

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

BADJI MOKHTAR UNIVERSITY- ANNABA
UNIVERSITE BADJI MOKHTAR - ANNABA



جامعة باجي مختار - عنابة

FACULTE DES SCIENCES DE L'INGENIORAT

DEPARTEMENT DE GENIE CIVIL

Année 2019

MEMOIRE

Présenté en vue de l'obtention du diplôme de Master en Génie Civil

Thème :

Influence de la nature du sable sur les propriétés physico-mécaniques d'un béton ordinaire

Domaine : Sciences et Technique

Spécialité :

GENIE CIVIL

Option :

MATERIAUX DE CONSTRUCTION

Par :

1/ GUIDOUM Abderrahmen

2/ FARHET Oualid

Directeur du mémoire : BELOUETTAR Redjem Professeur Université Badji Mokhtar - Annaba

Devant le Jury :

Président : REDJEL Bachir Professeur Université Badji Mokhtar - Annaba

Examinatrice : BOUMAAZA Fatiha MCB Université Badji Mokhtar - Annaba

Remerciements

Au terme de notre travail, nous tenons à remercier.

Notre DIEU Miséricordieux qui nous a donné la force, la volonté et la patience pour achever ce mémoire.

Nos familles particulièrement nos parents pour leur sacrifices, aides, encouragements et soutiens.

Pr. BELOUETTAR Redjem, notre directeur du mémoire, pour son aide, sa patience, ses encouragements sans cesse et pour la confiance qu'il nous a accordée.

Pr. Redjel Bachir et Dr. Boumaaza Fatiha d'avoir accepté de présider le jury et d'examiner ce mémoire qu'ils trouvent ici le témoignage de notre gratitude et notre reconnaissance.

Dr. BENZERARA Mohammed, notre co-directeur du mémoire, pour son aide et soutien.

Monsieur le chef de département, ainsi que les professeurs qui nous ont enseigné durant notre cycle de formation, pour tout savoir acquit.

Messieurs les ingénieurs et les techniciens du laboratoire du département de Génie Civil de l'université BADJI Mokhtar - Annaba, pour leurs aides, assistance et sympathie durant notre travail expérimental.

Tout le personnel du département de génie civil pour leur soutien.

Nos amis, camarades, collègues pour leurs aides et soutiens.

Toute personne qui a aidé de près ou de loin pour l'achèvement de ce travail.

Résumé

L'industrie du béton est conditionnée par les ressources locales et elle est relativement routinière. Cependant, cette dernière est confrontée ces dernières années à des changements importants : la valorisation des ressources naturelles et comme les sables (de dune, rivière et concassé) ainsi que les déchets de démolition des bétons conduisent à développer de nouveaux bétons (béton à base des granulats naturels, bétons à base des granulats recyclée, ... etc)

Dans ce travail nous avons étudié l'influence de la nature du sable sur les propriétés physico-mécaniques d'un béton ordinaire.

Pour cela, nous avons intégré dans le béton six types de sable où un programme expérimental de plus de 180 éprouvettes (cubiques, cylindriques et prismatiques) ont été confectionnées.

Les résultats obtenus montrent que les bétons réalisés par le sable de mer et par le sable recyclé présentent une amélioration du comportement mécanique. Les bétons réalisés par le sable de rivière et par le sable de carrière présentent une meilleure durabilité vis-à-vis de l'eau.

Mots clé : Béton, sable, valorisation des matériaux, formulation, comportement mécanique, durabilité.

ملخص

صناعة الخرسانة مشروطة بالموارد المحلية وهي روتينية نسبياً. ومع ذلك ، في السنوات الأخيرة واجهت صناعة الخرسانة تغييرات مهمة: تهمين الموارد الطبيعية مثل الرمال (رمال الصحراء، رمال الأودية ورمال المحاجر) والرمل المرسكلة من نفايات هدم الخرسانة تؤدي إلى تطوير أنواع جديدة من الخرسانة (الخرسانة القائمة على الركام الطبيعي ، والخرسانة القائمة على الركام المعاد تدويره ، وما إلى ذلك).

في هذا العمل درسنا تأثير الطبيعة الرملية على الخواص الفيزيائية الميكانيكية للخرسانة العادية.

لهذا، قمنا بدمج ستة أنواع من الخرسانة حيث تم إعداد برنامج تجريبي لأكثر من 180 عينة (مكعب، أسطواني ومنشوري).

أظهرت النتائج التي تم الحصول عليها أن الخرسانات المصنوعة من رمل البحر والرمل المعاد تدويرها تحسنا في السلوك الميكانيكي. تتميز الخرسانة المصنوعة من رمال الأودية ورمال المحاجر بديمومة أفضل في الماء.

الكلمات المفتاحية: الخرسانة، الرمال، رسكلة المواد، تشكيل الخرسانة، السلوك الميكانيكي والاستدامة.

Abstract

The concrete industry is conditioned by local resources and is relatively routine. However, the concrete industry has been confronted in recent years with significant changes: the valorization of natural resources and like sands (dune, river and crushed) thus concrete demolition waste leads to the development of new concretes (concrete based on natural aggregates, concretes based on recycled aggregates, etc.)

In this work we have studied the influence of sand nature on the physico-mechanical properties of ordinary concrete.

For this, we have integrated into the concrete six types of sand where an experimental program of more than 180 specimens (cubic, cylindrical and prismatic) were made.

The results obtained show that concretes made by sea sand and recycled sand show an improvement in mechanical behavior. Concretes made from river sand and quarry sand have better durability vis-à-vis water.

Key words: Concrete, sand, recovery of materials, concrete formulation, mechanical behavior and durability.

Sommaire

Sommaire

Résumé.....	1
ملخص.....	2
Abstract.....	3
Sommaire	4
Liste des tableaux.....	9
Liste des figures	10

INTRODUCTION GENERALE	13
-----------------------------	----

CHAPITRE I: ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

I.1.Introduction	15
I.2. Généralités sur le béton	15
I.2.1. Historique	15
I.2.2. Définition du béton.....	16
I.2.3. Fabrication et mise en œuvre du béton.....	16
I.3. Les caractéristiques physiques et mécaniques du béton.....	17
I.3.1. Les caractéristiques physiques.....	17
I.3.1.1. L'ouvrabilité	17
I.3.1.2. La compacité et la porosité.....	17
I.3.1.3. La masse volumique	17
I.3.1.3.1. La masse volumique apparente.....	18
I.3.1.3.2. La masse volumique absolue.....	18
I.3.2. Les caractéristiques mécaniques.....	18
I.3.2.1. La résistance à la compression	18
I.3.2.2. La résistance à la traction	19

Sommaire

I.3.3. Porosité du béton	19
I.3.3.1. Porosité Point de vue microscopique.....	19
I.3.3.2. Porosité Point de vue macroscopique	20
I.3.3.3. L'absorption d'eau par capillarité.....	20
I.4. Domaines d'emploi des bétons.....	21
I.4.1. Bâtiments	21
I.4.2. Travaux publics	21
I.4.3. Autres ouvrages	22
I.5. Avantages et inconvénients du béton	22
I.5.1. Avantages	22
I.5.2. Inconvénients.....	23
I.6. Les composants d'un béton	23
I.6.1. Les Ciments	24
I.6.1.1. Les classe de résistances des ciments	24
I.6.1.2. Les différents types du ciment.....	25
I.6.2. L'eau de gâchage	25
I.6.3. Les granulats dans les bétons.....	26
I.6.3.1. Caractéristiques dimensionnelles	27
I.6.3.2. Classification des granulats	28
I.6.3.2.2. Classification des granulats selon la grosseur	29
I.6.4. Les Gravier.....	29
I.6.5. Le sable.....	30
I.6.5.1. Les différents constituants du sable.....	31
I.6.5.2. Classifications des sables.....	32
I.6.5.3. Les ressources des sables en Algérie	33
I.6.5.4. Utilisation de sable locale dans le béton en Algérie	34
I.7. Conclusion	35

Sommaire

CHAPITRE II: CARACTERISATION DES MATERIAUX UTILISES

II.1. Introduction	36
II.2. Matériaux utilisés	36
II.2.1. Granulats	36
II.2.1.1. Sables	36
II.2.1.2. Gravies	37
II.2.2. Ciment	38
II.2.3. Eau de gâchage.....	39
II.3. Essais de caractérisation.....	39
II.3.1. Analyse granulométrique	39
II.3.2. Module de finesse.....	39
II.3.3. Mesure de la propreté (l'essai d'équivalent de sable)	39
II.3.4. Masse volumique apparente	40
II.3.5. Masse volumique absolue	41
II.3.6. L'essai Micro Deval	41
II.3.7. L'essai de Los Angeles	42
II.4. Résultats	42
II.5. Conclusion.....	49

CHAPITRE III: FORMULATION DES BETONS & METHODES

EXPERIMENTALES

III.1. Introduction.....	50
III.2. La méthode de Formulation (Dreux- Gorisse).....	50
III.3. Confection du béton.....	52
III.3.1. Procédure de malaxage [EN 480-1].....	52
III.3.2. Vibration [NF P18 421]	52
III.3.3. Confection des éprouvettes [NF P18 404].....	53

Sommaire

III.3.3.1. Choix des éprouvettes	53
III.3.3.2. Remplissage des moules	54
III.3.3.3. Conservation des éprouvettes	54
III.4. Caractéristiques des bétons à l'état frais	55
III.4.1. Essai d'affaissement au cône d'Abrams [NF EN 12 350-8].....	55
III.4.2. La masse volumique	55
III.5. Caractéristiques des bétons à l'état durci.....	56
III.5.1. Masse volumique du béton à l'état durci	56
III.5.2. La résistance à la compression.....	56
III.5.2.1. Modes de rupture des éprouvettes soumises à la compression (NF EN 12390-3).....	57
III.5.3. Essai de flexion	59
III.5.3.1. Modes de rupture des éprouvettes soumises à la flexion	60
III.5.4. Essai de traction par fendage	63
III.5.5. Morphologie et état de surface des grains des sables par MEB.....	64
II.1.7. Composition minéralogique des sables (essai DRX)	67
III.5.5. Essais de durabilité	70
III.5.5.1. Absorption d'eau par capillarité [AFPC-AFREM, 1997].....	70
III.5.5.2. Absorption d'eau par immersion totale [AFPC-AFREM, 1997].....	71
III.6. Conclusion	72

CHAPITRE IV: RESULTATS & DISCUSSIONS

IV.1. Introduction.....	73
IV.2. Procédures expérimentale	73
IV.2.1. Caractérisation à l'état frais	73
IV.2.1.1. Masses volumiques	73
IV.2.1.2. Affaissement au cône d'Abrams.....	74

Sommaire

IV.2.2. Caractérisation physico-mécaniques à l'état durci	75
IV.2.2.1. Masse volumique	75
IV.2.3. Essai destructif.....	76
IV.2.3.1. Essai de compression.....	76
IV.2.3.2. Essai de résistance à la traction Par flexion.....	77
IV.2.3.3. Par fendage	79
IV.2.4. Essais d'absorption d'eau	80
IV.2.4.1. Absorption d'eau par capillarité	80
IV.2.4.2. Essai d'absorption d'eau par immersion totale.....	82
IV.3. Conclusion	83
CONCLUSION GENERALE	84
Recommandation et perspective	85
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	86

Liste des tableaux

Liste des tableaux

Tableau I.1 : Les classes de résistance de ciments.....	24
Tableau II.1 : Composition chimique du ciment.	38
Tableau II.2 : Composition minéralogique du clinker.	38
Tableau II.3 : Les caractéristiques physico-mécaniques des granulats utilisés Granulats.	42
Tableau II.4 : Les caractéristiques physiques du ciment.	43
Tableau II.5 : Résultats de l'analyse granulométrique du gravier 3/8.	43
Tableau II.6 : Résultats de l'analyse granulométrique du gravier 8/15.	43
Tableau II.7 : Résultats de l'analyse granulométrique du Sable carrière.	44
Tableau II.8 : Résultats de l'analyse granulométrique du Sable de dune1.	45
Tableau II.10 : Résultats de l'analyse granulométrique du Sable de mer.....	46
Tableau II.11 : Résultats de l'analyse granulométrique du Sable de rivière.	46
Tableau II.12 : Résultats de l'analyse granulométrique du Sable recyclé.	47
Tableau.III.1 : Compositions des différents bétons.	51
Tableau III.2: Classe de consistance en fonction d'affaissement.	55
Tableau IV.1. Masses volumiques des différents bétons.	73
Tableau IV.2. Affaissements mesurés des différents bétons.	74
Tableau IV.3. Masses volumiques des différents bétons.	75
Tableau IV.4. Résistances à la compression des différents bétons.....	76
Tableau IV.5. Résistances à la traction par flexion des différents bétons.	77
Tableau IV.6. Résistances à la traction par fendage des différents bétons.	79
Tableau IV.7. Coefficient d'absorption des différents bétons.	80
Tableau IV.8. Absorption d'eau par immersion des différents bétons en fonction du temps.	82

Liste des tableaux

Liste des figures

Figure I.1 : Porosité Point de vue microscopique [10].	19
Figure I.2 : Porosité Point de vue macroscopique [10].	20
Figure I.3 : la structure des pores capillaires pour deux rapports E/C différent [10].	21
Figure I.4: Constituants et ordre de grandeur des proportions des constituants d'un béton [12].	23
Figure I.5 : Les différents types des granulats [20].	27
Figure I.6 : Les différentes formes des grains [20].	27
Figure I.7 : Différents types de granulats.	28
Figure I.8 : Situation géographique des ergs de l'Algérie [28].	34
Figure II.1 : Différentes types de sables utilisés.	37
Figure II.2 : Gravier 8/16.	37
Figure II.4 : Ciment utilisé.	38
Figure II.5 : Analyse granulométrique.	39
Figure II.6 : Essai d'équivalent de sable.	40
Figure II.7 : Essai de masse volumique apparente.	40
Figure II.8 : Masse volumique absolue.	41
Figure II.9 : Essai de micro Deval.	41
Figure II.10 : La machine de Los Angeles.	42
Figure II.11 : Courbe granulométrique.	48
Figure III.1 : Courbe de référence OAB.	51
Figure III.2 : Bétonnière utilisée pour le malaxage des composants.	52
Figure III.3: Eprouvette sur la table vibrante.	53
Figure III.4 : Remplissage des différents moules.	54
Figure III.5 : Essai d'affaissement au cône d'Abrams.	55
Figure III.6 : Essai de la masse volumique a l'état frais.	56
Figure III.7 : Machine de compression utilisée.	57

Liste des tableaux

Figure III.8 : Modes de rupture.....	58
Figure III.10: Exemple de rupture incorrecte.	59
Figure III.11 : Dispositif d’essai de traction par flexion.....	59
Figure III.16: Rupture fragile par décohesion.(intergranulaire).	62
Figure III.17 : Dispositif d’essais de traction par fendage.	63
Figure III.18 : Modes de rupture des éprouvettes soumises à la traction par fendage.	63
Figure III.19 : Morphologie et état de surface de sable siliceux (Sable1) [30].	64
Figure III.20 : Morphologie et état de surface de sable de carrière [30].	65
Figure III.21 : Morphologie et état de surface de sable de mer [31].	65
Figure III.22 : Morphologie et état de surface de sable recyclé [32].....	66
Figure III.23 : Spectre de la DRX du sable de dune (siliceux) [33].	67
Figure III.24 : Spectre de la DRX du de carrière [33].	68
Figure III.25 : Spectre de la DRX du sable de mer [33].....	68
Figure.III.26: Diffractogramme du sable recyclé [32].....	69
Figure III.27 : Schéma du dispositif de la mesure de l’absorption d’eau par capillarité.	70
Figure III.28 : Essai de l’absorption d’eau par capillarité.	71
Figure III.29 : Essai de l’absorption d’eau par immersion total.	72
Figure IV.1. Variation de la masse volumique des bétons étudiés à l’état frais.	73
Figure IV.2. Affaissements mesurés des différents bétons.....	74
Figure IV.3. Masses volumiques des différents bétons.	75
Figure IV.4. Comparaison des résistances à la compression des différents bétons en fonction du temps.....	76
Figure IV.5. Comparaison des résistances à la flexion des différents bétons en fonction du temps.....	78
Figure IV.6. Les résistances à la traction par fendage des différents bétons en fonction du temps.....	79

Liste des tableaux

Figure IV.7. Comparaison de l'absorption d'eau par capillarité des différents bétons en fonction du temps.....	81
Figure IV.8. Absorption d'eau par immersion des différents bétons en fonction du temps.....	82

INTRODUCTION GENERALE

Introduction Générale

INTRODUCTION GENERALE

Le béton est le matériau de construction le plus largement répandu dans le monde, dû à sa facilité de mise en œuvre et à son coût relativement bas. Il est également devenu le matériel de choix pour la construction des structures exposées aux extrêmes conditions. C'est un matériau composite dans lequel les granulats (gravier et sable) sont liés par une pâte de ciment hydratée. La quantité d'eau requise pour les réactions d'hydratation représente environ 25% de la masse de ciment.

Cependant, une quantité d'eau supplémentaire est nécessaire afin d'obtenir une ouvrabilité satisfaisante du béton frais lors des opérations de mise en place. Dans le long terme, l'excès d'eau s'évapore, laissant des vides dans le béton.

Dans une pâte de ciment Portland de rapport E/C de 0.5 la porosité totale représente entre 25 et 30% du volume et la taille des pores varie du nanomètre à quelques millimètres. La porosité du matériau diminue sa résistance mécanique et sa durabilité. Le béton est donc un matériau composite poreux, dont les performances varient en fonction de sa porosité capillaire et donc de l'excès d'eau nécessaire à la maniabilité du béton frais.

La caractéristique essentielle d'un béton à l'état durci est la résistance mécanique en compression à l'âge de 28 jours. Car il est un matériau durable qui travaille et résiste très bien à la compression. De ce fait, la connaissance de cette propriété mécanique est donc indispensable pour le dimensionnement et le calcul des ouvrages.

Les pratiques de l'industrie du béton sont conditionnées par les ressources locales et sont relativement routinières. Cependant, l'industrie du béton est confrontée ces dernières années à des changements importants : la valorisation des ressources naturelles et comme les sables (de dune, rivière et concassé) ainsi les déchets de démolition des bétons conduisent à développer de nouveaux bétons (béton à base des granulats naturels, bétons à base des granulats recyclés, ... etc). Il existe différentes familles du sable on distingue :

- Les sables roulés siliceux, dit ronds, sont issus d'un processus naturel d'érosion. En général, ils sont dragués dans les Oueds et les plages. Leur usage est courant depuis des années et même recommandé. Cependant, les réserves disponibles sont proches de l'épuisement ou protégées par de nouvelles règles environnementales en matière de dragage des plages.

Introduction Générale

- Les sables de concassage calcaires sont le produit d'un processus industriel contrôlé de concassage, de lavage et de criblage appliqué à des roches calcaires exploitées en carrières, la contrainte du coût de revient élevé, le rends économiquement moins intéressant.
- Le sable de dune qui s'impose du fait de son abondance dans la nature (Sahara), de son coût d'extraction presque nul, et de sa propreté apparente, constitue la solution au problème d'épuisement des ressources naturelles et se présente comme un matériau d'avenir qui peut remplacer par excellence les deux types de sables suscités. Les granulats peuvent faire varier les prix du produit « béton », il faut tendre à maximiser la proportion des granulats dans le mélange pour en minimiser ainsi le coût. Aussi faut-il veiller également à ce que les granulats soient autant que possible exempt de substances nuisibles, en effet, ces substances peuvent entraver la prise de la pâte de ciment et réduire la résistance et la durabilité des bétons.

L'objectif principal de ce mémoire est d'élaborer un bon béton résistant et moins coûteux en analysant le potentiel d'un béton qui diffère dans ses constituants par différents sables utilisés: sable de dune1 (Tebessa) , sable de dune 2 (Oued Souf) , sable de mer, sable de carrière , sable de rivière et un sable recyclé en étudiant l'influence de la nature de ces 06 sables sur les propriétés physico-mécanique et la durabilité d'un béton ordinaire vis-à-vis a l'eau.

Pour viser ces objectifs on divise ce travail en quatre chapitres, qui sont comme suit :

Dans le premier chapitre nous avons présenté une étude bibliographique sur le béton et ses composants essentiels.

Le deuxième chapitre présente les matériaux utilisés dans ce travail, ainsi que les différentes méthodes de caractérisation selon les normes.

Dans le troisième chapitre nous avons exposé la formulation du béton que nous avons utilisé par la méthode de Dreux – Gorisse, ainsi que les différentes méthodes de caractérisation physico-mécaniques des mélanges élaborés.

Dans le quatrième chapitre nous avons donné les interprétations aux résultats obtenus de notre travail.

Ce travail est clôturé par une conclusion générale des perspectives.

