qualité du matériau.

a) Principe de l'essai Essai Los Angeles :

L'essai Los Angeles consiste à mesurer la quantité d'éléments inférieurs à 1,6 mm produits en soumettant le matériau aux chocs de boulets normalisés dans la machine Los Angeles.

b) But de l'essai Essai Los Angeles :

L'essai Essai Los Angeles a pour but de déterminer la résistance à la fragmentation par choc et la résistance obtenue par frottement des granulats.

c) Domaine d'application Essai Los Angeles :

L'essai Los Angeles s'applique aux granulats d'origine naturelle ou artificielle utilisés dans le domaine des travaux publics (assises de chaussées y compris les couches de roulement).

I.6.5. Eau de gâchage :

Les caractéristiques de l'eau de gâchage sont normalisées par la norme NF P 18-303 DE 1941. Une prochaine norme (dont le numéro pourrait être EN1008), en cours de préparation, précisera les critères d'évaluation retenus pour de son aptitude à être utilisée pour la confection des bétons.

L'ancienne norme étant très sommaire, les indications qui suivent donnent des précisions sur les critères qui pourraient être retenus, pour définir la qualité d'une eau et les valeurs limitées à respecter suivant les types du béton à confectionner.

Pour convenir à la confection du béton, les eaux ne doivent contenir ni :

Composés qui risquent d'attaquer chimiquement le ciment, les granulats ou les armatures, ni particules en suspension dont la quantité pourrait modifier ses qualités originales. La norme P18-303 limite, à cet

effet, le pourcentage de matières en suspension à 2 ou 5g/l et la teneur en sels dissous à 15 ou 30m/l suivant la nature du béton, précontraint ou non armé.

Dans la catégorie des eaux susceptibles de convenir à la confection de béton, on trouve :

- Les eaux potables (qui, bien évidemment, conviennent) ;
- Les eaux de recyclage provenant du rinçage des bétonniers ou des camions malaxeurs à condition de vérifier aptitude dans le cas de changement de ciment ou adjuvant d'une gâche à l'Aure, sont utilisables. Lorsque ces eaux comportent des éléments fins provenant, des matériaux entrant dans la confection des bétons (ciments, fines des sables...), il est possible de les utiliser après passage dans des bassins de décantation ;
- Les eaux de pluie et ruissellement, les eaux pompées, tant qu'elles restent conformes aux prescriptions de la norme conviennent également.

A côté, les catégories d'eaux devant pas être utilisées comprennent :

- Les eaux usées ; les eaux vannent ou contenant des détergents ;
- Les eaux industrielles susceptibles de contenir des rejets organiques ou chimiques ;

Ces différentes eaux doivent obligatoirement subir des analyses concluant à leur nocivité avant l'emploi.

La norme autorise l'emploi d'eau de mer dans la confection des bétons qui ne sont ni armés ni précontraint, mais les spécifiques du fascicule 65A sont rigoureux et interdisent formellement l'emploi lors du gâchage, bien que l'eau de mer pour le gâchage de béton non armés ne présente pas de risque à la pérennité de l'ouvrage, seules des efflorescences, dues à une migration des sels, peuvent apparaître sur les parements. [10]

I.7. Approche de formulation d'un béton :

I.7.1. Généralités :

Formuler un béton consiste à déterminer un mélange optimal des granulats dont on dispose, ainsi que le dosage en fines (ciment, addition) et en eau afin d'obtenir les qualités recherchées pour la construction de l'ouvrage. De nombreuses méthodes ont été élaborées en fonction de l'évaluation des connaissances relatives aux constituants et de leur rôle, des technologies et de l'expérience acquise sur les chantiers. Un point commun à toutes les études de composition consiste à rechercher conjointement deux qualités essentielles : l'ouvrabilité et la résistance. Nous verront que les aspects relatifs à la notion de la durabilité sont abordés de façon normalisée dépendamment de l'environnement d'exposition. Nous avons vu qu'un béton d'abord une suspension fortement concentrée de grains (gravillon, sable, ciment, addition) dans de l'eau. Bien que l'approche de compacité optimale puisse être faible de façon globale, il est en pratique, commode de distinguer le squelette granulaire inerte d'une part et la pâte d'autre part (mélange fines et l'eau). Par suite, une notion de dosage optimal en fines, résultant du concept de compacité, existe et ne dépend que de la dimension maximale des granulats (D) et de la granulométrie de ces fines. La courbe granulométrique optimale des granulats est alors indépendante du liant si le dosage en fines est d'optimal [11]

La formulation d'un béton se résume alors en quatre étapes majeures :

- Détermination de la dimension maximale des granulats ;
- Détermination de la courbe granulométrique optimale des granulats ;
- Détermination du dosage en eau et air, en fonction de l'objectif d'ouvrabilité ;
- Et de détermination du dosage optimaux en fines, qui sera en fractionner en ciment et addition, en fonction des objectifs de résistances, et en respectant les prescriptions relatives à la durabilité.

➤ **Les différentes méthodes de composition des bétons :**

- Méthodes de BOLOMY
- Méthodes d'ABRAMS
- Méthodes de FAURY
- Méthodes de VALETTE
- Méthodes de JOISELE
- Méthodes de DREUX GORISSE

I.7.2. La méthode de DRAUX-GORISSE : Généralités :

Les différentes méthodes de composition les plus utilisées, (à l'exception de celle Dreux gorisse) reposent sur une même série d'actions : le béton le plus résistant pour des granulats données, est celui qui, une fois mis en place et compacte, sera le plus plein et a minimum d'éléments fins. Ce principe s'élabore quand on s'aperçoit qu'un creux dans la matière diminue les résistances, augmente la perméabilité aux attaques chimiques.

D'autre part, le béton trouvant sa justification dans le remplacement de blocs de pierres difficiles à tailler et onéreux, il est normal que l'on essaie alors de recréer un matériau identique, donc sans vide. Il apparait également une méfiance quasi mystique à l'égard des éléments fins du sable qui rendent les dosages plus délicats et sembleraient provoquer des anomalies de résistance.

D'autre part, étant donné le rapport actuel des prix des graviers et des ciments, il est financièrement plus intéressant de mettre le minimum de ciment compatible avec le matériau désire.

➤ **Méthodes de DREUX GORISSE :**

C'est la méthode de fabrication qu'on a utilisée dans notre étude, Cette méthode est la plus utilisée actuellement. Nous rappelons que cette méthode a pour seul but de permettre de définir d'une façon simple et rapide une formule de composition a peu près adaptée au béton étudié (précontraint), mais que seules quelques gâchis d'essai et la confection d'éprouvettes permettront d'ajuster au mieux la composition à adopter définitivement en fonction des qualités souhaitées et des matériaux effectivement utilisés.

• **Résistance souhaitée**

En général, on demandera une résistance f_{c28} en compression à 28 jours et compte tenu des dispersions et de l'écart quadratique s , il faudra viser une résistance moyenne à 28 jours.

f_c supérieure à f_{c28}

$$f_{c28} = f_c - 0.8 s.$$

• **Résistance visée**

Par sécurité, la résistance visée, représente une majoration de 15% de la résistance désirée. Ainsi, la résistance visée.

$$f_c = f_{c28} + 15\% \cdot f_{c28}$$

$$f_c = 1,15 f_{c28}$$

• **Dosage en ciment et en eau**

Le dosage en eau et en ciment dépend de la résistance visée, et de la qualité du ciment et des granulats, ainsi expérimentalement, on établit une relation entre l'ensemble de ces paramètres.

Partie théorique

$$f_c = ()$$

f_c : résistance visée à 28J. C : dosage en ciment k /m³de béton.

E : dosage en eau k /m³de béton.

C : classe vraie de ciment en MPA.

G : coefficient granulaire.

Expérimentalement, il est établi que cette qualité dépend des granulats, mais également de son diamètre selon les valeurs suivantes :

Tableau 4: Valeurs approximatives du coefficient granulaire G

Qualité des granulats	Dimension maximale D des granulats		
	Fin D ≤ 16mm	Moyen D ≤ 40mm	Gros D ≤ 63mm
Excellente	0.55	0.60	0.65
Bonne, courante	0.45	0.50	0.55
passable	0.35	0.40	0.45

Cette relation permet de déterminer le rapport C/E $C/E = f_c / () + 0,5$

Il est à observer à travers cette relation que le dosage en ciment est d'autant plus important que la résistance visée du béton soit fort.

Inversement, le dosage en ciment diminue lorsque la résistance du ciment augmente. Pour une résistance visée, on a également moins besoin le ciment lorsque la qualité ou la dimension des granulats augmentent.

Le problème consiste à délier le dosage en ciment du dosage en eau.

Le dosage en eau dépend également de l'ouvrabilité désirée, ainsi en intégrant l'ouvrabilité désirée, expérimentalement, et à partir du rapport C/E, il est possible de déterminer le dosage en ciment par l'abaque suivant :

Partie théorique

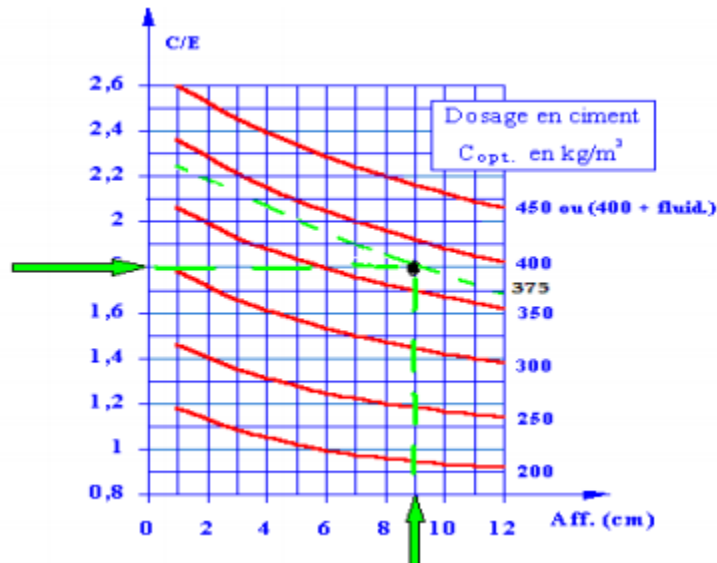


Figure 2: dosage approximatif en ciment en fonction de C/E et de l'ouvrabilité désirée.

Il est à observer que plus l'ouvrabilité désirée est importante plus il faut d'eau et plus il faut de ciment.

La quantité d'eau dépend également du diamètre des grains à humidifier, le dosage en eau déterminé est indiqué pour mouiller tous les grains du mélange granulaire représentatif maximal, EX : (D=25mm).

