

REPUBLICQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE

Université de Mohamed El-Bachir El-Ibrahimi - Bordj Bou Arreridj

Faculté des Sciences et de la technologie

Département génie civil

Mémoire

Présenté pour obtenir

LE DIPLOME DE MASTER

FILIERE : *génie civil*

Spécialité : matériaux

Par

- **Bannia ahmed**
- **Zidoune abd errahmane**

Intitulé

Durabilités des bétons a base des granulats de région de BBA

Soutenu le : 06/2022

Devant le Jury composé de :

<i>Nom & Prénom</i>	<i>Grade</i>	<i>Qualité</i>	<i>Etablissement</i>
<i>M. bechiche said</i>	<i>MCA</i>	<i>Président</i>	<i>Univ-BBA</i>
<i>M. Loumachi lazhar</i>	<i>MAA</i>	<i>Encadreur</i>	<i>Univ-BBA</i>
<i>M. Bekadi ahmed abderraouf</i>	<i>MCA</i>	<i>Co-encadreur</i>	<i>Univ-BBA</i>
<i>M. Gulmine layachi</i>	<i>MCA</i>	<i>Examineur</i>	<i>Univ-BBA</i>
<i>M. Deboucha Sadek</i>	<i>MCB</i>	<i>Examineur</i>	<i>Univ-BBA</i>

Année Universitaire 2021/2022

Dédicaces

Je dédie ce travail à :

Mes parents et mes amis dont le soutien et les encouragements ont permis à ce travail de voir le jour,

Mon frère, mes sœurs et ma famille pour leur soutien, leur encouragement, leur affection et leur patience,

Tous mes amis.

REMERCIEMENTS

En premier lieu, je remercie le BON Dieu, clément et miséricordieux qui m'a permis de réaliser ce travail.

Ce travail de mémoire a été réalisé au Laboratoire de Génie civil de l'Université Mohamed elbachir el ibeahimi , le chef de département Dr. Ammar neoui maître de conférences, que je tiens à remercier sincèrement et chaleureusement pour son soutien, ses remarques pertinentes et l'apport de ses connaissances qui ont énormément enrichi ma formation, ainsi que pour la confiance et l'intérêt qu'il m'a accordés.

De même, j'adresse des remerciements sincères aux Prof. Bekadi abderraouf, Prof. Loumachi lazhar, qui ont accepté de me donner de leur temps et de leur attention pour la direction scientifique ce travail.

Je remercie mes amis belghazi abdallah et belaifa islem pour leur soutien tout le long de mon cursus universitaire.

Mes remerciements les plus sincères à mon frère le Dr. Belkadi abderraouf, qui m'a dirigé et orienté avec patience, a su guider mes choix et m'a fait profiter de ses connaissances.

Merci à toute l'équipe du laboratoire de Génie civil de L'Ubba et toutes les personnes qui ont collaboré de près ou de loin à ce projet : Belkadi abderraouf ,loumachi lazhar, neoui ammar kessal aussama , pour leurs disponibilités, leur enthousiasme, leur bonne humeur et pour le partage de leurs connaissances.

Merci enfin a mes chers parents et ma famille pour leur patience et leur précieux appui en toutes circonstances et à tous les niveaux, un grand merci à mes sœurs, mon frère et mes amis pour leurs encouragements et leur dévouement.

أصبحت متانة ديمومة الخرسانة المسلحة أو غير مسلحة ، في ظل ظروف عدوانية ، موضوع اهتمام كبير ، وبالتالي ، مجال بحث تم استكشافه على نطاق واسع. ضمن هذا الإطار الذي يناسب هذه الدراسة. تتمثل الأهداف الرئيسية لمشروع التخرج لدينا في تقدير خصائص الحبيبات وتأثيرها على جودة الخرسانة. لذلك فإن اختيار الركام يتعلق بشكل أساسي بالطبيعة المعدنية ، والكثافة ، والنظافة ، والصلابة ، وقياس الحبيبات ، وامتصاص الماء.

لهذا وبهدف تحسين قوة الخرسانة وقابليتها للتشغيل ، وهي الصفات الأساسية المطلوبة ، من الضروري معرفة الدور الذي يلعبه كل مكون بدقة ، ومشاركته وكذلك تأثيره على قوة الخرسانة . هو أيضا تأثير ثلاثة أنواع من الخرسانة القائمة على ثلاث حصى من منطقة برج بو عريريج مع إضافة معادن دخان السليكا باختبارات فقدان الكتلة وانخفاض المقاومة في البيئة العدوانية

كلمات مفتاحية: الحبيبات ، الخرسانة ، الطبيعة المعدنية ، الهجمات الكيميائية ، الوسائط العدوانية ، المتانة ،

Résumé

La durabilité du béton, armé ou non, dans les conditions agressives, est devenue un sujet d'intérêt majeur et, par conséquent, un domaine de recherche largement exploré. C'est dans ce cadre que s'insère la présente étude.

Les principaux objectifs de notre projet de fin d'études sont l'appréciation des caractéristiques des granulats et de leur influence sur la qualité du béton. Donc le choix des granulats, porte principalement sur la nature minéralogique, la masse volumique, la propreté, la dureté, la granulométrie, l'absorption d'eau. Pour cela et dans le but d'améliorer la résistance du béton et son ouvrabilité qui sont les qualités essentielles recherchées, il convient de connaître avec précision le rôle que joue chaque constituant, sa participation ainsi que son influence sur la résistance du béton. Ainsi, l'influence de trois types de béton à base de trois graviers de la région de Bordj Bou Arreridj avec un ajout minéraux la fumée de silice par des tests de perte de masse et chute de résistance dans le milieu agressive. Les résultats obtenus montrent que la présence de la fumée de silice révèle une augmentation de la résistance des bétons vis-vis de l'attaque chimique.