CHAPITRE I :
ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

CHAPITRE I : Etude Bibliographique

I.1.Introduction

Le béton est le matériau de construction par excellence depuis presque un siècle. Constituer à l'origine de seulement quatre composants (gravillons, sable, ciment et eau), leurs méthodes de formulation ont évolué d'un savoir-faire empirique vers la science des matériaux [1].

Ces constituants (composants) sont dosés, en fonction de leurs propriétés, de manière à obtenir, après réaction physico-chimique entre eux, un produit solide dont les caractéristiques physiques et mécaniques peuvent être très supérieures à celles des roches les plus résistantes. Dans la mesure où le ciment est un liant hydraulique lui-même fabriqué avec des minéraux naturels, le béton peut être considéré comme une roche artificielle [2].

Nous abordons dans ce travail un type de béton qui est le béton ordinaire, est un matériau de construction composite constitué d'un mélange de granulats (sable, gravillons) et d'un liant. Le liant appelé ciment, c'est un liant hydraulique.

Dans ce chapitre nous allons présenter les généralités sur le béton et l'utilisation des différents types de sables (sable de carrière, deux types de sables de dune sable de mer, sable de rivière et un sable recyclé).

I.2. Généralités sur le béton

I.2.1. Historique

Le béton de latin bitumen existait depuis les Romains, l'orthographe moderne datant du XIIe siècle avec le sens de mélange de mortier et de gravier.

Le béton a connu un grand développement avec la création du béton armé à la fin du XIXe siècle. Il est composé du ciment, sable, gravier, eau et éventuellement d'adjuvants [3].

L'invention de la chaux hydraulique par Louis Vicat en 1817, celle du ciment portland par Aspdin en 1824 et l'installation des premiers fours par Pavin de Lafarge au Teil en France en 1830 préparent l'avènement du béton. Les premières cimenteries se développent en France entre 1850 et 1860, dans le Boulonnais avec la Société des Ciments Français.

CHAPITRE I : Etude Bibliographique

C'est en fait le mariage ciment-métal, appelé ciment armé, puis béton armé, qui va donner au béton son plein essor. Le premier exemple est la barque de Lambot (1848), le plus significatif, l'immeuble Hennebique à Paris (1898).

Au XXe siècle, le béton se développera considérablement et, parallèlement, l'évolution de ses techniques : usage croissant des adjuvants, béton prêt à l'emploi, matériel de mise en œuvre, mise au point de béton précontraint par Freyssinet. Plus récemment, les progrès réalisés dans les bétons de hautes performances lui donnent ses lettres de noblesse dans le bâtiment, avec une réalisation comme l'Arche de la Défense, ou en génie civil : pont de l'Ile de Ré, pont sur l'Elorn, pont de Normandie, Viaduc de Millau [4].

I.2.2. Définition du béton

Le béton est un mélange de plusieurs composants : ciment, eau, granulats et, le plus souvent, adjuvants qui constituent un ensemble homogène. Les composants sont très différents : leurs masses volumiques vont, dans les bétons courant, de 1 (eau) à 2 (ciment) t/m³ ; les dimensions de leurs grains s'échelonnent de 0,5 μm (grains les plus fins du ciment) à 25 mm (gravillon).

Dans les bétons où une très grande compacité est recherchée (tels que les bétons à hautes performances, par exemple) la dimension des éléments les plus fins peut descendre en dessous de 0,1 μm (fillers, fumé de silice). De même les granulats très légers ont des masses volumiques inférieures à 100 kg/m³.

La pâte (ciment + eau), élément actif du béton enrobe les granulats. L'objectif est de remplir les vides existants entre les grains. La pâte joue à l'état frais le rôle de lubrifiant et de colle à l'état durci.

La confection d'un béton approprié à sa destination consiste, à partir d'études graphiques ou expérimentales, à déterminer et à optimiser la composition granulaire et le dosage des divers constituants [4].

I.2.3. Fabrication et mise en œuvre du béton

La fabrication du béton est un processus spécifique : en fonction de la nature et la qualité de chacun des composants (ciment, granulats, eau, adjuvant), il présentera des caractéristiques différentes. Une fois fabriqué, le béton prêt à l'emploi est un produit

CHAPITRE I : Etude Bibliographique

fais, qui doit être transporté et utilisé rapidement sur des marchés locaux, et dans des conditions optimales [5].

I.3. Les caractéristiques physiques et mécaniques du béton

I.3.1. Les caractéristiques physiques

I.3.1.1. L'ouvrabilité

C'est l'aptitude d'un béton à une bonne adéquation à la méthode de sa mise en œuvre dans un ouvrage donné compte tenu de ces caractéristiques. Elle est influencée par la granulométrie et la forme des granulats, par le dosage en ciment et en eau, par l'emploi éventuel d'adjuvants. Les essais de mesure de consistance du béton les plus courants sont l'essai d'affaissement au cône d'Abrams norme [NF P 18-451] [6].

I.3.1.2. La compacité et la porosité

Sont des caractéristiques physiques essentielles du béton, conditionnent plusieurs propriétés de ce dernier telles que sa perméabilité, ses résistances mécaniques, son module d'élasticité et surtout sa durabilité

On distingue les pores contenus dans les granulats leur taille et leur volume n'évoluent pas, par contre ceux se trouvent dans la pâte de ciment, leur dimension diminue avec la progression d'hydratation on distingue [6]:

- Les pores capillaires ($0,01\mu\text{m} \leq \varnothing \leq 0,5\mu\text{m}$) occupent les espaces entre les grains de ciment en suspension dans l'eau, leur taille et leur volume dépendent du rapport E/C. La perméabilité du matériau est essentiellement dépendante de ces pores.
- Les pores relatifs aux hydrates ou pores des gels ($\varnothing < 40$ angströms) sont présents dans le gel de C-S-H. Le volume de ces pores n'est pas affecté par le rapport E/C.

Ces pores sont divisés en pores inter-cristallites qui se situent entre les gels et les pores intra-cristallites présents à l'intérieur du gel lui-même.

Les bulles d'airs occlus ($\varnothing > 1\text{mm}$) piégées non intentionnellement à l'intérieur du béton lors du malaxage du béton frais [7].

I.3.1.3. La masse volumique

La masse volumique, aussi appelée densité volumique de masse, est une grandeur physique qui caractérise la masse d'un matériau par unité de volume, et est exprimée en t/m^3 , en kg/dm^3 , ou en g/cm^3 .

CHAPITRE I : Etude Bibliographique

Elle est généralement notée par les lettres grecques ρ (rhô) ou μ (mu). On distingue :

I.3.1.3.1. La masse volumique apparente

La masse volumique apparente d'un matériau est la masse volumique d'un mètre cube du matériau pris en tas, comprenant à la fois des vides perméables et imperméables de la particule ainsi que les vides entre particules. La masse volumique apparente d'un matériau pourra avoir une valeur différente suivant qu'elle sera déterminée à partir d'un matériau compacté ou non compacté. Il faut donc préciser : masse volumique apparente à l'état compacté ou masse volumique apparente à l'état non compacté.

I.3.1.3.2. La masse volumique absolue

La masse volumique absolue d'un matériau est la masse d'un mètre cube de ce matériau, déduction faite de tous les vides, aussi bien des vides entre les grains que des vides à l'intérieur des grains.

I.3.2. Les caractéristiques mécaniques

I.3.2.1. La résistance à la compression

La résistance à la compression est l'une des caractéristiques principales du béton durci et sa résistance mécanique en compression à un âge donné (28 jours). Elle est désignée par f_{c28} et se mesure par compression axiale d'une éprouvette à 28 jours selon la norme [NF EN12390-3].

De plus la connaissance des propriétés mécaniques du béton est primordiale pour une bonne conception des ouvrages. Surtout que le béton est considéré comme étant un matériau fragile lorsqu'il est soumis à l'action d'une charge croissante. En outre, le béton ne laisse pas apparaître des déformations importantes avant sa rupture, et il se comporte mieux en compression qu'en traction. La résistance mécanique des bétons dépend de plusieurs paramètres [8] :

- Le type et la classe du ciment ;
- La qualité des granulats utilisés pendant le bétonnage ;
- Le dosage des matériaux utilisés ;
- La cadence et les conditions de réalisation.

CHAPITRE I : Etude Bibliographique

I.3.2.2. La résistance à la traction

Elle est moins étudiée que la résistance en compression car le béton est conçu essentiellement pour résister à la compression, et son comportement en traction est quasi fragile.

Le comportement en traction du béton peut être identifié par différents essais [9] :

- Traction par fendage : (essai brésilien).
- Traction par flexion.

I.3.3. Porosité du béton

La porosité mesure la proportion de volume total de béton occupé par les pores et est habituellement exprimée en pourcentage. Etant donné l'existence de plusieurs types de pores, certains contribuent à la perméabilité et d'autres pas, il est important de bien faire la distinction entre porosité et perméabilité.

I.3.3.1. Porosité Point de vue microscopique

Principalement on rencontre :

- Les pores capillaires ($0,01 \mu\text{m} < \text{diamètre} < 5 \mu\text{m}$)

Ce sont surtout le volume total et la dimension des pores capillaires qui influencent le plus la perméabilité du béton (figure II.1)

- Les pores de gel (diamètre $< 40 \text{ \AA}$)

Contiennent de l'eau stable (difficile à l'extraire). Pas une grande influence sur la perméabilité.

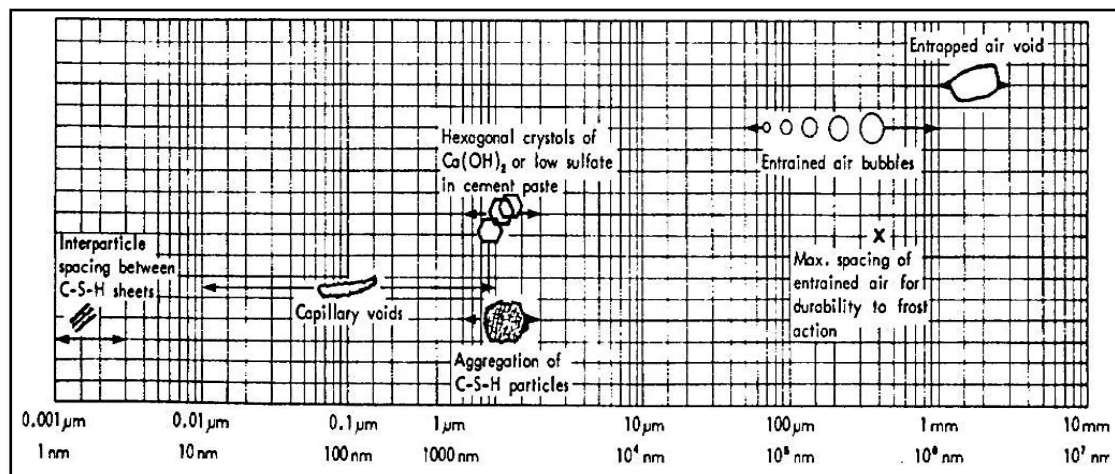


Figure I.1 : Porosité Point de vue microscopique [10].

I.3.3.2. Porosité Point de vue macroscopique

Si la porosité est élevée et que les pores sont interconnectés, ils contribuent au transport des fluides à travers le béton de sorte que la perméabilité, aussi, est élevée. Par contre, si les pores sont discontinus ou ne permettent pas le passage d'un fluide pour quelque raison que ce soit, la perméabilité est faible même si la porosité est élevée (figure II.2).

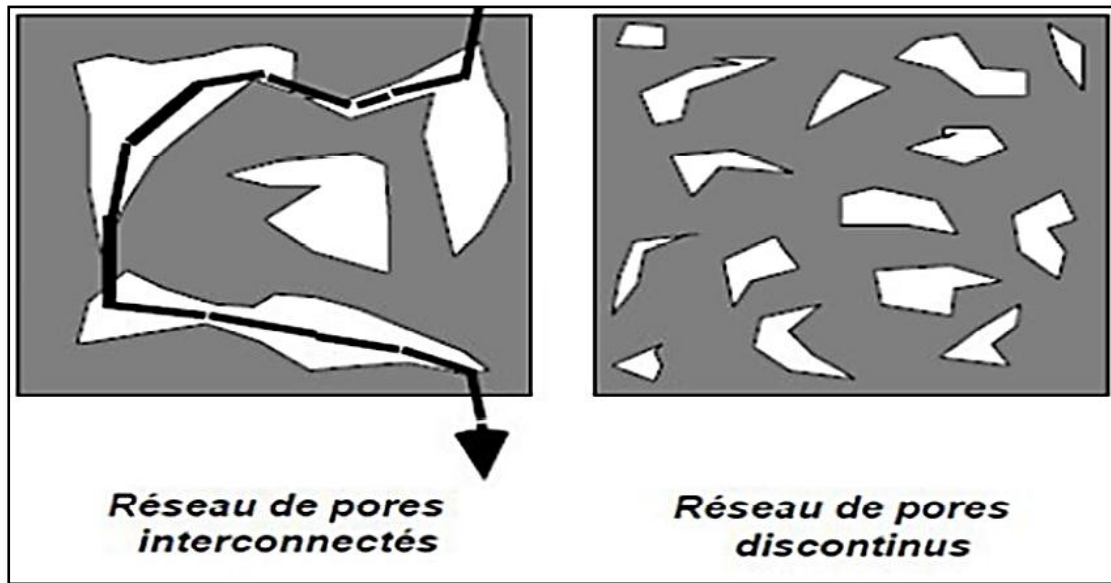


Figure I.2 : Porosité Point de vue macroscopique [10].

I.3.3.3. L'absorption d'eau par capillarité

L'absorption capillaire dépend de la structure poreuse (porosité ouverte, taille et interconnexion des pores).

L'eau est nécessaire lors de la fabrication du béton, pour l'ouvrabilité et pour le développement des résistances. Les pores capillaires sont causés par l'excédent d'eau (proportion d'eau qui n'est pas utilisée pour l'hydratation).

Un béton étanche doit avoir les capillaires les plus petits possibles (figure II.3).

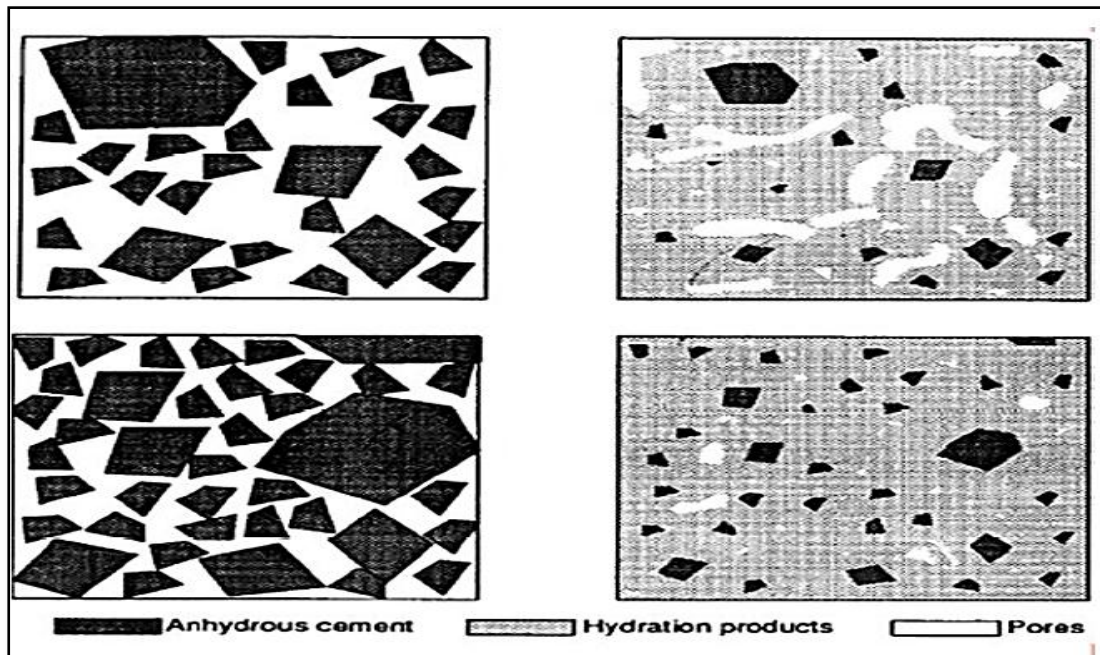


Figure I.3 : la structure des pores capillaires pour deux rapports E/C différent [10].

I.4. Domaines d'emploi des bétons

Performances et souplesse d'emploi permettent au béton d'être présent dans tous les domaines du bâtiment et des travaux publics.

I.4.1. Bâtiments

Le béton a sa place dans les bâtiments d'habitations (logements), écoles, hôpitaux... aussi bien que dans les constructions liées à l'activité professionnelle (usines, ateliers, commerces, bureaux) ou dans des réalisations diverses (socioculturelles, sportives ou de loisir...). Ses qualités lui permettent de répondre aux exigences des différentes parties de la construction :

- Structure ;
- Enveloppe ;
- Plancher ;
- Couverture.

I.4.2. Travaux publics

➤ Les ponts

Les progrès techniques et, en particulier l'évolution des caractéristiques du béton, permettent de réaliser des portées atteignant 800m pour les ponts haubanés.

CHAPITRE I : Etude Bibliographique

➤ Les tunnels

Pour les tunnels, le béton est soit coulé en place, soit utilisé sous forme de voussoirs préfabriqués. Ceux-ci sont posés à l'avancement de la machine à forer-le tunnelier- et permettent de chemiser la galerie.

➤ Les barrages

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

➤ Les routes

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

I.4.3. Autres ouvrages

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

I.5. Avantages et inconvénients du béton

I.5.1. Avantages

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

CHAPITRE I : Etude Bibliographique

- Les ressources nécessaires pour sa fabrication existent dans de nombreux pays en quantités presque illimitées.
- Il exige peu d'énergie pour sa fabrication [11].

I.5.2. Inconvénients

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

- Son poids propre élevé (densité de 2,4 environ qui peut être réduite à 1,8 dans le cas de bétons légers de structures et à moins de 1,0 dans le cas de béton légers d'isolation).
- Sa faible isolation thermique (elle peut être facilement améliorée en ajoutant une couche de produit isolant ou en utilisant des bétons légers spéciaux).
- Le coût élevé entraîné par la destruction de béton en cas d'une modification d'un ouvrage.

I.6. Les composants d'un béton

Le béton est un mélange qui se compose de granulats (gravier + sable) et de liants (ciment + eau).

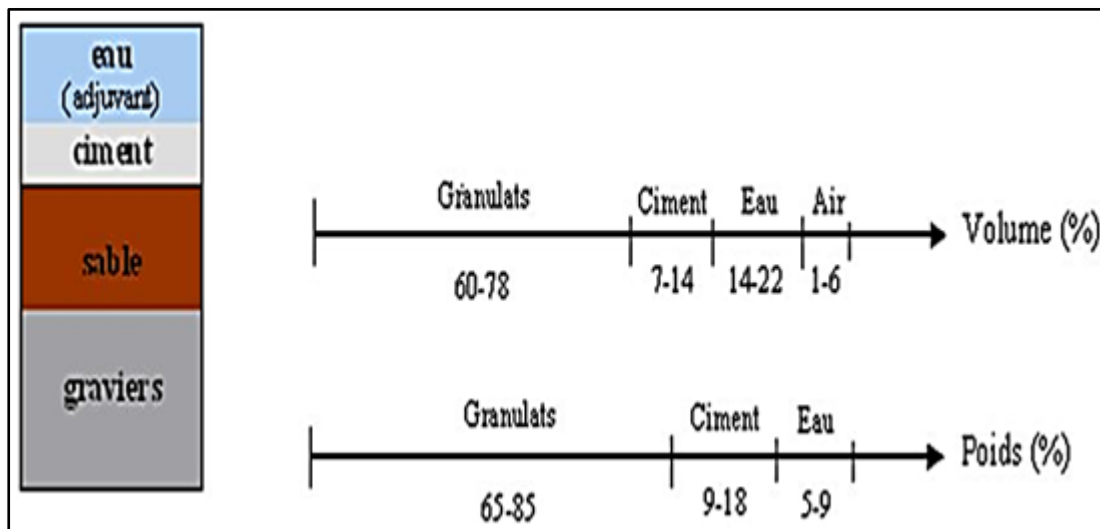


Figure I.4: Constituants et ordre de grandeur des proportions des constituants d'un béton [12].

CHAPITRE I : Etude Bibliographique

I.6.1. Les Ciments

Le ciment est un liant hydraulique qui se présente sous la forme des poudres minérales fines obtenues par la cuisson à haute température (vers 1450°C) et le broyage d'un mélange minéral (80 % de calcaire +20 % d'argile en général) [13].

Ce liant gâché avec de l'eau, forme une pâte qui fait prise et durcit en réaction au processus d'hydratation. Après durcissement, cette pâte conserve sa résistance et sa stabilité, même sous l'eau. Le ciment est un constituant de base du béton [14].