Pour les autres diamètres, il faut majorer ou minorer ce dosage selon le diamètre D.

Tableau 5: correction du dosage en eau selon le diamètre D de mélange granulaire.

Dimension maximale des granulats en mm	10	12.5	16	20	25	31.5	40	50
Correction sur le dosage en eau en%	+9	+6	+4	+2	0	-2	-4	-6

Diamètre en (mm) 10 12.5 16 20 25 31.5 40 50 Correction en (%) +9 +6 +4 +2 0 -2 -4 -6

- **Dosage en pourcentage des granulats**

Partie théorique

Analyse granulométrique par tamisage NF P18.560

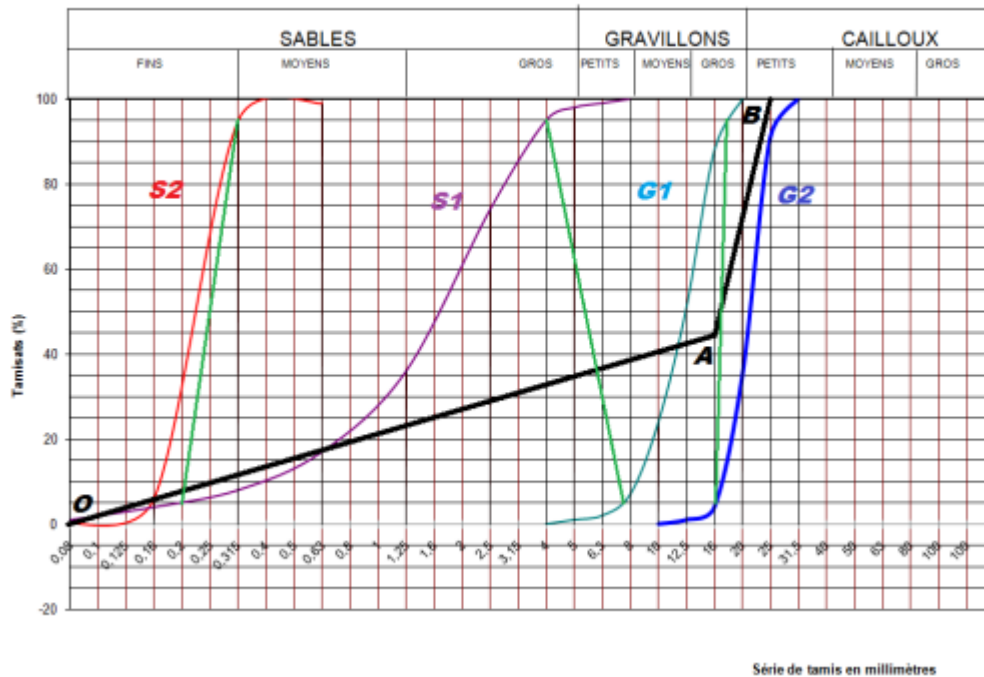


Figure 3: courbe théorique des mélanges granulaires en fonction des proportions.

Les points O et B, sont invariables quel que soit les proportions du mélange.

Le point d'origine O est fixé à 0% de tamisats sur le plus petit tamis, 0,080mm.

Ce point est repéré par ses coordonnées : O [0,080 ; 0]

De même, B se situe sur le tamis, D du gravier, avec 100% de tamisât.

Ce point est repéré par ses coordonnées : B [D ; 100]

Pour le point de briseur A, il apparaît que le tamisât sur lequel il se situe est invariable quel que soit les proportions du mélange.

Observant de plus près, il apparaît que ce tamis se situe à $D/2$, si $D \leq 25$ mm, et au milieu de l'intervalle [5 ; D] si $D \geq 25$.

Il reste à déterminer le pourcentage de tamisât du point de brisure, cette position dépend des proportions du mélange. Or, les proportions du mélange influent sur la compacité du béton et par conséquent, sur sa résistance.

Le problème consiste donc à déterminer l'ordonnée du point de brisure qui permettra de donner la meilleure compacité au béton. Cette position est optimisée par la méthode de DREUX-GORISSE.

L'ordonnée optimale du point de brisure, Y_A est déterminée par la relation suivante :

Partie théorique

$$Y_A = 50 + K + K_s + K_p$$

Cette relation prend en compte l'influence de la forme des granulats, du dosage en ciment, de la vibration, de la finesse du sable et de la mise en œuvre du béton par une pompe à béton sur la compacité du béton et sa facilité de mise en œuvre.

Tableau 6: les valeurs du coefficient correcteur K.

Vibration		Faible		normale		Puissant	
Format des granulats		Roulé	concassé	Roulé	concassé	Roulé	concassé
Dosage Ciment	400+f	-2	0	-4	-2	-6	-4
	400	0	+2	-2	0	-4	-2
	350	+2	+4	0	+2	-2	0
	300	+4	+6	+2	+4	0	+2
	250	+6	+8	+4	+6	+2	+4
	200	+8	+10	+6	+8	+4	+6

K_s , ajustement de la granularité du sable.

Pour $2,2 \leq MF \leq 2,8 \rightarrow K_s = (6 \cdot MF) - 15$

MF: Module de finesse du sable.

K_p , ajustement du dosage en sable pour faciliter le transfert par les pompes à béton.

$K_p = 0$ si le béton non pompable.

$5 \leq K_p \leq 10$ si le béton pompable.

• **La ligne de partage**

La ligne de partage joint d'ordonnée 95% de la courbe granulaire du plus petit granulat au point d'ordonnée 5% de la courbe granulaire de plus gros granulats, le point d'intersection entre cette ligne et la courbe théorique de mélange optimum indique les proportions en pourcentage de volume absolu de sable et de gravier.

Ces proportions sont lues sur le pourcentage de tamisât correspondant à ce point d'intersection, ce pourcentage indique la proportion de sable, le complément donne la proportion de gravier.

• **Dosage en masse des granulats**

Partie théorique

La meilleure compacité est obtenue en vérifiant les proportions du mélange granulaire, mais indépendamment de cela, elle dépend également du diamètre, D des granulats, des conditions de vibrations du béton et de sa plasticité

L'expérience permet de prévoir approximativement la compacité du béton selon les valeurs suivantes :

Tableau 7 : Coefficient de compacité

Consistance	Serrage	Coefficient en fonction du diamètre D des granulats						
		D=5	D=10	D=16	D=25	D=31,5	D=50	D=80
Molle	Piquage	0,750	0,780	0,795	0,805	0,810	0,815	0,820
	Vibration faible	0,755	0,785	0,800	0,810	0,815	0,820	0,825
	Vibration normale	0,760	0,790	0,805	0,815	0,820	0,825	0,830
Plastique	Piquage	0,760	0,790	0,805	0,815	0,820	0,825	0,830
	Vibration faible	0,765	0,795	0,810	0,820	0,825	0,830	0,835
	Vibration normale	0,770	0,800	0,815	0,825	0,830	0,835	0,840
	Vibration puissante	0,775	0,805	0,820	0,830	0,835	0,840	0,845
Ferme	Vibration faible	0,775	0,805	0,820	0,830	0,835	0,840	0,845
	Vibration normale	0,780	0,810	0,825	0,835	0,840	0,845	0,850
	Vibration puissante	0,785	0,815	0,830	0,840	0,845	0,850	0,855

Ces valeurs sont convenables pour des granulats roulés sinon il conviendra d'adapter les corrections suivantes :

Sable roulé et gravier concassé : 0,01. Sable et gravier concassé : 0,03.

Partie théorique

La compacité représente la proportion du volume de matière que contient le matériau. Le dosage en béton est déterminé pour obtenir 1m^3 de béton en place

$$1\text{m}^3 = 1000 \text{ L}$$

$V_{\text{total}} = 1000$. (Compacité)

$$p_c = C/V_c \quad \rightarrow \quad V_c = C / c$$

p_c : masse volumique de ciment

Comme la proportion de sable $PS1\%$, $PS2\%$ et de gravier $Pg1\%$, $Pg2\%$ qui compose le mélange granulaire ont été déterminés par rapport à leur volume absolu, il est possible d'en déduire le volume absolu de sable et le volume absolu du gravier présent dans le mélange.

$$V_{\text{Granulats}} = V_{\text{total}} - V_c$$

$$VS1 = ps\% \cdot V_{\text{Granulats}} \quad ; \quad VS2 = ps\% \cdot V_{\text{Granulats}}$$

$$g1 = pg\% \cdot V_{\text{Granulats}} \quad ; \quad Vg2 = pg\% \cdot V_{\text{Granulats}}$$

Là encore, la connaissance des masses volumiques absolues des matériaux permet de calculer les masses de sable et de gravier qui correspondent à ces volumes absolus.

$s1$, $s2$ est les masses volumiques absolues de sable $S1$ et $S2$.

$g1$, $g2$ est les masses volumiques absolues de gravier $g1$ et $g2$.

$$MS1 = s1 \cdot VS1 \quad ; \quad MS2 = s2 \cdot VS2$$

$$Mg1 = g1 \cdot Vg1 \quad ; \quad Mg2 = g2 \cdot Vg2$$

Ainsi toutes les masses des constituants du béton ont été déterminé pour obtenir un béton conforme aux attentes. Il est maintenant nécessaire de réaliser des éprouvettes, pour vérifier et ajuster les dosages expérimentaux afin de garantir la qualité du béton. [12]

Chapitre II :
Partie
pratique

II.1. Introduction :

Le terme agrégats, utilisé pour désigner les granulats, est impropre. En effet, un agrégat est un assemblage hétérogène de substances ou éléments qui adhèrent solidement entre eux grâce au ciment qui les lie.

Le terme granulat, au singulier, désigne un ensemble de grains d'un même type, quel que soit le critère de classification utilisé. Le terme granulats, au pluriel, sera utilisé pour désigner un mélange de grains de divers types.

Les granulats utilisés dans les travaux de génie civil doivent répondre à des impératifs de qualité et des caractéristiques propres à chaque usage. Les granulats constituent le squelette du béton et ils représentent, dans les cas usuels, environ, 80 % du poids total du béton.

II.2. Caractéristiques des matériaux utilisés :

II.2.1. Ciment :



Le ciment utilisé dans ce travail est un ciment composé de type CEM II/B 42.5N de classe de résistance 42.5, produit par la cimenterie de **LAFARGE**, les caractéristiques physiques, chimiques et minéralogiques et mécaniques sont données dans les tableaux suivants :

Figure 4 : sac de lave du ciment.

