

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITÉ IBN KHALDOUN DE TIARET



FACULTÉ DES SCIENCES APPLIQUÉES
DÉPARTEMENT DE GÉNIE CIVIL

Mémoire de fin d'études en vue de l'obtention du diplôme de Master

Spécialité : Génie Civil

Option : Structures

Présenté par : DAOUDI Djillali

FATMI Brahim

Sujet du mémoire

**Caractérisation des granulats pour la formulation d'un
béton**

Soutenu publiquement le 14/09/2021. devant le jury composé de :

M. T. HASSAINE DAOUADJI.....Président
M. K. BOUAKKAZ.....Rapporteur
M. A. SAOULA.....Examineur
M. M. ZIDOUR.....Examineur
M. T. BENSATTALA.....Examineur
M. C.OUADDAH.....Co -Encadreur

PROMOTION : 2020/2021

RÉMÉRCIEMENTS

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

Nous tenons aussi à exprimer notre profonde gratitude au **Dr**
BOUAKKAZ KHALED et au **Dr CHAIB OUADDAH** d'avoir accepté
de nous encadrer pour l'élaboration et le suivi de ce travail.

Nos vifs remerciements vont également aux membres du jury , pour
l'intérêt qu'ils ont porté à notre recherche en acceptant d'examiner
notre travail Et de l'enrichir par leurs propositions.

Je remercie également tout particulièrement Ingénieur **KIRÉD Ayoub**
Abdelnour pour l'aide précieuse de à réaliser ce travail.

Enfin, que toutes celles et ceux qui, de près ou de loin nous ont
généreusement offert leurs encouragements à l'élaboration de ce
travail,

trouvent ici l'expression de notre profonde sympathie.

Dédicace

A mes chers parents, pour tous leurs sacrifices, leur amour,
leur tendresse, leur soutien
et leurs prières tout au long de mes études,
A mes chères sœurs Saliha, khadidja et Hadjira
pour leurs encouragements permanents, et leur soutien moral
A mes chers amis Kired ayoub, fatmi brahim,
Djelouat souhaib, Tiaiba belkacem,
Hafes ayoub, koudri amine pour leur appui
et leur encouragement.

Dédicace

Merci Allah (mon dieu) de m'avoir donné la capacité d'écrire et de

réfléchir, la force d'y croire,

la patience d'aller jusqu'au bout du rêve

A mes chers parents, et sœurs.

Aux familles Fatmi, Daoudi et Benaichoche

A tout le groupe GC 02.

Fatmi

Résumé

Résumé

Le béton peut être utilisé dans divers domaines tels que dans la construction ou l'art. A la fois résistant et durable, il répond à de nombreux critères de performance, ce qui explique son omniprésence actuelle. Sa composition variant en fonction des différents constituants présents dans le mélange, il est dorénavant possible de fabriquer le béton de vos envies.

Ce travail s'inscrit dans l'optique de la valorisation des granulats pour la fabrication de nouveaux bétons hydrauliques.

Cette étude expérimentale expose les résultats de caractérisations physiques et mécaniques des granulats naturels , pour préparer un béton hydraulique ainsi que l'influence de ces granulats sur les propriétés du béton frais et durci .

En utilisant une formulation Dreux Gorisse et en la comparant à une formulation empirique.

-Mots clés : Béton, formulation, caractérisations des granulats, résistance.

Abstract

Concrete can be used in various fields such as construction or art. Both resistant and durable, it meets many performance criteria, which explains its current ubiquity. Its composition varying according to the different constituents present in the mixture, it is now possible to manufacture the concrete of your desires

“This work is part of the optics of the valorization of aggregates for the manufacture of new hydraulic concretes.

This experimental study presents the results of physical and mechanical characterizations of natural aggregates, to prepare hydraulic concrete as well as the influence of these aggregates on the properties of fresh and hardened concrete.

Using a Dreux Gorisse formulation and comparing it to an empirical formulation.

-Keywords: Concrete, formulation, characterizations of aggregates, resistance.

الملخص

يمكن استخدام الخرسانة في مجالات مختلفة مثل البناء أو الفن. كلاهما مقاوم ودائم ، فهو يلبي العديد من معايير الأداء ، مما يفسر انتشاره الحالي في كل مكان. يختلف تكوينه وفقاً للمكونات المختلفة الموجودة في الخليط ، فمن الممكن الآن تصنيع الخرسانة حسب رغباتك.

"هذا العمل هو جزء من البصريات لتقييم الركام لتصنيع خرسانة هيدروليكية جديدة. تعرض هذه الدراسة التجريبية نتائج التوصيفات الفيزيائية والميكانيكية للركام الطبيعي لتحضير الخرسانة الهيدروليكية وتأثير هذه الركام على خواص الخرسانة الطازجة والمتصلبة.

باستخدام صيغة Dreux Gorisse ومقارنتها بصيغة تجريبية.

- الكلمات الرئيسية: الخرسانة ، الصياغة ، توصيفات الركام ، المقاومة.

Table des Matières

SOMMAIRE

Résumé	
Sommaire	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Liste des abréviations	
Introduction générale	1

Chapitre I : Généralités sur les granulats

I.1 Introduction	4
I.2 Définition	4
I.3. Elaboration des granulats	4
I.4. Les différents types de Granulats	6
I.4.1. Les Granulats Naturels	6
I.4.2. Les Granulats Artificiels	7
I.4.3. Les Granulats Recyclés	9
I.5. Caractéristiques des Granulats	10
I.5.1. Les Caractéristiques de Fabrication.....	10
I.5.1.1. Analyse Granulométrique	10
I.5.1.2. Les Caractéristiques Géométriques des Granulats	11
I.5.2. Caractéristiques Intrinsèques	13
I.5.2.1 Pétrographie	13
I.5.2.2. Caractéristiques Physiques	13
I.5.3. Caractéristiques Chimiques	16
I.5.4. Caractéristiques Mécaniques	17
I.5.5 Propriétés Thermiques des Granulats	18

Chapitre II : Généralités sur le béton

II.1. Historique de béton	20
II.2. Généralité.....	20
II.3. Les composants.....	21
II.3.1. Le ciment.....	21
II.3.2. Les granulats: XPP 18-540.....	23
II.3.3. L'eau de gâchage	23
II.3.4. Les adjuvants	23
II.4. Propriétés du béton	24

II.4.1. Propriétés du béton frais	24
II .4.1.1. Affaissement au cône d'Abrams	25
II .4.1.2. La masse volumique du béton frais	26
II.4.2. Propriété du béton durci	26
II.4.2.1. Résistance à la compression	26
II.4.2.2. Resistance à la traction par flexion	28
II.5. Les domaines d'emploi du béton	29
II.5.1. Le bâtiment	29
II-5.2. Les travaux publics	29
II.5.2.1. Les ponts	29
II.5.2.2. Les tunnels	29
II.5.2.3. Les barrages	29
II.5.2.4. Les routes	29
II.5.2.5. Autres ouvrages	30
II.6. Les différents types du béton	30
II.6.1. Béton ordinaire	30
II.6.2. Béton Hautes Performances	31
II.6.3 . Béton auto plaçant	31
II.7 . Les différentes de formulation	31
II.7.1. Méthode de bolomey	31
II.7.2. Méthode de Faury	32
II.7.3. Méthode Dreux-Gorisse	32
II.7.4. Méthode de Valette	33
II.8. Conclusion	33

Chapitre III : Partie expérimentale

III.1. Introduction	35
III.2 . Matériaux utilisés	35
III .2.1. Le sable	35
III .2.1 .1. L'analyse granulométrique NF P 18-560	35
III .2.1 .2. Module de finesse NF P 18 304	36
III .2.1 .3.La masse volumique absolue et apparente NF P 18-555	37
III .2.1 .4.Equivalent de sable NF P 18-597.....	37
III.2.2. Le gravier.....	39

III.2.2. 1. Analyse granulométrique NF P18-560	39
III.2.2. 2. Les masses volumiques apparentes et absolues NF EN 12620	40
III.2.2. 3. Coefficient d'absorption (NF P18-555)	41
III.2.2. 4. Essai los angeles : NA 458/1990	42
III.2.2. 5. Essai micro-Deval : NA 458/1990	43
III.2.3. Le ciment.....	44
III.2.4. L'eau de gâchage	44
III.3. Formulation de béton	45
III.3.1. La formulation selon la méthode EMPIRIQUE	45
III.3.2. La formulation selon la méthode de Dreux-Gorisse	46
III.4. Préparation des bétons ordinaire	51
III.5. Conservation des éprouvettes	52

Chapitre IV : Résultats et discussions

IV.1. Introduction	54
IV.2. Résistance mécaniques à la compression.....	54
IV.2.1. Méthode Empirique.....	55
IV.2.2. Méthode DREUX-GORISSE	58
IV.3. Comparaison entre les résultats des bétons	61
IV.4. Conclusion	62
CONCLUSIONS GENERALES.....	64
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	66
Annexes.....	69

Liste des figures

Liste des figures

Figure I.1 : Etapes de fabrication des granulats.....	5
Figure I.2: Photos des différents types de granulats.....	6
Figure I.3: Les différentes catégories de déchets de chantiers	9
Figure I.4 : Tamis d'analyse granulométrique.....	11
Figure I.5: forme d'un granulat.....	12
Figure I.6 : équivalent de sable.....	15
Figure II.1: les constituants de béton.....	21
Figure II.2 : Essai d'affaissement au cône d'Abram	25
Figure II.3 : Essai de compression	27
Figure II.4: Essai de traction par flexion.....	28
Figure II.5: Les domaines d'emploi du béton.....	30
Figure III .1 : la courbe granulométrique du sable.....	36
Figure III .2 : Essai d'équivalent de sable.....	38
Figure III .3 : la courbe granulométrique du gravier.....	40
Figure III .4: Essai de la masse apparent et absolue de gravier.....	40
Figure III .5: Essai de coefficients d'absorptions des graviers.....	41
Figure III .6: Essai los Angeles.....	42
Figure III .7: Appareil Micro Deval.....	43
Figure III .8: sace de lave du ciment.....	44
Figure III .9: Dosages béton.....	45
Figure III .10: une gâchée de béton.....	46
Figure III .11: Essai de cône d'ABRAMS.....	47
Figure III .12: Courbe granulométrique.....	48
Figure III .13: vérification de l'état des moules.....	51
Figure III .14: Préparation des bétons ordinaire.....	52
Figure III .15: Conservation des éprouvettes.....	52
Figure IV.1 : éprouvette en cours de l'écrasement.....	54
Figure IV-2 : courbe de résistance à la compression (R-ME1).....	55
Figure IV-3 : histogramme de résistance a la compression (R-ME1)	55
Figure IV-4 : courbe de résistance à la compression –(R-ME2).....	56
Figure IV-5 : histogramme de résistance a la compression (R-ME2).....	56

Figure IV.6: Comparaison des résistances à la compression des bétons (R-ME1-R-ME2)..	57
Figure IV.7: histogramme de résistance a la compression (R-ME1-R-ME2)	57
Figure IV.8 : courbe de résistance à la compression –(R-DG1)	58
Figure IV.9 : histogramme de résistance a la compression (R-DG1)	58
Figure IV.10 : courbe de résistance à la compression –(R-DG2)	59
Figure IV.11 : histogramme de résistance a la compression (R-DG2)	59
Figure IV.12: Comparaison des résistances à la compression des bétons (R-DG1et R-DG2)	60
Figure IV.13: histogramme de résistance a la compression (R-DG1-R-DG2).....	60
Figure IV.14: Comparaison des résistances à la compression des bétons	61
Figure IV.15: histogramme de résistance a la compression	61

Liste des tableaux

Liste des tableaux

Tableau I.1: Séries de tamis employés pour la détermination du module de finesse du sable	11
Tableau II.1 : Les différents granulats	23
Tableau III.1 : L'analyse granulométrique de sable	36
Tableau III.2 : Essai d'équivalent de sable	38
Tableau III.3 : Résultats d'équivalent de sable	38
Tableau III.4 : L'analyse granulométrique de gravier de classe 8/15	39
Tableau III.5 : L'analyse granulométrique de gravier de classe 3/8	39
Tableau III.6 : les masses volumique des gravies	40
Tableau III.7 : les coefficients d'absorptions des graviers	41
Tableau III.8 : les étapes de l'essai los-Angeles	42
Tableau III.9 : étapes de l'essai Micro-Deval	43
Tableau III.10 : Composition chimique du ciment	44
Tableau III.11: Caractéristiques physiques du ciment.....	44
Tableau III.12: le volume des composants en (dm/m ³).....	50
Tableau III.13 : les composants en masse (kg).....	50
Tableau IV.1 : Résistance a la compression (R-ME1).....	55
Tableau IV.2 : Résistance a la compression (R-ME2)	56
Tableau IV.3 : Résistance a la compression (R-DG1)	58
Tableau IV.4 : Résistance a la compression (R-DG2)	59

Liste des abréviations

LISTE DES ABREVIATIONS

AFNOR : Association Française de Normalisation

EN : Norme Européenne définitive

NF : Norme Française

NF P : Norme Française applicable au bâtiment et génie civil

D ou D_{max} : Dimension maximale du plus gros granulaire de béton

d : Dimension de plus petit grain d'un mélange granulaire

Mf : Module de finesse des sables

A : Coefficient d'Aplatissement

P % : Porosité

W% : Teneur en eau

Ab % : Taux d'absorption d'eau

ES : Equivalent de sable

L_A : Coefficient Los Angeles

M_{DE} : Coefficient Micro-Deval

M : la masse du matériau

$M_{v\ app}$: Masse volumique apparente

$M_{v\ abs}$: Masse volumique absolue

Aff. : Affaissement au cône d'Abrams

G : coefficient granulaire

K : Terme correcteur

Y : coefficient de compacité de béton

Introduction générale

Introduction générale

La formulation des bétons suivant des conditions techniques importantes en améliorant les propriétés du béton telle que la fluidité, la résistance, la durabilité, etc. ces conditions affectent de manière significative la rhéologie des matériaux cimentaires à l'état frais, qui est directement relié avec le développement de la résistance, la durabilité des matériaux durcis. Néanmoins, pour profiter pleinement de ces avantages et ainsi choisir la meilleure solution permettant d'optimiser la formulation, il est nécessaire de connaître les caractéristiques des composants et leurs actions sur les propriétés des bétons. Par conséquent La conception d'un béton est extrêmement liée à l'environnement dans lequel il va être exposé durant sa durée de vie.

L'environnement peut être néfaste pour l'intégrité du matériau béton. des investigations expérimentales en laboratoire ont permis de mieux comprendre le phénomène . Ces derniers temps, Cette étude expérimentale expose les résultats de caractérisations physiques et mécaniques des granulats naturels , pour préparer un béton hydraulique .

L'Utilisation des granulats des matériaux pierreux de petites dimensions, produits par l'érosion ou le broyage mécanique (concassage) des roches dans la réalisation de béton. Ces matériaux inertes entrant dans la composition des bétons et mortiers 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. Il y a deux Intérêts d'utiliser des granulats dans le béton : le 1er économique : Diminution de la quantité de liant (ciment et addition) ; et le 2eme technique : Limitent les variations dimensionnelles dans le béton (les granulats sont plus rigide que la pâte de ciment). On distingue :

A) Granulats naturels :

a) Granulats roulés : ils sont les résultats de la désagrégation des roches par l'eau, le vent ou le gel. Ainsi ils se sont formés des dépôts sédimentaires de grains de grosseur allant du sable fin aux gros blocs, de natures minéralogiques différentes. Trois catégories de granulats roulés existent dans la nature : - Les granulats de rivière (d'oued). - Les granulats de mer. - Les granulats de dunes.

b) Granulats concassés (de carrières) : ils proviennent du concassage de roches dures (granits, porphyres, basaltes, calcaires durs...etc.). Ils sont caractérisés par un aspect anguleux à arrêtes vives.

B) Granulats artificiels : Ils proviennent de la transformation thermique des roches (exemple : laitier du haut fourneau) ou de démolition d'ouvrages. on distingue : les sables, les graviers, les cailloux, les galets et les moellons. Les dimensions soulignées sont celles de la série de base préconisée par la norme européenne (NF EN 933-2). On distingue les familles de granulats suivantes : — fillers 0/D où $D < 2$ mm avec au moins 70 % de passant à 0,063 mm ; — sablons 0/D où $D < 1$ mm avec moins de 70 % de passant à 0,063 mm ; — sables 0/D où $1 < D < 6,3$ mm ; — graves 0/D où $D > 6,3$ mm ; — gravillons d/D où $d > \text{et } D < 125$ mm ; — ballasts d/D où $d > 25$ mm et $D < 50$ mm.

CHAPITRE I :

Généralités sur les

granulats



I: Généralités sur les granulats:

I.1. Introduction :

Les granulats, tels que le sable les gravillons, pierre concassée etc..., sont des matériaux inertes qui constituent le squelette du béton. Dans la composition des bétons, il faut autant que possible, pour des raisons économiques et techniques, utiliser les matériaux locaux. En général, les sables et gravillons naturels alluvionnaires obtenus par criblage parfois avec concassage, sont satisfaisants, de même les roches éruptives ou sédimentaires concassés. Le recours à des granulats artificiels légers, qui sont des produits, tels que l'argile expansée, schistes expansés ou laitiers concassés, permet de formuler des bétons de densité réduite. D'autre part les granulats ne sont pas réellement inertes et leurs propriétés physiques, thermiques et dans certains cas, chimiques influencent les performances des bétons. Le bon choix des granulats confère au béton une plus grande stabilité sur le plan volumique et meilleure durabilité.

La consommation d'agrégats est particulièrement importante dans les grands travaux publics, les infrastructures et les réseaux de toutes sortes. Parce qu'ils sont un point indispensable à l'économie nationale, les agrégats doivent être considérés à leur juste valeur dans la planification économique et l'aménagement du territoire. Les agrégats font partie des richesses naturelles au même titre que la forêt, l'agriculture, l'eau...etc [1].

I.2. Définition :

La plupart des définitions relatives aux granulats sont empruntées du texte de la norme XP P 18-540 [2]. Un granulats est un ensemble de grains compris entre 0 et 125 mm, destiné notamment à la confection des mortiers, des bétons, des couches de fondation et de base, de liaison et de roulement des chaussées, des assises et ballasts de voies ferrées, des remblais [1].