I.6.1.1. Les classe de résistances des ciments

Les ciments sont répartis en trois classes, 32,5 – 42,5 – 52,5, définies par la valeur minimale de la résistance normale du ciment à 28jours.

La résistance normale d'un ciment est la résistance mécanique à la compression mesurée à 28jours conformément à la norme [NF EN196-1] et exprimée en N/mm² (1N/mm² = 1MPa =10 daN/cm² =10 bar).

Tableau I.1 : Les classes de résistance de ciments [15].

Désignation de la classe de résistance	Résistance à la compression (en MPa)		
	Résistance à court terme à 2 jours	Résistance à court terme à 7 jours	Résistance courante à 28 jours
32,5 N	-	≥ 16	≥ 32,5 ≤ 52,5
32,5 R	≥ 10	-	
42,5 N	≥ 10	-	≥ 42,5 ≤ 62,5
42,5 R	≥ 20	-	
52,5 N	≥ 20	-	≥ 52,5 -
52,5 R	≥ 30	-	

La classe R correspond à une résistance au jeune âge plus élevée que la classe normale correspondante N.

CHAPITRE I : Etude Bibliographique

I.6.1.2. Les différents types du ciment

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

- Le CEMI (ciment portland) : (contient au moins 95% de clinker et au plus 5% de constituants secondaires), c'est un ciment adapté pour la conception de béton armé ou précontraint car il offre un niveau de résistance élevée et recherchée.
- Le ciment CEMII A ou B (ciment portland composé) : (contient au moins 65% de clinker et au plus 35% d'autres constituants), ont pour particularité d'être très maniables ils sont donc utilisés dans les travaux d'usages courants tels que pour les chapes traditionnelles ou bien pour les enduits simples;
- Les CEM III A, B ou C (ciment de haute fourneaux) : (contient entre 36 et 80% de laitier de hauts fourneaux et 20 à 64% de clinker), sont adaptés à des environnements difficiles, ils sont réputés pour être durables ;
- Les CEM IV A ou B (ciment de type pouzzolanique) : sont également adaptés à un milieu agressif, idéals pour des structures hydrauliques ;
- Les CEM V A ou B (ciment composé) : (contient de 20 à 64% de clinker, de 18 à 50% de cendres volantes et de 18 à 50% de laitier de hauts fourneaux), ont les mêmes propriétés physiques que CEM III mais pas les mêmes constituants [16].

I.6.2. L'eau de gâchage

Elle est conforme aux prescriptions de la norme [NBN EN 206-1].

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

Les eaux naturelles conviennent comme eaux de gâchage, à moins qu'elles ne contiennent des substances qui gênent le durcissement comme certaines eaux usées ou des eaux marécageuses. En cas de doute, une analyse chimique s'impose. La résistance d'un béton dépend du rapport E/C (masse d'eau/masse de ciment) du mélange. Le rapport E/C d'un béton courant varie entre 0.4 (qualité supérieure) et 0.6 (béton de fondation).

CHAPITRE I : Etude Bibliographique

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

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

On évitera toujours l'approvisionnement en eaux stagnantes odoriférantes [17].

I.6.3. Les granulats dans les bétons

Les granulats c'est l'ensemble de grains minéraux appelés, sables, gravillons ou cailloux, suivant leur dimension comprise entre 0 et 80mm. Ils constituent le squelette des bétons et améliorent leur résistance mécanique [18].

Les granulats sont d'origine détritique, sédimentaire, métamorphique ou éruptive. On distingue les granulats roulés, extraits de ballastières naturelles ou dragués en rivière ou en mer, et les granulats concassés, obtenus à partir de roches exploitées en carrière. Ils sont classés en fonction des dimensions de leurs grains. La courbe granulométrique représente la distribution en pourcentage des poids des matériaux passant dans des tamis et passoires de dimensions normalisées. Par convention, on appelle sables les grains de dimensions comprises entre 0,08 mm et 5 mm, gravillons ceux dont les dimensions sont comprises entre 5 et 25 mm et cailloux ceux dont les dimensions sont supérieures à 25 mm. Pour les ouvrages courants, les granulats n'incluent que des sables et des gravillons.

Les granulats doivent être propres et chimiquement inertes vis-à-vis du ciment, de l'eau et de l'air. Ils doivent répondre à certaines exigences de forme, de texture de surface, de résistance à la compression, de résistance à l'abrasion, de porosité et de tenue au gel [19].



Figure I.5 : Les différents types des granulats [20].

I.6.3.1. Caractéristiques dimensionnelles

Les granulats sont caractérisés par les dimensions et la forme de leurs grains :

➤ **Forme**

Il existe plusieurs formes de granulats :

- Granulats arrondies ;
- Granulats sous-arrondies ;
- Granulats angulaires ;
- Granulats sous-angulaire.

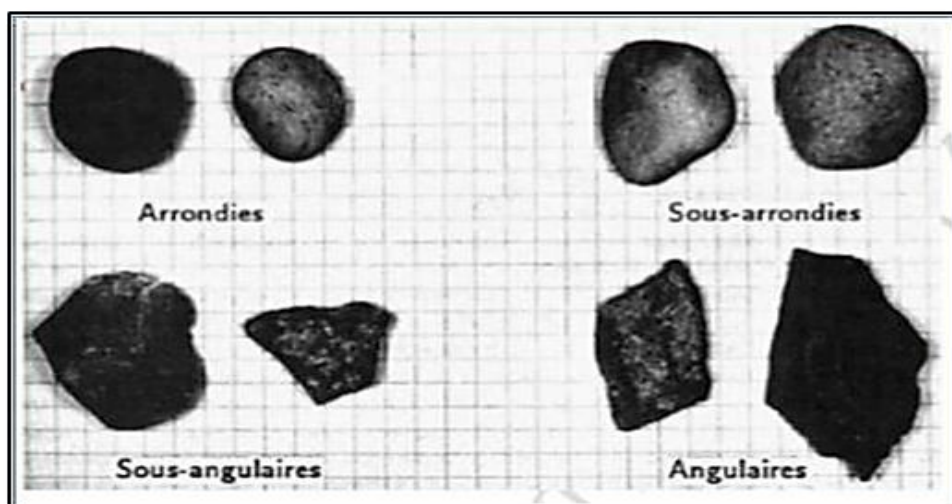


Figure I.6 : Les différentes formes des grains [20].

CHAPITRE I : Etude Bibliographique

➤ Dimensions

Les granulats varient du plus fin au plus gros, selon les dimensions de ses grains

➤ Granulométrie

Les grains d'un matériau granulaire ont des dimensions variables.

La granulométrie est la distribution massique des grains suivant leur dimensions.

La technique employée pour la détermination de la granulométrie dépend des dimensions des granulats :

Gros granulats ($>80\mu\text{m}$) : Tamisage, en utilisant des tamis ou des passoires.

Granulats fins ($<80\mu\text{m}$) : Sédimentométrie ou granulométrie par laser.

I.6.3.2. Classification des granulats

Les granulats sont classés selon deux critères :

I.6.3.2.1. Classification des granulats selon leur provenance

➤ Granulats naturels

a) Granulats roulés

Ils sont les résultats de la désagrégation des roches par l'eau, le vent ou le gel. Ainsi ils se sont formés des dépôts sédimentaires de grains de grosseur allant du sable fin aux gros blocs, de natures minéralogiques différentes.

Trois catégories de granulats roulés existent dans la nature :

- Les granulats de rivière (d'oued).
- Les granulats de mer.
- Les granulats de dunes.



Figure I.7 : Différents types de granulats.

b) Granulats concassés

Ils proviennent du concassage de roches dures (granits, porphyres, basaltes, calcaires durs...etc.). Ils sont caractérisés par un aspect anguleux à arêtes vives.

➤ Granulats artificiels

Ils proviennent de la transformation thermique des roches (exemple : laitier du haut fourneau) ou de démolition d'ouvrages.

I.6.3.2.2. Classification des granulats selon la grosseur

Selon leurs dimensions on distingue : les sables, les graviers, les cailloux, les galets et les moellons. Les dimensions soulignées sont celles de la série de base préconisée par la norme européenne [NF EN 933-2]. On distingue les familles de granulats suivantes:

- Fillers 0/D où $D < 2$ mm avec au moins 70 % de passant à 0,063 mm ;
- Sablons 0/D où $D < 1$ mm avec moins de 70 % de passant à 0,063 mm ;
- Sables 0/D où $1 < D < 6,3$ mm ;
- Graves 0/D où $D > 6,3$ mm ;
- Gravillons d/D où $d > \text{let } D < 125$ mm ;
- Ballasts d/D où $d > 25$ mm et $D < 50$ mm [21].

I.6.4. Les Graviers

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 différentes armatures de l'ouvrage [22].

La granularité du gravier est fixée par le D prescrit ou admissible pour le béton à préparer [23].

De dimensions supérieures à 5 mm pour les gravillons et à 20 mm pour les cailloux, ils proviennent soit de concassage (gravillons concassés), soit directement de rivière ou sablière (granulats roulés).

CHAPITRE I : Etude Bibliographique

Les qualités primordiales d'un caillou ou gravillon sont :sa résistance à l'écrasement et son adhérence avec la pâte de ciment. La résistance du béton dépend de ces qualités.

Comme la surface spécifique (surface du granulats/volume) est plus élevée pour les granulats concassés et que les aspérités favorisent l'adhérence, c'est vers ce type de granulats que doit s'orienter le choix. Par contre, les granulats roulés donnent des bétons plus maniables et moins fissurables.

La nature de la roche joue un rôle important par sa résistance à la compression. Les roches d'origine cristallines sont plus résistantes que les roches d'origine sédimentaires (calcaires). On évitera les matériaux friables en plaques (schistes) ou en aiguilles.

Qualités attendues :peu poreux sinon on obtient des bétons sensibles au gel, résistances aux ambiances agressives (éviter les granulats calcaires en milieu acides), stabilité de matériau (certaines roches porphyriques peuvent se décomposer (kaolinisation) au contact prolongé de l'eau), la résistance (on choisira des roches de résistances supérieur à 80Mpa), l'adhérence(on évitera les calcaires tendres ou demi durs dont la surface est recouverte d'une fine couche de filler (nuisible a une bonne adhérence), ainsi que les granulats lisses tels les silex roulés) [24].

I.6.5. Le sable

Le sable est un élément essentiel entrant dans la composition du béton. Son utilisation permet d'assurer une continuité granulaire nécessaire entre le ciment et le gravier pour une meilleure cohésion du béton. La demande sans cesse croissante sur les granulats a provoqué un épuisement rapide des sabliers et une exploitation anarchique des sables de mer causant ainsi un grave préjudice à l'équilibre de l'environnement à proximité des plages en ayant des répercussions directes sur les ressources naturelles, l'érosion des berges d'oued et l'avancée de mer [25].

Le terme sable est généralement utilisé pour désigner un mélange de grains meuble n'ayant aucune cohésion et dont la dimension des grains est généralement comprise entre 0,062 et 5.

CHAPITRE I : Etude Bibliographique

Du point de vue géologique, le terme sable recouvre deux aspects : un aspect granulométrique (taille des grains) et un aspect minéralogique (nature minéralogique des grains). Une particule individuelle est appelée grain de sable.

Le sable peut avoir une origine naturelle ou artificielle ; d'origine naturelle, il provient de la désagrégation naturelle de roches au cours de leur processus d'érosion, artificiel, il est obtenu par broyage de roches massives après des opérations de concassage et de criblage, il est appelé aussi sable de carrière, il est caractérisé par des grains aux aspérités marquées. La composition du sable varie d'un endroit à l'autre selon la nature des roches. Dans l'industrie du verre, de la fonderie et d'autres domaines, le sable recherché est celui qui a une grande teneur en silice un bon classement et des grains arrondis ou subarrondis : sont appelés sables siliceux ou sables industriels.

I.6.5.1. Les différents constituants du sable

Le sable comporte différentes variétés de minéraux qui sont dérivés de l'élément de base le silicium (Si). Ces principaux minéraux sont classés comme suit : silice, silicates (famille la plus abondante dans la nature, plus de 90 % du poids de l'écorce terrestre), argiles et carbonates. Ces dernières se trouvent généralement sous forme de trace dans le sable [25].

➤ **Le silicium**

Le silicium est un corps pur de symbole chimique Si, de numéro atomique 14, de poids atomique 28,08 g/mol. Il ne se trouve jamais à l'état natif mais constitué sous forme de silice et de silicate. C'est l'élément le plus abondant de l'écorce terrestre (environ 27,2 %) après l'oxygène (environ 60%).

➤ **La silice (ou quartz SiO₂)**

Le dioxyde de silicium ou silice occupe parmi les oxydes, une place exceptionnelle. Les nombreuses applications industrielles (optique, électronique, production de matériaux réfractaires, etc.).

➤ **Les silicates**

Les silicates désignent une importante famille de minéraux dérivants de la silice (SiO₂) car ils constituent environ 97 % de la croûte terrestre. Ces minéraux dont le squelette est essentiellement formé par des tétraèdres de silicium [SiO₄] sont

additionnés à d'autres éléments tels l'aluminium, le magnésium, le fer, le calcium, le potassium, le sodium etc.

➤ **Les argiles**

Les argiles regroupent l'ensemble des matériaux dont les particules n'excèdent pas 2 mm de diamètre équivalent. Ils correspondent à des minéraux spécifiques que l'on ne rencontre jamais en particule plus grosse. Ces minéraux sont des silicates d'aluminium hydratés, ils appartiennent à la famille des phyllo silicates qui présentent une structure cristalline en feuillet.

➤ **Les carbonates**

Les minerais de carbonate rencontrés le plus souvent dans les sols sont la Calcite CaCO_3 , la Dolomite $[\text{Ca Mg}(\text{CO}_3)_2]$, la Nahcolite (NaHCO_3) , la Trona $[\text{Na}_3\text{H}(\text{CO}_3)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}]$ et la Soda $(\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O})$.

I.6.5.2. Classifications des sables

On peut classer les sables selon dont [26]:

➤ **La granularité**

Permet de séparer les sable en trois catégories sont:

Sables fins ; Sables moyens ; Sables grossiers.

➤ **La propreté et la teneur en fines**

Elle est appréciée par la valeur de l'équivalent de sable.

➤ **La nature minéralogique**

En général, les sables peuvent être classés comme suit: Sables siliceux ; Sables silico-calcaires ; Sables calcaires.

➤ **Leurs provenances**

Selon leurs provenances [27], les sables peuvent être classés comme suit :

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.

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.

CHAPITRE I : Etude Bibliographique

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.

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.

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.

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

I.6.5.3. Les ressources des sables en Algérie

Les pratiques de l'industrie du béton en Algérie sont conditionnées par les ressources locales et sont relativement routinières. Cependant, l'industrie du béton est confrontée ces dernières années à des changements importants : utilisation d'adjuvants de plus en plus performants, développement de nouveaux bétons (bétons à hautes performances, béton auto-compactant) [26]. Dans notre pays, s'ajoute un bouleversement supplémentaire : l'emploi d'un nouveau type de sable. Trois familles de sables se distinguent :

➤ **Les sables ronds siliceux**

Dit ronds, sont issus d'un processus naturel d'érosion. En général, ils sont dragués dans les Oueds. Leur usage est courant depuis des années et est même recommandé. Cependant, les réserves disponibles sont proches de l'épuisement ou protégées par de nouvelles règles environnementales en matière de dragage des Oueds. Ce matériau est donc devenu moins intéressant économiquement.

➤ **Les sables de concassage calcaires**

Sont le produit d'un processus industriel contrôlé de concassage, de lavage et de criblage appliqué à des roches calcaires exploitées en carrières, la contrainte du coût de revient élevé, le rends économiquement moins intéressant.

CHAPITRE I : Etude Bibliographique

➤ Le sable de dune

Le sable de dune de l'erg occidental occupe 6% de la surface du Sahara Algérien. La figure I présente la situation géographique des ergs de l'Algérie.

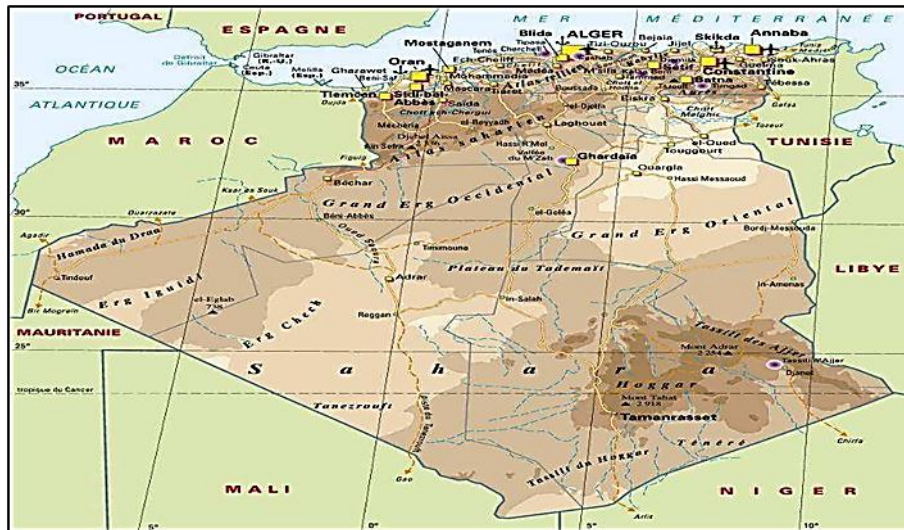


Figure I.8 : Situation géographique des ergs de l'Algérie [28].

Ce type de sable spécialement est un matériau d'une grande disponibilité en Algérie. Ce matériau est pratiquement non exploité, malgré les éventuelles caractéristiques qu'il peut présenter. L'utilisation de ce nouveau matériau dans le secteur de construction, peut soulager davantage le domaine d'habitat, et contribuer au développement des régions du sud algérien, très riches en sable de dune [29].

I.6.5.4. Utilisation de sable locale dans le béton en Algérie

En Algérie, la plupart des bétons courants sont actuellement fabriqués avec des granulats siliceux alluvionnaires. Face à une demande fort croissante, les ressources potentielles en alluvions, bien qu'importantes, sont épuisables et les gisements sont soumis à des contraintes environnementales de plus en plus rigides faisant croître leur coût d'exploitation déjà élevé [26].

Dans notre pays, malgré l'abondance de sable de dune dans le sud, ce matériau reste inconnu. Sa quantité se chiffre en milliards de m³. Il est disponible dans près de 60% du territoire.

De nombreux chercheurs, dans des thématiques scientifiques diverses, cherchent à exploiter ce type de sable, propre et présent à l'abondance. Son utilisation pourrait

CHAPITRE I : Etude Bibliographique

être liée à sa très forte teneur en silice, matériau à la base d'applications dans l'électronique et l'optique, ce sable présente aussi un grand intérêt économique et environnemental pour l'Algérie. En effet, la hausse de la demande du sable de construction en Algérie, l'incapacité des carrières algériennes à fournir du sable fin et l'arrêt programmé de l'utilisation du sable de plage, qui conduit à un grand problème écologique et touristique pour l'Algérie [28].

I.7. Conclusion

Le béton est aujourd'hui le matériau le plus utilisé dans le monde, plus que tous les autres matériaux réunis. Sans le béton, on ne pourrait pas réaliser ce qu'on construit aujourd'hui en matière de logements, d'écoles, d'hôpitaux et d'infrastructures. A la fois robuste et universel, l'ampleur et l'étendue de ses performances mécaniques et physiques augmentent sans cesse. C'est un matériau artificiel obtenu en mélangeant en proportions convenables et de manière homogène, du ciment (liant), un granulats (sable+ gravier), de l'eau et éventuellement des adjuvants.

L'objectif de ce chapitre est de faire la synthèse de connaissances existantes sur le béton et ses constituants. Nous avons donc réalisé une étude générale sur le béton, ses constituants, ses propriétés physiques et mécaniques, et domaine d'utilisation ainsi que ses avantages et inconvénients.

On va étudier le béton ordinaire avec différents types de sables, et analyser son comportement mécanique. Dans les chapitres qui suivent, nous allons étudier les différentes caractéristiques physiques et mécaniques des bétons obtenus.

CHAPITRE II :

CARACTERISATION

DES MATERIAUX UTILISES

II.1. Introduction

Le présent chapitre, subséquent l'étude bibliographique, va être destinée à l'exposition des méthodes et approches que nous avons utilisées pour mener notre projet de fin d'étude. Alors on y traitera la caractérisation des matériaux utilisés par l'exécution des différentes méthodes d'essais exploitées, accompagnées avec les références de leurs normes correspondantes.