➤ Caractéristiques physiques :

Tableau 8 : Caractéristiques physiques du ciment CPJ 42.5 Lafarge

Caractéristiques	Résultats	Unités	Norme
Consistance normal	28	(%)	NF EN 196-3
Début de prise	150	(min)	NF EN 196-3
Fin de prise	188	(min)	NF EN 196-3
SSB	3750-5250	(Cm ² /g)	NF EN 196-6
Expansion	0.3-2.5	(g/cm ³)	NF EN 196-5

Retrait à 28 jours	<100	($\mu\text{m}/\text{mm}$)	NF EN 197-7
--------------------	------	-----------------------------	-------------

➤ **Caractéristiques mécaniques :**

Tableau 9 : Résistance à la compression et à la flexion pour prisme du ciment « 40×40×160 »mm » :

Résistance « MPA »	1J	2J	7J	28J
Compression	11.556	19.215	35.429	44.929
	11.444	20.447	35.906	45.057
Flexion	1.902	4.278	5.912	6.876

➤ **Caractéristiques chimiques :**

Tableau 10 : Composition chimique du ciment CPJ 42.5 Lafarge.

CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	SO ₃	Na ₂ O	K ₂ O	MgO	Chlorures	PAF	insoluble
61.90	15.80	4.15	2.31	2.80	0.06	0.69	2.39	0.023	9.59	0.7-2

Tableau 11 : Composition minéralogique du ciment CPJ 42.5 Lafarge.

Éléments	C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF	CaO	gypse	pouzzolane
%	58	16	7	12	01	06	-

II.2.2. Eau de gâchage :

Pratiquement, toute eau naturelle potable n'ayant pas une odeur ou un goût prononcé peut être employée pour la fabrication du béton. Cependant, certaines eaux non potables peuvent convenir.



Une eau de qualité douteuse peut être utilisée à condition que des cubes de mortier préparés avec cette eau donnent des résistances à 28 jours au moins 80%

L'utilisation de l'eau potable dans les bétons est considérée

comme une pratique sécuritaire.

II.2.3. Sable :

Les sables utilisés sont : sable concassé grossier d'OUED SLY et sable fin roulé de BOUSSADA.

Après traitement des deux sables, on a obtenu les résultats des essais physiques et d'analyse granulométrique suivants :



➤ Sable fin de Boussaâda :

Tableau 12 : caractéristiques physiques du sable de « Boussaâda »

Masse volumique apparente	1.34t/m ³
Masse volumique absolue	2.54t/m ³
Module de fines	1.16%
La teneur en eau	1.72%
L'équivalent de sable	49%

Tableau 13 : analyse granulométrique du sable de« Boussaâda »

Ouverture des tamis (mm)	Masse de refus	Masse de refus cumulés	%refus cumulés	%cumulés de tamisât
0.63	2	2	0.2	99.8
0.317	64	66	6.6	93.4
0.16	620	686	68.6	31.4
0.063	260	946	94.6	5.4
Refus cumulé	946	2	0.2	99.8
Fond tamis	2			

Le module de finesse :

$$Mf = \frac{\sum \text{refusdestamis} 0.16, 0.315, 0.63, 1.25, 2.5, 5}{100} = 1,16$$

Remarque :

Selon le % des refus et le module de finesse qui est la moyenne des quatre essais, égal à 3, on peut dire que le sable analysé est un sable très fin, donc le béton ne sera pas bien ouvrable il y'a risque de ségrégation, donc il est nécessaire de faire une correction

Analyse granulométrique par tamisage selon NF EN 933-1

➤ **Sable grossier oued sly :**

Tableau 14 : caractéristiques physiques du sable de « oued sly »

Masse volumique apparente	1.62t/m ³
Masse volumique absolue	2.65t/m ³
Module de fines	3.6%
La teneur en eau	0.82%
L'équivalent de sable	62%

Tableau 15 : analyse granulométrique du sable de « oued sly »

Ouverture des tamis (mm)	Masse de refus	Masse de refus cumulés	% refus cumulés	% cumulés de tamisât
8	1	1	0.1	99.9
6.3	18	19	1.9	98.1
5	35	44	4.4	95.6
2.5	295	339	33.9	66.1
1.25	248	587	58.7	41.3
0.63	186	773	77.3	22.7
0.315	136	909	90.9	9.1
0.16	38	947	94.7	5.3
0.063	9	956	95.6	4.4
Refus cumulé	956			
Fond tamis	0			

Le module de finesse :

$$Mf = \frac{\sum \text{refus des tamis } 0.16, 0.315, 0.63, 1.25, 2.5, 5}{100} = \mathbf{3,6}$$

Remarque :

Selon le % des refus et le module de finesse qui est la moyenne des quatre essais, égale à 3, on peut dire que le sable analysé est un sable trop grossier qui peut être utilisé dans des grands béton pour favoriser des résistances élevées, mais le béton ne sera pas bien ouvrable, donc un risque de ségrégation existe, d'où la nécessité de faire une correction au sable en ajoutant des fines à ce sable.

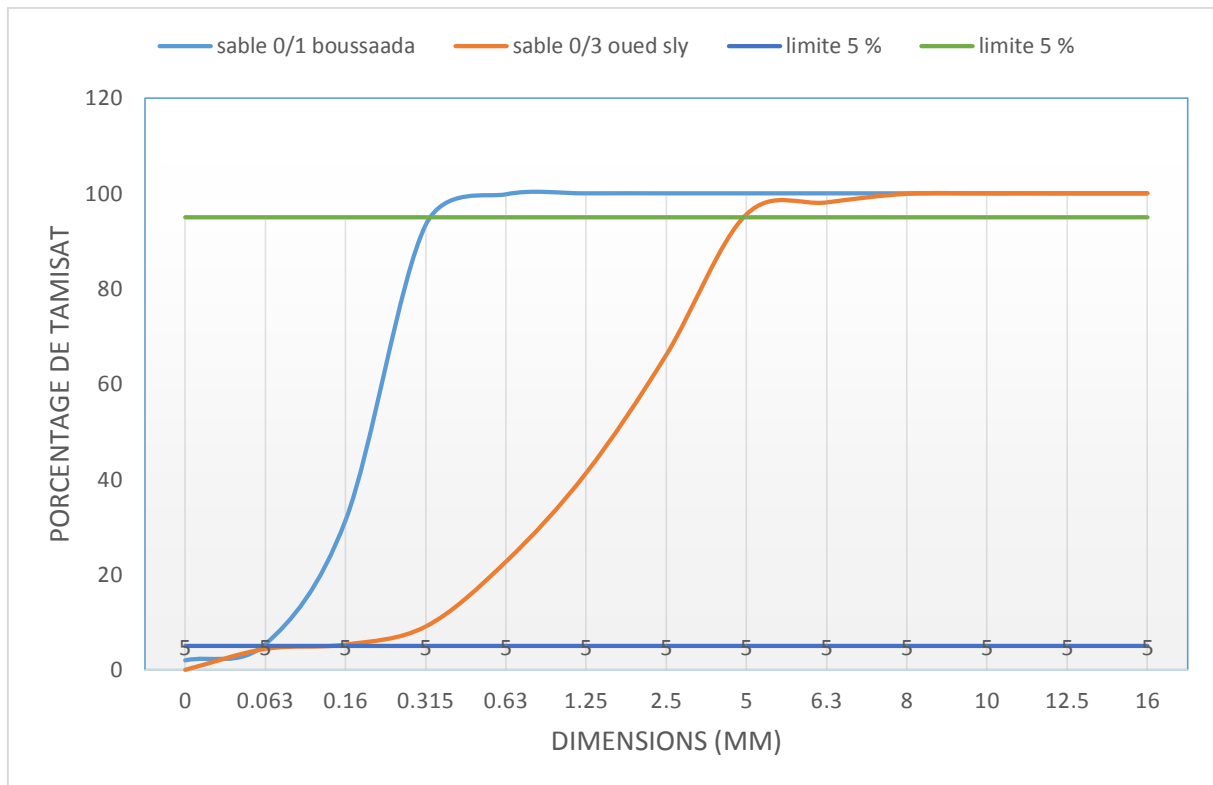


Figure 5 : analyse granulométrique des sables

II.2.4. Gravier :

Les graviers utilisés : gravier 8/15 « keddara » et 3/8 de « El' hachimia »



➤ **Gravier 8/15 de « keddara » :**

Tableau 16 : caractéristiques physiques de gravier 8/15 « keddara »

Masse volumique apparente	1.47 t/m ³
Masse volumique absolue	2.72 t/m ³
Module de fines	8.9%
Propreté superficielle	0.8%
Los Angeles	25.2%

Coefficient C_L

< 20
 20 à 25
 25 à 30
 30 à 40
 40 à 50
 > 50

Nature de la roche

Très dure
 Dure
 Assez dure
 Mis dure
 Tendre
 Très tendre

Remarque :

Plus le coefficient Los Angeles est petit, plus la roche est bonne, ce qui se traduit en résistance du béton composé, car la dureté est synonyme de très grande résistance. Cependant, l'ensemble des grains déduits des roches même avec un C réduit assure un squelette de béton très rigide

Essai sur le béton durci.

