

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE M'HAMED BOUGARA DEBOUMERDES



Faculté des Sciences de l'Ingénieur
Département de Génie des Procédés

Mémoire

Présenté pour l'obtention du diplôme Master

Filière : Génie Civil

Option : Matériaux Génie Civil (MMGC)

THEME

**Influence du rapport G/S et le diamètre maximal des granulats
Dmax sur la qualité de béton ordinaire.**

Réalisé Par :

Haddadi Bilal

Saidi Mohamed

Devant le jury :

Sujet Proposé et suivi par :

Pr: Ghernouti. Y

REMERCIEMENT

Nous rendons grâce à dieu le tout puissant de nous avoir donnée le
Savoir et la volonté surtout la patience pour réaliser ce modeste
Travail

Nous exprimons nos sincères et profonds remerciements et reconnaissances à

Notre encadreur Pr. GHERNOUTI .Y

qui nous a aidé, conseillé et dirigé au

Cours de notre mémoire, ainsi que pour son apport moral et scientifique

Pendant l'accomplissement de ce travail.

Que tous ceux qui, de près ou de loin, ont contribué à notre formation,

Trouvent ici notre gratitude et nos remerciements.

Nous tenons à exprimer nos profonde gratitude et remerciements à

Tous les enseignants de département de Génie des procédés de

L'Université de Boumerdes.

A fin Nous adressons nos remerciements aux responsable et

L'ingénieure du laboratoire de contrôle de qualité Ben Brahim à Dellys

ZOHHEIR BENBRAHIM , Aili ABDRAHMAN

pour leurs aides à la bonne réalisation de la

Partie expérimentale de notre mémoire.



DEDICACES

Je Dédie en premier lieu ce modeste travail à ma mère et a mon père pour leur soutien tout le long de ma vie depuis ma naissance jusqu'à ce jour Je pris الله de les accorder une bonne santé.

Je Dédie ce travail aussi à mes frères et mes sœurs, à mes nièces et mes neveux et à toute ma famille, à tous mes amis(es) sans exception. Ils sont nombreux, je ne peux tous les citer mais je ne peux les oublier et toutes les ami(es) du groupe MMGC16.

BILAL HADDADI



DEDICACES

Je Dédie en premier lieu ce modeste travail à ma mère et mon père pour leurs soutien tout le long de ma vie depuis ma naissance jusqu'à ce jour Je pris الله de les accorder une bonne santé.

Je Dédie ce travail aussi à mon frère Abdelhak et mes sœurs et à toute ma famille, à tous mes amis (es) sans exception. Ils sont nombreux, je ne peux tous les citer mais je ne peux les oublier et toutes les ami(es) du groupe MMGC16.

Un hommage a mes chers amis M.Ouacher et M.Mazouzi "رحمهم الله"

MOHAMED SAIDI



Résumé :

L'objectif de ce travail vise à étudier l'influence des classes granulaires des agrégats, ainsi l'augmentation et diminution de rapport gravier sur sable (G/S) sur les propriétés à l'état frais et durci d'un béton ordinaire.

Quatre formulations sont réalisées avec un diamètre maximale des granulats $D_{max}=25\text{mm}$ et quatre sont réalisées avec $D_{max}=15\text{mm}$, donc huit formulations de béton ont été étudiées. Le dosage en eau et en ciment dans toutes les compositions de béton reste constant (Ciment 400 Kg/m^3 , E/C=0.5). Pour chaque diamètre, le rapport G/S varie de 1.4, 1.8, 2.2 et 2.6.

Les études sur les différentes caractéristiques de béton montrent que l'influence du diamètre maximale des granulats sur l'ouvrabilité est négligeable. La meilleure ouvrabilité est obtenue lorsque le rapport G/S=1,4.

Ces études montrent aussi que les compositions de béton réalisés avec les granulats de $D_{max}=15\text{mm}$, présente des valeurs de résistance mécanique à la compression légèrement supérieure comparativement avec celles obtenus par les granulats avec $D_{max}=25\text{mm}$. La meilleure résistance mécanique à la compression est obtenus avec les rapports G/S 1,8 et 2,2, elle est de l'ordre de 38 MPa, dans les bétons élaboré avec $D_{max}=25\text{mm}$ et 15 mm respectivement.

Sommaire

Introduction générale	15
Chapitre I : Généralité sur les bétons.	
I.1 introduction.....	16
I.2.Définition.....	16
I.2.1 différents types de béton	16
I .3. Constituants de béton	18
I .3.1 Le ciment.....	18
I.3.1.1 Définition.....	18
I.3.1.2 Fabrication du ciment	18
I.3.1.3 Différents types de ciment	19
I.3.2 Les Granulats	19
I.3.2.1 Intérêt des granulats dans le béton.....	19
I.3.2.2 Types des granulats	20
I.3.2.3 Classes granulaires	20
I.3.2.4 Caractéristiques des granulats	20
I.3.3 Eau de gâchage	24
I.3.4 Adjuvants et additifs	25
I.3.4.1 Adjuvant	25
I.3.4.2 Les additifs	25
I.4 Formulations du béton.....	26
I.4.1. Méthodes semi-empiriques.....	26
I.4.1.1 Méthode de Bolomey	26

I.4.1.2 Méthode de Faury.....	26
I.4.1.3 Méthode de Valette	27
I.4.2 Méthodes graphiques	27
I.4.2.1 Méthode Dreux-Gorisse	27
I.4.3 Les principes de formulation du béton	28
I.5 Principaux avantages et inconvénients du béton	28
I.5.1 Avantages du béton	28
I.5.2 Inconvénients du béton	29
I.6 Caractéristiques principales de béton.....	29
I.6.1 Caractéristiques a l'état frais	29
I.6.2 Caractéristiques du béton à l'état durci	33
I.7 Influence des caractéristiques des granulats sur les propriétés du béton	37
I.7.1 Influence de D max	37
I.7.2 Influence de rapport gravier sur sable (G/S)	37

Chapitre II : Caractérisation et formulation du béton

II.1 Introduction	42
II.2 Ciment	42
II.2.1 Composition.....	42
II.2.3 caractéristiques mécaniques	43
II.3 Les granulats.....	43
II.3.1 sable de dune (Oued Souf)	43
II.3.2 graviers.....	45
II.3.2.1 Gravier 3/8 de Sétif	45
II.3.2.2 Gravier 8/15 de Sétif	46
II.3.2.3 Gravier 15/25 de Sétif	47
II.4 L'eau de gâchage	47

II.5 Formulation des bétons	47
-----------------------------------	----

Chapitre III : Résultats et interprétations

III.1 Introduction	56
III .2 Confection des éprouvettes	56
III.3 Masse volumique à l'état frais et durci	57
III.4 Affaissement	59
III.5 Resistances mécaniques	61
III.5.1 Préparation et positionnement des éprouvettes	61
III.6 Ultrason	65
III.7 Scléromètre	67

Conclusion générale	69
----------------------------------	----

Partie Annexe	71
----------------------------	----

Bibliographies	78
-----------------------------	----

Liste des figures :

Figure I.1 : fabrication du ciment.....	18
Figure I.2 : types des granulats.....	20
Figure I.3 : appareil Micro Deval.....	22
Figure I.4 : appareil de los angles.....	23
Figure I.5: Essai d'équivalent de sable.....	23
Figure I.6: effets de rapport E/C.....	24
Figure I.7: teste d'affaissement.....	30
Figure I.8: Béton ferme et béton plastique.....	30
Figure I.9 : Mesure de la consistance (Essai vébé).....	31
Figure I.10: Mesure de l'affaissement sur table.....	31
Figure I.11: Relation l'affaissement et l'étalement au cône.....	32
Figure I.12 : Résistance à la compression R_c du béton en fonction du rapport (E/C).....	33
figure I.13 : essai de compression.....	34
Figure I.14: Différents essais sur les résistances d'un béton en traction.....	35
Figure I.15 : appareil d'essai de scléromètre.....	35
Figure I.16 : appareil d'essai ultrasonique	35
Figure I.17 : Influence de la dimension de granulat sur le retrait.....	39
Figure I.18: Exemple de variation de la résistance en compression à 28 jours En fonction de G/S et pour trois plasticités différentes. Béton à 350 kg de ciment par mètre cube- granularité continue D=25mm.....	40
Figure II.1 : courbe granulométrique de la formulation I.....	50
Figure II.2 : courbe granulométrique de la formulation II.....	53
Figure III.1 : malaxeur de béton.....	56
Figure III.2 : confection des éprouvettes.....	57

Figure III.3: conservation des éprouvettes dans la chambre humide.....	57
Figure III.4 : Masse volumique à l'état frais et à l'état durci.....	58
Figure III.5 : essai d'affaissement au cône d'abrams.....	59
Figure III.6 : l'évolution de l'affaissement des bétons élaborés.....	60
Figure III. 7 : essai de compression.....	61
Figure III.8 : Essai de traction par flexion.....	62
Figure III.9: résistance à la compression à 7jours et 28 jours des différents bétons.....	63
Figure III.10: résistance à la flexion à 7jours et 28 jours des différents bétons.....	63
Figure III.11: pourcentage de développement de la résistance mécanique a la compression de 7j jusqu'à 28j.....	64
Figure III.12 : essai ultrasonique sur une éprouvette.....	65
Figure III.13 : essai de scléromètre sur une éprouvette.....	67

Liste des tableaux

Tableau I.1: ordre de grandeur des proportions.....	13
Tableau I.2 : valeurs préconisées pour l'équivalent de sable par Dreux.....	24
Tableau I.3: Appréciation de la consistance en fonction de l'affaissement au cône.....	30
Tableau I.4: classe de consistance vété. De V0 à V4. De ferme à fluide.....	30
Tableau I.5 : Les valeurs d'étalement à la table.....	32
Tableau I.6: qualité du béton en fonction de la vitesse de propagation des impulsions.....	36
Tableau I.7 : Récapitulation des principales qualités des bétons en fonction de leur G/S et de leur granularité continue ou discontinue.....	40
Tableau II.1 : caractéristique de ciment.....	42
Tableau II.2 : les caractéristiques mécaniques du ciment.....	43
Tableau II.3 : caractéristiques physiques.....	43
Tableau II.4 : analyse granulométrique par tamisage du sable.....	44
Tableau II.5: caractéristiques physiques.....	45
Tableau II.6: analyse granulométrique par tamisage du G 3/8.....	45
Tableau II.7 : caractéristiques physiques.....	46
Tableau II.8: analyse granulométrique par tamisage.....	46
Tableau II.9: caractéristiques physiques.....	47
Tableau II.10 : analyse granulométrique par tamisage du G 15/25.....	47
Tableau II.11 : composition d'un mètre cube de béton.....	51
Tableau II.12: composition des bétons testés pour 1m^3	51
Tableau II.13: composition d'un mètre cube de béton.....	54
Tableau II.14: composition des bétons testés pour 1m^3	54
Tableau III.1: masse volumique à l'état frais et à l'état durci.....	58
Tableau III.2: variation de l'affaissement des différents bétons.....	59
Tableau III.3: résultats des essais mécanique des différents bétons.....	62

Tableau III.4: Développement de la résistance mécanique à la compression de 7j jusqu'à 28j.....	63
Tableau III.5: vitesse de propagation des ondes ultrasons dans les bétons.....	66
Tableau III.6 : indice de rebondissement et Rm avec scléromètre.....	68

Présentation de l'entreprise:



مخبر مراقبة نوعية مواد البناء والخرسانة بن براهيم

LABORATOIRE DE CONTROLE DE QUALITE DES MATERIAUX DE CONSTRUCTION ET BETONS

LABCQBB est une société de forme juridique E.U.R.L, spécialisée dans le contrôle laboratoire dans les domaines suivants:

CONTROLE SUR BETON FRAIS :

- Prélèvement sur béton frais.
- Essai d'affaissement (cône d'Abrams).
- Masse volumique du béton frais (pot à densité).

CONTROLE SUR BETON DURCI :

- Confection et conservation des éprouvettes pour les essais de résistance.
- Résistance à la compression des éprouvettes.
- Masse volumique du béton.

ESSAIS DE CONTROLES DES STRUCTURES :

(Auscultation sclérométrique, Auscultation Ultrasonique, carottages in situ, ...)

- Essai de béton dans les structures, carottages avec examen et essai en compression.
- Essai non destructifs, détermination de l'indice de rebondissement.

LAB C Q B assure des prestations **d'expertise** sur tout type d'ouvrages.

CONTROLE DE PRODUCTION D'UN FABRIQUANT DE BPE :

Ce contrôle peut inclure le suivi technique, la formulation, l'assistance à la mise en place.

ESSAIS SUR SOLS :

- Analyse granulométrique par tamisage d'un sol
- Valeur au Bleu de méthylène d'un sol .
- Indice de plasticité et limite d'Atterberg .
- Détermination des références de compactage - Optimum Proctor Normal ou Modifié.
- Contrôle de portance des remblais ou couches de forme : « Essais à la plaque »

ESSAIS PRODUIS ROUTIERS:

- Essai d'extraction bitumen (Kumagawwa)
- Densité d'enrobé
- Epaisseur

LABCQBB investit dans l'acquisition de matériels et d'équipements de dernières technologies qui permettent de procéder à des essais qualitatifs et qui répondent aux normes en vigueur que ce soit dans le domaine des essais sur béton et sol.



Introduction générale

Introduction générale

Le béton est composé d'un mélange de deux constituants essentiels : les granulats et la pâte. Les granulats se composent de sable et de gravier ou de pierre concassé, la pâte se compose de liant (ciment portland avec ou sans ajouts cimentaires), d'eau et d'air. La pâte agissent comme une colle, durcit et forme une masse qui de fait de la réaction chimique du ciment avec l'eau (hydratation), prend la consistance d'une roche, pour former ce qu'on appelle le béton. Les granulats sont généralement devisés en deux catégories : les fines et les grosses. Les granulats fins sont des sables naturels ou manufacturés dont la taille peut atteindre 5mm. Les gros granulats sont constitués de particules retenues sur le tamis de 5mm et pouvant aller jusqu'à 150mm. La taille maximum du gros granulat le plus couramment utilisée est de 25mm. La pâte se compose habituellement de liants, d'eau et d'air emprisonné ou entraîné intentionnellement. Elle constitue environ 25% à 40% du volume total du béton.

Comme les granulats représentent à peu près 60% à 75% du volume total, leur sélection joue un rôle important. Composés de particules suffisamment fortes et résistantes vis-à-vis des conditions auxquelles elles seront exposées, elles ne doivent pas contenir de matières susceptibles causées la détérioration du béton. Une granulométrie contenue est souhaitable pour l'utilisation efficace de la pâte.

Etant donné que la qualité du béton dépend des granulats et de la pâte qui les unit, nous nous proposons dans ce travail d'étudier l'influence de D_{max} ainsi que l'augmentation et la diminution du rapport gravier sur sable sur les propriétés de béton à l'état frais et durci. Pour cela nous avons divisé notre travail en trois chapitres :

Le premier chapitre de ce mémoire est consacré à une étude bibliographique sur le béton, les différents type de béton, les différentes méthodes de formulation, méthodes de caractérisations du béton, la caractérisation des constituants du béton (ciment, agrégats, sable, eau et adjuvants) ainsi que l'influence du rapport gravier sur sable et le D_{max} des granulats sur ces propriétés.

Le deuxième chapitre est consacré à la caractérisation de tous les matériaux utilisés pour la formulation des bétons étudiés

Le troisième chapitre traite les résultats obtenus et leurs interprétations

Ce mémoire se termine par une conclusion générale.

