

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Mohamed khider –Biskra
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département de Génie civil et d'Hydraulique
Référence :/2022



جامعة محمد خيضر بسكرة
كلية العلوم و التكنولوجيا
قسم الهندسة المدنية و الري
المرجع/2022

Mémoire de Master

Filière : Génie Civil

Spécialité : Matériaux en génie civil

Thème

Etude de la nature du sable sur le comportement des bétons ordinaires sous différentes conditions de durcissement

Nom et Prénom de l'étudiant :
RIZOUG Abderrahmane

Encadreur : BEN AICHI Elhadj

Promotion: Juin 2022

DEDICACE

Avec l'aide du tout Puissant, j'ai pu réaliser ce modeste travail que je dédie :

*A mon très cher **père**,*

Je voudrais partager ce succès avec lui, Que dieu le protège et le garde.

*A ma très chère **maman**,*

Que dieu la protège pour moi, je ne pourrai jamais la remercier assez

Pour ce qu'elle fait pour moi.

*A mes frères **khireddine, abdelhak**, mes sœurs **bouchera, nessrine, sarah, hadjer***

Qui sont très présents pour me soutenir

*Aussi je dédie ce travail à mes chères amies **Hamza , Mouhmed et Abdelkader**.*

Un grand merci à mon encadreur BEN AICHI El-hadj parce qu'il m'a donné des conseils .

Remerciement

Je remercie Allah, le Tout Puissant, le Miséricordieux, de m'avoir appris ce que j'ignorais, de m'avoir donné la santé et tout dont je necessitais pour l'accomplissement de ce mémoire.

Également, mon encadreur de projet de fin d'étude Dr BEN AICHI El-hadj, docteur à l'université Mohamed Khider Biskra, pour son encadrement

Je remercie également tous les enseignants du département de Génie civil de l'université Mohamed Khider - Biskra, qui ont participé à ma formation pendant tout mon cycle universitaire

Je remercie le Monsieur. TOUR Abd-Elmonaim - Ingénieur de laboratoire de matériaux et construction de génie civil, pour m'avoir assisté dans la réalisation des éprouvettes et la conduite des essais de laboratoire, ET pour ses conseils.

LISTE DE NOTATION

Liste de notation

BO : béton ordinaire

R_c : la résistance à la compression du béton.

Ru : Résistance de l'ultrason.

T : le temps.

S : section de l'éprouvette.

I : l'indice scléromètre.

S : sable.

A, A' : coefficients de la qualité des granulats et des liants.

A : coefficient d'écartement.

D_{max} : Diamètre maximal du gros granulat.

C : ciment.

E : eau.

PC : pierres concassée.

G : gravier.

Rb : classe du béton.

E/C : rapport eau sur ciment.

ρ : masse volumique apparente.

γ : masse volumique absolue.

V : volume.

P (%): porosité.

C (%): compacité.

e (%): indice des vides.

MF : module de finesse du sable.

E_{sv} : équivalent de sable visuel.

E_{sp} : équivalent de sable par piston.

LISTE DE NOTATION

V : la vitesse d'ultrason.

ρ : Masse volumique (Kg/m^3).

RÉSUMÉ

Résumé :

Dans notre sujet , nous avons étudié l'effet de la nature du sable sur le comportement du béton ordinaire sous différentes conditions de durcissement , dans le but d'obtenir un béton aux spécifications techniques élevées , visant à assurer une plus grande protection pour la structure des structures et plus de protection pour l'homme .

Cela passe par notre connaissance de l'impact du sable sur la propriété du béton avec notre utilisation de trois types de sable (sable de carrière, sable d'oued Lioua et Baadj).

La méthode utilisée pour formuler les proportions des composants du béton est la méthode **Scramtive**.

Dans laquelle nous avons calculé les composants du béton pour le processus de mélange (sable, eau, gravier, ciment) une limite possible aux effets secondaires non notés dans la recherche.

Concernant le béton, nous avons mené des expérimentations sur béton mou (l'affaissement) et sur béton dur nous avons réalisé des essais destructifs et non destructifs en mesurant les ondes ultra-son et mesure du retrait aussi la résistance à la compression pour une durée de vie de 28 jours.

Mots-Clés: Béton, Résistances à la compression, Sable

ملخص :

في موضوعنا ، درسنا تأثير طبيعة الرمل على سلوك الخرسانة العادية في ظل ظروف تصلب المختلفة ، بهدف الحصول على خرسانة بمواصفات فنية عالية و ضمان حماية أكبر للهيكل و حماية البشر .

وهذا يتطلب معرفتنا بتأثير الرمل على خاصية الخرسانة من خلال استخدامنا لثلاثة أنواع من

الرمال (رمل المحاجر ، رمل ليوة ، ورمل بعاج)

الطريقة المستخدمة لصياغة خصائص مكونات الخرسانة هي طريقة **Scramtive** .

حيث قمنا بحساب مكونات الخرسانة لعملية الخلط (الرمل ، الماء ، الحصى ، الأسمنت) لحد

محتمل للآثار الجانبية التي لم يتم ملاحظتها في البحث.

فيما يتعلق بالخرسانة ، أجرينا تجارب على الخرسانة اللينة (هبوط) وعلى الخرسانة الصلبة أجرينا

اختبارات مدمرة وغير مدمرة عن طريق قياس الموجات فوق الصوتية وقياس الانكماش وكذلك مقاومة

الانضغاط لمدة 28 يوماً .

الكلمات المفتاحية: الخرسانة ، قوة الانضغاط، الرمل

ABSTRACT

Abstract :

In our subject, we have studied the effect of the nature of the sand on the behavior of ordinary concrete under different hardening conditions, with the aim of obtaining a concrete with high technical specifications, aimed at ensuring greater protection for the structure. structures and more protection for humans.

This requires our knowledge of the impact of sand on the property of concrete with our use of three types of sand (quarry sand, oued lioua and baadj sand).

The method used to formulate the properties of the concrete components is the scramble method.

In which we calculated the components of the concrete for the mixing process (sand, water, gravel, cement) a possible limit to the side effects not noted in the research.

Regarding concrete, we conducted experiments on soft concrete (subsidence) and on hard concrete we carried out destructive and non-destructive tests by measuring ultrasonic waves and measuring shrinkage as well as compressive strength for a lifetime of 28 days.

Keywords: Concrete, Compressive Strengths, Sand.

Sommaire

Introduction générale.....1

CHAPITRE I : ÉTUDE BIBLIOGRAPHIQUE

I.1 Partie 1 : Généralités sur les bétons2

I.1.1 Introduction..... 2

I.1.2 Historique du béton 2

I.1.3 Définition d'un béton.....3

I.1.4 Les différents types de béton4

I.1.4.1 Béton ordinaire4

I.1.4.2 Béton autoplaçant (BAP)4

I.1.4.3 Béton de haute performance (BHP)4

I.1.4.4 Béton de fibre4

I.1.4.5 Béton à durcissement rapide5

I.1.4.6 Béton léger5

I.1.4.7 Béton lourd5

I.1.4.8 Béton réfractaire5

I.1.5. Propriétés du béton5

I.1.5.1 Propriétés du béton frais6

I.1.5.2 Propriétés du béton durci6

I.1.6 Résistance à la compression6

I.1.7 Principaux avantages et inconvénients du béton7

I.1.7.1 Les Avantages7

SOMMAIRE

I.1.7.2 Les Inconvénients	7
I.1.8 Classification des bétons	8
I.1.9 Les constituants du béton.....	10
I.1.9.1 Le ciment	10
I.1.9.2 Sable	11
I.1.9.3 Gravier	12
I.1.9.4 Eau de gâchage	13
I.2 Partie 2 : Généralités sur les granulats.....	15
I.2.1.Introduction.....	15
I.2.2 Définition des granulats	15
I.2.3 Les différents types des granulats.....	15
I.2.4 Production des granulats.....	18
I.2.4. 1 Le décapage	18
I.2.4.2 L'extraction.....	18
I.2.4.3 Le traitement.....	18
I.2.5 Caractéristiques des granulats	19
I.2.6 Conclusion.....	20

CHAPITRE II : CARACTÉRISATION DES MATÉRIAUX

II.1 Introduction.....	22
II.2 Caractéristique des matériaux et formulation	22
II.2.1 Caractéristique de Ciment	22
II.2.2 Caractéristique du Gravier.....	23
II.2.1.1Analyse granulométrique par tamisage [NA EN 933 – 5]	23

SOMMAIRE

II.2.2.2 Masse volumique.....	25
II.2.2.3 La porosité.....	26
II.2.2.4 La compacité.....	26
II.2.2.5 L'indice des vides.....	26
II.2 Caractéristiques du sable.....	27
II.3.1 Analyse granulométrique [NA EN 933 – 5].....	27
II.3.2 Le module de finesse	30
II.3.3 Equivalent de sable : [NA EN 933 – 8].....	31
II.3.4 Masse volumique : [NF P18 – 555].....	33
II.3.5 La porosité.....	34
II.3.6 La compacité.....	34
II.3.7 L'indice des vides	34
II.4 Essais de Los-Angeles (LA).....	35
II.5 L'eau de gâchage.....	36
II.6 Calcul de la composition du béton	36
II.6.1 Formulation de screm-taiev.....	36
II.6.1.1 Le rapport E/C selon les expressions.....	36
II.6.1.2 La quantité d'eau de gâchage	37
II.6.1.3 Quantité de ciment	38
II.6.1.4 Quantité de pierres concassées	38
II.6.1.5 La quantité de sable	38
II.7 Les essais sur le béton	45

SOMMAIRE

II.7.1 à l'état frais	45
II.7.1.1 Le Malaxage: [NA EN 12390-2].....	45
II.7.1.2 Affaissement au cône d'Abrams : [NF EN 12350 – 2].....	45
II.7.1.3 Vibration.....	46
II.7.2 Essais à l'état durci.....	46
II.7.2.1 Essais non destructifs.....	46
II.7.2.2 Essais destructifs.....	50
II.8 Conclusion.....	50

CHAPITRE III: ANALYSE ET DISCUSSIONS DES RÉSULTAS

III.1 Introduction	51
III.2 Caractéristiques des bétons à l'état durci	51
III.2.1 Essais non destructifs.....	51
III.2.1.1 Essai d'auscultation sonique (Essai Ultrasonique).....	51
III.3 Essais destructifs.....	52
III.3.1 Essais de compression	52
III.4 Caractéristiques des bétons à l'état durci	53
III.4.1 Essais non destructifs	53
III.4.1.1 Essai d'auscultation sonique (Essai Ultrasonique).....	53
III.4.2 Essais destructifs.....	54
III.4.2.1 Essais de compression	54
III.5 Essai mesure du retrait.....	56

SOMMAIRE

Conclusion générale.....	58
---------------------------------	-----------

LISTE DES FIGURES

CHAPITRE I

Figure I.1 : Photos des différents types de granulats.....	16
---	----

CHAPITRE II

Figure II.1 : Ciment utiliser CEM II/ A-L 42.5 N).....	22
---	----

Figure II.2: différents types de gravier	23
---	----

Figure II.3: analyse granulométrique de gravier.....	24
---	----

Figure II.4 : les trois types de sable.....	27
--	----

Figure II.5: l'analyse granulométrique des trois types de sable.....	29
---	----

Figure II.6: les matériels de l'essai d'équivalent de sable.....	32
---	----

Figure II.7: l'affaissement de cône d'Abrams d'un béton.....	46
---	----

Figure II.8: Essai d'ultrason.....	48
---	----

Figure II. 9: La machine pour essai de compression et affichage de la résistance.....	50
--	----

CHAPITRE III

Figure III.1: Echantillons après immersion dans l'eau après 28 jours.....	51
--	----

Figure III.2: Résistances des bétons étudiés à 28 jours.....	52
---	----

Figure III.3: Résistance à la compression du béton à 28 jours.....	53
---	----

Figure III.4: Essai non destructif ultrason.....	54
---	----

Figure III.5 : Résistances des bétons étudiés à 28 jours.....	54
--	----

Figure III.6: Résistance à la compression.....	55
---	----

Figure III.7: Essais mesure du retrait.....	56
--	----

Figure III.8: Histogramme essais mesure du retrait.....	57
--	----

LISTE DES TABLEAUX

CHAPITRE II

Tableau II.1: Analyse granulométrique de gravier.....	24
Tableau II.2: Caractéristiques du gravier.....	27
Tableau II.3: l'analyse granulométrique du sable d'ouad (Lioua) 0 /5.....	28
Tableau II.4 : l'analyse granulométrique du sable d'oued (Baadj) 0 /5.....	28
Tableau II.5 : l'analyse granulométrique de carrière 0 /5.....	29
Tableau II.6: Classification de sable en fonction du module de finesse.....	30
Tableau II.7: équivalent de sable E_{sv}	32
Tableau II.8: Caractéristiques du sable.....	35
Tableau II.9: Essais de Los-Angeles (LA).....	36
Tableau II.10: valeur des coefficients A.A'.....	37
Tableau II.11 : quantité d'eau nécessaire à la préparation du béton.....	37
Tableau II.12 : valeur de coefficient	38
Tableau II.13 : quantité de mélange des moules cubiques (10× 10 × 10)cm ³	41
Tableau II.14: quantité de mélange des moules cubiques (10× 10 × 10)cm ³	44
Tableau II.15: quantité de mélange des moules prismatique (7× 7 × 28)cm ³	44
Tableau II.16: Classement des bétons selon la valeur d'affaissement au cône d'Abrams.....	45

CHAPITRE III

Tableau III.1 : Essai non destructif ultrason après 28 jours des trois sables.....	51
Tableau III.2: essais de compression à 28 jours.....	52
Tableau III.3 : Essai non destructif ultrason après 28 jours des trois sables.....	53
Tableau III.4 : Essais de compression à 28 jours.....	55
Tableau III.5 : Essais de retrait à 10 jours.....	56

INTRODUCTION GÉNÉRALE

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Introduction générale :

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

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

A cet effet, nous sommes proposés d'étudier l'effet de la nature du sable sur le comportement des bétons ordinaires sous différentes conditions de durcissement. Pour ce, notre mémoire comportera d'abord une partie théorique qui sera ensuite suivie par les essais effectués, les résultats obtenus et leur interprétation, avant de proposer une conclusion qui résumera le travail effectué.