I.3. Elaboration des granulats :

La production des granulats nécessite deux principaux types d'opérations : l'extraction et le traitement.

L'extraction s'effectue dans des carrières qui utilisent des techniques différentes selon qu'il s'agit de roches massives ou de granulats alluvionnaires meubles, soit à sec, soit en milieu hydraulique.

- Le traitement est réalisé dans des installations de traitement généralement situées sur le site



de la carrière. Parfois les installations peuvent se situer à un endroit différent du site d'extraction.

Dans tous les cas, on retrouve les cinq mêmes principales étapes de production :

- décapage des niveaux non exploitables,
- extraction des matériaux,
- transfert sur les lieux de traitement,
- traitement des granulats pour obtenir les produits finis,
- remise en état du site exploité.

- Le décapage (découverte) : Découvrir, c'est retirer les terrains situés au-dessus des niveaux à exploiter :

- terre végétale,
- roches plus ou moins altérées,
- niveaux stériles[2].

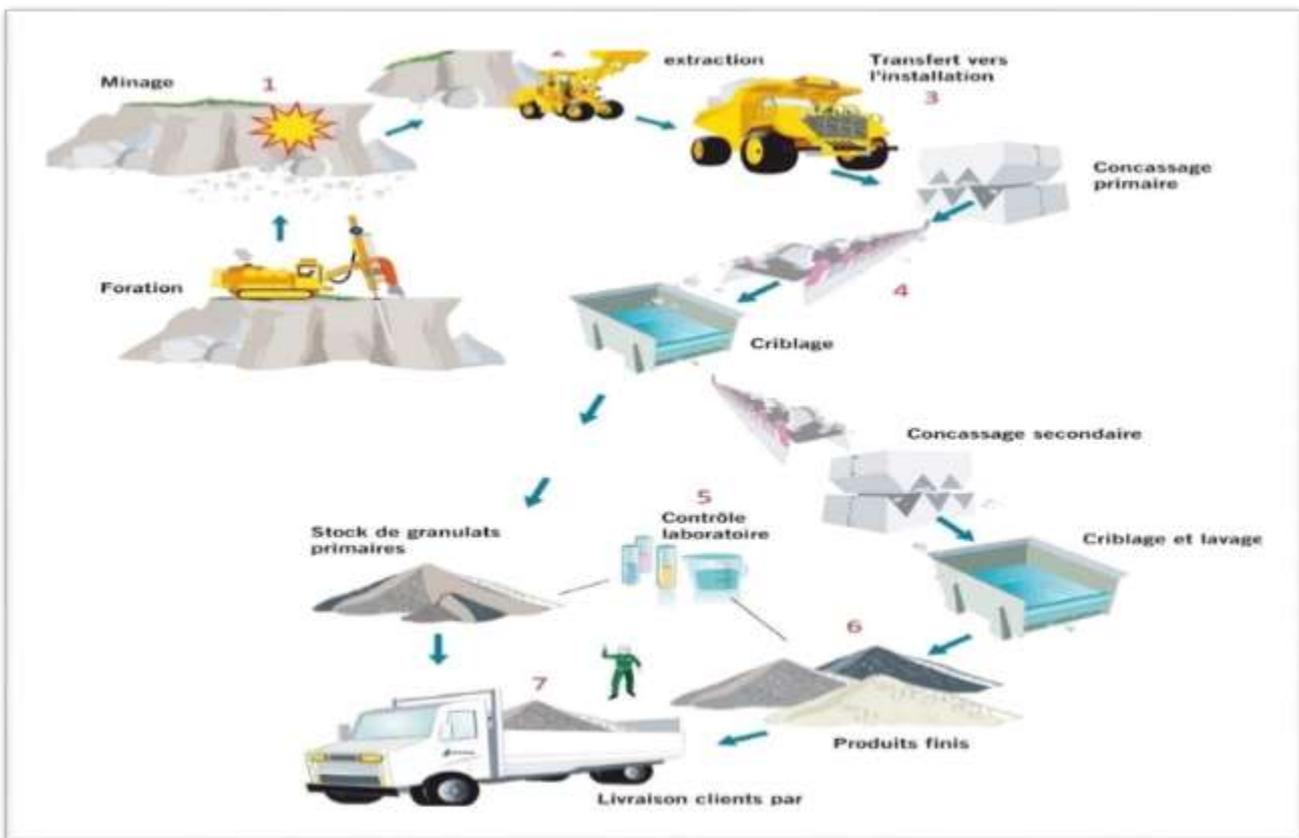


Figure I.1 : Etapes de fabrication des granulats.



I.4 . Les différents types de granulats :

Les granulats utilisés pour le béton sont d'origine naturelle, artificielle ou recyclée :

- «Naturels», lorsqu'ils sont issus de roches meubles ou massives et qu'ils subissent aucun traitement autre que mécanique (réduction de dimensions) ;
- «Artificiels», lorsqu'ils proviennent de la transformation à la fois thermique et mécanique de roches ou de minerais ;
- «Recyclés», lorsqu'ils proviennent de la démolition d'ouvrages ou lorsqu'ils sont réutilisés[3].

I.4.1. Les granulats naturels :

Les granulats naturels, proviennent de deux sources : les carrières de roches massives et les gisements alluvionnaires. Géologiquement, les granulats naturels proviennent de trois natures de roches :

- éruptives : granites, basaltes porphyres,
- sédimentaires : calcaires, grès, quartzites,
- métamorphiques : gneiss , amphibolites

Les compositions minéralogiques font apparaître trois familles : les roches calcaires, les roches siliceuses et les silico-calcaires [3].



Figure I.2: Photos des différents types de granulats.

**▪ Les Granulats Alluvionnaires:**

Dits roulés, dont la forme a été acquise par érosion. Se sont surtout des dépôts alluvionnaires trouvés dans un lit de rivière (et en mer éventuellement) . Ces granulats sont lavés pour éliminer les particules argileuses, et criblés pour obtenir différentes classes de granulats [4] .

▪ Les Granulats de Carrières:

Les granulats sont obtenus par abatage et concassage, suivi des opérations de criblage ou tamisage pour sélectionner des grains à une dimension précise. Les granulats concassés présentent des caractéristiques qui dépendent d'un grand nombre de paramètres : origine de la roche, régularité du banc, degré de concassage... .

Ce type de granulats prouve une très bonne liaison avec la pâte de ciment à cause de leur texture de surface et leur rugosité. D'autre part ils nécessitent plus d'eau pour une maniabilité donnée et ceci est due à leurs angularités et donc à leurs surfaces spécifiques étendues [5] .

I.4.2. Les granulats artificiels :

Dans cette catégorie se rangent des granulats provenant de la transformation thermique de roches, de minerais et de sous produits industriels transformés.

- Sous-Produits et Déchets de L'industrie :**a) Le Laitier des hauts fourneaux :**

Le laitier de haut fourneau est le principal sous-produit de l'industrie sidérurgique, il est constitué de toutes les parties minérales contenues dans la charge du haut fourneau (minerai et ajouts) qui subsistent après l'extraction du fer [6].

b) Le laitier cristallisé concassé :

Est obtenu par refroidissement lent à l'air libre, en fosse, il a l'aspect et les propriétés d'une roche magmatique. Il peut être plus ou moins poreux, plus le refroidissement est lent et en couches minces, plus le laitier est cristallisé et compact . Il possède une masse volumique apparente $>1250 \text{ Kg/cm}^3$, de composition chimique constituée essentiellement de chaux, magnésie, silice et alumine [7] .

**c) Le laitier expansé ou bouleté :**

Le laitier de coulée subit un traitement spécial : une puissante injection d'eau et une action mécanique. Les particules de laitiers sont alors projetées à plusieurs mètres qui subissent une trempe à l'air pendant la durée de leurs trajets .

Le laitier expansé à une masse volumique apparente comprise entre 800 et 950 kg/m³ [6] .

d) Les Scories d'aciérie :

Ces laitiers sont des sous produits de la transformation de la fonte hématite en acier. Traité comme les laitiers de haut fourneau, ce matériau est handicapé par une déferrisation insuffisante qui conduit à une masse volumique élevée d'environ 3300 kg/m³ [7].

e) Les Schistes houillers :

L'industrie minière en général et les houillères en particulier produisent des quantités considérables de matériaux stériles. Ces déchets trouvent des applications importantes dans des terrassements routiers comme granulats [7] .

f) Granulats à hautes caractéristiques élaborés industriellement :

Il s'agit de granulats élaborés spécialement pour répondre à certains emplois, notamment granulats très durs pour renforcer la résistance à l'usure de dallages industriels (granulats ferreux, carborundum...) ou granulats réfractaires [7].

g) Granulats allégés par expansion ou frittage :

Ces granulats ont des caractéristiques de résistance, d'isolation et de poids très intéressants. Les plus usuels sont l'argile ou le schiste expansé, leurs masses volumiques varient entre 400 et 800 kg/m³ selon le type et la granularité. Ils permettent de réaliser aussibien des bétons de structure que des bétons présentant une bonne isolation thermique [6] .



I.4.3. Les granulats recyclés :

Le granulat recyclé est le granulat résultant de la transformation de matériaux inorganiques antérieurement utilisés en construction. Dans cette catégorie se rangent des granulats, comme le béton concassé, le fraisât d'enrobés bitumineux...

a) Les déchets de chantier :

Les déchets de chantiers sont composés essentiellement de déchets provenant des chantiers du bâtiment et des travaux publics et des activités industrielles consacrées à la fabrication de matériaux de construction. Ils sont définis comme étant des déchets inertes qui ne se décomposent pas, ne brûlent pas, ne produisent aucune autre réaction physique ou chimique, ne sont pas biodégradables et ne détériorent pas d'autres matières avec lesquelles ils entrent en contact, d'une manière susceptible d'entraîner une pollution de l'environnement ou de nuire à la santé humaine [8] .

Les déchets admissibles sont : les bétons, les pierres, les tuiles, les céramiques, les briques, les carrelages ainsi que les enrobés bitumineux sans goudron. L'amiante est considérée comme déchets inertes mais son utilisation est interdite pour raison de santé

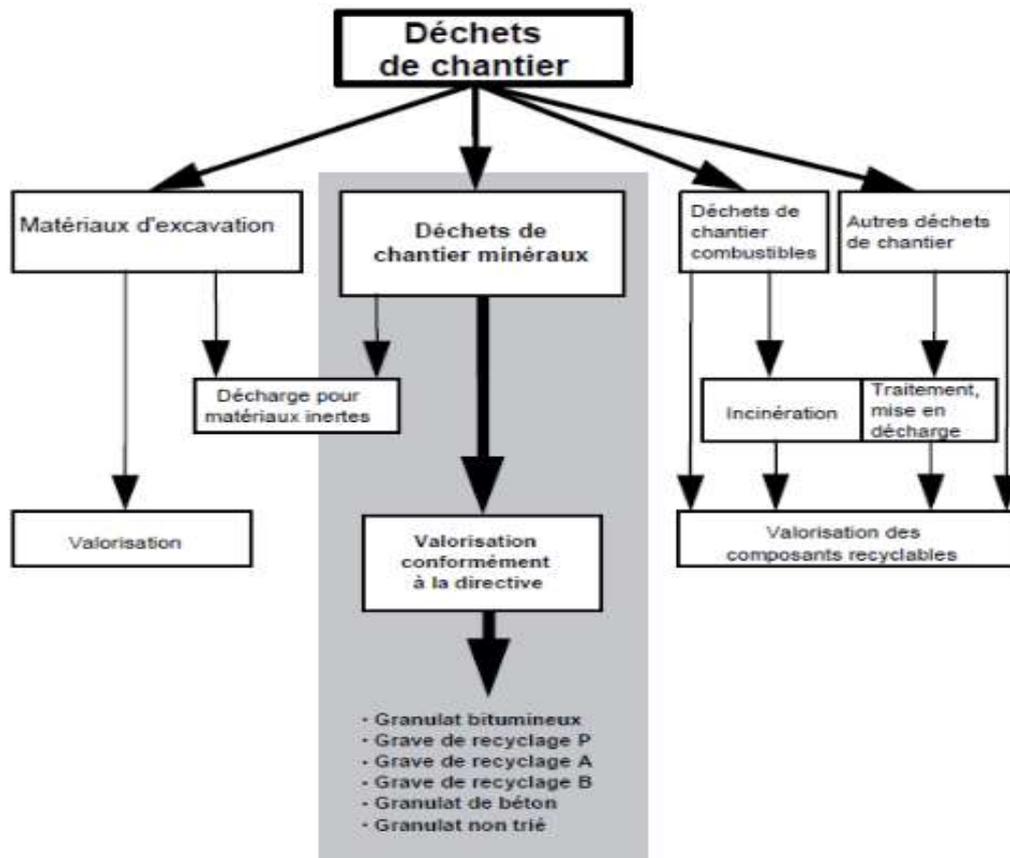


Figure I.3: Les différentes catégories de déchets de chantiers[9].

**b) Les déchets de démolition :**

Les déchets de démolition sont une sous catégorie des déchets du bâtiment qui regroupent tous les matériaux de déconstruction ou de réhabilitation. Comme le béton constitue presque 75 % en poids de tous les matériaux de construction, il s'en suit donc que les fortes proportions des rebuts de démolition soient du béton [10].

I.5. Caractéristiques des granulats :

Les granulats utilisés dans les travaux de bâtiment et de génie civil doivent répondre à des impératifs de qualité et à des caractéristiques propres à chaque usage. Les propriétés des granulats sont liées aux caractéristiques intrinsèques des roches originales et aux caractéristiques de fabrication [3].

Le prélèvement d'un échantillon pour la caractérisation doit se faire conformément aux normes "NF P 18-553 et EN 932-1" relatives au prélèvement par "échantillonneur" ou par "quartage" .

I.5.1. Les caractéristiques de fabrication :**I.5.1.1. Analyse granulométrique :**

Définition :

On appelle analyse granulométrique l'opération permettant de déterminer :

- la granulométrie : c'est à dire la détermination de la grandeur des grains,
- la granularité : c'est à dire la répartition dimensionnelle des grains dans un granulat.

L'analyse granulométrique consiste à fractionner le matériau en différentes coupure au moyen de tamis. Les masses des différents refus sont rapportés à la masse initiale sèche du matériau. Les pourcentages ainsi obtenus sont exploités sous forme de graphique (courbe d'analyse granulométrique).

On désigne par classe granulaire la fourchette de calibres comprenant 'le plus petit' et 'le plus gros' grain d'un même granulat d/D .



Le tamisage est l'opération qui consiste à séparer un matériau en différentes fractions au moyen d'une série de tamis de caractéristiques connues.

On appelle tamisât (ou passant) la partie de matériau qui passe au travers du tamis et refus celle qui y est retenue [11].

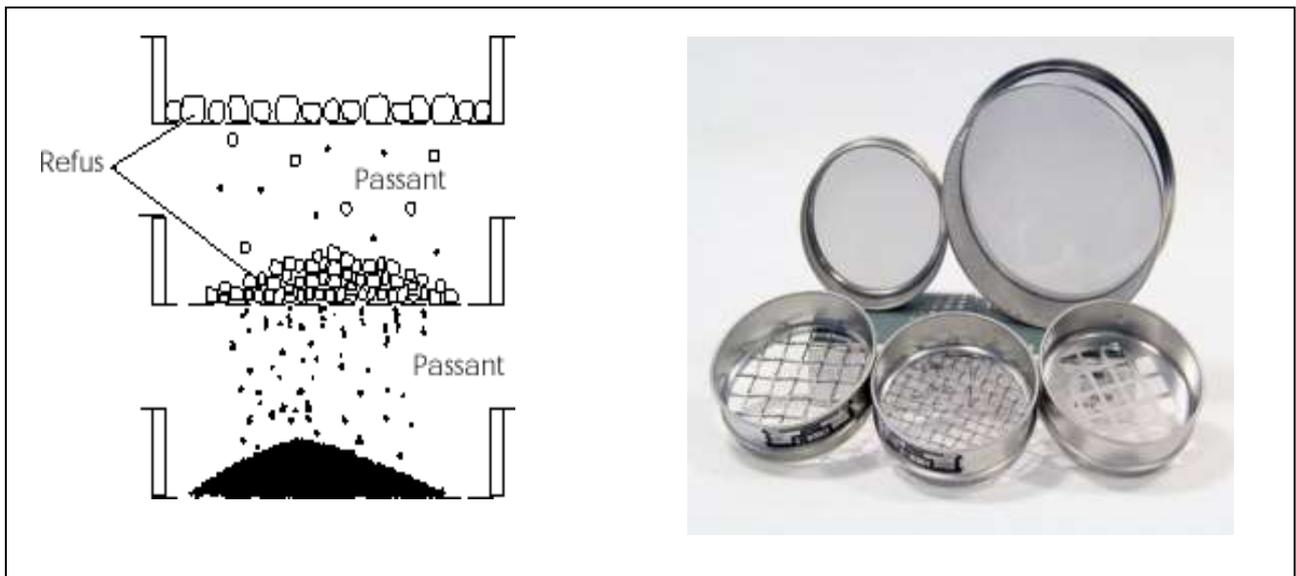


Figure I.4 : Tamis d'analyse granulométrique.

I.5.1.2. Les caractéristiques géométriques des granulats :

Les granulats peuvent avoir des formes sphériques, cubiques, nodulaires, plates ou allongées. Ces caractéristiques, ainsi que l'état de surface des grains influent sur l'aptitude à lamise en place du béton frais, la résistance mécanique et durabilité du béton durci.

- Module de finesse (MF):

Le module de finesse est un coefficient permettant de caractériser l'importance des éléments fins dans un granulat. Il est égal au 1/100 de la somme des refus cumulés exprimée en pourcentages sur une série de tamis. Le Tableau I.1 présente la série des tamis employés pour la caractérisation du module de finesse selon la norme prise en compte [3 ,12].



01	Tamis: 0,16 - 0,315 - 0,63 - 1,25 - 2,5 et 5 mm.	"NF P 18-540"
02	Tamis: 0,125 - 0,25 - 0,5 - 1 - 2 et 4 mm.	"EN 12620"

Tableau I.1 : Séries de tamis employés pour la détermination du module de finesse du sable.

