



**Ministère de l'enseignement supérieure
et de la recherche scientifique**
Université Mohamed Boudiaf - M'sila
Faculté de technologie



Département de GENIE CIVIL

MEMOIRE

**Présenté pour l'obtention du diplôme de
MASTER**

FILIERE : Génie Civil

SPECIALITE : Matériaux

THEME

**Durabilité d'un béton exposé à un milieu
Agressif (acide sulfurique) influence du
rapport G/S**

Dirigé par:

Prof: NACERI Abd elghani

Mr: ZITOUNI Salim

Présenté par:

Ferhati taieb

Promotion: 2015/2016

Dédicaces

Je dédie ce travail:

**A ma mère et mon père qui me sont les
plus chers au monde**

A mes frères et sœurs, à ma famille

A tous mes amis et collègues

A tous ceux qui m'ont aidé à finir

Ce mémoire.

T.ferhatí

REMERCEMENT

REMERCEMENT

Nos remerciements s'adressent en premier lieu à notre Dieu pour nous avoir donné l'esprit et les moyens pour arriver à ce stade de connaissance, nous prions pour que nous restions fidèles à lui

Je tiens à exprimer mes profonds sentiments de respections et de remerciements encadreur à Professeur: NACERI Abd elghani et le Co-encadreur ZITOUNI Salim, pour ses conseils efficaces durant la préparation de ce travail.

Nous remercions très sincèrement, les membrés
De jury d'avoir bien accepter de juger ce travail

Merci pour votre amitié précieuse aux étudiants du génie civil et toute la
promotion 2016

Nos remerciements vont enfin à toute personne
Qui a contribué de près ou de loin à élaboration de ce travail

SOMMAIRE

SOMMAIRE

Dédicaces	1
REMERCEMENT	2
SOMMAIRE	3
LISTE DES TABLEAUX.....	5
LISTE DES FIGURES.....	7
ملخص.....	8
RESUME	9
ABSTRACT.....	10
INTRODUCTION	11
1 : GÉNÉRALITÉS	11
2 : Les objectifs de l'étude	11
3 : plan du travail	11
Chapitre I : Généralité sur le béton et milieu agressive	12
I.1 :Généralité sur les de béton.....	12
I.1.2:Différents types de bétons	12
I.1.3:caractéristiques du béton	13
I.1.3: Rôle des différents éléments constituant le béton.....	13
I.1.4 :Propriétés des bétons	13
I.1.4.1 Le béton frais	14
I.1.4.2:Le béton durci.....	14
I.1.5 : Les Constituants Du Béton	15
I.1.5.1: Le ciment	15
I.1.5.2: Les granulats.....	18
I.1.5.3: le sable	21
I.1.5.4: L'eau de gâchage	23
I.1.6 : le formulation de béton.....	24
I.1.6.1: Méthodes de Dreux_Gorisse	24
I.2 :Généralité sur le milieu agressive :.....	27
I.2.1: Les attaques chimiques du béton	27
I.2.2:Différents types de Les attaques chimiques du béton.....	28
I.2.3: Les attaques sulfatiques	28
I.2.3.1: Définition de l'attaque sulfatique	28
I.2.3.2: Sources des sulfates	29
I.2.4: Les dégradations dues à l'eau de mer :.....	32
I.2.4.1: Définition de l'attaque marine	32
I.2.5: Attaque par les ions chlorures	33
I.2.5.1:Introduction	33
I.2.5.2: Définition de l'attaque par les ions chlorures.....	34
I.2.5.3: Source de l'attaque des ions chlores.....	34
I.2.6: La carbonatation	34
I.2.6.1: Définition de la carbonatation	34
I.2.7: L'alcali-réaction.....	36
I.2.7.1: Définition.....	36
I.2.7.2: Les différents types d'alcali-réaction	36
I.2.7.3: Source de cette attaque	37
I.2.8: La lixiviation en eau douce.....	37
I.2.8.1: Définition.....	37

SOMMAIRE

Chapitre II Matériaux matériels et essais	39
II.1:Introduction	39
II.2 :graviers concassés	39
II.2.1:Origine.....	39
II.2.2:Analyse granulométrique	39
II.2.2.1: Principe de l'essai.....	39
II.2. 2.2: Mode opératoire	39
II.2.2.3: Les résultats des analyses granulométriques	40
II.2.3: Masse volumique apparente	42
II.2.3.1: gravier de fraction 3/8 et 8/16	42
II.2.3.2: différents mélanges.....	43
II.2.4 : Masses volumiques absolues.....	45
II.2.4.1: But de l'essai	45
II.2.4.2: Mode opératoire	45
II.2.5:Absorption d'eau	47
II.2.6:Porosités	47
II.2.7:La Compacité	49
II.2.8:Indice des vides	49
II.2.9: Résistance à la fragmentation.....	50
II.3:sable.....	51
II.3.1: composition granulométrique.....	51
II.3.2: Equivalent de sable.....	52
II.3.3: Module de finesse.....	54
II.3.4: Masses volumiques apparentes	54
II.3.4 .1: Principe de l'essai.....	54
II.3.4.2: Mode opératoire	55
II.3.5 Masses volumiques absolues.....	55
II.3.6 Porosités (NF P 18 554 et 18 555)	56
II.3.7: Compacité.....	56
II.3.8: L'indice des vides :	56
II.3.9 : Les Caractéristiques chimiques de sable	56
II.4 : Le ciment.....	57
II.5: l'eau de gâchage	58
II.6 : Formulation des mélanges.....	58
II.6.1:Formulation du béton Méthodes de Dreux_Gorisse	58
II.7: Performances des bétons à l'état frais et à l'état durci	62
II.7.1: Affaissement au cône d'Abrams	62
II.7.1.2: Principe de l'essai.....	62
II.7.1.3: Appareillage	62
II.7.1.4: Mode opératoire	62
II.7.2 Résistance à la compression	63
Chapitre III : Exploitation des résultats obtenus sur les bétons	64
III.1 : Introduction.....	64
III.2 : Représentation et analyse des résultats	64
III.2.1 : Béton à l'état frais.....	64
III.2.2 : Béton a l'état durci.....	65
III.2.2.2 Calcul des résistances mécaniques.....	67
Chapitre IV : Conclusion	72
Références et bibliographies	73

LISTE DES TABLEAUX

Chapitre I : Généralité sur le béton et milieu agressive

TABLEAU 1.1: Classement des bétons selon la valeur d'affaissement au cône d'Abrams.....	14
TABLEAU 1.2 : les différents ciments et les proportions en masse de leurs constituants. Les constituants marqués d'une étoile sont secondaires (moins de 5%).....	17
TABLEAU 1.3 : Classes en fonction de la résistance normale à 28 jours.....	17
TABLEAU 1.4 : Classification des sables suivant les valeurs de module de finesse.....	22
TABLEAU 1.5 : Valeur préconisée pour l'équivalent de sable.....	23
TABLEAU 1.6 : Valeurs de G coefficient granulaire.....	24
TABLEAU 1.7 : valeur du terme correcteur	25
TABLEAU 1.8 : coefficient de compacité.....	26

Chapitre II Matériaux matériels et essais

TABLEAU 2.1 : Résultat de l'analyse granulométrique des fractions (8/16) du gravier concassé.....	40
TABLEAU 2.2 : l'analyse granulométrique de fraction (3/8) du gravier concassé.....	40
TABLEAU 2.3 : l'analyse granulométrique des fractions ((40%3/8)/ (60%8/16) du gravier concassé.....	41
TABLEAU 2.4 : Masse volumiques (A l'état lâche) des fractions 3/8 et 8/16 du gravier concassé.....	42
TABLEAU 2.5 : Masse volumiques (à l'état compacte) des fractions 3/8 et 8/16 du gravier Concassé	43
TABLEAU 2.6 : Masse volumiques (à l'état lâche) des différents mélanges en fonction de rapport G/S	43
TABLEAU 2.7 : Masse volumiques (à l'état compacte) du différent mélange en fonction de rapport G/S	44
TABLEAU 2.8 : Masse volumiques absolue des fractions (3/8) et (8/16) du gravier concassé	46
TABLEAU 2.9 : Masse volumiques absolues des différents mélanges en fonction de rapport G/S...	46
TABLEAU 2.10 : coefficient d'absorption d'eau des fractions (3/8) et (8/16) du gravier concassé...	47
TABLEAU 2.11 : La porosité des fractions (3/8) et (8/16) du gravier concassé	48
TABLEAU 2.12 : Porosités des différents mélanges en fonction de rapport G/S	48
TABLEAU 2.13 : compacité des fractions (3/8) et (8/16) du gravier concassé	49
TABLEAU 2.14 : compacité des différents mélanges en fonction de rapport G/S	49
TABLEAU 2.15 : Indice de vide des fractions (3/8) et (8/16) du gravier concassé Cossidar	49
TABLEAU 2.16 : Indice de vide des différents mélanges en fonction de rapport G/S	50
TABLEAU 2.17 : los Angeles des fractions (3/8) et (8/16) du Granulats concassé	50
TABLEAU 2.18 : l'analyse granulométrique d'un sable 0/5	51
TABLEAU 2.19 : Equivalent du sable	53
TABLEAU 2.20 : Comparaison des résultats	54

LISTE DES TABLEAUX

TABLEAU 2.21 : Masse volumique apparente ((à l'état lâche du sable	55
TABLEAU 2.22 : Masse volumique apparente ((à l'état compact)) du sable	55
TABLEAU 2.23 : Masse volumique absolue du sable	55
TABLEAU 2.24 : La porosité P(%) du sable	56
TABLEAU 2.25 : Compacité C(%) du sable	56
TABLEAU 2.26 : L'indice des vides I (%) du sable	56
TABLEAU 2.27 : Analyse chimique du sable de BOUSAADA	57
TABLEAU 2.28 : Caractéristiques du ciment	57
TABLEAU 2.29 : Valeurs de G coefficient granulaire	58
TABLEAU 2.30 : constitue nécessaires pour 1 ^{er} béton	61
TABLEAU 2.31 : constitue nécessaires pour 2 ^{emé} béton	61
TABLEAU 2.32 : constitue nécessaires pour 3 ^{emé} béton	62

Chapitre III : Exploitation des résultats obtenus sur les bétons

TABLEAU 3.1 : Variation de l'affaissement en fonction du type de béton	64
TABLEAU 3.2 : rapport E/C, réduction d'eau des mélanges de béton	64
TABLEAU 3.3 : les résultats des mesures de la masse volumique à l'état durci des bétons	65
TABLEAU 3.4 : volumique des bétons à l'état durci (Concentration 10%) en fonction de tempe.....	66
TABLEAU 3.5 : Résistances à la compression	67
TABLEAU 3.6 : Résistances à la traction en fonction de tempe	68
TABLEAU 3.7 : Résistances à la compression en fonction de tempe	69
TABLEAU 3.8 : Résistances à la traction	70

LISTE DES FIGURES

Chapitre I : Généralité sur le béton et milieu agressive

Figure 1.1: Etapes de fabrication du ciment	18
Figure 1.2 : Dosage en ciment	25
Figure 1.3 : la courbe granulair de référence	27
Figure 1.4 : Des cas pathologiques d'éléments en béton en contact de sulfate	28
Figure 1.5 : L'origine des sulfates (interne ou externe)	29
Figure 1.6 : L'attaque par les sulfates	31
Figure 1.7 : La formation de l'ettringite secondaire	31
Figure 1.8 : Agression du béton par activité des chlorures	33
Figure 1.9: Coupe théorique d'un mur en béton	35

Chapitre II Matériaux matériels et essais

Figure 2.1: Analyse granulométrique des fractions (8/16) du gravier concassé.....	40
Figure 2.2: Analyse granulométrique des fractions (3/8) du gravier concassé	41
Figure 2.3 : l'analyse granulométrique des fractions ((40% 3/8)/ (60% 8/16) du gravier concassé.....	42
Figure 2.4: ρ_{app} ((à l'état lâche)) du différent mélange en fonction de rapport G/S	44
Figure 2.5: ρ_{app} ((à l'état compacte)) du différent mélange en fonction de rapport G/S	45
Figure. 2.6: Masse volumiques absolues des différents mélanges en fonction de rapport G/S	47
Figure 2.7: Porosités des différents mélanges en fonction de rapport G/S	48
Figure 2.8: compacité des différents mélanges en fonction de rapport G/S	49
Figure 2.9: Indice de vide des différents mélanges en fonction de rapport G/S	50
Figure 2.10 : l'analyse granulométrique d'un sable 0/5	52
Figure 2.11: Dosage en ciment	59
Figure 2.12: Courbe Granulométrique	60

Chapitre III : Exploitation des résultats obtenus sur les bétons

Figure 3.1 : Rapport (E/C) en fonction du rapport (G/S)	65
Figure 3.2 : Masse volumique des bétons à l'état durci (Concentration 5%) en fonction de tempe	66
Figure 3.3 : Masse volumique des bétons à l'état durci (Concentration 10%) en fonction de tempe	67
Figure 3.4 : Résistances à la compression des mélanges de bétons en fonction de tempe	68
Figure 3.5 : Résistances à la traction du différent béton en fonction de tempe	69
Figure 3.6 : Résistances à la compression des bétons	70
Figure 3.7 : Résistances à la traction du différent béton en fonction de tempe	71

ملخص

هذه الدراسة التجريبية تكشف تأثير نسبة الحصى /الرمل على خواص الخرسانة الطازجة والمتصلدة في بيئة عدوانية. التغيير في نسبة الحصى /الرمل بنسب 1.7 2 2.3 اثر بشكل مباشر على ديمومة الخرسانة حيث انه لحظنا هناك زيادة في الديمومة بعد التخفيض من الحصى الخشن ,وزيادة نسبة الحصى /الرمل تزيد من المسامية , وزيادة المسامية تزايد من سهولة الاختراق عناصر العدوانية في الخرسانة يزيد من نفوذي في الخرسانة بسهولة زيادة كمية حمض الكبريتي وزيادة نسبة الحصى /الرمل تؤدي إلى انخفاض متانة الخرسانة وذلك بسبب الزيادة في نفاذية في الخرسانة وزيادة قوة في الاختراق لعناصر العدوانية

كلمات البحث: الحصى المكسر، الخرسانة، امتصاص الماء، القوة الميكانيكية، البيئة العدوانية.نسبة الحصى /الرمل

RESUME

RESUME

l'influence du rapport G/S sur les propriétés du béton frais et durci Cette étude expérimentale expose dans un milieu agressif

La variation du rapport G/S de 1,7, 2,0 et 2,3 à une influence directe sur la durabilité du béton.

On remarque que la diminution de la taille des gros granulats engendre une augmentation de la durabilité

En augmentant le rapport gravier / sable la porosité de la matrice du béton devient moins compacte. Et facilite la pénétration des agents agressif dans le béton, la durabilité donc est affectée par ces agents agressifs

L'augmentation de la concentration de l'acide sulfurique engendre une diminution de la résistance du béton ainsi la durabilité est affectée négativement.

Mots clés : granulats concassés, béton, absorption d'eau, résistances mécaniques, milieu agressif, rapport G/S

RESUME

ABSTRACT

This experimental study exposes the influence of the G / S on the properties of fresh and hardened concrete in an aggressive environment

The variation of G / S ratio of 1.7 to 2.0 and 2.3 depending on the cement content directly influenced the sweat of concrete durability.

We notice an increase in durability after decreasing coarse aggregates

And increase the gravel / sand ratio as it increase the porosity. And increase the porosity increases the ease of penetration into the concrete

The increased amount of sulfuric acid it decreased the Concrete Sustainability

Keywords: crushed aggregate, concrete, water absorption, mechanical strength, aggressive environment, G / S ratio

INTRODUCTION

1 : GÉNÉRALITÉS

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

La durabilité d'un ouvrage caractérise sa capacité à conserver dans les conditions prévues les fonctions d'usage pour lesquelles il a été conçu (fonctionnement structurel, sécurité, confort des usagers...etc.) et à maintenir son niveau de fiabilité et son aspect, dans son environnement, avec des frais de maintenance et d'entretien aussi réduits que possible

La résistance du béton aux attaques des sulfates est l'un des facteurs les plus importants pour sa durabilité. Le problème est aussi ancien que le béton et on a commencé à l'étudier il y a déjà près de 100 ans.

L'attaque sulfurique est accompagnée d'une précipitation de produits sulfatés dits «secondaires» dont la formation est postérieure à l'hydratation du ciment, d'une expansion importante et de détériorations chimio-mécaniques (modification des propriétés de transport et de la porosité, fissures, pertes de résistance et de cohésion). Ceci conduit à la ruine du matériau cimentaire, à plus ou moins long terme en fonction de l'attaque (nature, teneur et concentration des sulfates au contact) et du ciment utilisé.

2 : Les objectifs de l'étude

Le meilleur rapport (G / S) et d'augmenter la durabilité du béton dans l'étude de la viabilité de l'environnement agressif en abordant les amendements à l'attaque sulfurique et en face-à-face en béton externe

3 : plan du travail

Cette 'étude est divisée en quatre chapitres :

Chapitre 1 :

Généralité sur le béton et milieu aggressive

Chapitre 2 :

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

Chapitre 3 :

Exploitation des résultats obtenus sur les bétons

Chapitre 4 :

Conclusion

Chapitre I : Généralité sur le béton et milieu agressive

I.1 Généralité sur les de béton:

a: Historique:

Vers 2600 avant JC, les Assyriens et les Babyloniens [1].

L'architecture du XXe siècle, Tacheng, Kolno, 1991. ont employé l'argile comme un

Matériau liant, c'est-à-dire comme le ciment. Les Égyptiens [2].

Ont utilisé un ciment à base de chaux et de gypse.

En 1756, un ingénieur Anglais, John Seaton [3].

Paris, Nathan, 1995. 352 p. a fait le premier béton moderne (ciment hydraulique) en utilisant l'addition de gravillons naturels ressemblants aux graviers et d'un mélange de briques pulvérisées comme ciment.

En 1824, un inventeur Anglais, Joseph Aspdin [4].

Crée un ciment portland qui est la méthode la plus utilisée à ce jour pour la production de béton.

En 1849, un jardinier Parisien, Joseph Monier [5]

A inventé le béton armé à partir de l'idée de renforcer les bacs à fleurs qu'il construisait en béton en y incorporant des barres en fer.

b : Définition du béton [6]

Le béton est un matériau composite. Il est constitué de plusieurs matériaux différents, qui deviennent homogènes entre eux, soit à la mise en œuvre (béton frais), soit après durcissement (béton durci). Ses composants sont déterminés dans des proportions étudiées a fin d'obtenir des propriétés souhaitées telles que la résistance mécanique, la consistance, la durabilité, l'aspect architectural (formes, teintes, textures), la résistance au feu, l'isolation thermique et phonique, et ceci en utilisant des méthodes spécialisées dites « méthodes de formulation du béton » Le béton est le matériau de construction le plus utilisé au monde pour les réalisations des ouvrages de génie civil .Il est caractérisé essentiellement par une bonne résistance à la compression. Ses inconvénients résident dans sa mauvaise résistance à la traction ainsi que sa masse volumique relativement élevée

I.1.2:Différents types de bétons :

a) Béton auto plaçant (BAP) :

Développé dans les années 80 par des chercheurs de l'université de Tokyo au Japon [7].

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 [8]

b) Béton de haute performance (BHP) :

Bétons 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. Leur propriété essentielle est leur grande

Résistance en compression qui dépasse largement le cas des bétons ordinaires.

Ceci est obtenu grâce à leur faible porosité qui est diminuée en réduisant la quantité d'eau de Gâchage par l'emploi d'adjuvants plastifiants et super plastifiants [9].

c) Béton de fibre :

Béton dans lequel sont incorporées des fibres, ce qui permet suivant l'ouvrage de supprimer le Treillis soudé traditionnel [10].

d) Béton a durcissement rapide :

Bétons dont le développement des résistances mécaniques est accéléré, ces bétons permettent la réalisation des travaux sur des éléments d'ouvrages demandant une remise en service Rapide, ainsi que le décoffrage prématuré ou la mise en précontrainte le plus rapidement en Préfabrication [11].

e) Béton léger :

Les bétons légers comme ayant une masse volumique après séchage 2100 kg/m³. Parmi ces bétons on peut citer les bétons de granulats légers. Ils sont utilisés dans le domaine du confort thermique [12]

f) Béton lourd :

C'est un béton dont la masse volumique est supérieure à 2600 kg/m³, les résistances mécaniques du béton lourd sont comparables à celles des bétons classiques et même plus élevées compte tenu des faibles dosages en eau [13]

g) Béton ordinaire :

Mélange homogène composé exclusivement des constituants de base ciment, granulat, 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 MPA \leq f_{c28} \leq 50 MPA [14]

I.1.3: caractéristiques du béton :

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

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.

a) Résistance à la compression (NF EN-12390-3) : [15]

Parmi toutes les sollicitations mécaniques, la résistance du béton en compression unie axiale a été la plus étudiée, vraisemblablement parce qu'elle projette généralement une image globale de la qualité d'un béton, elle est directement liée à la structure de la pâte de ciment hydraté.

b) Résistances à la traction par flexion (NF EN-12390-5) : [16]

Des éprouvettes prismatiques de dimensions 7x7x28 cm sont soumises à un moment de Flexion par application d'une charge au moyen de rouleaux supérieurs et inférieurs.

I.1.3: Rôle des différents éléments constituant le béton:

- **Ciment** : c'est le constituant qui va réagir chimiquement avec l'eau, devenir résistant, et lier tous les ingrédients.

- **L'eau**: c'est elle qui va hydrater le ciment et rendre le mélange malléable.

- **Les granulats** : ils vont former une disposition plus ou moins ordonnée qui va conférer au béton sa résistance. C'est le ciment hydraté qui va "coller" les granulats.

- **Le sable**: il permet de remplir les trous qui subsistent entre les gros granulats.

I.1.4 Propriétés des bétons [17] :

Le béton doit être considéré sous deux aspects **frais et durci**

Chapitre I : Généralité sur le béton et milieu agressive

I.1.4.1 Le béton frais:

a) Définition:

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

.La propriété essentielle du béton frais est son ouvrabilité, qui le rend apte à remplir n'importe quel volume, à condition que sa composition ait été étudiée en conséquence et que les moyens de mise en œuvre soient appropriés. L'ouvrabilité caractérise l'aptitude d'un béton à remplir les coffrages et à enrober convenablement les armatures. De nombreux facteurs influent sur l'ouvrabilité: type et dosage en ciment, forme des granulats, granulométrie, emploi d'adjuvants et, bien entendu, dosage en eau.

b) la valeur d'affaissement au cône d'Abrams :

La norme NF EN 206-1 définit cinq classes de consistance.