- Le premier chapitre nous avons fait une étude bibliographique.

dans lequel nous avons divisé le chapitre en deux parties.

la première partie est une étude théorique générale sur le béton, et la deuxième partie est une étude théorique générale sur les granulats.

- Le deuxième chapitre nous avons défini toutes les caractéristiques physiques et mécaniques des différents matériaux (granulats, ciment), comme le module de finesse, les Angles, Les analyses granulométriques. et expliquez les essais que nous avons faites dans le laboratoire.
- Le troisième et dernière partie du mémoire donne les résultats et l'interprétation des essais.

CHAPITRE I:
ÉTUDE BIBLIOGRAPHIQUE

CHAPITRE I: ÉTUDE BIBLIOGRAPHIQUE**I.1 Partie 1 : Généralités sur les bétons****I.1.1 Introduction :**

Le matériau béton, est devenu irremplaçable dans le domaine de la construction, pour des raisons économiques et techniques. Simple en apparence, il est en réalité très complexe, avec une diversité d'applications et de méthodes de formulations. C'est le matériau le plus utilisé au monde : environ 7 milliards de mètres cubes de béton sont mis en oeuvre annuellement.

La qualité et le potentiel du matériau béton dans la structure dépend bien sur, des matériaux de base qui entrent dans la formulation mais également des opérations de : malaxage, mise en oeuvre, vibration et cure (protection contre la dessiccation).

Pour ne citer que la résistance à la compression du béton qui reste, du point de vue de l'ingénieur, la propriété la plus importante du matériau, si l'on exclut les indicateurs de durabilité [1], nous allons examiner ci-après les différents facteurs ayant une influence sur cette résistance, et sur lesquels on pourra compter pour l'amélioration de la qualité du béton.

I.1.2 Historique du béton :

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

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

Depuis 1970, des recherches menées sur le béton, et particulièrement sur ses constituants actifs conduisent à un nouveau bond qualitatif et quantitatif de ses propriétés, tels que les bétons à hautes performances dont la résistance à la compression atteint 100 MPA. Ce béton fabriqué est mis en place en 1980. Par la suite, des bétons de poudres réactives qui sont utilisées pour la 1ere fois lors de la construction de la passerelle de SHERBROOK avec des

bétons de 400 MPA, sont fabriqués par un traitement thermique et mécanique approprié et simple. Ensuite, Pierre RICHARD a pu fabriquer un béton de 800 MPA en utilisant une poudre métallique.

En 1986, des chercheurs Japonais ont pour la première fois fabriquée le béton auto plaçant ou le béton auto nivelant. Le béton, mélange de plusieurs constituants très différents, dont les uns sont actifs et les autres sont inertes, présente des caractéristiques qui sont fonctions de celles de ses composants. [2]

I.1.3 Définition d'un béton :

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 afin 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.

La structure du béton est composée de deux principaux constituants : les granulats et la matrice :

Les granulats représentent en moyenne 70% à 80% du volume du béton, on les trouve sous forme de sables, de graviers ou de cailloux. Ils sont considérés comme un renfort mécanique, et ils sont traités comme des inclusions. Les granulats sont obtenus à partir des carrières de roches massives, de gisements alluvionnaires et artificiels tels que les laitiers expansés, les argiles expansées et les schistes expansés. Ils conditionnent la compacité du matériau ainsi que ses caractéristiques mécaniques.

La matrice liante enrobe et lie les granulats entre eux. Elle est formée d'une structure complexe poreuse source d'échanges internes et externes. Il existe plusieurs types de matrice parmi lesquelles on trouve : la pâte de ciment, la résine et l'hydrocarbure. Un examen plus approfondi, montre que la structure du béton présente un caractère hétérogène sur un domaine de dimensions extrêmement étendu. [3]

I.1.4 Les différents types de béton :

I.1.4.1 Béton ordinaire :

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

Le béton ordinaire est caractérisé par sa résistance à la compression qui se situe entre 20 MPa = $f_{c28} = 50$ MPa. [4]

I.1.4.2 Béton autoplaçant (BAP) :

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

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

I.1.4.3 Béton de haute performance (BHP) :

C'est un béton aux résistances mécaniques élevées au jeune âge et à 28 jours (supérieure à 50 MPa), et un rapport pondéral E/C inférieur à 0,40. Sa propriété essentielle est la grande résistance en compression qui dépasse largement celle des bétons ordinaires. Ceci est obtenu grâce à sa faible porosité qui est diminuée en réduisant la quantité d'eau de gâchage par l'emploi d'adjuvants plastifiants et super plastifiants. [5]

I.1.4.4 Béton de fibre :

C'est un béton dans lequel sont incorporées des fibres synthétiques ou naturelles, ce qui permet suivant l'ouvrage, de supprimer le treillis soudés traditionnel. Parmi les caractéristiques du béton fibré, on peut citer : sa résistance à la traction, à la fissuration et au choc. [6]

I.1.4.5 Béton à durcissement rapide :

C'est un béton dont le développement des résistances mécaniques est accéléré ; ce béton permet la réalisation de petits ouvrages de réparation ou des travaux sur des éléments d'ouvrages demandant une remise en service rapide, ainsi que le décoffrage. Ou la mise en précontrainte le plus rapidement en préfabrication. [7]

I.1.4.6 Béton léger :

La norme NF EN 206-1 définit le béton légers comme ayant une masse volumique après séchage entre 800 et 2100 kg/m³. Parmi ces bétons, on peut citer les bétons de granulats légers. Ils sont utilisés dans le domaine du confort thermique d'une habitation (isolation thermique) et même comme éléments porteurs de charges qui permettent d'alléger la construction.

I.1.4.7 Béton lourd :

C'est un béton dont la masse volumique apparente 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. [8]

I.1.4.8 Béton réfractaire :

C'est un béton qui résiste à des températures élevées pouvant atteindre 1300°C, il est obtenu par le mélange de ciment Alumineux et de granulats réfractaires (chamottes, corindon), ou granulats isolants (Pouzzolane, vermiculite, argile expansée) ; le béton réfractaire sert à la construction de cheminées et de sols d'usines sidérurgiques.

I.1.5 Propriétés du béton : [9]

Le béton doit être considéré sous deux aspects :

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

I.1.5.1 Propriétés du béton frais :

La propriété essentielle du béton frais est son ouvrabilité qui est la facilité offerte à la mise en oeuvre du béton pour le remplissage parfait du coffrage et l'enrobage complet du ferrailage. L'ouvrabilité doit être telle que le béton soit maniable et qu'il conserve son homogénéité. Elle est caractérisée par une grandeur représentative de la consistance du béton frais. dans le cas de béton ordinaire elle est principalement influencée par :

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

Parmi les essais qui nous permettent de calculer l'ouvrabilité d'un béton on situe :

- Affaissement au cône d'abrams
- Table à choc

I.1.5.2 Propriétés du béton durci :

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

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

I.1.6 Résistance à la compression :

Parmi toutes les sollicitations mécaniques, la résistance du béton en compression uniaxiale 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. [9]

I.1.7 Principaux avantages et inconvénients du béton :[10]

I.1.7.1 Les Avantages :

- C'est une construction solide et stable qui résiste très bien dans temps (bien durabilité).
- Il permet une construction rapide. Après sept semaines à peine, l'habitation est étanche à l'air et à l'eau.
- Le niveau d'isolation et l'étanchéité sont excellents grâce au fait que le revêtement complet est fabriqué par une entreprise. En outre, on utilise de grands éléments qui s'assemblent parfaitement.
- Il procure un confort agréable à l'intérieur, grâce à une grande inertie thermique.
- Le logement est sobre et élégant sans poutres, barres et linteaux visibles.
- Le souterrain est habitable grâce aux parois parfaitement étanches et isolées.
- Les équipements techniques sont dépourvus de rainures: les coupe-circuit et les canalisations sont intégrés au coffrage des murs préfabriqués.

L'achèvement intérieur est lisse et élégant, sans plâtre.

I.1.7.2 Les Inconvénients :

Le système de construction se prête beaucoup moins à une architecture plus classique et traditionnelle.

- Le placement d'un revêtement de façade lourd (brique, pierre naturelle...) entraîne des coûts considérables, notamment pour les fondations plus épaisses et les linteaux de fenêtre.
- L'intégration d'un grand nombre d'équipements techniques dans les panneaux préfabriqués vous force à prendre des décisions dans la phase de création. Les modifications au cours des travaux sont pratiquement impossibles sans payer très cher.
- Les adeptes d'architecture écologique apprécient moins, même si le béton est entièrement recyclable.

I.1.8 Classification des bétons :

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Le béton est composé de granulats, de ciment, d'eau et, éventuellement, d'adjuvants. Parmi les quatre constituants, les granulats jouent un rôle important, d'une part, car ils

forment le squelette et présentent, dans les cas usuels, environ 80 % du poids total du béton et d'autre part car, au point de vue économique, ils permettent de diminuer la quantité de liant qui est le plus cher. En plus, du point de vue technique, ils augmentent la stabilité dimensionnelle (retrait, fluage) et ils sont plus résistants que la pâte de ciment.