Un bon sable pour béton doit avoir un module finesse d'environ 2,2 et 2,8. Au dessous, le sable est à majorité d'éléments fins et très fins, ce qui nécessite une augmentation du dosage en eau, au dessus, le sable manque de fins et le béton y perd en ouvrabilité [12].

-La forme :

Une bonne forme des granulats est essentielle pour éviter des chutes de résistance des bétons par suite du risque d'apparition de plans de glissements potentiels.

La forme d'un élément granulométrique est définie par ses trois caractéristiques dimensionnelles principales.

l'épaisseur (E), la grosseur (G) et la longueur (L).

Pour différents usages, il est conseillé d'utiliser des granulats plus isotropes possibles. Une forme assez ramassée des granulats est très recommandée pour une utilisation dans le béton [3].

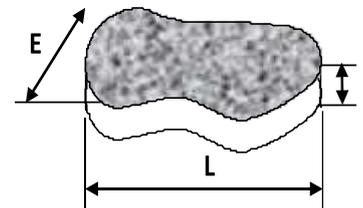


Figure I.5: forme d'un granulat.

- Le coefficient d'aplatissement "A" :

Le coefficient d'aplatissement caractérise la forme des granulats dont la dimension est comprise entre 4 et 80 mm à partir de (G) et (E), est par définition le pourcentage d'élément tel que $G/E > 1,58$. Le coefficient d'aplatissement est déterminé selon la Norme NF EN 933-3.

Un gravillon de forme défavorable (plate ou allongée) présente un coefficient d'aplatissement élevé (20 à 40 %). Un gravillon de forme favorable (sphérique, cubique, nodulaire) présente un coefficient d'aplatissement généralement compris entre 5 et 20 % [13].



- Angularité :

L'angularité des granulats est conventionnellement estimée par les valeurs des indices et rapport de concassage. Mais peut être mesurée aussi par le temps d'écoulement d'un certain volume de granulats à travers un orifice donné caractérisant ainsi un *coefficient d'écoulement des gravillons*. Il en va de même pour les sables, la méthodologie étant la même, seul diffère les dimensions de l'appareillage de mesure [3].

I.5.2 . Caractéristiques intrinsèques :

I.5.2.1. Pétrographie :

La description pétrographique consiste à déterminer la nature des différents minéraux, leur abondance relative, leur degré d'altération, leur taille et leur agencement, ainsi que l'existence éventuelle de pores. Elle permet aussi de définir l'état cristallin de la matière (*crystallographie*) pour décrire les roches [14].

Dans les roches, la matière peut se présenter sous deux états différents :

- l'état cristallin, le plus répandu : arrangement ordonné de la matière avec répétition périodique dans l'espace d'un atome ou d'un groupe d'atomes : le motif cristallin;
- l'état amorphe, beaucoup plus rare, où les molécules sont disposées de façon désordonnée: cas des verres volcaniques, de l'opale ou de la calcédoine qui sont des variétés de silice.

I.5.2.2. Caractéristiques physiques :

On peut les classer en deux groupes [21], celles qui concernent le granulat lui même, et celles qui concernent la teneur en substances étrangères et nocives.

- **Les masses volumiques :**

Les masses volumiques des granulats sont définies et déterminées suivant les normes :NFP 18-554, 18-555, 18-558, EN 1097-3, EN 1097-6 [15].

- **La Masse Volumique Apparente (en vrac) :** C'est le quotient de la masse sèche de l'échantillon par le volume de la matière solide de celui-ci, y compris les pores inter-granulaires.
- **La Masse Volumique Absolue :** C'est le quotient de la masse sèche de l'échantillon par le volume de la matière solide de celui-ci (hors pores).

Il existe 3 façons généralement employées pour déterminer ces masses volumiques



en fonction de la précision recherchée et de la nature du granulat:

- Méthode de l'éprouvette graduée,
 - Méthode de la mesure au pycnomètre: La masse des particules solides est obtenue par pesage, le volume est mesuré au pycnomètre,
 - Méthode de la pesée hydrostatique: Cette méthode est également utilisée pour déterminer des volumes apparents après paraffinage du matériau ou par graissage.
- **La porosité (p):**

C'est le rapport du volume des vides pouvant être remplis d'eau au volume total d'un échantillon de granulats. La mesure de la porosité se fait selon les normes "NF P18 554, EN 1097-3" [15].

La présence de pores internes dans les granulats est en rapport direct avec la densité des granulats. Certains pores sont complètement à l'intérieur des granulats et d'autres débouchent à la surface .

- **Teneur en eau (W %) :**

La teneur en eau est égale au rapport de la masse d'eau contenue dans l'échantillon sur la masse sèche de l'échantillon [3].

- **Taux d'absorption d'eau (AB %) :**

L'absorption d'eau par définition est le quotient de la masse d'un échantillon immergé dans l'eau pendant 24 heures à 20°C et à la pression atmosphérique, par sa masse Les granulats sont plus ou moins dangereux selon leur degré de saturation en eau au moment où intervient le gel [16].

- **Propreté des granulats :**

sèche. Elle est déterminée selon les normes standards "NF P 18-554, 18-555, EN 1097-3, EN 1097-6".

La qualité des granulats utilisés dans les bétons est un facteur très important. Trois grandes catégories d'impuretés peuvent être rencontrées dans les granulats: matières organiques, les argiles et les matériaux fins (issues du concassage ou du broyage des roches). Leur présence à la surface des granulats interférant avec le processus d'hydratation du ciment et empêche la bonne adhérence granulats-liants, entraînant



ainsi une chute des résistances mécaniques et des variations de propriétés rhéologiques des mélanges.

De telles impuretés semblent être plus courantes dans les sables que dans les gros granulats, plus facilement lavés [5].

a) Les sables :

On mesure l'importance des pollutions argileuses dans les sables par l'essai d'équivalent de sable et l'essai au bleu de méthylène [3].

- Equivalent de sable "ES":

L'équivalent de sable est un rapport conventionnel volumétrique multiplié par 100 entre les éléments dits sableux et les éléments plus fins. Il existe deux types de mesures : l'essai visuel et l'essai au piston [12]. Actuellement, trois textes réglementaires décrivent cet essai:

- d'équivalent de sable (NFP 18-598) [17],
- d'équivalent de sable à 10% de fines (NFP 18-597) ,
- évaluation des fines - équivalent de sable (EN 933-8) .

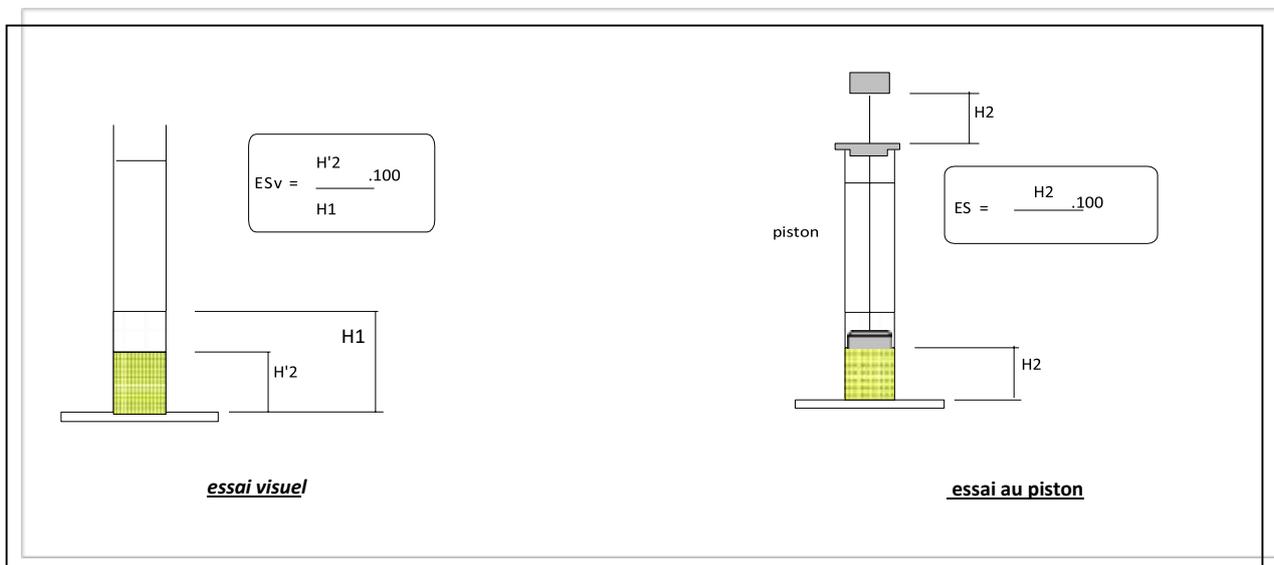


Figure I.6 : équivalent de sable.

Les essais d'équivalent de sable permettent la détermination du pourcentage des éléments très fins du sable (aspect quantitatif) sans aucune distinction de nature "argile, limon, vase et matières solubles" (aspect qualitatif), et pour évaluer de façon plus sélective la propreté



des sables, de compléter l'essai d'équivalent de sable par l'essai au bleu de méthylène [12].

- **Essai au bleu de méthylène :**

Le bleu de méthylène se fixe préférentiellement sur les fines argileuses au détriment des fines non argileuses [3]. L'essai au bleu de méthylène est pratiqué selon la norme "NF EN 933-9" sur la fraction granulaire (0/2 mm) des sables courants (**V_B**) ou sur les fillers (0/0,125 mm) contenus dans un sable fileries, un gravillon ou un tout venant (**V_{BF}**). La valeur limite selon les spécifications pour les bétons hydraulique est égale à 01 [12].

Les gravillons, essai de propreté superficielle (p) :

La propreté superficielle des gravillons est caractérisée par la teneur en particules fines essentiellement argileuse ou d'origine végétale ou organique [10], elle est définie comme étant le rapport du passant à 0,5 mm au poids total d'un échantillon de gravillon. Elle est déterminée selon la norme NF P 18-591 [18].

b) AUTRES POLLUTIONS :

Les normes relatives aux granulats définissent des seuils pour certaines impuretés comme: les éléments coquilliers dans les gravillons alluvionnaires, les matières organiques dans les sables, les chlorures et les sulfates et sulfures.

I.5.3. Caractéristiques chimiques :

La teneur en chlorures :

Un sable provenant du bord de mer, tout comme un sable de désert, contient du sel et doit être traité [5]. La quantité d'ions chlore acceptable dans les granulats est limité à: 1 % pour les bétons non armés; 0,40 % pour les bétons armés selon Neville [5] et selon la norme européenne NF EN 206-1 [19].

La teneur en sulfate :

• **Alcali-réaction :**

L'alcali-réaction est un ensemble de réactions chimiques pouvant se produire entre certaines formes de silices, de silicates ou de carbonates appartenant aux granulats et les éléments alcalins (sodium, potassium) en solutions dans la pâte liante, et la formation d'un gel expansif entraînant l'éclatement du béton



Les granulats sont désignés comme étant non réactifs (NR), potentiellement réactifs (PR), potentiellement réactifs à effet de pessimisme (PRP). La teneur en alcalins actifs des granulats est communiquée si elle dépasse 0,01 % exprimée en Na₂O équivalent [3].

- **Gélvité des granulats :**

Un granulat ne sera pas sensible au gel, s'il possède une porosité très faible ou si son système capillaire est interrompu par un nombre suffisant de macrospores (qui jouent le rôle de bulles d'aire) . Un granulat est considéré comme non gélif si au moins l'une des trois valeurs spécifiées suivantes est respectée: absorbe peu d'eau ($Ab \leq 1\%$), sa résistance à la fragmentation est bonne ($L_A \leq 25$), sa gélvité ($G \leq 30$) [3]. Dans les cas contraires, la gélvité est mesurée par la dégradation granulométrique du matériau préalablement soumis à des cycles gel-dégel [3].

L'essai gel-dégel est déterminé selon la norme "NF EN 1367-1" . La sensibilité au gel est déterminée par la formule (I.1) suivante:

$$G = \left(\frac{L_{AG} - L_A}{L_A} \right) \times 100$$

Ou L_{AG} : coefficient Los Angeles des granulats gelés,

L_A : coefficient Los Angeles des granulats non gelés.

I.5.4. Caractéristiques mécaniques :

Résistance des granulats :

La résistance des granulats est obtenue par des essais indirects, des essais de résistance au choc et à l'usure. En général, la résistance et l'élasticité des granulats dépendent de leur composition minéralogique, de leur texture et de leur structure.

- **La résistance a la fragmentation**

- **Essai Los Angeles (L_A) :**

Cet essai permet de mesurer les résistances combinées à la fragmentation par chocs



des boulets et à l'usure par frottements réciproques des éléments d'un granulat.

La valeur du coefficient Los-Angeles doit être ≤ 40 pour les granulats naturels type B et C suivant les normes "NF P18 573, EN 1097-2 § 5" et compris entre 30 (catégorie A) et 50 (catégorie D) selon les normes XP P 18 540 et ASTM C-33 pour les granulats recyclés [16].

▪ **La fragmentation dynamique (FD) :**

L'essai permet de mesurer la résistance à la fragmentation par chocs des éléments d'un granulat "NF P 18-574" . Il consiste à mesurer la quantité d'éléments inférieurs à 1,6mm produite en soumettant le matériau aux chocs d'une masse normalisée. Cette quantité est appelée coefficient de fragmentation dynamique. Cet essai a été conçu de manière à trouver, sur un même matériau, un résultat aussi proche que possible du coefficient Los- Angeles [12].

- **Résistance à l'attrition et à l'usure "Essai Micro-Deval humide" (M_{DE}) :**

L'essai Micro Deval peut être utilisé à sec ou en présence d'eau, méthode plus représentatif [3]. Les granulats résistent d'autant mieux à l'attrition que la valeur du coefficient Micro-Deval est faible [3].

La valeur du M_{DE} doit être ≤ 35 pour les granulats naturels selon "NF P18-577, NF EN 1097-1" [20].

I. 5.5. Propriétés thermiques des granulats :

Trois propriétés thermiques importantes des granulats sont le coefficient de dilatation thermique, de la chaleur spécifique et la conductivité [21].

Si la différence entre les coefficients de dilatation thermique des granulats et de pâte de ciment hydraté est importante, une variation notable de la température peut occasionner des mouvements différentiels et rompre ainsi l'adhérence entre les granulats et la pâte [7].

Si les températures extrêmes sont prévues, les propriétés thermiques des granulats doivent être connues [21].

Chapitre II: Généralité sur les bétons



II.1. Historique du béton :

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

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

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

En 1986, des chercheurs Japonais ont pour la première fois fabriquée le béton auto plaçant ou le béton auto nivelant. Le béton, mélange de plusieurs constituants très différents, dont les uns sont actifs et les autres sont inertes, présente des caractéristiques qui sont fonctions de celles de ses composants [22].

II.2. Généralité :

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

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

De même les granulats très légers ont des masses volumiques inférieures à 100 kg/m^3 . [23]

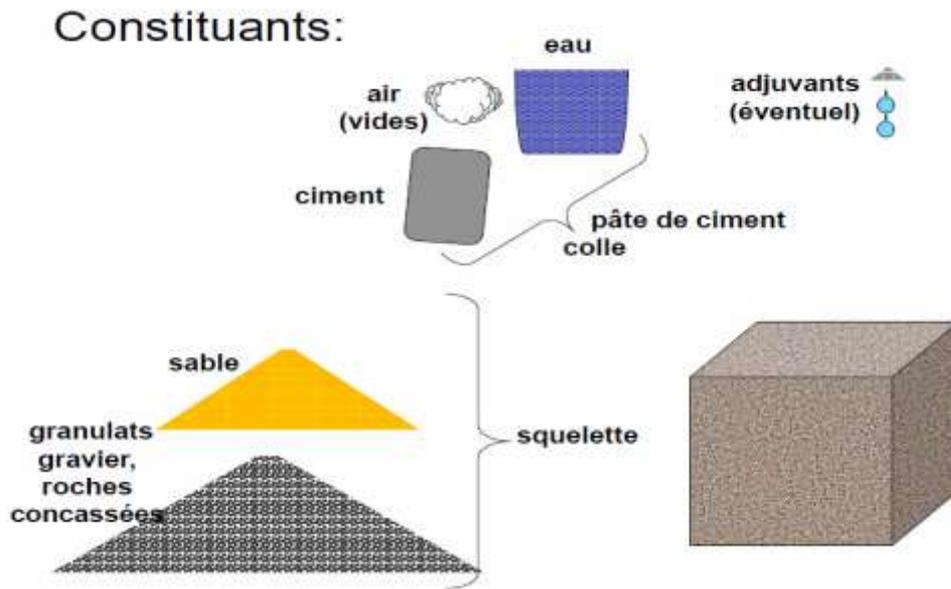


Figure II.1: les constituants de béton.

II.3. Les composants du béton :

II.3.1. Le ciment :

Le ciment est le liant hydraulique par excellence. Ce dernier est généralement composé de calcaire et d'argile. Il fait partie des principaux composants du béton, liant ses constituants entre eux, et lui confère certaines caractéristiques essentielles telles que sa résistance.

La composition du ciment peut varier en fonction des différents types de besoins, ce qui le divise en plusieurs catégories :

II.3.1.1. Fabrication du ciment :

Le ciment est fabriqué à partir de calcaire et d'argile : 80 % + 20 % respectivement. Le ciment est fabriqué (par voie sèche) selon le processus suivant :

-Extraction de matière première de la carrière .



- Concassage primaire de la matière première .
- Concassage secondaire de la matière première en taille plus petite .
- Broyage de la matière concassée.
- Broyage du mélange : clinker + gypse ($\approx 5\%$) + ajouts éventuels.
- Le produit fini (ciment) est alors prêt pour être expédié en sacs, en vrac [24] .