Tableau 17 : analyse granulométrique du Gravier 8/15 de « Keddara » concassé

Ouverture des tamis (mm)	Masse de refus (g)	Masse de refus cumulés (g)	% cumulés de tamisât	% cumulés de tamisât
16	31	31	1.03	98.97
12.5	807	838	27.93	72.07
10	896	1734	57.8	42.20

8	1048	2782	92.73	7.27
6.3	188	2970	99	1
5	16	2984	99.46	0.54
2.5	2	2986	99.93	0.47
Refus cumulé	2986			
Fond tamis	2			

Le module de finesse :

$$Mf = \frac{\sum \text{refusdestamis}5, 10}{100} = 8,9$$

➤ **Gravier 3/8 de « El' hachimia » :**

Tableau 18 : caractéristiques physiques de gravier 3/8 de « El' hachimia »

Masse volumique apparente	1.49 t/m ³
Masse volumique absolue	2.60 t/m ³
Module de fines	4.56%
Propreté superficielle	0.87%

Tableau 19 : analyse granulométrique du Gravier 3/8 de « El' hachimia » concassé

Ouverture des tamis (mm)	Masse de refus (g)	Masse de refus cumulés (g)	% cumulés de tamisât
10	0	0	100
8	40	40	93.06
6,3	445	485	49.69
5	1795	2240	25
2,5	845	2640	6.87
1,25	2065	2910	0.38
0,63	905	2999.96	0

Le module de finesse :

$$Mf = \frac{\sum \text{refusdestamis}5, 10}{100} = 4,56$$

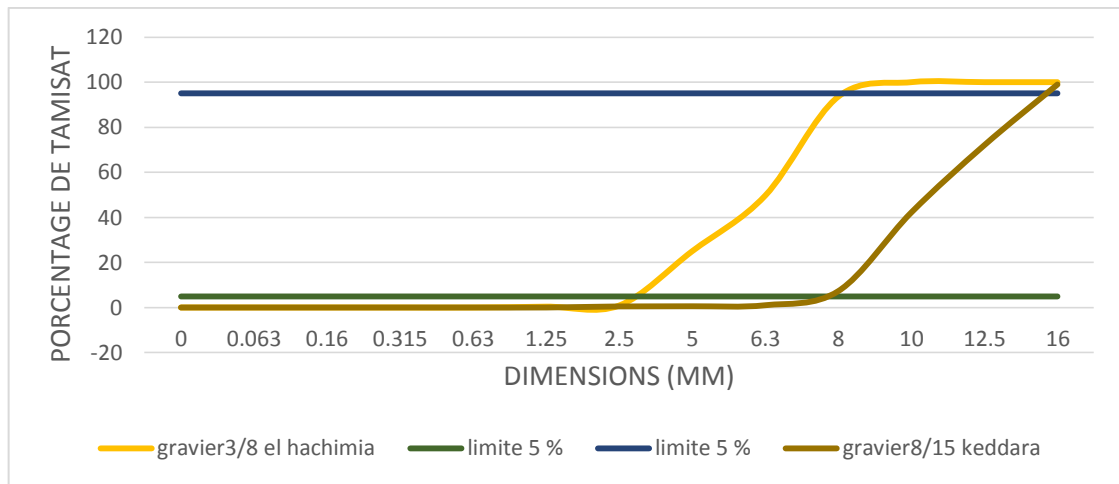


Figure 6 : analyse granulométrique des gravions

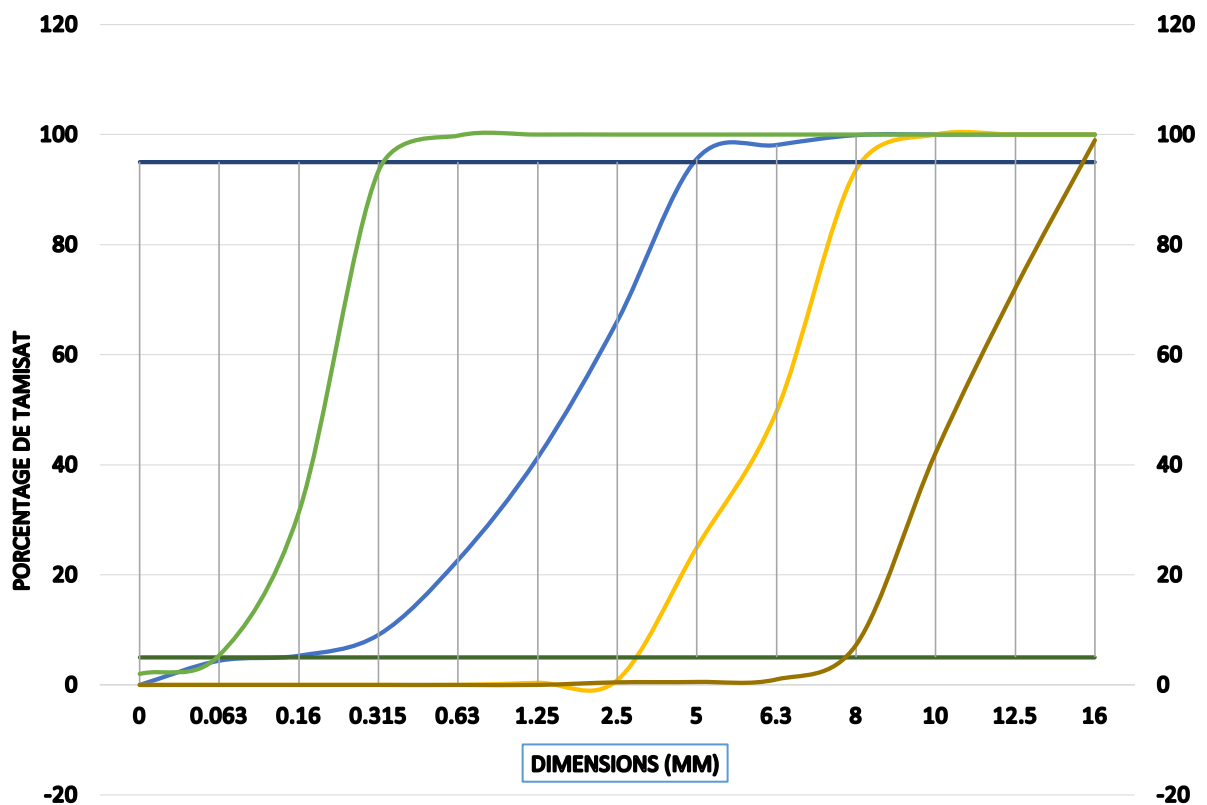


Figure 7 : courbe granulométrique du mélange des granulats

L'analyse granulométrique est très nécessaire Car :

- Elle permet de déterminer la grosseur des différentes familles de grains.
- les pourcentages pondéraux respectifs des différentes familles de grains.

II.3. L'élaboration des trois formulations à étudier, faite suivant la méthode dreux-gorisse :

➤ **Formulation une :**

Rapport G/S = 1.4

Le rapport granulats-sable doit être inférieur à 2. En effet, si le rapport est supérieur à 2,2, la résistance en compression ainsi que la densité augmenteront considérablement. Par contre, cela rendra l'ouvrabilité ou la maniabilité du béton moindre

Dosage du ciment = 400 kg/m^3 , $V_c = M_c / D_c = 212 \text{ l}$

L'affaissement [9,14] = 12

Consistance TP, Section 3

Tableau 20 : Appréciation de la consistance en fonction de l'affaissement au cône.

Classe de consistance	Affaissement (cm)	Tolérances (cm)
Ferme F	0 à 4	± 1 cm
Plastique P	5 à 9	± 2 cm
Très Plastique TP	10 à 15	± 3 cm
Fluide Fl	16 ≤	

Remarque : la norme P 18-325 (EN 206) indique quatre classes de consistance S1 à S4 déterminées par mesure du slump. Leur valeur étant :

Tableau 21 : classes de consistance par mesure de l'affaissement

Classes	Affaissements en mm
S1	10 à 40
S2	50 à 90
S3	100 à 150
S4	160 ≤

Le rapport eau ciment $E/C = 0.53$

Calculs :

$$E/C = 0.53 \text{ d'où } E = 212 \times 0.53 = 129 \text{ l}$$

$$S+G = 1000 - (V_c + E) = 659 \text{ l}$$

- $S+G = 659 \ll 1 \gg$
- $G/S = 1.4 \text{ d'où } G = 1.4 S \ll 2 \gg$

En remplaçant dans « 1 », on obtient : $1.4 S + S = 659$ d'où

$$S = 275 \text{ l}$$

$$G = 384 \text{ l}$$

S=sable ; G=gravier ; C=ciment ; E=l'eau ; V_c = volume du ciment ; M_c = Masse du ciment ; D_c = densité du ciment

Tableau 22 : Composition de formulation 1 dans 1 m³

Composants			Quantité en volume (l)		Quantité en Masse (Kg)	Densité	Densité totale	Module de finesse
Ciment 42.5			212		400	3.1	2.36	2.68
Eau de gâchage			129		129	1		
Gravier	70 %	8/15	384 l	268.8	731.1	2.72		
	30 %	3/8		115.2	299.5	2.6		
sable	80 %	0/3	275 l	220	583	2.65		
	20 %	0/1		55	139.7	2.54		

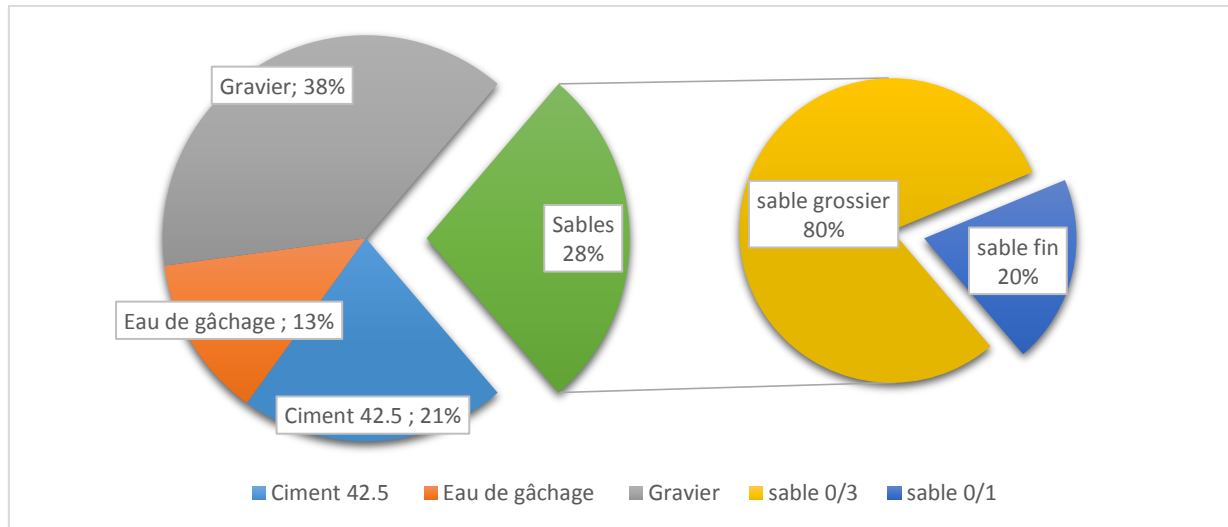


Figure 8 : secteurs montrant compositions de formulation 1

Formulation deux :

Rapport G/S = 1.4

Le rapport granulats-sable doit être inférieur à 2. En effet, si le rapport est supérieur à 2,2, la résistance en compression ainsi que la densité augmenteront considérablement. Par contre, cela rendra l'ouvrabilité ou la maniabilité du béton moindre

Dosage du ciment = 400 kg/m^3 , $V_c = M_c / D_c = 212 \text{ l}$

L'affaissement [9,14] = 10

Consistance TP, Section 3 (voir tableaux)