Classe	Consistance du béton	Affaissement (en mm) au cône d'Abrams
S1	Ferme	10 – 40
S2	Plastique	50 – 90
S3	Très plastique	100 – 150
S4	Fluide	160 – 210
S5	Très fluide	≥220

TABLEAU 1.1: Classement des bétons selon la valeur d'affaissement au cône d'Abrams

c) 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 :

$$D = (M2 - M1)/V$$

D : est la masse volumique du béton

M1 : est la masse du récipient (kg).

M2 : est la masse du récipient plus la masse du béton contenu dans le récipient (kg).

V : est le volume du récipient en mètre cube (m³)

I.1.4.2:Le béton durci:

a) Définition :

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.

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.

- 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.

Chapitre I : Généralité sur le béton et milieu agressive

- Les caractéristiques de déformations sous charge du béton sont connues et peuvent être mesurées.

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

$$f_c = \frac{F}{AC}$$

f_c : résistance en compression, exprimée en méga pascal (Newton par millimètres carrés)

F : charge maximale, exprimée en Newtons

AC; 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 MPa (N/mm^2) près.

b) Résistance à la traction par flexion [3]

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.

Les mesures sont faites sur une presse qui répond aux normes NFP18-407(NA428), munie d'un banc de flexion à 4 points. Pour une charge totale P, le moment de flexion constant entre les deux points d'application de la charge est :

$$M = \frac{P * A}{2}$$

et la contrainte de traction correspondante sur la fibre inférieure est $f_{tj} = 6M / a^3$

la relation suivante permet de calculer la résistance :

$$F_{tj} = 1.8 \frac{P}{a^2}$$

I.1.5 : Les Constituants Du Béton

I.1.5.1: Le ciment:

a) : Définition : [24]

C'est un liant minéral obtenu par décarbonatation d'un calcaire et décomposition d'une argile

Chapitre I : Généralité sur le béton et milieu agressive

à une température avoisinant, les 1450 °C .Broyés sous forme d'une poudre fine souvent D'une couleur grise, en contact avec l'eau forment des minéraux hydratés très stables.

Les travaux effectués ont montré que les principaux composés du ciment portland sont :

- Le Silicate Tricalcique (Alite) : $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ (C3S).
- Le Silicate Bicalcique (Belite) : $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ (C2S).
- L'Aluminate Tricalcique : $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ (C3A).
- L'Alumino-Ferrite Tétracalcique : $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ (C4AF).

Et d'autres éléments tels que les sulfates, les alcalins ... etc.

Le ciment joue le rôle de liant du béton hydraulique. Le ciment est composé d'un mélange en poudre de chaux et de calcaire argileux qui durcit avec l'eau. Pour faire du béton ou du mortier, on utilise du ciment gris ordinaire dit de Portland. Il se vend généralement en sac de 50 kg

Sa masse volumique absolue est de 3,02 g/cm³

b) Les constituants du ciment [22]

b.1. fabrication du clinker

Le composé de base des ciments est un mélange de chaux apportée par des roches calcaires et d'alumine, de silice et d'oxyde de fer apportés par des argiles. Calcaires et argiles sont extraits de carrières, puis concassés, homogénéisés, portés à haute température (1450 °C) dans un four. Le produit obtenu après refroidissement rapide (la trempe) est le clinker Portland.

Le clinker, auquel on ajoute quelque pourcentage de gypse est ensuite finement broyé de manière à obtenir une poudre dont la masse volumique absolue varie de 3,0 à 3,2 kg/dm³.

b.2. Autres Constituants Des Ciments :

Ils modifient les propriétés du ciment grâce à leurs caractéristiques chimiques ou physiques. De part leur nature, ils permettent aussi d'abaisser le prix de revient.

- laitier granulé de Haut fourneau (S) :

Il est obtenu par refroidissement rapide de scories provenant de la fusion de minerai de fer dans un haut fourneau. Le laitier a des propriétés hydrauliques.

- Pouzzolanes naturelles (Z) :

Ce sont des roches d'origine volcanique ou sédimentaires ayant une composition appropriée, ou des argiles et schistes activés thermiquement. Les pouzzolanes n'ont pas de propriété hydrauliques, mais en présence de la chaux libérée par le clinker au cours des on hydratation, elles forment des hydrates stables : on dit qu'elles ont des propriétés pouzzolaniques.

- Cendres volantes (V ou W) :

Elles proviennent du dépoussiérage des gaz de combustion des centrales thermiques au charbon. On distingue : Les cendres volantes siliceuses (V) qui ont des propriétés pouzzolaniques; Les cendres volantes calciques (W) qui ont des propriétés hydrauliques et parfois pouzzolaniques.

- Schistes calcinés(T):

Ce sont des schistes portés à une température de 800°C dans un four spécial. Finement broyés, ils présentent de fortes propriétés hydrauliques et aussi pouzzolaniques.

- Calcaires (L):

Ils doivent être constitués de 75% au moins de CaCO_3

- Fumées de silice (D) :

Proviennent de l'industrie du silicium et des alliages. Elles ont des propriétés pouzzolaniques.

Chapitre I : Généralité sur le béton et milieu agressive

- **Fillers(F)**: Ce sont des constituants secondaires et n'excèdent pas 5% dans la composition des ciments. Ce sont des matières minérales naturelles ou artificielles qui agissent par leur granulométrie sur les propriétés physiques des liants (maniabilité, pouvoir de rétention d'eau).

C) Classification des ciments:

1) Classification en fonction de leur composition : norme NFP15-301[22]

	Ciment Portland	Ciment portland composé		Ciment de haut fourneau			Ciment pouzzolanique		Ciment au laitier et aux cendres	
	CPA-CEM I	CPJ-CEM II/A	CPJ-CEM II/B	CHF-CEM III/A	CHF-CEM III/B	CLK-CEM III/C	CPZ-CEM IV/A	CPZ-CEM IV/B	CLC-CEM V/A	CLC-CEM V/B
Clinker (K)	≥ 95%	≥ 80% ≤ 94%	≥ 65% ≤ 79%	≥ 35% ≤ 64%	≥ 20% ≤ 34%	≥ 5% ≤ 19%	≥ 65% ≤ 90%	≥ 45% ≤ 64%	≥ 40% ≤ 64%	≥ 20% ≤ 39%
Laitier (S)	*	6% ≤	21% ≤	≥ 36% ≤ 65%	≥ 66% ≤ 80%	≥ 81% ≤ 95%	*	*	≥ 18% ≤ 30%	≥ 31% ≤ 50%
Pouzzolane (Z)	*	total	total	*	*	*	10% ≤ total	36% ≤ total	18% ≤ total	31% ≤ total
Cendres siliceuses (V)	*	≤ 20%	≤ 35%	*	*	*	≤ 35%	≤ 55%	≤ 30%	≤ 50%
Fumée de silice (D)	*	(fumée	(fumée	*	*	*	(fumée ≤ 10%)	(fumée ≤ 10%)	*	*
Cendres calcaïques (W)	*	de	de	*	*	*	*	*	*	*
Schistes (T)	*	silice	silice	*	*	*	*	*	*	*
Calcaires (L)	*	≤ 10%)	≤ 10%)	*	*	*	*	*	*	*
Fillers (F)	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*

TABLEAU 1.2 : les différents ciments et les proportions en masse de leurs constituants. Les constituants marqués d'une étoile sont secondaires (moins de 5 %). [22]

2) Classification en fonction de leur résistance:

Trois classes sont définies en fonction de la résistance normale à 28 jours; des sous-classes sont associées aux 3 classes principales pour désigner des ciments dont les résistances au jeune âge sont élevées.

Les classes doivent respecter les spécifications indiquées dans (Tableau1.3) ci-dessous. Les valeurs entre parenthèses sont des valeurs garanties lorsqu'elles peuvent être inférieures aux valeurs spécifiées.

Classe	<i>Résistance à la compression (MPa)</i>				<i>Retrait à 28 jours (1)</i>	<i>Début de prise</i>	<i>Stabilité</i>
	<i>norme EN 196-1</i>				<i>norme</i>	<i>norme</i>	<i>norme</i>
	<i>au jeune âge</i>		<i>à 28 jours</i>		<i>P 15-433</i>	<i>EN 196-3</i>	<i>EN 196-3</i>
	2 jours	7 jours	mini	maxi	(μm/m)	(min)	(mm)
32,5		(17,5)	≥ 32,5 (30)	≤ 52,5	≤ 800	≥ 90	≤ 10
32,5 R	≥ 13,5 (12)		≥ 32,5 (30)	≤ 52,5	≤ 1000	≥ 90	≤ 10
42,5	≥ 12,5 (10)		≥ 42,5 (40)	≤ 62,5	≤ 1000	≥ 60	≤ 10
42,5 R	≥ 20 (18)		≥ 42,5 (40)	≤ 62,5	≤ 1000	≥ 60	≤ 10
52,5	≥ 20 (18)		≥ 52,5 (50)			≥ 60	≤ 10
52,5 R	≥ 30 (28)		≥ 52,5 (50)			≥ 60	≤ 10

TABLEAU 1.3 : Classes en fonction de la résistance normale à 28 jours [22]

c) Le processus de fabrication de ciment Portland :

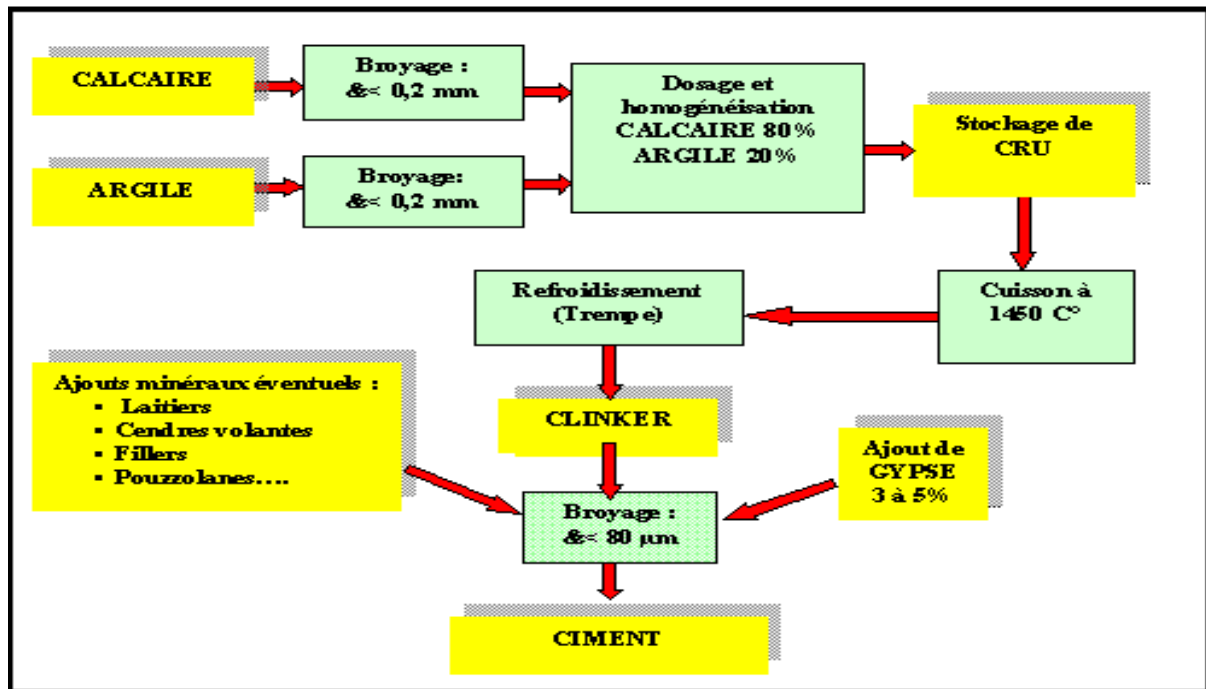


Figure 2.1: Etapes de fabrication du ciment.

I.1.5.2 Les granulats :

Le granulat est constitué d'un ensemble de grains minéraux qui selon sa dimension (comprise entre 0 et 125mm) se situe dans l'une des 7 familles suivantes : filles; sablons; sables; graves; gravillons; ballast; enrochements.

Les granulats sont obtenus en exploitant des gisements de sables et de graviers d'origine alluvionnaire terrestre ou marine, en concassant des roches massives (calcaires ou éruptives) ou encore par le recyclage de produits tels que les matériaux de démolition. Leur nature, leur forme et leurs caractéristiques varient en fonction des gisements et des techniques de production.

Les granulats les plus usuels pour la fabrication des mortiers et des bétons sont élaborés à partir de roches d'origine alluvionnaire (granulats roulés ou semi-concassés) ou à partir de roches massives (granulats concassés). La taille d'un granulat répond à des critères granulométriques précis. Les granulats sont classés en fonction de leur granularité (distribution dimensionnelle des grains) déterminée par analyse granulométrique à l'aide de tamis [20]

a) Granulats roulés et granulats concassés [20] :

Indépendamment de leur origine minéralogique, on classe les granulats en deux catégories :

- Les granulats de roche meuble :

Dits roulés, dont la forme a été acquise par l'érosion. Ces granulats sont lavés pour éliminer les particules argileuses, nuisibles à la résistance du béton et criblés pour obtenir différentes classes de dimension. Bien qu'on puisse trouver différentes roches selon la région d'origine, les granulats utilisés pour le béton sont le plus souvent siliceux, calcaires ou silico-calcaires. Ils sont exploités à proximité des cours d'eau, dans la nappe ou au-dessus de la nappe ou sur des fonds marins peu profonds. L'extraction est donc réalisée en fonction du gisement à sec ou dans l'eau

Chapitre I : Généralité sur le béton et milieu agressive

- Les granulats de roche massive :

Dits concassés sont obtenus par abattage et concassage, ce qui leur donne des formes angulaires. Une phase de précriblage est indispensable à l'obtention de granulats propres. Différentes phases de concassage aboutissent à l'obtention des classes granulaires souhaitées.

Les granulats concassés présentent des caractéristiques qui dépendent d'un grand nombre de paramètres : origine de la roche, régularité du banc, degré de concassage.

-caractéristiques des granulats: [22]

a) Granulométrie:

La granulométrie permet de déterminer l'échelonnement des dimensions des grains contenus dans un gravier. Elle consiste à tamiser les granulats sur une série de tamis à mailles carrées, de dimensions d'ouverture décroissantes et à peser le refus sur chaque tamis. Les ouvertures carrées des tamis sont normalisées et s'échelonnent de 0,08 mm à 80 mm. La courbe granulométrique exprime les pourcentages cumulés, en poids, de grains passant dans les tamis successifs. Les courbes granulométriques des différents granulats peuvent être déterminées par l'essai de l'analyse granulométrique (NF P 18-560)

b) Classes granulaires:

On trie les granulats par dimension au moyen de tamis (mailles carrées) et de passoirs (trous circulaires) et on désigne une classe de granulats par un ou deux chiffres. Si un seul chiffre est donné, c'est celui du diamètre maximum D exprimé en mm; si l'on donne deux chiffres, le premier désigne le diamètre minimum d , des grains et le deuxième le diamètre maximum D . Un granulat est caractérisé du point de vue granulaire par sa classe d/D . Lorsque d est inférieur à 2 mm, le granulat est désigné $0/D$. Il existe quatre classes granulaires principales caractérisées par les dimensions extrêmes d et D des granulats rencontrées (Norme NFP18-101) : [22]

- Les fines $0/D$ avec $D \leq 0,08$ mm.
- Les sables $0/D$ avec $D \leq 6,3$ mm.
- Les gravillons d/D avec $d \geq 2$ mm et $D \leq 31,5$ mm.
- Les cailloux d/D avec $d \geq 20$ mm et $D \leq 80$ mm.

c) Forme des granulats:

- Coefficient volumétrique:

Pour un grain, c'est le rapport entre le volume v du grain considéré et la sphère circonscrite de diamètre d , d étant la plus grande dimension du grain. Pour un grain;

$$c = \frac{v}{\pi \frac{d^3}{6}}$$

Pour un granulat constitué d'un ensemble de grains :

$$c = \frac{\sum v}{\sum \pi \frac{d^3}{6}} = \frac{V}{\frac{\pi}{6} \sum d^3}$$

Un coefficient faible correspond à un granulat présentant un certain nombre d'éclats et d'aiguilles. Un coefficient élevé correspond à un granulat dit : "cubique" ou "arrondi".

- *Indice de forme:* [18]

La forme d'un granulat est définie par trois grandeurs géométriques

-La longueur L, distance maximale de deux plans parallèles tangents aux extrémités du granulat.

-L'épaisseur E, distance minimale de deux plans parallèles tangents au granulat.

-La grosseur G, dimension de la maille carrée minimale du tamis qui laisse passer le granulat

- *Masse volumique apparente:*

C'est la masse du granulat sec occupant l'unité de volume. Elle dépend du tassement, de la forme et de la granulométrie des grains. Elle se mesure conformément à un mode opératoire précis (normes NF P 18 554 et 18 555). Elle est comprise entre 1400kg/m^3 et 1600kg/m^3 pour les granulats roulés silico-calcaires.

La valeur apparente est utilisée dans le cas où l'on effectue les dosages en volume des différentes composantes du béton

f) *Porosité:*

C'est le rapport du volume des vides contenus dans les grains au volume des grains, exprimé en pourcentage. La porosité des granulats courants est en général très faible. Cependant, la porosité est importante dans le cas des granulats légers. La mesure de la porosité se fait selon la norme (NF P 18 554 et 18 555).[19]

$$P\% = \left(1 - \frac{\rho_{app}}{\rho_{abs}}\right) * 100$$

j) *L'absorption d'eau des granulats:* [20]

La plupart des granulats stockés dans une atmosphère sèche pendant un certain temps, peuvent par la suite absorber de l'eau. Le processus par lequel le liquide pénètre dans la roche et l'augmentation de poids qui en résulte est appelé absorption. L'absorption peut varier dans de très larges mesures suivant la nature du granulat. Elle peut varier de 0 à plus de 30 % du poids sec pour granulat léger. En général, les granulats naturels utilisés pour la confection du béton sont peu poreux et n'absorbent pratiquement pas d'eau lorsqu'ils sont gâchés avec le ciment et l'eau. Par contre, des granulats artificiels, tels que agrégats légers expansés d'argile, sont poreux. Il faut alors tenir compte de l'absorption de l'eau par les granulats lorsque l'on détermine la quantité d'eau requise pour fabriquer le béton. La mesure du coefficient d'absorption d'eau se fait selon la norme (NFP 18554 et 18555).

L'absorption d'eau par immersion Abs est exprimée en pourcent de la masse sèche et est calculée par la relation suivante :

$$Abs = \frac{M_{humide} - M_{séch}}{M_{séch}} * 100$$

Avec :

M_{humide} la masse humide constante de l'échantillon après immersion;

$M_{\text{sèche}}$ la masse sèche constante de l'échantillon après séchage à l'étuve 105°C.

h) Résistance à la fragmentation:

Dans les bétons, les granulats sont soumis à des contraintes pouvant entraîner leur rupture: La mesure de leur résistance à la fragmentation s'obtient par l'essai Los Angeles (LA). Il fait l'objet de la norme NF P 18-573. C'est un essai de résistance aux impacts, basé sur la mesure de la dégradation granulométrique des matériaux soumis aux chocs. Le coefficient Los Angeles est calculé à partir du passage au tamis de 1,6 mm, mesuré en fin d'essai, caractérise le granulat et La résistance à la fragmentation est d'autant meilleure que sa valeur est petite.

i) Caractéristiques chimiques (Réaction alcali-silice) :

Sous ce terme se regroupent toutes les réactions qui peuvent se produire entre les granulats du béton et les alcalins de la pâte de ciment. Les granulats doivent être inertes vis à vis de l'alcali- réaction lorsqu'il y a un risque identifié pour l'ouvrage ou un élément d'ouvrage en béton. Il doit être possible de connaître la teneur en alcalins actifs afin de pouvoir établir un bilan pour une formulation de béton et déterminer la présence de granulats partiellement réactifs ou non qualifiés. Les désordres occasionnés par l'alcali-réaction se présentent sous forme de faïençage ou d'éclatement du béton

I.1.5.3 le sable:

a) Définition:

On définit les sables comme étant la fraction des granulats pierreux dont les grains ont des dimensions comprises entre 80 μm et 05 mm; il s'agit d'une définition globale, dont les bornes varient d'une Classification à une autre. Ce sont aussi les matériaux dont le diamètre maximal est inférieur à 6,3mm et dont le passant à 80 microns n'excède pas 30%

Dans le sens le plus courant, on entend par "sable" les éléments de dimensions 0 à 5 mm, non compris les filles. A cette définition se rattachent les sables de concassage; mais lorsqu'on dit sable, on pense essentiellement aux sables naturels abondants dans de nombreux pays et dont les réserves sont quasi inépuisables. En fait, la définition granulométrique du sable est plus compliquée, elle varie suivant les époques et diffère suivant les pays et selon la destination. [21]

b) Origine du sables : [17]

Les sables rencontrés sont le résultat d'une décomposition chimique ou d'une désintégration mécanique des roches suivies par un processus de transport qui est à l'origine de leurs caractéristiques physico-chimiques. Les sables ainsi disponibles sont le résultat d'un processus souvent complexe d'érosion et de sédimentation. Il comporte, à des degrés divers, une décomposition sur place des différentes roches suivie d'un transport fluvial et parfois éolien. Les différents processus qui conduisent de la roche massive aux sables sont suffisamment agressifs vis-à-vis des minéraux pour que seul subsistent les plus résistants ; c'est ainsi que la plus grande partie des formations sableuses est constituée de quartz qui devient de plus en plus abondant à mesure que la taille des grains décroît. La fraction comprise entre 0,2mm et 0,5mm est le plus souvent constituée de quartz à plus de 75%. Selon l'importance et la nature de leur transport, ces grains de sable peuvent présenter un aspect différent à savoir :

- Grains émoussés et luisants (usure due au déplacement par l'eau).
- Grains ronds et mats (déplacement par le vent).
- Grains non usés.