II.3.1.2. Catégories de ciment :

La composition du ciment peut varier en fonction des différents types de besoins, ce qui le divise en plusieurs catégories :

- Le CEM I (ciment Portland) est un ciment adapté pour la conception de béton armé ou précontraint car il offre un niveau de résistance élevé.
- Les CEM II A ou B (ciment Portland composé) ont pour particularité d'être très maniables. Ils sont donc utilisés dans les travaux d'usage courant tels que pour les chapes traditionnelles ou bien pour les enduits simples.
- Les CEM III A, B ou C (ciment de haut-fourneau) sont adaptés à des environnements difficiles, ils sont réputés pour être durables.
- Les CEM IV A ou B (ciment de type pouzzolane que) sont également adaptés à un milieu agressif, idéals pour des structures hydrauliques. Absents en France.
- Les CEM V A ou B (ciment composé) ont les mêmes propriétés physiques que les CEM III mais pas les mêmes constituants.

II.3.2. Les granulats :

Les granulats, d'origine naturelle ou artificielle, sont des grains minéraux de dimensions variables. En tant que principaux composants du béton, ils lui transmettent certaines caractéristiques techniques et esthétiques, notamment sa résistance. Le choix du type de granulat utilisé ne doit donc pas être fait à la légère car il aura une influence sur la durabilité de votre béton. On distingue alors différentes sortes de granulats : les fillers, les sables, les graves, les gravillons et les ballasts.



On classe les différents types de granulats en fonction de leurs dimensions, exprimées par la formule d/D .

d = diamètre le plus petit du granulat.

D = diamètre le plus grand du granulat.

- Les différents granulats :

Types	Dimensions	Caractéristiques
Fillers	0/D	$D < 2\text{mm}$
Sables	0/D	$D \leq 4\text{mm}$
Graves	0/D	$D \geq 6,3\text{mm}$
Gravillons	d/D	$d \geq 2\text{mm}$ et $D \leq 125\text{mm}$
Ballasts	d/D	$d = 25\text{mm}$ et $D = 50$ ou 63mm

Tableau II.1 : Les différents granulats.

II.3.3. L'eau de gâchage :

L'eau de gâchage est un élément indispensable lors de la conception du béton. Elle permet **d'hydrater** le ciment, ce qui libère ses capacités de liant, et rend également plus facile **l'application** du béton. L'eau utilisée doit être **propre !** (Evitez d'utiliser de l'eau de mer) et prenez garde à ne pas l'ajouter avec excès sous risque **d'altérer les performances** de votre béton. En effet, cela pourrait diminuer sa résistance et sa durabilité.

II.3.4. Les adjuvants :

Les adjuvants sont des **produits chimiques** ajoutés lors du malaxage du béton et **faiblement dosés** lors de la préparation (moins de 5% de la masse du béton). Ces produits offrent la possibilité **d'améliorer certaines caractéristiques** du béton telles que son temps de prise ou son étanchéité. Très répandus aujourd'hui, il existe **différents types** d'adjuvants qui vous permettront d'obtenir le béton de vos rêves...

On peut classer les adjuvants selon leur fonction, dans les catégories suivantes :

- les super plastifiants
- les retardateurs
- les accélérateurs



- les agents de mouture
 - les hydrofuges
- On peut également citer d'autres adjuvants tels que :
- les produits de cure
 - les entraîneurs d'air

II.4. Propriétés du béton :

Le béton doit être considéré sous deux aspects :

- **le béton frais** : mélange de matériaux solides en suspension dans l'eau, se trouve en état foisonné à la sortie des appareils de malaxage et en état compacté après sa mise en œuvre dans son coffrage.
- **le béton durci** : solide dont les propriétés de résistance mécanique et de durabilité s'acquièrent au cours du déroulement de réactions physico-chimiques entre ses constituants, d'une durée de quelques jours à quelques semaines.

II.4.1. Propriétés du béton frais :

La propriété essentielle du béton frais est son ouvrabilité qui est la facilité offerte à la mise en œuvre du béton pour le remplissage parfait du coffrage et l'enrobage complet du ferrailage [25].

L'ouvrabilité doit être telle que le béton soit maniable et qu'il conserve son homogénéité. Elle est caractérisée par une grandeur représentative de la consistance du béton frais. Dans le cas de béton ordinaire elle est principalement influencée par :

- La nature et le dosage du liant.
- La forme des granulats.
- La granularité et la granulométrie.
- Le dosage en eau [26].

L'ouvrabilité peut s'apprécier de diverses façons et en particulier par des mesures de plasticité.

Il existe de nombreux essais et tests divers permettant la mesure de certaines caractéristiques dont dépend l'ouvrabilité. Nous n'en citerons que quelques-uns, les plus couramment utilisés dans la pratique [27], [28].

II.4.1.1. Affaissement au cône d'Abram :

Cet essai consiste à mesurer la hauteur d'affaissement d'un volume tronconique de béton frais où ce dernier est compacté dans un moule ayant la forme d'un tronc de cône. Lorsque le cône est soulevé verticalement, l'affaissement du béton permet de mesurer sa consistance [29].

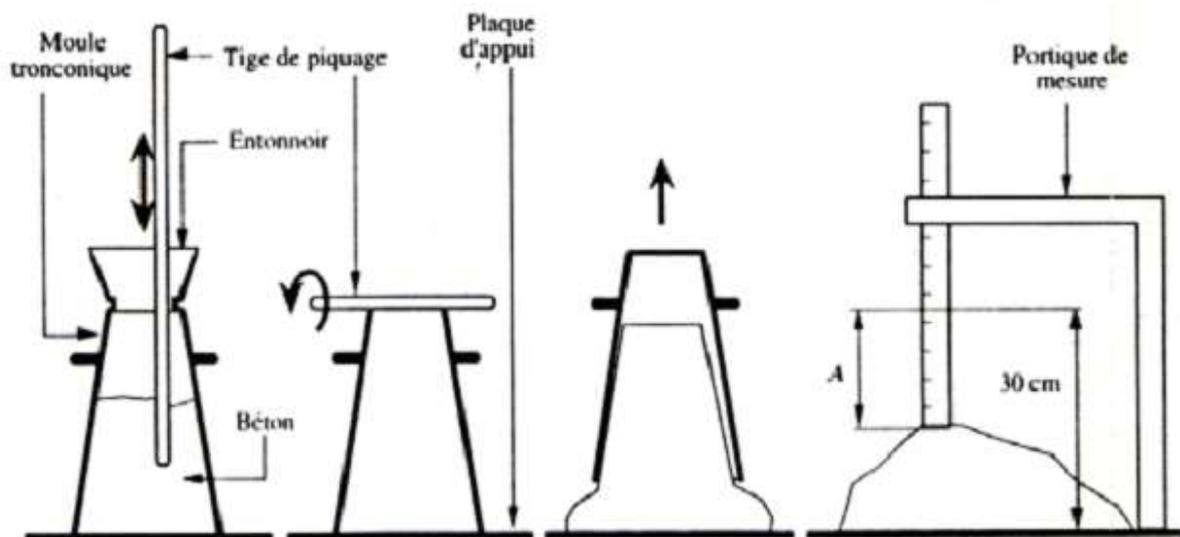


Figure II.2 : Essai d'affaissement au cône d'Abram [27] .

II.4.1.2. La masse volumique du béton frais :

On mesure la masse volumique du béton frais à l'aide d'un récipient étanche à l'eau et suffisamment rigide. Le béton est mis en place dans le récipient et vibré à l'aide d'une aiguille Vibrante, une table vibrante ou un serrage manuel en utilisant une barre ou tige de piquage, après un arasement approprié. Le récipient et son contenu doivent être pesés afin de déterminer la masse volumique qui sera calculée en utilisant la formule suivante :

$$D = m_2 - m_1 / V$$



D : est la masse volumique du béton frais (kg/m^3).

m_1 : est la masse du récipient (kg).

m_2 : est la masse du récipient plus la masse du béton contenu dans le récipient (kg).

V : est le volume du récipient en mètre cube (m^3).

La masse volumique du béton est arrondie aux 10 (kg/m^3) les plus proches [30].

II.4.2. Propriétés du béton durci :

Lorsque le béton a durci, sa forme ne peut plus être modifiée mais ses caractéristiques continuent d'évoluer pendant de nombreux mois, voire des années.

Propriétés du béton durci

- La compacité d'un béton (ou sa faible porosité) est un avantage déterminant pour sa durabilité.
- Une bonne résistance à la compression est la performance souvent recherchée pour le béton durci.
- Les phénomènes de retrait sont une caractéristique prévisible dans l'évolution du béton.
- Les caractéristiques de déformations sous charge du béton sont connues et peuvent être mesurées.

II.4.2.1. Résistance à la compression :

Parmi toutes les sollicitations mécaniques, la résistance du béton en compression uni-axiale a été la plus étudiée, vraisemblablement parce qu'elle projette généralement une image globale de la qualité d'un béton, puisqu'elle est directement liée à la structure de la pâte de ciment hydratée. De plus, la résistance du béton en compression est presque invariablement l'élément clé lors de la conception des structures en béton et lors de l'établissement des spécifications de conformité.

Un béton est défini par la valeur de sa résistance caractéristique à la compression à 28 jours, f_{c28} . La résistance à la compression du béton est mesurée par la charge conduisant à l'écrasement par compression axiale d'une éprouvette cylindrique de 16 cm de diamètre et de 32 cm de hauteur. Les éprouvettes sont chargées jusqu'à rupture dans une machine pour essai de compression, La charge maximale atteinte est enregistrée et la résistance en compression calculée [31].

La résistance à la compression est donnée par l'équation suivante :

$$f_c = F/A_c$$

Où :

- f_c : résistance en compression, exprimée en mégapascal (Newton par millimètres carrés) .
- F : charge maximale, exprimée en Newtons ;
- A_c : l'aire de la section de l'éprouvette sur laquelle la force de compression est appliquée, calculée à partir de la dimension nominale de l'éprouvette.

La résistance à la compression doit être exprimée à 0,5 MPA(N/mm²) près.

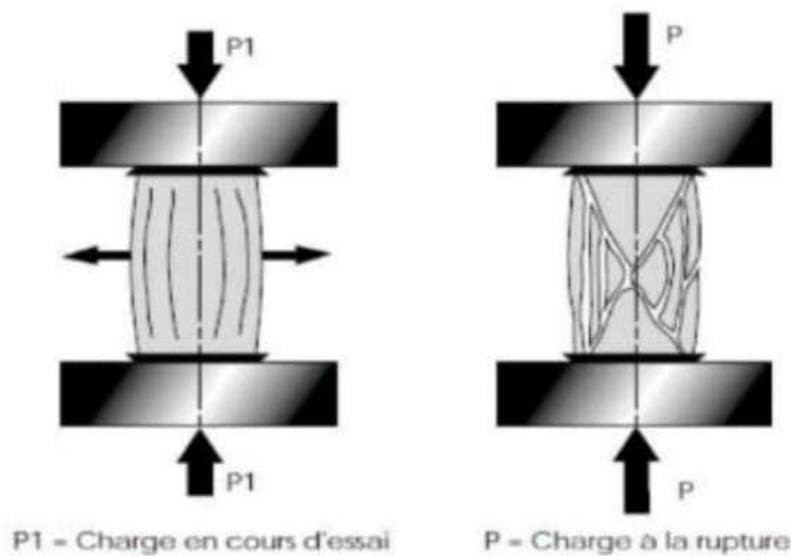


Figure II.3 : essai de compression [32].

II.4.2.2. Résistance à la traction par flexion :

Des éprouvettes prismatiques de dimensions 7 x 7 x 28 cm sont soumises à un moment de flexion par application d'une charge au moyen de rouleaux supérieurs et inférieurs. La charge maximale enregistrée au cours de l'essai est notée et la résistance à la flexion est calculée.[33]

Les mesures sont faites sur une presse qui répond aux normes NF P 18-407 (NA 428), munie d'un banc de flexion à 4 points [34].

Pour une charge totale P , le moment de flexion constant entre les deux points d'application de la charge est : $M=P \times a/2$ et la contrainte de traction correspondante sur la fibre inférieure est $f_{tj} = 6M/a^3$, la relation suivante permet de calculer la résistance:

$$F_{tj} = 1.8P / a^2$$

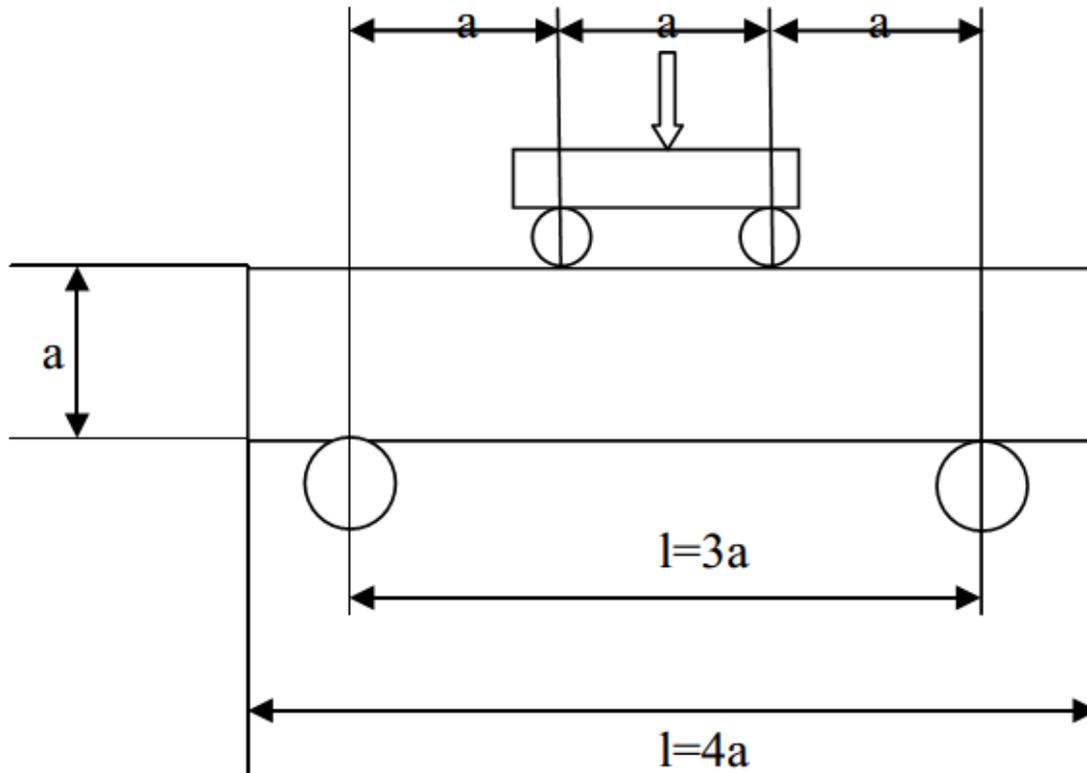


Figure II.4: Essai de traction par flexion.

II.5. Les domaines d'emploi du béton :

II.5.1. Le bâtiment :

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



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

II.5.2. Les travaux publics :

II.5.2. 1. Les ponts :

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

II.5.2. 2. Les tunnels :

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

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

II.5.2. 3. Les barrages :

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

II.5.2. 4. Les routes :

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

II.5.2. 5. Autres ouvrages :

Il faut également citer les ouvrages hors du commun : structures offshores ou centrales nucléaires, dont les exigences requièrent des bétons aux caractéristiques mécaniques et à la durabilité élevée [35].

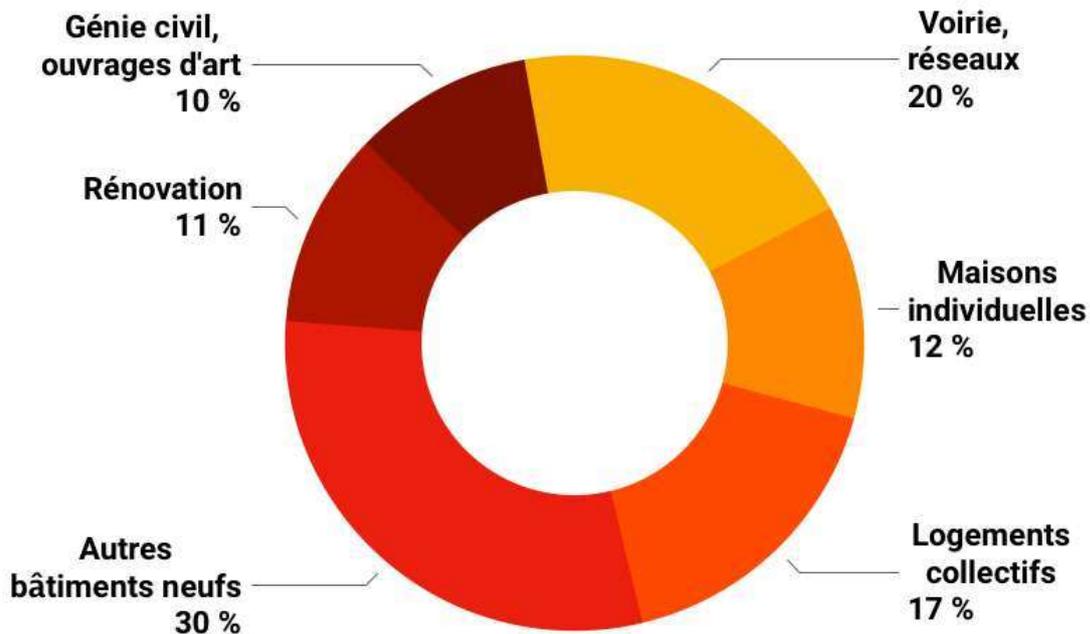


Figure II.5: Les domaines d'emploi du béton.

II.6. Les différents types de béton :

II.6.1. Béton ordinaire :

Mélange homogène composé exclusivement des constituants de base : ciment, granulats, eau, avec un rapport E/C qui varie en fonction de la plasticité ainsi que de la résistance désirée.

Le béton ordinaire est caractérisé par sa résistance à la compression qui se situe entre $20\text{MPa} = f_{c28} = 50\text{MPa}$ [36].

II.6.2. 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.



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.

II.6.3. Béton de haute performance (BHP) :

C'est un béton aux résistances mécaniques élevées au jeune âge et à 28 jours (supérieure à 50 (MPa), et un rapport pondéral E/C inférieur à 0,40. Sa propriété essentielle est la grande résistance en compression qui dépasse largement celle des bétons ordinaires. Ceci est obtenu grâce à sa faible porosité qui est diminuée en réduisant la quantité d'eau de gâchage par l'emploi d'adjuvants plastifiants et super plastifiants [37].