Le rapport eau ciment = 0.53

Calcule :

$$E/C = 0.53 \text{ d'où } E = 212 \times 0.53 = 129 \text{ l}$$

$$S+G = 1000 - (V_c + E) = 659 \text{ l}$$

- $S+G = 659 \ll 1 \gg$
- $G/S = 1.4 \text{ d'où } G = 1.4 S \ll 2 \gg$

En remplaçant dans « 1 », on obtient : $1.4 S + S = 659$ d'où

$$S = 275 \text{ l}$$

G= 384 l

S=sable ; G=gravier ; C=ciment ; E=l'eau ; V_c = volume du ciment ; M_c = Masse du ciment ; D_c = densité du ciment

Tableau 23 : Composition de formulation 2 dans 1 m³ :

Composants			Quantité en volume (l)		Quantité en Masse (Kg)	Densité	Densité totale	Module de finesse
Ciment 42.5			212		400	3.1	2.37	3.73
Eau de gâchage			129		129	1		
Gravier	70 %	8/15	384	268.8	731.1	2.72		
	30 %	3/8		115.2	299.5	2.6		
sable	00 %	0/1	275	0	0	2.65		
	100 %	0/3		275	728	2.54		

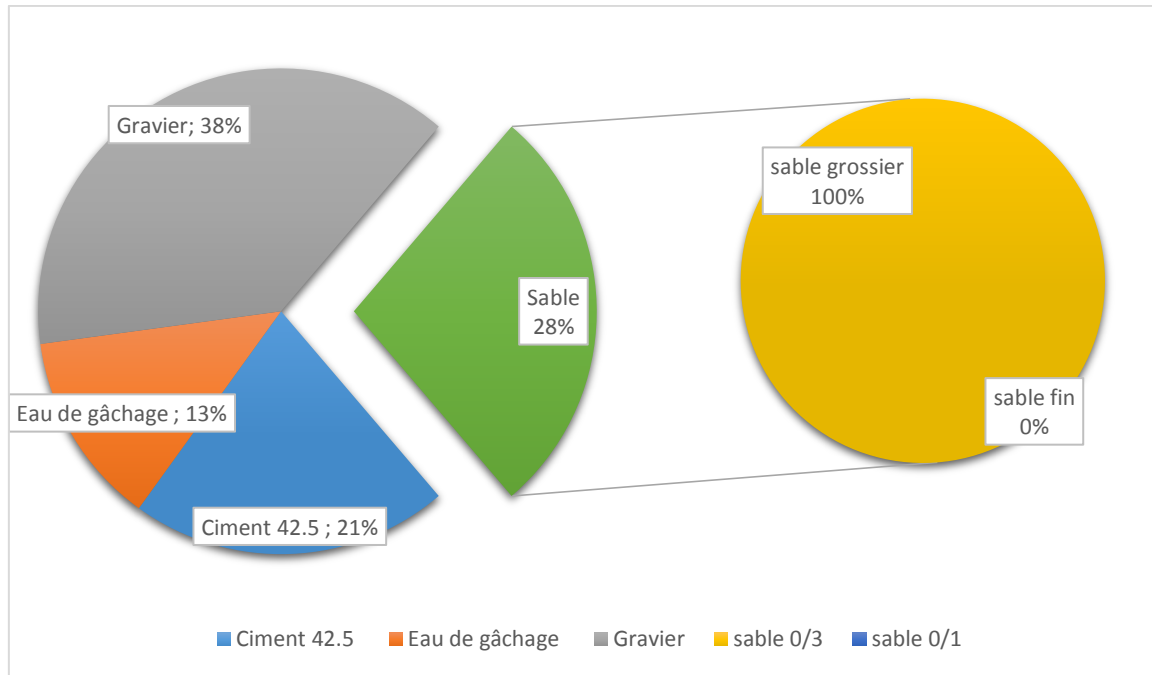


Figure 9 : secteurs montrant compositions de formulation 2

➤ **Formulation trois :**

Rapport G/S = 1.4

Dosage du ciment = 400 kg/m^3 , $V_c = M_c / D_c = 212 \text{ l}$

$E/C = 0.53$ d'où $E = 212 \times 0.53 = 129 \text{ l}$

L'affaissement [9 ,14]= 14

Consistance TP, Section 3 (voir tableaux)

Le rapport eau ciment = 0.53

Calcule :

$S+G = 1000 - (V_c + E) = 659 \text{ l}$

- $S+G = 659 \ll 1 \gg$
- $G/S = 1.4$ d'où $G = 1.4 S \ll 2 \gg$

En remplaçant dans « 1 », on obtient : $1.4 S + S = 659$ d'où

$S = 275 \text{ l}$

$G = 384 \text{ l}$

S=sable G=gravier C=ciment E=l'eau ; V_c = volume du ciment ; M_c = Masse du ciment ; D_c = densité du ciment

Tableau 24 : Composition de formulation 3 dans 1 m³

Composants			Quantité en volume (l)	Quantité en Masse (Kg)	Densité	Densité totale	Module de finesse	
Ciment 42.5			212	400	3.1	2.35	2.49	
Eau de gâchage			129	129	1			
Gravier	70 %	8/15	384	268.8	731.1			2.72
	30 %	3/8		115.2	299.5			2.6
sable	50 %	0/3	275	137.5	364.37			2.65
	50 %	0/1		137.5	349.25			2.54

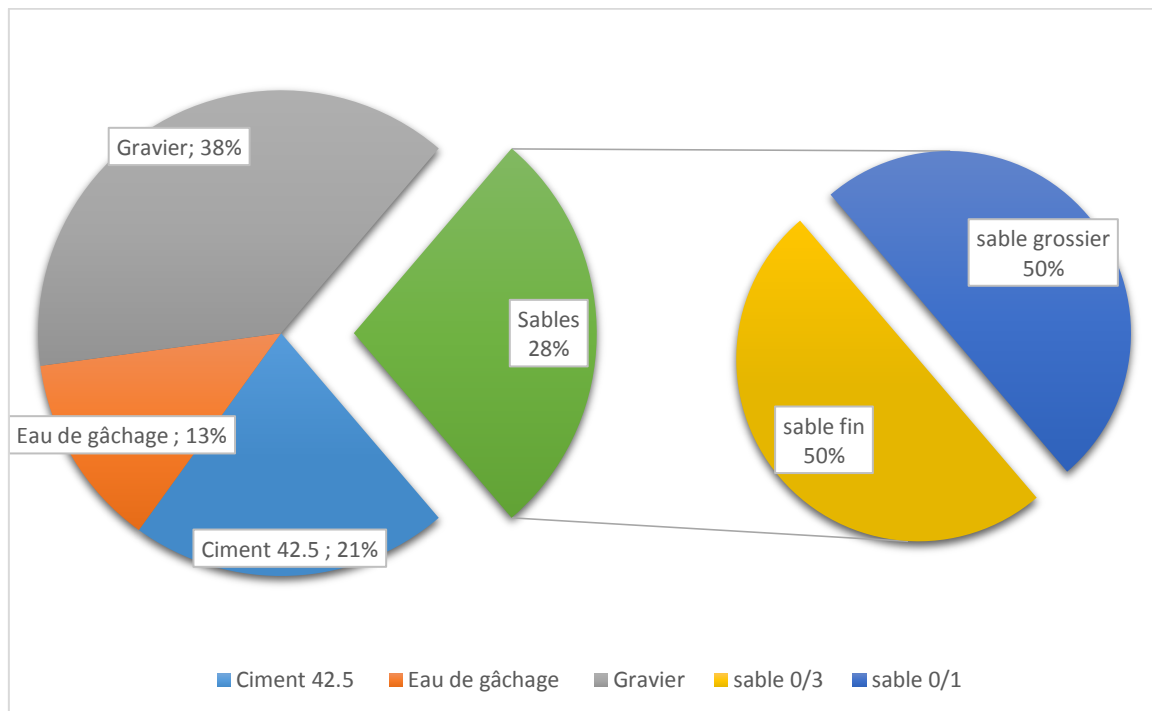


Figure 10 : secteurs montrant compositions de formulation 3

II.3.1. Conversion des quantités en volume & en masse des formulations :

En fonction de volume des prismatiques et éprouvettes

Calcul : $V_c = (\pi \times R^2 \times L) \times 6 = 38.6$ litres

$V_p = (L' \times l \times H) \times 6 = 1.372$ litres

V_c : Volume totale des éprouvettes par formulation 38.6 litres

V_p : Volume totale des prismatiques par formulation 1.372 litres

Volume nécessaire avec une marge de sécurité par formulation 48 litres

R=rayon de l'éprouvette ; L=longueur de l'éprouvette ; L'=longueur de prisme ; l= largeur de prisme ; H= hauteur de prisme

➤ Formulation une :

Tableau 25 : composition de la formulation 1 en fonction du volume des prismatiques et éprouvettes cylindriques

Composants			Quantités dans 1 m ³		Quantité nécessaire par formulation (48 l)	
			Volume (litre)	Masse (kilogramme)	Volume (litre)	Masse (kilogramme)
Ciment 42.5			212	400	6.19	19.19
Eau de gâchage			129	129	10.17	10.17
Gravier	8/15	keddara	268.8	731.1	12.9	35.09
	3/8	El hachemia	115.2	299.5	5.52	14.37
sable	0/3	Ouad sly	220	583	10.56	27.98
	0/1	Boussaâda	55	139.7	2.64	6.7

➤ Formulation deux :

Tableau 26 : composition de la formulation 2 en fonction du volume des prismatiques et éprouvettes cylindriques

Composants			Quantités dans 1 m ³		Quantité nécessaire par formulation (48 l)	
			Volume (litre)	Masse (kilogramme)	Volume (litre)	Masse (kilogramme)
Ciment 42.5			212	400	6.19	19.19
Eau de gâchage			129	129	10.17	10.17
Gravier	8/15	keddara	268.8	731.1	12.9	35.09
	3/8	El hachemia	115.2	299.5	5.52	14.37
sable	0/3	Ouad sly	275	728	13.2	34.98
	0/1	Boussaâda	0	0	0	0

➤ **Formulation trois :**

Tableau 27 : composition de la formulation 3 en fonction du volume des prismatiques et éprouvettes cylindriques

Composants			Quantités dans 1 m ³		Quantité nécessaire par formulation (48 l)	
			Volume (litre)	Masse (kilogramme)	Volume (litre)	Masse (kilogramme)
Ciment 42.5			212	400	6.19	19.19
Eau de gâchage			129	129	10.17	10.17
Gravier	8/15	keddara	268.8	731.1	12.9	35.09
	3/8	El hachemia	115.2	299.5	5.52	14.37
sable	0/3	Ouad sly	137.5	364.37	6.6	17.49
	0/1	Boussaâda	137.5	349.25	6.6	16.76