Chapitre I :

Généralité sur les

bétons

Chapitre I : généralité sur les bétons

I.1 Introduction :

Le béton ordinaire est un terme générique qui désigne un matériau de construction composite constitué d'un mélange de granulats (sable, gravillons) agglomérés par un liant. Le liant peut être « hydraulique » car il fait prise par hydratation, il est appelé ciment.

I.2.Définition :

Le béton se compose de granulats (sables, graviers, cailloux) 'collés' entre eux par un liant hydraulique: le ciment. Lorsque le ciment se trouve en présence d'eau, il fait prise, puis durcit progressivement. Un béton hydraulique est constitué :

- d'une pate pure de ciment.
- d'un mélange granulaire.
- de produits additionnels (adjuvants, additions minérales, ...).

On désigne habituellement sous le vocable :

- de matrice ou de mortier : le mélange (liant + eau + sable).
- de squelette solide ou de squelette granulaire : le mélange des granulats.[1]

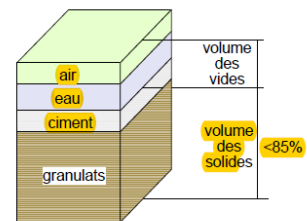


Tableau I.1: Ordre de grandeur des proportions [1]

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

I.2.1 différents types de béton :

- **Béton ordinaire :**

Mélange homogène composé exclusivement du constituant de base : ciment, granulats, eau, avec un rapport E/C qui varie en fonction de la plasticité ainsi que la résistance désirée .Le béton ordinaire est caractérisé par sa résistance à la compression à 28 jours qui se situe entre 20 et 50 MPa. [2]

- **Béton auto plaçant (BAP) :**

Développé dans les années 80 par des chercheurs de l'université de Tokyo, au Japon, le béton auto plaçant est un béton fluide, très déformable, homogène et stable qui se met en place par gravitation et sans l'utilisation d'un moyen de vibration.

Chapitre I : généralité sur les bétons

Il épouse parfaitement les formes des coffrages les plus complexes ; il ne doit pas subir de ségrégation et doit présenter des qualités comparables à celles d'un béton vibré classique. Il se caractérise en général par une formulation contenant au moins un adjuvant chimique et un ajout minéral en proportions bien précises pour satisfaire les exigences en matière de maniabilité et de stabilité.

- **Béton de haute performance (BHP) :**

C'est un béton aux résistances mécanique élevées à jeune âge et a 28 jours (supérieure 50 MPa), et un rapport E/C inférieur a 0.40. Sa propriété essentielle est la grande résistance en compression qui dépasse largement celles des bétons ordinaires. Ceci est obtenu grâce à sa faible porosité qui diminuée en réduisant la quantité d'eau de gâchage par l'emploi d'un adjuvant plastifiant et super plastifiant. [3]

- **Bétons de fibre :**

C'est un béton dans lequel sont incorporées des fibres synthétiques ou naturelles, ce qui permet suivant l'ouvrage, de supprimer le treillis soudés traditionnel. Parmi les caractéristiques du béton fibré, on peut citer : la résistance à la traction, a la fissuration et au choc.[4]

- **Bétons léger :**

La norme NF EN 206-1 définit le béton léger comme ayant une masse volumique après séchage entre 800 et 2100 kg/m³. Parmi ces bétons en peut citer les bétons de granulats légers. Ils sont utilisés dans le domaine du confort thermique d'une habitation (isolation thermique) et même comme élément porteur de charge qui permet d'alléger ma construction.

- **Béton lourd :**

C'est un béton dont la masse volumique apparente est supérieur a 2600 kg/m³ ; les résistances mécaniques du béton lourd sont comparables a celles des béton classiques et même plus élevées, compte tenu des faibles dosages en eau. [5]

- **Béton réfractaire :**

C'est un béton a des températures élevées pouvant atteindre 1300C°, il est obtenu par le mélange de ciment alumineux et des granulats réfractaire (chamottes, corindon), ou granulats

Chapitre I : généralité sur les bétons

isolants (pouzzolane, vermiculite, argile expansée) ; le béton réfractaire sert à la construction de cheminées et de sols d'usines sidérurgiques.

I.3. Constituants de béton :

I.3.1 Le ciment :

I.3.1.1 Définition :

Le ciment est un liant hydraulique : la réaction chimique entre la poudre de ciment et l'eau produit un minéral artificiel insoluble. 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. La majorité des propriétés du béton sont liées à la nature du ciment et à sa composition : rhéologie, résistance mécanique, résistance aux agressions chimiques, durabilité, aspect [6]

I.3.1.2 Fabrication du ciment :

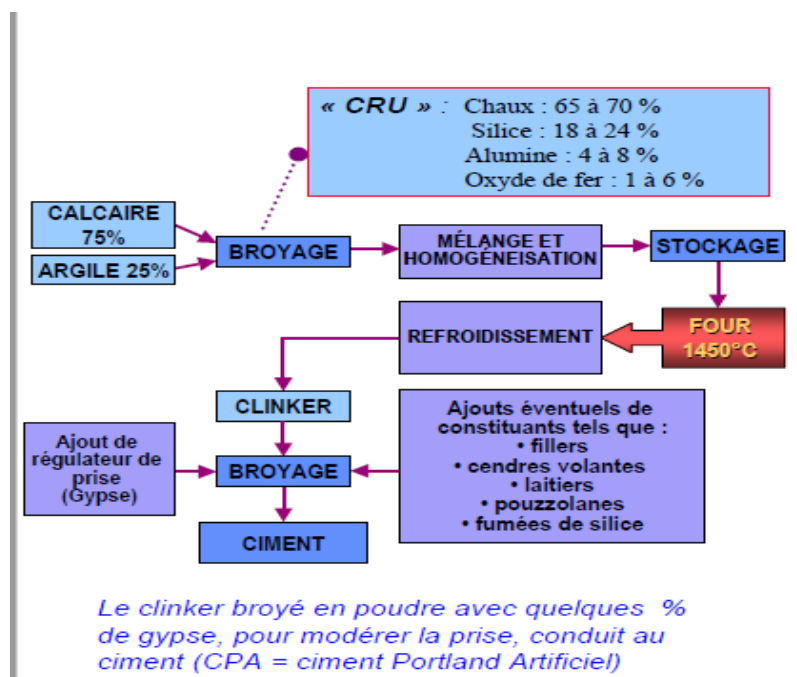


Figure I.1 : Fabrication du ciment. [6]

A l'issue de la cuisson, nous obtenons 4 phases cristallines :

- 45 à 65 % de silicate tricalcique (Alite) C_3S
- 15 à 25 % de silicate bi calcique (Bélite) C_2S
- 0 à 10% d'alumino-ferrite tétra calcique C_4AF
- 0 à 15 % d'aluminate tricalcique C_3A

Chapitre I : généralité sur les bétons

Résumé chimique et notation cimentière :

- Silice SiO_2 **S**
- Chaux..... CaO**C**
- Alumine..... Al_2O_3**A**
- Oxyde de Fer..... Fe_2O_3**F**

I.3.1.3 Différents types de ciment :

Il est admis que les ciments sont différents entre eux par leurs propriétés et leurs performances, on obtient cette différence à partir des constituants ajoutés avant le gypse au cours de leurs fabrication. Les ciments sont regroupés en cinq principaux types à savoir :

CEM I : ciment portland.

CEM II : ciment portland composé.

CEM III : ciment de haut fourneau.

CEM IV : ciment pouzzolanique.

CEM V : ciment aux laitiers et aux cendres.

I.3.2 Les Granulats :

Les granulats constituent le squelette du béton et ils représentent, environ 80 % du poids total du béton. Ils sont constitués de Sables (Gros et Fin) et de gravier. Cependant, les granulats doivent satisfaire à certaines exigences de qualité pour qu'ils soient utilisés dans le béton.

I.3.2.1 Intérêt des granulats dans le béton :

- **Intérêt économique** : Diminution de la quantité de liant (ciment et addition).
- **Intérêt technique** : Limitent les variations dimensionnelles dans le béton (les granulats sont plus rigides que la pâte de ciment).

I.3.2.2 Types des granulats :

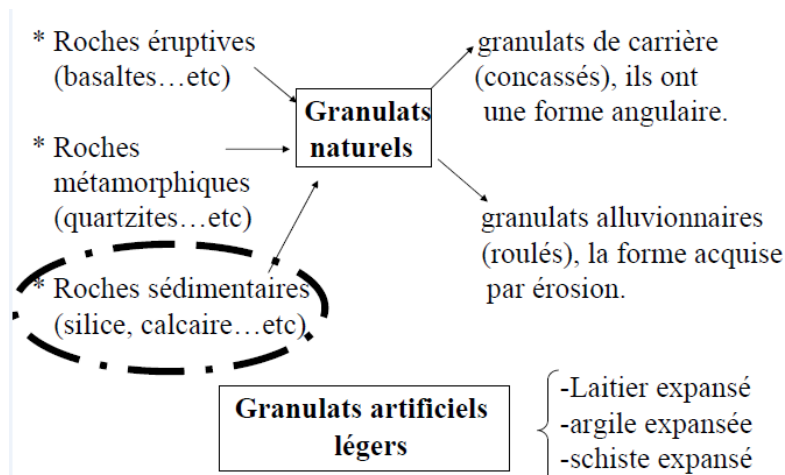


Figure I.2 : Types des granulats.[7]

I.3.2.3 Classes granulaires :

Un granulat est caractérisé par sa classe d/D ; d et D étant respectivement la plus petite et la plus grande dimension des grains.

La norme NFP18 101 indique la terminologie des granulats selon leurs dimensions:

- * Fines (fillers): ≤ 0.08 mm.
- * Sables: $d < 1$ mm et $0.08 < D < 6.3$ mm.
- * Gravillons: $d \geq 1$ mm et $D < 31.5$ mm.
- * Cailloux: $d \geq 20$ mm et $D < 80$ mm.
- * Graves: 6.3 mm $< D < 80$ mm.

I.3.2.4 Caractéristiques des granulats :

a) Caractéristiques géométriques :

• Désignation des granulats :

Les granulats sont souvent désignés en fonction de leur plus petite et de leur plus grande dimension, Granulats d/D d'où :

Granulats : sable ou gravier

d : dimension minimale des grains.

D : dimension maximale des grains.

• Analyse granulométrique d'un granulat :

L'analyse granulométrique consiste à déterminer la distribution dimensionnelle des grains constituant un granulat dont les dimensions sont comprises entre **0,063** et **125 mm**.

Chapitre I : généralité sur les bétons

La courbe granulométrique et la représentation graphique du % tamisât en fonction de la dimension de la maille de tamis. Afin de prendre en compte la grande variation des dimensions des grains dans les granulats, la dimension de la maille de tamis est représentée sur une échelle logarithmique.

- **Forme des granulats :**

La forme d'un granulat est définie par 3 dimensions principales :

- Longueur (L) : le plus grand écartement d'un couple de plan tangents parallèles ;
- Epaisseur (E) : le plus petit écartement d'un couple de plan tangents parallèles ;
- Grosseur (G) : dimension de la maille carré minimale à travers la quelle passe l'élément.

- **Coefficient d'aplatissement A :**

C'est le pourcentage d'éléments tels que:

$$G / E > 1.58$$

Où **G**: est la plus grande dimension des granulats.

E: est l'épaisseur.

- **Coefficient de forme.**

C'est le rapport du volume v du grain au volume $V = p \times N^3/6$ de la sphère de diamètre N :

$$F = v / V = v / (p \cdot N^3/6)$$

- **Module de finesse (sable) :**

Le module de finesse de sable est défini dans la norme comme la somme des % cumulatifs retenus sur une série de tamis normalisés donnée, divisé par 100.

Il indique la finesse d'un sable :

Plus le module de finesse est élevé, plus le sable est grossier

$$Mf = \frac{\sum \text{réfús cumulée (0.16 - 0.315 - 0.63 - 1.25 - 2.5 - 5)}}{100}$$

B = trop fin module de finesse entre 1.8 à 2.2 (augmentation de dosage en eau alors la mise en œuvre facile et la résistance des bétons chute).

A= préférentiel module de finesse de 2.2 à 2.8 (mise en œuvre facile et la résistance élevée).

Chapitre I : généralité sur les bétons

C= trop grossier module de finesse de 2.8 à 3.2 (manque d'ouvrabilité donc la mise en œuvre est difficile, une bonne résistance mécanique et risque de ségrégation limitent).

- **Masse volumique apparente :**

C'est la masse des granulats occupent l'unité de volume, tous vides inclus. On la détermine en calculant le quotient.

$$M_v \text{ app} = \frac{M}{v} (\text{kg/m}^3)$$

- **Masse volumique absolue :**

C'est la masse par unité de volume de la matière qui constitue le granulat, sans tenir compte des vides pouvant exister dans ou entre les grains.

Cette essai a pour but de permettre de connaître la masse d'une fraction granulaire lorsque par exemple on élabore une composition du béton.

$$M_v \text{ abs} = \frac{M}{V_{\text{abs}}} (\text{kg/m}^3)$$

b) Caractéristique physique et mécanique:

- **Résistance à l'usure des gravillons :**

La résistance à l'usure des granulats est déterminée par l'essai Micro-Deval. Cette essai permet de déterminer la résistance à l'usure d'un échantillon de granulat par attrition. Le coefficient Micro-Deval obtenu est le pourcentage de l'échantillon initial passant au tamis de 1.6 mm après usure par rotation dans un cylindre en présence de bille d'acier inox et d'eau. Plus le pourcentage d'usure est bas, plus l'échantillon est résistant à l'usure.



Figure I.3 : Appareil Micro Deval.

- **Résistance à la fragmentation des gravillons :**

La résistance à la fragmentation est déterminée par le coefficient Los Angeles. L'essai consiste à mesurer l'usure des granulats produits par frottement mutuel dans un cylindre en rotation.

Chapitre I : généralité sur les bétons

Un échantillon de gravier est soumis aux chocs des boulets normalisés dans la machine de Los Angeles.

- pour le gravier 15/25 en prend 12 boules.
- pour le gravier 8/15 en prend 11 boules.
- pour le gravier 3/8 en prend 7 boules.

(La masse de la boule est entre 420g et 445g et son diamètre est 47 ± 1 mm).



Figure I.4 : Appareil de los angles

- **Propreté des granulats (Essai d'équivalent de sable):**

Cet essai consiste à séparer les particules fines contenues dans le sol des éléments sableux plus grossier. Une procédure normalisée permet de déterminer un coefficient d'équivalent de sable qui quantifie la netteté de celui-ci. En effet la présence d'élément fins diminue l'adhérence liant / granulat.



Figure I.5: Essai d'équivalent de sable.

L'essai est effectué sur la fraction 0/5 mm du sable à étudier. On lave l'échantillon, selon un processus normalisé, et on laisse reposer le tout. Au bout de 20 minutes, on mesure les éléments suivants :

Chapitre I : généralité sur les bétons

- hauteur h1 : sable propre + éléments fins,
- hauteur h2 : sable propre seulement.

On en déduit l'équivalent de sable qui, par convention est L'essai dit d'équivalent de sable - permet de déterminer le degré de propreté du sable :

$$ES = \frac{h_1}{h_2} 100$$

Selon que la hauteur h2 est mesurée visuellement ou à l'aide d'un piston, on détermine ESV (équivalent de sable visuel) ou ES (équivalent de sable au piston).

Tableau I.2 : Valeurs préconisées pour l'équivalent de sable par Dreux.

ESV	ES (piston)	Qualité de sable
<65	<60	Sable argileux, risque de retrait
65<ESV <75	60<ES<70	Sable légèrement argileuse propreté admissible
75<ESV<85	70<ES<80	Sable propre dont le % d'éléments fins est faible ⇒ bonne qualité de béton
ESV>85	ES>80	Sable très propre ⇒ défaut de plasticité

I.3.3 Eau de gâchage :

Le "gâchage" est l'opération irréversible d'ajout de l'eau au ciment. Cette opération se poursuit par le malaxage. L'eau de gâchage est la quantité totale d'eau que l'on utilise pour faire le béton.