Mots- clés : Granulats, béton, nature minéralogique, attaques chimiques, milieux agressive, durabilité.

Abstract

The durability of concrete, reinforced or not, under aggressive conditions, has become a subject of major interest and, therefore, a widely explored area of research. It is within this framework that this study fits.

The main objectives of our graduation project are the appreciation of the characteristics of aggregates and their influence on the quality of concrete. therefore the choice of aggregates mainly concerns the mineralogical nature, the density, the cleanliness, the hardness, the granulometry, the water absorption.

For this and with the aim of improving the strength of the concrete and its workability, which are the essential qualities sought, it is necessary to know precisely the role played by each constituent, its participation as well as its influence on the strength of the concrete.

Is also the influence of three types of concrete based on three gravels from the BordjBouArreridj region with the addition of silica fume minerals by tests of loss of mass and drop in resistance in the aggressive environment.

Key words:

Aggregates, concrete, mineralogical nature, chemical attacks, aggressive media, durability.

Chapitre 1. Etat de l'art sur les constituants du béton

1	Introduction	5
1.1	Microstructure du béton	5
1.1.1	La pâte de ciment	6
1.1.1.1	Silicate de calcium hydraté ou C-S-H	7
1.1.1.2	Les pores de la pâte de ciment	9
1.1.1.3	Eau dans la pâte	10
1.1.1.4	Influence de la fumée de silice sur le coulis de ciment	12
1.1.2	Granulats	14
1.1.2.1	Origine les granulats	14
1.1.2.2	Caractéristiques géométriques des granulats	16
1.2	Conclusion	17

CHAPITRE 2 : LES MATERIAUX, LES NORMES, LES ESSAIS ET LES PROCEDURES UTILISES

2	INTRODUCTION	18
2.1	PRINCIPE DE LA METHODOLOGIE EXPERIMENTALE :	18
2.2	NORMES CONSULTEES :	19
2.3	LE CHOIX DES MATERIAUX :	19
2.3.1	Ciments :	19
2.3.2	Granulats :	21
2.3.2.1	Graviers :	21
2.3.2.1.1	Analyse granulométrique:	23
2.3.2.1.2	Masses volumiques :	24
2.3.2.2	Sables :	25
2.3.2.3	Analyse granulométrique	25
2.3.2.4	Masse volumique absolue et apparente des granulats	26
2.3.2.5	Caractéristiques physico-chimiques	27
2.3.2.5.1	Absorption d'eau :	27
2.3.3	Résistances mécaniques :	33

2.3.3.1	Essais de résistance à la compression :	33
2.3.3.2	Attaques chimiques :	35
2.4	CONCLUSION :	36
3	Introduction	36

Chapitre 3. Résultats et discussion

3.1	Propriétés à l'état frais	36
3.1.1	Affaissement au cône d'Abrams	36
3.2	Propriétés à l'état durci	37
3.2.1	Masse volumique	37
3.2.2	Résistance à la compression	38
3.3	Durabilité des bétons vis-à-vis de l'attaque chimique	40
3.3.1	Résistance à la compression	40
3.3.2	Perte en masse	41
3.4	Conclusion	42

LISTE DES FIGURES

Figure 1.1 : Représentation schématique de la microstructure du gel de C-S-H.

Figure 1.2 : Répartition des tailles des éléments d'une matrice cimentaire.

Figure 1.3 : Etat de l'eau dans les C-S-H.

Figure 1.4 : Description idéalisée de l'eau dans les zones d'adsorption empêchée et de la transition avec les pores capillaires.

Figure 1.5 : photos des granulats.

Figure 2. 1 : analyse granulométrique

Figure 2. 2 : Courbe d'analyse granulométrique

Figure 2. 3 : Courbe granulométrique du sable d'Oued souf.

Figure 2.4 : Malaxage du béton

Figure 2.5 : Malaxeur et moules utilisés pendant les essais

Figure 2.6 : Schématisation de la mesure de l'affaissement au cône d'Abrams.

Figure 2.7 : Essai réel d'affaissement au cône d'Abrams

Figure 2.8 : Machine d'essai de compression utilisé

Figure 2.8 : montre l'état des éprouvettes cubiques après écrasement.

Figure 2.9 : Eprouvettes cubiques (10x10x10) cm³ après écrasement

(Laboratoire de GC de l'Université de Bordj Bou Arreridj 2022)

Figure 2.10 : Conservation des éprouvettes exposées à des milieux agressifs

Figure 3.1 : Photo de l'affaissement.

Figure 3.2 : Affaissement de différents mélanges.

Figure 3.1 : Densité sèche de différents mélanges.

Figure 3.4 : Résistance à la compression de différents mélanges.

Figure 3.5 : Mode de rupture du B-M

Figure 3.6 : Résistance à la compression des bétons sous attaque chimique.

Figure 3.7 : Perte en masse des différents mélanges étudiés.

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1.1 : Classification des pores en fonction de leurs dimensions et des propriétés qu'ils affectent.

Tableau 2.1 : Composition chimique du ciment (%)

Tableau 2.2 : Composition minéralogique du ciment (Bogue)

Tableau 2.3 : Caractéristiques complémentaires du ciment

Tableau 2.4 : Caractéristiques physiques du ciment

Tableau 2.5 : Résistances mécaniques du mortier

Tableau 2.6 : L'analyse chimique et minéralogique du gravier de la région 01.

Tableau 2.7 : L'analyse chimique et minéralogique du gravier de la région 02.

Tableau 2.8 : L'analyse chimique du gravier de la région 3. 1.

Tableau 2.9 : Masses volumiques apparentes et absolues des graviers

Tableau 2.10 : Valeurs des masses volumiques du sable.