Chapitre I : Généralité sur le béton et milieu agressive

Selon leur histoire géologique, les sables se distinguent les uns des autres par une multitude d'aspects : granulométrie, teneur, nature et caractéristiques des fines, composition chimique, pétrologique et minéralogique, forme des grains, dureté,...etc. [17]

c) Classification des sables:

- **Sable grossier** : Plus de 20% des éléments sont supérieurs à 2mm et plus de 50% des éléments supérieurs à 80 μ m sont compris entre 0,5 et 5mm. Ces sables ont des propriétés qui se rapprochent des graves

- **Sable moyen** : Moins de 20% des éléments sont supérieurs à 2mm et plus de 50% des éléments supérieurs à 80 μ m sont compris entre 0,2 et 2mm.

- **Sable fin** : Plus de 75% des éléments supérieurs à 80 μ m, sont inférieurs à 0,5mm. Ces sables doivent être notablement corrigés pour acquérir des propriétés comparables à celles des graves.[22]

d) Module de finesse Mf:

Le module de finesse Mf est une caractéristique importante surtout en ce qui concerne les sables. Un bon sable à béton doit avoir un module de finesse Mf compris entre 2,2 et 2,8; au-dessous, le sable a une majorité d'éléments fins et très fins, ce qui nécessite une augmentation du dosage en eau; au-dessus, le sable manque de fines et le béton y perd en ouvrabilité. [22]

Norme Française [NFP18-540]

Le module de finesse est égal au 1/100e de la somme des refus cumulés exprimée en pourcentages sur les tamis de la série suivante : 0,08- 0,16 -0,315 - 0,63 - 1,25 - 2,5 - 5 mm.

- Pour $1,8 < Mf < 2,2$ le sable est à utiliser si l'on recherche particulièrement la facilité de mise en œuvre au détriment probable de la résistance.
- Pour $2,2 < Mf < 2,8$ le sable est à utiliser si l'on recherche une ouvrabilité satisfaisante et une bonne résistance avec des risques de ségrégation limités.
- Pour $2,8 < Mf < 3,2$ le sable est à utiliser si l'on recherche des résistances élevées au détriment de l'ouvrabilité et avec des risques de ségrégation.
- Pour $Mf > 3,2$ le sable est à rejeter

Sable	module de finesse MF	Refus cumul sur les tamis 0.633 en %
Gros	3.4 à 2.4	50 à 75
moyen	2.5 à 1.9	35 à 50
fin	2.0 à 1.5	20 à 35

TABLEAU 1.4 : Classification des sables suivant les valeurs de module de finesse.

Chapitre I : Généralité sur le béton et milieu agressive

e) Équivalent de sable selon la norme :(NA454)[23]

Les sables utilisés dans différents domaines ne sont pas tous propres, ils contiennent une proportion plus ou moins importantes des argiles fines nuisibles qui peuvent réduire considérablement la qualité des matériaux.

Cette proportion relative d'impureté dans les sable peut être déterminée grâce à l'essai de propreté appelé "équivalent de sable".

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

Cet essai peut être réalisé par deux types de mesure :

- Mesure avec une règle de mesure (ESV).
- Mesure avec un piston (ESP).

$$ESV = \frac{h_1}{h_2} * 100\%$$

$$ESP = \frac{h'_2}{h_1} * 100\%$$

E.S.V	E.S.P	Nature Et Qualité Du Sable
Esv < 65	Esp < 60	sable argileux ; à rejeter pour des bétons de qualité
65 ≤ Esv < 75	60 ≤ Esp < 70	sable légèrement argileux ; admissible pour des bétons de qualité courante
75 ≤ Esv < 85	70 ≤ Esp < 80	sable propre à faible pourcentage de fines argileuses ; convenant parfaitement pour des bétons de qualité.
Esv ≥ 85	Esp ≥ 80	sable très propre : absence presque totale de fines argileuses

TABLEAU 1.5 : Valeur préconisée pour l'équivalent de sable

I.1.5.4 L'eau de gâchage : [22]

L'eau est un constituant du béton nécessaire à l'hydratation du ciment, elle facilite aussi la mise en œuvre du béton ou du mortier. Une Classification classique permet de distinguer trois types d'eau :

- **L'eau chimiquement liée** : Elle n'est plus considérée comme faisant partie de la phase liquide car cette eau est combinée aux hydrates, dont elle fait partie, sous forme d'eau de cristallisation.

- **L'eau adsorbée**: est constituée par les couches de molécules d'eau sur la surface solide des pores. Soumises aux champs des forces électriques superficielles des particules de CSH et à l'action des forces de VAN DER WAALS. La structure électronique de la molécule d'eau ne varie que très peu dans ce cas la.

- **L'eau libre**: cette eau échappe aux forces superficielles des particules solides. En excès par rapport à l'eau nécessaire à l'hydratation, elle occupe les micropores.

Chapitre I : Généralité sur le béton et milieu agressive

I.1.6 : le formulation de béton:

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

On a recours, dans ce cas aux méthodes de détermination des proportions des différents composants ou on trouve soit :

- Les méthodes semi-empiriques (Faury, Bolomey, Vallette).
- Les méthodes graphiques (Joisel, Dreux-gorisse).

1.6.1 Méthodes de Dreux_Gorisse [13] :

Le choix de la méthode de formulation s'est fait en fonction des critères suivants :

- Une méthode assez simple et facile à utiliser.
- C'est une méthode appliquée au niveau des laboratoires de l'est algérien comme ceux du C.T.C, Est et autres laboratoires privés
- pour pouvoir comparer les résultats à ceux des autres organismes de contrôle.

a) Détermination du dosage en ciment:

On évalue d'abord le rapport E/C en fonction de la résistance désirée sur la base de la formule :

$$R_b = GR_c \left(\frac{C}{E} - 0.5 \right)$$

OU :

R_b : Résistance à la compression du béton prévue à 28 jours, en bars

G: Coefficient granulaire donné par le (Tableau 1.6), en fonction de la qualité et de la dimension maximale (*D_{max}*) du gravier

RC: Classe vraie du ciment à 28 jours, en bars

valeurs de G coefficient granulaire			
qualité des granulats	dimension des granulats D (mm)		
	Fins D 16	moyens 25 D 40	gros D 63
Excellente	0.55	0.60	0.65
bonne, courante	0.45	0.50	0.55
Passable	0.35	0.40	0.45

TABLEAU 1.6 : Valeurs de G coefficient granulaire.

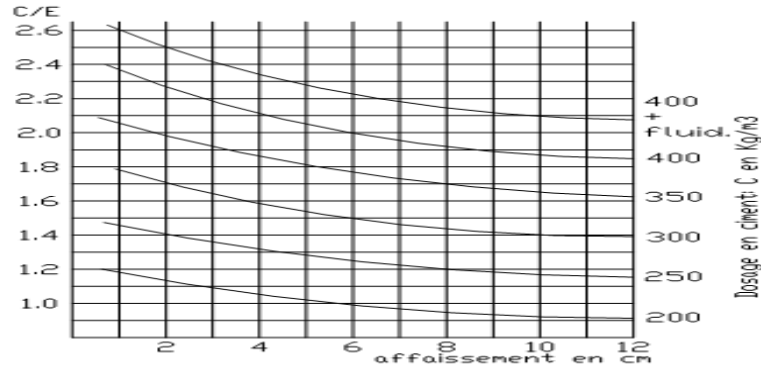


Figure 1.2 : Dosage en ciment.

b) Détermination du dosage en eau:

Connaissant C/E et le dosage en ciment (C) on déduit le dosage en eau total à prévoir par la formule:

$$E = \frac{C}{\frac{C}{E}}$$

c) Détermination du dosage en granulat:

C'est le pourcentage de sable et de gravier exprimé à partir de la courbe granulatoire de référence construite par l'une des méthodes de composition de béton, (Figure 1.3) ci-dessous courbe OAB. La courbe OAB, où B à l'ordonnée 100% correspond à la dimension D du plus gros granulat et le point de brisure A à des coordonnées ainsi définies comme suit :

• En abscisse :

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

Si $D \geq 20\text{mm}$ l'abscisse est située au milieu du segment, gravier limité par le module 38(5mm) et le module correspond à (D_{max})

• En ordonnée : Y donnée par la formule suivante :

$$Y = 50 - \sqrt{D} - K$$

K : est un terme correcteur qui dépend du dosage en ciment, de l'efficacité du serrage, de la forme des granulats roulés ou concassés (sur tout le sable, dont l'influence est prépondérante) et également du module de finesse du sable qui est donné par le (Tableau 1.7)

vibration	Faible		Normale		Puissante	
	roulé	concassé	roulé	concassé	roulé	Concassé
forme(s, t, sable)						
400+fluidifiants	-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

TABLEAU 1.7 : valeur du terme correcteur K

Chapitre I : Généralité sur le béton et milieu agressive

La courbe granulaire de référence OAB doit être tracée sur le même graphique que les courbes granulométriques des granulats composants. On trace alors les lignes de partage entre chacun des granulats en joignant le point à 95% de la courbe du granulat suivant, et ainsi de suite. On lira alors sur la courbe de référence au point de croisement avec la ou les droites de partage le pourcentage en volume absolu de chacun des granulats g1, g2, g3 par exemple.

Si c'est le dosage en ciment, le volume absolu des grains de ciment est :

$$c = \frac{C}{\rho_c}$$

ρ_c : C'est la masse spécifique pour les grains du ciment Le volume absolu de l'ensemble des granulats est :

$$V = 1000\gamma - c$$

ou : γ : coefficient de compacité qui est donné par le (Tableau 1.8)

consistance du béton	mode de serrage	G						
		Dmax 5 mm	Dmax 10 mm	Dmax 12.5 mm	Dmax 20 mm	Dmax 31.5 mm	Dmax 50 mm	Dmax 80 mm
Frais	Piquage	0.750	0.780	0.795	0.805	0.810	0.815	0.820
	vibration faible	0.755	0.785	0.800	0.810	0.815	0.820	0.825
	vibration normal	0.760	0.790	0.805	0.815	0.820	0.825	0.830
Molle	Piquage	0.760	0.790	0.805	0.815	0.820	0.830	0.830
	vibration faible	0.765	0.795	0.810	0.820	0.825	0.835	0.835
	vibration normal	0.770	0.800	0.815	0.825	0.830	0.835	0.835
	vibration puissante	0.775	0.805	0.820	0.830	0.835	0.840	0.845
plastique	vibration faible	0.775	0.805	0.820	0.830	0.840	0.840	0.845
	vibration normal	0.780	0.810	0.825	0.835	0.845	0.845	0.850
	vibration puissante	0.785	0.815	0.830	0.840	0.850	0.850	0.855
ferme	vibration faible	0.775	0.805	0.820	0.830	0.840	0.840	0.845
	vibration normal	0.780	0.810	0.825	0.835	0.845	0.845	0.850
	vibration puissante	0.785	0.815	0.830	0.840	0.850	0.850	0.855

TABLEAU 1.8 : coefficient de compacité

ANALYSE GRANULOMETRIQUE

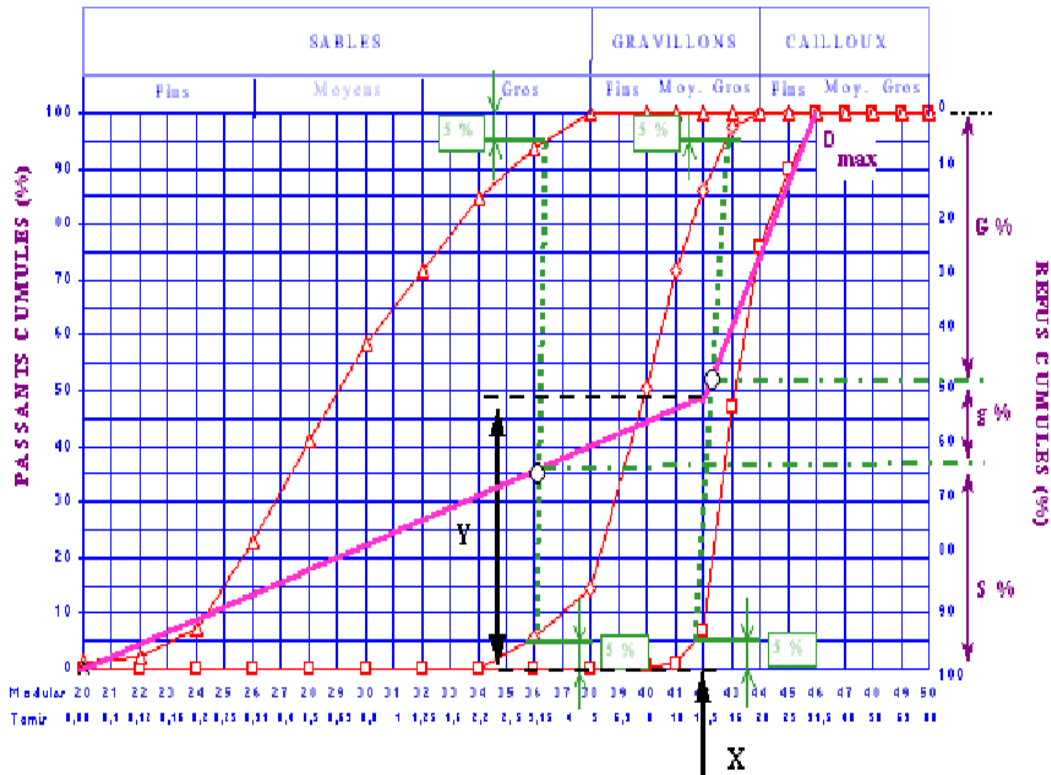


Figure 1. 3 : la courbe granulaire de référence.

I.2 Généralité sur le milieu agressive :

I.2.1 Les attaques chimiques du béton :

La durabilité est tout aussi importante que les caractéristiques mécaniques pour le matériau béton. Cette propriété est définie (dans un cadre très général) par la capacité du matériau à maintenir ses caractéristiques physiques et performances mécaniques dans des conditions de sécurité satisfaisantes pendant la durée de vie prévue pour l'ouvrage compte tenu des conditions de services existantes et de l'environnement dans lequel il évolue. Le paramètre régissant la durabilité est bien entendu la perméabilité. Plus cette dernière est réduite et mieux sa durabilité en sera augmentée.

Pour évaluer la durabilité « potentielle » d'un béton, il est nécessaire de connaître les mécanismes susceptibles de conduire à sa dégradation, et la résistance du matériau vis-à-vis de ces dégradations.

Les principaux processus chimiques à la base des dégradations du béton, pour la majorité des attaques chimiques, sont généralement regroupés en **trois catégories** :

A- L'hydrolyse ou la lixiviation (dissolution) des hydrates.

B- Les échanges ioniques entre les hydrates et le milieu agressif.

C- La formation de produits expansifs à l'intérieur du béton

I.2.2: Différents types de Les attaques chimiques du béton :

- 1) Les attaques sulfatiques:
- 2) Attaque par les acides :
- 3) Les dégradations dues à l'eau de mer
- 4) Attaque par les ions chlorures
- 5) La carbonatation
- 6) L'alcali-réaction
- 7) La lixiviation en eau douce

I.2.3: Les attaques sulfatiques:

I.2.3.1: Définition de l'attaque sulfatiques :

La résistance du béton aux attaques des sulfates est l'un des facteurs les plus importants pour sa durabilité. Le problème est aussi ancien que le béton et on a commencé à l'étudier il y a déjà près de 100 ans.

L'attaque sulfatiques est accompagnée d'une précipitation de produits sulfatés dits «secondaires» dont la formation est postérieure à l'hydratation du ciment, d'une expansion importante et de détériorations chimico-mécaniques (modification des propriétés de transport et de la porosité, fissures, pertes de résistance et de cohésion). Ceci conduit à la ruine du matériau cimentaire, à plus ou moins long terme en fonction de l'attaque (nature, teneur et concentration des sulfates au contact) et du ciment utilisé. [26]



Figure 1.4 : Des cas pathologiques d'éléments en béton en contact de sulfate. [26]

Chapitre I : Généralité sur le béton et milieu agressive

I.2.3.2: Sources des sulfates :

-On distingue deux types d'attaques : les attaques par les sulfates externes présents dans l'environnement du béton et les attaques sulfatiques internes pour lesquelles les sulfates proviennent des composants du béton lui même. [25]

-Lorsqu'il s'agit d'une attaque par les sulfates provenant de l'extérieur, il y a formation de couches de gypse et d'ettringite secondaire ainsi que la thaumasite à partir de la surface exposée aux sulfates. L'attaque par les sulfates externes est souvent combinée avec l'attaque par le cation correspondant, selon la provenance des sulfates, qui peuvent réagir avec certains granulats ou fillers, ou avec les C-S-H ou la portlandite, et contribuer davantage à la dégradation du béton. De plus, l'attaque par les sulfates externes peut être combinée à une attaque par l'acide ce qui accélère également la destruction de la pâte hydratée.

-Lorsqu'il s'agit d'une attaque interne par les sulfates, ces derniers proviennent presque uniquement des sulfates de calcium qui se trouvent dans le béton dès sa confection. Par conséquent, ces sulfates sont uniformément répartis dans la pâte hydratée et le seul produit expansif de la réaction est l'ettringite. L'ettringite secondaire qui est le résultat d'une attaque par les sulfates externes, n'est pas seule à endommager le béton, c'est plutôt la formation du gypse qui contribue à la fissuration, la lixiviation et le délaminage des couches superficielles.[27]

l'origine des sulfates peut être : externe (environnement) ou interne (composants du béton).

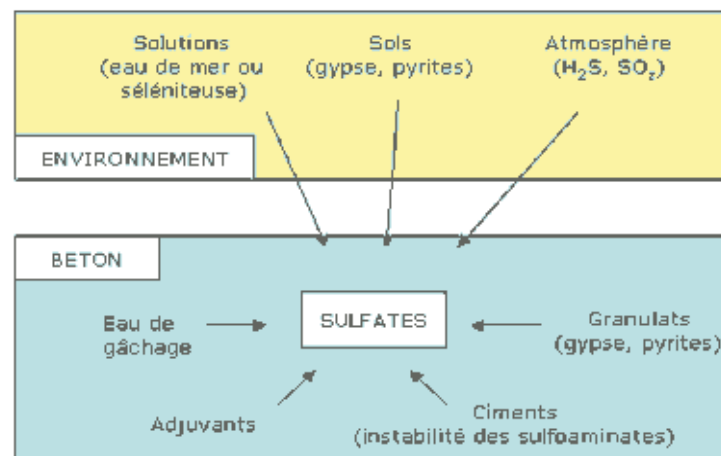


Figure 1.5 : L'origine des sulfates (interne ou externe). [28]

Les sulfates peuvent avoir différentes origines:

- Ils peuvent d'abord provenir du régulateur de prise ajouté au ciment (gypse, héli-hydrate, anhydrite) auquel s'ajoutent, en proportions variables, les sulfates contenus dans le clinker lui-même : sulfates alcalins (arcanite K_2SO_4 , aphtitalite $K_3Na(SO_4)_2$, langbeinite $Ca_2K_2(SO_4)_3$) et solutions solides dans les silicates de calcium.
- Ils peuvent également provenir de l'utilisation de granulats pollués par des sulfates d'origine naturelle ou artificielle (gypse, plâtre, anhydrite ou encore pyrites).

Chapitre I : Généralité sur le béton et milieu agressive

- Ils peuvent venir du milieu extérieur où ils se trouvent sous forme solide (sols gypseux), liquide (eaux naturelles percolant à travers les sols et solutions plus ou moins concentrées d'origine diverses), ou gazeuse (pollution atmosphérique par le SO_2):
 - Dans les sols où ils constituent un élément nutritif des plantes, leur concentration moyenne est comprise entre 0,01 % et 0,05 % en masse de sol sec.

Des concentrations beaucoup plus importantes ($> 5\%$) peuvent se rencontrer dans les sols contenant du gypse $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ou de l'anhydrite CaSO_4 . La décomposition biologique aérobie des matières organiques et l'utilisation d'engrais sont également une source possible de sulfates. Le sulfate d'ammonium $\text{SO}_4(\text{NH}_4)_2$, provenant des engrais, est particulièrement agressif. Les sols peuvent parfois contenir des sulfures de fer (pyrites) qui, par oxydation, peuvent donner naissance à l'acide sulfurique H_2SO_4 , puis au gypse s'ils sont en contact de carbonate de calcium ou de chaux.

- Les eaux d'infiltration peuvent se charger en ions SO_4^{2-} au contact des sols ou des remblais contenant des sulfates.
- Dans les environnements industriels et urbains, l'atmosphère peut contenir de l'anhydride sulfureux SO_2 provenant des gaz de combustion (charbon, carburants divers). En présence d'humidité ces gaz sont susceptibles de s'oxyder pour donner de l'acide sulfurique très agressif.
- Les fermentations anaérobies qui se produisent dans les ouvrages d'assainissement conduisent également à la formation d'acide sulfurique à partir de l'hydrogène sulfuré dégagé. [29]
- L'eau de mer contient des sulfates en solution.

I.2.3.3: Mécanismes d'attaques:

Le schéma suivant résume les différentes étapes de l'attaque sulfatiques.

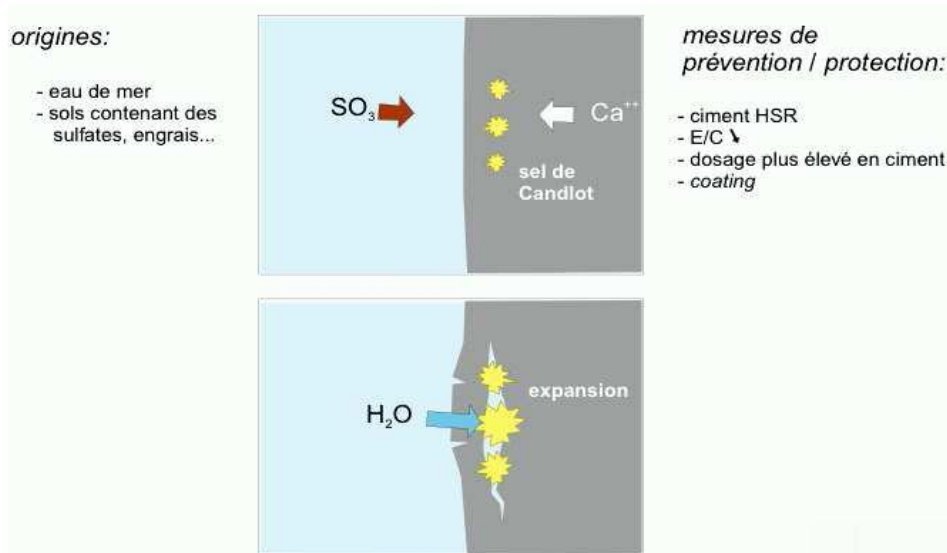


Figure 1.6 : L'attaque par les sulfates. [30]

Les sulfates peuvent détériorer le béton selon deux mécanismes physico-chimiques :

- Expansion ;
- Perte des propriétés liantes des C-S-H.