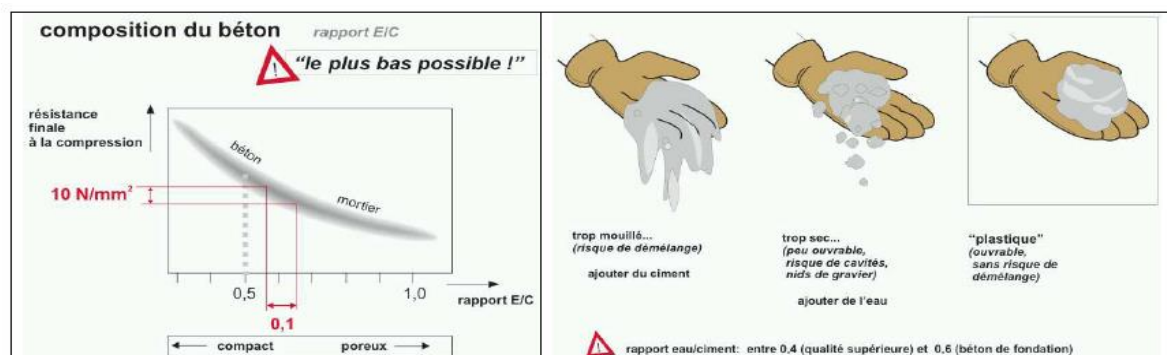


Figure I.6: Effets de rapport E/C.[8]

Chapitre I : généralité sur les bétons

La résistance finale d'un béton dépend du rapport E/C (masse d'eau / masse de ciment) du mélange. Le rapport E/C d'un béton courant varie entre 0.4 (qualité supérieure) et 0.6 (béton de fondation).

En général toutes les eaux conviennent si elles ne contiennent pas d'éléments nocifs qui influenceraient défavorablement le durcissement (matières organiques telles que huiles, graisses, sucres...) ou la corrosion des armatures (acides humiques, eaux de mer...).

L'eau potable du réseau de distribution convient très bien mais l'eau puisée en eau courante ou dans la nappe phréatique peut en général convenir.

I.3.4 Adjuvants et additifs :

I.3.4.1 Adjuvant :

On appelle adjuvant, tout ingrédient autre que le ciment, les granulats et l'eau, que l'on ajoute au mélange. Les adjuvants de béton sont des produits chimiques solubles dans l'eau qui modifient principalement:

- les solubilités
- les vitesses de dissolution
- l'hydratation des divers constituants d'un liant hydraulique

Ce sont des produits superficiels, minéraux ou organiques à l'état de poudre ou liquide dont l'incorporation à faibles doses (inférieures à 5% de la masse de ciment) aux bétons, mortiers ou coulis lors de malaxage ou avant la mise en œuvre, (D'après la norme **NF EN 934-2**), afin de modifier les propriétés du béton (mortier) pour but d'obtenir les caractéristique souhaité que ça soit à l'état frais ou durcis.

I.3.4.2 Les additifs :

Sont des matériaux en fines particules qui peuvent être ajoutés en quantités limitées pour influencer certaines propriétés ou obtenir des propriétés particulières. Ils sont à prendre en compte dans la composition volumétrique. On peut distinguer les additifs à caractère hydraulique latent (ex: cendres volantes,...) qui renforcent le pouvoir de liaison ciment et les additifs neutres (ex : poudres colorantes,...). Ces additifs doivent bien sûr être sans danger pour le béton. [9]

I.4 Formulations du béton :

L'étude de la composition d'un béton consiste à définir le mélange optimal des différents composants (granulat, eau, ciment) afin de réaliser un béton dans les qualités soient celles rechercher (résistance, consistance).

De nos jours, il existe deux méthodes pour déterminer une formulation du béton

I.4.1. Méthodes semi-empiriques :

I.4.1.1 Méthode de Bolomey :

Par une formule appropriée on trace une courbe granulométrique de référence et l'on s'efforce de réaliser avec les granulats dont on dispose une composition granulaire totale (ciment compris) dont la courbe granulométrique soit aussi proche que possible de la courbe de référence théorique. La formule de base est la suivante :

$$P = A + (100 - A) \sqrt{d/D}$$

P : est le pourcentage de grains passant à la passoire de diamètre d

D : est le diamètre du plus gros granulat

A : coefficient varie entre 8 et 16 en fonction du dosage en ciment, sa valeur étant d'autant plus élevée que le dosage en ciment est plus fort.

Cette méthode aboutit, théoriquement tout au moins, à une granularité continue. [8]

I.4.1.2 Méthode de Faury :

Faury proposa une nouvelle loi de granulation de type continu, il s'est inspiré pour cela de la théorie de Caquot relative à la compacité d'un granulat de dimension uniforme correspondant à un serrage moyen. La loi de granulation qui en découle est une loi fonction de $5\sqrt{d}$. La courbe granulométrique idéale conduisant à la compacité maximale est alors théoriquement une droite ; cependant Faury a distingué les grains fins et moyens ($D/2$) et la pente de la droite n'est pas la même pour chacune de ces deux catégories.

On trace pour l'ensemble du mélange, ciment compris une courbe granulométrique de référence qui est composée de deux droites si l'on opère sur un graphique gradué, en abscisse, en $5\sqrt{Y}$ l'abscisse du point de rencontre de ces deux droites est fixé à $D/2$ et son ordonnée Y est donnée par une formule tenant compte de la grosseur D du granulat et comportant certains paramètres dont la valeur est une valeur tabulée en fonction de types des granulats (roulés ou concassés) et de la puissance du serrage (simple piquage ou vibration plus ou moins intense). Y, se calcule par la formule suivante : [11]

$$Y = A + 17\sqrt{D5} + BRD - 0.75$$

A : valeur tabulée.

B : varie de 1 à 2 selon que le béton ferme ou mou.

D : est exprimé en dimension de passoire.

R : est le rayon moyen du moule.

I.4.1.3 Méthode de Valette :

Valette a mis au point une méthode essentiellement expérimentale mais qui nécessite cependant un certain nombre de calculs préparatoires.

Cette méthode est souvent désignée par « dosage des bétons à compacité maximale » ou « dosage des bétons à minimum de sable » ou « dosage des bétons à granularité discontinue ».

La méthode Valette proprement dite est quelquefois utilisée avec certaines variantes. Dans les cas les plus courants on parlera en général d'un béton binaire: un sable et un gravier présentant le plus souvent une certaine discontinuité (par exemple : sable 0/5 et gravier 16/25). On calcule d'abord le dosage de sable et de ciment devant donner en principe le mortier plein avec un minimum de ciment ; ce dosage s'obtient en mesurant les vides du sable mouillé et en calculant le dosage en ciment permettant de remplir le volume des vides du sable par un volume égal de pâte pure de ciment.

On ajoute en suite le maximum de gravier mouillé compatible avec une ouvrabilité permettant un moulage correct et une mise en œuvre facile dans les conditions du chantier.

On obtient alors le béton plein à minimum de sable et le moins dosé en ciment. **[10]**

I.4.2 Méthodes graphiques :

I.4.2.1 Méthode Dreux-Gorisse :

C'est une méthode pratique qui simplifie et rend la formulation du béton plus pragmatique. Elle consiste à rechercher conjointement la résistance à la compression et l'ouvrabilité désirée à partir des données de base essentielles pour la formulation du béton telles que la dimension des granulats(D).

La méthode de formulation de Dreux-Gorisse permet de déterminer les quantités optimales de matériaux (eau E, ciment C, sable S, gravillon g et gravier G) nécessaires à la confection d'un mètre cube de béton conformément au cahier des charges.

Plusieurs étapes de calcul successives sont nécessaires à l'obtention de la formulation théorique de béton.

Il faut déterminer au préalable le rapport C/E, C et E, le mélange optimal à minimum de vides, la compacité du béton et les masses des granulats. **[11]**

I.4.3 Principes de formulation du béton :

La formulation de la majorité des bétons est généralement établie pour atteindre les objectifs suivants :

- La stabilité et la résistance mécanique
- La résistance aux contraintes externes.
- L'hygiène, la santé et l'environnement.
- La sécurité en cas d'incendie.
- La protection contre le bruit (isolation acoustique).
- L'économie d'énergie et l'isolation thermique.

I.5 Principaux avantages et inconvénients du béton :

I.5.1 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 de 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 de 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

I.5.2 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 quelques 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 béton 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.

I.6 Caractéristiques principales de béton:

Les principales caractéristiques des bétons sont les propriétés à l'état frais et durci. [1]

I.6.1 Caractéristiques a l'état frais :

- **Masse volumique du béton à l'état frais :**

La détermination de la masse volumique, selon AFNOR A23, 2-6C, permet d'effectuer une correction éventuelle du mélange réalisé à partir des pesées respectives des matériaux utilisées lors du malaxage. Peser 3 moules avant et après leur remplissage pour déterminer la masse volumique de béton à l'état frais.

- **Ouvrabilité:**

L'ouvrabilité caractérise l'aptitude d'un béton (frais) à remplir les coffrages, et à enrober convenablement les armatures. Elle représente aussi la consistance du béton frais. Donc le béton doit être maniable et conserve son homogénéité pendant la mise en œuvre.

Il existe de nombreux essais et tests permettant la mesure de l'ouvrabilité. On citera quelques-uns qui sont les plus couramment utilisés dans la pratique.

- a) Affaissement au cône d'Abrams :**

Cet essai, consiste à mesurer la hauteur d'affaissement d'un volume tronconique du béton frais. L'essai au cône d'abrams est simple à réaliser et nécessite un cône et une tige (voir **figure I.7**). Le moule tronconique sans fond est de 30 cm de haut, de 20 cm de diamètre en sa partie inférieure et de 10 cm de diamètre en sa partie supérieure.

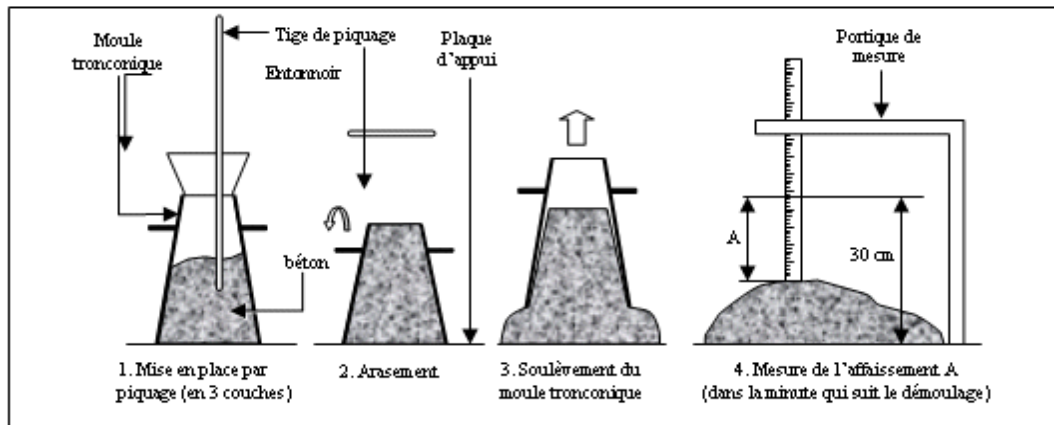


Figure I.7: Teste d'affaissement [1]

L'essai d'affaissement au cône caractérise bien la consistance d'un béton ce qui permet le classement approximatif indiqué au tableau suivant :

Tableau I.3: Appréciation de la consistance en fonction de l'affaissement au cône. [1]

Classe de consistance	Affaissement (cm)	Tolérance (cm)
Ferme F	0 à 4	± 1 cm
Plastique P	5 à 9	± 2 cm
Très plastique TP	10 à 15	± 3 cm
Fluide F1	≥ 16	

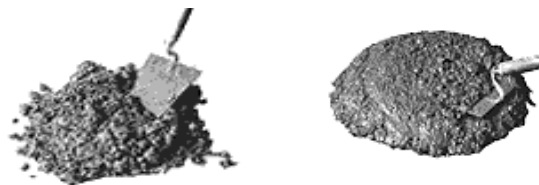


Figure I.8: Béton ferme et béton plastique. [1]

b) Test Vébé:

Cet essai est utilisé pour tester les bétons de faible ouvrabilité, il consiste en la mesure du temps nécessaire que met un cône de béton à remplir un volume connu, sous l'effet d'une vibration donnée.

Tableau I.4: Classe de consistance vébé. De V0 à V4. De ferme à fluide.[1]

Classe vébé	V0	V1	V2	V3	V4
Temps à l'essai Vébé	> 31 s	30s à 21s	20s à 11s	10s à 5s	< 5s

Elle est schématisée sur la figure suivante :

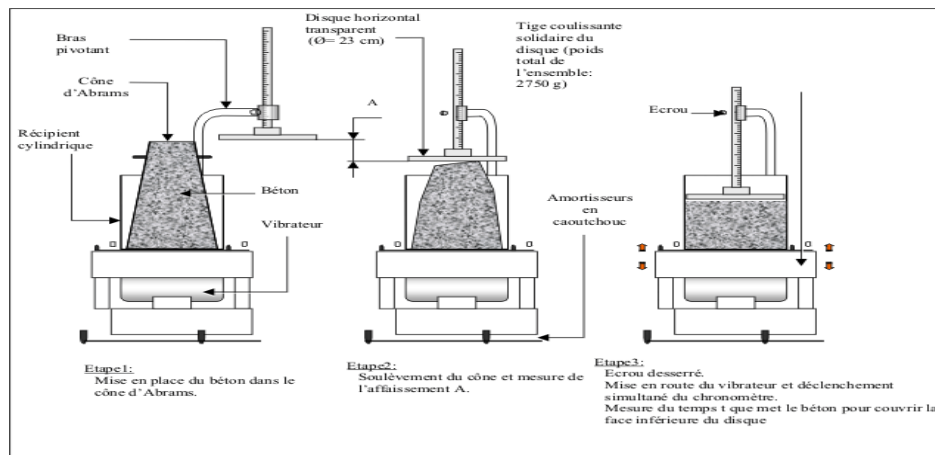


Figure I.9 : Mesure de la consistance (Essai véré). [1]

c) Etalement sur table (flow-test) :

L'essai d'étalement sur table (Flow-test) consiste à utiliser une table à chocs (**Figure I .10**) comprenant un plateau métallique animé d'un mouvement vertical. Un moule tronconique disposé sur cette table et du matériau à étudier (mortier ou béton).

Après arasement et démoulage (en soulevant le moule), on donne à la table, à l'aide d'une manivelle, quinze chocs en quinze secondes (hauteur de chute = 12,5mm) . Le matériau s'étale sous forme d'une galette dont on mesure les deux diamètres perpendiculaires. L'étalement (en%) est donné par la formule:

$$E(\text{table}) = \left(\frac{D - D_1}{D} \right) \times 100\%$$

D1: diamètre inférieur du moule.

D: diamètre moyen de la galette après étalement.