Tableau 2.11 : Valeurs de l'équivalent de sable.

Tableau 2.12 : Absorption d'eau des granulats utilisés

Tableau 2.13 : L'analyse chimique de l'eau

Tableau 2.14 : composition des mélanges préparés

Tableau 2.15 : Appréciation de la consistance fonction de l'affaissement au cône

Tableau 2.16 : *Classe d'agressivité des milieux agressifs*

INTRODUCTION GENERALE :

L'amélioration de la résistance du béton et de son ouvrabilité, qui sont les qualités essentielles à obtenir, passe par la connaissance du rôle que joue chaque constituant, sa participation ainsi que son influence.

Les granulats ont toujours joué un rôle prépondérant dans le domaine de la construction (bâtiments, ouvrages d'art, routes, etc...). Ils constituent par ailleurs la partie la plus importante du béton (80% de son poids).

Le choix des granulats destinés à un projet donné, conditionné par leurs caractéristiques mécaniques (Los Angeles ; Micro Deval ; etc.,...), et leurs caractéristiques de fabrication (forme ; propreté ; granularité, etc.,...) est déterminant pour les performances du béton obtenu.

C'est dans ce cadre que s'inscrit notre projet, dont les principaux objectifs sont l'appréciation des caractéristiques des granulats et de leur influence.

La durabilité est une propriété de génie du béton, qui détermine la durée de service des structures en béton de manière significative. En raison de l'interaction du béton avec des influences externes, les propriétés mécaniques et physiques du béton peuvent être menacées.

Parmi les facteurs menaçants l'attaque des produits chimiques tels que les acides qui sont nocifs pour le béton.

Traditionnellement l'aptitude d'un béton à résister à la dégradation – c'est-à-dire sa stabilité - était d'apprécier par sa résistance à la compression. Bien qu'une forte résistance soit une propriété liée étroitement à la structure poreuse, à la perméabilité et la diffusivité et par conséquent à la durabilité. Ces deux grandeurs physiques permettent de caractériser l'aptitude des bétons à résister à l'intrusion des agents agressifs.

L'attaque chimique constitue un sujet d'importance croissante, en raison de la propagation des dommages des structures en béton dans les zones urbaines et

industrielles. Bien que le ciment Portland ordinaire soit le plus couramment utilisé dans la construction d'infrastructures, sa résistance aux attaques chimiques, tels que les sulfates est un sujet préoccupant de plus en plus à travers tout le monde.

Par conséquent, les informations et les données sur le principe, les facteurs et les mesures de protection des granulats contre ces attaques sont utiles. En d'autres termes La durabilité du béton s'explique en grande partie, par la difficulté qu'ont les agents agressifs à pénétrer dans les réseaux poreux des bétons. Il est possible désormais de définir des objectifs de durabilité et de choisir avec précision les caractéristiques du béton en fonction de l'agressivité du milieu dans lequel se trouve l'ouvrage et d'optimiser ses caractéristiques afin de les adapter à la durée d'utilisation souhaitée. Les spécifications concernent la nature et le dosage minimal en ciment, la compacité minimale, la valeur maximale du rapport Eau/Ciment, l'enrobage minimal des armatures et la teneur maximale en chlorures dans le béton.

Buts de l'étude :

Les granulats Algériens font l'objet des spécifications européennes, l'Algérie n'ayant pas encore élaboré ses propres normes. La plupart des carrières produisent des granulats de roches sédimentaires ; parmi lesquelles les roches carbonatées qui constituent la fraction la plus importante.

Les différentes carrières exploitées dans le pays font l'objet de contrôles et de tests de plus en plus rigoureux. On peut espérer que les matériaux de construction, et les granulats en particulier soient de qualité garantie à l'avenir.

Mais les qualités des bétons obtenus à partir de granulats donnés ne sont pas toujours faciles à appréhender.

C'est pourquoi l'étude des propriétés des granulats produits localement et de leur influence sur les bétons obtenus est une démarche essentielle.

- Nous envisageons dans ce cadre, en utilisant 3 types de graviers différents :
- ❖ De faire des essais sur béton frais pour observer l'ouvrabilité,
- ❖ D'estimer l'influence de ces granulats sur les résistances obtenues

Problématique :

Le béton est un système chimique fortement basique, évolutif, plus ou moins réactif au contact du milieu extérieur souvent plus « acide » (atmosphère, eaux, solutions salines, acides).

L'attaque chimique des bétons met en jeu deux mécanismes couplés : dissolution/hydrolyse des hydrates et précipitation de sels, nocifs ou non et aussi l'étude du phénomène gel dégel.

Les conséquences générales sont un accroissement de la porosité et de la fissuration, une augmentation de la perméabilité et de la diffusivité, des pertes de masse et de résistances mécaniques et de faire une comparaison entre les graviers de trois régions.

Objectif :

L'objectif principal de cette étude est d'apporter une contribution à l'évaluation des effets des trois types de graviers et d'ajout minéraux tel que la fumée de silice sur la durabilité des bétons vis-à-vis des milieux agressifs.

L'intérêt de cette étude consiste à :

Evaluer expérimentalement la contribution des trois types de gravier et d'ajout minéraux (fumée de silice) à la durabilité des bétons vis-à-vis des milieux agressifs.

Evaluer l'effet d'ajouts minéraux (fumée de silice) dans les milieux agressifs.

Classer les trois types de graviers d'après leurs contributions à la durabilité.

Plan de travail :

Pour que l'influence des granulats soit objective nous avons :

Utilisé différents graviers (trois carrières).

Imposé un même sable pour tous les bétons confectionnés ; ce sable est un mélange de sable grossier et de sable fin.