Les aluminates et la portlandite sont les deux produits les plus sensibles à l'attaque par les sulfates.

I.2.3.4:Processus d'attaque par les sulfates internes :

La dégradation des bétons par les sulfates est due principalement à des phénomènes d'expansion en relation avec la cristallisation d'ettringite, dite ettringite secondaire. La formation de cette ettringite expansive est à distinguer de l'ettringite primaire, obtenue au premier stade de l'hydratation des ciments portland par réaction du gypse, car cette ettringite primaire n'est jamais expansive. Schématiquement, la formation de l'ettringite est résumée ci-après :

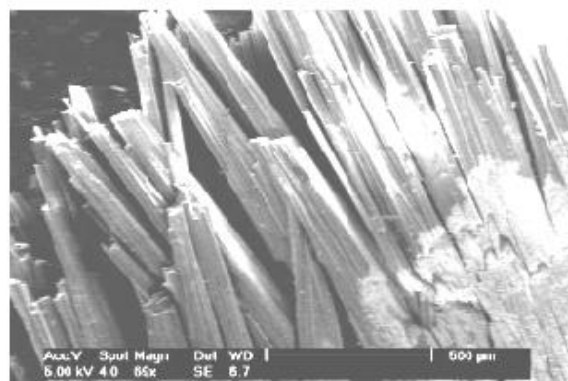


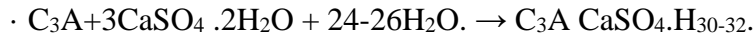
Figure 1.7 : La formation de l'ettringite secondaire.

Chapitre I : Généralité sur le béton et milieu agressive

A- Formation de gypse dit secondaire par opposition au gypse primaire ajouté au ciment comme régulateur de prise, la formation du gypse secondaire résulte d'une réaction de substitution entre la portlandite et le sulfate de sodium.

B- Réaction entre le gypse secondaire et les aluminates de calcium du ciment forment l'ettringite, plusieurs scénarios sont envisageables :

· Soit à partir de reliquats de C_3A anhydre :



· Soit à partir de l'aluminate tetracalcique hydraté C_3AH_13 ou du monosulfoaluminate de calcium $C_3ASO_4H_{12}$.

I.2.3.5:Processus d'attaque par les sulfates externes :

Au travers du développement qui suit, ce type de dégradation sera abordée autant par son aspect phénoménologique que par les conséquences et les moyens de s'en prémunir en agissant sur des paramètres de formulation.

Les études en laboratoire ont conduit à mieux définir les différentes étapes du processus qui entraîne la dégradation du béton :

- Mise en contact de la surface du béton avec la solution agressive.
- Pénétration des anions SO_4 , par diffusion limitée à une zone superficielle.
- Pénétration du cation associé et réaction de substitution : cation (Mg^{+2} , Na^{+2} , $NH_4...$), Ca^{+2} et formation de gypse en solution ou cristallisé, suivant les concentrations en SO_4
- et en $Ca(OH)_2$.
- Réaction ponctuelle des ions sulfates avec les aluminates anhydres (C_3A) ou hydraté (C_4AH_x et $C_3ACASO_4H_{12}$).
- Fissuration par effet de coin due aux pressions de cristallisation de l'ettringite.
- Accentuation de la pénétration des sulfates à la faveur des fissures.
- Progression de l'attaque suivant un front de dégradation, dont l'épaisseur a tendance à s'élargir au cours du temps.
- Destruction plus au moins complète du béton. [26]

I.2.4:Les dégradations dues à l'eau de mer :

I.2.4.1 : Définition de l'attaque marine :

Les environnements maritimes sont parmi les milieux naturels les plus agressifs vis-à-vis des matériaux à matrice cimentaire. En termes de composition chimique, par exemple, la présence d'ions étrangers à la solution interstitielle, tels que les ions chlore ou magnésium peut conduire à la formation de précipités, la dissolution ou la modification de la structure de certaines phases, au sein de la matrice

Chapitre I : Généralité sur le béton et milieu agressive

cimentaire. A l'échelle de structures en béton armé, des risques de corrosion des armatures sont à considérer, à la suite de la pénétration d'ions chlore ou d'un abaissement du pH de la solution interstitielle.

L'eau de mer est intrinsèquement un milieu modérément agressif chimiquement. Toutefois, dans les zones de marnage et d'aspersion, soumises aux cycles d'humidification/ séchage ainsi qu'aux effets mécaniques des vagues, le milieu doit être considéré comme fortement agressif. [29]

L'eau de mer est constituée de sels chargés en ions chlorures de composés sulfatiques contenant les ions sulfates (SO_4^{2-}), etc. Ces ions sont nocifs au béton lorsqu'ils pénètrent en son sein.

I.2.5: Attaque par les ions chlorures :

I.2.5.1: Introduction :

Dans les bétons les chlorures proviennent pour l'essentiel du milieu extérieur, mais il est important de limiter les sources internes chlorures. Pour l'acier, le processus de corrosion généralement admis et débute par la dissolution du métal et la formation des ions ferreux.

L'hydrolyse de ces derniers entraîne l'acidification de la matière et la formation d'hydroxyde ferreux insoluble dont l'évolution donne la rouille.



Figure 1.8 : Agression du béton par activité des chlorures. [26]

La diffusion d'ions de chlorure dans le béton est le résultat de complexes mécanismes où l'échange d'ions entre la solution agressive et la solution poreuse (interstitiel) dans le béton joue un rôle important.

- La capacité de fixation des ions Cl^- par le ciment dépend de la nature du ciment, utilisé principalement de la quantité d'aluminate C_3A présente dans le clinker.
- D'autres espèces ioniques peuvent provenir sur la fixation chimique des chlorures.

- La vitesse de pénétration des chlorures dépend de la porosité de la pâte du ciment, elle décroît avec le rapport E/C, de façon exponentielle et dépend de la concentration de la solution environnante en sels. [26]

I.2.5.2: Définition de l'attaque par les ions chlorures :

La corrosion des armatures générée par les ions chlorures est la principale cause de dégradation des structures en béton armé. Les chlorures agissent dans les mécanismes de corrosion en diminuant la résistivité de l'électrolyte et en permettant un amorçage plus rapide de la corrosion en dépassivant la couche superficielle. La corrosion qui en résulte sous forme de piqûres à la surface de l'acier est une corrosion localisée. Les chlorures agissent aux zones anodiques, de surface bien plus petite que celles des zones cathodiques, et la vitesse de corrosion sur les zones anodiques s'en trouve fortement augmentée. Une fois la corrosion amorcée, il est bien plus difficile d'y remédier que dans le cas de la carbonatation car le processus est autocatalytique. [31]

I.2.5.3: Source de l'attaque des ions chlorures :

Les chlorures présents dans le béton peuvent provenir de deux sources différentes. Soit ils sont présents au moment du gâchage : utilisation d'eau contenant des chlorures ou agrégats contaminés. Soit ils proviennent de l'environnement (atmosphère marine, sels de déverglaçage, produits chimiques) et ont diffusés dans le béton.

Les chlorures existent sous deux formes dans le béton :

- Les chlorures libres qui sont dissous dans la solution interstitielle ;
- Les chlorures piégés ou liés qui sont combinés à des hydrates du ciment et à des agrégats, ou absorbés physiquement sur les parois des pores. [31]

On considère que seuls les chlorures libres peuvent diffuser et jouer un rôle actif dans le processus de dépassivation et de corrosion des armatures.

I.2.6: La carbonatation :

I.2.6.1: Définition de la carbonatation :

La carbonatation est un phénomène de vieillissement naturel qui concerne tous les bétons et qui conduit à la formation de carbonates de calcium par réaction entre les composés des ciments (principalement la portlandite) et le dioxyde de carbone atmosphérique (CO₂), présent dans l'air à un taux moyen de 0,03 % en volume. Ce taux est plus important en milieu urbain qu'en milieu rural.

Elle est un phénomène chimique présent dans l'épiderme du béton tout au long de sa vie. La combinaison de l'hydrate de chaux (contenu dans le ciment) et de l'acide carbonique de l'air forme du calcaire en libérant de l'eau, le pH du béton baisse et la corrosion des aciers commence. [26] [32]

Chapitre I : Généralité sur le béton et milieu agressive

A partir d'une distance de 25 à 30 mm à l'intérieur du béton, il n'y a plus d'échange gazeux grâce aux dépôts de calcaire de la pâte du ciment. Le pH reste stable à une valeur d'environ [11]. La corrosion ne se manifeste pas.

Compte tenu de l'absence d'échanges gazeux, les bétons immergés ne carbonatent pas. Il est à remarquer que des manifestations de carbonatation peuvent survenir sur des faces intérieures de béton lors de climatisation et d'humidification de l'air ambiant. [33]

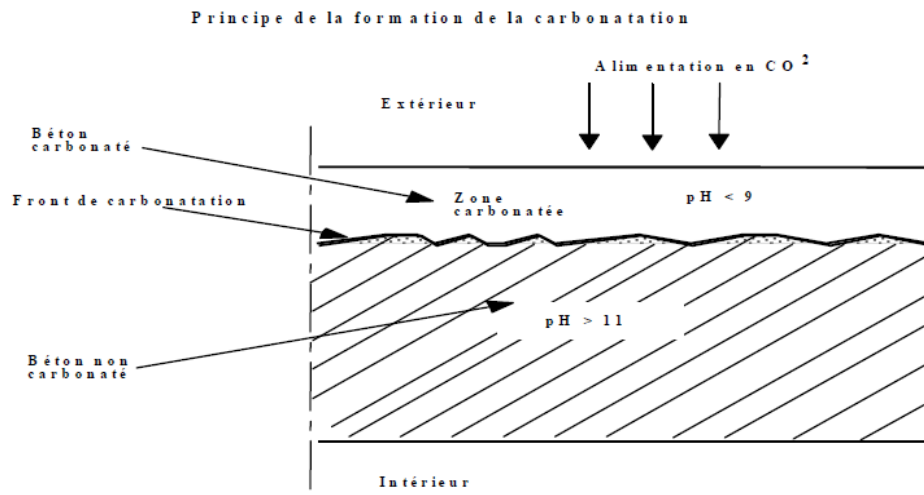


Figure 1.9: Coupe théorique d'un mur en béton. [33]

-Influence de la composition du béton :

Tout ce qui conditionne la solution interstitielle et la porosité du béton est un facteur pouvant affecter ou non la corrosion. Le type et la teneur en liant, les additions minérales et le rapport E/C (Eau/ciment) déterminent la performance d'un béton.

-Influence de l'humidité :

L'effet du taux d'humidité, ou degré de saturation en eau, dans le béton est important car la vitesse de corrosion dépend fortement de ce taux, celui-ci influençant directement la conductivité, la résistivité électrique et la diffusion de l'oxygène.

-Influence de la résistivité du béton :

La résistivité électrique affecte de manière significative la corrosion des armatures puisqu'il existe une relation entre la corrosivité et la résistivité du béton. La résistivité du béton est fonction de la composition de la solution interstitielle, de la microstructure du béton (taille et distribution des pores), de l'humidité et de la teneur en sels ainsi que de la température.

-Effet de l'oxygène :

Dissous dans la solution interstitielle, l'oxygène est primordial dans la réaction cathodique du processus de corrosion des armatures dans le béton.

-Autres agents agressifs :

Des sels, contenus dans l'eau pénétrant le béton, peuvent contribuer à la formation de produits de corrosion sur l'acier. Ainsi, les ions sulfate agissent qualitativement comme les ions chlorures et certains sels solubles tels les perchlorates, les acétates, les halogénures autres que les chlorures peuvent aussi être corrosifs pour les armatures. [31]

I.2.7: L'alcali-réaction :

I.2.7.1: Définition :

L'alcali-réaction, que l'on appelle aussi communément réaction alcali-granulat, désigne la réaction chimique entre la silice amorphe ou mal cristallisée contenue dans les granulats réactifs et certains ions de la solution interstitielle. Les conséquences macroscopiques de la réaction sont le gonflement des ouvrages atteints qui entraînent de la fissuration et la chute des caractéristiques mécaniques du béton. Ces phénomènes sont préoccupants pour les gestionnaires des structures atteintes car ils mettent en péril la sécurité des personnes et l'exploitation des ouvrages. De plus, il n'existe aucun moyen d'arrêter la réaction. Ainsi, la prédiction de l'évolution du gonflement et des dégradations des ouvrages atteints et l'évaluation de l'efficacité et de la périodicité des opérations d'entretien sont des points cruciaux. [35]
[34]

I.2.7.2: Les différents types d'alcali-réaction :

Il est admis que les alcali-réactions se présentent sous trois types : réaction alcali-silice (les plus fréquentes), réaction alcali-silicate, réaction alcali-carbonate.

a- Réaction alcali-silice (RAS) :

Certains granulats siliceux, lorsqu'ils sont constitués de silice amorphe, mal cristallisée ou microcristalline (par exemple des verres, de l'opale, de la calcédoine...) sont attaqués par la solution interstitielle qui occupe les pores du béton. La silice libérée réagit ensuite avec les alcalins Na^+ , K^+ de cette solution interstitielle et l'on observe finalement, l'apparition de gels silico-alcalins s'ils renferment Si, Na (et ou K) ou calco-silico-alcalins s'ils contiennent, en plus, du calcium.

b- Réaction alcali-silicate :

La différence essentielle avec la réaction alcali-silice réside dans le fait que les granulats réactifs ne sont pas formés de silice libre mais sont des silicates variés (phyllo-silicates, tecto-silicates, sains ou altérés). En ce qui concerne les produits de la réaction, on admet qu'ils sont voisins de ceux apparus dans

la réaction alcalisilice ; des études plus anciennes signalaient que l'on n'observe pas la production de gels siliceux.

c- Réaction alcali-carbonate :

On désigne par cette expression la réaction manifestée par des calcaires dolomitiques qui renferment des impuretés phylliteuses. Sur le plan pratique, on retiendra que les expansions causées par cette réaction sont moins importantes que celles dues aux réactions alcali-silice et alcali-silicate sauf si le béton est soumis à des ambiances hivernales rigoureuses. [29]

I.2.7.3: Source de cette attaque :

Ces alcalins proviennent d'une part du ciment, et d'autre part, des autres constituants du béton (granulats, eau de gâchage, adjuvants,..). Initialement, ils sont présents à l'état diffus dans les phases anhydres, et ils se dissolvent à l'état basique (K^+OH^- , Na^+OH^-) lors de l'hydratation. [36]

I.2.8:La lixiviation en eau douce :

I.2.8.1: Définition :

La phase interstitielle contenue dans le béton a un pH très élevé. Si le béton se trouve au contact d'une eau douce, très peu chargée en ions, et donc de pH plus faible que celui de la solution interstitielle, la pâte de ciment durcie se trouve en déséquilibre avec ce milieu. On constate alors une lixiviation progressive des hydrates se traduisant par une décalcification de la pâte : dissolution de la portlandite et attaque progressive des C-S-H. Ce phénomène est lent (quelque centimètre pour plusieurs centaines d'années) et ne pose problème que dans le cas où le béton est potentiellement au contact permanent de l'eau douce.

La lixiviation entraîne une variation très importante de la porosité et donc une variation forte des propriétés de transfert, notamment la diffusivité. Les propriétés mécaniques sont également affectées on constate par exemple que la résistance à la compression chute fortement. Les autres propriétés mécaniques comme le module d'élasticité et la résistance en flexion sont aussi affectées.

Chapitre I : Généralité sur le béton et milieu agressive

Les cinétiques de dégradation sont très variables et dépendent en particulier du matériau et de l'environnement aqueux. Par exemple, F. Badouix rapporte que, pour des durées d'exposition et un environnement agressif comparables (53 et 66 ans), les couches superficielles dégradées du barrage de Saint Etienne du Vigan et de l'écluse de Krembs ont pour épaisseur respectives 6 à 8 mm d'une part, et 1 à 3 mm d'autre part. Cet écart est imputé aux ciments utilisés, un CEM I/CPA pour le barrage et un CEM II/CPJ pour l'écluse. Y. Fujiwara a montré que la présence d'ions dissous dans l'eau modifie aussi fortement les cinétiques de dégradation de bétons enfouis dans un sol. En effet, certains de ces bétons, âgés de 60 à 100 ans, ont été dégradés sur quelques centimètres en présence d'une eau saline, soit des épaisseurs dix fois plus importantes qu'en eau douce. [34]

Chapitre II Matériaux matériels et essais

II.1 Introduction:

Nous traiterons dans ce chapitre la caractérisation des matériaux utilisés dans la fabrication des différents mélanges de béton.

Nous allons aussi décider de la méthode de composition qui nous permettra d'établir les différentes formulations des mélanges des bétons.

Il est fait une description la plus précise des essais réalisés pour caractériser les granulats utilisés. Cela pour nous permettre d'étudier différentes formulations des mélanges dont nous déterminerons les résistances en compression et en traction

II.2 graviers concassés :

II.2.1 Origine:

Les granulats utilisés proviennent de carrières de la région de B-B-A (carrière COSIDER). Ces granulats sont des matériaux concassés et sont commercialisés en tant que classes granulaires :

Des graviers de classes 3/8, 8/16.

II.2.2 Analyse granulométrique

II.2.2.1 : Principe de l'essai :

La granulométrie ou analyse granulométrique s'intéresse à la détermination de la dimension des grains et la granularité concerne la distribution dimensionnelle des grains d'un granulat. La granulométrie ou analyse granulométrique consiste donc à fractionner des granulats au moyen d'une colonne de tamis dont les dimensions des mailles sont normalisées et décroissantes du haut vers le bas entre 16 mm et 0,063 mm.

II.2.2.2 : Mode opératoire:

- monter la colonne de tamis dans l'ordre décroissant de l'ouverture des mailles en ajoutant le couvercle et le fond
- verser le matériau sec dans la colonne de tamis
- agiter mécaniquement cette colonne
- reprendre un à un les tamis en commençant par celui qui a la plus grande ouverture, en adaptant un fond et un couvercle
- agiter manuellement chaque tamis jusqu'à ce que le refus du tamis ne varie pas de plus de 1% en masse par minute de tamisage
- verser le tamisât recueilli dans le fond sur le tamis immédiatement inférieur
- déterminer ainsi la masse du refus de chaque tamis
- poursuivre l'opération jusqu'à déterminer la masse du refus contenu dans le fond de la colonne de tamis
- varier la validité de l'analyse granulométrique imposée par la Norme NF EN 933-1 (différence entre la somme des masses de refus et de tamisas et de la masse initiale...)

Chapitre II : Matériaux matériels et essais

II.2.2.3 : Les résultats des analyses granulométriques

Les résultats des analyses granulométriques sont représentés sur les (Tableau 2.1) et (Tableau 2.2) et (Tableau 2.3) les courbes granulométriques sont représentées en (Figure 2.1) (Figure 2. 2) (Figure 2 .3)

Tamis (mm)	Refus partiel (g)	Refus cumulé (g)	Refus cumulé (%)	Tamisât (%)
16	43	43	2.86	97.14
12,5	359	402	26.8	73.2
10	715	1117	74.46	25.54
8	326	1443	96.2	3.8
6,3	54	1497	99.8	0.2
5	1	1498	99.86	0,14
Fond	2	1500	100	0

TABLEAU 2.1 : Résultat de l'analyse granulométrique des fractions (8/16) du gravier concassé

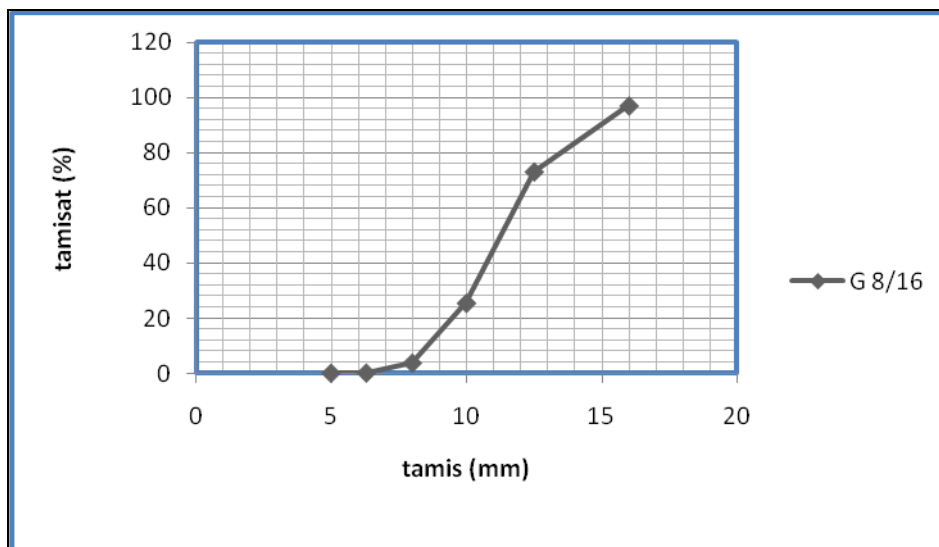


Figure 2.1: Analyse granulométrique des fractions (8/16) du gravier concassé

Tamis (mm)	Refus partiel (g)	Refus cumulé (g)	Refus cumulé (%)	Tamisât (%)
8	32	32	02.13	97.87
6,3	411	443	29.53	70.47
5	420	863	57.53	42.47
4	465	1328	88.53	11.47
3,15	141	1469	97.93	2.07
2,5	25	1494	99.6	0.4
Fond	6	1500	100	0