II.7. Les différentes de formulation :

II.7.1. 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 : $P=A+(100-A) \frac{vd}{D}$

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, plus au moins, à une granularité continue.



II.7.2. 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 ($<D/2$), des gros grains ($>D/2$) et la pente de la droite n'est pas là 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 $^5\sqrt{d}$. 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 :

$$Y = A + 17VD + R - 0.75 D$$

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

II.7.3. Méthode Dreux-Gorisse :

Cette méthode française est de nature fondamentalement empirique qui date de 1970. Elle 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.



Cette méthode a l'avantage d'être issue de nombreuses formulations déjà validées sur chantier et ayant donné satisfaction. Elle est très simple d'utilisation.

II.7.4. Méthode de Valette :

R. 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 = $-b + \sqrt{b^2 - 4ac}$ facile dans les conditions du chantier. On obtient alors le béton plein à minimum de sable et le moins dosé en ciment [38] .

II.8. Conclusion :

Le béton est un matériau très en demande et son utilisation ne cessera de croître au cours des années à venir. Afin d'assurer la croissance de ce matériau de construction indispensable. L'emploi du béton, en grande quantité, nous permet d'affirmer que ce matériau est toujours en évolution. Ainsi, aujourd'hui, on dispose d'une large gamme de bétons et l'on choisit donc, pour chaque type d'ouvrage le béton adéquat.

Dans ce chapitre nous avons traité l'essentiel des éléments qui nous concerne dans cette étude en l'occurrence les constituants élémentaires pour la réalisation du béton et les types des bétons, les différentes de formulation.

Chapitre III :

Partie expérimentale



III. Caractérisation des matériaux utilisés et formulation des bétons :

III.1. Introduction:

A travers ce chapitre, on a présenté les matériaux utilisés dans cette étude et les techniques expérimentales pour caractériser ces matériaux ainsi que la formulation des bétons.

L'étude de la composition d'un béton consiste à définir le mélange optimal des différents granulats, le dosage en ciment et l'eau, afin de réaliser un béton répondant aux qualités recherchées.

Avant la détermination des dosages des constituants qui rentrent dans la formulation du béton, il est recommandé de vérifier certaines propriétés et caractéristiques des matériaux composants le béton (granulats, ciment, eau), en les mesurant, par des méthodes et essais normalisés. Une fois le béton préparé, il doit subir des essais à l'état frais et durci, afin de matérialiser notre matériau et donc confectionner des ouvrages résistants, durables et économiques.

III.2. Matériaux utilisés :

III.2.1. Le sable :

est un sable gueltat sidi Saad de la wilaya de Laghouat.

III.2.1.1. l'analyse granulométrique NF P 18-560

L'analyse granulométrique permet de mesurer la distribution dimensionnelle en poids des différents éléments constituant le sable.



Tamis (mm)	Refus cumulé (kg)	Refus cumulé (%)	Tamisat (%)
5	0.011	0.55	99.50
2.5	0.024	1.2	98.8
1.25	0.028	1.4	98.6
0.63	1.036	51.8	48.2
0.315	1.813	90.55	9.35
0.160	1.938	96.9	3.1
0.080	1.991	99.55	0.45
fines	2.0	100	0

Tableau III.1 : L'analyse granulométrique de sable.

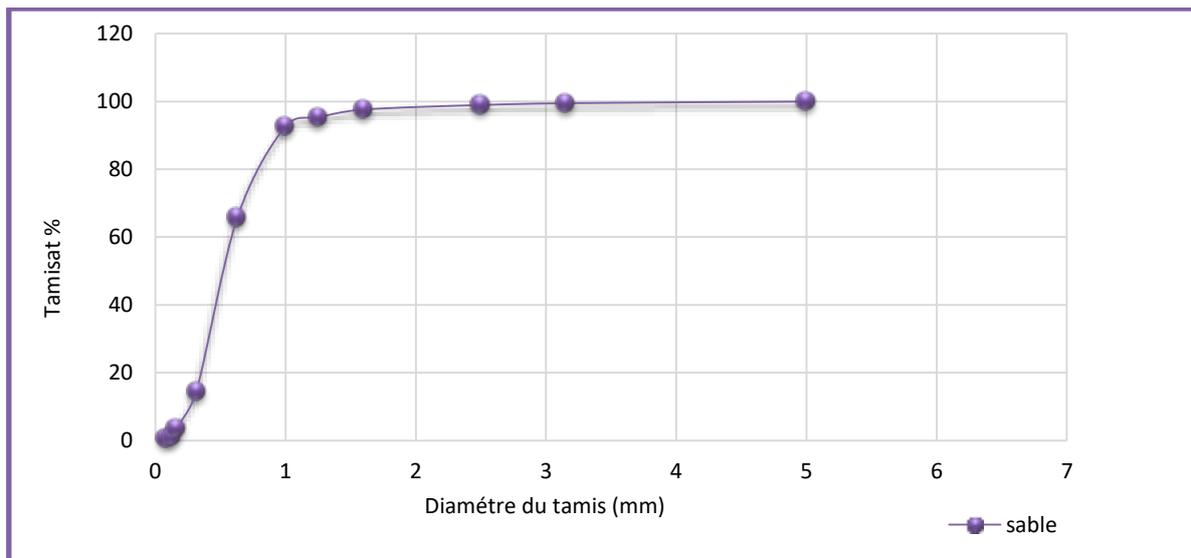


Figure III .1 : la courbe granulométrique du sable.

III.2.1.2. Le module de finesse : NF P 18 304

Le module de finesse d'un sable est défini par le 1/100 de la somme des refus exprimés en pourcentage sur les différents tamis de la série suivant : 0;0.315;0.63;1.25;2.5;5.

Il est donné par la relation suivante :

$$Mf = \frac{\sum R_i}{100}$$

Avec : R_i : refus cumulés en (%).



$$Mf=0.55+1.2+1.4+51.8+90.65+96.9/100=2.42\%$$

donc notre sable est un sable préférentiel.

III.2.1.3. la masse volumique :NF P 18-555

a. La Masse Volumique Absolu :

-Pesé une fiole avec une quantité d'eau V1 .

-Pesé 400g de sable M ,et l'introduire dans la fiole (éliminer les bulles d'air)

-Lire le nouveau poids V2.

$$MV \text{ abs} = M/V \text{ abs}$$

$$MV \text{ abs}=400/(651-500)= 2.65 \text{ g/cm}^3$$

b. La Masse Volumique Apparente :

-placer le récipient dessous l'ouverture de cône

- laisser tomber ce sable ,jusqu'à la saturation du récipient

-Araser à la règle, et peser le contenu

-la masse volumique apparente du sable est donnée par la formule suivante :

$$Mvapp = (M2-M1)/V1$$

M1 : la masse de récipient vide

M2 : la masse de récipient+ le sable

V1 :le volume de récipient

$$Mvapp= (1861-453)/1000= 1.4 \text{ g/cm}^3$$

III.2.1.4. Equivalent de sable : NF P 18-597

l'équivalent de sable est donné par :

$$ESV=h2/h1*100 ; ES=h2'/h1*100$$

ES : équivalent de sable mesuré au piston



ESV : équivalent de sable visuel mesuré visuellement

h1 : hauteur de sable propre et élément fins

h2 : hauteur de sable propre seulement

h2' : hauteur de sable propre seulement au piston



Figure III .2 : essai d'équivalent de sable.

	Essai-1-	Essai-2-	Essai-3-
Hauteur de colonne h1 (cm)	11	15.2	15.5
Hauteur de sable h2 au vue (cm)	7.2	9	9.1
Hauteur de sable h'2 au piston (cm)	7.1	8.6	8.7
ESV (visuel)%	65.5	59.21	58.7
ES (piston)%	64.5	56.87	56.12

Tableau III.2. Essai d'équivalent de sable.

Type de sable	ESV(%)	ES(%)	Nature et qualité du sable
Sable concassé	61.13	59.49	Sable argileux (annexe 5)

Tableau III.3. Résultats d'équivalent de sable.



III.2.2. Le gravier :

Le gravier ramené de la carrière de rechaiga de la wilaya de Tiaret.

Dans ce travail on a utilisé deux classes de gravier de 3/8 et 8/15.

III.2.2.1. l'analyse granulométrique : NF P 18-560

Les résultats de l'analyse granulométrique sont présentés sur les tableaux suivant :

Tamis (mm)	Refus cumulé (kg)	Refus cumulé (%)	Tamisé (%)
20	0.07	1.4	98.6
16	0.13	2.6	97.4
12	4.043	80.86	19
10	4.545	90.9	9.1
8	4.865	97.3	2.7
6.3	4.972	99.44	0.56
5	4.996	99.92	0.08
Fines	5.0	100	0

Tableau III.4 : L'analyse granulométrique de gravier de classe 8/15 .

Tamis (mm)	Refus cumulé (kg)	Refus cumulé (%)	Tamisé (%)
8	0.1	2	98
6.3	3.1	62	38
5	3.542	70.84	29.16
4	3.969	79.38	20.62
3.15	4.538	89.96	10.04
2.3	4.975	99.5	0.5
2	4.988	99.76	0.24
Fines	4.999	100	0

Tableau III.5 : L'analyse granulométrique de gravier de classe 3/8 .

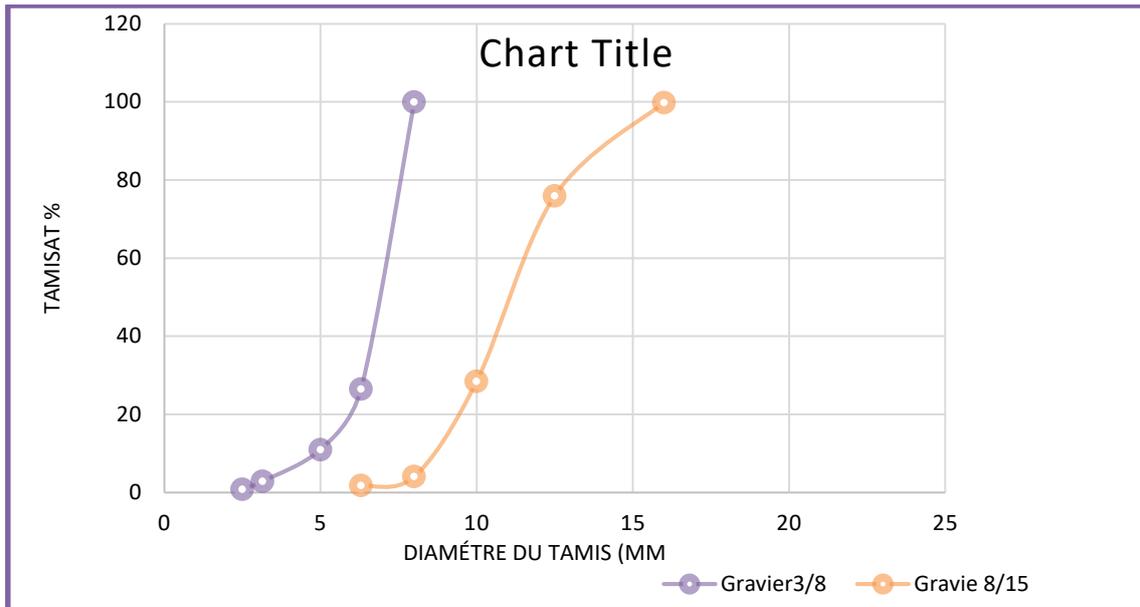


Figure III .3 : la courbe granulométrique du gravier.

III.2.2.2. Les masses volumiques apparentes et absolues : NF EN 12620

Nous avons déterminé la masse volumique apparente et absolue des graviers conformément à la norme NF EN 12620

Les résultats des masses volumiques obtenus pour les différents graviers, sont récapitulés sur le tableau suivant :

Classe de gravier	M vapp (Kg/m ³)	M vabs (Kg/m ³)
3/8	1067	2600
8/15	1370	2650

Tableau III.6 : les masses volumique des gravies.



Figure III .4: essai de la masse apparent et absolue de gravier.



III.2.2.3. coefficient d'absorption : NF P 18-555

Le coefficient d'absorption est obtenu par :

$$AB = \frac{M_a - M_s}{M_s} \times 100$$

M_s : masse de l'échantillon sec après passage à l'étuve à 105 C°.

M_a : masse de l'échantillon imbibé.

La classe de gravier	Ab(%)
3/8	2.9
8/15	1.1

Tableau III.7 : les coefficients d'absorptions des graviers.



Figure III .5: Essai de coefficients d'absorptions des graviers.



III.2.2.4. Résistance au choc : essai los Angeles : NA 458/1990

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

1- classe granulaire : 3/8 ___ 8/15	2-définir la classe granulaire choisie : (4-6.3) (10-14)	3-tamiser à sec selon la classe granulaire choisie
4- laver l'échantillon	5- étuver l'échantillon à 105°C	6- peser 5000 g
7-définir le nombre de boulet : 7 (3/8) 11 (8/15)	8- déterminer la masse des boulets : Mb= 3080g (3/8) Mb2= 4840g (8/15)	9-mettre la machine en marche 10- recueillir le matériau
11- tamiser le matériau sur un tamis 1.6	12- étuver le refus à 105°C	13-peser le refus en (g) prés soit : (P1)M'= 3630 g (P2)M'= 3715 g
Echantillon : P1 3/8 (6.3-4)		Echantillon : P2 8/15 (10-14)
Calculer le pourcentage : $(5000-M')/5000$ LA= 27 %		Calculer le pourcentage : $(5000-M')/5000$ LA= 26 %

Tableau III.8 : les étapes de l’essai los-Angeles.

A partir du coefficient LA, les granulats sont qualifiés comme suit :

- $20 < LA < 30$: moyen à faible.



Figure III .6: Essai los Angeles.



III.2.2.5. Résistance a l'usure : essai micro-Deval : NA 458/1990

L'essai consiste à mesurer, dans des conditions normalisées, l'usure des granulats produite par frottement mutuels, en présence d'eau et d'une charge abrasive, dans un cylindre en rotation.

Expression des résultats :

$$MDE\% = [(M-M')/M] \times 100$$

1- prélever un échantillon de 2000 g	2- classe granulaire : 3/8 ___ 8/15	3- définir la classe granulaire choisie : (4-6.3) (10-14)
4- tamiser à sec selon la classe granulaire choisie	5-- laver l'échantillon 6-étuver l'échantillon à 105°C	7- peser 500 g 8- peser la charge abrasive(g) 2000 (3/8) / 5000 (8/15)
9- en présence d'eau 10- régler la vitesse de rotation 100t/min	11- laisser le cylindre en rotation pendant 2 heures	12- recueillir le matériau
13- tamiser le matériau sur un tamis 1.6	14- étuver le refus à 105°C	15- peser le refus en (g) prés soit : (P1)M'= 482 g (P2)M'= 439 g
Echantillon : P1 3/8 (6.3-4)		Echantillon : P2 8/15 (10-14)
Calculer le pourcentage : $(500-M')/500$ MDE= 4 %		Calculer le pourcentage : $(500-M')/500$ MDE= 12 %

Tableau III.9 : étapes de l'essai Micro-Deval -



Figure III .7: Appareil Micro Deval.



III.2.3. Le ciment :

Le ciment utilisé est un CPJ-CEM II/A-L 42.5N en provenance de cimenterie de AMOUDA- El-Beidha, wilaya de Laghouat.



Figure III .8: sac de lave du ciment.

- Composition chimique du ciment :

CaO	SiO ₂	AL ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	SO ₃	Na ₂ O	K ₂ O	MgO	Chlorures	PAF
56.73	26.97	5.43	3.05	2.53	0.30	0.43	0.71	0.75	3.11

Tableau III.10 : Composition chimique du ciment CPJ 42.5 – AMOUDA.

- Caractéristiques physiques du ciment

Caractéristiques	Résultats	Unités	Norme
Consistance normal	28	(%)	NF EN 196-3
Début de prise	150	(min)	NF EN 196-3
Fin de prise	188	(min)	NF EN 196-3

Tableau III.11: Caractéristiques physiques du ciment CPJ 42.5 –AMOUDA.

III.2.4. L'eau de gâchage :

C'est l'eau de robinet de laboratoire de génie civil -Tiaret .



III.3. Formulation de béton :

Pour l'étude expérimentale de la formulation du béton , on a utilisé deux méthodes , la méthode de DREUX-GORISSE et celle de EMPIRIQUE ,nous avons respecté les étapes et le mode opératoire de laboratoire tel qu'il est, A fin de voir l'influence de la méthode de composition sur la résistance à la compression.

III.3.1. La formulation selon la méthode EMPIRIQUE :

Ce sont les plus anciennes utilisées dans la formulation du béton. Elles requièrent la réalisation d'un certain nombre de gâchées en laboratoire avant d'obtenir le mélange ayant les caractéristiques voulues.

De plus, des gâchées sont souvent requises en chantier pour ajuster la maniabilité du mélange.