II.2. Matériaux utilisés

II.2.1. Granulats

II.2.1.1. Sables

Six types de sables sont utilisés dans cette étude :

Sable de carrière : il provient de la carrière d'Aine Abid (Constantine) ;

Sable de dune1 : il provient de Oum Ali (Tebessa) ;

Sable de dune2 : il provient de Oued Souf ;

Sable de mer : il provient de la wilaya de Annaba plage d'Sidi Salem ;

Sable de rivière (oued) : il provient de Boutheldja (Taref);

Sable recyclé : il provient d'un béton de démolition (Annaba);

Ils sont caractérisés par les essais physiques suivants :

- Une analyse granulométrique.
- Module de finesse.
- Détermination de la masse volumique apparente.
- Détermination de la masse volumique absolue
- Détermination de l'équivalent du sable.



Figure II.1 : Différentes types de sables utilisés.

II.2.1.2. Gravies

Dans cette étude nous avons utilisé deux fractions de gravier (3/18) (8/15) ; provenant de la de la carrière d'Aine Abid (Constantine) caractérisé par les essais physiques suivants :

- Détermination des masses volumiques apparente et absolue ;
- Analyse granulométrique ;
- Essai Micro Deval ;
- Essai de Los Angeles.



Figure II.2 : Gravier 8/16.



Figure II.3 : Gravier 3/8.

II.2.2. Ciment



Figure II.4 : Ciment utilisé.

Le ciment utilisé dans cette étude est de type CEM II/A de classe 42.5, c'est un ciment portland composé, résultant d'un broyage simultané de clinker (70 à 80 %), de laitier granulé (15 à 25 %) et de gypse (5 %), conforme à la norme algérienne NA 442 (NA 442, 05) et provenant de la cimenterie de Hdjar Essoud.

La composition chimique et minéralogique du ciment sont données dans les tableaux II.1 et II.2.

Tableau II.1 : Composition chimique du ciment.

Oxydes	CaO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	SO ₃	PAF	CaO libre
% massique	60,24	5,69	23,25	3,36	0,74	0,27	0,45	1,94	1,67	0,98

Tableau II.2 : Composition minéralogique du clinker.

Minéraux	C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF
%	59,66	16,45	9,14	11,02

II.2.3. Eau de gâchage

L'eau de gâchage utilisée pour la préparation des différents mélanges est une eau potable de robinet du département de génie civil de la région d'Annaba conforme à la norme [NF EN 1008].

II.3. Essais de caractérisation

II.3.1. Analyse granulométrique

L'analyse granulométrique permet de déterminer la grosseur et les pourcentages pondéraux respectifs. Pour les sables, on utilisera en général les tamis de modules 0.08 - 0.16 - 0.315 - 0.63 - 1.25 - 2.5 - 5.0. et pour le gravier, on utilisera en général les tamis de modules 3.15 - 5.0 - 6.3 - 8 - 10 - 12.5 - 16. L'essai selon la norme [NF P 18-560].



Figure II.5 : Analyse granulométrique.

II.3.2. Module de finesse

La norme [XP P 18-540] définit le module de finesse d'un sable, qui caractérise sa granularité, comme le 1/100 de la somme des refus, exprimés en pourcentage, sur les différents tamis de la série suivante : 0,16 - 0,315 - 0,63 - 1,25 - 2,5 - 5,0 mm.

II.3.3. Mesure de la propreté (l'essai d'équivalent de sable)

Cet essai a pour but de mesurer la propreté des sables entrant dans la composition des bétons. L'essai consiste à séparer les floccules fins contenues dans le sable. Une procédure normalisée permet de déterminer un coefficient d'équivalent de sable qui quantifie la propreté de celui-ci selon la norme [P 18-597].



Figure II.6 : Essai d'équivalent de sable.

II.3.4. Masse volumique apparente

La masse volumique apparente est la masse par unité de volume de la matière qui constitue le granulat, y compris les vides et des pores entre des grains. Cet essai est réalisé selon la norme [NF EN 1097-3].

L'essai consiste à remplir un récipient vide de volume connu de matériau sec sans le tasser et à peser ensuite cette quantité de matériau .on calcule la valeur de la masse volumique par le rapport :

$$\rho = \frac{M}{V} \text{ en (g/cm}^3\text{)}$$



Figure II.7 : Essai de masse volumique apparente.

II.3.5. Masse volumique absolue

La masse volumique apparente est la masse d'un corps par unité de volume sans vides entre les grains. Cet essai est réalisé selon la norme [NF EN 1097-3].

Il s'agit de mesurer la masse, par unité de volume de matière pleine sans aucun vide entre les grains en versant une quantité connue de la poudre dans un liquide inerte, si la matière est hydraulique, sinon, dans de l'eau.



Figure II.8 : Masse volumique absolue.

II.3.6. L'essai Micro Deval

L'essai Micro-Deval a pour but la détermination la résistance à l'usure par le frottement réciproque des éléments d'un granulat. La norme [P18-572] permet de déterminer le coefficient de micro-Deval.



Figure II.9 : Essai de micro Deval.

CHAPITRE II : Caractérisation des Matériaux Utilisés

II.3.7. L'essai de Los Angeles

L'essai Los Angeles permet de mesurer les résistances combinées aux chocs et à la détérioration progressive par frottement réciproques des éléments d'un granulat. Ce mode opératoire s'applique aux granulats utilisés pour la constitution des chaussées et bétons hydrauliques. La norme [P18-573] décrit l'essai Los Angeles.



Figure II.10 : La machine de Los Angeles.

II.4. Résultats

Tableau II.3 : Les caractéristiques physico-mécaniques des granulats utilisés
Granulats.

Caractéristiques	Unité	Granulats							
		Gravier 3/8	Gravier 8/16	Sable carrière	Sable de dune 1	Sable de dune 2	Sable de mer	Sable de rivière	Sable recyclé
Masse volumique apparente	g /cm ³	1.43	1.42	1.40	1.45	1.03	1.41	1.37	1.26
Masse volumique absolue	g /cm ³	2.60	2.60	2.58	2.44	2.56	2.63	2.60	2.57
Module de finesse	%	---	---	3.2	2.1	2.27	1.87	2.59	2.69
Équivalent de sable	%	---	---	82.4	84.63	91.58	100	81.2	82
Los Angeles	%	19.84	26.13	---	---	---	---	---	---
Coefficient micro deval	%	13.16	3.66	---	---	---	---	---	---

CHAPITRE II : Caractérisation des Matériaux Utilisés

Tableau II.4 : Les caractéristiques physiques du ciment.

Caractéristiques	Unités	Valeurs
Masse volumique apparente	g /cm ³	1,02
Masse volumique absolue	g /cm ³	3,01
Consistance normale	%	28
Début de prise	H /min	2/37
Refus au tamis 80µm	%	1,36

- Les résultats de l'analyse granulométrique des sables et du gravier

Tableau II.5 : Résultats de l'analyse granulométrique du gravier 3/8.

Tamis	mi (g)	ai (%)	Ai (%)	Tamisât (%)
8	6.6	0.41	0.41	99.59
6.3	177.3	11.09	11.5	88.5
5	480.6	30.05	41.55	58.45
3.15	905.1	56.60	98.15	1.85
fond	29.5	1.84	100	0.00
somme	1599.1			

Tableau II.6 : Résultats de l'analyse granulométrique du gravier 8/15.

Tamis	mi (g)	ai (%)	Ai (%)	Tamisât (%)
16	16.6	0.55	0.55	99.45
12.5	489	16.3	16.85	83.15
10	1052.4	35.08	51.93	48.07
8	1020.5h	34.02	85.95	14.05

CHAPITRE II : Caractérisation des Matériaux Utilisés

6.3	421.5	14.05	100
fond	0		
somme	3000		

Tableau II.7 : Résultats de l'analyse granulométrique du Sable carrière.

Tamis [mm]	Mi (g)	ai(%)	Ai (%)	Tamisât (%)
5	0	0	0	100
4	10	1	1	99
3.15	64.4	6.46	5.46	94.54
2.5	83.6	8.38	13.84	86.16
2	68.2	6.82	20.66	97.34
1.25	133.2	13.36	34.02	65.98
1	44.5	4.46	38.48	61.52
0.63	178.9	17.85	56.33	43.67
0.315	264.4	26.51	82.84	17.16
0.16	84.3	8.45	91.29	8.71
0.125	58.2	5.82	97.11	2.89
0.08	5.5	0.55	97.66	2.34
Fond	3.4	0.34	98	2

CHAPITRE II : Caractérisation des Matériaux Utilisés

Tableau II.8 : Résultats de l'analyse granulométrique du Sable de dune1.

Tamis [mm]	Mi (g)	ai(%)	Ai (%)	Tamisât (%)
5	0	0	0	100
4	1.4	0.14	0.14	99.86
3.15	4.9	0.49	0.63	99.37
2.5	6.2	0.62	1.25	98.75
2	8.1	0.81	2.06	97.94
1.25	34.1	3.43	5.49	94.51
0.63	233.7	23.54	29.03	70.97
0.315	539.1	54.3	83.33	16.76
0.16	94.8	9.54	92.87	7.13
0.08	62.3	6.27	99.14	0.86
Fond	8.1	0.82		0.05

Tableau II.9 : Résultats de l'analyse granulométrique du Sable de dune2.

Tamis [mm]	Mi (g)	ai(%)	Ai (%)	Tamisât (%)
5	0	0	0	100
4	0.8	0.08	0.08	99.92
3.15	1.2	0.12	0.2	99.80
2.5	1.6	0.16	0.36	99.64
2	7.6	0.76	1.12	98.88
1.25	24.1	2.42	3.54	96.46
0.63	321.3	32.28	35.82	64.18
0.315	526.1	52.85	88.67	11.33
0.16	104.2	10.47	99.14	0.86

CHAPITRE II : Caractérisation des Matériaux Utilisés

0.08	8.1	0.81	100	0
Fond	0.4	00.04		0.05

Tableau II.10 : Résultats de l'analyse granulométrique du Sable de mer.

Tamis [mm]	Mi (g)	ai(%)	Ai (%)	Tamisât (%)
5	0	0	0	100
4	0	0	0	100
3.15	0	0	0	100
2.5	0	0	0	100
2	0	0	0	100
1.25	0	0	0	100
0.63	52.2	5.43	5.43	94.57
0.315	821.4	82.42	87.85	12.15
0.16	62.9	6.31	94.16	5.84
0.08	40.4	4.05	98.21	1.79
Fond	17.6	1.76	99.97	0.03

Tableau II.11 : Résultats de l'analyse granulométrique du Sable de rivière.

Tamis [mm]	Mi (g)	ai(%)	Ai (%)	Tamisât (%)
5	0	0	0	100
4	1.5	0.15	0.15	99.85
3.15	4	0.40	0.55	99.45
2.5	9.3	0.93	1.48	98.52
2	11.5	1.15	2.63	97.37
1.25	91.7	9.17	11.8	88.20

CHAPITRE II : Caractérisation des Matériaux Utilisés

0.63	440.9	44.09	55.89	44.11
0.315	380.2	38.02	93.91	6.09
0.16	26.5	2.65	96.56	5.44
0.08	29.3	2.93	99.49	0.51
Fond	3.1	0.31	99.80	0.20

Tableau II.12 : Résultats de l'analyse granulométrique du Sable recyclé.

Tamis [mm]	Mi (g)	ai(%)	Ai (%)	Tamisât (%)
5	0.9	0.9	0	100
4	0.2	1.1	0	100
3.15	1.76	2.86	0	100
2.5	80.63	83.49	9	91
2	75	158.49	17	83
1.6	92	250.49	27	73
1.25	93	343.49	37	63
1	44.5	388.99	42	58
0.63	128.3	517.29	56	44
0.5	93.3	610.59	66	34
0.315	93.3	703.89	76	24
0.2	106.1	809.99	87	13
0.16	33.9	843.89	91	9
0.125	46.1	889.99	96	4
0.08	36.5	926.49	100	0
Fond	54.1	perte	19.41	

CHAPITRE II : Caractérisation de Matériaux Utilisés

La figure suivante présente la courbe granulométrique des différents types de sables ainsi que les graviers :

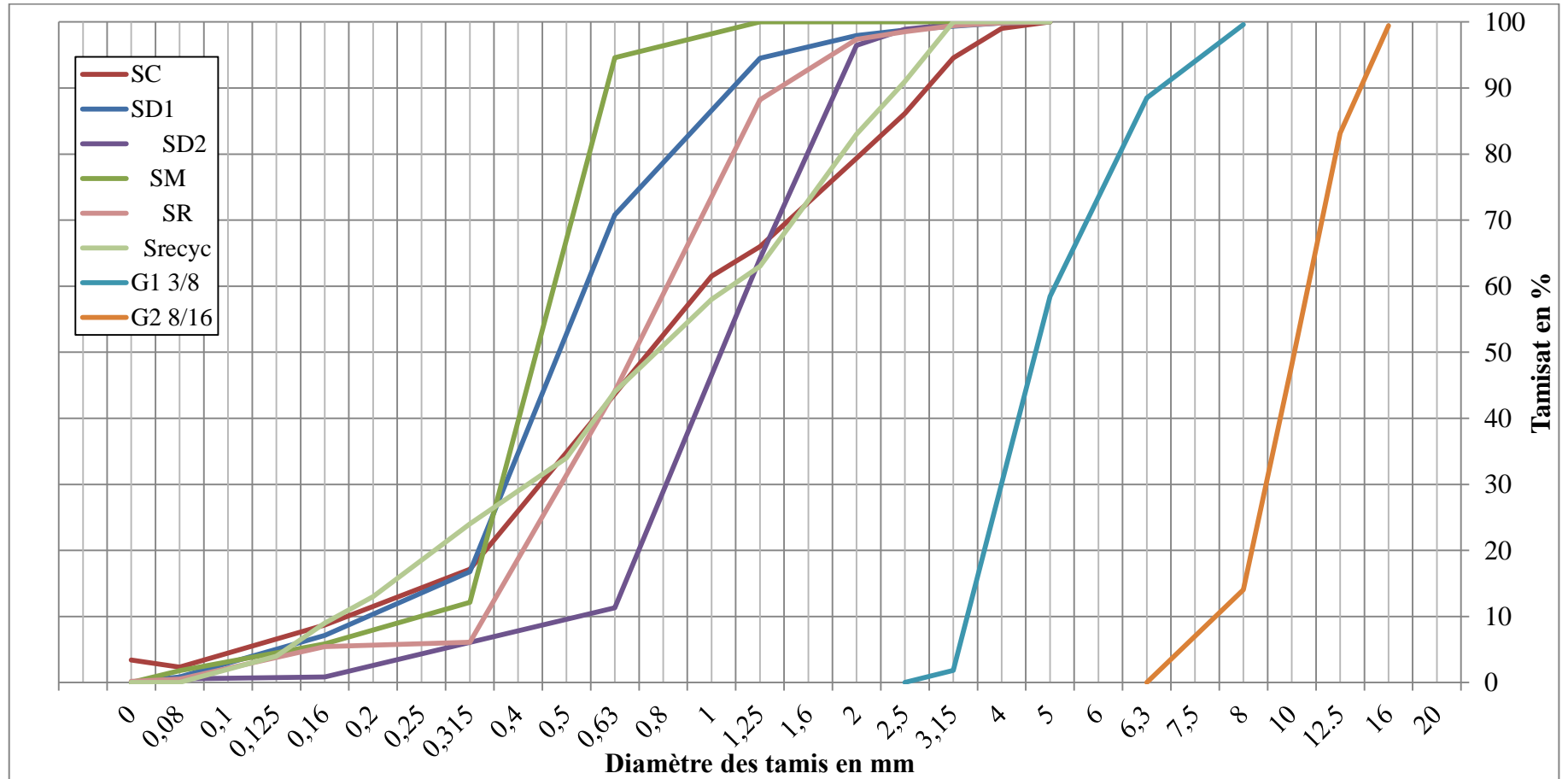


Figure II.11 : Courbe granulométrique.

II.5. Conclusion

Nous avons exposé dans ce chapitre les différentes méthodes de caractérisation physique et mécanique des matériaux utilisés dans notre projet de recherche (les granulats, le ciment) ainsi que les résultats obtenus.

CHAPITRE III :

Formulation des Bétons et Méthodes Expérimentales

III.1. Introduction

Dans ce chapitre nous allons exposer la formulation des bétons qu'on a utilisés pour confectionner les différents mélanges des bétons.

III.2. La méthode de Formulation (Dreux- Gorisse)

La méthode de formulation de Dreux-Gorisse permet de déterminer les quantités optimales de matériaux (eau E, ciment C, sable S, gravillon g et gravier G) nécessaires à la confection d'un mètre cube de béton, Plusieurs étapes de calcul successives sont nécessaires à l'obtention de la formulation théorique de béton :

- Détermination du rapport C/E ;
- Détermination de C et E ;
- Détermination du mélange optimal à minimum de vides ;
- Détermination de la compacité du béton ;
- Détermination des masses de granulats ;

➤ Données de base

$F_{c28} = 26 \text{ MPa}$;

$D_{\text{max}} = 15 \text{ mm}$;

$A_c = 7\text{cm}$; nous avons fixé l'affaissement à 7cm;

Résistance vraie à 28 jours : $F_{cE} = 42.5 \text{ MPa}$;

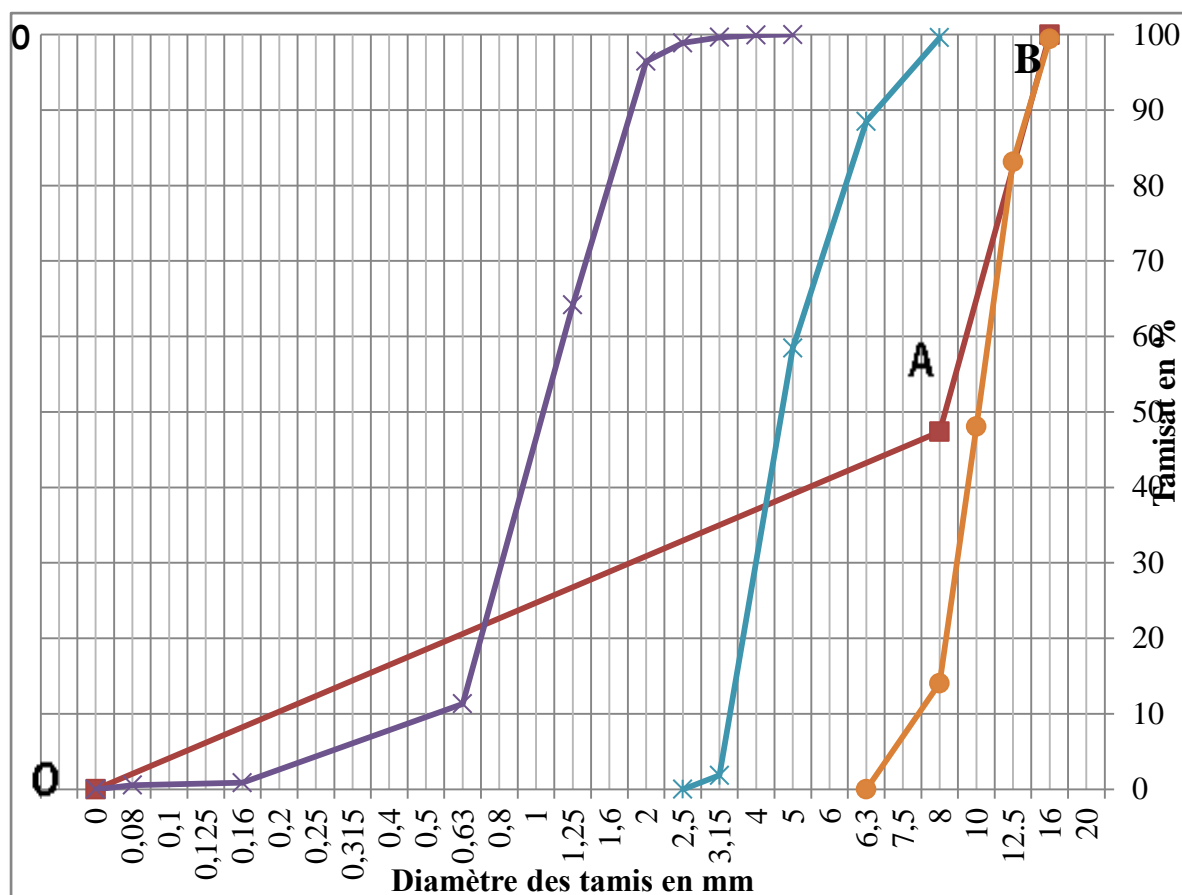


Figure III.1 : Courbe de référence OAB.

Dans le but de l'étude de l'influence de la nature du sable sur les propriétés physico-mécanique d'un béton ordinaire, six types de sables sont choisis pour cette étude dont les formulations sont données au tableau III.1.

Tableau.III.1 : Compositions des différents bétons.