Conservé un même dosage en ciment et en eau.

Pour atteindre le but visé dans ce projet, la méthodologie retenue est la suivante :

Après une introduction qui présente le sujet étudié, l'étude comporte deux parties : une partie théorique, et une partie expérimentale.

Dans la partie théorique, les notions de base sur les constituants du béton et leur influence, une synthèse des méthodes de formulation existantes ; (avec lesquelles on

peut calculer une composition d'un béton) ainsi qu'une récapitulation des méthodes de contrôle et d'essais sur les bétons à l'état frais et durci sont présentés.

Dans la deuxième partie, qui est la partie expérimentale, les essais retenus ainsi que les variables de l'étude sont présentés avant le rapport des résultats d'essai, leur discussion et l'interprétation.

Notre travail s'achève par une conclusion générale qui permet de faire une synthèse des résultats obtenus tout en proposant des pistes pour des perspectives futures.

Structure du mémoire :

Ce mémoire est constitué de trois chapitres, d'une introduction générale et d'une conclusion.

Le chapitre 1 : est destinée à l'étude bibliographique où nous avons donné quelques aspects affectant la durabilité des matériaux, et aussi étudiée les différents matériaux qui réagissent pour former le béton... etc.

Le chapitre 2 : Présente les données expérimentales sur les matériaux utilisés dans le cadre de ce travail, le programme des essais réalisés, les méthodes de formulation et explique brièvement les essais sur béton frais et béton durci.

Le chapitre 3 : donne les résultats expérimentaux obtenus et leur interprétation.

Chapitre 1. Etat de l'art sur le cœur du béton

Chapitre 1. Etat de l'art sur les constituants du béton

1 Introduction :

Le chapitre 1 présente une analyse de la littérature sur les caractéristiques des matériaux cimentaires, nous décrivons d'abord les différentes phases présentes dans tous les bétons, à savoir la région du coulis, des granulats et de la zone de transition à l'interface entre ces deux composants, d'un point de vue physico-chimique et mécanique. Nous nous intéresserons en particulier au cas du béton ordinaire, qui fera l'objet de nos recherches, et de la fumée de silice, un additif minéral souvent utilisé pour atteindre de hautes propriétés mécaniques, que nous intégrerons dans nos formulations. Cette partie de l'étude bibliographique doit pouvoir mettre en évidence les paramètres influents, notamment les granulats à travers leurs propriétés minéralogiques, leur composition chimique et leurs propriétés géométriques et mécaniques.

1.1 Microstructure du béton :

La complexité de la microstructure du béton est l'une des raisons de son comportement mécanique particulier lorsqu'il est soumis à diverses sollicitations (thermiques, hydriques, mécaniques, chimiques, etc.). Si l'on veut comprendre précisément les mécanismes sous-jacents des propriétés mécaniques du béton, il faut d'abord comprendre les propriétés des éléments qui le composent et sa structure à différentes échelles.

Trois phases existent dans le béton : la pâte de ciment, le granulat et l'interface pâte/granulat (y compris la porosité de chaque phase). Le coulis durci représente généralement 25 à 40% du volume total de béton, formant la soi-disant matrice cimentaire du matériau. Celui-ci agit comme une colle, rendant le matériau en béton rigide et résistant. Les granulats (sable, gravier) représentent 60 à 75 % du volume de béton. Ils agissent comme des atténuateurs de changement de volume de la matrice et

Chapitre 1. Etat de l'art sur le cœur du béton

ils sont une source de résistance mécanique, car ils se caractérisent souvent par des propriétés, notamment en compression, supérieures à celles des matrices (sauf dans le cas de granulats spécifiques). La zone de transition correspond à l'interface mortier-granulat [Maso, 1980]. Il constitue une zone de faible résistance dans le béton sollicité mécaniquement. Les propriétés de ces phases ont un rôle dans les comportements à long terme des bétons.

Bien que la composition de base soit en grande partie la même, il existe une grande variété de compositions de béton qui permettent d'atteindre des propriétés mécaniques ([Khelafi, 1988] [Muñoz, 2000]) où du béton à ultra-hautes performances (BTHP), du béton à hautes performances (BHP) [Loukili, 1996], ou pour des propriétés spécifiques à l'état frais comme le béton auto plaçant(BAP) ([Proust, 2002] [Assi, 2004] . ..). La diversité de ces composants vient du choix des paramètres de formulation (e.g. rapport E/L) et de la gamme d'ingrédients (ratios et propriétés) qui vont contrôler la composition, la structure et la morphologie des différentes phases : squelette solide (granulats, hydrates), de l'eau sous diverses formes (liquide dans la solution interstitielle, vapeur dans les pores, liée ou non aux hydrates) et un réseau poreux plus ou moins fin et tortueux. Pour appréhender le comportement macroscopique du béton, il faut donc comprendre l'état microscopique de ces différentes phases.

1.1.1 La pâte de ciment :

Le coulis durci est le composant le plus complexe. En effet, à plus petite échelle, ce solide est constitué de plusieurs familles d'hydrates :

- Le silicate de calcium hydraté (C-S-H) représente 50 à 70 % de la pâte de ciment. La diversité et le mélange des différentes formes de C-S-H conduisent à des comportements différents sous contrainte mécanique.
- Le silicate $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (ou hydroxyde de calcium) se présente sous la forme d'une plaque hexagonale d'environ 50 microns de long et de quelques microns d'épaisseur. Il

Chapitre 1. Etat de l'art sur le cœur du béton

constitue en moyenne 20 % de la matrice, n'est pas important du point de vue de la résistance mécanique et réduit la durabilité du béton en raison de sa solubilité dans l'eau. On a donc cherché à limiter sa proportion, par exemple en ajoutant de la fumée de silice, qui par la réaction pouzzolanique permet de la transformer en silicate de calcium hydraté.