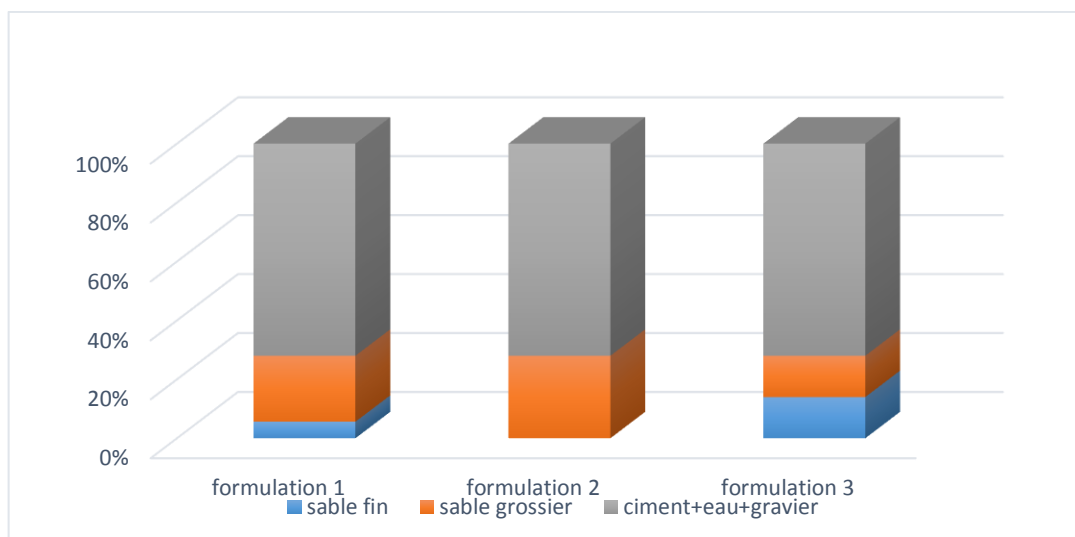


Figure 11 : présentations des trois formulations.

II.4. Préparation des bétons ordinaire :



Figure 12 : malaxeur du béton

La préparation du béton ordinaire demande la précision. Malaxage forcé fonctionne sur le principe de bras malaxeurs tournant à grande vitesse autour d'un axe interne du réservoir de mélange statique. Le malaxage est effectué par plusieurs bras qui assurent également une oblitération du mélange sur les côtés et au fond du bac de malaxage. Les bras de malaxage sont réglables verticalement et latéralement, et peuvent être équipés de spatules en caoutchouc.

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

- ✓ Vérifier en premier le nombre et l'état des moules pour les essais. Ces derniers doivent être graissés à l'aide d'une huile pour faciliter le décoffrage.



Figure 13 : vérification de l'état des moules.

- ✓ Préparer tout le matériel nécessaire pour effectuer les essais.
- ✓ Préparer les quantités des constituants (ciment, sable, gravier eau).



Figure 14 : préparation des quantités des constituants.

- ✓ Placer les constituants par ordre : gravier 8/15, gravier 3/8, sable 0/3, sable 0/1, le ciment dans le malaxeur pendant (01) min pour malaxage à sec.
- ✓ Laisser le malaxeur et ajouter progressivement l'eau de gâchage.

D'après le malaxage, rempli les éprouvettes en deux/ trois couches avec vibration à l'aide d'une table vibrante et déterminer les caractéristiques rhéologiques des bétons obtenus.



Figure 15 : table vibrante

La vibration doit être appliquée durant le temps nécessaire au serrage à refus du béton, il est préférable que la moule soit fixe ou maintenu fermement contre cette table, toute autre vibration excessive doit être évitée, afin de ne pas provoquer une diminution de l'air entrainé.

II.4.1. Conservation des éprouvettes :

Après le gâchage de béton ordinaire, et démoules après 24h, les moules sont conservés dans la chambre humide. Équiper d'un humidificateur (ou saturateur) est un appareil destiné à augmenter le pourcentage d'humidité par un système contrôlé à 22°C dans l'air.



Figure 16 : conservation des éprouvettes dans la chambre humide.

II.4.2. Caractéristiques des bétons à l'état frais :

➤ L'essai d'affaissement au cône d'Abrams :



Figure 17 : L'essai d'affaissement au cône d'Abrams

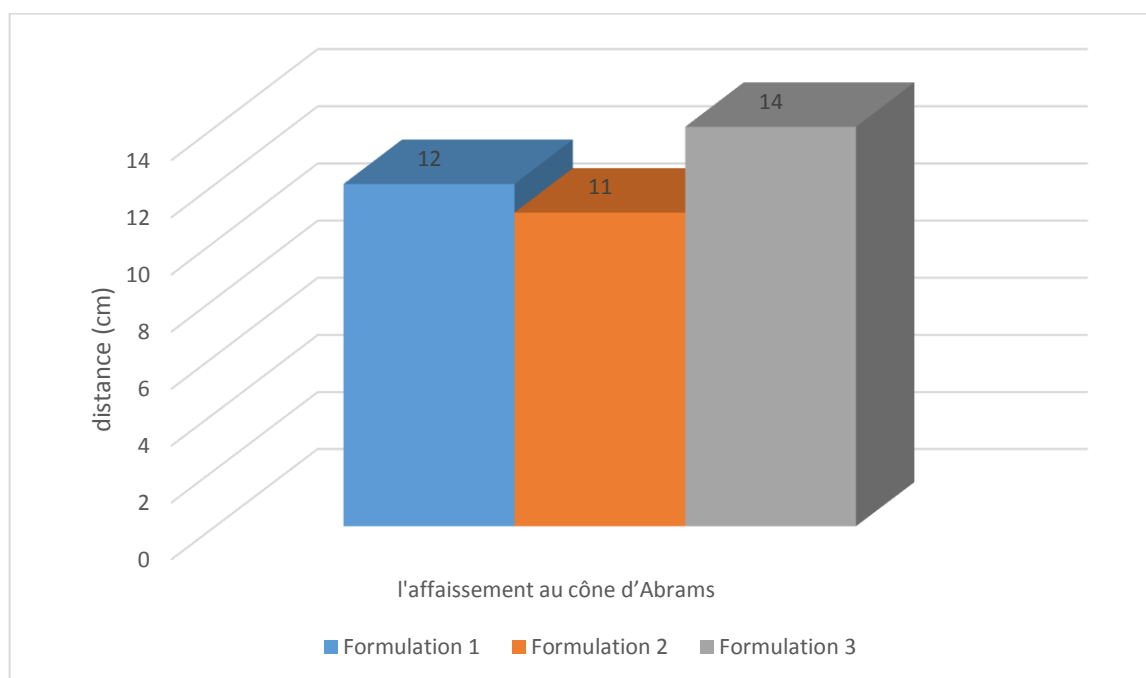
Est un essai réalisé sur le béton de ciment frais peu fluide pour déterminer sa consistance.

L'affaissement est aussi connu sous le nom de *slump* provenant de l'anglais.

La norme NF EN 12350-2¹ décrit cet essai.

Tableau 28 : résultats d'affaissement au cône d'Abrams

formulations	Affaissement (cm)
Formulation 1	12
Formulation 2	11
Formulation 3	14

**Figure 18** : histogramme d'affaissement au cône d'abrams**Remarque :**

On remarque que l'augmentation des fins (0.1mm) augmente l'affaissement.

II.4.3. Caractéristiques des bétons à l'état durci :

II.4.4. Résistance mécaniques à la compression et à la flexion :

L'essai de résistance mécanique à la compression est utilisé pour mesurer la résistance à la rupture par compression axial des éprouvettes.

Avant d'entamer l'essai, les éprouvettes préparées (16*32 cm) subissent une opération de rectification (lissage) à l'aide d'une rectifieuse.



Figure 19 : rectifieuse

L'essai de traction par flexion est effectué sur des prismes (7*7*28 cm). Le prisme est placé dans une machine d'essai de flexion et soumis à des charges croissantes jusqu'à sa rupture.

➤ résistance à la compression :



Figure 20 : éprouvette soumise à la compression

- ❖ L'ensemble des résultats mécaniques à la compression obtenue à 7 jours des trois formulations.

Tableau 29 : essais de compression à 7 jours

Compressions 7 jours		poids	poids moyennes	densité a l'état durci	force	forces moyennes	résistances	Résistances moyennes
formulation 1	éprouvette 1	14,93	15,05	2 339,81	436,94	462,51	21,73	23,00
	éprouvette 2	15,06			463,13		23,03	
	éprouvette 3	15,14			487,47		24,24	
formulation 2	éprouvette 1	14,73	14,68	2 283,41	409,46	415,32	20,37	20,82
	éprouvette 2	14,83			410,00		20,89	
	éprouvette 3	14,49			426,51		21,21	
formulation 3	éprouvette 1	15,17	15,10	2 347,38	515,86	502,13	25,66	24,97
	éprouvette 2	15,12			469,12		23,33	
	éprouvette 3	15,00			521,41		25,93	

- ❖ L'ensemble des résultats mécaniques à la compression obtenue à 28 jours des trois formulations.

Tableau 30 : essais de compression à 28 jours

Compressions 28 jours		poids	poids moyennes	densité a l'état durci	force	forces moyennes	résistances	Résistances moyennes
formulation 1	éprouvette 1	15,01	14,96	2 326,44	629,44	592,52	31,31	29,47
	éprouvette 2	15,09			572,59		28,48	
	éprouvette 3	14,79			575,52		28,62	

PARTIE PRATIQUE

formulation 2	épreuve 1	14,97	14,85	2 308,50	532,99	529,85	26,51	26,37
	épreuve 2	14,83			528,99		26,31	
	épreuve 3	14,74			527,57		26,31	
formulation 3	épreuve 1	15,25	14,97	2 328,56	617,34	636,96	30,70	31,68
	épreuve 2	14,73			636,82		31,67	
	épreuve 3	14,95			656,73		32,66	