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

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

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

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

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

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

Sur un petit chantier où l'on fabrique artisanalement et souvent bien son béton l'on utilise le vieux principe : 2/3 de gros éléments et 1/3 d'éléments fins, soit 800 litres de gravillons et 400 litres de sable par mètre cube de béton pour 350 à 400 kg de ciment. La quantité d'eau de gâchage varie trop souvent au gré du savoir-faire du maçon, la nature de ciment, l'humidité du granulats passant après la consistance du béton à obtenir. La composition d'un béton et le dosage de ses constituants sont fortement influencés par l'emploi auquel est destiné le béton et par les moyens de mise en œuvre utilisés. [11]

I.1.9 Les constituants du béton

I.1.9.1 Le ciment :

Le ciment est un liant hydraulique : la réaction chimique entre la poudre de ciment et l'eau produit un des hydro silicates. Plus les grains de ciment sont fins, plus cette réaction (hydratation) s'opère rapidement. Le durcissement a lieu aussi bien à l'air que sous eau. • ABC du ciment et du béton, FEBELCEM. [12]

➤ **Constituants des liants hydrauliques :**

Les liants hydrauliques sont constitués de sels minéraux anhydres instables, en particulier des silicates et aluminates de calcium qui forment avec l'eau une pâte capable de faire prise et de durcir. Progressivement plus ou moins rapidement, d'où le nom de liants hydrauliques avec les liants aériens, à base de chaux grasse et maigre qui ne peuvent durcir qu'au contact de l'air [12]

➤ **Le ciment Portland (aussi appelé clinker Portland) :**

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

Rocheuses par abattage à l'explosif ou à la pelle mécanique. C'est la raison pour laquelle les cimenteries sont situées près des carrières de calcaire.[12]

➤ **Les autres types de ciment :**

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

- laitier de haut-fourneau : produit granulé qui est obtenu par le refroidissement brusque de la gangue en fusion des hauts fourneaux. Constituant à hydraulicité latente, c.-à-d. que l'hydratation doit être activée. Le rôle de démarreur est joué par le clinker Portland.
- cendre volante : réagit avec la chaux libérée par l'hydratation du clinker.
- calcaire : constituant inerte. Intervient physiquement comme plastifiant dans le béton frais. [12]

I.1.9.2 Sable :

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

Dans le sens le plus courant, on entend par « sable » les éléments de dimension 0 à 5mm.les fines. [13]

➤ Différents types des sables :**• Sable d'origine naturelle**

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

Les grains de sable qui se forment sont généralement gros et anguleux, difficilement transportables par le vent et les ronds et mats (milieu éolien). En s'arrondissant, les grains deviennent plus petits. Les sables peuvent également se consolider et se cimenter ultérieurement pour donner naissance à des grès (grès quartzeux, grès calcaires). Ce type de sables est principalement constitué de quartz (silice), avec de faibles proportions de mica, de feldspath et de magnétite. La couleur du sable est d'autant plus que la teneur en silice est élevée. Les sables sont toujours définis en fonction des constituants majoritaires : on parle ainsi de sables quartzeux, feldspathiques, ferrugineux, micacé, calcaire, ou encore de sable coquillier. Toutefois, dans le langage courant, le sable est généralement associé au sable quartzeux. [13]

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

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

La pluparts de ces sables ont actuellement des utilisations soit limitées (essentiellement remblais et couchers de forme, parfois granulats pour couche de fondation), soit très spécialisées (sables de verrerie et de fonderie, béton de type cellulaire).[13]

- **Sables d'origine artificielle**

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

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

Des sables roules de dessablage qui résultent du criblage primaire d'un tout-venant
Des sables de concassage qui sont très souvent l'excédent de la production d'une carrière ou d'une ballastière caractérisées par une meilleure adhérence agrégat/liant.[13]

I.1.9.3 Gravier :

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

La fraction 3/8 est considérée comme sable concassé.[14]

➤ **Propriétés recherchée dans le gravier :**

- **Module de finesse :**

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

Gravier : 10. 20. 40 .80mm

- **Coefficient de compacité :**

Le Coefficient de compacité est le rapport de volumes absolus des matières solides

$$V_m = V_s + V_c + V_g$$

Au volume total du béton frais en œuvre soit un m³.

Coefficient de compacité = V_m (entres)/1000.

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

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

a) Principe de l'essai Essai Los Angeles :

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

b) But de l'essai Essai Los Angeles :

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

c) Domaine d'application Essai Los Angeles :

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

I.1.9.4 Eau de gâchage :

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

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

Pour convenir à la confection du béton, les eaux ne doivent contenir ni :
Composés qui risquent d'attaquer chimiquement le ciment, les granulats ou les armatures, ni particules en suspension dont la quantité pourrait modifier ses qualités originales. La norme P18-303 limite, à cet effet, le pourcentage de matières en suspension à 2 ou 5g/l et la teneur en sels dissous à 15 ou 30m/l suivant la nature du béton, précontraint ou non armé.

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

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

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

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

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

La norme autorise l'emploi d'eau de mer dans la confection des bétons qui ne sont ni armés ni précontraint, mais les spécifiques du fascicule 65A sont rigoureux et interdisent formellement l'emploi lors du gâchage, bien que l'eau de mer pour le gâchage de béton non armés ne présente pas de risque à la pérennité de l'ouvrage, seules des efflorescences, dues à une migration des sels, peuvent apparaître sur les parements. [15]

I.2 Partie 2 : Généralités sur les granulats

I.2.1 Introduction :

La construction de l'habitat et l'aménagement de l'environnement font appel à trois grands secteurs d'activités, qui sont les industries de carrière et matériaux de construction, le bâtiment et les travaux publics. Tous les travaux liés à ces secteurs d'activités utilisent des matières premières naturelles en tant que morceaux de roches ou alluvionnaires (sous forme des sables et graviers), soient obtenues artificiellement par traitement de roches naturelles ou des déchets industriels et parfois l'utilisation des déchets inertes. Leur nature et leur forme varient en fonction des gisements et des techniques de production. Elles sont destinées à être mises en œuvre sans aucun apport de liant pour les solidariser (ballast des voies de chemin de fer, couche de fondation des routes, remblais...) soient agglomérées à l'aide d'un liant (ciment pour le béton, bitume pour les enrobés).[16]

I.2.2 Définition des 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 sont classés en fonction de leur granularité (distribution dimensionnelle des grains) déterminée par analyse granulométrique à l'aide de tamis.[17]

I.2.3 LES DIFFERENTS TYPES DES GRANULATS :

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

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

➤ «Recyclés», lorsqu'ils proviennent de la démolition d'ouvrages ou lorsqu'ils sont réutilisés .[18]

a) **LES GRANULATS NATURELS** : Les granulats naturels, proviennent de deux sources : les carrières de roches massives et les gisements alluvionnaires.

Géologiquement, les granulats naturels proviennent de trois natures de roches :

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

Les compositions minéralogiques font apparaître trois familles : les roches calcaires, les roches siliceuses et les silico-calcaires. [18]



Figure I.1 : Photos des différents types de granulats.

b) **Les Granulats Alluvionnaires:**

Dits roulés, dont la forme a été acquise par érosion. Se sont surtout des dépôts alluvionnaires trouvés dans un lit de rivière (et en mer éventuellement)[19]. Ces granulats sont lavés pour éliminer les particules argileuses, et criblés pour obtenir différentes classes de granulats. [20]

c) **Les Granulats des Carrières:**

Les granulats sont obtenus par abatage et concassage, suivi des opérations de criblage ou tamisage pour sélectionner des grains à une dimension précise. Les granulats concassés présentent des caractéristiques qui dépendent d'un grand nombre de paramètres : origine de la roche, régularité du banc, degré de concassage. [21]

Ce type de granulats prouve une très bonne liaison avec la pâte de ciment à cause de leur texture de surface et leur rugosité. D'autre part ils nécessitent plus d'eau pour une maniabilité donnée et ceci est due à leurs angularités et donc à leurs surfaces spécifiques étendues. [22]

d) LES GRANULATS ARTIFICIELS: Dans cette catégorie se rangent des granulats provenant de la transformation thermique de roches, de minerais et de sous produits industriels transformés.

e) LES GRANULATS Recyclés: Le granulat recyclé est le granulat résultant de la transformation de matériaux inorganiques antérieurement utilisés en construction.

Dans cette catégorie se rangent des granulats, comme le béton concassé, le fraisât d'enrobés bitumineux...

f) Les gros granulats (graviers et pierres concassées) :

➤ **Les granulats de rivière :**

Ils proviennent de la désagrégation des roches (gravier) ils sont en général très durs et très propres, Cependant leurs grains après par le frottement n'offrent pas une très bonne adhérence au liant. [23]

➤ **Les granulats de concassage :**

Les sont obtenus en concassant des roches dures (siliceuses, calcaires ou granitiques).

Les grains sont anguleux, ils doivent être soigneusement lavés afin de les débarrasser des poussières qui les recouvrent au moment du concassage (pierres concassées).[23]

g) Les granulats fins (sable) :

• **Définition :**

On définit les sables comme étant la fraction des granulats pierreux dont les grains ont des dimensions comprises entre $80\mu\text{m}$ et $05\mu\text{m}$; il s'agit d'une définition globale dont les bornes varient d'une classification à une autre, ce 'est un matériau dont le diamètre maximal est inférieur à 6.3mm et dont le passant à $80\mu\text{m}$ n'excède pas 30% Dans le sens le plus courant, on entend par « sable » les éléments de dimension 0 à 5mm .les fines. [24]

1) Sable de rivière : il est obtenu par dragage des lits des cours d'eau. Il doit être dur et propre pour qu'on puisse l'utiliser dans les bétons. [25]

2) Sable de mer : il provient des côtes de la mer. Pour l'utiliser dans les bétons, il faut qu'il ne soit pas trop fin et qu'il soit lavé de son sel. [25]

3) **Sable de carrière** : Il contient souvent de l'argile qui enrobe les grains et les empêche d'adhérer aux liants. Il est donc à proscrire .[25]

4) **Sable artificiel** : il est obtenu par concassage des roches (calcaires durs, gré ...). Il est souvent plein de filler. Pour qu'il soit utilisable dans les bétons, il faut limiter le pourcentage des fines. [25]

5) **Sable de dune** : c'est une variété des sables de mer. Il est donc très fin. Les sables de dune se trouvent dans les régions sud du pays. Ils sont situés en zone présaharienne. Les sables retenus sont ceux issus des dunes continentales. Ces dunes sont constituées des nombreux amas de sables fins accumulés dans certaines régions spécifiques du Sahara. [25]

6) **Sable recyclé** : Obtenu par traitement d'une matière inorganique utilisée précédemment dans la construction, tels que des bétons de démolition de bâtiments. [25]

I.2.4 Production des granulats [26]

La production des granulats à partir de roches meubles ou massives, nécessite les principales étapes suivantes :

I.2.4.1 Le décapage : consiste à enlever les terres situées au-dessus de la zone à exploiter

I.2.4.2 L'extraction : s'effectue dans des carrières. Les techniques mises en œuvre dépendent du type de gisement

- gisement de granulats alluvionnaires exploité en terrain sec (au moyen d'engins de terrassement) ou en site immergé (au moyen par exemple de drague) .
- gisement compact de roches massives qui nécessite l'emploi d'explosif, l'abattage et la fragmentation des blocs.

I.2.4.3 Le traitement :

fait suite à l'extraction des matériaux, qui sont concassés et broyés (au moyen d'appareils travaillant par chocs ou écrasement) afin de réduire leur taille, criblés (au moyen de cribles vibrants) pour obtenir des granulats de tailles différentes, puis lavés (afin d'éliminer les éléments de pollution et les fines) ou dépoussiérés et enfin stockés. Les opérations de traitement permettent d'obtenir des granulats répondant à des spécifications précises quant à leurs caractéristiques géométriques et physiques pour des usages particuliers.

La remise en état du site a lieu après exploitation.

I.2.5 Caractéristiques des granulats:

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). [27]

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 cinq classes granulaires principales caractérisées par les dimensions extrêmes d et D des granulats rencontrés

(Norme NFP18-101) . [27]

- 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) 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 1400 kg/m^3 et 1600 kg/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.

d) 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). [28]

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

e) L'absorption d'eau des granulats :

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). [17]

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

Avec:

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

M humide : la masse humide constante de l'échantillon après immersion.

M sèche : la masse sèche constante de l'échantillon après séchage à l'étuve 105°C.

f) 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 . [29]

I.2.6 Conclusion :

Le béton est un matériau très recherché et son utilisation va continuer à se développer dans les années à venir.

Afin d'assurer la croissance des matériaux de construction indispensables, une démarche de développement durable doit être intégrée à la production des granulats et de béton .

CHAPITRE II:
CARACTÉRISATION DES MATÉRIAUX

CHAPITRE II: CARACTÉRISATION DES MATÉRIAUX

II .1 Introduction:

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

II .2 Caractéristique des matériaux et formulation :

Dans cette partie nous allons présenter, les caractéristiques essentielles des différents Constituants du béton.

II.2.1 Caratéristique de Ciment :

Figure II.1 : Ciment utiliser CEM II/ A-L 42.5 N)

Le ciment est un liant hydraulique, c'est-à-dire une matière inorganique finement moulue qui gâchée avec l'eau, forme une pate qui fait prise et durcit par suite de réactions et processus d'hydratation et qui, après durcissement, conserve sa résistance et sa stabilité même sous l'eau [30,31].

Le ciment utilisé lors de notre étude est un ciment portland composé (CEM II/ A-L 42.5 N) ; de classe commerciale 42.5 MPa. Ce ciment est fabriqué par la société des ciments d'Ain – Touta.

II .2.2 Caractéristique du Gravier :

Les fractions des graviers utilisés dans notre étude expérimentale pour la confection des différents types de béton sont : (8/15) et (15/25).



Gravier 8/15

Gravier 15/25

Figure II.2: différents types du gravier

II.2.1.1 Analyse granulométrique par tamisage [NA EN 933 – 5] :

- **But de l'essai :**

L'analyse granulométrique permet de déterminer la grosseur et les pourcentages pondéraux respectifs des différents grains constituant l'échantillon.

- **Principe de l'essai :**

L'essai consiste à fractionner au moyen d'une série de tamis un matériau en plusieurs classes granulaires de tailles décroissantes. Les dimensions de mailles et le nombre des tamis sont choisis en fonction de la nature de l'échantillon et de la précision attendue.