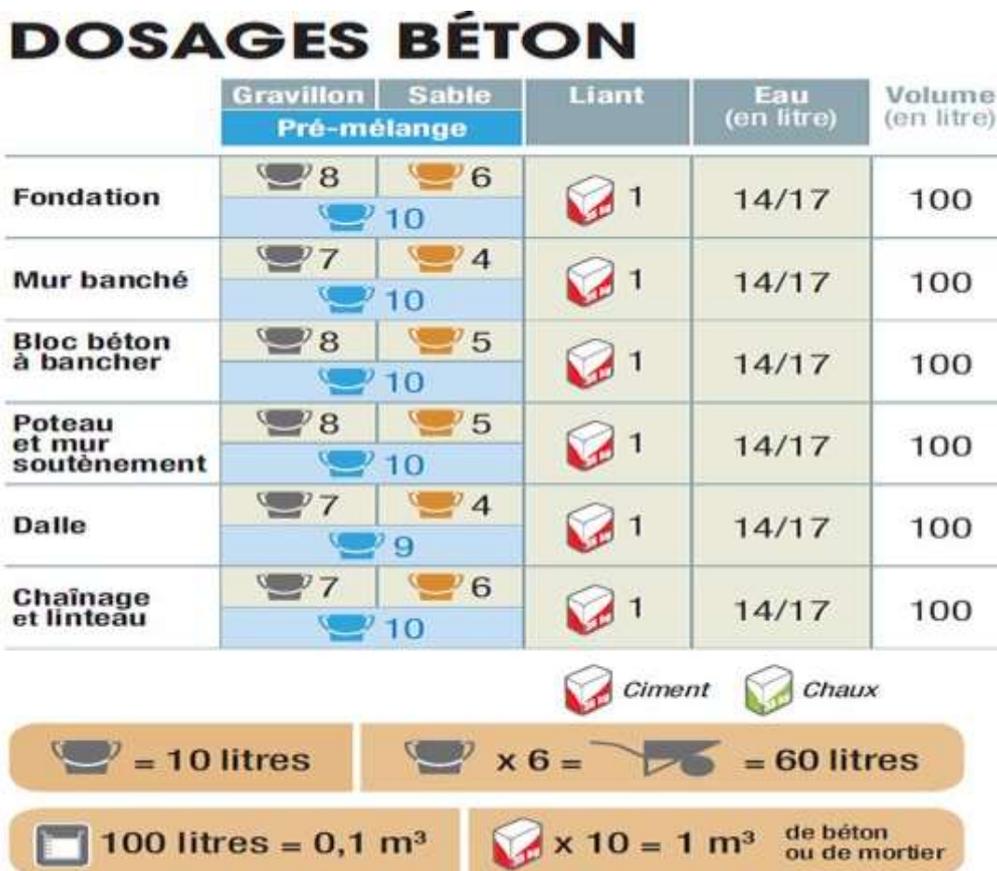


Figure III .9: Dosages béton .

Exemple :

Gâchée de béton → 7 sac de ciment (dosage 350 kg/m³)

1 sac de ciment → 2 brouettes de gravier → 1 brouette de sable.



Figure III .10: une gâchée de béton .

III.3.2. La formulation selon la méthode DREUX-GORISSE :

La composition est calculée selon les données suivantes :

-Type de béton : Ordinaire.

-Diamètre maximal des granulats $D_{\max} = 15.5 \text{ cm}$

- Ouvrabilité du béton : plastique (Affaissement au cône d'Abrams, $A_{ff} = 7 \pm 2 \text{ cm}$),

-Serrage : vibration courante (Table vibrante).

Résistance caractéristique projetée à 28 jours pour tous les bétons $R_{c28} = 25 \text{ MPA}$.

Le dosage en ciment est de 350 kg/m^3

→ **Résistance visée :**

Par sécurité ,la résistance visée est majorée de 15% par rapport à la résistance que nous souhaitons obtenir. Ainsi , la résistance visée est obtenue comme suit :

La résistance visée vaut alors : $f_c' = 1.15 \times 25 = 28.75 \text{ MPA}$

→ **Dosage en ciment et en eau :**

La formule ci-dessous permet de calculé la résistance à la compression visée à 28 jours, soit :

$f_c' = G \cdot \sigma_{c28} (C/E) - G$, (coefficient granulaire $G=0.45$ (annexe 1))

$C/E = (f_c' / G \cdot \sigma_{c28}) + G \rightarrow C/E = (28.75 / 0.45 \cdot 45) + 0.45 = 1.87$



→ La quantité est d'eau sera estimée comme suit :

$$E = 350 / 1.87 = 187.16 \text{ L/m}^3$$

- correction sur E : (annexe 2)

$$EC = E = 187.16 \times 1.04 = 194.64 \text{ L/m}^3$$

Cette quantité est confirmée par le calcul théorique par le rapport C/E et pratiquement par l'affaissement souhaité A au cône d'ABRAMS, nous déduisons, grâce à l'abaque C/E en fonction de A, le dosage en eau correspondant



Figure III .11: essai de cône d'ABRAMS.

-Tracé de la courbe granulatoire de référence AOB :

Nous traçons une courbe de référence OAB avec:

- le point O est repéré par ses coordonnées: [0; 0]
- le point B est repéré par ses coordonnées: [D; 100], (D: le diamètre du plus gros granulat).

Le point de brisure A aux coordonnées suivantes :

- en abscisse:



- Le plus gros granulat est $D = 15.5\text{mm}$, donc le point de brisure a pour abscisse:

$$A = D/2 = 7.75\text{mm}$$

- en ordonnée : $Y = 50 - \sqrt{D} + K + k_s + k_p$

K: Terme correcteur qui dépend du dosage en ciment, de l'efficacité du serrage, de la forme des granulats roulés ou concassés, pour notre cas de gravier concassé (annexe 3)

$$\left\{ \begin{array}{l} k = +2 \\ k_s = 6 \times \text{MF} - 15 = 6 \times 2.42 - 15 = -0.48 \\ k_p = 0 \end{array} \right.$$

Alors $Y = 50 - \sqrt{15.5} + 2 + (-0.48) = 47.58$

Ainsi, les coordonnées du point de brisure A sont:

$$[7.75; 47.58]$$

- Les lignes de partage de 95% et 5% d'ordonnée sont tracées sur la figure suivante :

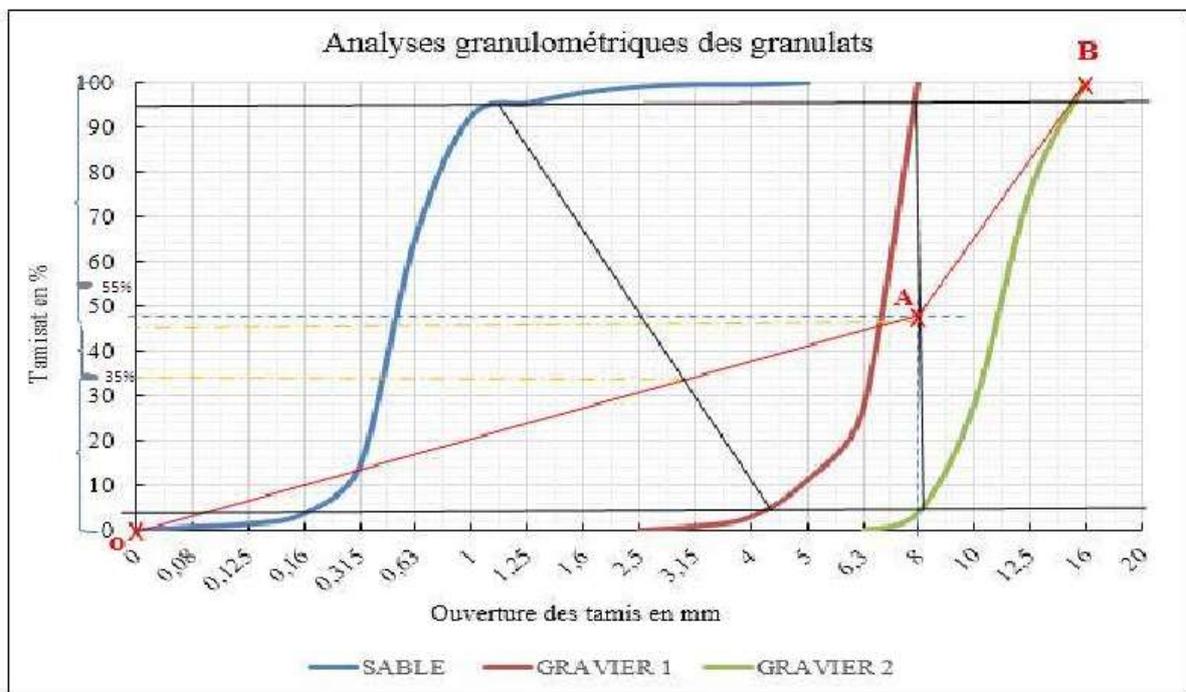


Figure III .12: Courbe granulométrique.



-coefficient de compacité g : (annexe 4)

Béton plastique → vibration courant → affaissement $A=7$

Consistance- plastique → vibration normale → $Y=0.815$

$$Y_{\text{corrigé}}=0.815-0.03=0.785$$

Nous obtenons donc un mélange optimal avec un volume absolu de 35% de sable et de 65% de gravier (Gravier 3/8 + Gravier 8/15).

Sur la courbe de granulométrie, les points d'intersection entre les lignes de partage ce a courbe OAB donne les pourcentages des granulats suivants:

-Sable : 35%

-Gravier 3/8 : 20%

- Gravier 8/15 : 45%

Détermination de la composition en volume absolu :

Le dosage en béton est déterminé pour obtenir un mètre cube de béton en place cela signifie que le volume de matière vaut 1m^3 :

$$V_{\text{abs}} = V_S + V_g + V_C = 1\text{m}^3$$

Volume absolu du ciment :

$$V_c = C/3.1 = 350/3.1 = 112.9 \text{ dm}^3$$

Volume absolu du granulats :

De la relation de $Y=(v_c + v_g + v_s)$ on en déduit V_g et V_s

en remplaçant le volume de granulats $V_s + V_g$ par la valeur V_G , alors $Y = (V_c + V_G)$

$$V_G = (1000 \times Y) - V_c$$

V_G : volume absolu des granulats en litre ($V_a V_g + V_s$)

y: Coefficient de compacité : $Y=0.785$

$$\text{Alors } V_G = (1000 \times 0.785 - 112.9 \rightarrow V_G = 672.1 \text{ dm}^3$$



-Volume de sable:

$$V_s = 35\% \times 672.1 = 235.23 \text{ dm}^3$$

-Volume de gravillons :

$$V_G = 65\% \times 672.1 = 436.86 \text{ dm}^3$$

$$\text{Volume de gravier (3/8)} = 20\% \times 672.1 = 134.42 \text{ dm}^3$$

$$\text{Volume de gravier (8/15)} = 45\% \times 682 = 302.44 \text{ dm}^3$$

- Détermination de la composition pondérale sèche en Kg :

$$\text{Masse de ciment : } C = 350 \text{ Kg/m}^3$$

$$\text{Masse d'eau : } E = 194.64 \text{ L/ m}^3$$

$$\text{Masse de sable : } S = V_s \times M_{vabs}$$

$$S = 235.23 \times 2.65 = 623.35 \text{ Kg/ m}^3$$

$$\text{Masse de gravillons : } G (3/8) = V_g \times M_{vabs} = 134.42 \times 2.6 = 349.5 \text{ Kg/m}^3$$

$$G (8/15) = V_g \times M_{vabs} = 302.44 \times 2.65 = 801.5 \text{ Kg/m}^3$$

constituants	Le volume (dm ³)
sable	235.23
Gravier 3/8	134.23
Gravier 8/15	302.44
Ciment	112.9

Tableau III.12: le volume des composants en (dm³).

constituants	La masse (kg)
sable	623.35
Gravier 3/8	349.5
Gravier 8/15	801.5
Ciment	350

Tableau III.13 : les composants en masse (kg).



III.4. Préparation des bétons ordinaire :

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

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

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



Figure III .13: vérification de l'état des moules.

- Préparer tout le matériel nécessaire pour effectuer les essais.

-Préparer les quantités des constituants (ciment, sable, gravier eau).

-Placer les constituants par ordre : gravier8/15, gravier3/8, sable , le ciment dans le malaxeur pendant(01) min pour malaxage à sec.

-Laisser le malaxeur et ajouter progressivement l'eau de gâchage.

D'après le malaxage, rempli les éprouvettes en deux/ trois couches avec vibration à l'aide d'une table vibrante

La vibration doit être appliquée durant le temps nécessaire au serrage a refus du béton, il est préférable que la moule soit fixe ou maintenu fermement contre cette table, toute autre vibration excessive doit être évitée.



Figure III .14: Préparation des bétons ordinaire.

III.5. Conservation des éprouvettes :

Le démoulage est effectué après 24 heures. Compter l'âge des éprouvettes à partir du moment du malaxage du ciment et de l'eau, jusqu'au début de l'essai. Effectuer les essais de résistance à différents âges dans les limites suivantes :

- 7 jours, 14 jours, 21 jours , 28 jours.



Figure III .15: Conservation des éprouvettes .

Chapitre IV :
Analyse des résultats
et
discussions



IV.1. Introduction :

Dans ce chapitre nous abordons les différents essais effectués sur le béton pour évaluer ses propriétés (résistance à la compression).

Une analyse et des discussions des résultats seront présentées, nous allons comparer les différents résultats des éprouvettes des différents.

IV.2. Résistance mécaniques à la compression :

L'essai de compression consiste à soumettre l'éprouvette de béton à l'écrasement par compression uniaxiale. La mise en charge doit se faire d'une manière continue jusqu'à rupture de l'éprouvette.



Figure IV.1 : éprouvette en cours de l'écrasement.

Les essais de compression sont réalisés à différentes échéances (7,14, 21, et 28) jours. Les résultats obtenus de la résistance des bétons à la compression sont illustrés dans les Figures (IV.2, IV.4, IV.8, IV.10).

IV.2.1. Méthode Empirique : Eprouvettes secs

jour	épreuve	Force (KN)	Résistances (MPa)
7	1	257.327	13
14	1	287.348	15
21	1	305	16
28	1	348.1	18

Tableau IV.1 : Résistance a la compression (R-ME1).

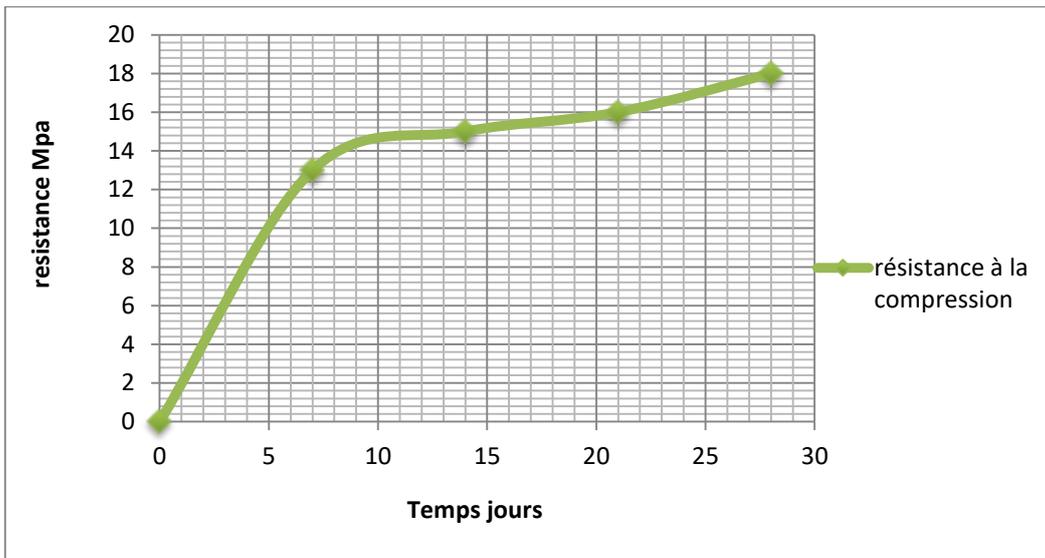


Figure IV-2 : courbe de résistance à la compression (R-ME1).

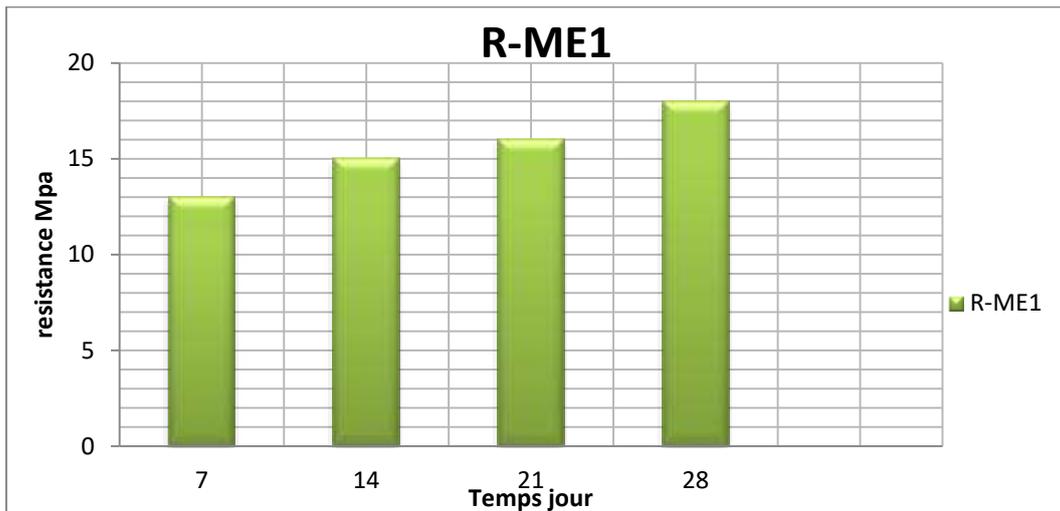


Figure IV-3 : histogramme de résistance a la compression (R-ME1).

La Figure V-2 montre que la résistance en compression augmente en fonction de l'âge du matériau (7, 14, 21 et 28 jours).

Eprouvettes immergés dans l'eau :

jour	épreuve	Force (KN)	Résistances (MPa)
7	1	279.3	14
14	1	371.46	18
21	1	440.35	21
28	1	488.1	24

Tableau IV.2 : Résistance a la compression (R-ME2).