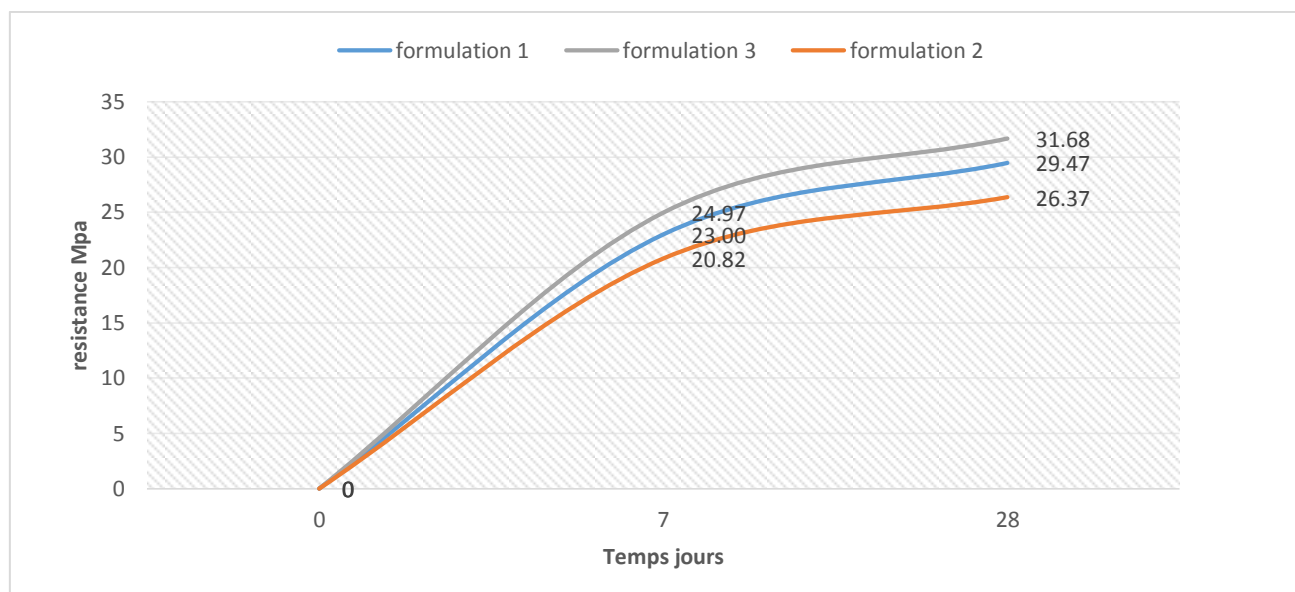


Figure 21 : courbe de résistance à la compression

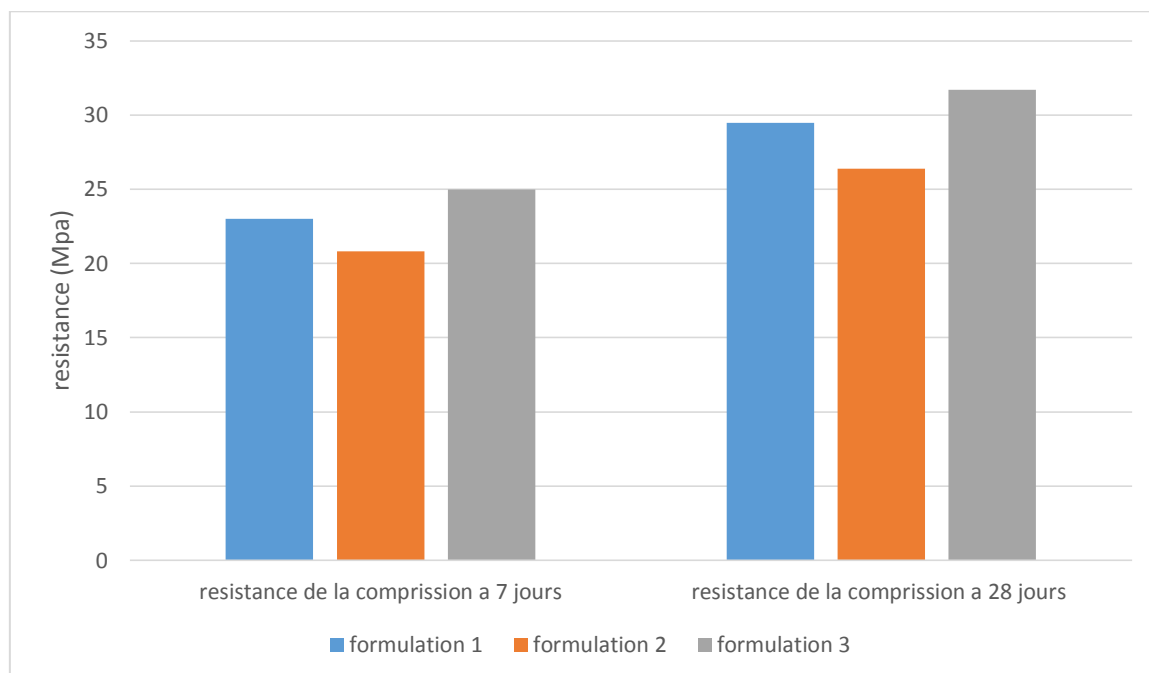


Figure 22 : histogramme de résistance a la compression.

➤ **Résistance à traction par flexion :**



Figure 23 : éprouvette soumise à la traction par flexion

- ❖ L'ensemble des résultats mécaniques à traction par flexion obtenue à 7 jours des trois formulations.

Tableau 31 : essais de résistance à traction par flexion à 7 jours

Flexion trois points 7 jours		Force KN	Force moyenne KN	Résistance Mpa	Résistance moyenne Mpa
formulation 1	prisme 1	4,36	4,54	4,00	4,17
	prisme 2	5,02		4,61	
	prisme 3	4,23		3,88	

PARTIE PRATIQUE

formulation 2	prisme 1	3,09	3,63	2,84	3,33
	prisme 2	4,15		3,81	
	prisme 3	3,65		3,35	
formulation 3	prisme 1	5,64	6,08	5,18	5,58
	prisme 2	7,15		6,57	
	prisme 3	5,45		5,01	

❖ L'ensemble des résultats mécaniques à traction par flexion obtenue à 28 jours des trois formulations.

Tableau 32 : essais de résistance à traction par flexion à 28 jours

Flexion trois points 28 jours		Force KN	Force moyenne KN	Résistance Mpa	Résistance moyenne Mpa
formulation 1	prisme 1	7,71	6,74	7,08	6,19
	prisme 2	6,91		6,35	
	prisme 3	5,60		5,14	
formulation 2	prisme 1	6,27	5,86	5,76	5,38
	prisme 2	6,43		5,91	
	prisme 3	4,88		4,48	
formulation 3	prisme 1	9,12	8,06	8,38	7,41
	prisme 2	7,95		7,30	
	prisme 3	7,12		6,54	

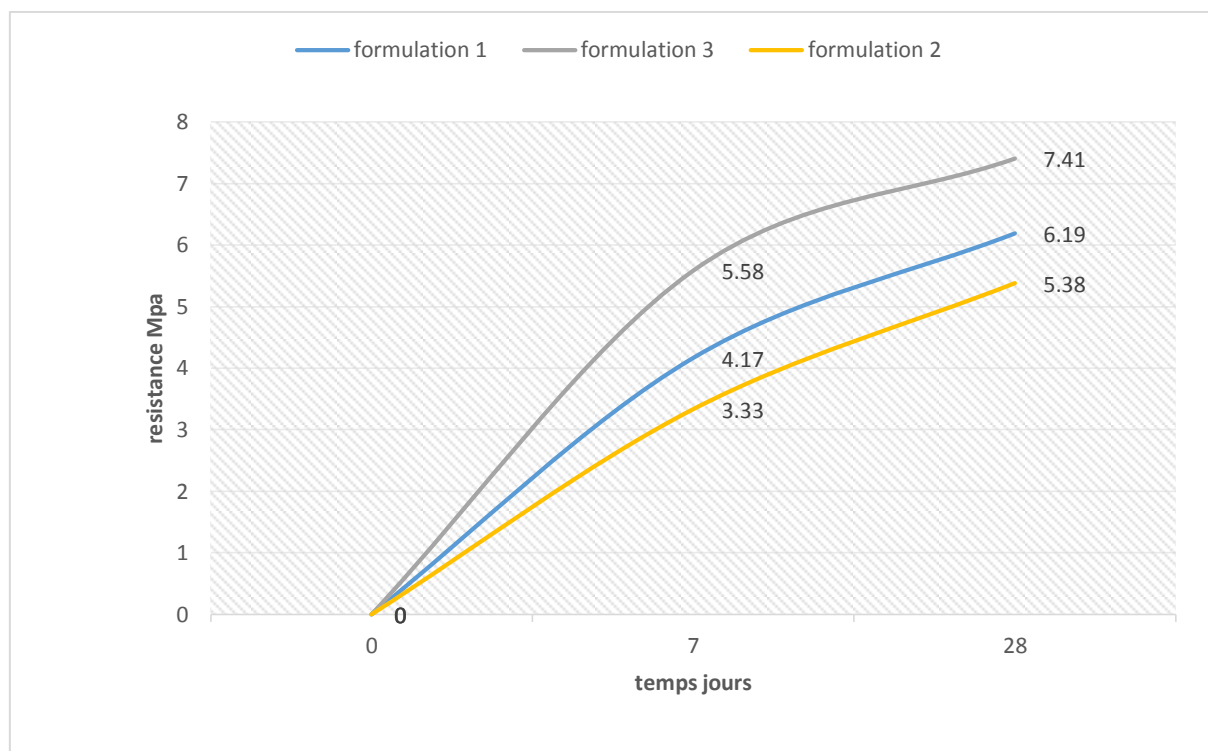


Figure 24 : courbes de résistance à la flexion

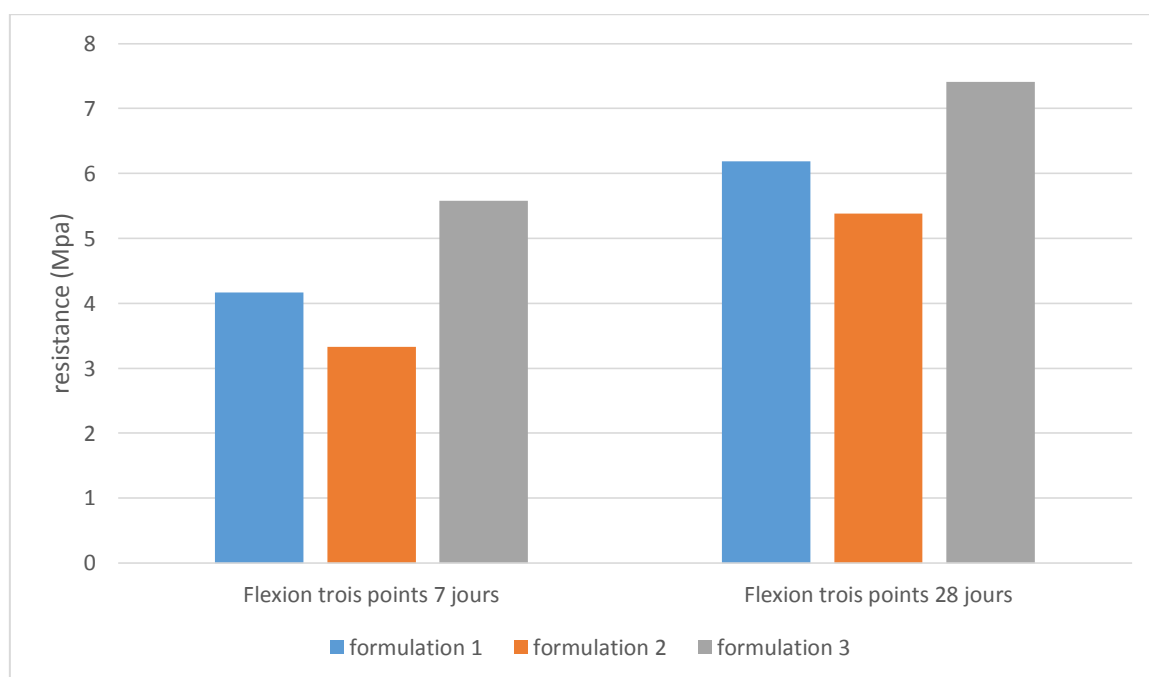


Figure 25 : histogramme de résistance à la flexion.