Dénomination des bétons	Dosages des constituants (Kg/m ³)				
	Ciment	Eau	Sable	Gravier (3/8)	Gravier (8/16)
BSC	410	207	589.78	216.13	990.62
BSD1	410	207	532.43	152.33	1080.69
BSD2	410	207	628.68	180.18	984.19
BSM	410	207	519.86	180.94	1098.2
BSR	410	207	498.50	198.12	1098.68
BSRecyc	410	207	516.28	162.08	1342.32

III.3. Confection du béton

III.3.1. Procédure de malaxage [EN 480-1]

La méthode de malaxage suivante doit être adaptée afin de garantir la répétabilité des résultats et d'éliminer l'effet que pourrait avoir une absorption d'eau initiale sur la consistance. On à humecter l'intérieur de la cuve à l'aide d'un linge humide par ce qu'elle est sèche. On à introduire dans la cuve la totalité des granulats secs puis la moitié de la quantité d'eau de gâchage. Malaxer pendant 2 min, puis laisser reposer 2 autres minutes. Recouvrir la cuve pendant la période de repos pour réduire les effets de l'évaporation. Remettre le malaxeur en marche pendant 30 s après ou pendant l'addition du le ciment. Pendant les 30 s suivantes, ajouter le reste d'eau. Malaxer pendant 2 min. Déterminer la consistance dans les 5 min qui suivent la fin de malaxage.



Figure III.2 : Bétonnière utilisée pour le malaxage des composants.

III.3.2. Vibration [NF P18 421]

La mise en place du béton est réalisée sur une table vibrante (vibration externe), selon la norme NF P18 421. Le serrage du béton doit être effectué immédiatement après le remplissage des moules de façon à obtenir un serrage à refus du béton sans ségrégation.



Figure III.3: Eprouvette sur la table vibrante.

III.3.3. Confection des éprouvettes [NF P18 404]

Pour la confection de toutes nos éprouvettes, nous avons adopté la procédure suivante :

Avant le remplissage des moules, on applique un lubrifiant sur les parois pour éviter toute cohésion de la pâte, le remplissage des éprouvettes se fait en deux couches. La vibration a été effectuée sur une table vibrante.

III.3.3.1. Choix des éprouvettes

Dans cette étude on a utilisé trois types d'éprouvettes :

- 1) Des éprouvettes cubiques de dimensions (10*10*10) pour l'essai de compression.
- 2) Des éprouvettes prismatiques de dimensions (7*7*28). Pour l'essai flexion.
- 3) Des éprouvettes cylindriques de (11* 22) cm pour l'essai de traction par fendage.

III.3.3.2. Remplissage des moules



Figure III.4 : Remplissage des différents moules.

III.3.3.3. Conservation des éprouvettes

➤ Conservation avant démoulage

L'arasement terminé, les éprouvettes sont conservées, sans être déplacées pendant 24 heures \pm 1 heure au sein de notre laboratoire à la température d'environ de 20 ± 5 °C et de 25 ± 5 °C dans les pays chauds). Et chacune d'entre-elle est numérotée

➤ Conservation après démoulage

Les éprouvettes doivent être entreposées dans de l'eau jusqu'au moment de l'essai, à une température de 20 °C \pm 2 °C, ou dans une chambre à 20 °C \pm 2 °C et une hygrométrie relative ≥ 95 %.

Les éprouvettes conservées à l'eau ont présenté des résistances plus élevées que celles conservées à l'air suite à une hydratation plus complète du ciment.

III.4. Caractéristiques des bétons à l'état frais

III.4.1. Essai d'affaissement au cône d'Abrams [NF EN 12 350-8]

Cet essai est incontestablement un des plus simples et des plus fréquemment utilisés, car il est très facile à mettre en œuvre. Il ne nécessite qu'un matériel peu coûteux et peut être effectué directement sur chantier par un personnel non hautement qualifié mais ayant reçu simplement les instructions nécessaires au cours de quelques séances de démonstration.

Tableau III.2: Classe de consistance en fonction d'affaissement.

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



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

III.4.2. La masse volumique

La masse volumique des mélanges de béton frais est déterminée selon la norme [NF EN 12350-6]. Cette dernière est caractérisée par la masse d'une quantité de béton frais rapportée à son volume, comme il est indiqué dans la formule suivante :

$$M_v = \frac{M_{\text{rempli}} - M_{\text{vide}}}{V} \text{ (g/cm}^3\text{)} \quad (1)$$

M_{vide} : la masse du récipient vide en g

M_{rempli} : la masse du récipient rempli de matériau en g

V : volume du récipient en cm³



Figure III.6 : Essai de la masse volumique a l'état frais.

III.5. Caractéristiques des bétons à l'état durci

III.5.1. Masse volumique du béton à l'état durci

Après (7, 14, 28) jours de conservation à l'eau, les éprouvettes ont été séchées à l'air libre jusqu'à obtenir une masse constante pour calculer les masses à l'état durci.

III.5.2. La résistance à la compression

L'essai de compression simple est déterminé selon la norme française [NF 12390-3] sur des éprouvettes cubiques. L'éprouvette est centrée entre les plateaux de la presse hydraulique. L'essai de compression est conduit jusqu'à la rupture de l'éprouvette (vitesse de déplacement 0.02 mm/s). La résistance à la compression est calculée selon la formule suivante :

$$\sigma_c = \frac{F}{S} \text{ (MPa)} \quad (2)$$

σ_c : Contraint de compression.

F : charge de rupture.

S : section de l'éprouvette.



Figure III.7 : Machine de compression utilisée.

III.5.2.1. Modes de rupture des éprouvettes soumises à la compression (NF EN 12390-3)

Des exemples de rupture d'éprouvettes montrant des essais s'étant déroulés correctement sont donnés dans les figures III (10 et 11) pour les cubes.

Toute rupture incorrecte doit être enregistrée en faisant référence à la forme de rupture donnée par les figures suivantes et correspondantes au mieux à l'observation.

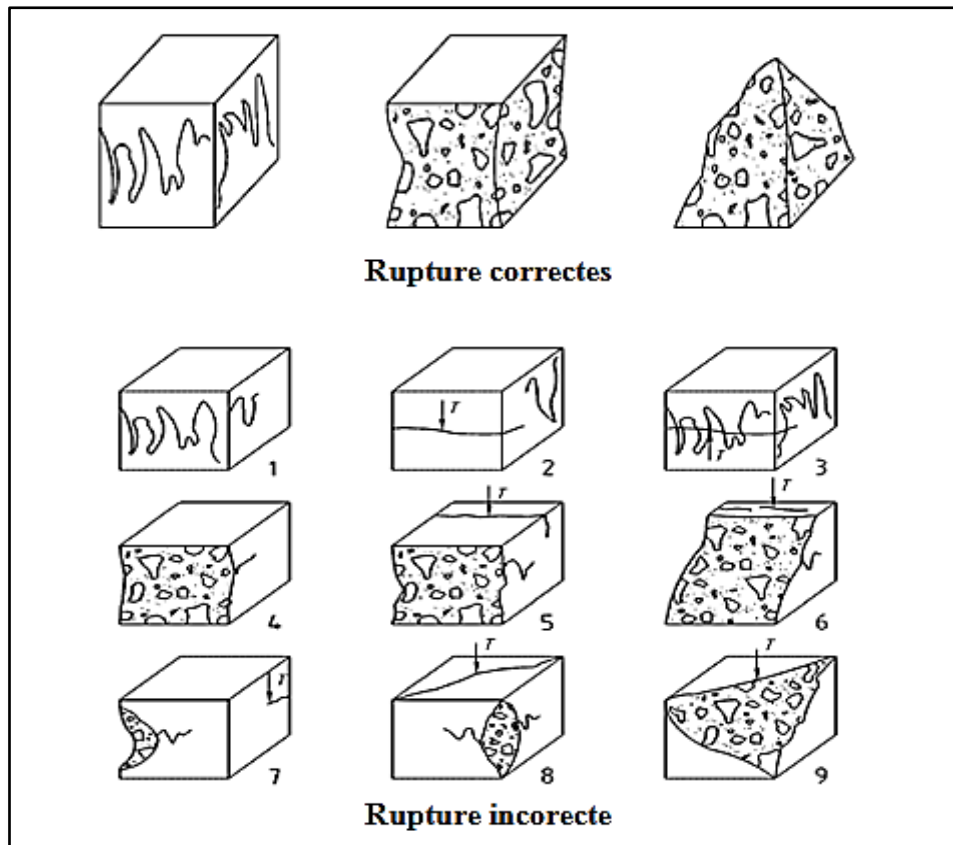


Figure III.8 : Modes de rupture.



Figure III.9: Exemple de rupture correcte.



Figure III.10: Exemple de rupture incorrecte.

III.5.3. Essai de flexion

L'essai de flexion est déterminé selon la norme française [NF 12390-5], il s'applique uniquement sur des éprouvettes prismatiques.



Figure III.11 : Dispositif d'essai de traction par flexion.

La résistance à la traction par flexion est obtenue par cette formule :

$$\sigma = \left(\frac{3}{2}\right) \left(\frac{Pl}{b.h^2}\right) \quad (3)$$

III.5.3.1. Modes de rupture des éprouvettes soumises à la flexion

On constate deux modes de ruptures des éprouvettes en traction par flexion, le premier cas : où la fissure se propage directement et se pénètre de façon droite dans le béton cela peut s'expliquer par l'élargissement rapide de la fissure puisque la capacité de déformation est très faible et se produit au niveau de la pâte cimentaire et les granulats en même temps. C'est le cas de la rupture fragile par clivage (rupture transgranulaire traverse les grains).

Le deuxième cas où la fissure n'est pas droite et elle se dévie à droite ou à gauche, afin qu'elle évite les granulats, elle se propage sein de la matrice et les contourne suivant précisément les joints des grains qui sont relativement fragiles par rapport aux granulats. C'est le cas de la rupture fragile par décohésion.(rupture intergranulaire contourne les grains).

Dans les deux cas, la rupture se produit brutalement par l'élargissement et la propagation rapide des microfissures qui deviennent des macros fissures et qui provoquent une séparation complète de l'éprouvette en deux parties.

Les fissures voient leurs ouvertures augmenter avec l'accroissement de l'effort de chargement.

Rappelons que le mécanisme de rupture est du type fragile sans phase plastique apparente. Les figures suivantes représentent les scénarios de ruptures :



Figure III.12 : Rupture centrale droite.



Figure III.13: Rupture inclinée à droite.



Figure III.14 : Rupture inclinée à gauche.



Figure III.15 : Rupture fragile par clivage (transgranulaire).

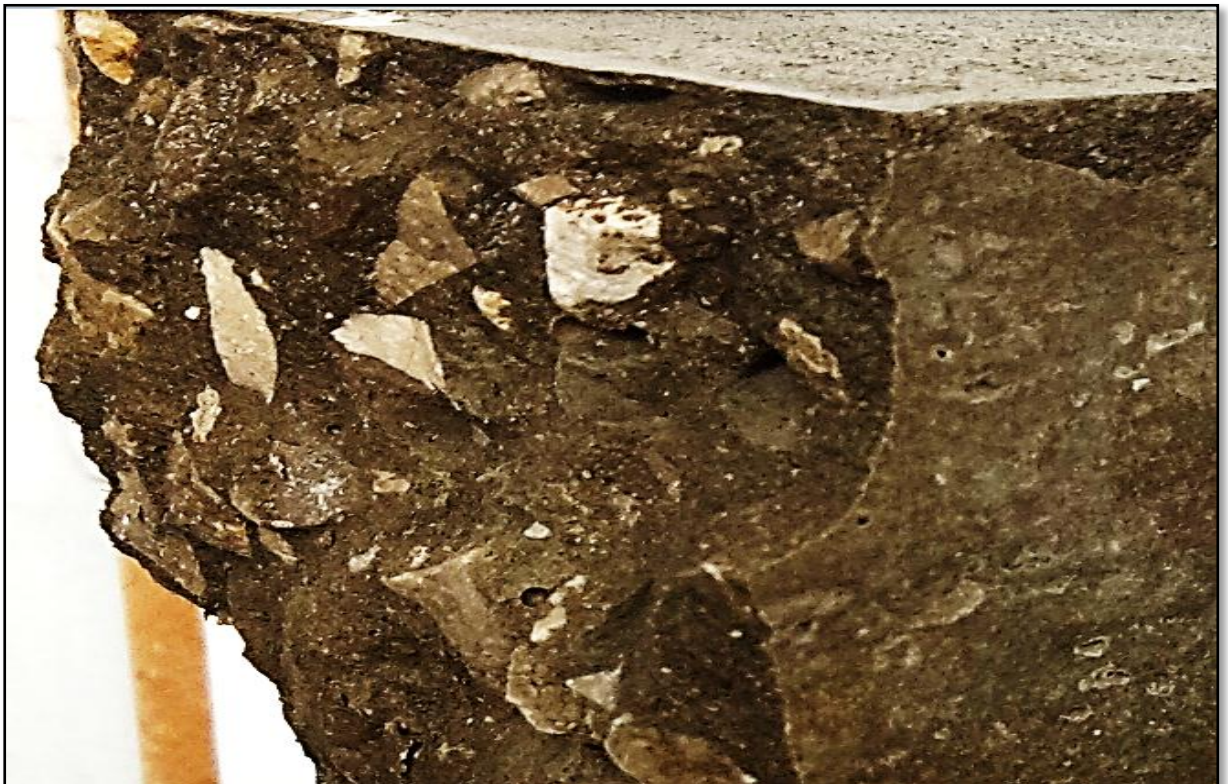


Figure III.16: Rupture fragile par décohesion.(intergranulaire).

III.5.4. Essai de traction par fendage

L'essai mécanique à la traction par fendage est déterminé selon la norme française [NF 12390-6] sur des éprouvettes cylindriques.

Les résultats sont obtenus par la formule suivant :

$$R = \frac{2.F}{\pi.D.L} \text{ (MPa)} \quad (4)$$



Figure III.17 : Dispositif d'essais de traction par fendage.

III.5.4.1. Modes de rupture des éprouvettes soumises à la traction par fendage



Figure III.18 : Modes de rupture des éprouvettes soumises à la traction par fendage.

Les éprouvettes cylindriques de la figure III.19 s'est coupée en deux en son milieu au voisinage de la charge limite et la rupture est du type fragile.

III.5.5. Morphologie et état de surface des grains des sables par MEB

L'observation au MEB des grains de sable de différentes natures illustrée au niveau des figures III (19, 20, 21 et 22) a permis d'observer la morphologie des grains (forme, taille et état de surface). L'objectif de cette analyse est de mieux comprendre certains phénomènes physiques ou mécaniques dans le béton à l'état frais et durci.

Melais FZ [30] ont utilisé le sable de dune siliceux et le sable de carrière des mêmes régions que nous avons utilisé pour optimiser des formulations des bétons de sable. Les observations par MEB des sables utilisés sont présentées par les figures suivantes :

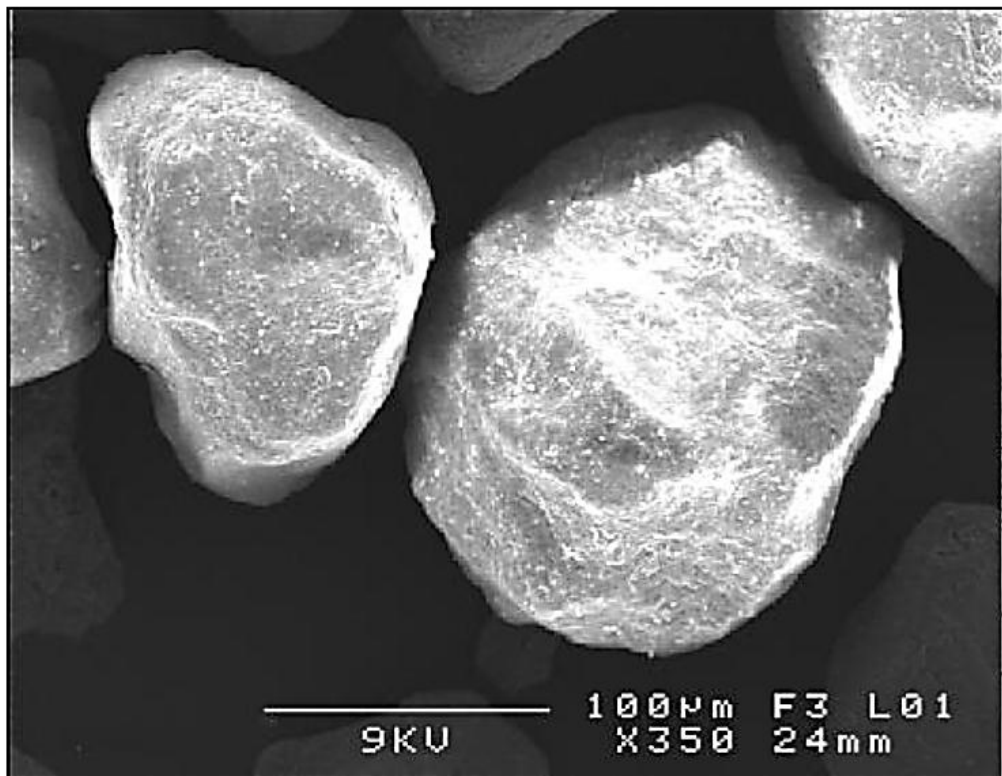


Figure III.19 : Morphologie et état de surface de sable siliceux (Sable1) [30].

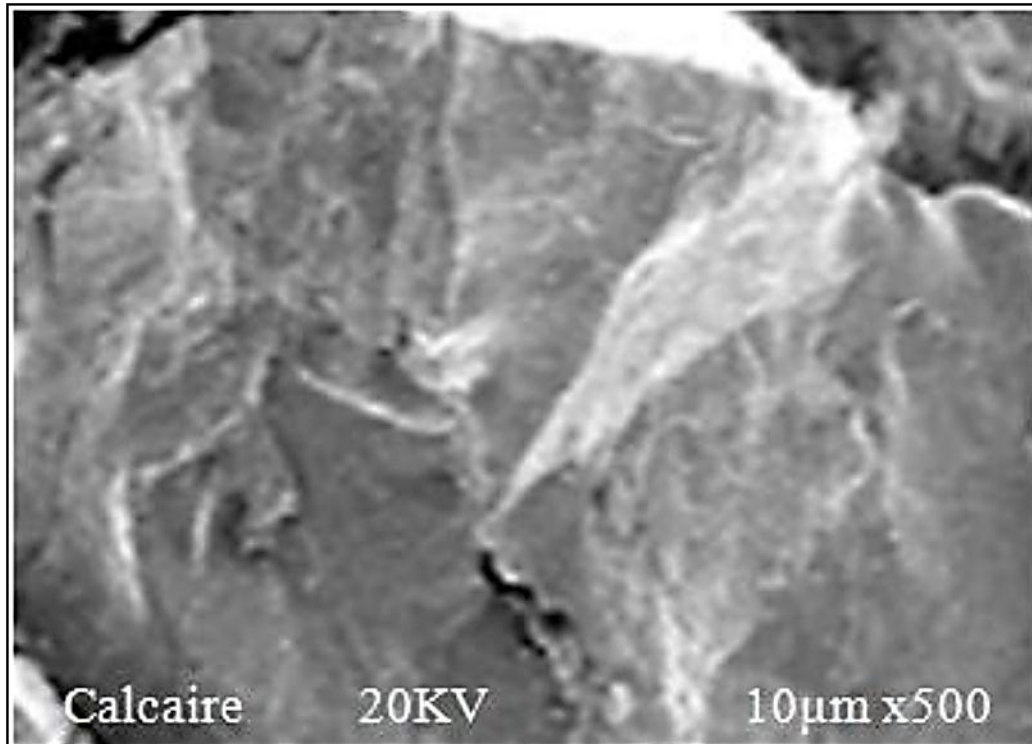


Figure III.20 : Morphologie et état de surface de sable de carrière [30].