Les masses des différents refus et tamisats sont rapportées à la masse initiale du matériau.

Les pourcentages ainsi obtenus sont exploités sous forme de tableaux et sous forme graphique.

- **Préparation de l'échantillon pour l'essai :**

L'échantillon doit être préparé suivant les prescriptions de la norme (NA EN 933-5). La masse M de l'échantillon pour essai doit être supérieure à $0.2D$, avec M exprimé en

kilogrammes et D plus grande dimension spécifiée en millimètres.

Tableau II.1: Analyse granulométrique de gravier.

Type de granulats	Maille de tamis (mm)	Refus partiel (g)	Refus cumuli		Tamisât (%)
			(g)	(%)	
8/15	16	341.05	341.05	11.36	88.64
	12.5	1311.35	1652.4	55.08	44.92
	10	981.50	2633.9	87.79	12.21
	8	286.10	2920	97.33	2.67
	6.3	74.08	2994.08	99.80	0.2
	Fond	5.48	2999.56	99.98	0.02
	-	-	-	-	-
15/20	25	0	0	0	100
	20	2573.80	2573.80	51.476	48.524
	16	2155.80	4729.6	94.592	5.408
	12.5	227.50	4957.1	99.142	0.858
	Fond	42.75	4999.85	99.997	0.003
	-	-	-	-	-

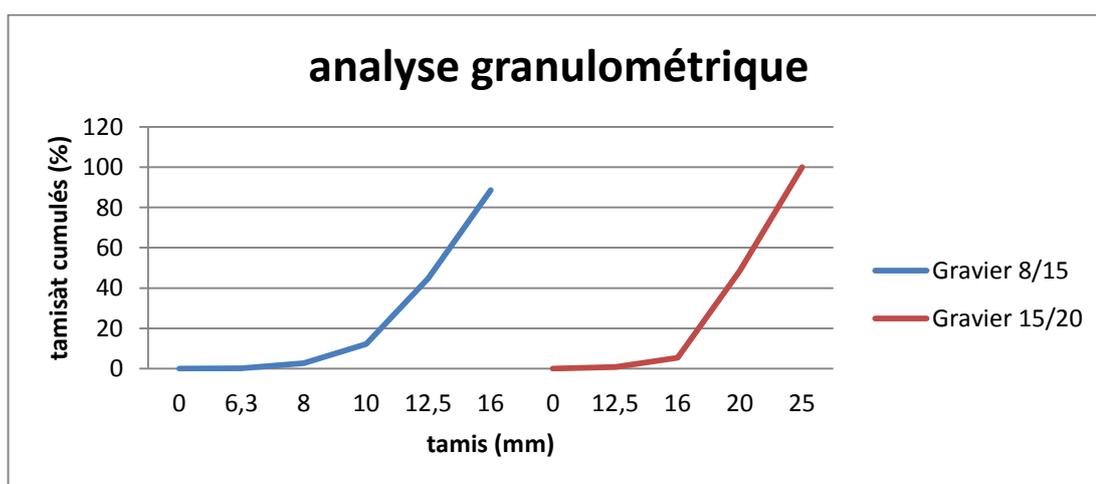


Figure II.3: analyse granulométrique de gravier.

II.2.2.2 Masse volumique :**a) Masse volumique apparente :**

C'est la masse d'un corps par unité de volume total compris des vides entre les grains de constituants.

• Mode opératoire :

Le poids apparent est déterminé par pesage d'un volume déterminé du matériau séché jusqu'à la formulation du poids

- Peser le récipient à vide M_1 .
- On verse le gravier d'une hauteur de 10 cm dans un récipient de poids M_1
- On remplit le récipient de gravier arasé au niveau de séparé supérieure par une règle.
- On pèse le récipient avec le gravier on le poids M_2 .
- la masse volumique apparente du gravier et donnée par :

$$\gamma_{app} = \frac{M_2 - M_1}{V}$$

M_1 : Masse de récipient

M_2 : Masse de récipient + gravier

V : Volume du récipient

b) la masse volumique absolue :

la masse volumique absolue (spécifique) c'est la masse d'un corps par unité de volume de la matière pleine sans aucun vide entre les grains.

• Mode opératoire :

- Nous prélevons un échantillon de $M=300$ g de gravier
- Remplir le tube avec un volume de $V_1=300$ cm^3
- Nous ajoutons l'échantillon M dans le tube et nous lisons le volume V_2
- La masse volumique est alors :

$$\rho_{app} = \frac{M}{V_2 - V_1}$$

II.2.2.3 La porosité:

C'est le rapport entre le volume des vides d'un matériau et son volume total, elle représente donc le degré de remplissage de son volume occupé par les vides.

La porosité est exprimée en pourcentage (%) et définie par la relation :

$$P(\%) = \frac{V_v}{V_t} \times 100$$

On peut exploiter les résultats des masses volumiques pour déterminer la porosité de notre gravier d'où :

$$P(\%) = \left(1 - \frac{\gamma}{\rho}\right) \times 100$$

II.2.2.4 La compacité:

C'est le quotient du volume des grains solides et le volume total du matériau, elle est exprimée en pourcentage (%) et donnée par la relation suivante :

$$C(\%) = \frac{V_s}{V_t} \times 100$$

Aussi :

$$C(\%) = 1 - P$$

II.2.2.5 L'indice des vides:

C'est le rapport entre le volume occupé par les vides et le volume de la partie solide des grains, V étant le volume total occupé par les granulats.

$$e(\%) = \frac{V_v}{V_s}$$

Aussi :

$$e(\%) = \frac{(1-C)}{C}$$

Tableau II.2: Caractéristiques du gravier.

Fraction	La masse volumique apparente(g/cm^3)	La masse volumique absolue(g/cm^3)	La porosité P(%)	La compacité C (%)	L'indice des vides
G 8/15	1.39	2.72	48.89	51.11	0.92
G 15/20	1.42	2.74	48.17	51.83	0.96

II.3 Caractéristiques du sable:

On a utilisé trois types des sables différents dans nos travaux , sable d'oued de lioua (région à biskra) et un sable de carrière (Ain Touta,batna)et aussi un sable d'oued de baadj (oued souf) couramment utilisé pour la construction.



Sable de Lioua

Sable de Baadj

Sable de Carrière

Figure II.4 : les trois types de sable.

II. 3.1 Analyse granulométrique [NA EN 933 – 5]

- **But de l'essai :**

L'analyse granulométrique permet de déterminer la grosseur et les pourcentages pondéraux respectifs des différents grains constituant l'échantillon.

- **Principe de l'essai :**

Faire passer l'échantillon tester à travers une série des tamis décroissante de plus grand à plus petit ; et faire peser le refus dans chaque tamis.

- **Mode opératoire :**

Le mode opératoire est identique à celui cité précédemment dans la partie de graviers, la seule différence est la durée de l'essai qu'elle est 3 minutes dans le cas des sables. Les résultats de l'analyse granulométrique des trois sables représentés dans les tableaux ci-dessous :

Tableau II.3: l'analyse granulométrique du sable d' oued (Lioua) 0 /5

Fraction	Maille de tamis (mm)	Refus partiel	Refus cumuli		Tamisât (%)
			(g)	(%)	
0/5	5	0.97	0.97	0.0485	99.951
	2.5	312.94	313.91	15.695	84.305
	1.25	174.20	488.11	24.305	75.695
	0.630	199.34	687.45	34.372	65.628
	0.315	656.92	1344.37	67.21	32.781
	0.16	416.07	1760.44	88.02	11.978
	0.08	199.37	1959.81	97.99	2.01
	Fond	39.46	1999.27	99.96	0.01

Tableau II.4 : l'analyse granulométrique du sable d'oued (Baadj) 0 /5

Fraction	Maille de tamis (mm)	Refus partiel	Refus cumuli		Tamisât (%)
			(g)	(%)	
0/5	5	0	0	0	100
	2.5	237.25	11.8625	11.8625	88.1375
	1.25	190.46	9.523	21.3855	78.6145
	0.630	233.79	11.6895	33.075	66.925
	0.315	578.04	28.902	61.799	28.023
	0.16	526.08	26.304	88.281	11.719
	0.08	206.79	10.3395	98.6205	1.3795
	Fond	27.59	1.3795	100	0.00

Tableau II.5 : l'analyse granulométrique de carrière 0 /5

Fraction	Maille de tamis (mm)	Refus partiel	Refus cumuli		Tamisât (%)
			(g)	(%)	
0/5	5	0	0	0	100
	2.5	51.88	2.594	2.594	97.406
	1.25	480.22	24.011	26.605	73.395
	0.630	425.53	21.276	47.881	52.119
	0.315	350.76	17.538	65.419	34.581
	0.16	307.55	15.377	80.796	19.204
	0.08	280.24	14.012	94.808	5.192
	Fond	103.74	5.187	99.995	0.005

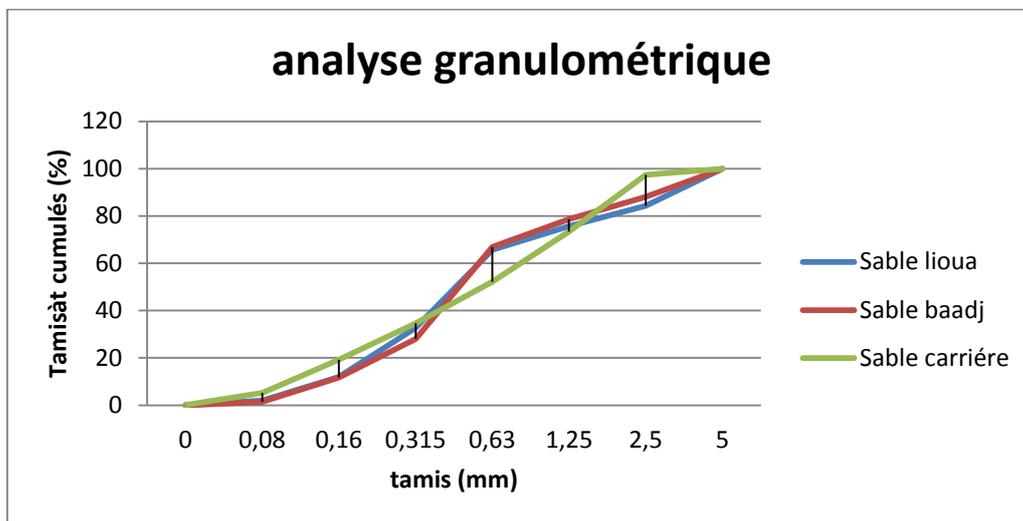


Figure II.5 :l'analyse granulométrique des trois types de sable.

II.3.2 Le module de finesse :

Le module de finesse est caractéristique très importante qui nous permet de donner une estimation sur la qualité du sable, il est égale au 1/100 de la somme des refus, exprimé en pourcentage sur les défèrent tamis de la série suivante : 5 – 2.5 – 1.25 – 0.63 – 0.315 – 0.16 – 0.08

➤ **Sable Lioua :**

$$M_f = \frac{1}{100} \sum (\text{refus cumulés en \% des tamis} \{0,16 - 0,315 - 0,63 - 1,25 - 2,5 - 5\})$$

$$M_f = \frac{0.0485 + 15.695 + 17.876 + 24.305 + 34.372 + 67.21}{100}$$

$$M_f = 1.59$$

➤ **Sable de carrière :**

$$M_f = \frac{80.796 + 65.419 + 47.881 + 26.605 + 2.594 + 0}{100}$$

$$M_f = 2.23$$

➤ **Sable de Baadj :**

$$M_f = \frac{88.281 + 61.799 + 33.075 + 21.3855 + 11.8625 + 0}{100}$$

$$M_f = 2.16$$

Les normes française donner la classification suivante :

Tableau II.6: Classification de sable en fonction du module de finesse.

Quantité du sable	Module de finesse
Gros	> 2.5
Moyen	2 à 5
Fin	1.5 à 2
Très fin	1 à 1.5

A base de cette classification, on trouve le résultat suivant :

Pour les deux sables (Baadj et Carrière) : $2 < M_f < 5$ des sables moyennes.

Pour le sable du Lioua : $1.5 < M_f < 2$ sable fin.

II.3.3 Equivalent de sable : [NA EN 933 – 8]

- **But de l'essai :**

Cet essai est utilisé pour évaluer la propreté de sable utilisés et permet de déterminer la Proportion d'impuretés argileuses contenues dans le sable et le pourcentage de poussières nuisibles qui diminuent la qualité du béton .