Interprétations des résultats obtenus :

Dans les trois formulations, l'augmentation du pourcentage des fines améliorent les résistances à la compression et la flexion.

II.5. Contrôle non destructif par ultrason :

Ces essais permettent de déterminer la vitesse de propagation d'ondes longitudinales à travers un élément en béton.

Pour déterminer la vitesse longitudinale, ont utilisé Appareil de test ultrasonique - Pundit Lab (PROCEQ)



Figure 26 : Etalonnage de l'appareil

L'appareil est muni de deux palpeurs de fréquence 54KHz destinés pour le contrôle du béton. Cet appareil nous indique le temps (T) de propagation des ondes à travers l'éprouvette de longueur (L) et donne la vitesse de propagation (V) selon l'équation suivante :

$$V = \frac{L}{T} \times 10^6$$

V : vitesse de propagation.

S : distance entre les têtes en mètre.

T : temps en microseconde.

Cette méthode consiste à presser les deux têtes sur les faces de l'éprouvette nettoyées, en utilisant une pâte de contact qui facilite la transition du son, Avant de commencer le contrôle de nos éprouvettes l'appareil PROCEQ doit être étalonné avec l'étalon montré ci-dessus.



Figure 27 : Essai non destructif ultrason

Tableau 33 : Vitesse de propagation du son des composite

Variante	Distance « mm »	Temps « μs »	Vitesse « m/s »
Formulation 1	280	66.2	4230
Formulation 2	280	68.5	4090
Formulation 3	280	62.0	4520

Les résultats de ce tableau sont représentés par l'histogramme suivant :

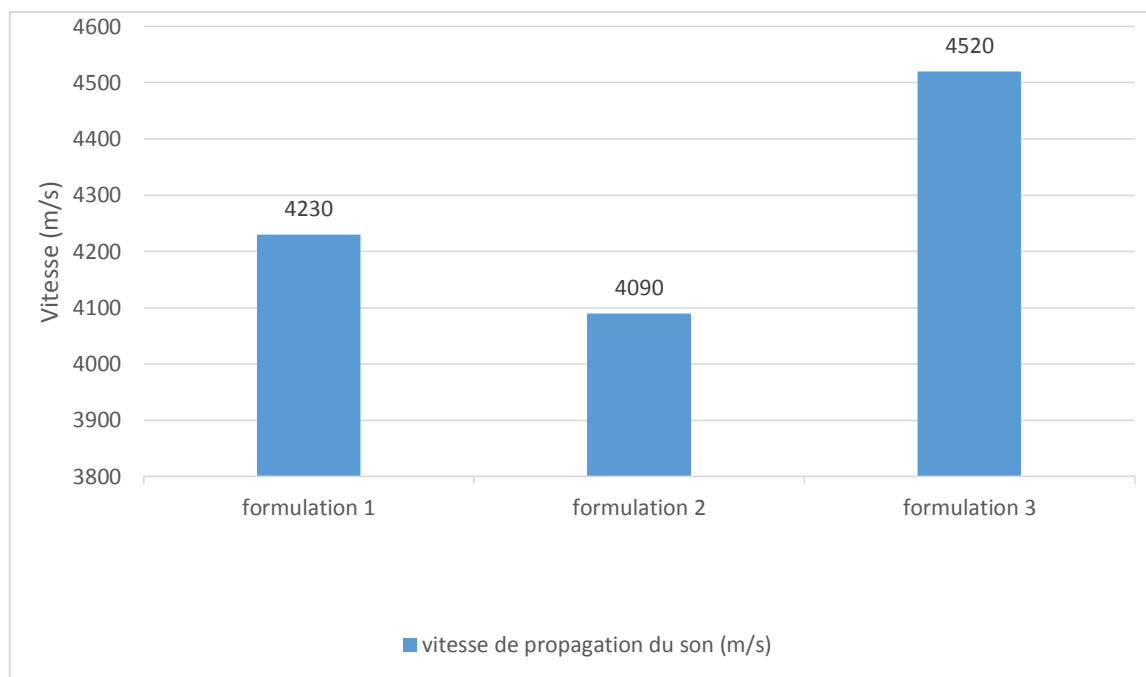


Figure 28 : Vitesse de propagation du son des composite étudiés à 28 jours.

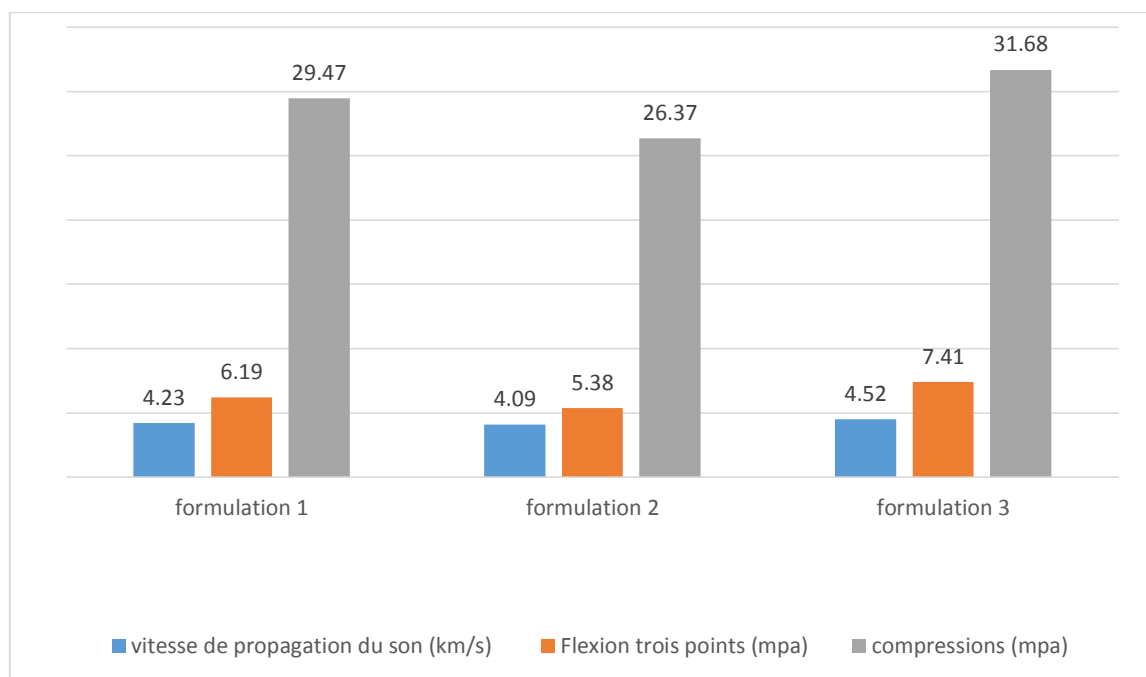


Figure 29 : histogramme de l'évaluation de flexion, compression et la vitesse de propagation du son.

Interprétation :

La figure illustre les résultats des vitesses de propagation du son à travers les trois formulations élaborées.

On remarque que la vitesse de propagation est supérieure à 4000m/s pour les trois formulations.

La vitesse de propagation dans la 3^{ème} formulation est plus grande que celles de la 1^{ère} et de la 2^{ème} formulation.

L'absence ou la diminution des fines augmente les pores et les vides dans le béton, ce qui influence négativement sur la vitesse de propagation, donc sur la qualité du béton.

Une élévation de la vitesse de propagation du son dans le béton, témoigne de la bonne qualité de ce béton.

Conclusion générale

La formulation du sable et la vitesse des ultrasons influent sur la résistance mécanique du béton.

En effet, l'augmentation des fines (formulation trois) améliore la résistance à la compression et à la flexion ; de même, la vitesse de propagation des ultrasons dans le béton est relativement élevée pour le béton qui contient le moins de vide, donc le plus compact.

Recommandations :

Nous recommandons la formulation suivante 50% grosses et 50% de fines pour l'obtention d'un béton avec une résistance à la compression de 31MPa.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] G. e. F. .. Dreux, Nouveau guide du béton et de ses constituants., EYROLLES, Huitième édition 1998 Troisième tirage 2007..
- [2] L. J. Vicat, Traité pratique et théorique de la composition des mortiers, ciments et gangues a pouzzolanes et de leur emploi dans toutes sortes de travaux.
- [3] J. M. Sganzin, Programme ou résumé des leçons d'un cours de constructions: avec des applications tirées spécialement de l'art de l'Ingénieur des ponts et chaussées.
- [4] R. Vittone, Bâtir : manuel de la construction, PPUR Presses polytechniques, 2010.
- [5] o. d. bibliothèque, pratiques actuelles pour la formulation des bétons (5/191), F.S.I.
- [6] LAFARGE, Documents de LAFARGE, France.
- [7] K. NASR-EDDINE, PROPRIETES ET PATHOLOGIE DU BETON, OPU, 1991.
- [8] KATTAB.R, valorisation de sable de dune. Thèse doctorat, Alger: ENP, 2007.
- [9] A. M. NEVILLE, PROPRIETES DES BETONS, Eyrolles , 2000.
- [10] A. KOMAR, MATERIAUX ET ELEMENTS DE CONSTRUCTION, éditions mir Moscou, 1989.
- [11] B. THAUVIN et M. MENGUY, Duide d'utilisation du béton en site maritime, centre d'étude techniques maritimes et fluvial.
- [12] Holcim, Guide pratique du béton: Concevoir et mettre en œuvre des bétons durables, Edition Suisse, 2015.