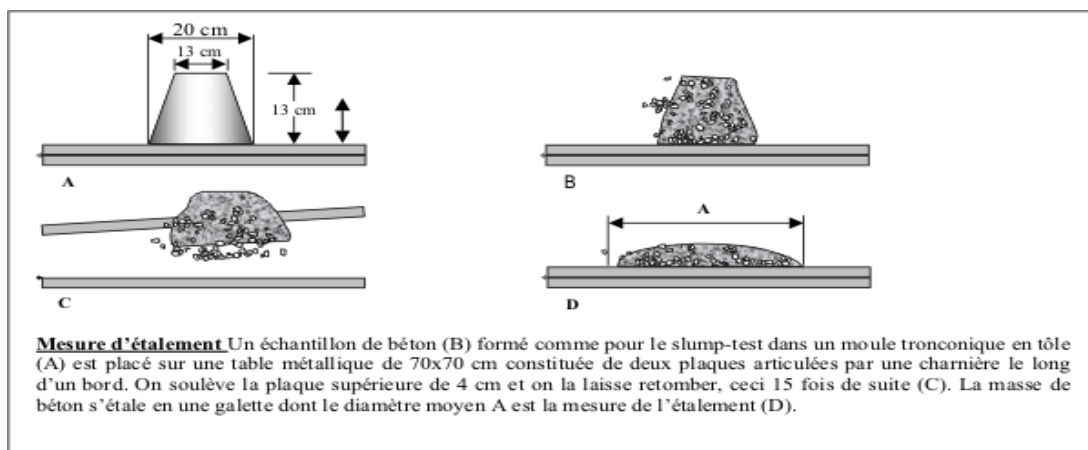


Figure I .10 : Mesure de l'affaissement sur table. [1]

Tableau I.5 : Valeurs d'étalement à la table. [1]

<i>Ouvrabilité</i>	<i>Étalement à la table (%)</i>
Très ferme	10 – 30
Ferme	30 – 60
Normal	60 – 80
Mou	80 – 100
Très mou à liquide	>100

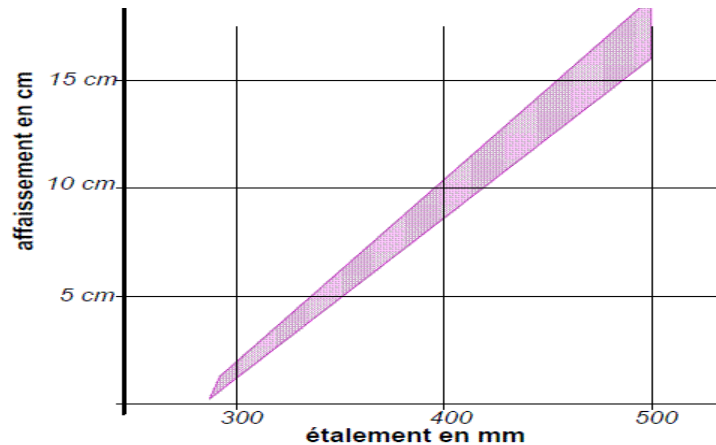


Figure I.11:Relation l'affaissement et l'étalement au cône. [1]

❖ Facteurs influençant sur l'ouvrabilité du béton:

Dans le cas de bétons classiques, l'ouvrabilité est principalement influencée par:

- Le dosage en eau (E/C).
- La nature et le dosage du liant (ciment).
- La forme des granulats, la granulométrie.

❖ Rôle de l'eau (E/C):

Le rôle de l'eau ou le rapport eau/ciment (E/C), est le facteur le plus prépondérant pour l'ouvrabilité du béton frais et sur les propriétés du béton durci:

- L'eau donne au béton sa maniabilité: Son action lubrifiante sur les différents granulats.
- La cohésion entre granulats par la pâte.

•L'eau permet l'hydratation du ciment et donc le durcissement du béton; un ciment portland demande environ 25% de son poids en eau pour s'hydrater complètement.

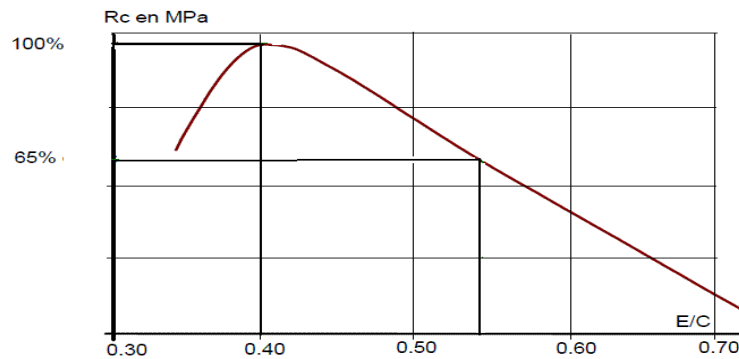


Figure I.12 : Résistance à la compression R_c du béton en fonction du rapport eau/ciment [1]

- **Résistance du béton frais :**

La résistance du béton frais est faible, mais elle intéresse plus particulièrement les fabricants pour le démoulage immédiat (avant prise du ciment) d'éléments de grande série.

- le rapport optimal E/C est voisin de 0,40 (béton plutôt sec).
- le pourcentage optimal S/G est d'environ 0,38 (soit : $G/S=2,6$ valeur élevée).
- les granulats concassés donnent des résistances plus élevées que les granulats roulés.

I.6.2 Caractéristiques du béton à l'état durci :

- **Masse volumique à l'état durci :**

La masse volumique est déterminée après avoir retiré les éprouvettes des bacs et les avoir laissés à l'air libre pendant 20 minutes pour séchage. Juste avant l'écrasement aux différents âges, on a déterminé la masse volumique en pesant les éprouvettes.

La masse volumique est donnée par la relation suivante : $\rho = M / V$

Avec :

M : la masse de l'éprouvette.

V : volume de l'éprouvette.

- **Résistance mécanique :**

La résistance mécanique est une caractéristique principale des bétons, car il est connu que le béton doit avoir des performances mécaniques pour être utilisé en construction des ouvrages. Les propriétés mécaniques permettant de caractériser un béton à l'état durci sont les résistances à la compression, à la traction, et à la flexion. Généralement, la résistance caractéristique des bétons est celle de la compression.

a) Résistance en compression (NF P 18-406) :

La résistance à la compression est déterminée à l'aide de l'essai de compression. (Elle est notée souvent par f_{c28j} ou R_{c28j}).

On peut définir la résistance en compression comme la mesure de la résistance maximale d'une éprouvette cylindrique ou cubique de béton ou de mortier sous une charge axiale. Elle est généralement exprimée en mégapascals (MPa).

Les éprouvettes étudiées sont soumises à une charge croissante jusqu'à la rupture. La résistance à la compression est le rapport entre la charge de rupture et la section transversale de l'éprouvette [14].



Figure I.13 Essai de compression.

b) Résistance à la traction :

Généralement le béton est un matériau travaillant bien en compression, mais on a parfois besoin de connaître la résistance en traction, en flexion, au cisaillement. La résistance en traction à 28 jours est désignée par f_{t28} .

Plusieurs essais peuvent être réalisés :

❖ Traction directe :

La mesure se fait par mise en traction de cylindres identiques à celle de la résistance en traction par fendage, mais l'essai est assez délicat à réaliser car il nécessite, après sciage des extrémités, le collage de têtes de traction parfaitement centrées, l'opération devant avoir lieu sans aucun effort de flexion parasite.

❖ Résistance en traction par fendage :

L'essai consiste à écraser un cylindre de béton suivant deux génératrices opposées entre les plateaux d'une presse. Cet essai est souvent appelé "Essai Brésilien". Si P est la charge de compression maximale produisant l'éclatement du cylindre par mise en traction du diamètre vertical, la résistance en traction sera

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

Avec : j = Age du béton (en jours) au moment de l'essai

D et L = diamètre et longueur du cylindre.

❖ Résistance en traction par flexion :

Les essais les plus courants sont des essais de traction par flexion. S'effectuent en général sur des éprouvettes prismatiques de côté a et de longueur 4a, reposant sur deux appuis:

Soit sous charge concentrée unique appliquée au milieu de l'éprouvette (moment maximal au centre).

Soit sous deux charges concentrées, symétriques, égales, appliquées au tiers de la portée (moment maximal constant entre les deux charges) .

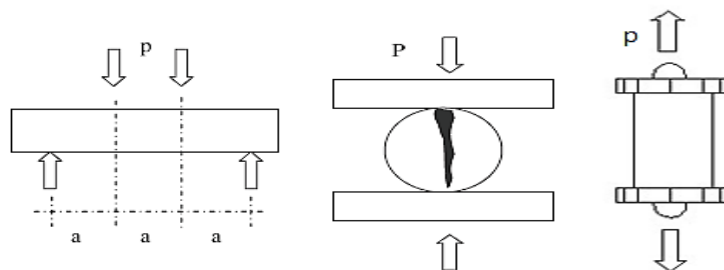


Figure I.14: Différents essais sur les résistances d'un béton en traction. [10]

- **Essai non destructif :**

- ❖ **Essai par scléromètre :**

Il s'agit sans aucun doute de l'instrument le plus utilisé dans le diagnostic des ouvrages déjà bâtis. Le scléromètre est composé d'une tige en acier, sortant d'un cylindre qui est appuyée sur le béton et comprime un ressort. En fin de course, ce ressort projette une masse sur la tige, sur laquelle elle rebondit; ce rebondissement, d'autant plus important que le béton est dur, est mesuré soit par un index (sur les anciens modèles) soit sur un cadran digital pour les modèles

Chapitre I : généralité sur les bétons

récents. Il existe une relation directe entre la dureté superficielle et la résistance du béton à la compression.



Figure I.15 : Appareil d'essai de scléromètre.

❖ Les ultrasons :

Le principe de la méthode des ultrasons consiste à mesurer le temps de propagation des impulsions ultrasoniques traversant le béton. L'essai ultrasonique peut être effectué sur des éprouvettes de laboratoire, comme sur des ouvrages en béton terminés.



Figure I.16 : Appareil d'essai ultrasonique.

On peut déduire la qualité du béton selon la vitesse de propagation obtenue par l'essai ultrasonique.

Tableau I.6: Qualité du béton en fonction de la vitesse de propagation des impulsions.

Qualité du béton	Vitesse de propagation (m/s)
Excellente	Supérieure à 4575
Bonne	3660 à 4575
Douteuse	3050 à 3660
Mauvaise	2135 à 3600
Très mauvaise	Inférieure à 2 135

I.7 Influence des caractéristiques des granulats sur les propriétés du béton :

Il est intéressant pour la fabrication des éléments en béton de savoir et connaître l'influence des caractéristiques des granulats sur la qualité du béton, afin d'avoir l'opportunité pour le choix des granulats compatibles au béton souhaité. A cet effet, plusieurs recherches ont étudié l'influence des caractéristiques des granulats sur la propriété du béton, et en ce qui suit on va citer l'effet des principaux caractéristiques sur la propriété du béton. [11]

I .7.1 Influence de D max :

Le choix de la grosseur du grain maximum d'un granulat pour béton dépend de considérations diverses, les critères de choix sont différents [11] :

- **Coté économique :**

L'avantage économique réside dans le fait qu'un volume de béton frais est moins cher si le grain maximum est gros, car la proportion de granulat bon marché est plus grande par rapport au mortier de ciment plus coûteux. On pourrait donc faire la recommandation suivante, choisir «le grain maximum le plus gros possible».

- **La dimension de l'élément à bétonner et par l'espacement des fers d'armature :**

Les normes pour l'exécution du béton (SIA 162 E, proposition de révision 1984) prescrivent que «le diamètre du grain maximum doit être choisi en fonction de la forme de l'élément, de sa plus petite dimension et de la distance entre les fers d'armature et qu'il ne doit pas être supérieur au tiers de la plus petite dimension de l'élément». Par conséquent, le critère économique de choix doit être réduit et devient «le grain maximum le plus gros compatible avec les dimensions de l'élément à bétonner».

A ce sujet, les normes ne disent rien de la distance entre l'armature et le coffrage. Les nouvelles prescriptions fixent à 20 mm (autrefois 15 mm) l'épaisseur minimale de recouvrement de béton sur l'armature, en renonçant donc à une circulation libre du béton dans son entier autour de l'armature en cet endroit.

- **Résistance mécanique :**

La règle applicable à cet égard est que les résistances du béton à la compression et à la traction diminuent quand le diamètre du grain maximum augmente. L'explication en est que la surface totale de contact entre le granulat et la pâte de ciment diminue et que par conséquent

l'adhérence totale qui conditionne la résistance diminue aussi. Mais cet effet de la structure du béton est contrecarré par celui de la qualité de la pâte de ciment. Effectivement, dans des bétons ayant des propriétés équivalentes par ailleurs, le facteur eau/ciment diminue quand le diamètre du grain maximum augmente, ce qui entraîne une augmentation de la résistance.

Donc on a Deux effets antagonistes sont donc en présence. Quand la grosseur du grain maximum augmente, on observe d'abord une augmentation des résistances, une tendance qui s'inverse à partir d'un certain point.

Un autre point à considérer dans notre analyse, c'est la dimension des éprouvettes pour la détermination des résistances. Elle devrait être adaptée au diamètre du grain maximum si l'on veut respecter strictement la règle. S'il s'agit de béton de 32 mm et de moules de 200 mm, le rapport des dimensions est de 1:6.5, mais pour des carottes de 50 mm il n'est plus que de 1:1,6, ce qui n'est forcément pas sans influence sur le résultat des essais, notamment en ce qui concerne la dispersion et par conséquent la fiabilité des résultats d'essai.

- **Influence sur la préparation du béton :**

Plus les éléments de ce dernier sont gros, plus l'outillage pour sa fabrication et sa mise en œuvre sont importants. Cela concerne tout particulièrement le transport, la mise en place et la vibration. Une question peut se poser, c'est celle de savoir jusqu'à quelle grosseur du grain maximum le béton peut encore être pompé.

la réduction de la taille des gros granulats, contribue significativement à l'amélioration de la maniabilité. Cette amélioration est due principalement à la réduction de la teneur des gros granulats de la classe 15/20, car l'augmentation du diamètre des gravillons provoque un freinage surtout dans le cas des granulats concassés où les risques de frottement et de friction entre les particules sont importants à cause de leur morphologie. Les multiples frictions entre particules augmentent la résistance au déplacement du matériau ce qui provoque une augmentation de la viscosité du béton.