TABLEAU 2.2 : l'analyse granulométrique de fraction (3/8) du gravier concassé

Chapitre II : Matériaux matériels et essais

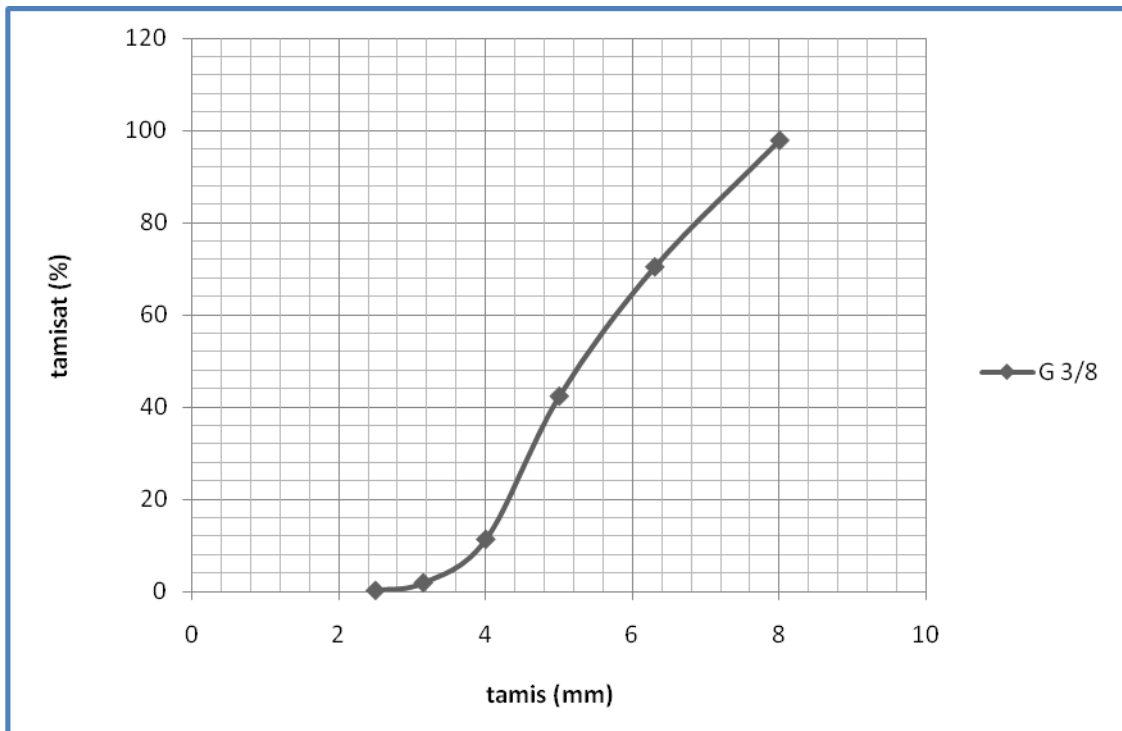


Figure 2.2:Analyse granulométrique des fractions (3/8) du gravier concassé

Tamis (mm)	Refus partiel (g)	Refus cumule (g)	Refus cumule (%)	Tamisât (%)
16	28.6	28.6	1.90	98.1
12.5	240.72	269.32	17.95	82.05
10	332.12	601.44	40.09	59.91
8	250.12	851.56	56.77	43.23
6.3	93.1	944.66	62.97	37.03
5	186.22	1130.88	75.36	24.64
4	180.62	1311.5	87.43	12.57
3,15	150.12	1461.62	97.44	2.56
2,5	36.2	1498	99.86	0.14
Fond	2	1500	100	0.0

TABLEAU 2.3 : l'analyse granulométrique des fractions ((40%3/8)/(60%8/16) du gravier concassé

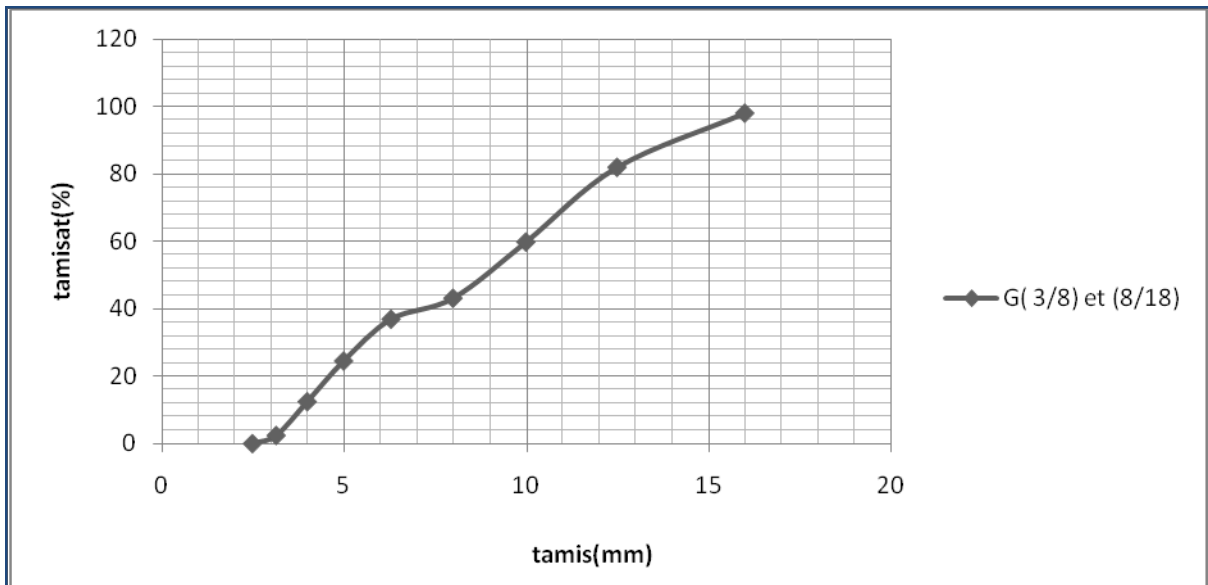


Figure 2.3 : l'analyse granulométrique des fractions ((40%3/8)/(60%8/16) du gravier concassé

II.2.3 : Masse volumique apparente:

II.2.3.1 : gravier de fraction 3/8 et 8/16

a: But de l'essai:

Cet essai a pour but de permettre de connaître la masse d'une fraction granulaire lorsque par exemple on élabore une composition de bétons. Ce paramètre permet, en particulier, de déterminer la masse ou le volume des gravie pour l'obtention d'un béton dont les caractéristiques sont imposées .

b: Mode opératoire de l'essai:

Le principe de cet essai c'est de remplir un récipient gradué ((7l) pour le gravillon 3/8 -(10l) pour le gravillon 8/16-et déterminer la masse du contenu.

Dans cet essai on va faire les étapes suivantes : On met l'échantillon dans le récipient gradué et on pèse le récipient à l'aide d'une balance. Puis on note les masses et les volumes pour calculer la masse volumique.

A l'état lâche :

Fraction	Essai	M1 (Kg)	M2 (Kg)	ρ_{app} (kg/l)	$\rho_{app\ moyen}$ (kg/l)
3/8 v=7l	1	2.291	12.815	1,503	1,504
	2		12.825	1,504	
	3		12.828	1,505	
8/16 v=10l	1	3.489	17.662	1,417	1,416
	2		17.652	1,416	
	3		17.655	1,416	

TABLEAU 2.4 : Masse volumiques (A l'état lâche) des fractions 3/8 et 8/16 du gravier concassé.

Chapitre II : Matériaux matériels et essais

A l'état compacte :

Fraction	Essai	M1 (Kg)	M2 (Kg)	ρ_{app} (kg/l)	ρ_{app} moyen (kg/l)
3/8 v=71	1	2.291	13.625	1,619	1,620
	2		13.637	1,620	
	3		13.631	1,620	
8/16 v=101	1	3.467	18.541	1,507	1,507
	2		18.549	1,508	
	3		18.545	1,507	

TABLEAU 2.5 : Masse volumiques ((a l'état compacte)) des fractions 3/8 et 8/16 du gravier concassé

II.2.3.2: différents mélanges :

La masse volumique apparente et absolues des différents mélanges sont représentés sur les (Tableau 2.6) (Tableau 2.7) et (Tableau 2.8) les courbes granulométriques sont représentées en (Figure 2.4) (Figure 2.5) (Figure 2.6), $V=0.9$.

A l'état lâche

Fraction	Essai	M1 (Kg)	M2 (Kg)	ρ_{app} (kg/l)	ρ_{app} moyen (kg/l)
G/S=1.4	1	0.114	1.511	1.552	1.555
	2		1.514	1.555	
	3		1.517	1.558	
G/S=1.7	1	0.114	1.508	1,549	1,549
	2		1.507	1,547	
	3		1.511	1,552	
G/S=2	1	0.114	1.501	1,541	1.540
	2		1.500	1,540	
	3		1.500	1,540	
G/S=2.3	1	0.114	1.497	1,536	1,538
	2		1.501	1,541	
	3		1.498	1,537	
G/S=2.6	1	0.114	1.498	1,537	1.538
	2		1.499	1,538	
	3		1.499	1,538	

TABLEAU 2.6 : Masse volumiques ((a l'état lâche)) des différents mélanges en fonction de rapport G/S

Chapitre II : Matériaux matériels et essais

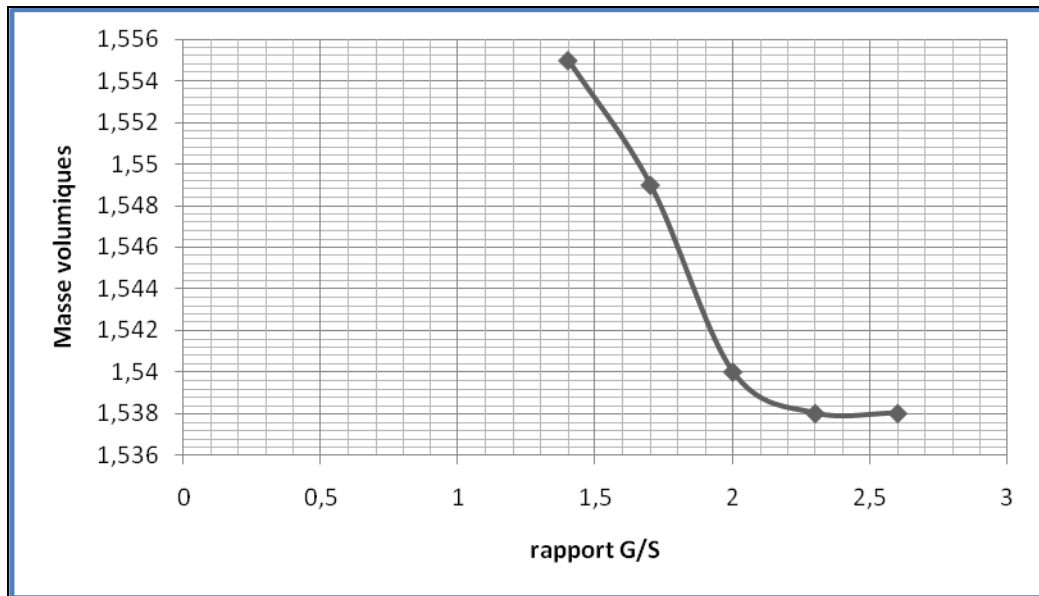


Figure 2.4: Masse volumiques ((a l'état lâche)) du différent mélange en fonction de rapport G/S

A l'état compacte

Fraction	Essai	M1 (Kg)	M2 (Kg)	ρ_{app} (kg/l)	ρ_{app} moyen (kg/l)
G/S=1.4	1	0.114	1.547	1.592	1.595
	2		1.549	1.594	
	3		1.553	1.598	
G/S=1.7	1	0.114	1.542	1.586	1,586
	2		1.540	1.584	
	3		1.544	1.588	
G/S=2	1	0.114	1.530	1,573	1,571
	2		1.528	1,571	
	3		1.526	1,568	
G/S=2.3	1	0.114	1.526	1,568	1,568
	2		1.527	1,570	
	3		1.526	1,568	
G/S=2.6	1	0.114	1.527	1.570	1.567
	2		1.526	1.568	
	3		1.526	1.568	

TABLEAU 2.7: Masse volumiques ((a l'état compacte)) du différent mélange en fonction de rapport G/S.

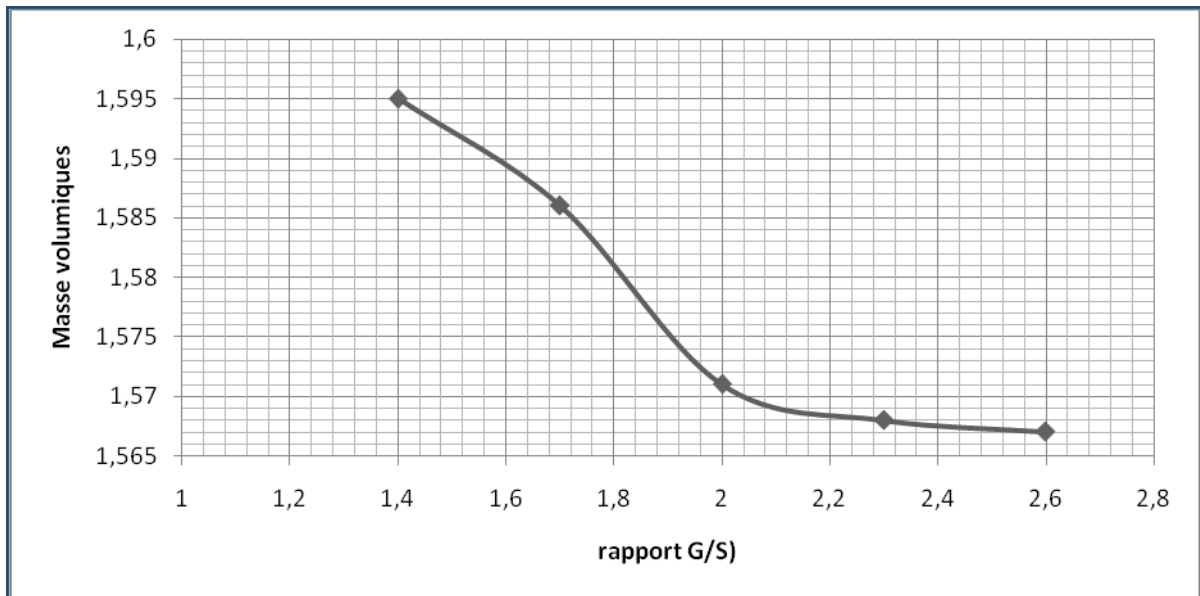


Figure 2.5: Masse volumiques ((a l'état compacte)) du différent mélange en fonction de rapport G/S

II.2.4 : Masses volumiques absolues:

Cet essai est régi par la norme NFP 18-301; elle est définie comme étant la masse par unité de volume de la matière qui constitue le granulat sans tenir compte des vides pouvant exister entre les grains

II.2.4 .1: But de l'essai:

Cet essai a pour but de permettre de connaître la masse d'une fraction granulaire lorsque par exemple on élabore une composition de bétons. Ce paramètre permet, en particulier, de déterminer la masse ou le volume des différentes classes granulaires malaxées pour l'obtention d'un béton dont les caractéristiques sont imposées.

Dans ce travail nous avons utilisé la méthode de l'éprouvette graduée, elle est Simple, rapide et utilise un matériel courant du laboratoire.

II.2.4 .2: Mode opératoire:

1. Remplir une éprouvette graduée avec un volume V_1 d'eau.
2. Peser un échantillon sec M de Gravier (environ **300 g**) et l'introduire dans l'éprouvette en prenant soin d'éliminer toutes les bulles d'air.
3. Lire le nouveau volume V_2 .

$$\rho_{abs} = \frac{M}{(V_2 - V_1)}$$

Chapitre II : Matériaux matériels et essais

a/ gravier de fraction 3/8 et 8/16

Fraction	Essai	M ₁ (g)	V ₁ (ml)	V ₂ (ml)	ρ _{app} (g/ml)	ρ _{app moyen} (g/ml)		
3/8	1	300	300	410	2.72	2.69		
	2			412	2.67			
	3			411	2.70			
8/16	1			300	300	416	2.58	2.59
	2					415	2.60	
	3					415	2.60	

TABLEAU 2.8: Masse volumiques absolue des fractions (3/8) et (8/16) du gravier concassé

b) différents mélanges :

Fraction	Essai	M ₁ (g)	V ₁ (ml)	ρ _{app} (g/ml)	ρ _{app} (g/ml)	ρ _{app M} (g/ml)
G/S=1.4	1	300	300	413	2,654	2,646
	2			413	2,654	
	3			414	2,631	
G/S=1.7	1	300	300	413	2,654	2,650
	2			413,5	2,643	
	3			413	2,654	
G/S=2	1	300	300	413,5	2,643	2,654
	2			413,5	2,643	
	3			412	2,678	
G/S=2.3	1	300	300	413	2,654	2,658
	2			412,5	2,666	
	3			413	2,654	
G/S=2.6	1	300	300	413	2,654	2,662
	2			412,5	2,666	
	3			412,5	2,666	

TABLEAU 2.9 : Masse volumiques absolues des différents mélanges en fonction de rapport G/S

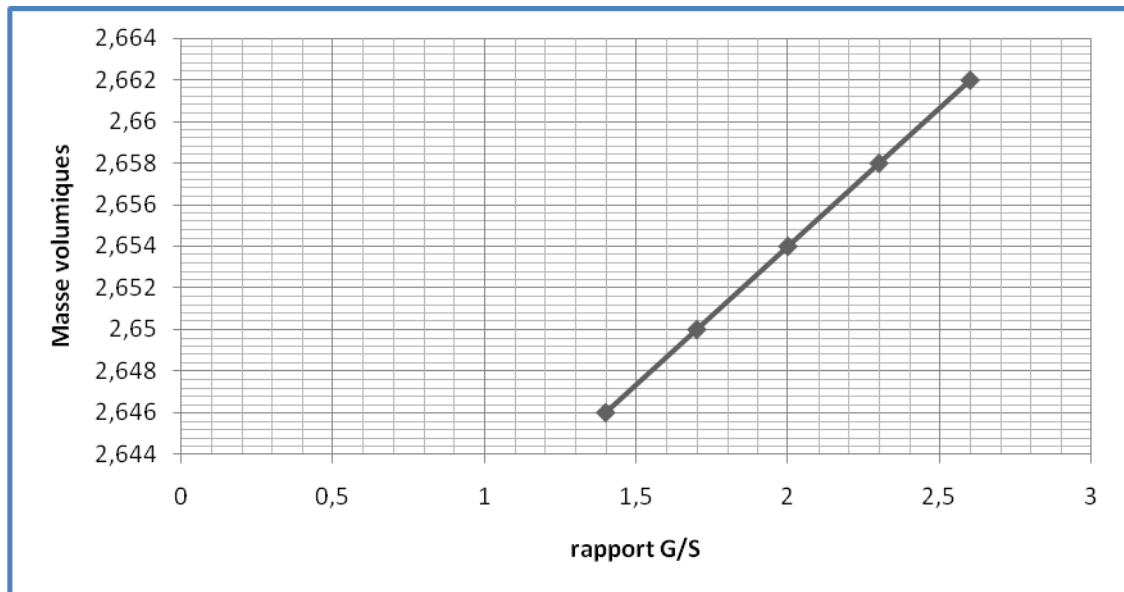


Figure 2.6: Masse volumiques absolues des différents mélanges en fonction de rapport G/S

II.2.5 Absorption d'eau:

La connaissance du coefficient d'absorption d'eau d'un granulats permet d'ajuster la teneur en eau de gâchage entrant dans la composition du béton. Des mesures de l'absorption d'eau par les granulats ont donc été menées suivant le mode opératoire de la norme [NF EN 1097-6, 2001]. Le coefficient d'absorption d'eau est défini comme le rapport de l'augmentation de masse de l'échantillon après imbibition par l'eau à la masse sèche de l'échantillon. Le coefficient d'absorption *Abs* est ainsi défini par :

$$Abs = \frac{M_{humide} - M_{sech}}{M_{sech}} * 100$$

$M_{humide} - M_{sech}$ désigne la masse de l'eau absorbée après 48 heures d'immersion.
 M_{sech} la masse sèche de l'échantillon après passage à l'étuve à 105°C.

Fraction	Essai	M1(g)	M2(g)	Abs(%)	Abs(%) moyenne
3/8	1	700	714.50	2.07	2.004
	2		714.02	2.00	
	3		713.60	1.94	
8/16	1	1000	1014.5	1.45	1.233
	2		1011	1.1	
	3		1011.5	1.15	

TABLEAU 2.10 : coefficient d'absorption d'eau des fractions (3/8) et (8/16) du gravier concassé

II.2.6 Porosités:

La porosité d'un échantillon de granulats est un paramètre important de formulation d'un béton car elle influence sa compacité, ce qui a un impact sur ses propriétés mécaniques. La valeur de la porosité *P* pour les différents granulats est calculée par l'intermédiaire de l'équation suivante :

Chapitre II : Matériaux matériels et essais

$$P\% = \left(1 - \frac{\rho_{app}}{\rho_{abs}}\right) * 100$$

a/ gravier de fraction 3/8 et 8/16

la porosité (P%)	A l'état lâche	A l'état compacté
3/8	44.082	39.776
8/16	45.321	41.814

TABLEAU 2.11 : La porosité des fractions (3/8) et (8/16) du gravier concassé

b/ Porosités différentes mélanges :

G/S	La porosité Granulats concassé (P%)
G/S=1.4	41,23
G/S=1.7	41,63
G/S=2	41,97
G/S=2.3	42,13
G/S=2.6	42,22

TABLEAU 2.12 Porosités des différents mélanges en fonction de rapport G/S

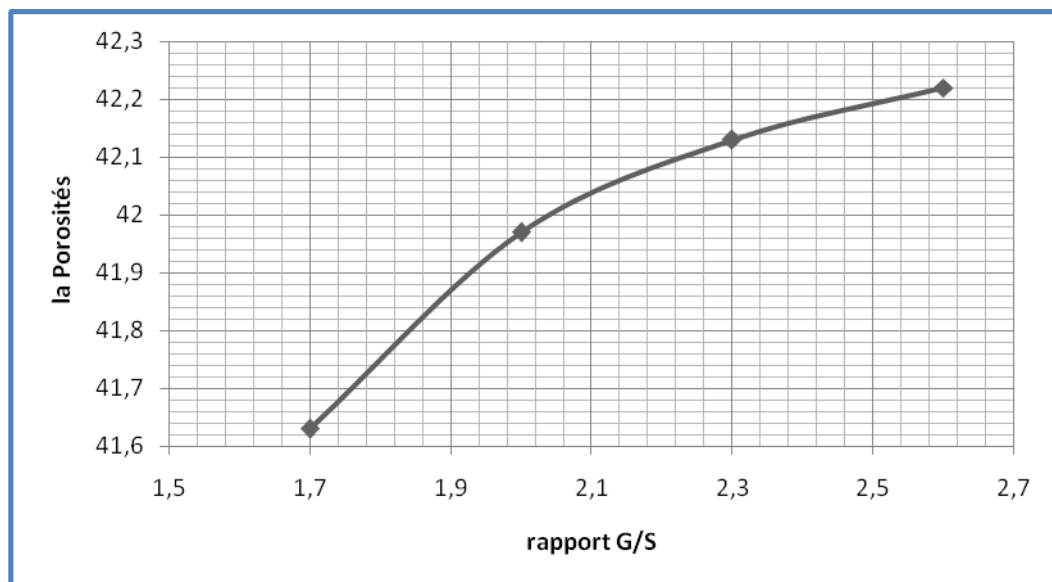


Figure 2.7: Porosités des différents mélanges en fonction de rapport G/S.