• Aluminate de calcium hydraté :

- Sous forme d'ettringite ($3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 3\text{CaSO}_4\cdot 32\text{H}_2\text{O}$), elles ressemblent à des aiguilles creuses. Sa croissance peut modifier la structure de la matrice en agissant comme des micro-vérins qui créent une pression interne pouvant entraîner des fissures compromettant la durabilité du matériau.

- Sous forme de C_4AH_{13} ($4\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 13\text{H}_2\text{O}$), ils ressemblent à de petits morceaux assemblés ensans propriétés particulières.

Le coulis durci est l'élément principal en termes de rhéologie. Il agit comme un liant et constitue la base du comportement viscoélastique des matériaux en béton. Il inclut tous les hydrates (C-S-H, silicates ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), aluminates) au cours du temps. Mais il est aussi à l'origine de ses principaux défauts : augmentation de la porosité globale et diminution de la résistance mécanique du matériau, présence éventuelle d'agents érosifs et possibilité de transport à travers le réseau poreux, retrait, fluage...

Il est donc nécessaire de décrire de manière plus fine la composition du C-S-H, ainsi que la répartition des pores et la microstructure, afin de pouvoir mieux comprendre le comportement macroscopique des pâtes de ciment.

1.1.1.1 Silicate de calcium hydraté ou C-S-H :

Le silicate de calcium hydraté est le composant principal de la pâte de ciment durci. Il existe plusieurs silicates de calcium hydratés de structures différentes appelées C-S-H (composé de $(\text{CaO})_x(\text{SiO}_2)_y(\text{H}_2\text{O})_y$), où les valeurs de x et y dépendent de la teneur en calcium et en silicate de l'eau [Viallis -Terriisse , 2000]. C-S-H a une grande surface spécifique et une porosité d'environ 28 % [Powers, 1968]. La surface de C-S-H est

Chapitre 1. Etat de l'art sur le cœur du béton

également attrayante. Ils se collent entre eux et aux autres éléments constitutifs du béton (sable, granulats, silicates...), ce qui explique le rôle de colle du ciment.

Plusieurs modèles ont été proposés dans la littérature scientifique pour décrire sa structure et sa morphologie, notamment le modèle de [Feldman et Sereda, 1968] (voir Figure 1.1). Les particules de C-S-H se présentent sous la forme de fibres formées de flocons qui s'enroulent sur eux-mêmes. Chaque flocon est composé de 2 à 4 feuilles simples. Il peut y avoir un mouvement relatif entre ces feuilles, réversible ou irréversible lors du chargement. Par conséquent, il est possible que de l'eau s'infilte ou sorte de l'espace intergranulat.

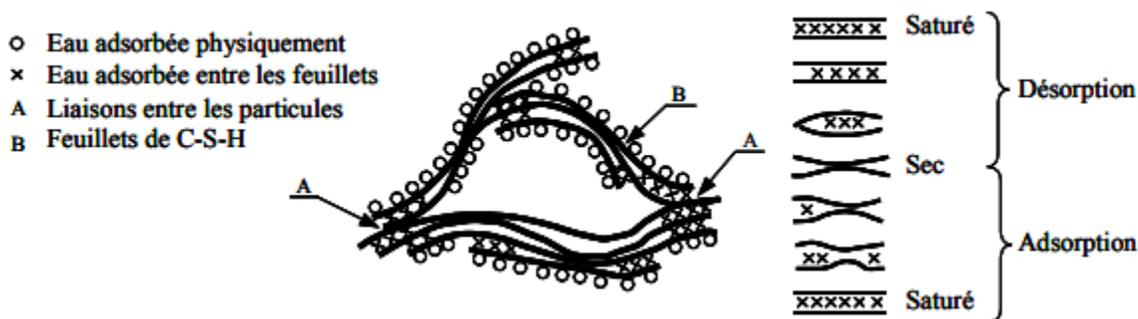


Figure 1.1 : Représentation schématique de la microstructure du gel de C-S-H.

Ce modèle est intéressant pour comprendre le comportement global de C-S-H affecté par un comportement différé. La sortie et l'entrée (interleaf) de ces eaux est le principal phénomène expliquant les changements dimensionnels observables dans le temps à différentes pressions [Feldman et Sereda, 1968]. Par exemple, lors d'un chargement mécanique, l'eau entre les feuilles peut être évacuée. En conséquence, un glissement et/ou un rétrécissement du matériau de la feuille C-S-H peuvent se produire. De même, les mécanismes de contraction et d'expansion sont attribués au mouvement de l'eau dans la structure C-S-H [Wittmann, 1977].

Chapitre 1. Etat de l'art sur le cœur du béton

1.1.1.2 Les pores de la pâte de ciment :

La porosité de la pâte est un paramètre important car il détermine toutes les propriétés du béton, telles que la résistance à la compression et les indicateurs de durabilité [Baron et Ollivier, 1992]. Cette porosité varie à la fois quantitativement (de moins de 10 % pour le BTHP à plus de 15 % pour le BO) et qualitativement (taille et répartition des rayons des pores) d'un béton à l'autre. La connaissance de la taille des pores est tout aussi essentielle. En effet, on considère deux catégories distinctes de pores:

- Pores capillaires d'un diamètre supérieur à $0,02 \mu\text{m}$. Il semble que les différences structurelles entre les différents types ou rapports E/C des pâtes de ciment proviennent principalement des différences entre la porosité capillaire [Hansen, 1986] [Baroghel-Bouny, 1994],
- Micropores ou pores de gel de moins de $0,02 \mu\text{m}$ de diamètre, une caractéristique inhérente aux hydrates. Contrairement à la première, cette microporosité est faible dépendante du rapport E/C, principalement due au C-S-H [Hansen, 1986]. La figure 1.2 montre une représentation schématique des différentes phases solides et poreuses présentes dans la matrice cimentaire fournie par [Mehta, 1986].