- **Influence sur le retrait du béton :**

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

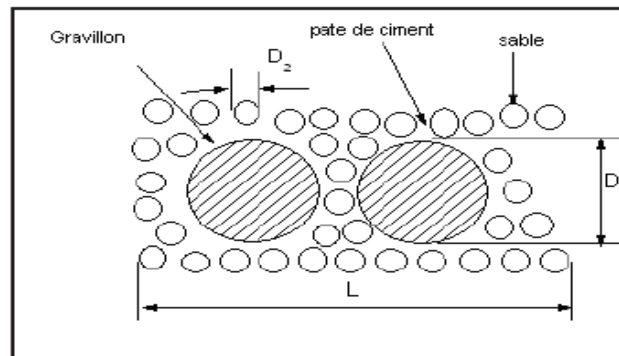


Figure I.17 : Influence de la dimension de granulat sur le retrait. [2]

Soient D_1 et D_2 les dimensions respectives des gravillons et du sable composants le 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 "L 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 $L - (2 D_1)$. Ce qui précède veut dire que : plus le rapport G/S est élevé, plus le retrait est diminué. [2]

I.7.2 Influence de rapport gravier sur sable (G/S) :

Le rapport G/S exprime le rapport volumique entre le dosage en gravier (G) et le dosage en sable (S). Au cours des nombreuses études réalisées sur la composition des bétons, ce qui surprend, c'est l'influence relativement faible de la composition granulométrique du béton, tant en ce qui concerne les proportions relatives de sable et de gravier (rapport G/S) que la continuité ou discontinuité de la courbe granulométrique. Les appréciations concernant cette influence sur les différentes qualités des bétons ont été résumées dans le **tableau I.7** récapitulant les principales qualités des bétons en fonction de leur G/S. Il y apparaît en effet que pour des $G/S \leq 2$ (valeurs les plus courantes) l'influence du rapport G/S est relativement faible, tandis que la résistance augmente plus sensiblement pour des valeurs plus élevées de G/S surtout pour les bétons fermes ; mais pour des raisons d'ouvrabilité, il ne convient pas de dépasser $G/S = 2.0$ à 2.2 pour les bétons courants, sauf à prendre des précautions particulières à la mise en œuvre. [10]

Chapitre I : généralité sur les bétons

Tableau I.7: Récapitulation des principales qualités des bétons en fonction de leur G/S et de leur granularité continue ou discontinue. [10]

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

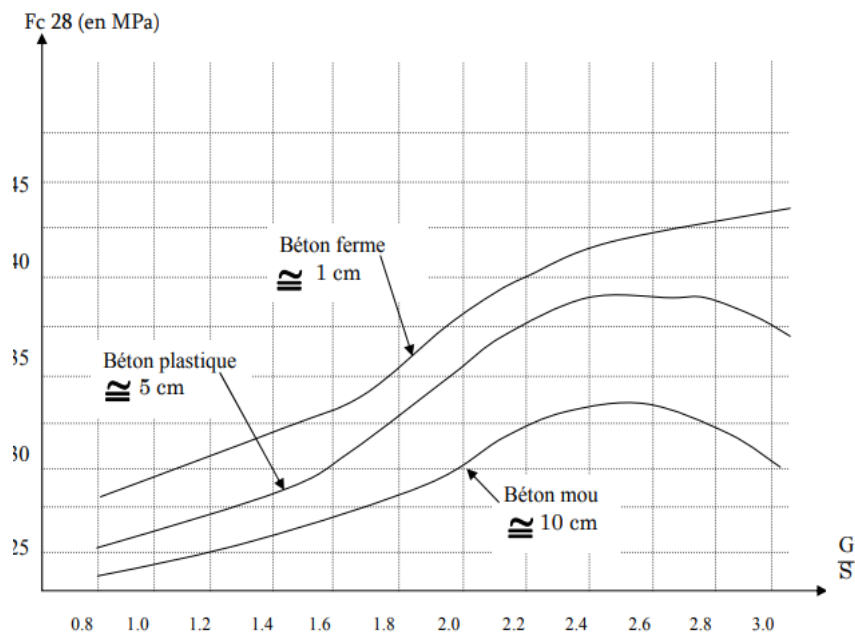


Figure I.18: Exemple de variation de la résistance en compression à 28 jours En fonction de G/S et pour trois plasticités différentes. Béton à 350 kg de ciment par mètre cube. [10]

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

Chapitre II :

Caractérisation et

formulation du

béton

Chapitre II : caractérisation et formulation du béton

II.1 Introduction :

Dans cette partie nous allons déterminer les caractéristiques essentielles des différents constituants entrant dans la composition du béton. La connaissance de ces caractéristiques est primordiale à toute recherche ou étude, puisque chacune de ces caractéristiques peut influencer sur les résultats de l'étude. C'est pour cette raison que nous allons procéder à la caractérisation de chaque constituant de notre béton.

II.2 Ciment :

Le type de ciment choisi est un « CPJ-CEM II/A 42,5 » groupe GICA-ECDE. C'est un ciment portland composé obtenu par le mélange finement broyé de clinker (80 à 90%) et d'ajout de calcaire (6 à 20 %). Le sulfate de calcium est ajouté sous forme de gypse en tant que régulateur de prise.

Caractéristiques chimiques		Caractéristiques physiques	
Norme NA 442	Ciment ECDE	Norme NA 442	Ciment ECDE
Sulfate $SO_3 \leq 3,5\%$	$SO_3 \leq 2,00\%$	Début de prise $\geq 60mn$	Début de prise = 65mn Fin de prise = 260 mn
Chlorure $Cl^- \leq 0,1\%$	$Cl^- \leq 0,08\%$	Stabilité à chaud $\leq 10mn$ Retrait $\leq 1000\mu m/m$	Stabilité à chaud $\leq 7mn$ Retrait 28j $\leq 650\mu m/m$

Tableau II.1 : caractéristique de ciment.

- consistance normalisée de CPJ-CEM II/A égale à 27%
- La finesse SSB égale $3757 \text{ cm}^2/\text{g}$
- Limite inférieure (Li) : $\geq 42,5 \text{ Newtons}/\text{mm}^2$
- Limite supérieure (Ls) : $\leq 62,5 \text{ Newtons}/\text{mm}^2$

Chapitre II : caractérisation et formulation du béton

II.2.3 Caractéristiques mécaniques :

- **Résistance la flexion et à la compression :**

Tableau II.2 : Caractéristiques mécaniques du ciment.

Age	Résistance à la flexion (MPa)			Résistance à la compression (MPa)		
	2j	7j	28j	2j	7j	28j
Ciment	4.5	6.63	7.08	21.4	37.1	45.3

II.3 Les granulats :

II.3.1 Sable de dune (Oued Souf):

C'est un produit de la désagrégation lente des roches sous l'action des agents d'érosion tels que l'air, la pluie etc. Les déserts de sable, ou ergs, se localisent dans les vastes cuvettes d'épandage ou des puissantes accumulations alluviales se sont concentrées par de grands écoulements liés aux périodes pluviales du début du quaternaire. Les grands ergs coïncident avec des zones où des vents saisonniers de directions variées se compensent. Ce type de sable est quartzeux et de granulométrie fine.

Tableau II.3 : Caractéristiques physiques

Caractéristiques	Résultats	Unité
Masse volumique apparente	1.65	g/cm ³
Masse volumique absolue	2.5	g/cm ³
Teneur en eau	0.2	%
ESV	77	%
ESP	67	%

Chapitre II : caractérisation et formulation du béton

Tableau II.4 : Analyse granulométrique par tamisage du sable.

ANALYSE GRANULOMETRIQUE PAR TAMISAGE			
Matériau : sable 0/4			
Masse après séchage : 3000 g			
Diamètre de tamis (mm)	Refus cumules en g	Refus cumules en %	Tamisat cumules en %
5	27	0.9	99.1
2.5	90	2	98
1.25	352	11	89
0.63	879	29.3	70.7
0.315	2233	74.43	25.57
0.16	2548	85	15
0.08	2980	99.33	0.7
Fond de tamis	2995	99.83	0.17

A partir de résultats de l'analyse granulométrique de sable de (oued souf), nous obtiendrons le module de finesse comme suite :

$$Mf = \frac{\sum \text{refus sur tamis } 5, 2.5, 1.25, 0.63, 0.315, 0.16}{100} = 2.02$$

Module de finesse entre 1.8 à 2.2 donc notre sable est fin.

Chapitre II : caractérisation et formulation du béton

II.3.2 Graviers:

Dans notre analyse nous avons utilisé trois types de gravier qui sont : le gravier 3/8, 8/15, 15/25 de Sétif :

II.3.2.1 Gravier 3/8 de Sétif :

Tableau II.5: Caractéristiques physiques

Caractéristiques	Résultats	Unité
Masse volumique apparente	1.43	g/cm ³
Masse volumique absolue	2.57	g/cm ³
Los angles	24	%
Micro deval	15	%

Tableau II.6: Analyse granulométrique par tamisage du G 3/8.

ANALYSE GRANULOMETRIQUE PAR TAMISAGE			
Matériau : gravier 3/8			
Masse après séchage : 3000 g			
Diamètre des tamis (mm)	Refus cumules en g	Refus cumules en %	Tamisat cumules en %
10	/	/	/
8	/	/	/
6.3	421	14.03	85.97
4	2299	76.63	23.37
2	2981	99.36	0.64
1	2986	99.53	0.47
0.5	2995	99.83	0.17
Fond de tamis	2998	99.93	0.07

Chapitre II : caractérisation et formulation du béton

II.3.2.2 Gravier 8/15 de Sétif :

Tableau II.7 : Caractéristiques physiques

Caractéristiques	Résultats	Unité
Masse volumique apparente	1.41	g/cm ³
Masse volumique absolue	2.57	g/cm ³
Los angles	25.4	%
Micro deval	16.5	%

Tableau II.8: Analyse granulométrique par tamisage du G 8/15.

ANALYSE GRANULOMETRIQUE PAR TAMISAGE			
Matériau : gravier 8/15			
Masse après séchage : 3000 g			
Diamètre de tamis (mm)	Refus cumules en g	Refus cumules en %	Tamisât cumules en %
20	/	/	/
16	140	4.66	95.34
12.5	1093	36.43	63.57
10	1890	63.00	37.00
8	2483	82.76	17.24
6.3	2845	94.83	5.17
4	2971	99.03	0.97
2	2980	99.33	0.67
Fond de tamis	2987	99.56	0.43

Chapitre II : caractérisation et formulation du béton

II.3.2.3 Gravier 15/25 de Sétif :

Tableau II.9: Caractéristiques physiques

Caractéristiques	Résultats	Unité
Masse volumique apparente	1.37	g/cm ³
Masse volumique absolue	2.5	g/cm ³
Los angles	29	%

Tableau II.10 : Analyse granulométrique par tamisage du G 15/25.

ANALYSE GRANULOMETRIQUE PAR TAMISAGE			
Matériau : gravier 15/25			
Masse après séchage : 3000 g			
Diamètre des tamis (mm)	Refus cumules en G	Refus cumules en %	Tamisât cumules en %
31.5	/	/	/
25	/	/	/
20	654	21.8	78.2
16	2173	72.43	27.57
12.5	2894	96.46	3.54
10	2983	99.43	0.57
Fond de tamis	2990	99.66	0.34

II.4 L'eau de gâchage :

L'eau utilisée pour le gâchage de béton est une eau potable de la ville de Dellys.

II.5 Formulation des bétons :

Pour définir un mélange optimal qui puisse assurer la résistance et la maniabilité désirée, nous avons utilisé la méthode graphique (Dreux-Goriss).

- **Hypothèses :**

-Résistance de béton demandé a 28 jours, $R_{28} = 30\text{MPa}$.

Pour cela on vise une résistance $R_{28} = 30 \times 1.15 = 34.5 \text{ MPa}$.

-Consistance : béton plastique avec un affaissement = 9cm

II.5.2 Dosage en ciment : On a fixé le dosage à 400kg/m^3

- **Dosage en eau :** On a fixé le rapport E/C 0.5

$$V_{\text{eau}} = 400 \times 0.5 = 200\text{L}$$

Calcul de volume de ciment :

$$V_{\text{ciment}} = m / \rho$$

$$V_{\text{ciment}} = 400 / 3.1$$

$$V_{\text{ciment}} = 129.03\text{L}$$

- **Pourcentage des granulats:**

La courbe de référence :

Pour l'étude du béton, nous devons tracer la courbe de référence ; cette courbe caractérise le mélange optimal du béton :

La courbe granulaire de référence construite par l'une des méthodes de composition de béton. La courbe OAB, où B à l'ordonnée 100% correspond à la dimension D du plus gros granulat et le point de brisure A à des coordonnées ainsi définies comme suit:

En abscisse: si $D \leq 20 \text{ mm}$ l'abscisse est $D/2$, si $D \geq 20 \text{ mm}$ l'abscisse est située au milieu du segment, gravier limité par le module 38(5mm) et le module correspond à D. En ordonnée: Y donnée par la formule suivante : $Y = 50 - \sqrt{D + k}$ K est un terme correcteur qui dépend du dosage en ciment, de l'efficacité du serrage, de la forme des granulats roulés ou concassés (surtout le sable, dont l'influence est prépondérante) et également du module de finesse du sable. La courbe granulaire de référence OAB doit être tracée sur le même graphique que les courbes granulométriques des granulats composants. On trace alors les lignes de partage entre chacun des granulats en joignant le point à 95% de la courbe du granulat suivant, et ainsi de suite. On

Chapitre II : caractérisation et formulation du béton

lira alors sur la courbe de référence au point de croisement avec la ou les droites de partage le pourcentage en volume absolu de chacun des granulats g_1, g_2, g_3 par exemple. Si c'est le dosage en ciment, le volume absolu des grains de ciment est : $c=C/3.1$ ou 3.1 C'est la masse spécifique pour les grains du ciment (valeur moyenne habituellement admise).

Le pourcentage nous permet de définir le volume de chaque matériau pour l'obtention d'un mélange optimale du béton (le dosage d'un mètre cube de béton).

On a formulé deux formulation de déferant D_{max} ; dans chaque formulations on a quatre déferant rapport G/S.

Formulation I (D max=25) :

Volume total de granulats :

$$V_g = 1000 \times \gamma - V_c$$

Coefficient de compacité γ :

Affaissement = 9 donc béton plastique / vibration courante

Alors: $\gamma = 0.825$

Calcule de compacité :

$$C = 0.825 \times 1000 = 825$$

$$V_{agregats} = 825 - 129.3 = 696L$$

Le pourcentage de ciment nécessaire qu'on doit utiliser dans notre béton est :

$$\%C = \frac{V_{ciment}}{V_{matiere\ seche}} \times 100 = \frac{129.3}{696} \times 100 = 18.57\%$$

Le pourcentage de gravier et de sable est donc :

$$\%G+S = 81.43\%$$

- **Courbe OAB :**

Point B: B (D max, 100%)

B (25,100%)

Chapitre II : caractérisation et formulation du béton

Point A: D'après le tableau de vibration on a :

$K=0$ (K: valeur de terme correcteur)

$K_s=6 M_f - 15$

$K_s=6 \times 2.02 - 15$

$K_s=-2.76$

Les coordonnées X et Y :

$D > 20 \rightarrow$ module de tamis :

$45 + 38/2 = 41.5$

Projection de 41.5 sur la courbe $\rightarrow X_A = 10$

$Y_A = 50 - \sqrt{D \text{ max}} + K + K_s$

$Y_A = 50 - \sqrt{25} + (-2.76)$

$Y_A = 42.24$

Point A (10 ,42.24)

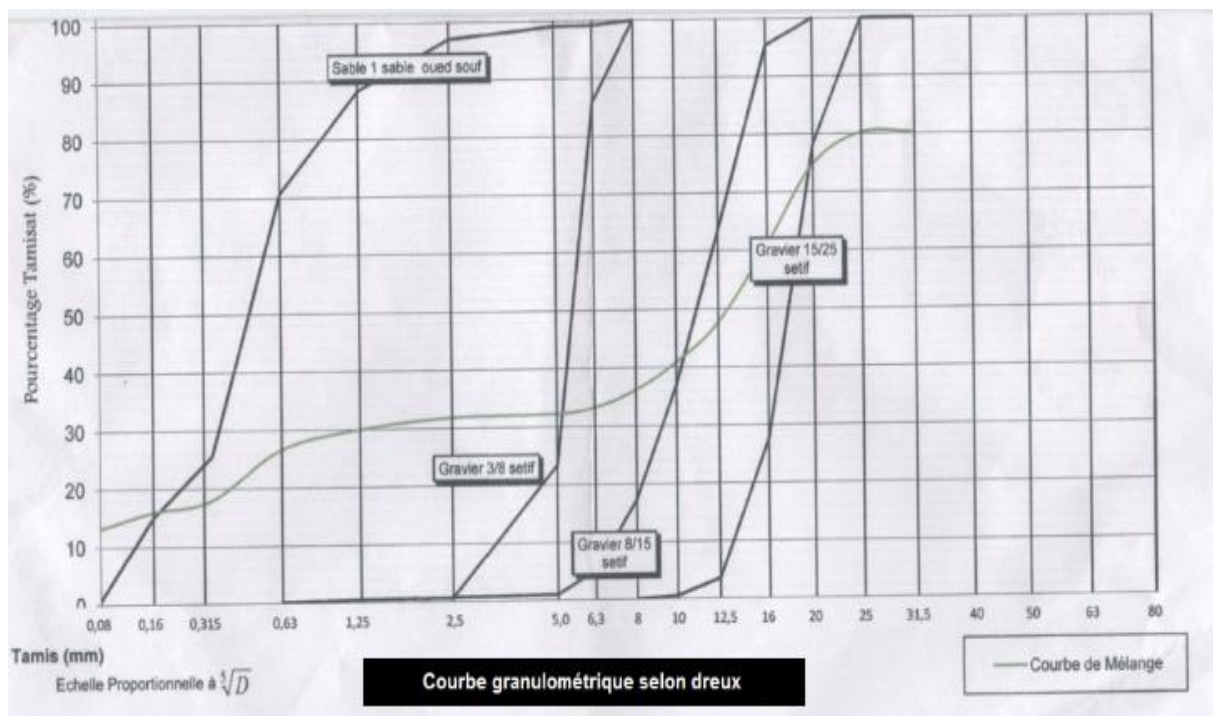


Figure II.1 Courbe granulométrique de la formulation I.