Chapitre II : Matériaux matériels et essais

II.2.7 La Compacité:

$$C = \frac{P_{app}}{P_{abs}}$$

fraction	La Compacité C (%)
3/8	55.910
8/16	54.671

TABLEAU 2.13 : compacité des fractions (3/8) et (8/16) du gravier concassé

b/ La Compacité différents mélanges

G/S	La Compacité C(%)
G/S=1.4	0,585
G/S=1.7	0,584
G/S=2	0,580
G/S=2.4	0,578
G/S=2.6	0,577

TABLEAU 2.14 : compacité des différents mélanges en fonction de rapport G/S

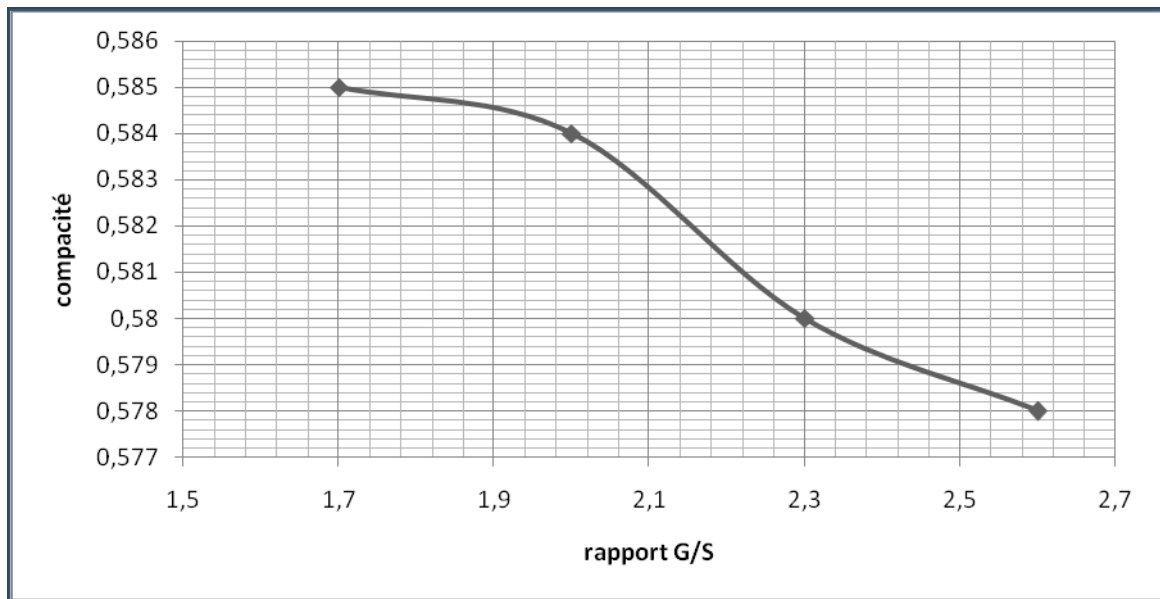


Figure 2.8: compacité des différents mélanges en fonction de rapport G/S

II.2.8 Indice des vides:

$$I = \frac{P}{C}$$

Fraction	Indice de vide
3/8	0.788
8/16	82.895

TABLEAU 2.15 : Indice de vide des fractions (3/8) et (8/16) du gravier concassé Cosider

Chapitre II : Matériaux matériels et essais

b/ Indice de vide des différents mélanges en fonction de rapport G/C

G/S	Indice de vide (I%)
G/S=1.4	70,478
G/S=1.7	71,284
G/S=2	72,362
G/S=2.3	72,889
G/S=2.6	73,171

TABLEAU 2.16 : Indice de vide des différents mélanges en fonction de rapport G/S

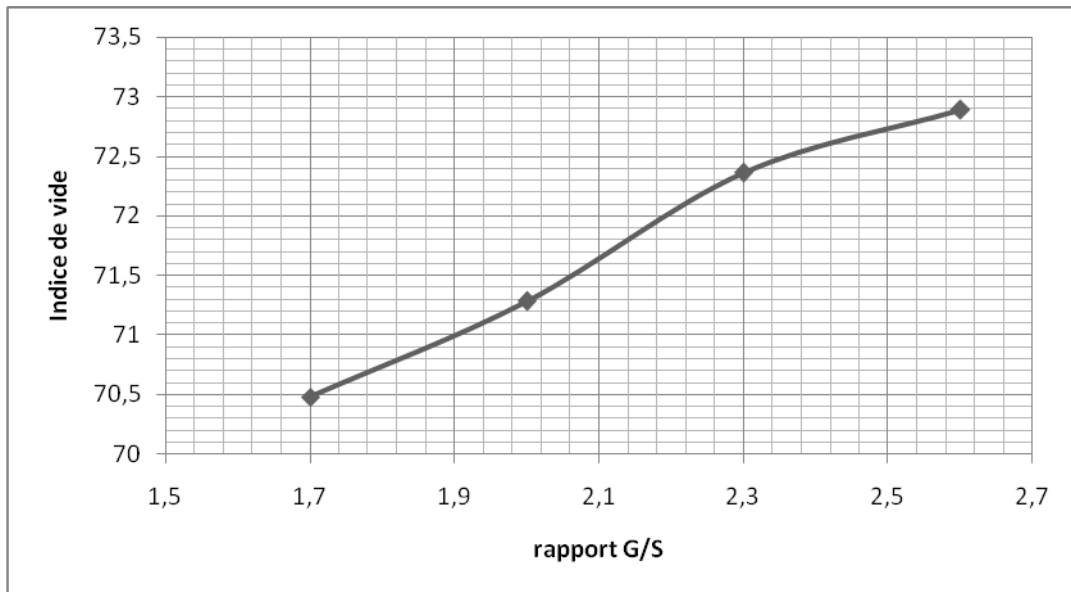


Figure 2.9: Indice de vide des différents mélanges en fonction de rapport G/S

II.2.9 Résistance à la fragmentation:

Introduire l'échantillon (M=5000 g) avec le charge de boulets (Diamètre important) 500 rotations (30 à 33 tours/min).

Mesurer la masse « m » d'élément < 1,6 mm

Coefficient de los Angeles « LA »

$$LA = \frac{m}{5000} * 100$$

- Si LA<20 : le gravier très dur .
- Si 20<LA< 30 : le gravier dur.
- Si LA>30 : le gravier friable

Nature	Fraction	M1(g)	M2(g)	Nombre des boules	L _A
G. concassé	3/8	5000	1205	7	24.10
	8/16		1041	11	21.02

TABLEAU 2.17 : los Angeles des fractions (3/8) et (8/16) du Granulats concassé

Chapitre II : Matériaux matériels et essais

II.3 sable :

II.3.1 : composition granulométrique

Analyse granulométrique correspondant à un sable : Faire l'analyse granulométrique du sable en suivant le mode opératoire de l'analyse granulométrique du gravie page (39). Mais différentes séries de tamis

Tamis (mm)	Refus partiel (g)	Refus cumulés		Tamisât (%)
		(g)	(%)	
5	0	0	0	100
2.5	102	102	6.8	93.2
1.25	56	158	10.53	89.47
0.63	61	219	14.6	85.4
0.315	404	623	41.53	58.47
0.16	720	1343	89.53	10.47
0.08	145	1488	99.2	0.8
Fond	12	1500	100	0.0

TABLEAU 2.18 : l'analyse granulométrique d un sable 0/5

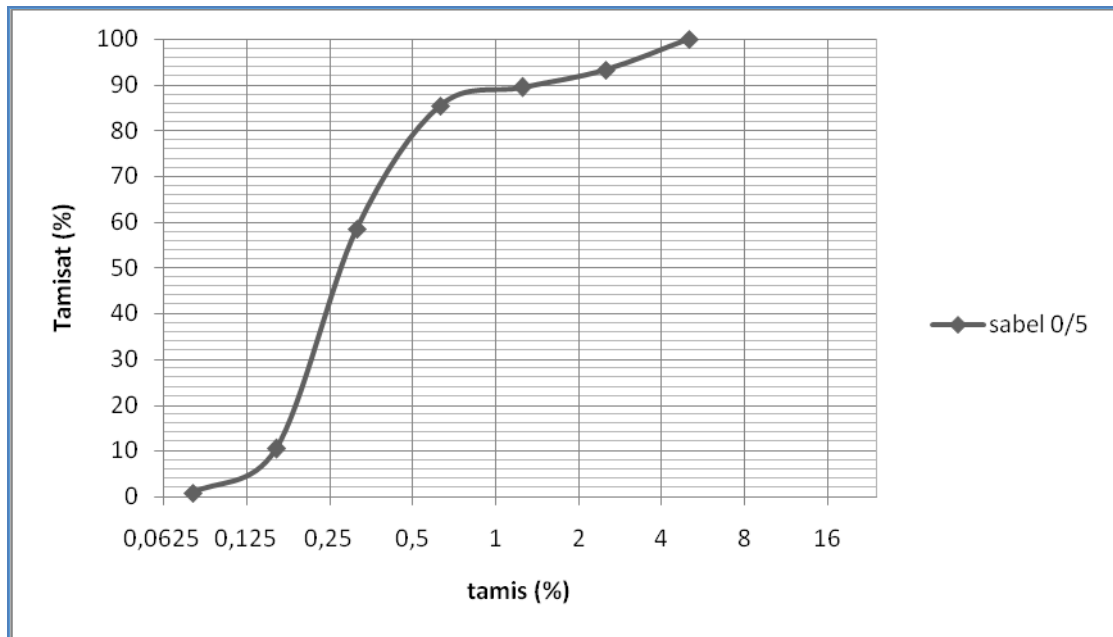


Figure 2.10 : l'analyse granulométrique d un sable 0/5

II.3.2 : Equivalent de sable : NF P 18-598

Nous essayons de mettre en évidence la proportion d'impuretés argileuses ou ultrafines contenues dans le sable et le pourcentage de poussières nuisibles et les éléments argileux qui diminuent la qualité du béton et mortier.

Mode opératoire :

- Tamiser une quantité de sable (masse supérieure à **500 g**).
- Prendre une pesée de **120 g**.
- Remplir l'éprouvette de solution la vante jusqu'au premier repère (**10cm**).
- A l'aide de l'entonnoir verser la prise d'essai (**120g**) dans l'éprouvette et taper fortement à plusieurs reprises avec la paume de la main afin de chasser toutes les bulles d'air et favoriser le mouillage de l'échantillon.
- Laisser reposer pendant **10** minutes.
- Fermer l'éprouvette à l'aide du bouchon en caoutchouc et lui imprimer **90** cycles de **20cm** de cours horizontale en **30** secondes à la main à l'aide d'un agitateur mécanique.
- Retirer ensuite le bouchon, le rincer avec la solution la vante dessus de l'éprouvette, rincer ensuite les parois de celle-ci.
- Faire descendre le tube laveur dans l'éprouvette, le rouler entre le pouce et l'index en faisant tourner lentement le tube et l'éprouvette et en imprimant en même temps au tube un léger piquage. Cette opération a pour but de laver le sable et de faire monter les éléments fins et argileux. Effectuer cette opération jusqu'à ce que la solution la vante atteigne le **2^{ème}** repère. Laisser ensuite reposer pendant **20** minutes.

Chapitre II : Matériaux matériels et essais

A / Equivalent de sable visuel (ESV):

Après 20 minutes de dépôt de sable, lire la hauteur h_1 du niveau supérieure du flocculant jusqu'au fond de l'éprouvette à l'aide d'une réglette.

- Mesurer également avec la règle la hauteur h_2 comprise entre le niveau supérieur de la partie sédimentaire et le fond de l'éprouvette.

$$ESV = \frac{h_2}{h_1} \times 100 [\%]$$

Où : $h_2 < h_1$ avec : h_1 : sable propre + éléments fins.

B / Equivalent de sable visuel (ESP):

- Introduire le piston dans l'éprouvette et laisser descendre doucement jusqu'à ce qu'il repose sur le sédiment. A cet instant bloquer le manchon du piston et sortir celui-ci de l'éprouvette.
- Introduire le réglet dans l'encoche du piston jusqu'à ce que le zéro vienne buter contre la face intérieure de la tête du piston. Soit h'_2 la hauteur lue et correspondant à la hauteur de la partie sédimentée.

$$ESP = \frac{h'_2}{h_1} \times 100 [\%]$$

Où h'_2 : La hauteur du sable ($h'_2 < h_1$)

<i>d'essai</i>	h_1 (cm)	h_2 (cm)	ESV (%)	h'_2 (cm)	ESP (%)
1	8	9.8	90.8	8.6	87.75
2	8	9.7	91.7	8.7	89.69
3	8	9.8	90.8	8.7	88.77

TABLEAU 2.19 : Equivalent du sable

$$(ESV)_{\text{moy}} = 91.12 \%$$

Donc: 85% < ESV

$$(ESP)_{\text{moy}} = 88.73\%$$

80% < ESP

Chapitre II : Matériaux matériels et essais

E.S.V	E.S.P	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	65< ES< 70	Sable légèrement argileux de propriété admissible pour des bétons de qualité courante quand on ne craint pas particulièrement le retrait.
75≤ ES≤ 85	70≤ ES≤ 80	Sable propre à faible pourcentage de farine argileux convient parfaitement pour des bétons de hautes qualité.
E.S ≥85	E.S >80	Sable très propre : L'absence totale de fines argileuses risque d'entraîner un défaut de plasticité du béton qu'il faudra rattraper par une augmentation du dosage en eau.

TABLEAU 2.20 : Comparaison des résultats.

Résultats : C'est un Sable très propre : L'absence totale de fines argileuses risque d'entraîner un défaut de plasticité du béton qu'il faudra rattraper par une augmentation du dosage en eau.

II.3.3 : Module de finesse :

Le module de finesse (**MF**) est une facture très importante qui nous permet de juger la qualité du sable, il est donné par la relation suivant :

$$M_{Finesse} = \sum \frac{(Refus\ cumulés)}{100}$$

MF =1.58 :C'est un sable fin.

II.3.4: Masses volumiques apparentes:

Cet essai a pour but de permettre de connaître la masse d'une fraction granulaire lorsque par exemple on élabore une composition de bétons. Ce paramètre permet, en particulier, de déterminer la masse ou le volume des sables malaxés pour l'obtention d'un béton dont les caractéristiques sont imposées.

II.3.4 .1: Principe de l'essai:

Le principe de cet essai c'est de remplir un récipient gradué (200ml) et déterminer la masse du contenu. Récipient gradué. - balance. - sable.

Chapitre II : Matériaux matériels et essais

II.3.4 .2: Mode opératoire:

Dans cet essai on va faire les étapes suivantes: On met l'échantillon dans le récipient gradué (d'environ 200 ml), et on pese le récipient à l'aide d'une balance. Puis on note les masses et les volumes pour calculer la masse volumique.

La Masse volumique apparente est donnée par formule suivant :

$$\rho_{abs} = (M_2 - M_1) / V_r$$

A l'état lâche.

N° d'essai	M ₁ (g)	M ₂ (g)	ρ_{app} (g/cm ³)	ρ_{app} moye (g/cm ³)
01	114	1525	1.567	1.568
02	114	1526	1,568	
03	114	1526	1.568	

TABLEAU 2.21 : Masse volumique apparente ((à l'état lâche du sable.

Al état compact

N° d'essai	M ₁ (g)	M ₂ (g)	ρ_{app} (g/cm ³)	ρ_{app} moy (g/cm ³)
01	114	1655	1,712	1,724
02	114	1673	1,732	
03	114	1670	1728	

TABLEAU 2.22: Masse volumique apparente ((à l'état compact)) du sable
Volume de récipient V=900cm³.

II.3. 5 Masses volumiques absolues:

C'est la masse de l'unité de volume absolu de corps, c'est-dire de la matière qui constitue le corps sans tenir compte du volume vide. La masse volumique absolue du sable est calculé d'après la formule :

$$\rho_{abs} = \frac{M}{(V_2 - V_1)}$$

N° d'essai	M (g)	V1 (ml)	V2 (ml)	ρ_{app} (g/ml)	ρ_{app} M (g/ml)
1	300	300	411	2,702	2.710
2	300	300	409	2.752	
3	300	300	412	2.678	

TABLEAU 2.23 : Masse volumique absolue du sable.

Chapitre II : Matériaux matériels et essais

II.3.6 Porosités (NF P 18 554 et 18 555):

C'est la masse de l'unité de volume absolu de corps c'est-dire de la matière qui constitue le corps sans tenir compte du volume vide.

$$P\% = \left(1 - \frac{\rho_{app}}{\rho_{abs}}\right) * 100$$

Porosités P (%)	
Lâche	Compact
42.140	36.383

TABLEAU 2.24: porosités (%) du sable

II.3.7 : Compacité:

La compacité d'un matériau est une proportion de son volume réellement occupé par la matière solide qui le constitue, c'est-à-dire. Le rapport du volume absolu des grains au volume apparent du matériau. La compacité donnée par la formule :

$$C = \frac{\rho_{app}}{\rho_{abs}} = 100 - P$$

Compacité C(%)	
Lâche	Compact
57.86	63.671

TABLEAU 2.25: Compacité C(%) du sable

II.3.8 : L'indice des vides :

L'indice des vides I (%)	
Lâche	Compact
0,728	0,571

TABLEAU 2.26: L'indice des vides (%) du sable

II.3.9 : Les Caractéristiques chimiques de sable :

La composition chimique du sable de dune (OUED MAITRE) est établie en mars 2005, à la cimenterie de ACC (M'sila).

Chapitre II : Matériaux matériels et essais

CONSTITUANTS		
Elément	Symbole	Teneur en (%)
Silice	SiO ₂	86.95
Chaux	CaO	6.33
Oxyde de ferrique	Fe ₂ O ₃	0.90
Alumine	Al ₂ O ₃	1.92
Oxyde de magnésium	MgO	0.53
Sulfate	So ₃	0.44
Pente au fer	P.A.F	2.81

TABLEAU 2.27 : Analyse chimique du sable de BOUSAADA.

II.4 Le ciment:

Le ciment utilisé dans notre étude est un ciment portland composé obtenu par le mélange finement broyé de clinker et d'ajouts. Le sulfate de calcium est ajouté sous forme de gypse en tant que régulateur de prise. Le ciment provient de l'usine (hammam Dhalaa).

Le produit a comme Identification CPJ-CEM II/A 42,5 et il a les caractéristiques suivantes :

Caractéristiques	Description
Physiques	-Le temps de début de prise mesuré sur pate pure est 60 minutes. -Le retrait à 28 jours d'âge du mortier normal est 1000 µm/m. -La stabilité mesurée sur éprouvette de pate pure est 10mm.
Mécaniques	-Les résistances mécaniques à la compression font apparaitre une valeur moyenne des résultats à 28 jours d'âge, voisine de 42.5 N/mm ² , c'est ce qu'on appelle la classe vraie du ciment.
Chimiques	-La teneur en sulfates (So ₃) dans le ciment est de 2.5±0.5 -La teneur en chlorures (Cl ⁻) est de 0.02±0.05.

TABLEAU 2.28 : Caractéristiques du ciment.

Chapitre II : Matériaux matériels et essais

En conclusion, le produit se présente comme suit :

- Désignation : Ciment Portland Composé.
- Identification : CPJ-CEM II/A 42,5.
- Composition : 80 à 94 % de Clinker et 6 à 20 % d'ajouts.

II.5 l'eau de gâchage:

L'eau de gâchage utilisé est une eau potable du laboratoire de département de génie civil.

II.6 : Formulation des mélanges

II.6.1:Formulation du béton Méthodes de Dreux_Gorisse

G : gravier

S : sable

B1: Béton avec rapport G/S=1.7

B2: Béton avec rapport G/S=2

B3: Béton avec rapport G/S=2.3

1. Détermination du dosage en ciment par m^3 de béton :

$$R_b = GR_c \left(\frac{C}{E} - 0.5 \right)$$

G : Coefficient granulaire donné par le (Tableau 2.26), en fonction de la qualité et de la dimension maximale (D max) du gravier.

valeurs de G coefficient granulaire			
qualité des granulats	dimension des granulats D (mm)		
	Fins <16	Moyens 25 < 40	Gros D < 63
Excellente	0.55	0.60	0.65
bonne, courante	0.45	0.50	0.55
Passable	0.35	0.40	0.45

TABLEAU 2.29 : Valeurs de G coefficient granulaire

$$D = 16\text{mm} \rightarrow G = 0.45$$

R_c: Classe vraie du ciment à 28 jours (46 MPA)

$$\frac{C}{E} = \frac{R_b}{G * R_c} + 0.5 = \frac{28.75}{0.45 * 46} + 0.5$$

$$\frac{C}{E} = 1.89$$

Connaissant le rapport C\E la fluidité désirée, qui est une donnée du problème, on peut déterminer le dosage en ciment d'après l'abaque (Figure2.10).