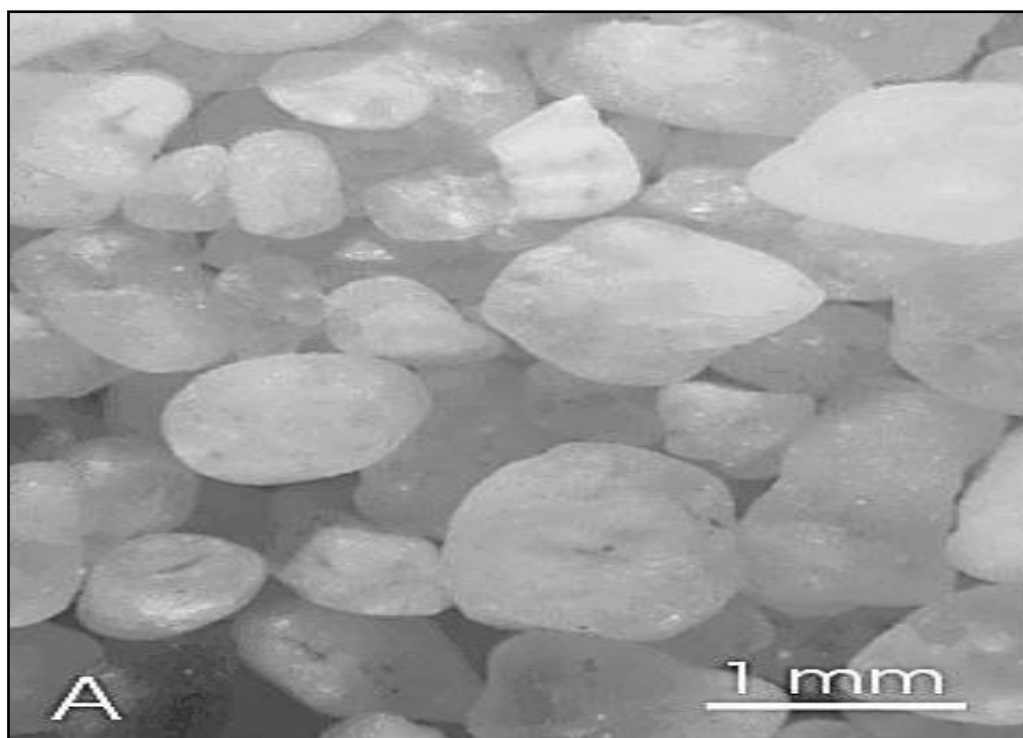


Figure III.21 : Morphologie et état de surface de sable de mer [31].

D'après les figures ci-dessus, il est nettement visible que :

- les grains de sable siliceux de dune sont de forme légèrement sphérique et un l'état de surface un peu lisse.
- Le sable de carrière présente un état de surface d'une façon générale rugueux.
- les grains ont un aspect rond-mat.

Thang Le [32] ont utilisé le sable recyclé dans le cadre d'une étude sur les mortiers recyclés. Les observations par MEB du sable recyclé sont présentées par les figures suivantes :



Figure III.22 : Morphologie et état de surface de sable recyclé [32].

D'après la figure.III.22 plusieurs formes de grains (arrondie, allongée, anguleuse) sont observées. La morphologie de surface des particules est assez « tourmentée ». On peut observer certains grains avec une partie de pâte de ciment collée sur un grain de granulats naturels.

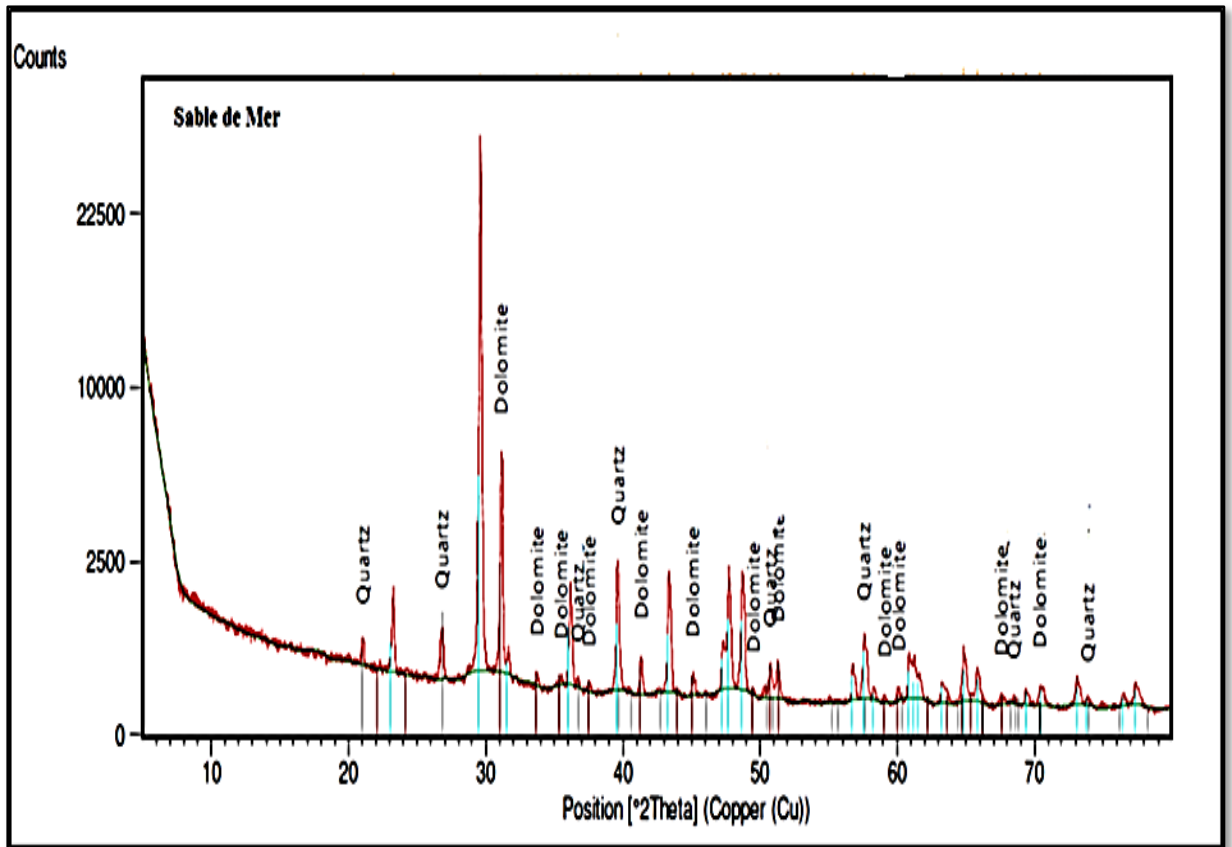


Figure III.24 : Spectre de la DRX du de carrière [33].

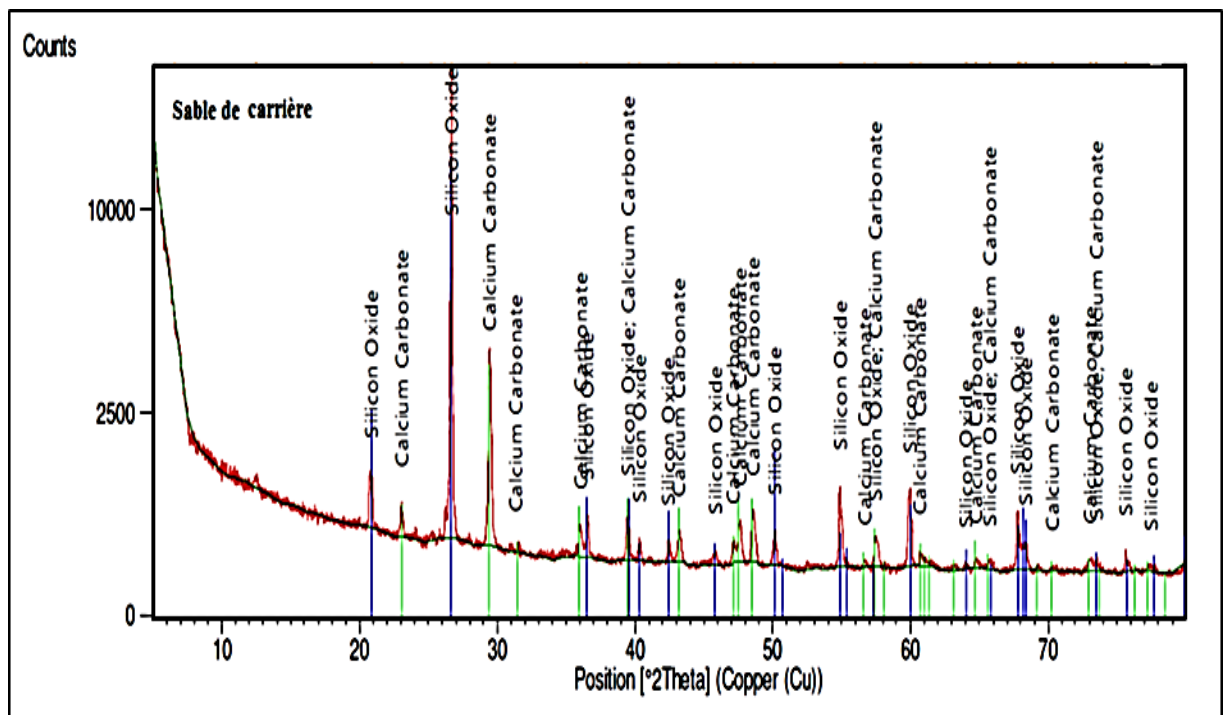


Figure III.25 : Spectre de la DRX du sable de mer [33].

L'analyse par diffraction des rayons X pour les trois types du sable montre les résultats suivants :

- **Sable de dune** : Il est riche en silice (SiO_2), et il contient quelques traces du carbonate de calcium (CaCO_3).
- **Sable de carrière** : Il est riche en carbonate de calcium (CaCO_3), et il contient un pourcentage assez important de la silice (SiO_2).
- **Sable de mer** : Il contient un pourcentage assez important du dolomite ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) ainsi que la silice (SiO_2).

Thang Le et al [32] ont effectué des analyses minéralogiques sur un sable recyclé. Le spectre et son identification sont représentés ci-après :

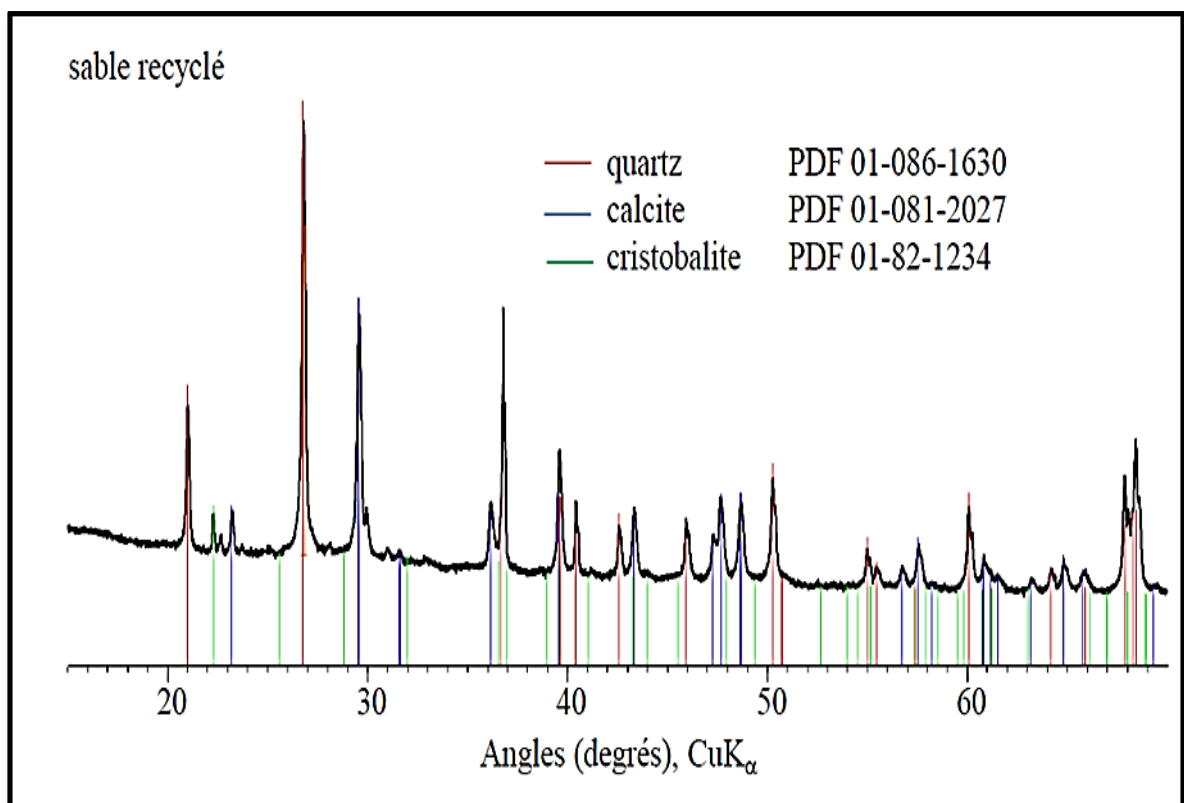


Figure.III.26: Diffractogramme du sable recyclé [32].

- L'analyse par DRX du **sable recyclé** montre principalement la présence de quartz et de calcite.

III.5.5. Essais de durabilité

III.5.5.1. Absorption d'eau par capillarité [AFPC-AFREM, 1997]

L'essai d'absorption d'eau par capillarité est un essai qui nous donne une information sur la capacité d'absorption d'eau dans un béton par remontée capillaire. Il consiste à mesurer la masse d'eau absorbée par une éprouvette de béton préalablement conditionnée par un étuvage à 80°C. L'essai a été réalisé suivant la recommandation de l'AFPC-AFREM [AFPC-AFREM, 1997] sur des échantillons de béton ordinaire de forme cubiques. Le coefficient d'absorption par capillarité **CA** est donné par la relation suivante :

$$CA = \frac{M1 - M0}{A} \text{ en (g / cm}^3\text{)} \quad (5)$$

Avec :

M0: Masse sèche de l'éprouvette avant immersion dans l'eau en grammes ;

M1: Masse de la même éprouvette après le temps requis d'absorption en grammes ;

A: Section de la base de l'éprouvette en centimètre carré.

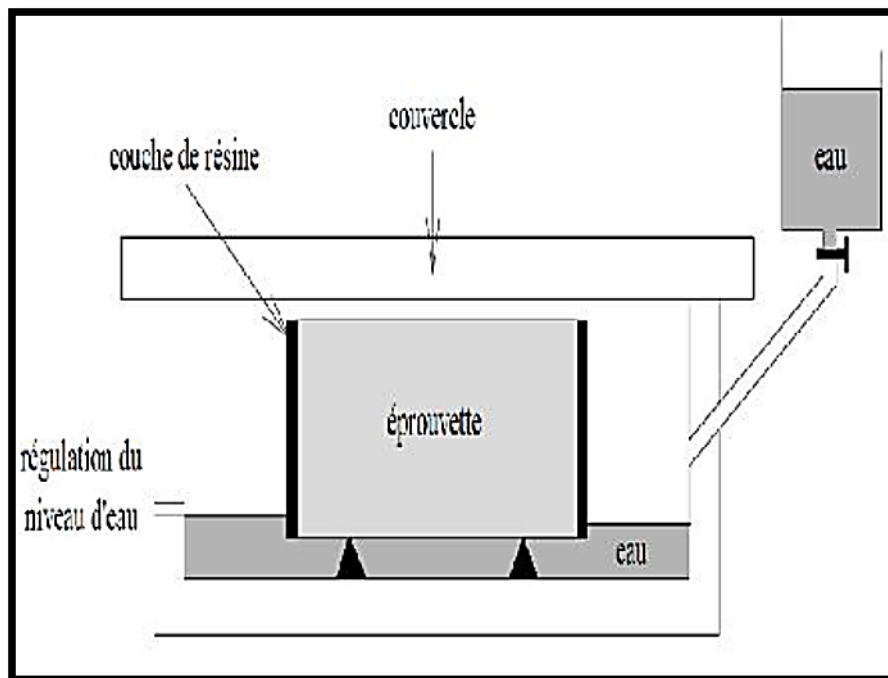


Figure III.27 : Schéma du dispositif de la mesure de l'absorption d'eau par capillarité.



Figure III.28 : Essai de l'absorption d'eau par capillarité.

III.5.5.2. Absorption d'eau par immersion totale [AFPC-AFREM, 1997]

Cet essai a été effectué afin d'avoir une idée sur la porosité interne du matériau, rappelons que l'essai consiste à mettre les éprouvettes du béton dans l'étuve et de les poser jusqu'à un poids constant, ensuite les immerger totalement dans l'eau à 20°C. Le coefficient d'absorption par immersion A_b est donné par la relation suivante :

$$A_b = \frac{M_a - M_s}{M_s} \times 100 \quad \text{en \%} \quad (6)$$

Avec :

M_a : Masse de l'échantillon imbibée ;

M_s : Masse de l'échantillon sèche après passage à l'étuve à 105 °C.

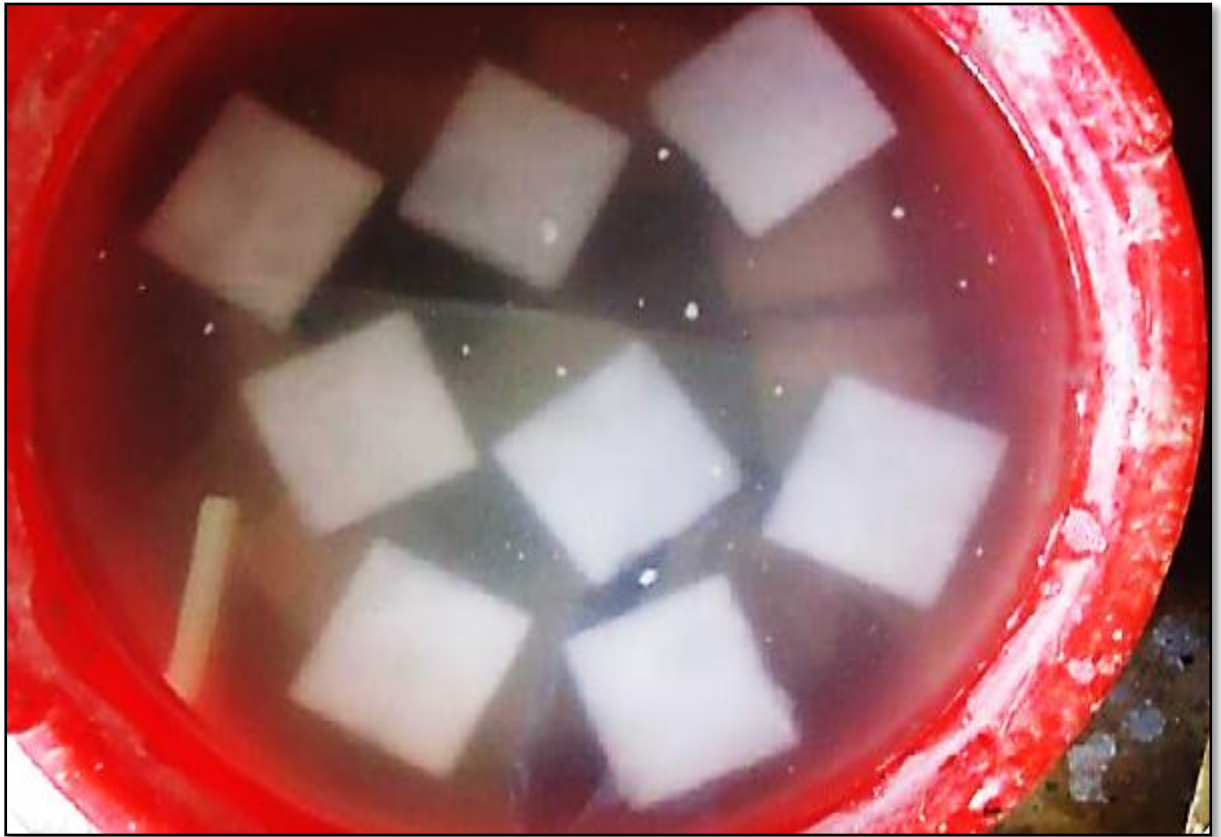


Figure III.29 : Essai de l'absorption d'eau par immersion total.

III.6. Conclusion

Nous avons montré dans ce chapitre les différentes étapes de la formulation que nous avons suivi (méthode Dreux-Gorrise), ainsi que les différentes méthodes de caractérisations des mélanges élaborés que ce soit à l'état frais ou à l'état durci.

CHAPITRE IV :
RESULTATS & DISCUSSIONS

IV.1. Introduction

Dans la partie précédente, nous avons exposé les caractéristiques des matériaux utilisés, ainsi que la formulation des bétons qui doivent être étudiées.

Cette partie portera sur la présentation et la discussion des résultats de l'influence de la nature des sables sur les propriétés des bétons testés à l'état frais (maniabilité et masse volumique), sur les propriétés des bétons à l'état durci (masse volumique et résistances mécaniques) et la détermination des indicateurs principaux de la durabilité (porosité et absorption d'eau par capillarité et par immersion totale).

IV.2. Procédures expérimentale

IV.2.1. Caractérisation à l'état frais

IV.2.1.1. Masses volumiques

Après démoulage, nous avons pesé les éprouvettes à l'aide d'une balance afin de calculer la masse volumique à l'état frais. Les résultats sont mentionnés dans le tableau suivant :

Tableau IV.1. Masses volumiques des différents bétons.