- **Mode opératoire :**

- remplir le éprouvette avec la solution lavant, jusqu'au premier trait
- peser un échantillon de sable $m=120g+w$ (1%) et le déversons dans l'éprouvette à l'aide de l'entonnoir
- frapper l'éprouvette avec la paume de la main pour éliminer les bulles d'air et laissez-le reposer pendant 10 minutes
- boucher l'éprouvette à l'aide du bouchon de caoutchouc, puis fixer l'éprouvette sur la machine d'agitation, et agiter l'éprouvette (90cycles en 30 secondes)
- Retirer ensuite le bouchon, le rincer avec la solution lavant au dessus l'éprouvette
- insérez le tube de lavage dans l'éprouvette et nettoyez les cotes avec la solution lavant, puis enfoncer le tube jusqu'au fond de l'éprouvette.
- Remplir l'éprouvette avec la solution lavant jusqu'au trait supérieur
- début de la décantation
- mesure à vue de la hauteur de sable h_2 et de hauteur h_1 de l'ensemble sable plus flocculat après 20 minutes de décantation
- mesure de la hauteur de sable h_2 au piston.

❖ **Equivalent de sable visuel (ESV)**

$$E_{sv} = \frac{h_2}{h_1} \times 100$$

h_1 : hauteur du sable plus flocculat.

h_2 : hauteur du sable.

❖ **Equivalent de sable au piston (ESP)**

$$E_{sp} = \frac{h'_2}{h_1} \times 100$$

Avec :

h_1 : hauteur du sable plus flocculat.

h'_2 : hauteur du sable.



Figure II.6: les matériels de l'essai d'équivalent de sable

Tableau II.7: équivalent de sable E_{sv}

Fraction	E_{sv} %	E_{sp} %
Sable de Lioua	72.43	68.47
Sable de Baadj	82.10	80.39
Sable de Carrière	82	/

Le résultat suivant comparé aux résultats proposés par G-DREUX :

E_{Sv}	E_{Sp}	Nature et quantité de sable
$E_S < 65$	$E_S < 60$	Sable argileuse : risque de retrait au de gonflement à rejeter pour les bétons de qualité
$65 < E_S < 75$	$65 < E_S < 80$	Sable légèrement argileux de propriétés admissible convient parfaitement pour des bétons de qualité courante quand on ne craint pas particulièrement le retrait
$75 < E_S < 85$	$70 < E_S < 80$	Sable propre à faible pourcentage de farine argileux convient parfaitement pour des bétons de haute qualité
$E_S > 85$	$E_S > 85$	Sable très propre ; l'absence total des fines argileuses risque d'entraîner un défaut de plasticité du béton qu'il faudra rattraper par une augmentation du dosage en eau

D'après le tableau précédent on constate que pour notre sable :

⇒ Sable légèrement argileux de propriétés admissible convient parfaitement pour des bétons de qualité courante quand on ne craint pas particulièrement le retrait.

II.3.4 Masse volumique : [NF P18 – 555]

a) Masse volumique apparente :

Le mode opératoire et le même que celui utilisé pour le gravier d'écrit précédemment. La masse volumique apparente du sable est déterminée par la formule :

$$\gamma_{app} = \frac{(M_2 - M_1)}{V}$$

b) la masse volumique absolue :

Le mode opératoire et le même qui celui utilisé pour le gravier d'écrit précédemment. La masse volumique absolue du sable est déterminée par la formule :

$$\rho_{ab} = \frac{M}{V_2 - V_1}$$

Avec : M=300g

3.5 La porosité:

C'est le rapport entre le volume des vides d'un matériau et son volume total, elle représente donc le degré de remplissage de son volume occupé par les vides.

Cette propriété ou notion de porosité est importante car elle est influée sur certains caractéristiques fondamentales tel que :

- Résistance mécanique élevée, donc P faible.
- Capacité d'absorption d'eau (w) ; prélevée donc (w) grand.

La porosité est donnée par la relation suivante :

$$P(\%) = \left(1 - \frac{\gamma}{\rho}\right) \times 100\%$$

II.3.6 La compacité:

C'est le quotient du volume des grains solides et le volume total du matériau, elle est exprimée en pourcentage (%) et donnée par la relation suivante :

$$C(\%) = \frac{V_s}{V_t} \times 100$$

Aussi :

$$C(\%) = 1 - P$$

II.3.7 L'indice des vides :

C'est le rapport entre le volume occupé par les vides et le volume de la partie solide des grains, V étant le volume total occupé par les granules.

$$e(\%) = \frac{V_v}{V_s}$$

Aussi :

$$e(\%) = \frac{(1-c)}{c}$$

Tableau II.8: Caractéristiques du sable

Fraction	La masse volumique apparente (g/cm ³)	La masse volumique absolue (g/cm ³)	La porosité P(%)	La compacité C (%)	L'indice des vides
Sable de Lioua	1.55	2.60	40.4	59.6	0.67
Sable de Baadj	1.49	2.50	40.4	59.6	0.67
Sable de Carrière	1.62	2.72	40.5	59.5	0.68

II.4 Essais de Los-Angeles (LA):

La résistance à la fragmentation (au choc) est déterminée par l'essai de Los-Angeles selon la norme NF P 18-573 [189]. L'essai consiste à mesurer la masse (m) des éléments inférieurs à 1,6 mm, produits par la fragmentation du matériau testé et que l'ont soumis aux chocs de boulets normalisés, dans le cylindre de la machine Los-Angeles en 500 rotations à une vitesse régulière [190].

L'essai Los-Angeles est pratiqué sur deux fractions 3-8 et 8-15 mm et le nombre de boulets est de 11, d'une masse totale 5000 grammes respectivement. Les matériaux sont lavés, tamisés et séchés à l'étuve à 105°C, jusqu'à une masse constante. Le coefficient Los-Angeles est déterminé par la formule (1).

$$LA = (m/M) \times 100$$

Où:

m : représente le passant du matériau au tamis 1,6 mm après essai en (g).

M : la masse initiale en (g), M = 5000 ± 5 g.

Tableau II.9: Essais de Los-Angeles (LA)

N° essai	m(g)	M(g)	LA (%)
8/15	3500	5000	30
15/20	3350	5000	29

II. 5 L'eau de gâchage

L'eau de gâchage utilisée dans notre étude est une eau potable fournie au niveau du laboratoire de génie civil.

Cette eau est acceptable pour la confection du béton étudiée dans notre travail.

L'eau de gâchage doit être pure que possible, elle ne doit être pas contenir une quantité excessive de vase, matériaux organique, acides, sels, matières sucrées... etc

II.6 Calcul de la composition du béton :

II.6.1 Formulation de scamtaiev:

II.6.1.1 Le rapport E/C selon les expressions :

a. Pour béton $E/C < 2.5$ béton plastique et TP on a : $Rb = A. Rc \left(\left[\frac{E}{C} - 0.5 \right] \right)$

b. Pour béton $E/C > 2.5$ béton ferme et TF on a : $Rb = A. Rc \left(\left[\frac{E}{C} - 0.5 \right] \right)$

Rb : Classe du béton (résistance à la compression du béton à 28 jours)

Rc : Classe du béton

A, A' : coefficient les admis d'après le tableau selon propriétés et La qualité des matériaux utilise.

Tableau II.10: valeur des coefficients A.A'

Agrégats et liants	A	A'
De qualités supérieures (bon)	0.65	0.43
Ordinaires (moyen)	0.60	0.40
De qualités inférieures (mauve)	0.55	0.37

II.6.1.2 La quantité d'eau de gâchage :

Elle est établie approximativement d'après le tableau (II) qui tient compte de la qualité de matériau utilisés

Tableau II.11 : quantité d'eau nécessaire à la preparation du béton

Propriétés des bétons		Dosage en eau (l/cm^3) par rapport à la			
		Grosseur			
Affaissement au cône d'abrams (cm)	Maniabilité, Sec	Pierres roulées			
		10	20	40	70
0	200-150	145	130	120	115
0	120-90	150	135	125	120
0	80-60	160	145	130	125
0	50-30	165	150	135	130
0	30-15	175	160	145	140
2-1	-	185	170	155	145
4-3	-	195	180	165	160
6-5	-	200	185	170	165
8-7	-	205	190	175	170
10-9	-	215	200	185	175

II.6.1.3 Quantité de ciment :

Pour 1 m³ de béton frais :

$$C = E \cdot C/E \text{ (Kg)}$$

II.6.1.4 Quantité de pierres concassées :

Pour 1 m³ de béton frais :

$$PC = \frac{1000}{v \times \frac{\alpha}{\gamma_{pc}} + \frac{1}{\rho_{pc}}}$$

$\rho_c, \rho_e, \rho_s, \rho_{pc}$: Sont respectivement les masse spécifique de ces matériaux en kg/m³.

$$P_{pc} : \text{Porosité de pierres concassées } P_{pc} = 1 - \frac{\gamma_{pc}}{\rho_{pc}}$$

$$\rho_e : 1 \text{ kg/l}$$

α : Coefficient d'écartement, donné par le tableau (II)

Tableau II.12 : valeur de coefficient .

Dosage en ciment (kg/l)	E/C				
	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8
250	-	-	1.26	1.32	1.38
300	-	1.30	1.36	1.42	-
350	1.32	1.38	1.44	-	-
400	1.40	1.46	-	-	-

II.6.1.5 La quantité de sable :

Pour 1 m³ de béton frais :

$$S = \left[1000 - \left(\frac{C}{\rho_c} + \frac{E}{\rho_e} + \frac{Pc}{\rho_{pc}} \right) \right] \times \rho_s$$

- Application 1 :**

Dosage de ciment : **350 kg/m³**

Aff=6cm, les pierres concassé de diamètre $\emptyset = 20mm$ (d'après le tableau ((II-22))

$\Rightarrow E=185 \text{ L}$, ciment CPJ (15L), pierre concassé (10 L)

$$E_T = 185 + 15 (cpj) + 10 (pc) = 210 \text{ l/m}^3$$

1- Détermination de rapport E/C :

$$\frac{E}{C} = \frac{210}{350} = 0.6$$

2- Calculer la porosité :

$$P = \left(1 - \frac{\gamma}{\rho}\right)$$

$$P = \left(1 - \frac{1.42}{2.74}\right) = 0.48$$

3- La quantité de les pierres concassés:

$$PC = \frac{1000}{V_{vol} \times pc \frac{\alpha}{\gamma_{vol.pc}} + \frac{1}{\rho_{pc}}}$$

$$PC = \frac{1000}{(0.48 \times \frac{1.44}{1.42}) + \frac{1}{2.74}}$$

$$PC = 1174.08 \text{ kg}$$

- Quantité de sable Baadj : Sable1

$$S = \left[1000 - \left(\frac{C}{\rho_c} + \frac{E}{\rho_e} + \frac{PC}{\rho_{pc}}\right)\right] \times \rho_s$$

$$\text{Sable1} = \left[1000 - \left(\frac{350}{3}\right) + \left(\frac{210}{1}\right) + \left(\frac{1174.08}{2.74}\right)\right] \times 2.5$$

$$\text{Sable1} = 612.09 \text{ g/ m}^3$$

- Quantité de sable Lioua : Sable2

$$\text{Sable2} = \left[1000 - \left(\frac{350}{3}\right) + \left(\frac{210}{1}\right) + \left(\frac{1174.08}{2.74}\right)\right] \times 2.6$$

$$\text{Sable2} = 636.57 \text{ g/ m}^3$$

- **Quantité de sable de carrière :Sable3**

$$\text{Sable3} = \left[1000 - \left(\frac{350}{3} \right) + \left(\frac{210}{1} \right) + \left(\frac{1174.08}{2.74} \right) \right] \times 2.72$$

$$\text{Sable3} = 665.95 \text{ g/ m}^3$$

$$\text{Sable1} = 612.09 \text{ g/ m}^3$$

$$\text{Sable2} = 636.69 \text{ g/ m}^3$$

$$\text{Sable3} = 665.95 \text{ g/ m}^3$$

• **Pour 1m³ de béton frais :**

$$C = 350 \text{ g/m}^3$$

$$E = 210 \text{ L/m}^3$$

$$\text{Sable1} = 612.09 \text{ g/ m}^3$$

$$\text{Sable2} = 636.69 \text{ g/ m}^3$$

$$\text{Sable3} = 665.95 \text{ g/ m}^3$$

$$P_c = 1174.08 \text{ g/ m}^3$$

• **Volume de mélange d'essai, on prend $\frac{1}{3}$ de pierres concassées 8/15 et $\frac{2}{3}$ de pierres concassées 15/20**