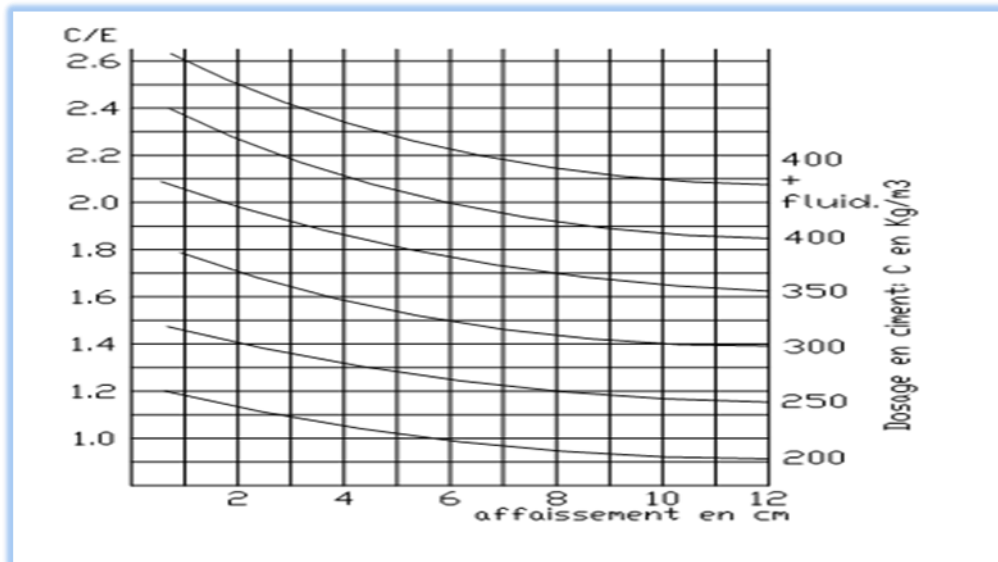


Figure 2.11: Dosage en ciment

$$A_f = 7 \text{ cm}$$

→ l'abaque donne la valeur du dosage en ciment : $C = 373.33 \text{ Kg}$ (voir fig.2 .10)

$$\frac{C}{E} = 1.859$$

2. Détermination du dosage en eau:

$$\frac{C}{E} = 1.859$$

→ On en déduit la valeur de E qui est : $E = 200.82 \text{ Kg}$
 $C = 373.33 \text{ Kg}$

3 . Tracé de la courbe granulair de référence :

Composition granulair de référence OAB avec :

Le point O est repéré par ses coordonnées [0.08 ; 0]

Le point B est repéré par ses coordonnées [D ; 100] (D : le diamètre du plus gros granula $D = 16$).

Le point de brisure A a les coordonnées suivantes :

$$D = 16 < 20 \text{ mm} : X_A = D/2 = 8$$

$$Y_A = 50 - \sqrt{D} + K \rightarrow Y_A = 44$$

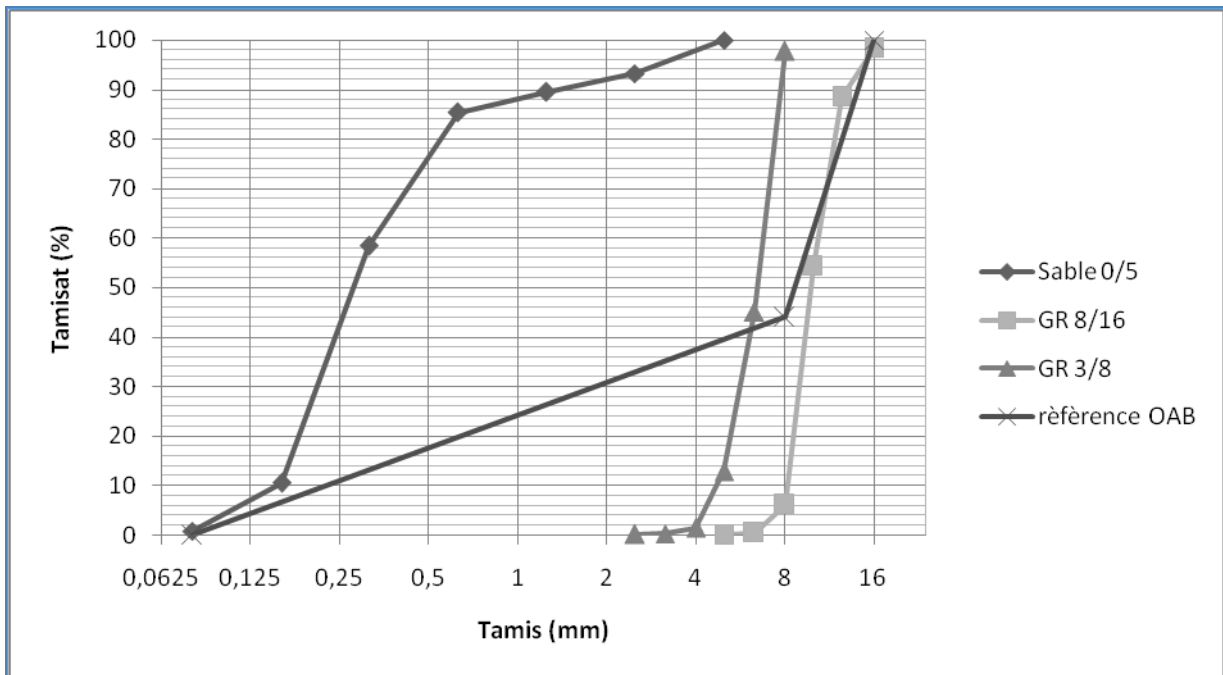


Figure 2.12: Courbe Granulométrique.

Les pourcentages des granulats suivants :

- Sable 0/5 : 37%
- Gravier 3/8 : 25.2
- Gravier 8/16 : 37.8%

4. Coefficient de compacité :

$$V_M = V_s + V_G + V_C$$

$$V = 1000\gamma - c$$

5. Dosage des granulats :

Volume absolu du ciment :

$$c = \frac{C}{\rho_c}$$

$$c = \frac{373.33}{3.1} = 120.42 \text{ kg}$$

Volume absolu du granulat (l'ensemble) :

$$V_G = 1000 * 0.805 - 120.42 = 684.58 \text{ kg}$$

- Volume absolu du Sable :

$$V_s = 253.29 \text{ kg}$$

- Volume absolu du Gravier 3/8 :

$$V_{Gc \ 3/8} = 172.51 \text{ kg}$$

Chapitre II : Matériaux matériels et essais

- Volume absolu du Gravier 8/16 :

$$V_{GC\ 8/16} = 258.77\ kg$$

Les dosages en masse des éléments secs (granulats, sable) pour $1\ m^3$ de béton sont donnés par :

Masse de Sable :a

$$M_S = V_S * \gamma_S = 658.55\ Kg$$

Masse de Gravier 3/8 :

$$M_{GC\ 3/8} = V_{GC\ 3/8} * \gamma_{GC\ 3/8} = 448.526\ kg$$

Masse de Gravier 8/16 :

$$M_{G8/16} = V_{G8/16} * \gamma_{G8/16} = 672.80\ kg$$

Pour préparer $1\ m^3$ de béton, il faudra donc les masses suivants :

$$\left\{ \begin{array}{l} E = 200.82\ l \\ C = 373.33\ kg \\ S = 658.55\ kg \\ G_{3/8} = 448.526\ kg \\ G_{8/16} = 672.8\ kg \end{array} \right.$$

Pour préparer 1^{er} béton: B1

$$G/S=1.7$$

Formulation de Béton à base de : (40% 3/8 concassé + 60% 8/16 concassé)

Pour coulage de 21 éprouvettes cubiques et 15 éprouvettes prismatiques:

$$V = [(0.1 \times 0.1 \times 0.1) \times 21 + (0.07 + 0.07 + 0.28) \times 15] \times 1.25 = 0.05197\ m^3$$

béton	Eau (kg)	Ciment (kg)	Gravier 3/8(kg)	Gravier 8/16(kg)	Sable (kg)
B1	10,43	19,40	23,306	34,396	34,22

TABLEAU 2.30 : constitue nécessaires pour 1^{er} béton.

Pour préparer 2^{ème} béton : B2

$$G/S=2$$

Formulation de Béton à base de : (40% 3/8 concassé + 60% 8/16 concassé)

Pour coulage de 21 éprouvettes cubiques et 15 éprouvettes prismatiques:

$$V = [(0.1 \times 0.1 \times 0.1) \times 21 + (0.07 + 0.07 + 0.28) \times 15] \times 1.25 = 0.05197\ m^3$$

béton	Eau (kg)	Ciment (kg)	Gravier3/8(kg)	Gravier 8/16(kg)	Sable (kg)
B2	10,43	19,40	24,51	36,766	30,638

TABLEAU 2.31 : constitue nécessaires pour 2^{ème} béton.

$$\left\{ \begin{array}{l} S + G = 91,916\ kg \\ G/S = 2 \\ S = 30,638\ kg \\ G = 61,277\ kg \end{array} \right.$$

Pour préparer 3^{ème} béton : B3

$$G/S=2.3$$

Formulation de Béton à base de : (40% 3/8 concassé + 60% 8/16 concassé)

Pour coulage de 21 éprouvettes cubiques et 15 éprouvettes prismatiques:

Chapitre II : Matériaux matériels et essais

$$V = [(0.1 \times 0.1 \times 0.1) \times 21 + (0.07 + 0.07 + 0.28) \times 15] \times 1.25 = 0.05197 \text{ m}^3$$

béton	Eau (kg)	Ciment (kg)	Gravier 3/8(kg)	Gravier 8/16(kg)	Sable (kg)
B3	10,43	19,40	23,306	34,396	27,853

TABLEAU 2.32 : constitués nécessaires pour 3^{ème} béton

II.7 Performances des bétons à l'état frais et à l'état durci:

II.7.1 : Affaissement au cône d'Abrams :

II.7.1.2: Principe de l'essai:

Cet essai consiste à mesurer la hauteur d'affaissement d'un volume tronconique de béton frais. 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.

II.7.1.3: Appareillage:

- Moule pour former l'éprouvette : en métal non directement attaqué par la pâte de ciment, d'une épaisseur minimale de 1,5 mm. La paroi intérieure du moule doit être lisse, sans aspérités. Le moule doit avoir la forme d'un tronc de cône creux aux dimensions intérieures suivantes :

- diamètre de la base : (200 ± 2) mm;
- diamètre du haut : (100 ± 2) mm;
- hauteur : (300 ± 2) mm;

Le moule doit être muni, à sa partie supérieure, de deux poignées et, à sa partie inférieure, de pattes de fixation ou d'appui, afin de l'immobiliser.

- Tige de piquage : de section circulaire, rectiligne, en acier, de (16 ± 1) mm de diamètre, et de (600 ± 5) mm de longueur, dont les extrémités sont arrondies.

- Entonnoir (facultatif) : en matériau non absorbant et non directement attaqué par la pâte de ciment, ayant un dispositif permettant à l'entonnoir d'être placé correctement sur le moule spécifié ci-dessus.

- Règle : graduée de 0 mm à 300 mm, avec des graduations de 5 mm, le zéro étant situé à une extrémité de la règle.

- Surface ou plateau de base : plateau ou autre surface, rigide, plat, non absorbant, sur lequel le moule sera posé.

- Récipient de ré-homogénéisation : plateau plat de structure rigide, en matériau non absorbant et non directement attaqué par la pâte de ciment. Ses dimensions doivent être appropriées de sorte que le béton puisse être facilement regâché, à l'aide de la pelle carrée.

- Pelle carrée : La pelle de forme carrée est nécessaire pour assurer un mélange correct du matériau sur le récipient de ré-homogénéisation
- Minuterie ou horloge : capable de mesurer le temps à 1 seconde près.

II.7.1.4: Mode opératoire:

- Humidifier le moule et le plateau de base, puis placer le moule sur le plateau
- Maintenir fermement le moule en place pendant le remplissage, en le solidarissant par les deux pattes de fixation.
- Remplir le moule en trois couches, chacune correspondant approximativement, après serrage, au tiers de la hauteur du moule. Piquer chaque couche 25 fois avec la tige de piquage. Répartir les coups uniformément sur la section de chaque couche. Pour la couche inférieure, il est nécessaire d'incliner légèrement la tige et de donner approximativement la moitié des piquages avec des coups en spirale jusqu'au centre. Piquer la deuxième couche et la couche supérieure, chacune sur toute son

Chapitre II : Matériaux matériels et essais

épaisseur, de sorte que la tige pénètre légèrement dans la couche sous-jacente. Lors du remplissage et du compactage de la couche supérieure, mettre un excès de béton au-dessus du moule avant de commencer le piquage. Si lors du piquage de la couche supérieure apparaît un manque de béton au dessous du bord supérieur du moule. Ajouter du béton pour avoir toujours un excès. Après avoir piqué correctement la couche supérieure, araser le béton suivant le bord supérieur du moule en effectuant un mouvement de sciage et de roulage à l'aide de la tige de piquage.

- Enlever le béton qui s'est écoulé sur le plateau de base. Démouler le béton en soulevant verticalement le moule avec précaution.
- Immédiatement après avoir retiré le moule, mesurer l'affaissement (h) en déterminant la différence entre la hauteur du moule et le point le plus haut du corps d'épreuve affaissé.

II.7.2 Résistance à la compression :

L'essai de compression est mené sur des éprouvettes de forme cubique normalisée et d'élanement (10*10*10 cm; norme NFP18-406, NA427) .La vitesse de chargement est constante. La machine d'essai est une presse de force de classe « B » et d'une capacité maximale de 1500 KN conforme à la norme NF P 18-412 (NA 2832)

Les éprouvettes sont conservées sans être déplacées pendant 24 heures. Après démoulage, Des éprouvettes 10x10x10 cm, sont conservées dans l'eau à une température de 20 à 23°C jusqu'à 28 jours. Des essais d'écrasement ont été réalisés aux âges (7, 14, 28, 60,90)

Chapitre III : EXPLOITATION DES RESULTATS OBTENUS SUR LES BETONS

Chapitre III : Exploitation des résultats obtenus sur les bétons

III .1 : Introduction:

Depuis que l'on fabrique des bétons, les chercheurs se sont efforcés d'élaborer des théories, d'effectuer des recherches et des essais et déduire des méthodes de composition pour la fabrication des bétons. Ces méthodes de formulation, de protection, de contrôle, et d'évaluation sont aujourd'hui très nombreuses.

Les essais de contrôle de béton à l'état durci :

Les essais mécaniques destructifs:

Essais compression, qui consistent à appliquer une charge croissante, avec une vitesse appropriée pour chaque essai, jusqu'à la rupture. Dans ce chapitre, on va présenter les résultats des travaux élaborés en analysant la formulation des différents échantillons testés, et l'évaluation par les essais de compression qui sont capable, d'après nos essais, de donner une première impression sur les caractéristiques mécaniques du béton durci.

L'essai de traction constitue un des essais les plus utilisés pour la caractérisation mécanique des matériaux. Etant purement uni axial du moins tant qu'il n'y a pas de striction (diminution catastrophique de la section de l'éprouvette au centre de celle-ci), il permet de s'appuyer sur des méthodes de calcul inverse pour aboutir directement à une loi de comportement uni axiale. Il permet de déterminer de nombreuses grandeurs normalisées, comme la contrainte à rupture, la contrainte maximale, la limites d'élasticité, etc. nécessaires dans les calculs de structure. Nous donnons ici Tout d'abord la description générale d'une machine de traction, puis des éléments concernant les éprouvettes, les mesures de déformation et de charge appliquée.

III .2 : Représentation et analyse des résultats:

III 2.1 : Béton à l'état frais:

Pour une consistance normale. Entre 6 et 7 cm au cône d'A bramés, nous avons obtenus les résultats présentés ci-dessous :

Type de béton	Affaissement (cm)
B1	7
B2	7
B3	7

TABLEAU 3.1 : Variation de l'affaissement en fonction du type de béton.

Béton	B1	B2	B3
E/C	0.54	0.53	0.525
Réduction d'eau (%)	0	1.14	2.29

TABLEAU 3.2 : rapport E/C, réduction d'eau des mélanges de béton

Chapitre III : EXPLOITATION DES RESULTATS OBTENUS SUR LES BETONS

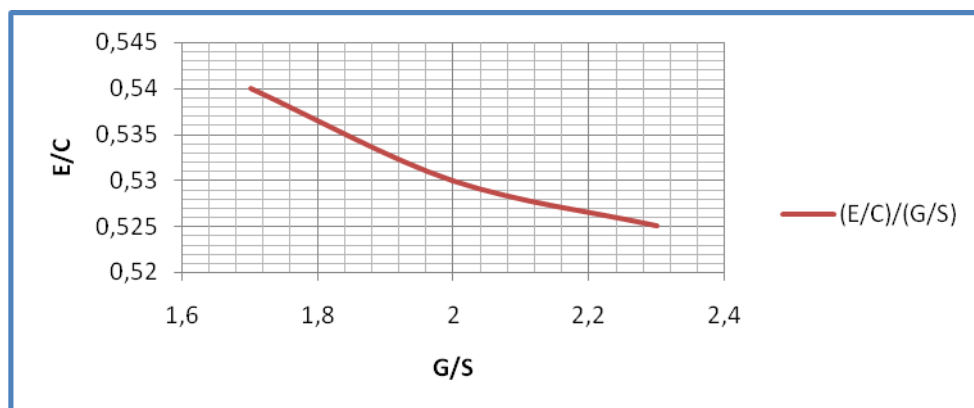


Figure 3.1 : Rapport (E/C) en fonction du rapport (G/S)

On remarque que le rapport E/C diminue en augmentant le rapport G/S, la présence d'un pourcentage important de gros granulats diminue la surface spécifique des grains d'où la diminution du rapport E/C

III 2.2 : Béton a l'état durci :

a / Concentration de l'acide sulfurique 5%:

Nos éprouvettes de béton après durcissement (28 jours) ont été introduites dans un milieu agressif, un bac rempli d'eau avec de l'acide sulfurique à une concentration de 5%

Masse volumique des différents mélanges étudiés :

Mélanges	La masse volumique a l'état durci (kg/cm ³)				La masse volumique (kg/cm ³) a l'état durci (milieu agressif)	
	1 jours	7 jours	14 jours	28 jours	60 jours	90 jours
B₁	2.406	2.410	2.412	2.413	2.409	2.406
B₂	2.410	2.413	2.414	2.415	2.411	2.409
B₃	2.412	2.416	2.417	2.418	2.415	2.411

TABLEAU 3.3 : les résultats des mesures de la masse volumique à l'état durci des bétons

Chapitre III : EXPLOITATION DES RESULTATS OBTENUS SUR LES BETONS

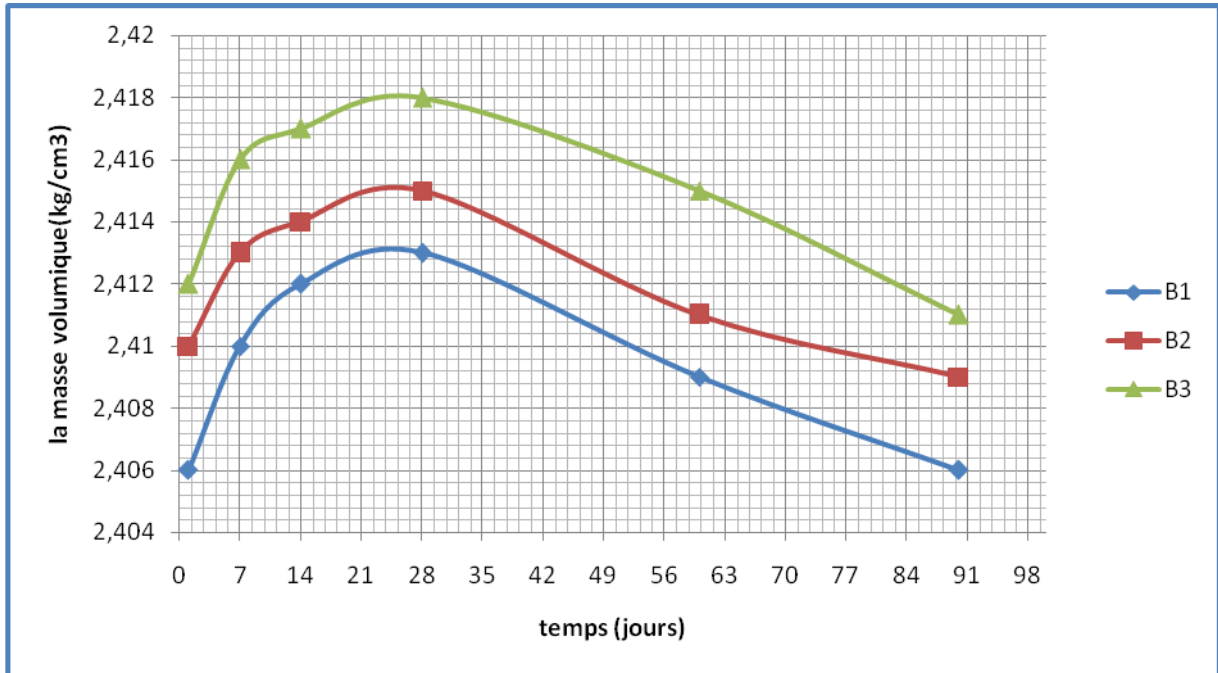


Figure 3.2 : Masse volumique des bétons à l'état durci (Concentration 5%) en fonction de temps.

La masse volumique augmente jusqu'à 28 jours, puis diminue après l'introduction des éprouvettes dans le milieu acide, la diminution de la masse volumique du béton B₁ avec (G/S = 1,7) est plus importante

b / Concentration de l'acide sulfurique 10%:

Nos éprouvettes de béton après durcissement (28 jours) ont été introduites dans un milieu agressif, un bac rempli d'eau avec de l'acide sulfurique à une concentration de 10%

Masse volumique des différents mélanges étudiés :

Mélanges	La masse volumique a l'état durci (kg/cm ³)				La masse volumique (kg/cm ³) a l'état durci (milieu agressif)	
	1 Jours	7 jours	14 jours	28 jours	60 jours	90 jours
B₁	2.406	2.410	2.412	2.413	2.407	2.401
B₂	2.410	2.413	2.414	2.415	2.413	2.405
B₃	2.412	2.416	2.417	2.418	2.415	2.406

TABLEAU 3.4 : Masse volumique des bétons à l'état durci (Concentration 10%) en fonction de temps.

Chapitre III : EXPLOITATION DES RESULTATS OBTENUS SUR LES BETONS

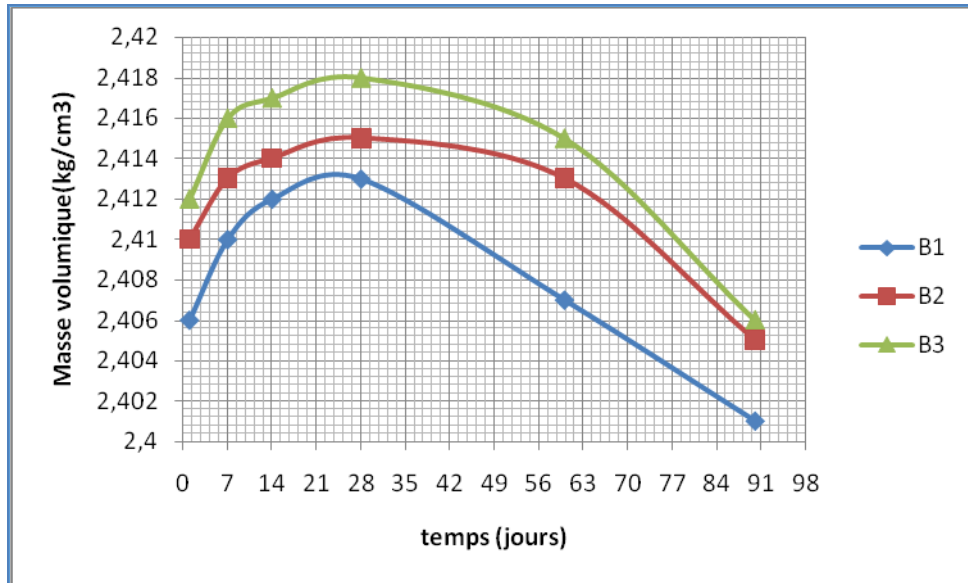


Figure 3.3 : Masse volumique des bétons à l'état durci (Concentration 10%) en fonction de temps.