Chapitre II : caractérisation et formulation du béton

Tableau II.11 : Composition d'un mètre cube de béton

Pourcentages des composants	Composition de béton	
Gravier 15/25.....32%	$\frac{32 \times 696}{100} = 222.7$	$222.7 \times 2.5 = 557 \text{ kg/m}^3$
Gravier 8/15..... 30%	$\frac{30 \times 696}{100} = 208.8$	$208.8 \times 2.57 = 537 \text{ kg/m}^3$
Gravier 3/810%	$\frac{10 \times 696}{100} = 69.6$	$69.6 \times 2.57 = 180 \text{ kg/m}^3$
Sable 0/428%	$\frac{28 \times 696}{100} = 194.88$	$194.88 \times 2.5 = 487 \text{ kg/m}^3$

Le rapport **G/S : G/S** = $\frac{1272.7}{487} = 2.6$

On a réaliser dans notre travail quatre formulations avec différents rapport G/S ont été étudié:

- **Béton 1: (F 25- 2.6)** : d max=25 , rapport G/S= 2.6 **(béton témoin I).**
- **Béton 2: (F 25- 2.2)** : d max=25 , rapport G/S= 2.2
- **Béton 3: (F 25- 1.8)** : d max=25 , rapport G/S= 1.8
- **Béton 4: (F 25- 1.4)** : d max=25 , rapport G/S= 1.4

Tableau II.12: Composition des bétons testés pour 1m³.

composant	Ciment (kg)	Eau (kg)	G 15/25 (kg)	G 8/15 (kg)	G 3/8 (kg)	Sable 0/4(kg)	M v (kg/m ³)
(F 25- 2.6)	400	200	557	537	180	487	2361
(F25-2.2)	400	200	539	518	161	539	2357
(F25-1.8)	400	200	505	501	143	609	2358
(F25-1.4)	400	200	470	447	125	714	2356

Formulation II (D max=15) :

Volume total de granulats :

$$V_g = 1000 \times \gamma - V_c$$

Chapitre II : caractérisation et formulation du béton

Coefficient de compacité α :

Affaissement = 9 donc béton plastique / vibration courante

Alors : $\alpha = 0.815$

Calcul de compacité :

$$C = 0.815 \times 1000 = 815$$

$$V_{\text{agregats}} = 815 - 129.3 = 686 \text{ L}$$

Le pourcentage de ciment nécessaire qu'on doit utiliser dans notre béton est :

$$\%C = \frac{V_{\text{ciment}}}{V_{\text{matiere seche}}} \times 100 = \frac{129.3}{696} \times 100 = 18.57\%$$

Le pourcentage de gravier et de sable est donc :

$$\%G+S = 81.43\%$$

- **Courbe OAB :**

Point B: B (D max, 100%)

B (16, 100%)

Point A : D'après le tableau de vibration on a :

$K=0$ (K: valeur de terme correcteur)

$$K_s = 6 M_f - 15$$

$$K_s = 6 \times 2.02 - 15$$

$$K_s = -2.76$$

Les coordonnées X et Y :

$D \leq 20 \text{ mm}$ l'abscisse est D/2 donc :

$$X_A = 16/2 = 8$$

$$Y_A = 50 - \sqrt{D \text{ max}} + K + K_s$$

$$Y_A = 50 - \sqrt{16} + 0 + (-2.76)$$

$$Y_A = 43.24$$

Point A (8 ,43.24).

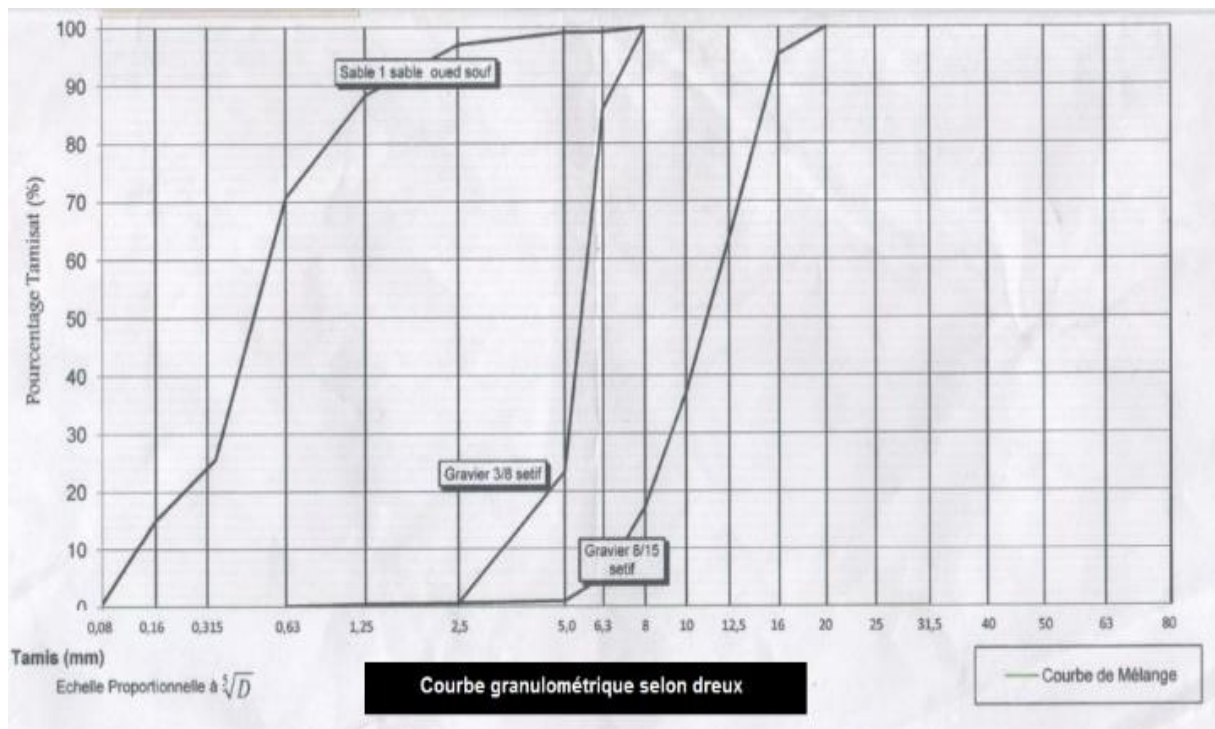


Figure II.2 Courbe granulométrique de la formulation II.

Tableau II.13: Composition d'un mètre cube de béton

Pourcentages des composants	Composition de béton	
Gravier 8/15.....56%	$\frac{56 \times 686}{100} = 384.14$	$384.14 \times 2.57 = 549 \text{ kg/m}^3$
Gravier 3/812%	$\frac{12 \times 686}{100} = 82.32$	$82.32 \times 2.57 = 211 \text{ kg/m}^3$
Sable 0/432%	$\frac{32 \times 686}{100} = 219.52$	$219.52 \times 2.5 = 487 \text{ kg/m}^3$

Le rapport **G/S** : $\frac{G}{S} = \frac{1198}{549} = 2.2$

On va formuler aussi quatre formulations avec les mêmes rapports G/S précédentes :

- **Béton 1' : (F 15- 2.6) : D max=15 , rapport G/S= 2.6**
- **Béton 2': (F 15- 2.2) : D max=15 , rapport G/S= 2.2 (béton témoin II)**
- **Béton 3': (F 15- 1.8) : D max=15 , rapport G/S= 1.8**
- **Béton 4': (F 15- 1.4) :D max=15 , rapport G/S= 1.4**

Chapitre II : caractérisation et formulation du béton

Tableau II.14: Composition des bétons testés pour 1m³.

Composant	Ciment (kg)	Eau (kg)	G 8/15 (kg)	G 3/8 (kg)	Sable 0/4(kg)	Mv (kg/m ³)
(F 15- 2.6)	400	200	1040	229	480	2349
(F15-2.2)	400	200	987	211	549	2347
(F15-1.8)	400	200	934	193	617	2344
(F15-1.4)	400	200	846	176	720	2342

Chapitre III :

Résultats et

interprétation

Chapitre III : Résultats et interprétations

III.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 des essais à l'état frais et durci. Afin d'étudier l'influence du rapport G/S et D_{max} des granulats sur les propriétés de béton à l'état frais et durci.

III.2 Confection des éprouvettes :

Les éprouvettes utilisées dans notre étude sont des éprouvettes prismatiques $10 \times 10 \times 40 \text{ cm}^3$ pour l'essai de flexion et des éprouvettes cubiques $15 \times 15 \times 15 \text{ cm}^3$ pour l'essai de compression. Le nombre d'échantillons est de trois éprouvettes pour chaque essai. Le nombre total est 48 éprouvettes pour l'essai de compression et 32 éprouvettes pour l'essai de flexion. Le malaxage est exécuté automatiquement à l'aide d'un malaxeur, les étapes de malaxage sont :

- Peser les quantités nécessaires des constituants pour un mélange
- Introduire les granulats dans le récipient de malaxage du plus gros jusqu'au plus fin et les mélanger tous à sec puis avec l'eau de gâchage.



Figure III.1 : Malaxeur de béton.

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. La face supérieure de l'éprouvette doit être lisse et bien finie.



Figure III.2 : Confection des éprouvettes.

Les éprouvettes doivent rester dans le moule et protégées contre les chocs ; les vibrations doivent être évitées pendant au minimum 16 heures et un maximum de 3 jours, la température de 20 ± 1 C°.

Les éprouvettes sont ensuite conservées dans un bassin d'eau. Cette opération est effectuée pour éviter l'évaporation d'eau au cours de la phase de prise de ciment et assurer le bon déroulement du durcissement, afin de maintenir la caractéristique réelle du béton.



Figure III.3: Conservation des éprouvettes dans la chambre humide

III.4 Masse volumique à l'état frais et durci :

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

-Remplir le béton frais et de masse M dans une éprouvette de volume V .

Le remplissage est exécuté en deux couches.

-Araser le haut du récipient.

-Peser le récipient rempli du béton.

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

$$\rho = \frac{M}{V} \dots \text{kg/m}^3$$

Chapitre III : Résultats et interprétations

Tableau III.1: Masse volumique à l'état frais et à l'état durci.

type de béton	(F25-2,6)	(F25-2,2)	(F25 1,8)	(F25-1,4)	(F15-2,6)	(F15-2,2)	(F15-1,8)	(F15-1,4)
Mv à l'état frais (kg/m ³)	2466	2439	2423	2425	2400	2355	2352	2384
Mv à l'état durci (kg/m ³)	2391	2402	2376	2382	2381	2347	2333	2361

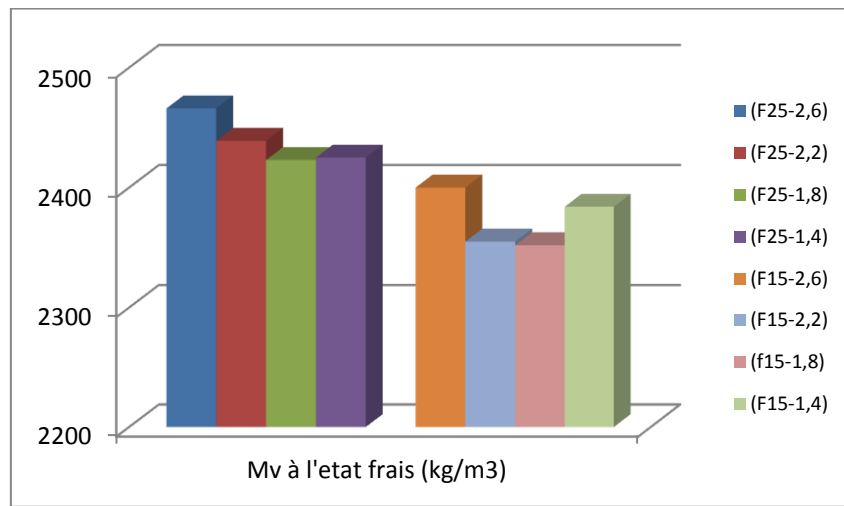


Figure III.4 : Masse volumique à l'état frais.

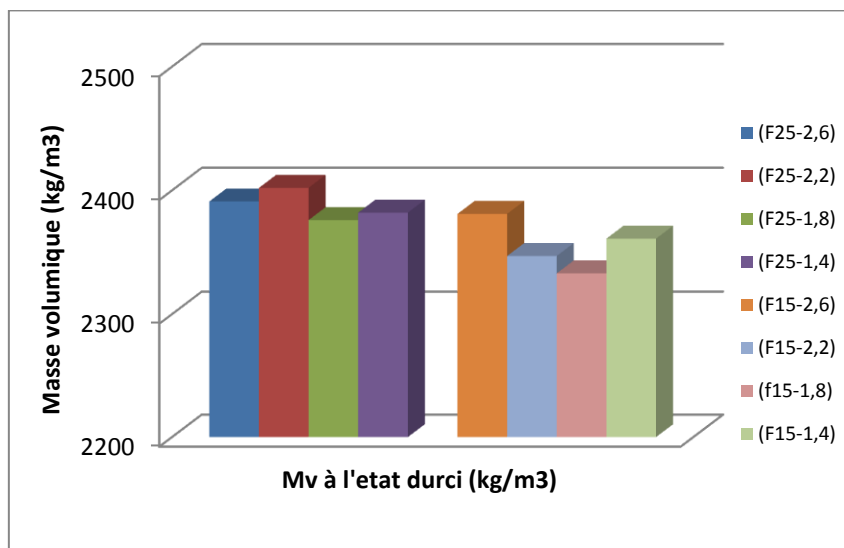


Figure III.4 : Masse volumique à l'état durci.

Les valeurs des masses volumiques obtenues pour toutes les compositions de béton rentrent dans la gamme des bétons ordinaires.

Chapitre III : Résultats et interprétations

La masse volumique des bétons de la formulation **I** qui contiennent des gros granulats ($D_{\max}=25\text{mm}$) est supérieure à celle de la formulation **II** ($D_{\max}=15\text{mm}$) ceci s'explique par la différence du poids entre les gros granulats ($D=25\text{mm}$) et les petits granulats ($D=15$).

La différence entre la masse volumique à l'état frais et l'état durci varie entre 2 et 3%, ceci est dû à la quantité d'eau évaporée lors du durcissement.

III.5 Affaissement au cône d'Abrams :

L'essai d'affaissement au cône d'Abrams est effectué d'après la norme NA431.

La figure **III.4** présente une photo de cet essai permettant d'obtenir la consistance de béton.



Figure III.5 : Essai d'affaissement au cône d'Abrams.