$$C = 350 \text{ g/m}^3$$

$$E = 210 \text{ L/m}^3$$

$$\text{Sable1} = 612.09 \text{ g/m}^3$$

$$\text{Sable2} = 636.69 \text{ g/ m}^3$$

$$\text{Sable3} = 665.95 \text{ g/ m}^3$$

$$P_{c_{8/15}} = 391.36 \text{ g/m}^3$$

$$P_{c_{15/20}} = 782.72 \text{ g/m}^3$$

• **Volume de mélange d'essais :**

Pour 5 éprouvettes cubiques (10× 10 × 10) cm³

$$V = [0.1 \times 0.1 \times 0.1] \times 5 = 0.005 \text{ m}^3$$

$$5 + 20\% \times 5 = 6$$

$$E \times 6 = 210 \times 6 = 1260 \text{ L OU } (E + 20\%E) \times 5 = (210 + 0.2 \times 210) \times 5 = 1260 \text{ g/m}^3$$

$$C \times 6 = 350 \times 6 = 2100 \text{ g/m}^3 \text{ OU } (C + 20\%C) \times 5 = (350 + 0.2 \times 350) \times 5 = 2100 \text{ g/m}^3$$

$$\text{Sable1} \times 6 = 612.09 \times 6 = 3672.54 \text{ g/m}^3 \text{ OU } (S1 + 0.2 \times S1) \times 5 = (612.09 + 0.2 \times 612.09) \times 5 = 3672.54 \text{ g/m}^3$$

$$\text{Sable2} \times 6 = 636.57 \times 6 = 3819.42 \text{ g/m}^3 \text{ OU } (S2 + 0.2 \times S2) \times 5 = (636.57 + 0.2 \times 636.57) \times 5 = 3819.42 \text{ g/m}^3$$

$$\text{Sable3} \times 6 = 665.95 \times 6 = 3995.7 \text{ g/m}^3 \text{ OU } (S3 + 0.2 \times S3) \times 5 = (665.95 + 0.2 \times 665.95) \times 5 = 3995.7 \text{ g/m}^3$$

$$Pc_{8/15} \times 6 = 391.36 \times 6 = 2348.16 \text{ g/m}^3 \text{ OU } (Pc_{8/15} + 20\%Pc_{8/15}) \times 5 = (391.36 + 0.2 \times 391.36) \times 5 = 2348.16 \text{ g/m}^3$$

$$Pc_{15/20} \times 6 = 782.72 \times 6 = 4696.32 \text{ g/m}^3 \text{ OU } (Pc_{15/20} + 20\%Pc_{15/20}) \times 5 = (782.72 + 0.2 \times 782.72) \times 5 = 4696.32 \text{ g/m}^3$$

Tableau II.13 : quantité de mélange des moules cubiques (10× 10 × 10) cm³

G 15/20	G 8/15	Eau	Ciment	Sable1	Sable2	Sable3
Kg/ m ³	Kg/ m ³	(L)	Kg/ m ³	Kg/ m ³	Kg/ m ³	kg/ m ³
4.696	2.348	1.260	2.100	3.672	3.819	3.995

• **Application 2 :**

Dosage de ciment : **450 kg/m³**

Aff=6cm, les pierres concassé de diamètre Ø = 20mm (d'après le tableau (II))

⇒ **E=185 L , ciment CPJ (15L), pierre concassé (10 L)**

$$E_T = 185 + 15 (cpj) + 10 (pc) = 210 \text{ l/m}^3$$

1- Détermination de rapport E/C :

$$\frac{E}{C} = \frac{210}{450} = 0.46$$

2- Calculer la porosité :

$$P = \left(1 - \frac{\gamma}{\rho}\right)$$

$$P = \left(1 - \frac{1.42}{2.74}\right) = 0.48$$

3- La quantité de les pierres concassés:

$$PC = \frac{1000}{Vvol \times pc \frac{\alpha}{\gamma vol. pc} + \frac{1}{\rho pc}}$$

$$PC = \frac{1000}{(0.48 \times \frac{1.44}{1.42}) + \frac{1}{2.74}}$$

$$PC = 1174.08 \text{ kg}$$

- Quantité de sable Baadj : Sabale 1

$$S = \left[1000 - \left(\frac{C}{\rho c} + \frac{E}{\rho e} + \frac{PC}{\rho pc} \right) \right] \times \rho s$$

$$\text{Sabale 1} = \left[1000 - \left(\frac{450}{3} \right) + \left(\frac{210}{1} \right) + \left(\frac{1174.08}{2.74} \right) \right] \times 2.5$$

$$\text{Sable 1} = 528.76 \text{ g/ m}^3$$

- Quantité de sable Lioua : Sabale 2

$$\text{Ssable 2} = \left[1000 - \left(\frac{450}{3} \right) + \left(\frac{210}{1} \right) + \left(\frac{1174.08}{2.74} \right) \right] \times 2.6$$

$$\text{Sabale 2} = 549.91 \text{ g/ m}^3$$

- Quantité de sable de carrière :Sable 3

$$\text{Sable 3} = \left[1000 - \left(\frac{450}{3} \right) + \left(\frac{210}{1} \right) + \left(\frac{1174.08}{2.74} \right) \right] \times 2.72$$

$$\text{Sable 3} = 575.29 \text{ g/ m}^3$$

$$\text{Sabale 1} = 528.76 \text{ g/ m}^3$$

$$\text{Sable 2} = 549.91 \text{ g/ m}^3$$

$$\text{Sabale 3} = 575.29 \text{ g/ m}^3$$

• Pour 1m³de béton frais :

$$C = 450 \text{ g/m}^3$$

$$E = 210 \text{ L/m}^3$$

$$\text{Sable 1} = 528.76 \text{ g/ m}^3$$

$$\text{Sable 2} = 549.91 \text{ g/ m}^3$$

$$\text{Sable 3} = 575.29 \text{ g/ m}^3$$

$$Pc = 1174.08 \text{ g/ m}^3$$

- **Volume de de mélange d'essai, on prend $\frac{1}{3}$ de pierres concassées 8/15 et $\frac{2}{3}$ de pierres concassées 15/20**

$$C = 450 \text{ g/m}^3$$

$$E = 210 \text{ L/m}^3$$

$$\text{Sable 1} = 528.76 \text{ g/m}^3$$

$$\text{Sable 2} = 549.91 \text{ g/ m}^3$$

$$\text{Sable 3} = 575.29 \text{ g/ m}^3$$

$$Pc_{8/15} = 391.36 \text{ g/m}^3$$

$$Pc_{15/20} = 782.72 \text{ g/m}^3$$

- **Volume de mélange d'essais :**

Pour 3 éprouvettes cubiques (10× 10 × 10)cm³

$$V = [0.1 \times 0.1 \times 0.1] \times 3 = 0.003 \text{ m}^3$$

$$3 + 20\% \times 3 = 3.6$$

$$E \times 3.6 = 210 \times 3.6 = 756 \text{ L} \quad \text{OU} \quad (E + 20\%E) \times 3 = (210 + 0.2 \times 210) \times 3 = 756 \text{ g/m}^3$$

$$C \times 3.6 = 450 \times 3.6 = 1620 \text{ g/m}^3 \quad \text{OU} \quad (C + 20\%C) \times 3 = (450 + 0.2 \times 450) \times 3 = 1620 \text{ g/m}^3$$

$$\text{Sable 1} \times 3.6 = 528.76 \times 3.6 = 1903.536 \text{ g/m}^3 \quad \text{OU} \quad (S1 + 0.2 \times S1) \times 3 = (528.76 + 0.2 \times 528.76) \times 3 = 1903.536 \text{ g/m}^3$$

$$\text{Sable 2} \times 3.6 = 549.91 \times 3.6 = 1979.676 \text{ g/m}^3 \quad \text{OU} \quad (S2 + 0.2 \times S2) \times 3 = (549.91 + 0.2 \times 549.91) \times 3 = 1979.676 \text{ g/m}^3$$

$$\text{Sable 3} \times 3.6 = 575.29 \times 3.6 = 2071.044 \text{ g/m}^3 \quad \text{OU} \quad (S3 + 0.2 \times S3) \times 3 = (575.29 + 0.2 \times 575.29) \times 3 = 2071.044 \text{ g/m}^3$$

$$Pc_{8/15} \times 3.6 = 391.36 \times 3.6 = 1408.896 \text{ g/m}^3 \quad \text{OU} \quad (Pc_{8/15} + 20\%Pc_{8/15}) \times 3 = (391.36 + 0.2 \times 391.36) \times 3 = 1408.896 \text{ g/m}^3$$

$$Pc_{15/20} \times 3.6 = 782.72 \times 3.6 = 2817.792 \text{ g/m}^3 \quad \text{OU} \quad (Pc_{15/20} + 20\%Pc_{15/20}) \times 3 = (782.72 + 0.2 \times 782.72) \times 3 = 2817.792 \text{ g/m}^3$$

Tableau II.14: quantité de mélange des moules cubiques (10× 10 × 10)cm³

G 15/20	G 8/15	Eau	Ciment	Sable1	Sable2	Sable3
Kg/ m ³	Kg/ m ³	(L)	Kg/ m ³	Kg/ m ³	Kg/ m ³	kg/ m ³
2.818	1.409	756	1.620	1.904	1.980	2.080

- **Pour 3 éprouvette prismatique (7× 7 × 28) cm³**

$$V = [0.07 \times 0.07 \times 0.28] \times 3 = 0.004116 \text{ m}^3$$

$$Vt = 0.004116 + 20\% \times 0.004116 = 0.0043992 \text{ m}^3$$

$$E = 923.83 \text{ g/m}^3$$

$$C = 1539.72 \text{ g/m}^3$$

$$\text{Sable1} = 2692.70 \text{ g/m}^3$$

$$\text{Sable2} = 2800.92 \text{ g/m}^3$$

$$\text{Sable03} = 2929.64 \text{ g/m}^3$$

$$Pc8/15 = 1721.67 \text{ g/m}^3$$

$$Pc15/20 = 3443.34 \text{ g/m}^3$$

Tableau II.15: quantité de mélange des moules prismatique (7× 7 × 28) cm³

G 15/20	G 8/15	Eau	Ciment	Sable1	Sable2	Sable3
Kg/ m ³	Kg/ m ³	(L)	Kg/ m ³	Kg/ m ³	Kg/ m ³	kg/ m ³
3.44334	1.72167	923.83	1.53972	2.69270	2.80092	2.92964

II.7 Les essais sur le béton :**II.7.1 à l'état frais :**

On sait que le béton est le matériau obtenu par solidarisation par un liant de ciment.

Un squelette granulaire composé d'un ou plusieurs sables et d'un ou plusieurs graviers.

7.1.1 Le Malaxage: [NA EN 12390-2]

Les constituants sont introduits dans le malaxeur à l'ordre suivant :

- Introduire gravier 15/20, ciment, sable 0/5 et gravier 8/15.
- Malaxer pendant 1 min et 30 secs. Introduire la quantité d'eau.
- Malaxer pendant 3 min et ajouter l'eau tout attentivement.
- Mesurer l'affaissement à chaque fois par cône d'Abrams jusqu'à la valeur désirée et visé [32].

7.1.2 Affaissement au cône d'Abrams : [NF EN 12350 – 2]

L'essai réalisé avec cet appareil est normalisé selon la norme **NF EN 12350-2**, désigné par essai de consistance ou plus généralement par essai d'affaissement au cône d'Abrams il détermine la plasticité du béton On admet la correspondance suivante :

Tableau II.16: Classement des bétons selon la valeur d'affaissement au cône d'Abrams.

Classe de consistance	Définition	Affaissement (mm)
S1	Ferme	10 à 40
S2	Plastique	50 à 90
S3	Très plastique	100 à 150
S4	Fluide	160 à 210
S5	Très fluide	≥ 220



Figure II.7: l'affaissement de cône d'Abrams d'un béton.

II.7.1.3 Vibration:

La vibration est la méthode de compactage la plus répandue, le degré de compactage d'un béton frais par vibration dépend de la fréquence et de l'amplitude des oscillations, ainsi que de la durée de vibration.

- Remplir les moules cubiques ($10 \times 10 \times 10$) cm^3 et les moules prismatiques ($7 \times 7 \times 28$) cm^3
- On fait la vibration sur la table vibrante pendant 20s.

Peser 3 moules avant et après leur remplissage et la vibration pour déterminer la masse volumique de béton à l'état frais.