Type de béton	B C	BD1	BD2	BM	BR	BRecy
Mv ps [g/cm ³]	2.50	2.51	2.48	2.52	2.43	2.55

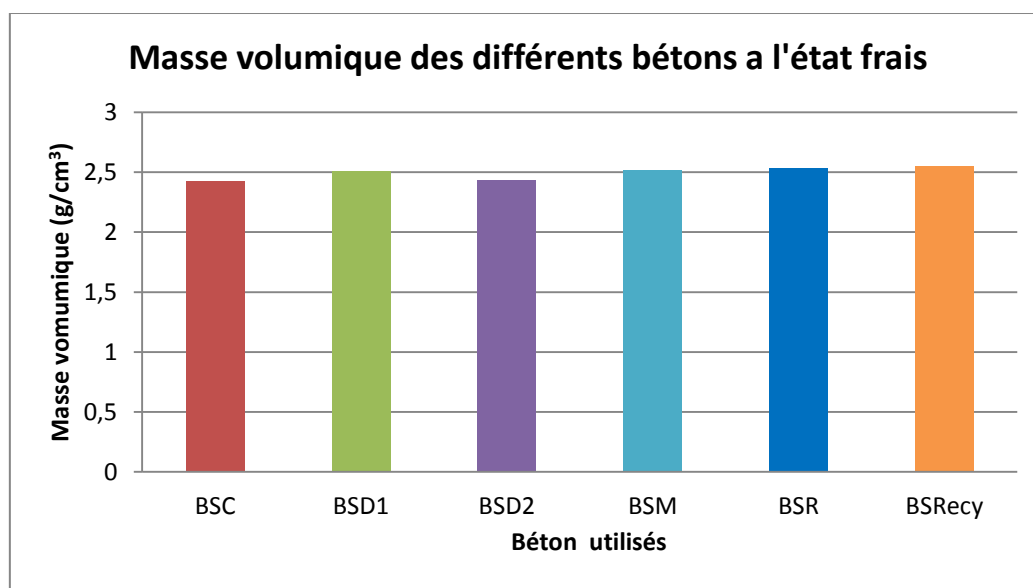


Figure IV.1. Variation de la masse volumique des bétons étudiés à l'état frais.

A travers les résultats présentés sur la figure IV.1 on remarque que les bétons étudiés sont légèrement influencés par la nature des sables utilisés et les valeurs de la masse volumique sont proches, la valeur la plus élevée est enregistrée pour le béton à base de sable recyclé avec une masse volumique égale à 2.55 g/cm³. Cela peut s'expliquer par les masses volumiques intrinsèques des sables utilisés qui sont aussi proches.

IV.2.1.2. Affaissement au cône d'Abrams

Les résultats de l'affaissement au cône d'Abrams des bétons testés sont regroupés dans le tableau suivant :

Tableau IV.2. Affaissements mesurés des différents bétons.

Dénomination des bétons	BSC	BSD1	BSD2	BSM	BSR	BSRecy
Aff. (cm)	4.5	6	7	11.5	8.5	4

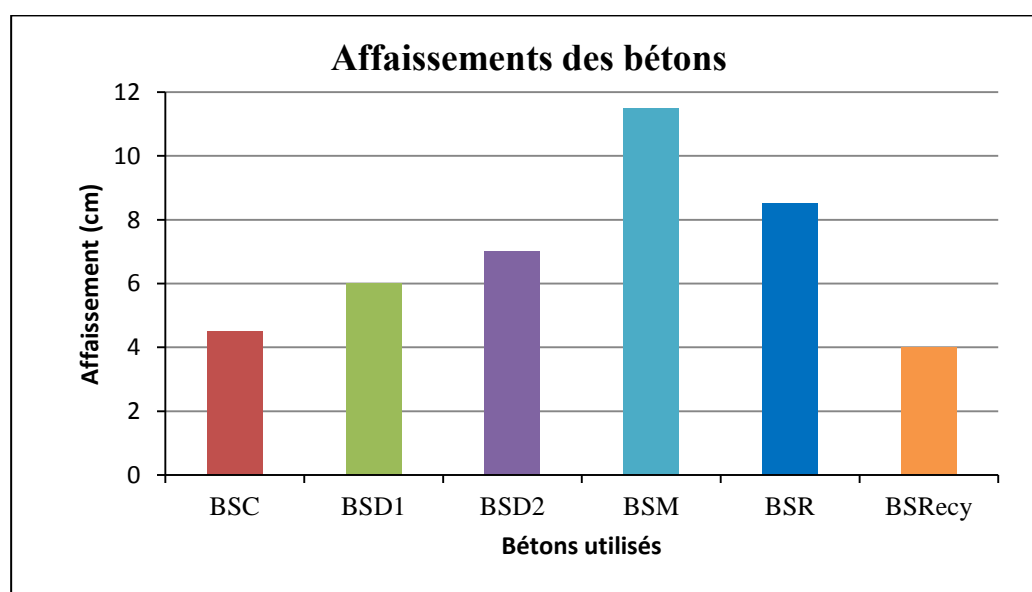


Figure IV.2. Affaissements mesurés des différents bétons.

D'après la figure IV.2 les valeurs des affaissements obtenus montrent que les trois types des bétons (BSD1, BSD2 et BSR) présentent une consistance plastique. Le béton avec un sable de mer présente une consistance très plastique. Les deux bétons à base du sable de carrière et sable recyclé présentent une consistance assez ferme (peu plastique). Ces résultats s'expliquent par la nature et le module de finesse des sables utilisés, La dimension des particules d'un sable à béton peut être évaluée d'après l'analyse granulométrique et son module de finesse (MF). Plus MF est élevé plus le sable est grossier et plus le béton est ouvrable.

Le béton avec les granulats recyclés donne un béton peu plastique avec un affaissement de 4 cm, ce résultat s'explique par l'état des granulats recyclés. Ces granulats généralement sont caractérisés par une absorption élevée par rapport aux granulats naturels, dus au volume du vieux mortier qui absorbe de l'eau.

IV.2.2. Caractérisation physico-mécaniques à l'état durci

IV.2.2.1. Masse volumique

La masse volumique du béton à l'état durci est mesurée à partir de la masse de l'éprouvette rapportée à son volume après 28 jours de durcissement selon la norme [NF EN 12390-7].

Tableau IV.3. Masses volumiques des différents bétons.

Dénomination des bétons	BSC	BSD1	BSD2	BSM	BSR	BSRecy
Mv ps (g/cm ³)	2.34	2.41	2.31	2.38	2.43	2.46

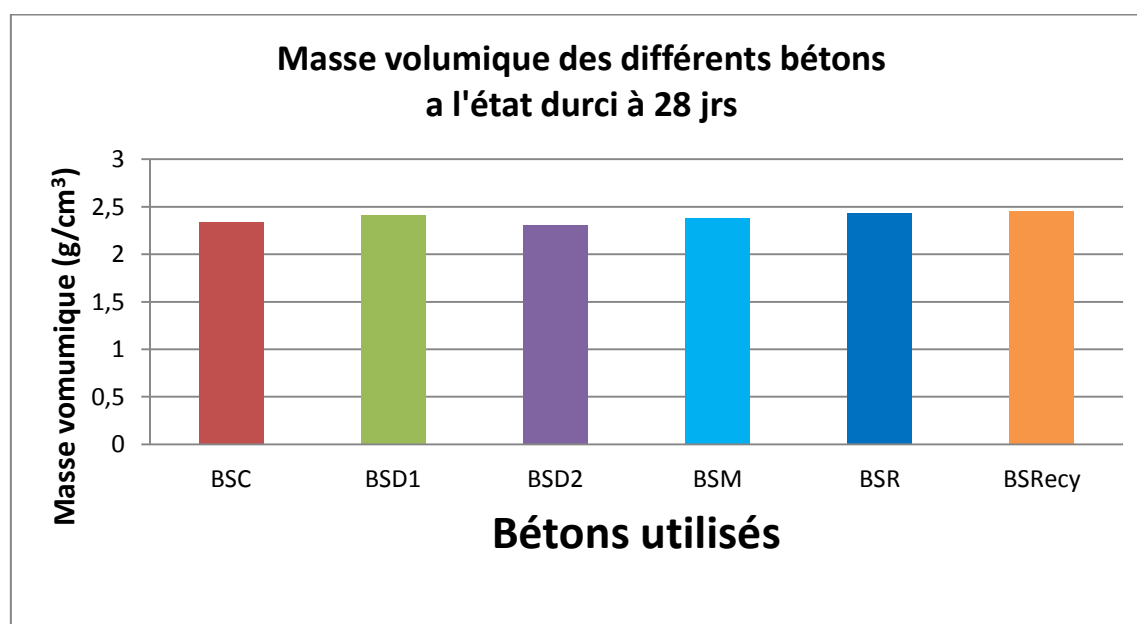


Figure IV.3. Masses volumiques des différents bétons.

- A l'état durcie, d'après la figure IV.3 on remarque que les bétons étudiés présentent différentes valeurs de masse volumique tourne au toure de 2.45 g/cm³ sans aucune différence significative. Le béton a base de sable recyclé présente le béton le plus dense avec une masse volumique de 2.46 g/cm³. Ceci s'explique par les masses volumiques intrinsèques des sables utilisés qui sont aussi proches.

IV.2.3. Essai destructif

IV.2.3.1. Essai de compression

Les résultats sont interprétés dans le tableau et schématisés sur les figures ci-dessous :

Tableau IV.4. Résistances à la compression des différents bétons.

Dénomination des bétons	Résistance à la compression [MPa]		
	7 j	14 j	28 j
BC	25.45	33.17	40.43
BD1	24.27	31.55	37.38
BD2	27.45	35.14	36.68
BM	29.49	36.19	43.74
BR	23.76	30.14	34.45
BSRecy	25.48	35.24	41.14

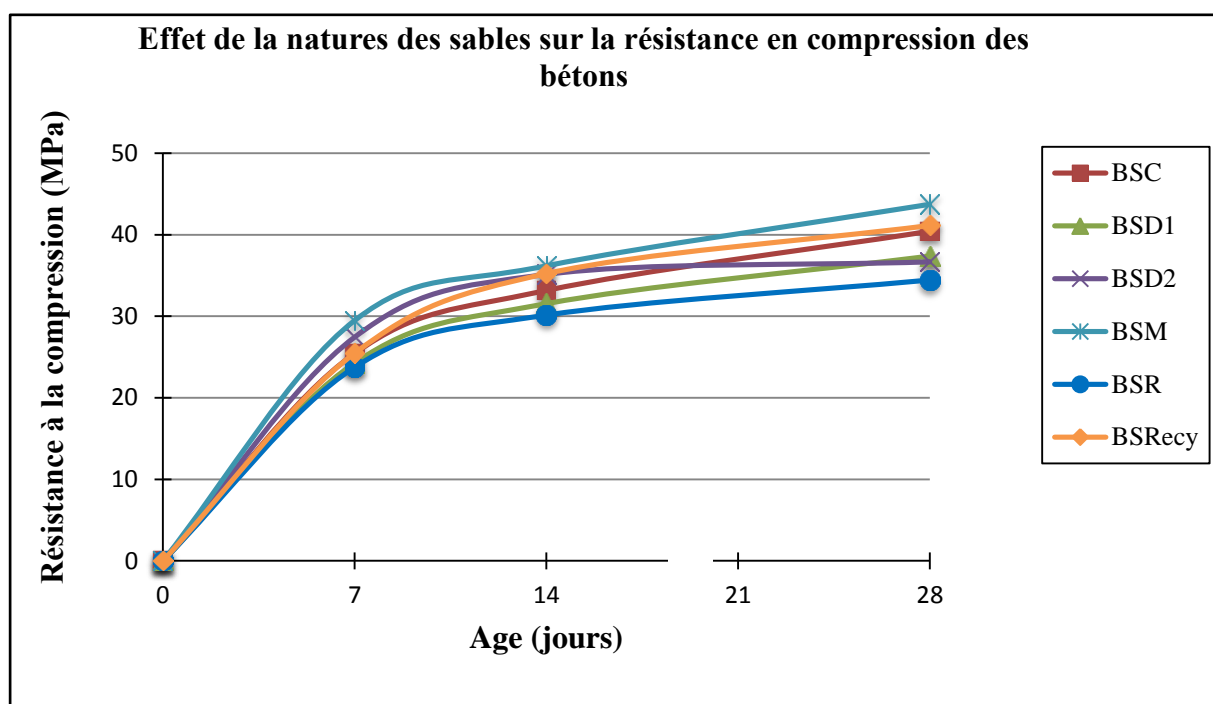


Figure IV.4. Comparaison des résistances à la compression des différents bétons en fonction du temps.

CHAPITRE IV : Résultats & Discussions

L'analyse des résultats présentés sur la figure IV.4 montre que la nature des sables influe considérablement les résistances en compression des bétons d'étude, Les meilleures résistances sont obtenues avec le sable de mer, le sable de carrière et le sable recyclé, on peut expliquer ces résultats par la bonne granulométrie de sable de mer qui améliore la compacité des bétons.

Le béton avec un sable de carrière, on peut expliquer cela par la composition minéralogique du sable de carrière, car il est riche en CaCO_3 qui réagit avec les particules du ciment favorisant ainsi l'augmentation des hydrates qui à leurs tours augmentent la résistance a la compression du béton.

La bonne résistance du béton avec le sable recyclé est probablement due à l'absorption de l'excès d'eau par ce type de sable donc l'amélioration de la compacité, il est bien connu que le rapport E/C est un facteur important qui pouvant influencer la porosité et la résistance mécanique des bétons. Et peut aussi due à la réhydratation des grains du ciment anhydre contenant dans le sable recyclé.

Ensuite les bétons avec sables de dune 1 et 2 qui présentent presque les mêmes résistances à 28 jours. La résistance la plus faible est celle de béton avec sable de rivière, Cela s'explique par la nature morphologique des sables, l'état de surface du sable de rivière (la liaison entre le sable roulé de rivière matrice cimentaire).

IV.2.3.2. Essai de résistance à la traction Par flexion

Tableau IV.5. Résistances à la traction par flexion des différents bétons.

Dénomination des bétons	Résistance à la traction par flexion [MPa]		
	7 j	14 j	28 j
BC	3.30	5.20	5.80
BD1	4.27	6.87	7.06
BD2	4.37	6.33	6.82
BM	5.93	6.13	6.54
BR	4.21	4.67	5.70
BSRecy	5.24	5.50	6.33

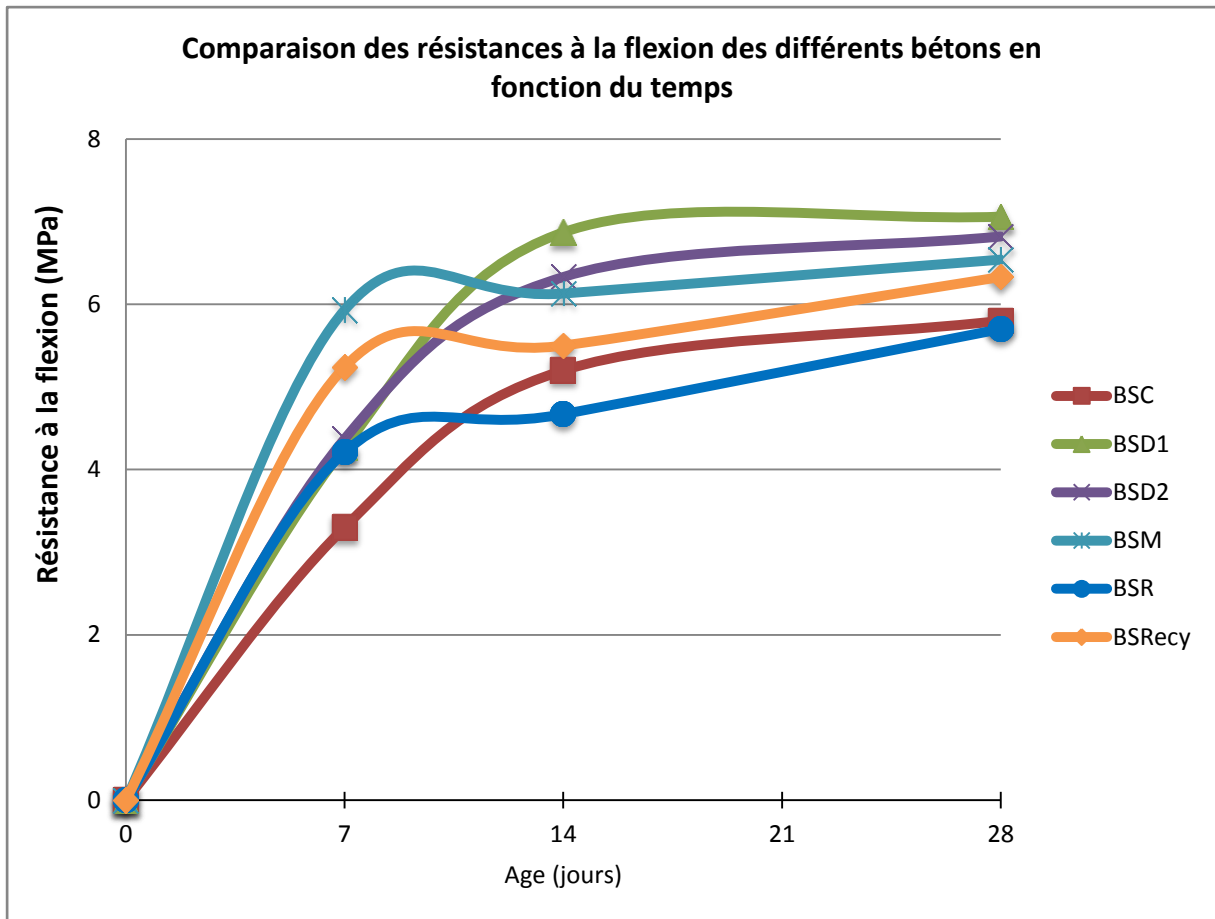


Figure IV.5. Comparaison des résistances à la flexion des différents bétons en fonction du temps.

L'analyse des résultats présentés sur la figure IV.5 montre que la nature des sables influe considérablement les résistances en flexion. Les meilleures résistances sont obtenues avec le sable de dune 1 et 2, Cela s'explique par la nature morphologique des sables, l'état de surface du sable de siliceux (la liaison entre le sable siliceux-matrice cimentaire)

Ensuite les bétons avec sables de mer et sable recyclé qui présentent presque les mêmes Résistances à 28 jours. Les résistances les plus faibles sont celles des bétons avec sable de rivière et sable de carrière, Cela s'explique par la granulométrie de sable de carrière (sable très grossier avec un module de finesse de 3,2) qui influence la compacité des bétons et la résistance mécanique.

IV.2.3.3. Par fendage

Tableau IV.6. Résistances à la traction par fendage des différents bétons.

Dénomination des bétons	Résistance à la traction par fendage [MPa]		
	7 j	14 j	28 j
BC	2.39	2.64	3.09
BD1	2.32	3.70	3.96
BD2	2.65	3.11	3.87
BM	2.41	3.09	3.38
BR	2.36	2.59	3.36
BSRecy	2.89	3.25	3.48

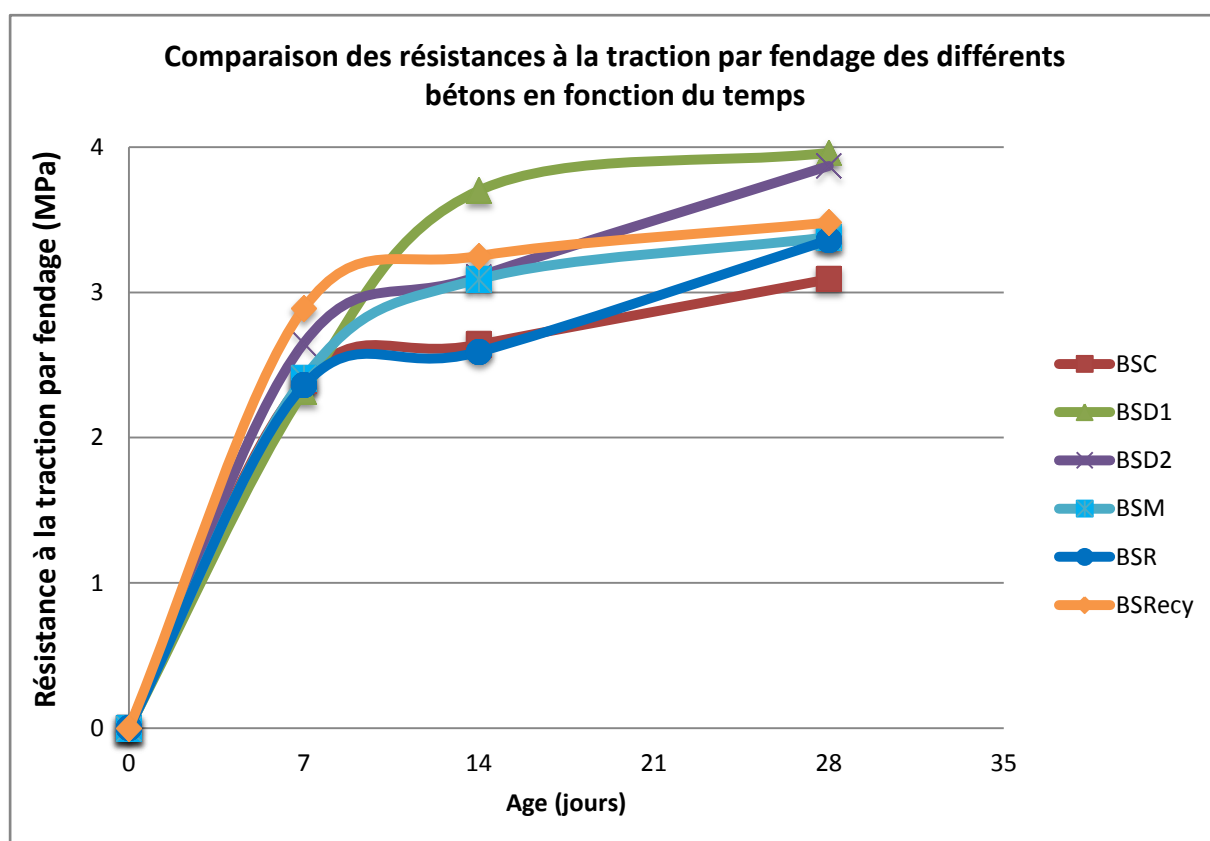


Figure IV.6. Les résistances à la traction par fendage des différents bétons en fonction du temps.