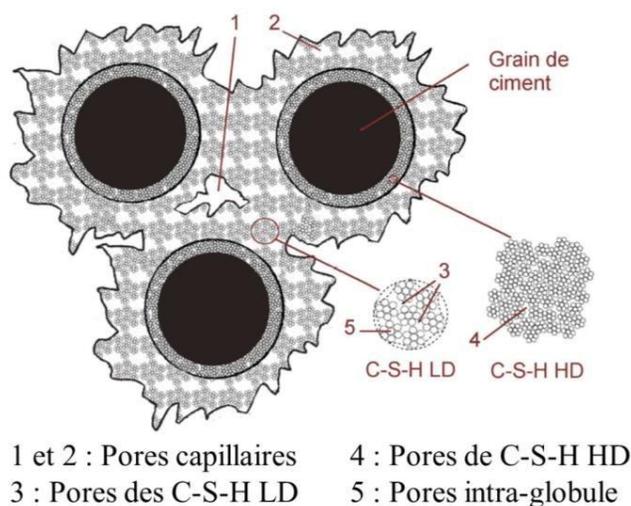


Figure I.2 : Répartition des tailles des éléments d'une matrice cimentaire [Mehta, 1986].

Chapitre 1. Etat de l'art sur le cœur du béton

Tous ces pores peuvent être interconnectés pour former un réseau qui fournit des voies de transport de fluides (eau, gaz) à traverser. Le chemin à travers le matériau est appelé "chemin de perméation". L'existence de ces derniers conditionne les propriétés de transfert et le comportement mécanique et différé du béton.

Désignation	Diamètres	Description	Propriétés affectées
Pores du gel	< 0,5 nm	Espaces inter-couches	Retrait et fluage
	0,5-2,5 nm	Micropores	Retrait et fluage
	2,5-10 nm	Mésopores	Retrait
Pores capillaires	10-50 nm	Capillaires moyens	Résistance, perméabilité, retrait
	50 nm-1 μ m	Larges capillaires	Résistance, perméabilité
	> 1 μ m	Larges capillaires et poches d'air	Résistance

Tableau I.1: Classification des pores en fonction de leurs dimensions et des propriétés qu'ils affectent [Silva et al., 2001].

1.1.1.3 Eau dans la pâte :

L'eau est l'un des composants de base du béton ses propriétés liantes avec les coulis de ciment hydratés. Les catégories décrites ci-dessous, Issu de travaux antérieurs [Baron et Sauterey, 1982] [Guénot-Delahaie, 1997], décrivant Différents types d'eau évaporable dépendent de la force de liaison :

- Eau libre et capillaire : non affectée par l'attraction de surface dur. Principalement trouvée dans les pores capillaires de dimension supérieure à 10 μ m (macro pores et fissures).
- Eau adsorbée : L'eau est adsorbée sur les parois de la surface externe des particules.

Physiquement : L'attraction est du type van der Waals. L'eau est liée et confinée dans les très petits pores entre eux surface cristalline.

Chapitre 1. Etat de l'art sur le cœur du béton

Chimiquement : les électrons sont partagés entre l'eau et la surface dur par conséquent, la structure de la molécule d'eau est modifiée (dissociation rompre la liaison covalente OH).

- Eau liée chimiquement : elle réagit chimiquement avec le ciment pour former un nouveau produit comme le C-S-H ou l'ettringite. Eau présente dans le C-S-H et eau présente dans la région qui empêche l'adsorption joue un rôle majeur dans le comportement mécanique du béton. Ils se caractérisent par C_e qui suit:

- Eau en C-S-H : à partir de diverses méthodes expérimentales, Sierra, par Baron et Sauterey [Baron et Sauterey, 1982], ont pu identifier dans la structure C-S-H. L'eau existe sous trois formes, ici par ordre décroissant d'énergie de liaison avec des solides (voir Figure 1.3):

Eau hydroxylée (groupe O-H) : Elle est associée à des atomes de silicium et calcium à la surface des feuilles.

Interleaf water (ou eau interfeuilles) : Elle est reliée aux couches par hydroxyle. Il interfère avec la cohésion interne des flocons.

Eau intercalaire : soit elle adhère à la surface des flocons, soit elle traverse des hydroxyles ou combinés avec d'autres molécules d'eau.

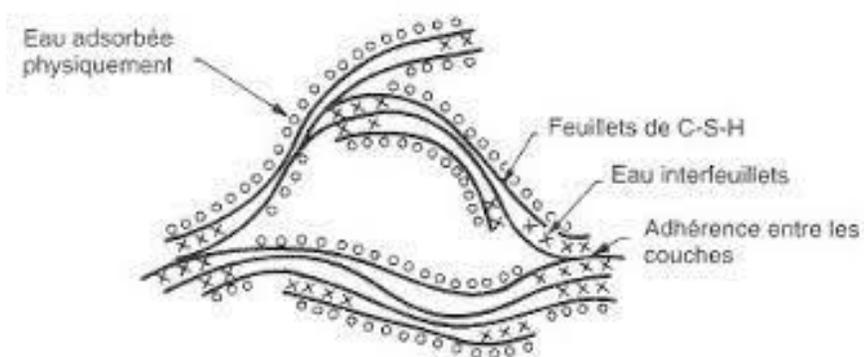


Figure 1.3 : Etat de l'eau dans les C-S-H (Sierra, 1974 cité par [Baron et Sauterey, 1982])

Chapitre 1. Etat de l'art sur le cœur du béton

• **Confinement de l'eau dans les zones d'adsorption** (voir Figure 1.4) : Dans ces zones, l'eau forte adsorption sous pression environ 130 MPa [Bazant, 1972]. Cette pression s'oppose aux forces attractives qui existent entre les particules C-S-H et maintenir la structure de la colonne vertébrale. La pression semble être à la source du retrait de séchage dans le temps semblent également en être la cause.