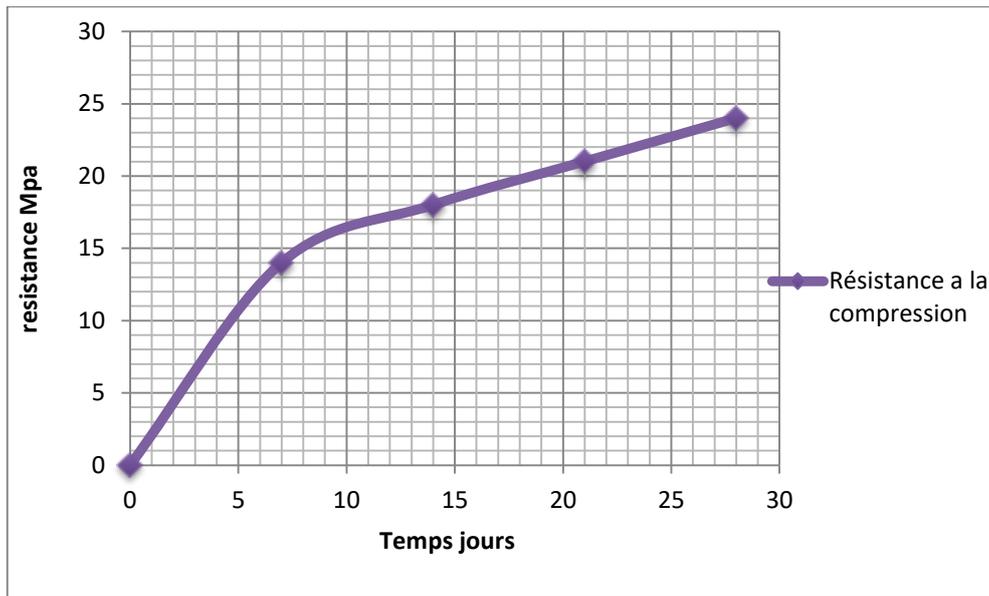


Figure IV-4 : courbe de résistance à la compression –(R-ME2).

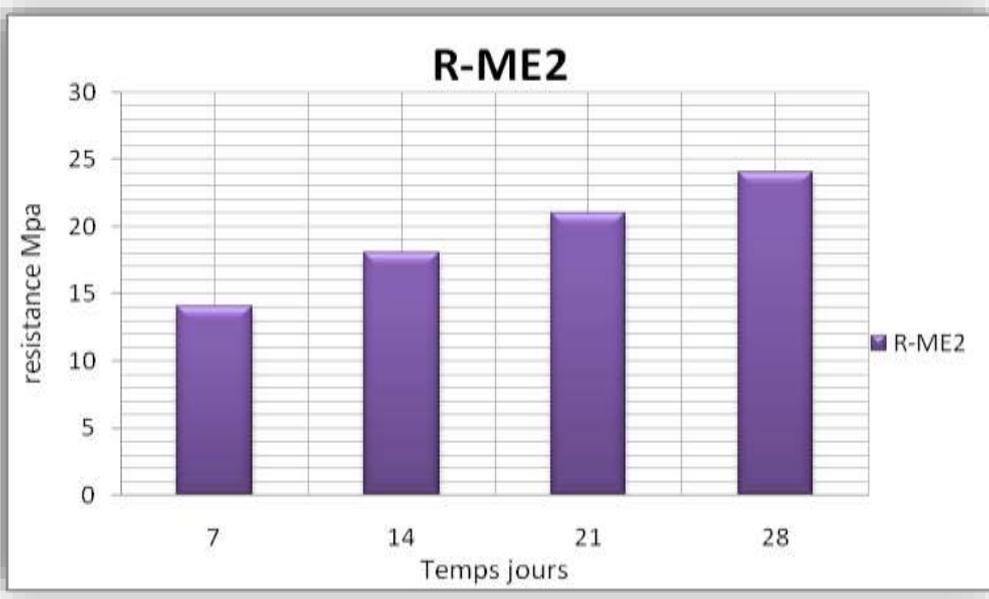


Figure IV-5 : histogramme de résistance a la compression (R-ME2).

-Comparaison des résistances à la compression :

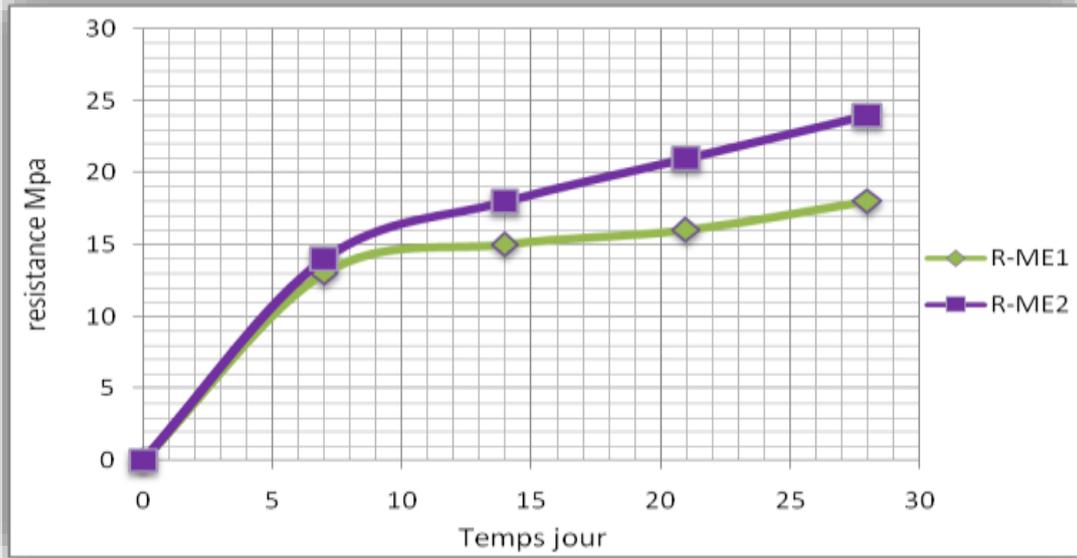


Figure IV.6: Comparaison des résistances à la compression des bétons (R-ME1-R-ME2)

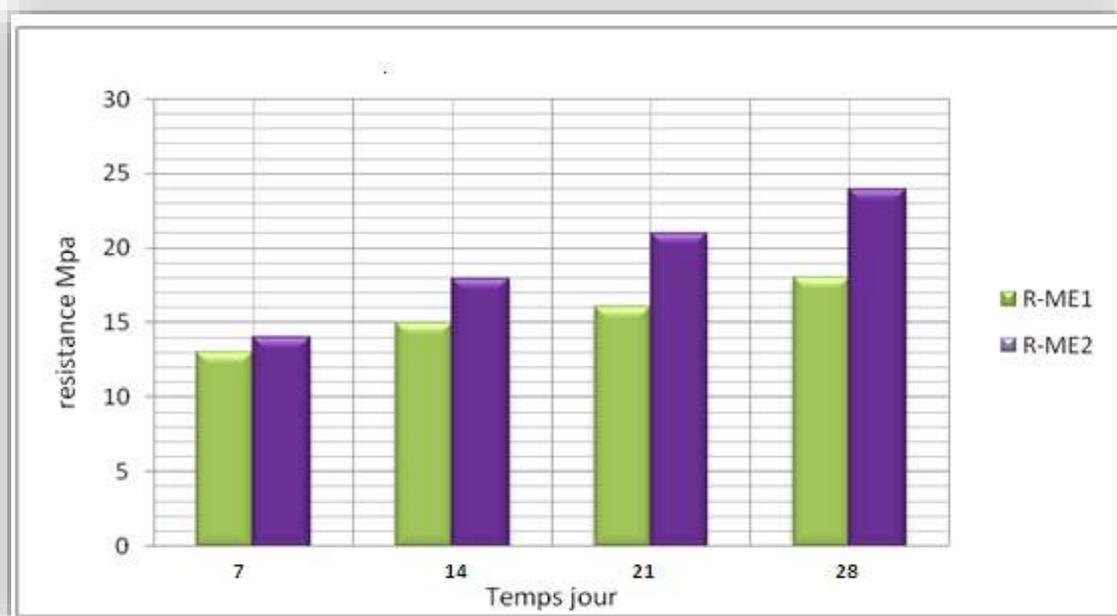


Figure IV.7: histogramme de résistance a la compression (R-ME1-R-ME2).

Nous remarquons que les valeurs de résistance à la compression d'éprouvettes immergées dans l'eau (R-ME2) donnent de meilleurs résultats de résistance que les éprouvettes sèches (R-ME1).

IV.2.2. Méthode DREUX-GORISSE : Eprouvettes secs :

jour	épreuve	Force (KN)	Résistances (MPa)
7	1	280.12	14
14	1	310.1	16
21	1	372.55	18
28	1	402.1	21

Tableau IV.3 : Résistance a la compression (R-DG1).

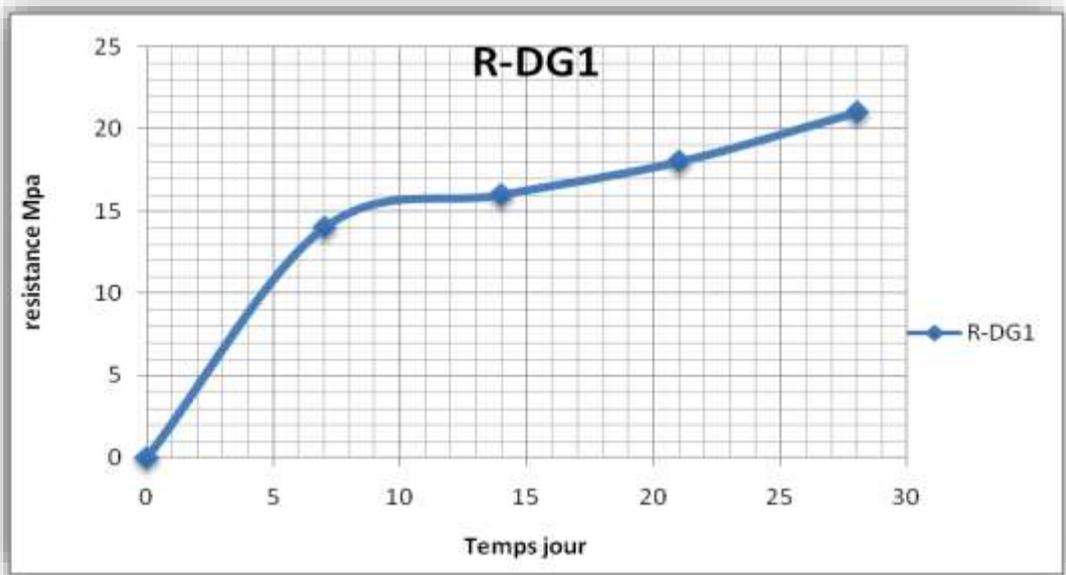


Figure IV-8 : courbe de résistance à la compression –(R-DG1).

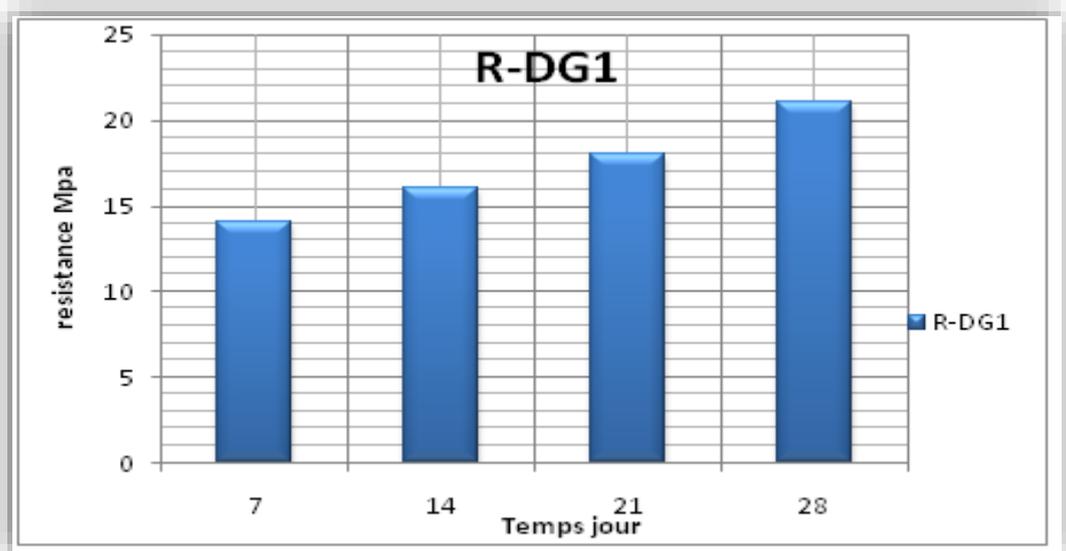


Figure IV-9 : histogramme de résistance a la compression (R-DG1).

Eprouvettes immergés dans l'eau :

jour	épreuve	Force (KN)	Résistances (MPa)
7	1	310.1	16
14	1	438.21	21
21	1	441.35	22
28	1	402.1	25

Tableau IV.4 : Résistance a la compression (R-DG2).

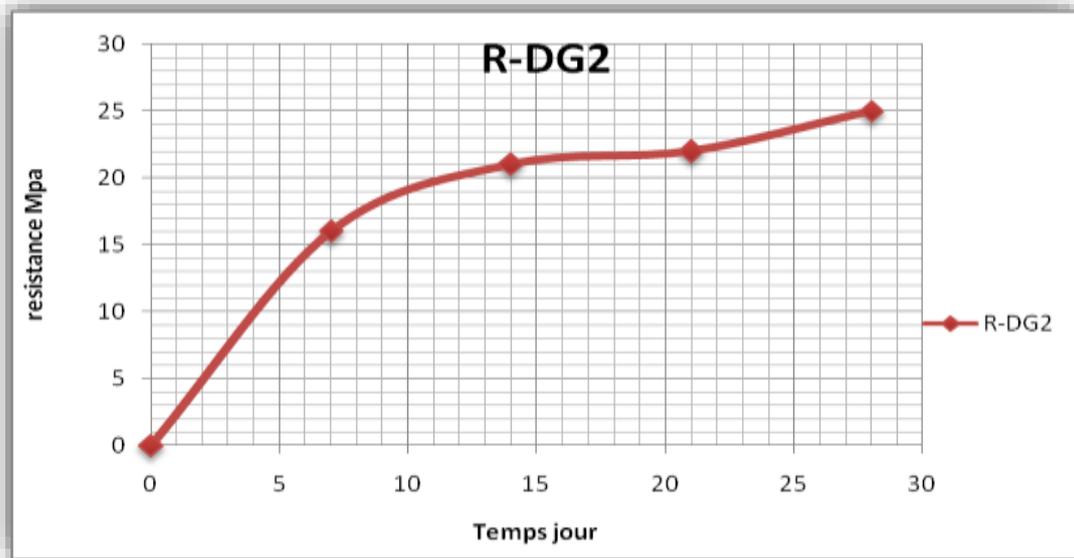


Figure IV-10 : courbe de résistance à la compression –(R-DG2).

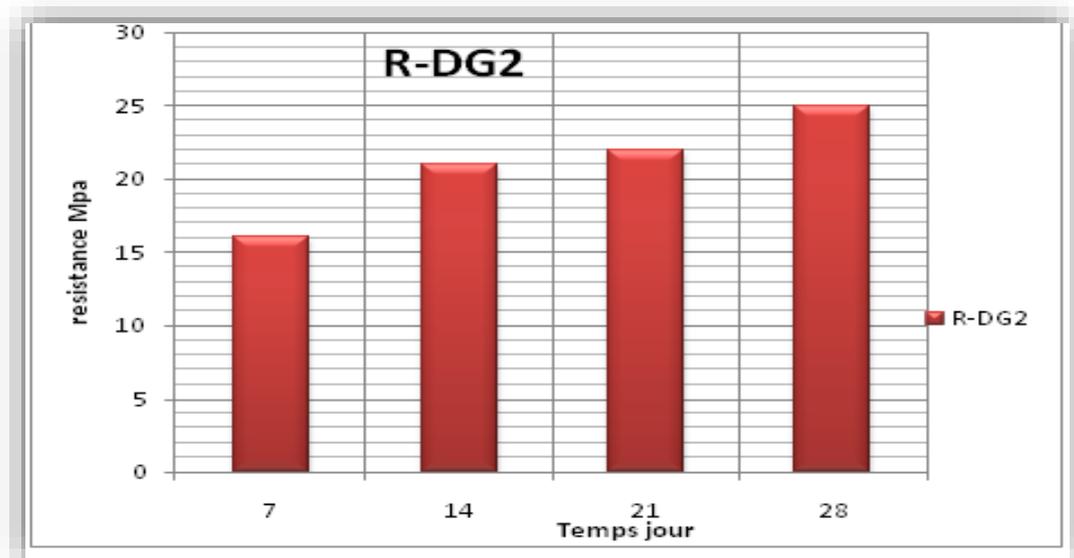


Figure IV-11 : histogramme de résistance a la compression (R-DG2).

-Comparaison des résistances à la compression :

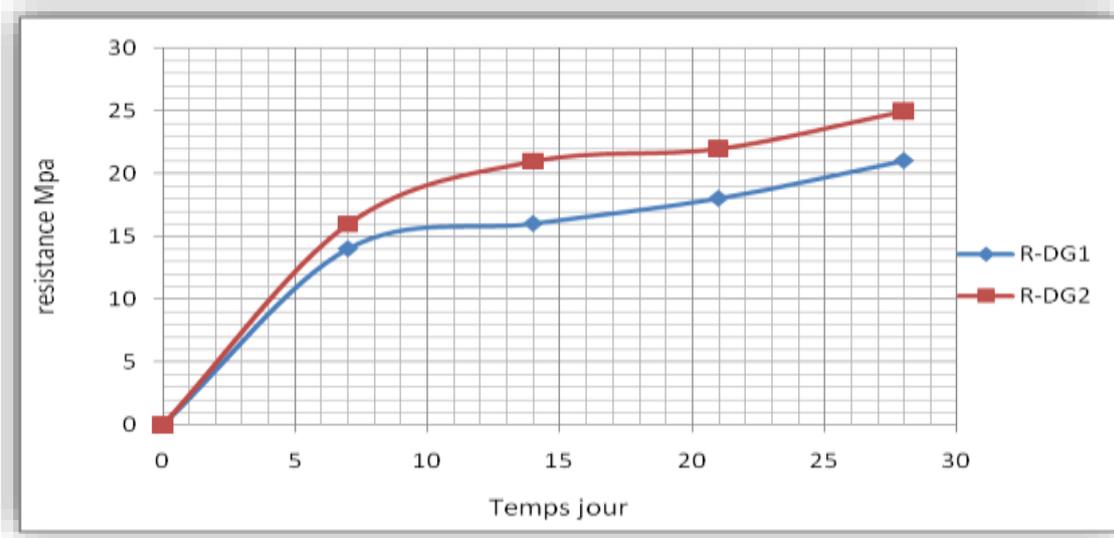


Figure IV-12: Comparaison des résistances à la compression des bétons (R-DG1 et R-DG2).