L'analyse des résultats présentés sur la figure IV.6 montre l'effet des natures des sables sur la résistance en traction par fendage des bétons. Les meilleures résistances sont obtenues avec le sable de dune 1 et 2, on peut expliquer ces résultats par la nature morphologique des sables, l'état de surface du sable de siliceux.

Ensuite les bétons avec sables de mer et sable recycle qui présentent presque les mêmes résistances à 28 jours. Les résistances les plus faibles sont celles des bétons avec sable de rivière et sable de carrière, Cela s'explique par la nature morphologique des sables, l'état de surface du sable de rivière (la liaison entre le sable roulé de rivière matrice cimentaire) et la granulométrie de sable de carrière (sable très grossier avec un module de finesse de 3,2) qui influence la compacité des bétons et la résistance mécanique.

IV.2.4. Essais d'absorption d'eau

IV.2.4.1. Absorption d'eau par capillarité

Cet essai nous donne une information sur la capacité d'absorption d'eau dans un béton par remontée capillaire.

Tableau IV.7. Coefficient d'absorption des différents bétons.

Coefficient d'absorption des différents bétons (g / cm ³)						
Temps (min)	BSC	BSD1	BSD2	BSM	BSR	BSRecy
0	0	0	0	0	0	0
15	1.6	1.1	1.5	1.4	0.8	1.4
30	2.1	1.4	2	2	1.1	1.8
60	2.4	2	2.8	2.8	1.4	2.5
120	2.7	2.7	3.7	3.6	1.7	3.2
240	3.1	3.5	4.4	4.5	2.1	3.9
480	3.3	4.3	5.2	5.2	2.3	4.8
1440	3.9	5.4	6.1	6.1	3	6.1
2880	4.2	5.8	6.3	6.3	3.4	7.1

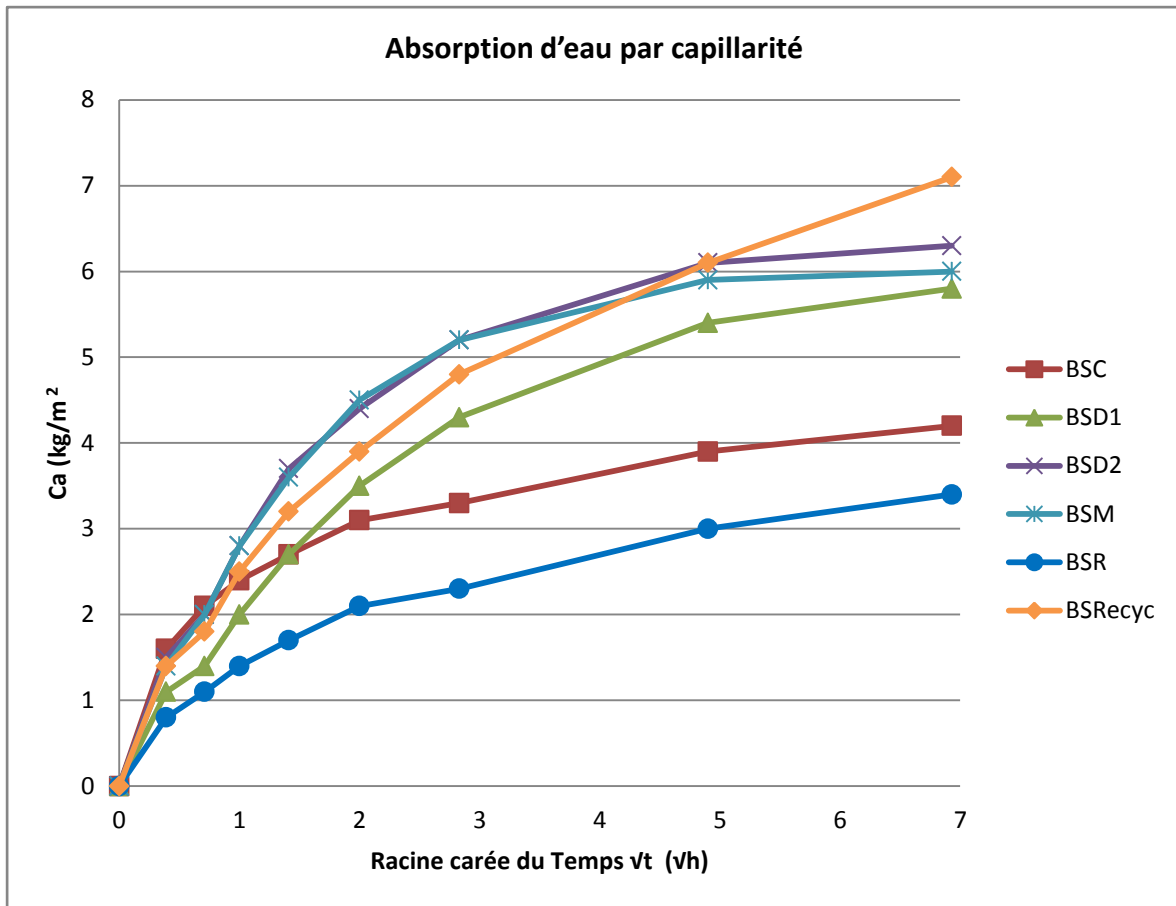


Figure IV.7. Comparaison de l'absorption d'eau par capillarité des différents bétons en fonction du temps.

D'après la figure (IV.12) on remarque que l'allure d'absorption a la même cinétique pour tous les bétons.

Il est nettement visible que l'absorption d'eau par capillarité augmente en fonction de temps

La valeur maximale de l'absorption d'eau est de 7.1 kg/m² (béton à base d'un sable recyclé)

En fonction du temps l'absorption est très rapide au début. Mais par la suite elle tend progressivement à se stabiliser : ceci a été remarqué pour tous les compositions étudiées.

L'absorption d'eau par capillarité d'un béton à base d'un sable recyclé est importante : par ce que il contient de la pâte cimentaire poreuse et qui renferme une partie importante de fines formées suite à l'utilisation du concasseur à mâchoires.

IV.2.4.2. Essai d'absorption d'eau par immersion totale

Tableau IV.8. Absorption d'eau par immersion des différents bétons en fonction du temps.

Temps (min)	Absorption d'eau par immersion totale (%)					
	BSC	BSD1	BSD2	BSM	BSR	BSRecy
0	0	0	0	0	0	0
15	0.81	0.5	1.13	0.9	0.8	1.6
30	1.03	1.3	1.8	1.3	0.9	1.9
60	1.2	1.6	2.1	1.7	1.1	2.09
120	1.4	1.9	2.6	2	1.4	2.4
240	1.6	2.2	2.9	2.3	1.5	2.7
480	1.7	2.4	3.1	2.5	1.7	3
1440	1.9	2.9	3.4	2.7	2	3.2
2880	2.3	3.4	3.9	3.2	2.3	3.7

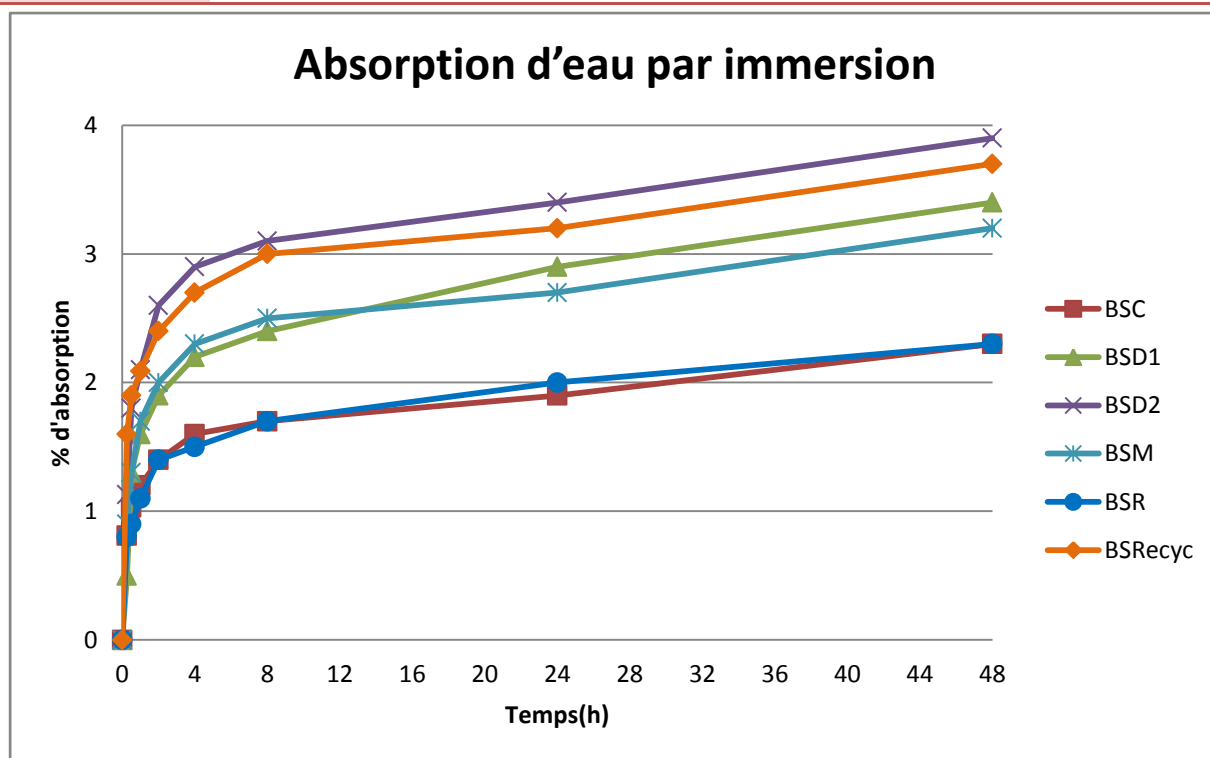


Figure IV.8. Absorption d'eau par immersion des différents bétons en fonction du temps.

D'après la figure IV.14 il est remarqué que le béton à base de sable de dune 2 et sable recyclé ont des capacités d'absorption d'eau supérieures à celles des autres bétons. Les valeurs varient dans de larges limites entre 2.3 et 3.9 %.

En fonction du temps l'absorption est très rapide au début mais par la suite elle tend progressivement à se stabiliser ceci a été remarqué pour tous les compositions étudiées

La capacité d'absorption d'eau la plus faible est celle de béton avec sable de rivière et de carrière.

IV.3. Conclusion

D'après les résultats obtenus dans la partie expérimentale, on peut montrer d'une part l'influence de la nature du sable sur les propriétés du béton à l'état frais et à l'état durci.

L'étude du comportement du béton ordinaire à base de différents types de sables a ainsi montré que :

- La présence des fines dans le sable de carrière et le sable recyclé influent sur l'ouvrabilité du béton : plus le pourcentage des fines est élevé plus le béton est peu plastique à ferme.
- Concernant la masse volumique, on a enregistré une chute des masses de tous les bétons étudiés à l'état durci.
- La plus grande valeur de la résistance en compression est attribuée pour le béton à base de sable de mer qui reste assez supérieure à celle du béton à base du sable recyclé.
- La plus grande valeur de la résistance de traction par flexion est attribuée pour le béton à base de sable de dune 1 (sable de Tébéssa) qui reste assez supérieure à celle des autres bétons.
- Les meilleures résistances sont obtenues avec le sable de dune 1 et 2, on peut expliquer ces résultats par la nature morphologique des sables, l'état de surface du sable de siliceux.
- L'absorption d'eau par capillarité d'un béton à base d'un sable recyclé est importante : par ce que il contient de la pâte cimentaire poreuse et qui renferme une partie importante de fines formées suite à l'utilisation du concasseur à mâchoires.
- le béton à base de sable de dune 2 et sable recyclé ont des capacités d'absorption d'eau supérieures à celles des autres bétons. Les valeurs varient dans de larges limites entre 2.3 et 3.

CONCLUSION GENERALE

Conclusion Générale

Conclusion générale

Dans ce mémoire nous avons étudié le comportement physico-mécanique du béton avec différents types de sables.

A travers l'étude expérimentale nous avons formulé plusieurs compositions de béton à base de différentes natures de sables en caractérisant le comportement physico-mécanique de ces bétons.

Les résultats obtenus à l'état frais, montrent une influence de la nature du sable sur l'ouvrabilité qui dépend de l'état de surfaces des grains et leurs compositions minéralogiques.

La seconde série d'essais avait pour objectif l'observation du comportement du béton à l'état durci, on a appliqué des essais de compression de flexion, traction par fendage ainsi que l'absorption d'eau par capillarité et par immersion totale.

Après cette étude expérimentale nous pouvons présenter les conclusions suivantes :

- La nature des sables influe considérablement les résistances en compression des bétons d'étude.
- Le béton à base d'un sable de mer donne une meilleure résistance en compression on peut expliquer ces résultats par la bonne granulométrie de sable de mer qui améliore la compacité des bétons.
- Les meilleures résistances en flexion sont obtenues avec le sable de dune 1 et 2, cela s'explique par la nature morphologique des sables, l'état de surface du sable siliceux (la liaison entre le sable siliceux-matrice cimentaire).
- Pour toutes les compositions d'études l'absorption d'eau par capillarité et par immersion totale augmente en fonction de temps.
- Par rapport aux autres bétons d'étude le béton à base d'un sable recyclé a une capacité d'absorption importante due à l'absorption élevée du sable recyclé.
- D'après l'essai de l'immersion totale, le béton à base d'un sable de dune 2 (région de Oued Souf) présente une capacité d'absorption importante et cela est dû à la présence de l'argile dans le sable (équivalent de sable égale à 91.58 %).

Conclusion Générale

Recommandation et perspective

Ce travail donne déjà des éléments d'applications intéressantes aux expérimentateurs de génie civil. Il pose en outre, un jalon important sur la poursuite des recherches, qui ne doivent pas être abandonnées si l'on veut toujours mieux maîtriser ce matériau complexe, étonnant mais toujours indispensable qu'est le béton par :

- Etude de la durabilité des bétons étudiés vis-à-vis à l'attaque sulfatiques et la carbonatation par exemple.
- Effectuer autres essais mécaniques en ce qui concerne les propriétés intrinsèques du béton comme le module de Young et la ténacité.
- Etudier le comportement mécanique du béton en appliquant les règles de la mécanique de rupture comme le choc, fluage et fatigue.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUE

Références Bibliographiques

Références Bibliographiques

- [1] **BENAMRANE Dounia Zed**, Mémoire de Master «L'effet de la méthode de formulation sur la résistance à la compression du béton», Université Kasdi Merbah Ouargla, Algérie, 2017.
- [2] **Lucien Pliskin**, le béton, livre, Paris, 1907.
- [3] **Thonier Henry**, le béton précontraint aux états limites, 1985.
- [4] **CIM béton**, Les bétons : Formulation, Fabrication et mise en oeuvre, Tome 2, Fiche Technique, janvier 2013.
- [5] **Djamila Boukhelkhal, Said Kenai**, Détermination non destructive de la résistance du béton sur site (scléromètre, ultrason), Rencontres Universitaires de Génie Civil, Bayonne, France (hal-01167739), May 2015.
- [6] **KATTAB.R**, valorisation de sable de dune, Thèse doctorat, Alger : ENP, 2007.
- [7] **Nouveau guide du béton** : Georges Dreux et Jean Festa, 7^{ème} Edition, 1995.
- [8] **VIMANE PHOMMAVONG**, M. Cours en béton armé – Essais de laboratoire, page 1 à 146.
- [9] **Menou. A**, Thèse de doctorat, «Etude de comportement thermomécanique des bétons à haute température», Université de Pau et des pays de l'Adour, France, 2004.
- [10] **PIGEON**, (Composition et hydratation du ciment Portland, Séminaire progrès dans le domaine du béton, Québec, p. 36-72; 1981.
- [11] **Matériaux et Bricolage**. Le sable dans la construction : Jean- Marc, 09 janvier 2015.
- [12] **John Wiley and Sons, Taylor F, Thompson S**, A treatise on concrete plain and reinforced, New York. USA, 1912.
- [13] **Nouveau guide du béton** : Georges Dreux et Jean Festa, 7^{ème} Edition, 1995
- [14] **CIM béton**, Les constituants des bétons et des mortiers, Tome 1, Fiche technique
- [15] **Ciments et bétons** : l'essentiel B51, fiches technique, CIM béton.
- [16] **Joseph ABDO**, Ciments, 2008.
- (<https://www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/construction-et-travaux-publics-th3/les-materiaux-de-construction-42224210/ciments-c920/>)

Références Bibliographiques

- [17] Approuve par le Gouvernement Wallon, matériaux et produits de construction, cahier des charges type qualiroutes, chapitre C, 20 juillet 2011.
- [18] **Z.BENGHAZI**, cour technologie des géomatériaux. zeidbenghazi.weebly.com
- [19] **Lucien Pliskin**, le béton, livre, Paris, 1907.
- [20] **CIM béton**, Les constituants des bétons et des mortiers, Tome 1, Fiche technique.
- [21] **Cours de MDC**, classification des granulats, UFASI.
(<https://www.univ-setif.dz/facultes/ft/externe/departements/gc/>)
- [22] **A. M. NEVILLE**, Propriétés des bétons, Eyrolles, 2000.
- [23] **Dinger D. R, Funk J.E**, Particle packing-II- Review of paking of polydisperseparticlesystems, Interceram 41, P. 95-97, 1992.
- [24] **Thonier Henry**, le béton précontraint aux états limites, 1985.
- [25] **LAZAR KHALED**, Mémoire de magister «caractérisation et valorisation du sable du grand erg oriental », u.s.t.h.b. Alger, Algérie, 2012.
- [26] **Azzouz Hocine**, Mémoire de Magister « étude des bétons à base des sables de dune », Université Mohamed kheider, biskra, Algérie, 2009.
- [27] **REZIG Salima**, Mémoire de Master «Optimisation de la formulation du béton de sable dans le cadre de valorisation des matériaux locaux», Université Mohamed Khider, Biskra, Algérie, 2012.
- [28] **Tafraoui Ahmed**, thèse de doctorat « contribution à la valorisation du sable de dune de l'erg occidental, (Algérie). application aux nouveaux bétons », Université de Toulouse, France, 2009.
- [29] **Benchaa Benabed1 et al**, « Propriétés physico-mécaniques et durabilité des mortiers à base du sable de dunes », Université Amar Telidji de Laghouat, Algérie, Chambéry, Savoie, 6 a 8 juin 2012.
- [30] **Melais FZ**, thèse du doctorat «Durabilité des bétons de sable fibres dans les différents milieux agressifs : effets de la nature des fines d'ajouts et fibres», Université Badji Mokhtar Annaba, Algérie, 2016.
- [31] **F. Boulvain**, cours Une introduction aux processus sédimentaires, Université de Liège Faculté des Sciences Département de Géologie, 2019.

Références Bibliographiques

(<http://www.geolsed.ulg.ac.be/processus/processus.htm>).

[32] **Thang Le**, thèse du doctorat, «Influence de l'humidité des granulats de béton recyclé sur le comportement à l'état frais et durcissant des mortiers», Université de Lille 1, France, 2015.

[33] **Kati k et al, mémoire du Master**, «Etude d'évolution de la résistance en fonction du temps des bétons avec différentes natures de sables», Université Abderrahmane Mira- Bejaia, Algérie, 2018.