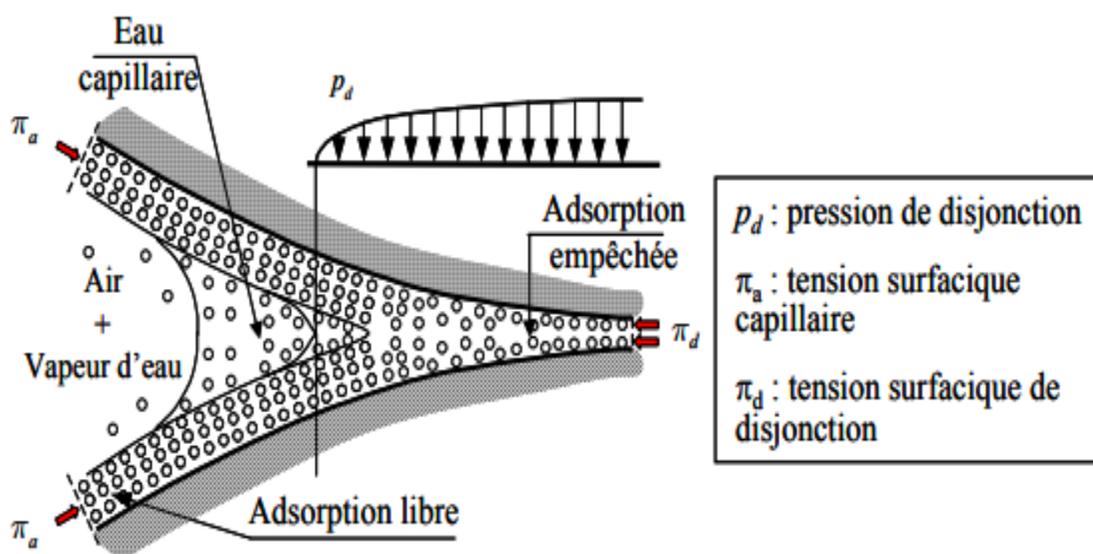


Figure 1.4: Description idéalisée de l'eau dans les zones d'adsorption empêchée et de la transition avec les pores capillaires [Bazant, 1972]

1.1.1.4 Influence de la fumée de silice sur le coulis de ciment :

Utilisation d'additifs minéraux (filler calcaire, filler siliceux, laitier de haut fourneau, fumée de silice, cendres volantes, métakaolin, etc. Qu'il s'agisse d'un complément ou d'un remplacement partiel du ciment, il devient de plus en plus courant. Il est possible

Chapitre 1. Etat de l'art sur le cœur du béton

de réduire le coût et/ou d'améliorer les propriétés de certains bétons. Dans le cadre de ce travail, nous Formulation du béton telle qu'elle est souvent utilisée pour fabriquer du BO avec de la fumée de silice. Ce dernier est un sous-produit de la fabrication industrielle du ferrosilicium. Il contient environ 85 à 98 % de SiO_2 . Les particules de fumée de silice sont sphériques. Cette addition a une double action : une action physique (action de remplissage) et une autre action chimique :

- Environ 0,1 à 0,5 μm de diamètre [Baroghel-Bouny, 1994]. Quand les particules des fumées de silice (FS) sont bien dispersées, elles s'accumulent dans les espaces interstitiels Il y a encore des vides entre les particules de ciment dont le diamètre est 100 fois plus grand. Ainsi, des particules non hydratées de ciment et de fumée de silice peuvent être utilisées comme charges (effet physique), contribuant ainsi à améliorer la compacité de la microstructure matricielle, Il en résulte un niveau amélioré de propriétés mécaniques macroscopique. Selon Beaudoin et Feldman [Beaudoin et Feldman, 1985], dans les pâtes il y a un effet de réarrangement et de consolidation du ciment à faible rapport eau-ciment, la couche d'hydrate formée domine l'amélioration des performances mécanique.

- La fumée de silice réagit avec le silicate (CaOH_2) libéré par l'hydratation du ciment et du silicate de calcium hydraté (C-S-H) se forme. Les caractéristiques de la fumée de silice est liées à la réactivité pouzzolanique élevée, due à sa grande surface spécifique, Ceci indique que le développement des propriétés du béton est peut-être contrôlé par de multiples énergies d'activation. La réaction pouzzolanique de la fumée de silice est d'environ 80 kJ/mol, Le ciment ordinaire est de 33,5 kJ/mol. Plusieurs auteurs ont étudié l'effet de la fumée de silice sur l'augmentation des propriétés mécanique.

Selon Chatterji, les effets bénéfiques de la fumée de silice sur l'amélioration des performances s'expliquent par son effet physique plutôt que par son activité de la cendres volcaniques. Selon Mehta Hydratation la fumée de silice peut être divisée en deux étapes : la première étape est caractérisée par une hydratation rapide accompagnée de dissolution et de consommation de particules de fumée Silice et

Chapitre 1. Etat de l'art sur le cœur du béton

augmentation de la résistance mécanique. La deuxième caractéristique est l'hydratation est plus faible, mais le système devient plus dense en raison du réarrangement des produits d'hydratation et conversion des pores larges en pores fins réaction des cendres volcaniques, augmentant la résistance.