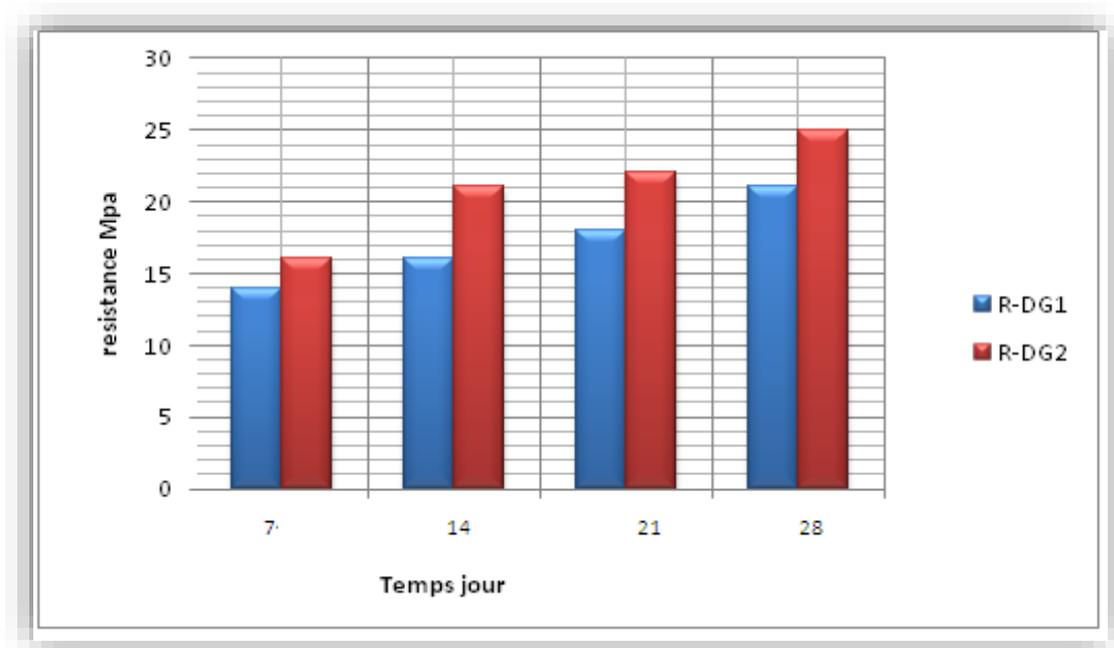


Figure IV.13: histogramme de résistance a la compression (R-DG1-R-DG2).

Nous remarquons que les valeurs de résistance à la compression d'éprouvettes immergées dans l'eau (R-DG2) donnent de meilleurs résultats de résistance que les éprouvettes sèches (R-DG1).

IV.3. Comparaison entre les résultats des bétons :

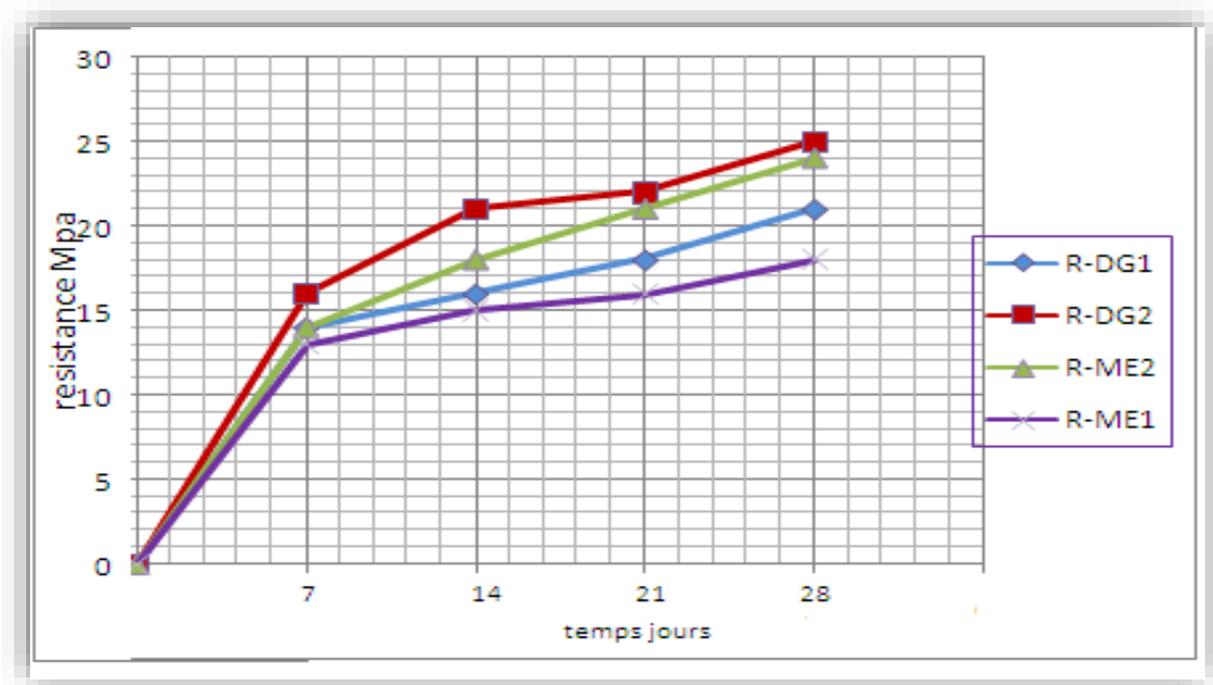


Figure IV-14: Comparaison des résistances à la compression des bétons .

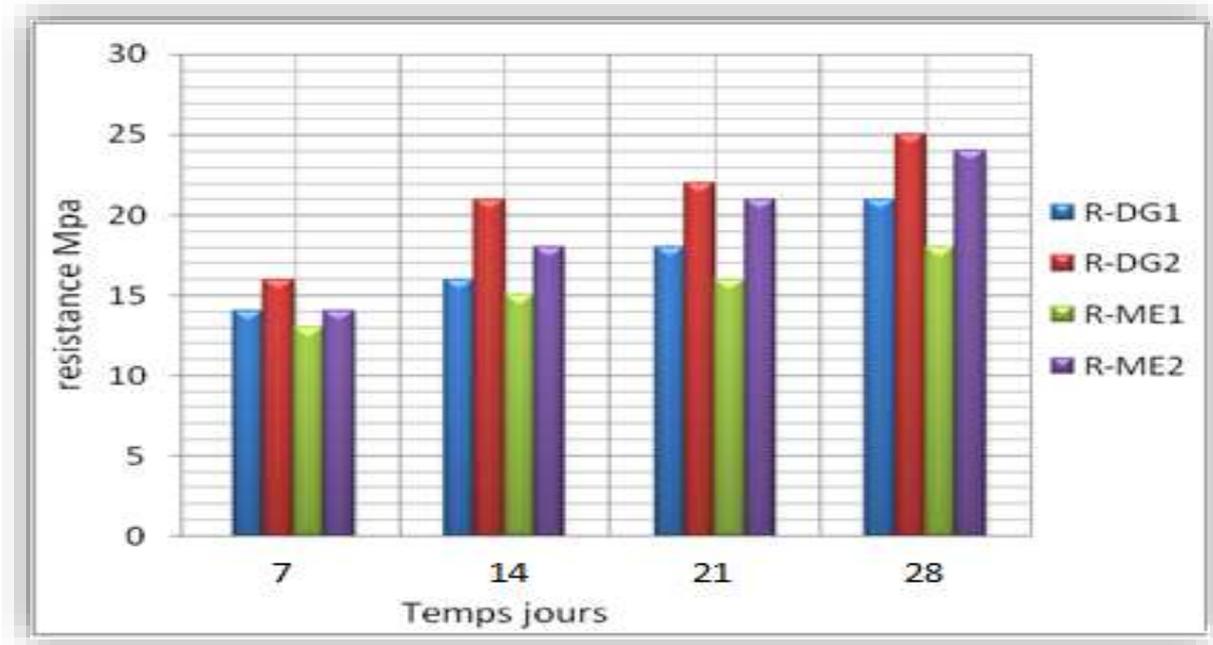


Figure IV.15: histogramme de résistance a la compression.

A 7 jours, les valeurs varient de 13 à 16 MPa. Alors qu'à 14 jours, ces valeurs varient de 15 à 21 MPa, A 28 jours de durcissement, on remarque des augmentation de résistances de 18 à 25 MPa.

IV.4. Conclusion :

L'objectif de ce chapitre est de comparer les quatre types d'éprouvettes, en variant les méthodes de formulation (DREUX-GORISSE et méthode empirique). Les résultats de cette étude nous ont permis de constater les points suivants :

La méthode de Dreux donne des résultats de résistance plus importants que la méthode empirique

Les éprouvettes immergées dans l'eau donnent de meilleurs résultats de résistance que les éprouvettes sèches.

Conclusion générale

Conclusion générale :

L'obtention d'un bon béton est basée sur la qualité des constituants et leur dosage dans mélange, Pour ce faire, nous avons procédé à la caractérisation physique et mécanique des granulats entrant dans la composition de mélanges.

Cette étude est effectuée pour voir l'influence de l'application de deux méthodes de formulation, méthode de Empirique et méthode de Dreux-Gorisse

Les essais ont été réalisés sur les éprouvettes en béton (16x32 cm³). D'après les résultats présentés dans ce travail, nous observons que la résistance à la compression des bétons formulés par la méthode de Dreux – Gorisse (les valeurs varient de 21 à 25 MPa) est Supérieure à celle trouvée par la méthode de Empirique, cette résistance est de 18 à 24 MPa.

Enfin ce travail nous a permet de mieux comprendre ce domaine de construction, accéder aux différents laboratoires manipuler des appareils et des matériaux et de mettre en valeur tous ce que nous avons appris durant notre parcours d'étude.

Références Bibliographiques

Références Bibliographiques

- [1] : A. CHAREF, "La problématique des granulats au Maroc", Push-Button Publishing, (2007).
- [2] : Norme Française XP P 18-540, "Granulats - Définitions, conformité, spécifications, indice de classement: P 15-540", (1997).
- [3] : R. MAILLOT, "Mémento technique des Granulats", les Presses de l'Ecole des Mines, Paris, 166 p., (2001).
- [4] : J. BARON, et R. SAUTREY, "Le béton hydraulique", Presse de l'école nationale des ponts et chaussées, Paris, 560 p., (1982).
- [5] : A. M. NEVILLE, "Propriétés des bétons", traduit par le CRIB, Edition Eyrolles, 806p., (2000).
- [6] : V. PHOUMMAVONG, "Cours en ligne matériaux de construction", Université Nationale du Laos, <http://www.la.refer.org/materiaux/>
- [7] : G. ARQUIE & C. TOURENQ, "Granulats", Presses de l'école nationale des Ponts et Chaussées, 717 p., (1990).
- [8] : Le LERM, "Déchets de chantiers de bâtiment", enquête CEBTP/DEMAIN pour FFBet ADEME, (1999).
- [9] : Guide technique d'application pour l'utilisation de matériaux minéraux de recyclage version (28-01-2016)
- [10] : N. BOURMATTE, "Granulats Recyclés de substitution pour Bétons Hydrauliques, Caractérisation, Performances, Durabilité", Thèse de Magister, Université Mentouri de Constantine, 159 p., (2005).
- [11] : Le LERM, "Déchets de chantiers de bâtiment", enquête CEBTP/DEMAIN pour FFBet ADEME, (1999).
- [12] : F. GABRYSIK, "Matériaux - Les Granulats - Chapitre 2", Académie de Nancy-Metz, http://www.ac-nancy-metz.fr/enseign/Batiment_Pro/
- [13] : Norme Française EN 933-3, "Essais pour déterminer les caractéristiques géométriques des granulats – Partie 3 : Détermination de la forme des granulats – Coefficient d'aplatissement", AFNOR, (1996).
- [14] : J.L. DURVILLE & H. HERAUD, "Description des roches et des massifs rocheux", Techniques de l'ingénieur C 352, 13 p., (1995).
- [15] : Norme Française P 18 554, "Granulats - Mesures des masses volumiques, de la porosité, du coefficient d'absorption et de la teneur en eau des gravillons et cailloux", (1990).

- [16] : L. MIREN ETXEBERRIA, "Experimental Study on Microstructure and Structural Behaviour of Recycled Aggregate Concrete", Thèse de doctorat, Université polytechnique de Catalogne - Espagne, 242 p., (2004).
- [17] : Norme Française XP P 18-598, "Granulats- Equivalent de sable", AFNOR, (1991)
- [18] : Norme Française XP P 18-591, "Granulats - détermination de la propreté superficielle", AFNOR, (1990).
- [19] : Norme Européenne EN 206-1, "Béton Partie1: Spécification, performances, production et conformité", (2002).
- [20] : Norme Française P 18-577, "Granulats - Essai Micro-Deval", AFNOR, (1990).
- [21] : CH. GHERDAOUI, "Influence des fines minérales sur les propriétés mécaniques et la durabilité du béton à base de sable de carrières de la région de Guelma", Mémoire de Magister, Université Badji M. - Annaba, 94 p., (2007).
- [22] : **G. e. F... Dreux**, Nouveau guide du béton et de ses constituants, EYROLLES, Huitième édition 1998 Troisième tirage 2007.
- [23] : **L. J. Vicat**, Traité pratique et théorique de la composition des mortiers, ciments et gangues a pouzzolanes et de leur emploi dans toutes sortes de travaux.
- [24] : Mr Z.BENGHAZI : cour technologie des géomatériaux par: zeid-benghazi.weebly.com
- [25] : DREUX. G 1979 : « Nouveau guide du béton. »
- [26] : GABRYZIA. F: Matériaux. (Chapitre 2 les granulats et chapitre 4 bétons). 2007
- [27] : ADAMM.N : « Propriétés des bétons. » Edition Eyrolles. 2000
- [28] : VENANT.M : « Ciment et bétons. » 2ème édition. 1973
- [29] : Groupe Eyrolles: « Cône d'Abrams. » Edition Eyrolles.2010
- [30] EN-12350-6 : masse volumique du béton frais.
- [31] : EN-12390-3 : résistance à la compression des éprouvettes.
- [32] : ÉPROUVETTES EN BÉTON [Hervé BEINISH, 2000].
- [33] : EN-12390-5 : résistance à la flexion sur éprouvettes.
- [34] : THIBAUT. B, BOUFFARD.M, HORLAIT.C, LACROIX.R : Projet IFIPS(2008)
- [35] : LAFARGE, Documents de LAFARGE, France.
- [36] : Dupain. RetLanchon.R: granulats, sols, ciment et bétons paris : Ed Educavivres, 276p
- [37] : Aitcin.P.C et Baron.J : Béton haute performance, Ed.Eyrolles, 1996
- [38] : **DREUX G.** « Composition des bétons. », Réf. C2220. 10/05/1982.

Annexes

ANNEX 1 : Valeurs approximatives du coefficient granulaire (G) :

Valeurs approximatives du coefficient granulaire (G)

Qualité des granulats	Dimension D des granulats		
	Fins (D ≤ 16 mm)	Moyen (25 ≤ D ≤ 40 mm)	Gros (D ≥ 63 mm)
Excellente	0.55	0.60	0.65
Bonne, courante	0.45	0.50	0.55
Passable	0.35	0.40	0.45

ANNEX 2 : Correction sur le dosage en eau fonction de D

Dimension maximale des Granulats D(mm)	4	8	12.5	20	31.5	50	80
Correction sur le dosage en eau	+15	+9	+4	0	-4	-8	-12

ANNEX 3: Valeurs du terme correcteur K [Dreux et Festa, 1998] :

Vibration		Faible		Normale		Puissante	
Forme des granulats (du sable en particulier)		Roulé	Concassé	Roulé	Concassé	Roulé	Concassé
Dosage en ciment	400 + fluide	-2	0	-4	-2	-6	-4
	400	0	+2	-2	0	-4	-2
	350	+2	+4	0	+2	-2	0
	300	+4	+6	+2	+4	0	+2
	250	+6	+8	+4	+6	+2	+4
	200	+8	+10	+6	+8	+4	+6

NOTA 1 : Correction supplémentaire K_p :

Si le module de finesse du sable est fort (sable grossier) une correction supplémentaire sera apportée de façon à relever le point A, ce qui correspond à majorer le dosage en sable et vice versa. La correction supplémentaire (sur K) peut être effectuée en ajoutant la valeur $K_p = 6 M_f - 15$ (M_f étant le module de finesse du sable qui peut varier de 2 à 3 avec une valeur optimale de l'ordre de 2,5 pour laquelle la correction préconisée est alors nulle).

NOTA 2 : Correction supplémentaire K_c :

Si la qualité du béton est précisée « pompable », il conviendra de conférer au béton le maximum de plasticité et de l'enrichir en sable par rapport à un béton de qualité « courant ». On pourra pour cela majorer le terme correcteur K de la valeur $K_c = + 5$ à 10 environ, selon le degré de plasticité désiré.

ANNEX 4: coefficient de compacité de béton :

Consistance	Compactage (serrage)	Coefficient de compacité						
		D=5	D=10	D=16	D=25	D=40	D=63	D=100
Molle	Piquage	0.750	0.780	0.795	0.805	0.819	0.815	0.820
	Vibration faible	0.755	0.785	0.800	0.810	0.829	0.820	0.825
	Vibration normale	0.760	0.790	0.805	0.815	0.820	0.825	0.830
Plastique	Piquage	0.760	0.790	0.805	0.815	0.820	0.825	0.830
	Vibration faible	0.765	0.795	0.810	0.820	0.825	0.830	0.835
	Vibration normale	0.770	0.800	0.815	0.825	0.830	0.835	0.840
	Vibration puissante	0.775	0.805	0.820	0.830	0.835	0.840	0.845
Ferme	Vibration faible	0.775	0.805	0.820	0.830	0.835	0.840	0.845
	Vibration normale	0.780	0.810	0.825	0.835	0.840	0.845	0.850
	Vibration puissante	0.785	0.815	0.830	0.840	0.845	0.850	0.855

ANNEX 5: Les valeurs d'équivalent de sable d'après F.GORISSE.

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