Les résultats de l'affaissement au cône d'Abrams obtenus sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau III.2: Variation de l'affaissement des différents bétons

Type de béton	affaissement à $t=0$	affaissement à $t=15$
(F 25- 2.6)	19	18
(F 25- 2.2)	14	14
(F 25- 1.8)	17.5	16
(F 25- 1.4)	21	20
(F 15- 2.2)	17	16
(F 15- 2.6)	15	13
(F 15- 1.8)	12	10
(F 15- 1.4)	19	17

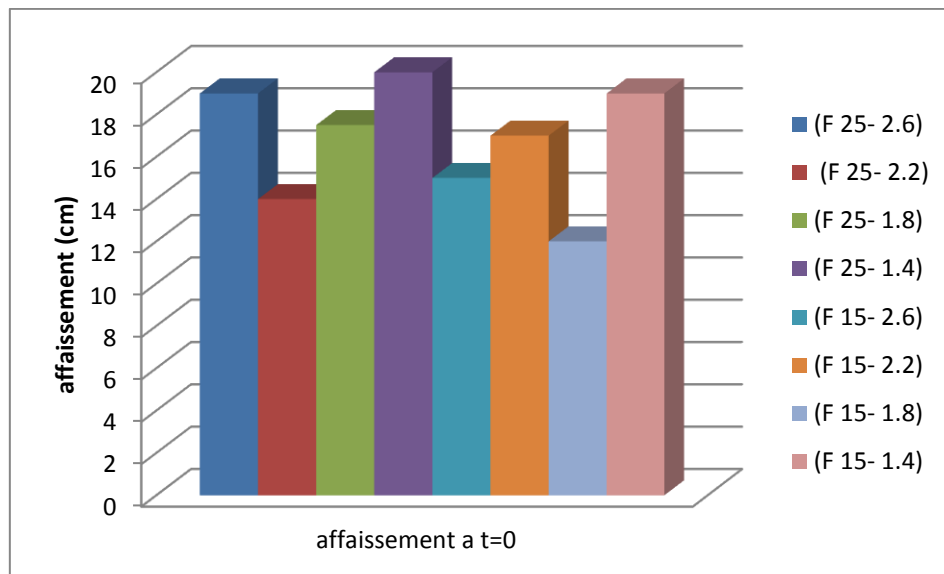


Figure III.6 : Evolution de l'affaissement des bétons élaborés à t=0min

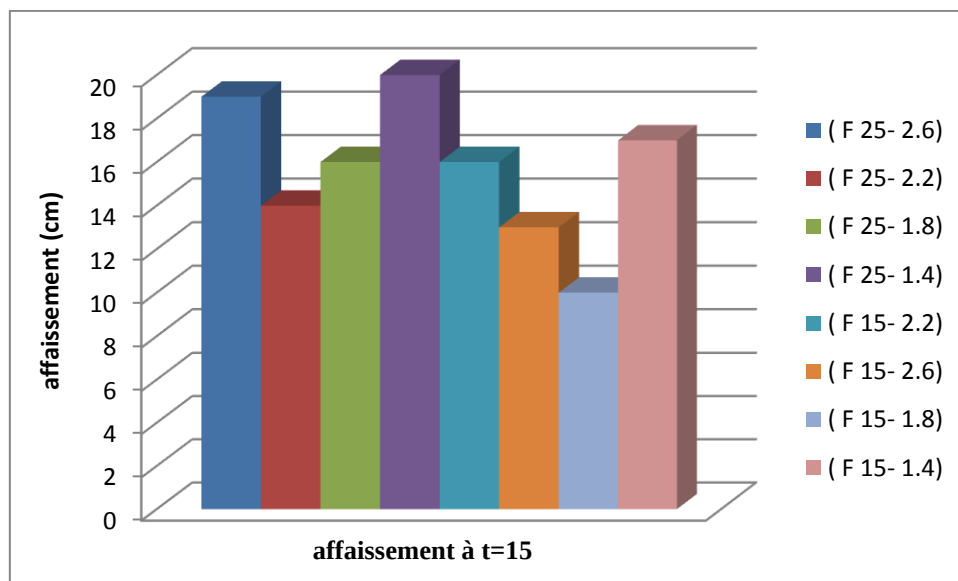


Figure III.6 : Evolution de l'affaissement des bétons élaborés à t=15min.

Les résultats obtenus montrent que toutes les compositions de béton présentent une consistance d'un béton fluide, car dans les formulations avec un dosage élevé en ciment de l'ordre de 400kg/m^3 , les bétons sont en général de consistance très plastique jusqu'à fluide (de 10 à 20 cm). [12]

Chapitre III : Résultats et interprétations

Nous n'avons pas remarqué une grande différence dans les résultats de l'essai d'affaissement à $t=0\text{min}$ et à $t=15\text{min}$, l'affaissement est presque stable (un maintien rhéologique), parce que ces jours-là le climat était froid et pluvieux, le béton aurait sécher plus rapidement si le climat était chaud et nous aurions pu constater la différence.

L'influence du diamètre maximale des granulats sur l'ouvrabilité est négligeable par contre la meilleure ouvrabilité est obtenue lorsque le rapport $G/S=1.4$, quel que soit le diamètre maximale des granulats.

III.6 Résistances mécaniques :

Les essais effectués sur les bétons durcis sont les suivants :

- La résistance mécanique à la compression.
- La résistance mécanique à la flexion.

III.6.1 Réparation et positionnement des éprouvettes :

Avant de passer à l'action d'écrasement, il faut tenir compte les recommandations suivantes :

- Essuyer toute humidité excessive de la surface de l'éprouvette avant de la positionner dans la machine d'essai.
- Tous les plateaux de la machine d'essai doivent être essuyés, et les corps étrangers situés à la surface de l'éprouvette, doivent être retirés.

- **Préparation des éprouvettes pour essais de compression :**

Pour effectuer ces essais, on a préparé trois éprouvettes cubique (15x15x15) (cm) pour chaque âge (7 et 28 jours) dans le but de prendre une valeur moyenne.



Figure III. 7 : Essai de compression.

Chapitre III : Résultats et interprétations

- **Préparation des éprouvettes pour essai de flexion:**

Pour effectuer cet essai, on a préparé deux éprouvettes prismatiques (10x10x40) (cm) pour chaque âge (7 et 28 jours) dans le but de prendre une valeur moyenne.



Figure III.8 : Essai de traction par flexion.

Les résultats des essais mécaniques de la résistance à la compression et à la flexion de toutes les compositions de béton sont regroupés dans le **tableau III.3**. Le développement des résistances mécaniques entre 7 jours et 28 jours est présenté dans le **tableau III.4** et la **figures III.11**.

Tableau III.3: Résultats des essais mécaniques des différents bétons.

Bétons	Formulations	Rc7(MPa)	Rc28 (MPa)	Rf 7 j (MPa)	Rf 28 j(MPa)
Dmax25	(F25-2.6)	22	34	5	6,7
	(F25-2.2)	21,5	32	4	5
	(F25-1.8)	26,7	38	5	6
	(F25-1.4)	22,7	34	5	6
Dmax15	(F15-2.6)	24	36	5,7	6
	(F15-2.2)	26,5	38	5	6
	(F15-1.8)	25,5	38	5	5,5
	(F15-1.4)	25,7	36	5	5,7

Chapitre III : Résultats et interprétations

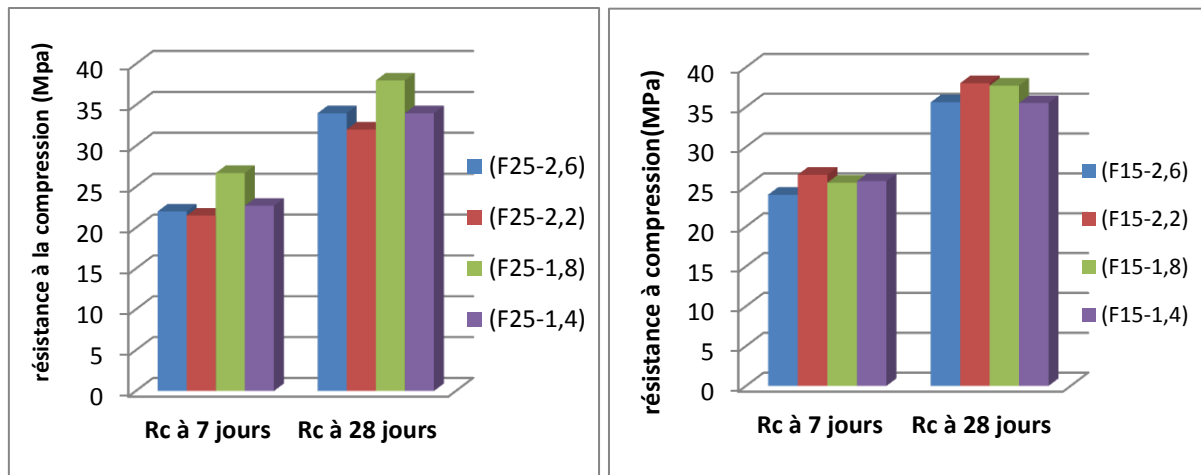


Figure III.9: Résistance à la compression à 7 jours et 28 jours des différents bétons.

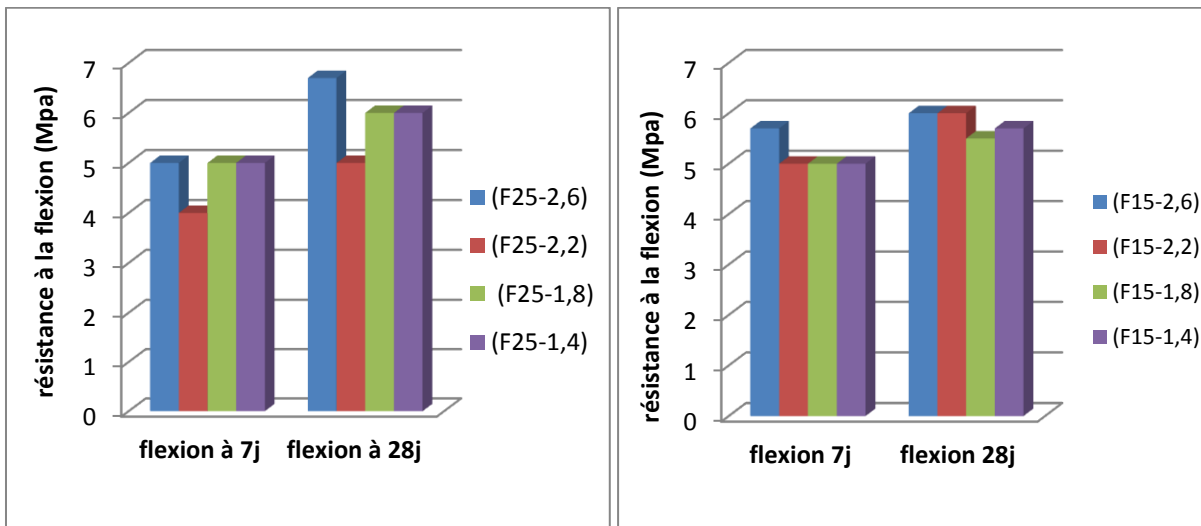


Figure III.10: Résistance à la flexion à 7 jours et 28 jours des différents bétons.

Tableau III.4: Développement de la résistance mécanique à la compression de 7j jusqu'à 28j :

Type de béton	(F25-2,6)	(F25-2,2)	(F25-1,8)	(F25-1,4)	(F15-2,6)	(F15-2,2)	(F15-1,8)	(F15-1,4)
Développement de RC 7 à 28j (%)	54.5	48.8	41.2	49.8	48.3	43.4	47.8	42

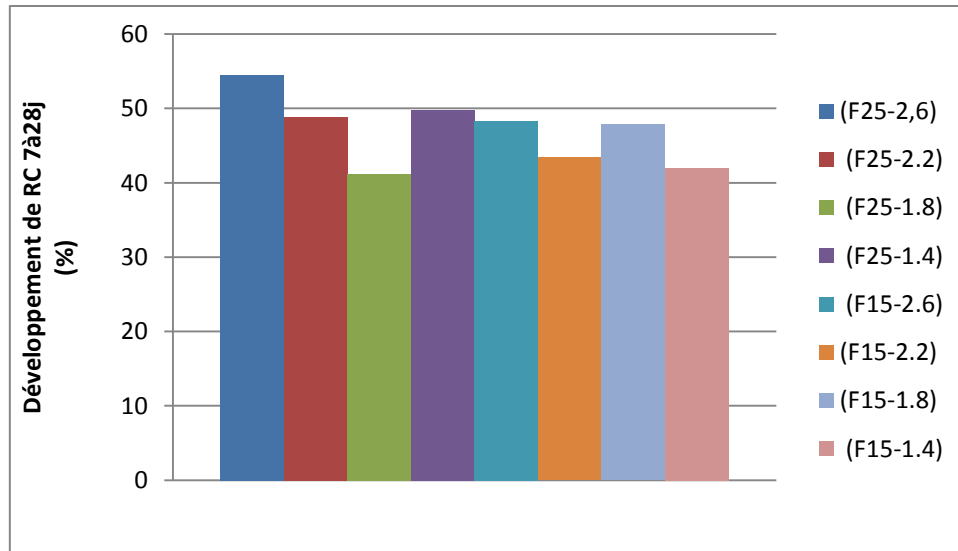
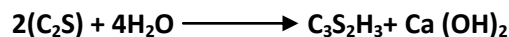
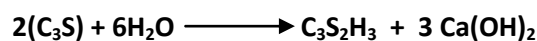


Figure III.11: Développement de la résistance mécanique à la compression de 7j jusqu'à 28j

Pour toutes les compositions du béton, nous remarquons une augmentation continue de la résistance à la compression en fonction de l'âge de 07 et 28j (Tableau III.4). Cela est dû au phénomène d'hydratation du ciment qui provoque l'évolution de la compacité de béton avec le temps. Car, l'hydratation des constituants du ciment C_3S et C_2S donnent naissance à la formation des CSH qui fait augmenter la résistance mécanique. Le développement de la résistance à la compression de 7 à 28 jours varie de 41 à 54%. Ce développement est plus prononcé lorsque le D_{max} augmente.

L'hydratation des minéraux du ciment se fait selon les réactions:



Il est à noter aussi que les compositions de béton réalisées avec les granulats où le diamètre maximal est de l'ordre de 15mm, présentent des valeurs de résistance mécanique à la compression légèrement supérieures comparativement avec celles obtenus par les granulats avec $D_{max}=25mm$. Ceci se traduit par la présence d'un excès de pâtes dans les compositions élaborées avec les granulats où le $D_{max}= 25mm$ par rapport aux compositions réalisées avec $D_{max}=15mm$, l'excès de pâtes peut engendrer des fissurations dans le béton due au retrait.

Chapitre III : Résultats et interprétations

Les compositions de béton élaborées avec un $D_{max} = 15\text{mm}$, présentent une stabilité des résistances mécaniques à la compression même si le rapport G/S varie et cela due à l'optimisation de dosage en ciment (en pâte).

Une meilleure résistance mécanique à la compression est obtenue avec un rapport $G/S = 1.8$, elle est de l'ordre de 38MPa , dans le cas des bétons élaborés avec un $D_{max} = 25\text{ mm}$

Les bétons étudiés présente une stabilité des valeurs de la résistance à la traction par flexion.

III.7. Ultrason :

Avant de procéder aux essais à l'ultrason, on a pris le soin de vérifier le bon fonctionnement par étalonnage de l'appareil en utilisant le barreau de calibrage. Pour chaque éprouvette, les essais à l'ultrason ont été effectués en deux sens selon la méthode par transmission directe de telle façon que le sens de mesure du temps de transit soit perpendiculaire au sens de confection. Sur les faces opposées de l'éprouvette on a placé les deux transducteurs en interposant entre eux une couche mince de graisse puis l'enregistrement du temps de transit en microseconde est réalisé.