La masse volumique augmente jusqu'à 28 jours, puis diminue après l'introduction des éprouvettes dans le milieu acide, la diminution de la masse volumique du béton B₁ avec (G/S = 1,7) est plus importante

III.2.2.2 : Calcul des résistances mécaniques :

a) Concentration de 5% d'acide sulfurique:

a-1) Résistance à la compression à 7j ; 14j ; 28j ; 60j et 90 jours

Mélanges	Resistances à la compression MPA			Resistances à la compression (milieux agressive) (MPA)	
	7 jours	14 jours	28 jours	60 jours	90 jours
B₁	26.15	31.56	35.26	32.14	29.08
B₂	25.85	31.25	34.78	30.25	27.50
B₃	25.33	30.65	33.23	28.29	25.45

TABLEAU 3.5 : Résistances à la compression.

Chapitre III : EXPLOITATION DES RESULTATS OBTENUS SUR LES BETONS

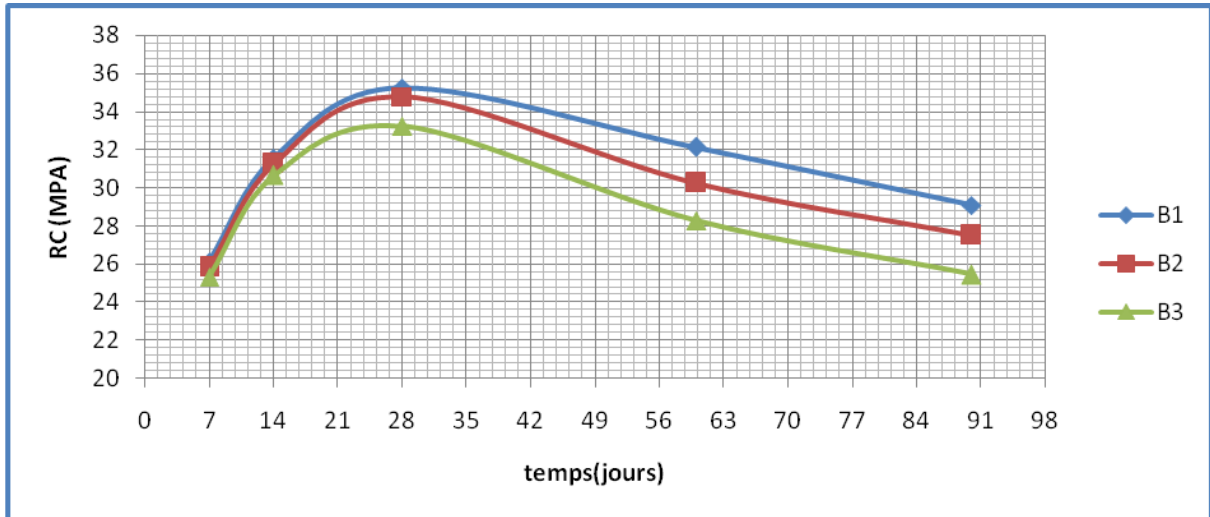


Figure 3.4 : Résistances à la compression des mélanges de bétons en fonction de temps.

On remarque une augmentation de la résistance jusqu'à 28 jours puis une chute de la résistance après 28 jours à cause de l'attaque des acides, la diminution est plus importante pour le béton B₃ avec G/S = 2,3 la présence d'une masse plus importante de gros granulats laisse beaucoup de vides entre les grains l'acide peut pénétrer facilement dans le béton et provoque des dégâts considérable.

a-2) Résistance à la traction à 28j ; 60j ; 90 jours

Mélanges	Resistances à la traction (MPA)	Resistances à la traction (milieux agressive) (MPA)	
	28Jours	60 jours	90 jours
B1	5,98	5,75	5,55
B1	5,64	5,42	5,2
B1	5,55	5,33	4,98

TABLEAU 3.6 : Résistances à la traction en fonction de temps.

Chapitre III : EXPLOITATION DES RESULTATS OBTENUS SUR LES BETONS

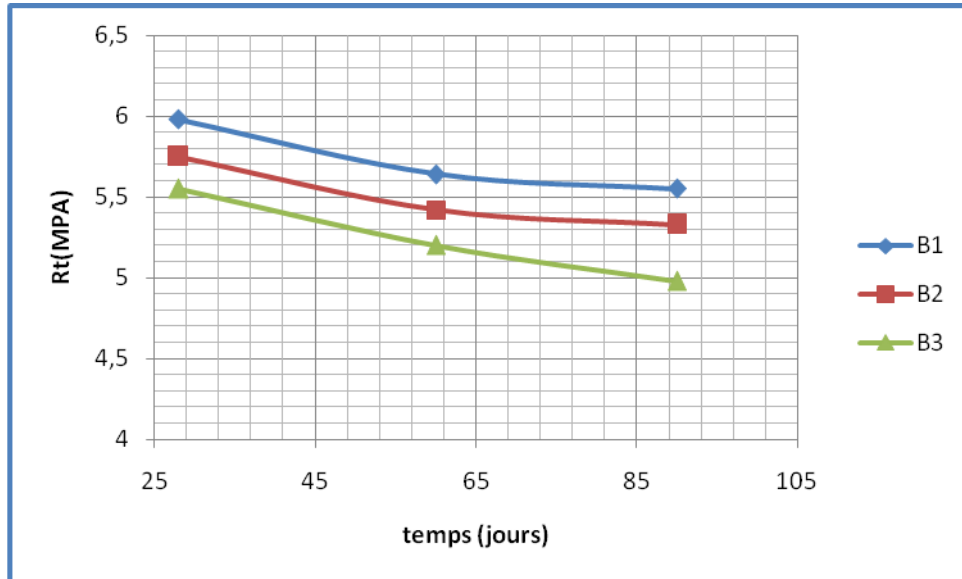


Figure 3.5 : Résistances à la traction du différent béton en fonction de temps.

On remarque une chute de la résistance traction après 28 jours à cause de l'attaque des acides, la diminution est plus importante pour le béton B₃ avec G/S = 2,3 la présence d'une masse plus importante de gros granulats laisse beaucoup de vides entre les grains l'acide peut pénétrer facilement dans le béton et provoque des dégâts considérable.

b) Concentration de l'acide sulfurique 10%:

a -1) Résistance à la compression à 7 ; 14 ; 28 ; 60 ; 90 jours

Mélanges	Resistances à la compression MPA			Resistances à la compression (milieu agressive) (MPa)	
	7 jours	14 jours	28 jours	60 jours	90 jours
B₁	26.15	31.56	35.26	30.65	27.87
B₂	25.85	31.25	34.78	28.27	25.77
B₃	25.33	30.65	33.23	25.33	23.72

TABLEAU 3.7 : Résistances à la compression en fonction de temps.

Chapitre III : EXPLOITATION DES RESULTATS OBTENUS SUR LES BETONS

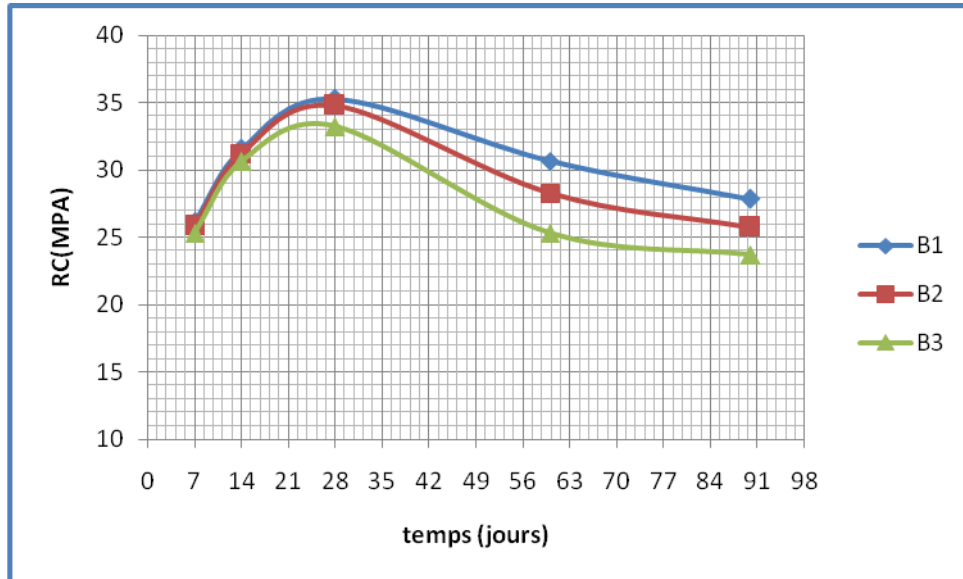


Figure 3.6 : Résistances à la compression des bétons

On remarque une augmentation de la résistance jusqu'à 28 jours puis une chute de la résistance après 28 jours à cause de l'attaque des acides, la diminution est plus importante pour le béton B₃ avec G/S = 2,3 la présence d'une masse plus importante de gros granulats laisse beaucoup de vides entre les grains l'acide peut pénétrer facilement dans le béton et provoque des dégâts considérable.

a-2) Résistance à la traction à 28j ; 60j ; 90 jours

Mélanges	Resistances à la traction (MPA)	Resistances à la traction (milieux agressive) (MPA)	
	28Jours	60 jours	90 jours
B1	5,98	5,65	5,45
B2	5,64	5,32	5,14
B3	5,55	5,21	4,82

TABLEAU 3.8 : Résistances à la traction

Chapitre III : EXPLOITATION DES RESULTATS OBTENUS SUR LES BETONS

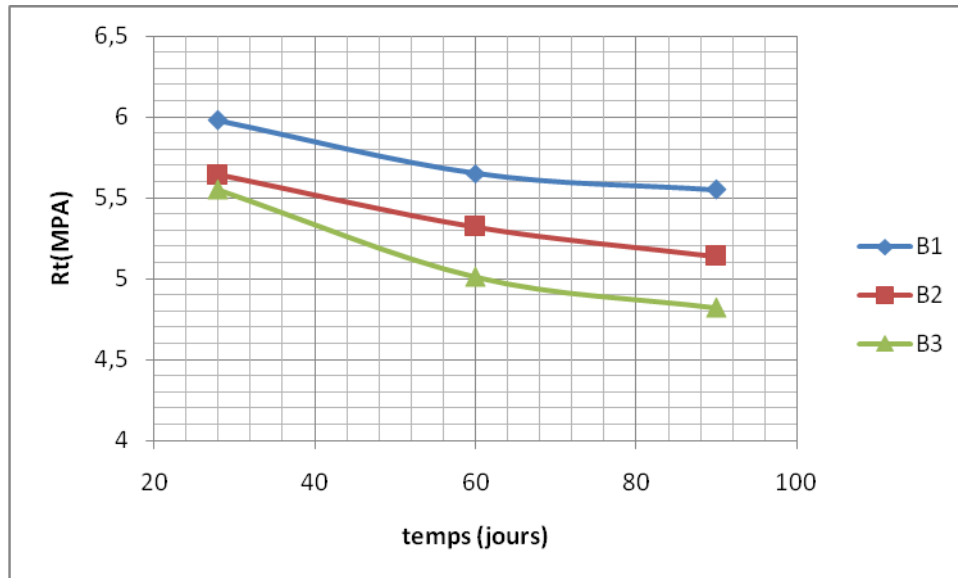


Figure 3.7 : Résistances à la traction du différent béton en fonction de tempe.

On remarque une chute de la résistance traction après 28 jours a cause de l'attaque des acides, la diminution est plus importante pour le béton B₃ avec G/S = 2,3 la présence d'une masse plus importante de gros granulats laisse beaucoup de vides entre les grains l'acide peut pénétrer facilement dans le béton et provoque des dégâts considérable.

Chapitre IV : Conclusion

On remarque que le rapport E/C diminue en augmentant le rapport G/S, la présence d'un pourcentage important de gros granulats diminue la surface spécifique des grains d'où la diminution du rapport E/C

La masse volumique augmente jusqu'à 28 jours, puis diminue après l'introduction des éprouvettes dans le milieu acide de concentration 5%, la diminution de la masse volumique du béton B₁ avec (G/S = 1,7) est plus importante

La masse volumique augmente jusqu'à 28 jours, puis diminue après l'introduction des éprouvettes dans le milieu acide de concentration de 10%, la diminution de la masse volumique du béton B₁ avec (G/S = 1,7) est plus importante que pour la concentration de 5% d'acide.

On remarque une augmentation de la résistance de compression jusqu'à 28 jours puis une diminution de la résistance après 28 jours à cause de l'attaque des acides, cette diminution est plus importante pour le béton B₃ avec G/S = 2,3 la présence d'une masse plus importante de gros granulats laisse beaucoup de vides entre les grains l'acide peut pénétrer facilement dans le béton et provoque des dégâts considérable.

On remarque une diminution de la résistance de traction après 28 jours à cause de l'attaque des acides, la diminution est plus importante pour le béton B₃ avec G/S = 2,3 la présence d'une masse plus importante de gros granulats laisse beaucoup de vides entre les grains l'acide peut pénétrer facilement dans le béton et provoque des dégâts considérable.

On remarque une augmentation de la résistance à la compression jusqu'à 28 jours puis une chute de la résistance après 28 jours à cause de l'attaque des acides de concentration plus élevée (10%), la diminution est de concentration plus élevée (10%), plus importante pour le béton B₃ avec G/S = 2,3 la présence d'une masse plus importante de gros granulats laisse beaucoup de vides entre les grains l'acide peut pénétrer facilement dans le béton et provoque des dégâts considérable.

On remarque une chute de la résistance de traction après 28 jours à cause de l'attaque des acides de concentration plus élevée (10%), la diminution est plus importante pour le béton B₃ avec G/S = 2,3 la présence d'une masse plus importante de gros granulats laisse beaucoup de vides entre les grains l'acide peut pénétrer facilement dans le béton et provoque des dégâts considérable.

Références et bibliographies

Références et bibliographies

[1] **Peter Gössel et Gabriele Leuthäuser**

[2] **Françoise Choay, L'urbanisme, utopies et réalités** : Une anthologie, Paris, Éditions du Seuil, 1979. 104p.

[3] **Barjot, Dominique et Marie-Pierre** : Histoire économique de la France au XIXe siècle.

[4] **Cyrille Simonnet** : « Le béton armé : origine, invention, esthétique ». Thèse de doctorat Paris, EHESS, 1994

[5] **Dennis Sharp** : Histoire visuelle de l'architecture du xxe siècle, Mardaga, Liège, 1972

[6] **Ir.P.DR.BOERAEVE**.cours de béton armé1-1 feches.

[7] **Baron à.J et Sauterey . R** : Le béton hydraulique Connaissances et Pratique, Presses, 1982.

[8] **Chanvillard. G et Laplante .P** : Viser une résistance à court terme pour tenir les délais de fabrication : Les bétons bases et données pour leur formulation, 1997.

[9] **Aitcin .P.C et Baron .J** : Bétons haute performance, Ed. Eyrolles, 1996.

[10] **CIM béton** : Le ciment est ses applications, fiches technique ,2000 .

[11] **Bresson .J** : Prévision des résistances, paris, tech batim. Trav .public ,1980, 387p.

[12] **Cormon .P** : Bétons légers d'aujourd'hui, Ed .Eyrolles au radiateur .Editions du BRGM 1973.

[13] **Dreux.G et Festa. J** : Nouveaux guide du béton et de ces constituants, Ed. Eyrolles ,1998 278p

[14] **Dupain .R et Lanchon .R** :Granulats , sols ,ciment et bétons paris : Ed Educativre,276p.

[15] **EN-12390-3** : Résistance à la compression des éprouvettes

[16] **EN-12390-5** : Résistance à la flexion sur éprouvettes..

[17] **POWERSt.eproprieties of freshconcrate ,(J.WILEY 1969)**

[18] **B.B.AHMED** mémoire de magister influence de la granulat (classe granulaire A/22.4) sur les caractéristiques des granulats et sur les propriétés des béton ordinaires UNIVERSITE MENTORI CONSTANTANTINE 2011.

[19] **A.A.MOHAMED**.étude des propriétés mécaniques du béton de sable de dunes :Université kasdi merbah de ouargla 2011

[20] **les techniques ,TOME 2** ont été réalisées par les experts de CIMBETON,elles ont pour titre : « le bétons :forulation ,»

[21] **POWERS t.c proprieties of fresh concreate ,«J,WILEY1969».**

[22] **(F DE LARRARD)** concrét mixture –proportioning-A scientifique Approach-londres 1999.

[23] centre de documentation .institut algérien de normalisation date :2006

[24] **Andriamananstilavo.N** : «Comportement des matériaux cimentaires dans un coffrage expérimentation, modélisation et simulation de la poussée et du processus de maturation ». Thèse de doctorat à l'Université de BOUMERDES, 2003.

Références et bibliographies

- [25] **CHHAOUI Ramdane** : Durabilité des matériaux cimentaires vis-à-vis d'un environnement chimiquement agressif (Mémoire de Magister- USTMB d'Oran -2008).
- [26] **Saida BOUALLEG** : Effet des milieux agressifs sur les caractéristiques de durabilité des bétons et des matrices cimentaires (Mémoire de Magister- Université Mohamed Boudiaf de M'sila-2004).
- [27] **KERBOUCHE** : Influence des ajouts minéraux sur les résistances mécaniques et la durabilité des mortiers (Mémoire de Magister- l'ENSET d'Oran-2009).
- [28] **HAUSMANN D.A.** – “Steel corrosion in concrete: how does it occur?” Materials protection, vol. 4, 11, 1967, p. 19-23.
- [29] **J. P Olivier** : livre de " Durabilité des bétons ." (A.NONAT :chapitre2 ; V. BAROGHEL-BOUNY, B. CAPRA, S. LAURENS : chapitre9 ; A. CARLES-GIBERGUES, H.HORNAIN :chapitre11 ; G. ESCADEILLAS, H. HORNAIN: chapitre 12) .(Edition :Presse de l'école nationales des ponts et chaussées -2008).
- [30] Dr. Ir. P. Boeraeve : Cours de Béton armé
- [31] **NDZANA AKONGO Grégoire & TCHOUMI Samuel** : Réhabilitation des ouvrages en béton armé dégradés par la corrosion des armatures (Diplôme des Professeurs des lycées d'Enseignement Technique 2^{ème} grade -Université de Douala).
- [32] **Le LERM** : Dossier technique (laboratoire et société d'études et de conseil en matériaux de construction (BTP/génie Civil, Patrimoine Bâti, Environnement).
- [33] **C. Girard Division ST** – Technical Facilities Management (ST/TFM) CERN, Genève, Suisse.
- [34] **Yassine SENHADJI** : L'influence de la nature du ciment sur le comportement des mortiers vis-à-vis des attaques chimiques (acides et sulfatiques) (Mémoire de Magister- USTMB d'Oran -2006).
- [35] **Stéphane POYET** : Etude de la dégradation des ouvrages en béton atteints par la réaction alcali-silice : Approche expérimentale et modélisation numérique multi-échelles des dégradations dans un environnement hydro-chemo-mécanique variable
- [36] **RECOMMANDATION N°T1-96** aux maîtres d'ouvrage publics relative aux études pour la construction ou la réparation des ouvrages de stockage et de transport de l'eau-NOTE N°3

ملخص

هذه الدراسة التجريبية تكشف تأثير نسبة الحصى /الرمل على خواص الخرسانة الطازجة والمتصلدة في بيئة عدوانية.

التغير في نسبة الحصى /الرمل بنسب 1.7 2 2.3 اثر بشكل مباشر علي ديمومة الخرسانة حيث انه لاحظنا هناك زيادة في الديمومة بعد التخفيض من الحصى الخشن ,وزيادة نسبة الحصى /الرمل تزيد من المسامية، وزيادة المسامية تزيد من سهولة الاختراق لعناصر العدوانية في الخرسانة

يزيد من نفوذي في الخرسانة بسهولة زيادة كمية حمض الكبريتي وزيادة نسبة الحصى /الرمل تؤدي إلى انخفاض متانة الخرسانة وذلك بسبب الزيادة في نفاذية في الخرسانة وزيادة قوة في الاختراق لعناصر العدوانية

كلمات البحث: الحصى المكسر، الخرسانة، امتصاص الماء، القوة الميكانيكية، البيئة العدوانية.نسبة الحصى /الرمل

RESUME

Cette étude expérimentale expose l'influence du rapport G/S sur les propriétés du béton frais et durci dans un milieu agressif

La variation du rapport G/S de 1,7, 2,0 et 2,3 à une influence directe sur la durabilité du béton.

On remarque que la diminution de la taille des gros granulats engendre une augmentation de la durabilité

En augmentant le rapport gravier / sable la porosité de la matrice du béton devient moins compacte.

Et facilite la pénétration des agents agressif dans le béton, la durabilité donc est affectée par ces agents agressifs

L'augmentation de la concentration de l'acide sulfurique engendre une diminution de la résistance du béton ainsi la durabilité est affectée négativement.

Mots clés : granulats concassés, béton, absorption d'eau, résistances mécaniques, milieu agressif, rapport G/S

ABSTRACT

This experimental study exposes the influence of the G / S on the properties of fresh and hardened concrete in an aggressive environment

The variation of G / S ratio of 1.7 to 2.0 and 2.3 depending on the cement content directly influenced the sweat of concrete durability.

We notice an increase in durability after decreasing coarse aggregates

And increase the gravel / sand ratio as it increase the porosity. And increase the porosity increases the ease of penetration into the concrete

The increased amount of sulfuric acid it decreased the Concrete Sustainability

Keywords: crushed aggregate, concrete, water absorption, mechanical strength, aggressive environment, G / S ratio