- Les éprouvettes sont maintenues à l'air libre au laboratoire pendant 24h puis décoffrées et marquer par peinture et conserver dans l'eau. [33]

II.7.2 Essais à l'état durci

II.7.2.1 Essais non destructifs:

a) Essai d'auscultation dynamique (Essai Sclérométrique) : (NF EN 12504-2)

- **Objectif de l'essai :**

Le but de l'essai est de permettre l'obtention rapide de la résistance du béton d'un ouvrage, sans procéder à des prélèvements de béton durci par carottage.

La mesure de la dureté au choc permet d'évaluer la résistance d'un béton de manière non destructive.

Cette méthode est intéressante en raison de sa simplicité ; elle permet de faire rapidement des contrôles de régularité des bétons d'un ouvrage.

- **Principe de l'essai :**

Il s'agit de tester la dureté de surface d'un béton durci. Cette dureté étant d'autant plus élevée que le béton est plus résistant, cela permet d'avoir un ordre de grandeur de la résistance atteinte par un béton à un âge donné.

- **Équipement nécessaire**

- Un scléromètre à béton conforme à la norme.
- Enclume de calibrage, en acier permettant le calibrage du marteau.

- **Conduite de l'essai**

- Il convient d'utiliser le scléromètre dans une température ambiante comprise entre 10 °C et 35 °C.
- Placez l'éprouvette surfacée au centre des 2 plateaux de la presse.
- Appliquez une charge en KN correspondant à une pression de 0,5 mpa. Tourner ensuite la vis de mise en charge au minimum (-) pour stabiliser la charge.
- Maintenir fermement le scléromètre de manière à permettre à la tige de percussion de frapper perpendiculairement la surface d'essai.
- Augmenter progressivement la pression exercée sur la tige jusqu'au déclenchement du choc.
- Après le choc, enregistrer l'indice de rebondissement.
- Pour obtenir une estimation fiable de l'indice de rebondissement de la surface d'essai, neuf essais au moins doivent être effectués.
- enregistrer la position et l'orientation du marteau à chaque série d'essai.
- La distance minimale entre deux essais de choc doit être de 25 mm et aucun essai ne doit être réalisé à moins de 25 mm du bord de la surface testée.

b) Essai d'auscultation sonore (Essai Ultrasonique) (NF EN 12504-4)**• Objectif de l'essai :**

Le but de l'essai est d'apprécier la qualité du béton d'un ouvrage, sans procéder à un prélèvement d'éprouvette par carottage.

• Principe de l'essai :

Le principe de l'essai consiste à mesurer la vitesse du son à l'intérieur du béton ; cette vitesse est d'autant plus élevée que le béton a un module d'élasticité plus important, donc à priori une résistance plus importante.

On produit un train d'impulsion de vibration au moyen d'un émetteur appliqué sur l'une des faces de l'élément à contrôler. Après avoir franchi une longueur de parcours dans le béton, l'impulsion de vibration est convertie en un signal électrique à l'aide d'un récepteur et la base de temps électronique permet de mesurer le temps de propagation des ondes ultrasonores t .

• Equipement nécessaire

L'appareil comprend les accessoires suivants :

- Un générateur d'impulsions électriques.
- Paire de transducteurs.
- Un amplificateur.
- Un dispositif électronique de mesure de temps permettant de mesurer la durée écoulée entre le départ d'une impulsion générée par le transducteur - émetteur et son arrivée au transducteur-récepteur.
- Un barreau de calibration est fourni pour permettre d'obtenir une ligne de référence du mesurage de la vitesse.



Figure II.8: Essai d'ultrason.

- **Conduite de l'essai**

1- Préparation de l'éprouvette

Pour qu'il y ait un contact parfait entre le béton et les transducteurs, il est recommandé d'employer un matériau intermédiaire entre les deux et en prenant soin de vérifier que l'appareil est bien appliqué contre la surface à tester. Les matériaux d'interposition sont la vaseline, un savon liquide ou une pâte constituée de Kaolin et de glycérol. Lorsque la surface de béton est très rugueuse, il est nécessaire de poncer et d'égaliser la partie de la surface où le transducteur sera fixé.

2- Disposition du transducteur

Il est possible de mesurer la vitesse de propagation du son en plaçant les deux transducteurs sur des faces opposées « Transmission directe », sur des faces adjacentes « Transmission semi-directe » ou sur la même face « Transmission indirecte ou transmission de surface » en cas de structure ou d'éprouvette de béton.

- **Expression des résultats**

La vitesse de propagation du son à travers le béton est déterminée par la formule suivante :

$$V = L/T$$

Où :

V : est la vitesse de propagation du son, en km/s ;

L : est la longueur de parcours, en mm ;

T : est le temps que met l'impulsion pour parcourir la longueur, en μ s.

c) Mesure du retrait (NF P15-433) :

La variation relative de longueur est généralement désignée par ϵ et a pour expression :

$$\epsilon(t) = \frac{\Delta l(t)}{L} = \frac{dl(t) - dl(t_0)}{L}$$

Où :

L: est la longueur de la tige en invar qui égale à 160 mm

(t): est la valeur lue sur le comparateur au temps t

(t₀) : la longueur de l'éprouvette au temps t₀ choisi au moment de démoulage soit 24h

II.7.2.2 Essais destructifs:**a) Essai de compression [NFP 18 – 406]**

La caractérisation du comportement en compression est effectuée conformément à la norme (NFP 18-406), sur des éprouvettes cylindriques et cubiques de dimensions et (10x10x10 cm³) respectivement, mûries à l'eau. Les résultats de la résistance à la compression f_{cj} Obtenus à 28 jours représentent la moyenne de trois échantillons. La machine utilisée pour l'écrasement uni axial des cylindres et des cubes est une presse hydraulique dont la capacité maximale est de 1500kN en compression

L'expression des résultats sera donnée par la relation $f_{cj} = FS$ (en mpa) où F est la charge maximale et S la surface de compression de l'éprouvette .



Figure II. 9: La machine pour essai de compression et affichage de la résistance.

II. 8 Conclusion:

Dans ce chapitre, ont été établies les différentes caractéristiques physiques et mécaniques des composants. Les courbes granulométriques de gravier et de sable sont présentées.

Il était important de définir la partie normative à laquelle doivent répondre les différents mélanges.

Ainsi on expose les différents essais sur béton frais et durci.

CHAPITRE.III :
ANALYSE ET DISCUSSIONS DES RÉSULTAS

CHAPITRE.III : ANALYSE ET DISCUSSIONS DES RÉSULTAS

III .1 Introduction :

Dans les deux chapitres précédents, nous avons exposé les caractéristiques des matériaux utilisés et les essais réalisés ainsi que la formulation des bétons qui doivent être étudiées.

Dans ce chapitre, nous allons présenter les résultats obtenus à partir des essais cités en chapitre 2.

III .2 Caractéristiques des bétons à l'état durci :

III .2.1 Essais non destructifs :

III 2.1.1 Essai d'auscultation sonique (Essai Ultrasonique) :

- Dosage C= 350 g/m^3



Figure III.1: Echantillons après immersion dans l'eau après 28 jours.

Tableau III.1 : Essai non destructif ultrason après 28 jours des trois sables.

Type de Béton	Vitesse moyenne « m/s »	RC (MPa)
B1(béton de sable de baadj)	4400	35
B2 (béton de sable lioua)	4580	42
B3 (béton de sable carrière)	4640	45

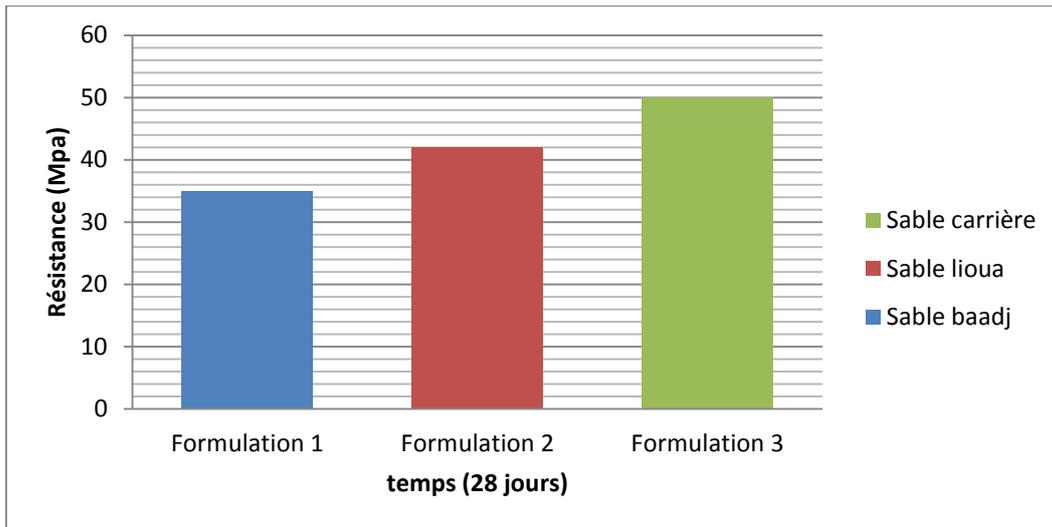


Figure III.2: Résistances des bétons étudiés à 28 jours.

Interprétation : d’après le Tableau III.1 et La figure III.2 on remarque que les essais ultrasonique donne des bonnes résistances pour les trois sables, cela veut dire que les bétons ont bonne qualité

III.3 Essais destructifs :

III 3.1 Essais de compression :

Tableau III. 2: Essais de compression à 28 jours

TYPE DE BETON	Dosage 350 kg/m ³
	Résistances Moyennes (MPa)
B1(béton de sable de baadj)	25
B2(béton de sable de Lioua)	24
B3(béton de sable de Carrière)	23

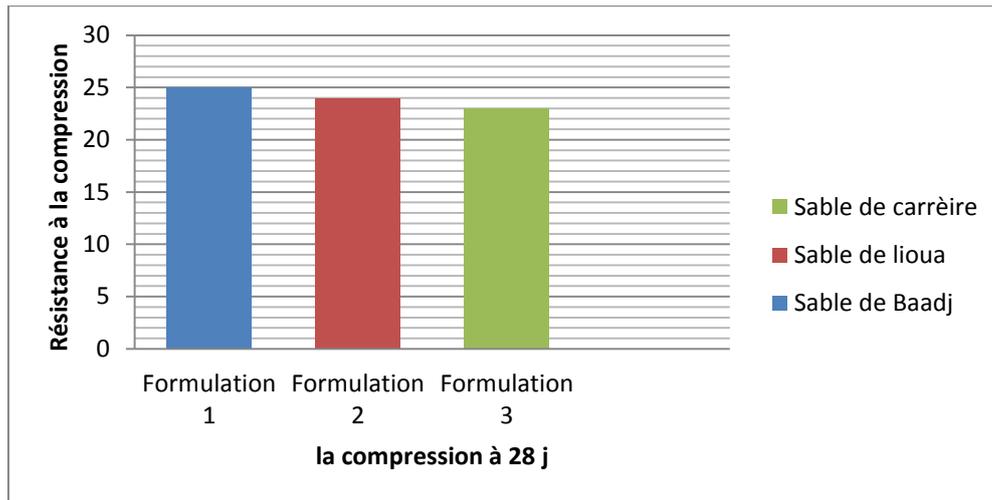


Figure III.3: Résistance à la compression du béton à 28 jours.

Interprétations des résultats obtenus :

D'après le **Tableau III.2** et La figure III.3 on remarque que les essais sclérotiques donne des résistances acceptable mis reste inférieur à celle des essais ultrasonique pour les trois sables.

III .4 Caractéristiques des bétons à l'état durci :

III.4.1 Essais non destructifs :

III.4.1.1 Essai d'auscultation sonore (Essai Ultrasonique) :

• Dosage C= 450 g/m^3

Tableau III.3 : Essai non destructif ultrason après 28 jours des trois sables.

Type de béton	Temps moyenne « μs »	Vitesse moyenne « m/s »	RC (MPa)
B1(béton de Sable de Baadj)	22.04	4542	40.00
B2(béton de Sable de Lioua)	21.8	4678	45.00
B3(béton de Sable de carrière)	21.7	4614	50



Figure III.4: Essai non destructif ultrason.