Figure III.12 : Essai ultrasonique sur une éprouvette.

Les résultats d'essai ultrasonique a 28 jours sont récapitulés dans le tableau suivant :

Chapitre III : Résultats et interprétations

Tableau III.5 : Vitesse de propagation des ondes ultrasons dans les bétons.

Nbr d'essais	(F25-2,6)	(F25-2,2)	(F25-1,8)	(F25-1,4)
1	5376	5155	5556	5226
2	5172	5208	5208	5085
3	5176	5263	5319	5415
4	5168	5300	5415	5102
5	5282	5226	5137	5338
6	5137	5245	5319	5415
Moyenne	5218,5	5232,8	5325,7	5263,5
Nbr d'essais	(F15-2,6)	(F15-2,2)	(F15-1,8)	(F15-1,4)
1	5119	5215	4983	5137
2	5051	5196	5034	5068
3	4967	5282	5102	4967
4	5172	5135	5155	5051
5	5102	5019	5137	5155
6	5085	5245	5068	5051
moyenne	5082,7	5182	5079,8	5071,5

Les vitesses ultrasoniques obtenues est supérieur à 5000m/s, donc la qualité de toutes les compositions de béton est excellente en comparaison avec les spécifications des bétons de gammes ordinaires.

La caractérisation des bétons par l'ultrason donne une idée sur l'homogénéité de la structure interne du béton. En effet la présence des G3/8, G8/15 et G15/25 dans la formulation I donne une vitesse élevée par rapport à la formulation II. Cela peut s'expliquer par la continuité et à

Chapitre III : Résultats et interprétations

la présence de toutes les classes granulaires qui assure une bonne compacité par le remplissage de squelette granulaire.

III.8. Scléromètre :

Aux essais au scléromètre on a d'abord essuyé toutes les traces de la graisse appliquée auparavant, puis la mise en place de l'éprouvette entre les plateaux de la presse avec lesquelles les faces moulées ont été en contact, c'est-à-dire que le sens de compression soit perpendiculaire au sens de confection, on a maintenu l'éprouvette entre les plateaux par compression sous une charge initiale de l'ordre de 15 % de la charge finale c'est-à-dire de 30 à 90 kN. Les essais au scléromètre ont été effectués à la position horizontale de l'appareil sur une face de l'éprouvette, qui sont au nombre de 12. Alors, le résultat d'essai correspond à chaque éprouvette est la valeur médiane de l'ensemble des lectures effectuées sur la face et exprimée sous forme de nombre entier conformément à la norme européenne NF EN 12504-2.



Figure III.13 : Essai de scléromètre sur une éprouvette.

Les résultats d'essai de scléromètre à 28 jours sont récapitulés dans le tableau suivant :

Chapitre III : Résultats et interprétations

Tableau III.6 : Indice de rebondissement et Rm scléromètre.

Nbr d'essais	(F25-2,6)	(F25-2,2)	(F25-1,8)	(F25-1,4)
1	31	37	40	35
2	33	34	40	35
3	34	42	37	38
4	36	36	42	38
5	34	36	34	40
6	38	32	40	40
7	30	34	44	44
8	36	35	38	36
9	38	32	38	32
10	36	32	40	42
11	32	42	38	34
12	40	34	38	36
médiane	35	34,5	39	37
Rc₂₈ scléromètre	32	31	38	35
Rc a 28 j	34	32	38	34
nbr d'essais	(F15-2,2)	(F15-2,6)	(F15-1,8)	(F15-1,4)
1	46	37	36	34
2	39	38	34	32
3	44	36	34	36
4	34	34	36	36
5	34	35	34	34
6	38	43	36	42
7	35	36	36	34
8	35	35	40	34
9	36	35	32	42
10	38	32	38	36
11	40	34	33	35
12	36	35	40	38
médiane	37	35	36	35,5
Rc₂₈ scléromètre	35	32	33	32
Rc a 28 j	38	36	38	36

Les résultats obtenus par l'essai de scléromètre ne peuvent pas se substituer aux essais pour la détermination de la résistance du béton à la compression mais elle peut fournir une meilleure estimation pour cette résistance sur tout pour les bétons âgés. Dans notre cas pour toutes les compositions l'erreur varie de 0% à 19% au maximum.

Conclusion générale

Conclusion générale

Notre projet nous a aidé à prendre de l'expérience dans le domaine, il nous a appris beaucoup de nouvelles choses dans le domaine pratique, grâce à notre travail nous avons appris comment faire face aux problèmes que nous pouvons rencontrer dans ce domaine et leurs trouver des solutions et enfin nous avons pu voir comment se déroule le travail dans les laboratoires.

L'objectif de notre travail permis de comprendre la formulation, la caractérisation des bétons (à l'état frais et durci), l'influence de la granulométrie des agrégats et le rapport gravier sur sable sur la qualité de béton ordinaire.

D'après les résultats obtenus, on peut conclure que :

- La masse volumique des bétons de la formulation **I** ($D_{max}=25$) qui contienne des gros granulats est supérieure l'égerment à celle de la formulation **II** ($D_{max}=15$).
- toutes les compositions de béton présentent une consistance d'un béton fluide (très plastique jusqu'à fluide).
- pour toutes les compositions de béton, un maintien rhéologique est enregistré de $t=0\text{min}$ à $t=15\text{mn}$
- L'influence du diamètre maximale des granulats sur l'ouvrabilité est négligeable par contre la meilleure ouvrabilité est obtenue l'orque le rapport $G/S=1.4$, quel que soit le diamètre maximale des granulats.
- Le comportement des bétons élaborés avec un $D_{max} = 25 \text{ mm}$ offre une meilleure résistance mécanique a la compression avec un rapport $G/S = 1.8$ et le comportement des bétons élaborés avec un $D_{max} = 15 \text{ mm}$ montrent une stabilité de résistance mécanique même si le rapport G/S varie et cela due a l'optimisation de dosage en ciment.
- Le développement de la résistance mécanique a la compression entre 7 jours et 28 jours est varie entre 40 et 50% et Cela est dû au phénomène d'hydratation du ciment qui provoque l'évolution de la compacité de béton avec le temps.
- Toutes les bétons étudiés, présente une stabilité des valeurs de la résistance a la traction par flexion.
- la présence des G3/8, G8/15 et G15/25 dans la formulation I donne une vitesse élevée par rapport à la formulation II.
- Les résultats obtenue par l'essai de scléromètre ne peuvent pas se substituer aux essais pour la détermination de la résistance du béton a la compression mais elle peut fournir une meilleure estimation pour cette résistance sur tout pour les bétons âgés.

Partie annexe





BÉTONS

**Machine d'essai de compression
nouvelle génération de capacité
3000 kN pour essais sur cylindres,
cubes, agglomérés et briques**

Réf : C0086FN

Classe A selon NF EN 12390-4

CARACTERISTIQUES GENERALES

- Bâti à haute rigidité à 4 colonnes avec usinage spécial du vérin et de la rotule qui permettent: un auto alignement du plateau supérieur, un alignement des éléments, une limitation du mouvement du plateau supérieur (évalués au moyen d'un corps d'épreuve avec jauges de déformation) conformément à la norme NF EN 12390-4.
- Lignes pour le centrage des éprouvettes.
- Dureté des plateaux : 60 HRC.
- Planéité : < 0,03 mm.
- Distance entre plateaux pour essai sur blocs, agglomérés et briques : 283 mm.
- Dimensions des plateaux de compression: 510 x 320 x 50 mm.
- Distance entre plateaux pour essai sur cubes et cylindres : 336 mm.
- Dimensions des plateaux de compression pour cubes et cylindres: 287 mm x 60 mm.
- Course du piston : 60 mm.
- Livrée avec jeu de cales complet pour réaliser les essais sur cubes de hauteur 10 cm, 15cm et 20 cm et sur cylindres 16x32 et 11x22.



Tél +33(0)1 49 48 94 50 - Fax +33(0)1 40 11 12 46 - contact@controlab.fr
21 rue de Clichy 93584 St-Ouen Cedex - FRANCE - www.controlab.fr

Photos et document non contractuels.



GRANULATS



Tamiseuse de laboratoire à vibrations électromagnétique pour tamisage à sec ou humide des tamis Ø 200 à 315 mm

Réf : D0407.1

CARACTERISTIQUES

- Convient pour 11 tamis Ø 200 mm et 250 mm ou 9 tamis Ø 315 mm.
- Assure un tamisage particulièrement performant grâce à un mouvement vibratoire de l'embase assurant un déplacement tridimensionnel de l'échantillon sur toute la surface des tamis.
- Une amplitude de vibration réglable.
- Un compteur numérique, indispensable pour des analyses reproductibles, indiquant le temps fixé avec précision.
- Minuterie programmable de 0 à 999 min, par pas de 1 min.
- Possibilité de fonctionnement en mode continu ou interrompu (temps de pause de 1s entre 2 phases actives de tamisage de durée réglable de 2 à 35 s).
- Puissance: 600 W.
- Livrée avec traverse et molettes de fixation.
- Alimentation : 230 V 50 Hz, 1 Ph.
- Dimensions : 380 x 440 x 1 080 mm.
- Poids : 42 kg.

Tél +33(0)1 49 48 94 50 - Fax +33(0)1 40 11 12 46 - contact@controlab.fr
21 rue de Clichy 93584 St-Ouen Cedex - FRANCE - www.controlab.fr





GRANULATS

**Machine micro Deval
avec protection phonique**

Réf : A0078TPS

Répond aux normes:
NF EN 1097-1, EN 13450,
NF P18-572, NF P18-576

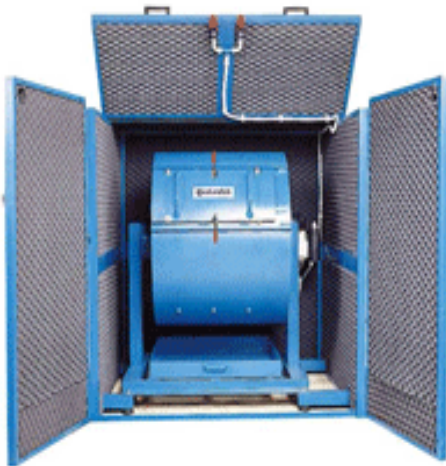
CARACTERISTIQUES

- Machine Micro-Deval complète pour la mesure de la qualité des granulats selon la norme NF EN 1097-1 et la mesure du coefficient de friabilité des sables.

L'équipement comprend:

- Un bâti supportant deux arbres horizontaux .
- 4 jarres en acier inox Z 2 CN 18-10 (dia 200 mm, L 154 mm).
- 20 Kg de billes en acier inox Z 30 C 13, ø 10mm conformes à la norme P18-572.
- Un moteur électrique assurant une rotation des cylindres de 100 tr/min +/- 5 tr/min.
- Une horloge pour la programmation du temps de rotation des cylindres et l'arrêt automatique en fin de cycle.
- Une grille de protection, un caisson d'insonorisation et un système de sécurité électrique selon norme EN.
- Une alimentation: 220-240 V, 60 Hz monophasée.
- Puissance électrique: 850 W.





GRANULATS

**Machine Los Angeles
avec caisson
d'isolation phonique**

Réf : A0077TP

Répond aux normes
EN 1097-2, EN 12697-17,
EN 12697-43 / ASTM C131
NF P18-573 / UNE 83116
AASHTO T96 / CNR N.34 / NLT 325



CARACTERISTIQUES

L'équipement comprend:

- Un cylindre creux de 711 mm de diamètre intérieur supporté par un double arbre de rotation
- 12 boulets sphériques de 47 mm de diamètre en acier Z 30 C13,
- Un moteur électrique assurant une rotation du cylindre de 30 à 33 tr/min,
- Un bac permettant de recueillir les matériaux à la fin de l'essai,
- Un système de fermeture rapide,
- Un compte-tours assurant l'arrêt du moteur en fin de cycle,
- Une cage de protection et un système de sécurité électrique selon les directives CE,
- Une alimentation : 220 V - 50 Hz - monophasée,
- Dimensions LxPxH: 1180x1110x1250mm.



BÉTONS
Essais sur béton frais



Cône d'Abrams en acier galvanisé à fixation rapide et à potence

Réf : C0150.2

Selon NF EN 12350-2, NF EN 12382, ISO 1920-2.

AVANTAGES

- Lecture directe de l'affaissement.
- Ensemble complet.
- Acier galvanisé.
- Grâce à ses poignées de transport et ses fixations rapides, ce cône et ses accessoires sont portables d'une seule main

CARACTERISTIQUES

- Dimensions : 480 x 410 x 340 mm.
- Poids : 13 kg.

Cet ensemble comprend:

- Une plaque d'appui avec ses 2 poignées.
- Un cône normalisé avec 2 poignées, et pattes d'attache.
- Un système de potence.
- Une tige de piquage de L 600 mm - Ø 16 mm.
- Un entonnoir.
- Une main écope.



Tél +33(0)1 49 48 94 50 - Fax +33(0)1 40 11 12 46 - contact@controlab.fr
21 rue de Clichy 93584 St-Ouen Cedex - FRANCE - www.controlab.fr





GRANULATS

Agiteur avec protection

Réf : T0050MP

Norme : EN 933-8.

CARACTERISTIQUES

- Machine électrique à secouer les éprouvettes d'équivalent de sable selon NF EN 933-8 avec capot de protection .
- Agitation de 90 cycles en 30 secondes.
- Amplitude du mouvement: 20 cm,
- Minuterie réglable intégrée.
- Arrêt automatique en fin de cycle,
- Système d'accroche rapide de l'éprouvette.
- Carter de protection avec fenêtre en plexiglass et système de sécurité électrique conforme aux normes de sécurité en vigueur.
- Alimentation: 220 V - 50 Hz - monophasée.
- Dimensions: L x l x H: 70 x 35 x 42 cm.
- Poids : 30kg.

Controlab c'est aussi des appareils pour :

Essais sur ciments, essais sur chaussées, essais sur granulats, essais sur bétons, essais sur sols, autres essais (conductivité thermique, inflammabilité, fumées, environnement, eau, air, génie mécanique ...) et toute une gamme complète de logiciels.





Tél +33(0)1 49 48 94 50 - Fax +33(0)1 40 11 12 46 - contact@controlab.fr
21 rue de Clichy 93584 St-Ouen Cedex - FRANCE - www.controlab.fr

Partie Annexe

Bibliographies

- [1] Le béton ; F. Gabrysiak - Matériaux - Les Bétons - Chapitre 4
- [2] Dupain.r et lanchon.r : granulats, sols, ciment et béton paris : ed educativre,p276
- [3] Aitcin.p.cet baron.j : béton haute performance, ed eyrolles, 1996
- [4] CIM béton : le ciment et ses application , fiche technique 2000
- [5] Bression.j : prévision des résistances, paris tech batin . trav.public, 1980
- [6] Dr. Ir. P. Boeraeve Cours de Béton armé.
- [7] SCIENCE DES MATERIAUX DE CONSTRUCTION. Responsable : Dr. Ghomari fouad , Préparé par Melle Lechgueur
- [8] Technologie du béton, Edition 1994, Groupement Belge du Béton
- [9] ABC du ciment et du béton, FEBELCEM.
- [10] DREUX. G et FESTA. J: «Nouveau guide du béton et ses constituants» P 409 édition Eyrolles 1998.
- [11] Neville .A.M : propriétés des bétons, traduit par le CRIB, Ed . eyrolle paris 1992. 130p]
- [12] étude expérimentale et statistique de l'influence de l'affaissement et l'air occlus sur la résistance à la compression – S.M.A. boukil hacene ; page 89