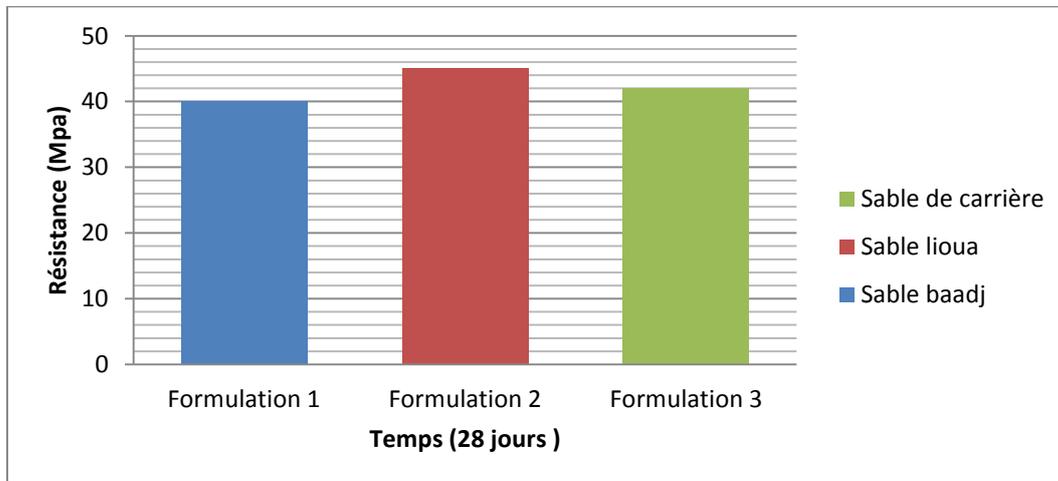


Figure III.5 : Résistances des bétons étudiés à 28 jours

Interprétation :

D'après le Tableau III.3 et La figure III.5 on remarque que les essais ultrasonique donne des bonnes résistances pour les trois sables, cela veut dire que les bétons ont bonne qualité

Et que le béton confectionnée avec le sable Lioua donne une bonne résistance à la compression P/R au autres bétons

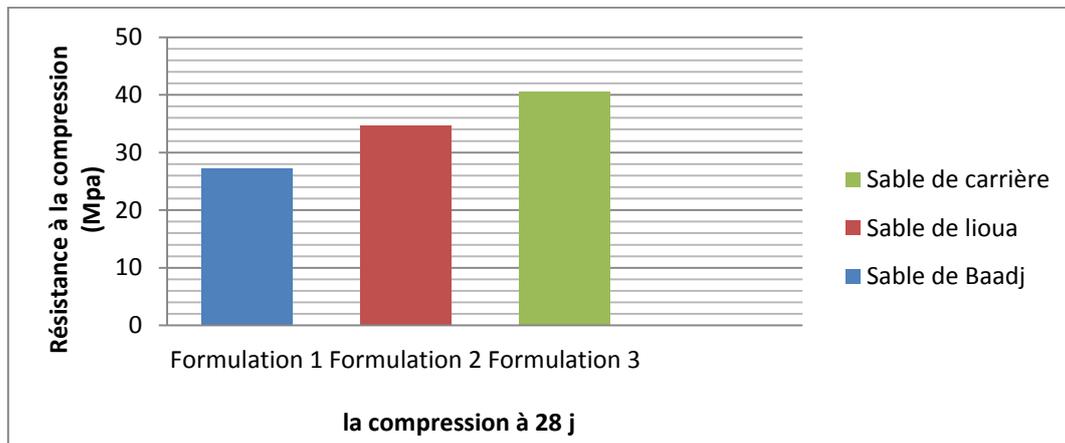
III.4.2 Essais destructifs:

III.4.2.1 Essais de compression :

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

Tableau III.4 :Essai de compression à 28 jours

TYPE DE BETON	Dosage 450 kg/m ³
	Résistances Moyennes (Mpa)
B1(béton de sable de baadj)	27.30
B2(béton de sable de Lioua)	34.60
B3(béton de sable de carrière)	40.56

**Figure III.6: Résistance à la compression.****Interprétations des résultats obtenus :**

D'après le **Tableau III.4** et La figure III.6 on remarque que des bonnes pour les résistances des trois bétons sont acceptable et peuvent être utilisée comme bétons pour les ouvrages hydrauliques

III.5 Essai mesure du retrait :

- Les essais sont effectués sur des éprouvettes (7x 7x28) cm³



Figure III.7: Essais mesure du retrait.

- L'ensemble des résultats essais mesure de retrait à 10 jours des trois formulations :

Tableau III.5 : essais de retrait à 10 jours.

Type de béton	1 jr	2 jr	3 jr	4 jr	5 jr	6 jr	7 jr	8 jr	9 jr	10 jr
B1(béton sable de Baadj)	0	0.01	0.025	0.026	0.26	0.0.26	0.0.26	0.026	0.026	0.026
B2(béton sable de Lioua)	0	0.01	0.015	0.017	0.20	0.28	0.029	0.029	0.029	0.029
B3(béton sable de carrière)	0	0.01	0.018	0.25	0.027	0.029	0.03	0.03	0.03	0.03

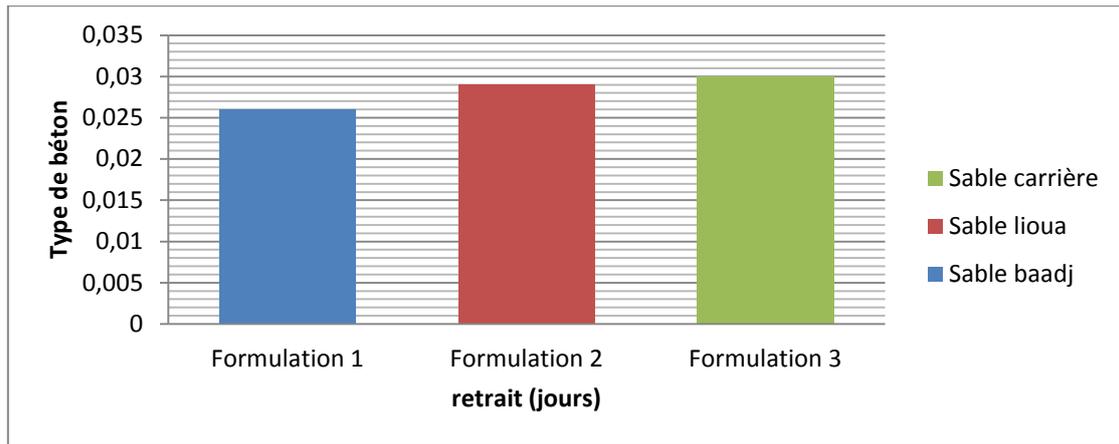


Figure III.8: Histogramme essais mesure du retrait.

Interprétations des résultats obtenus : d'après le **Tableau III.5** et La figure III.8 on remarque que :

Le béton confectionné avec le sable de carrière présente un retrait plus élevée que les autres bétons

GONCLUSION GÉNÉRALE

GONCLUSION GÉNÉRALE

Conclusion générale :

Dans ce travail expérimental, nous avons étudié l'influence des type de sable sur les propriétés physiques (la masse volumique et l'absorption d'eau), ainsi que la réponse mécanique (compression) d'un béton ordinaire

A partir des résultats obtenus, on peut tirer les conclusions suivantes :

- Les bétons étudiés ont une résistance de compression acceptable et peuvent être utilisée dans les bétons hydrauliques .
- Les résistances u bétons étudiés augmentent avec le dosage de ciment .
- Les essais non destructifs du béton donnent une résistance acceptable .
- Les bétons confectionnées avec les sable de carrière ont un retrait élevée P/R aux béton confectionnée avec les sables d'oued .

RÉFÉRENCE BIBLIOGRAPHIES

Chapitre I

- [1] :-**DUPAIN R., LANCHON R., SAINT-ARROMAN J.C.** (2000); Granulats, sols, ciments et bétons, Edition Casteilla, Paris, 236 p
- [2] : G. e. F. .. Dreux, Nouveau guide du béton et de ses constituants., EYROLLES, Huitième édition 1998 Troisième tirage 2007.
- [3] : **BERBAOUL.R:** « Identification et analyse de l'endommagement par fatigue des matériaux granulaires a base polymère. » Soutenue le 21 janvier 2010 à l'université de Cergy Pontoise. Spécialité génie mécanique.
- [4] : Dupain.R et Lanchon.R : granulats, sols, ciment et bétons paris : Ed Educative, 276p
- [5] : Aitcin.P.C et Baron.J : Béton haute performance, Ed.Eyrolles, 1996
- [6] : CIM béton : le ciment et ses applications, fiches technique 2000.
- [7] : Bression.J : prévision des résistances, paris, tech batin. Trav .Public, 1980.
- [8] : Dreux.G et Festa.j : Nouveaux guide du béton et de ces constituants, Ed. Eyrolles, 1998, 278P.
- [9] : **AHMED Faycel** ,Mémoire de Master «CONCEPTION D'UN BETON DESTINE AUXOUVRAGES HYDROTECHNIQUES » DEPARTEMENT AMENAGEMENT ET GENIE HYDRAULIQUE.2015.
- [10] : **RACHI LEILA, DENDANI MOHAMED AMINE**, Mémoire de Master, « INFLUENCE DES DIFFERENTES GRANULOMETRIES DES AGREGATS SUR LE COMPORTEMENT MECANIQUE DU BETON ORDINAIRE. UNIVERSITE DE M'HAMED BOUGARA –BOUMERDES.2016
- [11] : o. d. bibliothèque, pratiques actuelles pour la formulation des bétons (5/191), F.S.I.
- [12] : LAFARGE, Documents de LAFARGE, France.
- [13] : KATTAB.R, valorisation de sable de dune. Thèse doctorat, Alger: ENP, 2007.
- [14] : A. M. NEVILLE, PROPRIETES DES BETONS, Eyrolles , 2000.
- [15] : A. KOMAR, MATERIAUX ET ELEMENTS DE CONSTRUCTION, éditions mirMoscou, 1989.
- [16] : A. CHAREF, "La problématique des granulats au Maroc", Push-Button Publishing,(2007).

RÉFÉRENCE BIBLIOGRAPHIES

- [17] : Les fiches techniques, **TOME II**, ont été réalisées par les experts de **CIMBETON**. Ellesont pour titre: « les bétons: formulation, fabrication et mise en œuvre ».
- [18] : **R. MAILLOT**, "Mémento technique des Granulats", les Presses de l'Ecole desMines, Paris, 166 p., (2001).
- [19] : **DEGUSSA CONSTRUCTION CHEMICALS FRANCE**, "*La Technologie du Béton*", Guf\Formation\Béton\Technobéton V05_01U, 140 p
- [20] : **J. BARON, et R. SAUTREY**, "Le béton hydraulique", Presse de l'écolenationale des ponts et chaussées, Paris, 560 p., (1982).
- [21] : **V. PHOUMMAVONG**, "Cours en ligne matériaux de construction", Université Nationale du Laos, <http://www.la.refer.org/materiaux/>
- [22] : **A. M. NEVILLE**, "Propriétés des bétons", traduit par le CRIB, Edition Eyrolles,806p. (2000).
- [23] : **BELAGRAA.L** : cours matériau de construction, à l'Université El BachirIbrahimi, 3ème année, département de génie civil, 2011
- [24] : **KATTAB.R**, valorisation de sable de dune. Thèse doctorat, Alger: ENP, 2007.
- [25] : **REZIG Salima**, Mémoire de Master «Optimisation de la formulation du bétonde sable dans le cadre de valorisation des matériaux locaux», Université Mohamed Khider, Biskra, Algérie, 2012.
- [26] : **OUKIL YUCEF, OUKIL ABDELHAK** , Mémoire de Master «Formulation et caratérisation d'un béton de sable à partir des déchets minéraux», Université A.M. OULHADJ- Bouira, Algérie,2017
- [27] : **F DE LARRARD)** "concrète mixture-propotioning-A scientific Approach" Londres 1999.
- [28] : **A.A.MOHAMED**. étude des propriétés mécaniques du béton de sable de dunes : Université KASDI MERBAH de Ouargla 2011.
- [29] : <http://www.estigc.fr/labo/beton/dreuxgranulats.htm>

Chapitre II

[30] : M. Nouali, Z. Derriche, 'Analyse des possibilités de valorisation des déchets de sachets plastiques dans l'amélioration des caractéristique des enrobes bitumineux', 1^{er} séminaire international sur les matériaux routiers, Université de Houari Boumediene, octobre 2015.

[31] : I. Djakam, 'Elaboration d'un béton léger à partir des matériaux locaux', mémoire de master, Université de M'sila, 2016.

[32]: **R.DAUPAIN, J.-C. Saint-Arroman** « Granulates, sols, ciment et Béton »,édition, 2009.

[33]: ASB. Association du béton Québec. Guide de bonnes pratiques pour l'utilisation des fibres dans le béton, Bibliothèque nationale du Québec, Québec,2005.