1.1.2 Granulats :

Les granulats jouent un rôle important dans le comportement du béton. Ils sont très solides en termes de propriétés mécaniques. En effet, ils ont eudes meilleures propriétés mécaniques que la pâte. Afin d'obtenir un béton avec de bonnes propriétés, plusieurs paramètres doivent être utilisés. Les critères pour sélectionner les granulats : qualité, minéralogie, forme et granulométrie.



Figure 1.5 : photos des granulats.

1.1.2.1 Origine les granulats :

Les granulats de béton proviennent de trois sources :

- grandes carrières ;
- Dépôts alluvionnaires ;
- Production d'agrégats artificiels légers (laitier expansé, argile expansée, schiste) rallonge, etc).

Chapitre 1. Etat de l'art sur le cœur du béton

Étant donné que les procédures d'identification peuvent varier selon la source d'agrégats. A partir de là, nous examinerons successivement ces trois sources. Trois catégories les roches existent dans la nature :

- Des roches d'éruption provenant des profondeurs de la croûte terrestre ;
- Roches métamorphiques partiellement ou entièrement recristallisées Sous l'effet des hautes pressions et des hautes températures, ces transitions tendent à leur donner une structure homogène ;
- Roches sédimentaires provenant de la consolidation des sédiments ou précipitation des minéraux en solution. Comme la composition minérale, la structure d'une roche est aussi un élément important dans leur classement car il constitue une indication de la façon dont ils ont classé un assemblage de minéraux se forme dans la roche.

On peut distinguer cinq structures de base dans l'ordre

Dimensions de la taille du cristal :

- Grosses particules.....10 mm
- Structure.....1 mm
- Particules.....0,1 mm
- Cryptocristallin.....0,01 mm
- Corps vitré.....<1 µm

Une terminologie supplémentaire est nécessaire pour clarifier certaines spécificités; on dit qu'une structure est :

- Cristaux porphyriques composés de cristaux millimétriques ou centimétriques recouvert d'un substrat plus fin;
- Orientation lorsqu'elle est anisotrope du fait de l'orientation privilégiée du cristal ;
- Schiste (si très directionnel);
- stratification, si elle présente une alternance de différentes couches minéralogiques ;

Lors du choix d'un agrégat, vous devez connaître la texture et la classe chimie des roches.

Chapitre 1. Etat de l'art sur le cœur du béton

1.1.2.2 Caractéristiques géométriques des granulats :

D'une manière générale, l'utilisation d'agrégats roulés dans la technologie du béton conventionnel est supérieure aux granulats concassés car ils devraient donner de meilleure maniabilité du béton. D'autre part, les granulats concassés sont connus pour produire une meilleure adhérence avec le coulis ([Akçaoglu et al., 2002] [Rao et Prasad, 2002][Azimah, 2007] [Lo et al., 2008] [Cnudde et al., 2009] [Munoz et al., 2010]).

La forme et la granulométrie de l'agrégat affectent la compacité du mélange granulaire. La forme peut être définie par l'allongement et l'indice d'aplatissement dépend de la géométrie des agrégats. Ainsi, l'agrégation peut être plus ou plus petit rond, floconneux ou en forme d'aiguille, anguleux...

La plage de granularité sera représentée par la granularité et la distribution granulométrique des granulats utilisés dans un béton donné. Cette répartition doit permet de réduire le volume des vides pour améliorer le compactage du béton. De ce point de vue, la granularité doit donc être optimisée en utilisant par exemple la méthode De Dreux-Gorisse [Dreux et Festa, 1995] ou d'autres méthodes plus récentes [de Larrard,2000].

La rugosité du granulat influe également sur la compacité du mélange granulaire, et l'adhérence des granulats au coulis (due à la zone de transition)

La promotion de l'utilisation du sable concassé, même à forte teneur en fines, est une solution concrète aux problèmes environnementaux et économiques. D'autant plus que la présence d'éléments fins dans le béton est incontournable et indispensable, puisque le concassage de la roche s'accompagne systématiquement de la génération de fines. D'autre part, la teneur en fines de ces sables variera en fonction du processus de concassage et de la nature minérale de la roche extraite. De ce fait, les producteurs de granulats voient leurs produits rejetés en raison de la forte teneur en fines du sable, alors que la recherche dans ce domaine est prometteuse et favorise l'utilisation du sable concassé.

Chapitre 1. Etat de l'art sur le cœur du béton

1.2 Conclusion :

Ce chapitre présente des généralités sur les caractéristiques des matériaux cimentaires, nous avons décrit les différentes phases présentes dans tous les bétons, à savoir de la pâte, des granulats et de la zone de transition à l'interface entre ces deux composants, d'un point de vue physico-chimique et mécanique. Nous avons intéressé en particulier au cas du béton ordinaire, qui fera l'objet de nos recherches, et de la fumée de silice, comme un additif minéral pour atteindre de hautes propriétés mécaniques, que nous intégrerons dans nos formulations. Cette partie de l'étude bibliographique doit pouvoir mettre en évidence les paramètres influents, notamment les granulats à travers leurs propriétés minéralogiques, leur composition chimique et leurs propriétés géométriques et mécaniques. Dans le chapitre suivant on va viser les méthodes que nous utiliserons pour mener nos recherches, qui permettront d'atteindre différents objectifs.

CHAPITRE 2 : LES MATERIAUX, LES NORMES, LES ESSAIS ET LES PROCEDURES UTILISES

CHAPITRE 2 : LES MATERIAUX, LES NORMES, LES ESSAIS ET LES PROCEDURES UTILISES

2 INTRODUCTION

Ce chapitre vise à révéler les méthodes que nous utilisons pour mener nos recherches, qui permettront d'atteindre différents objectifs.

Nous définissons la composition et les sources des matériaux de base qui rendent ce travail possible. Nous précisons également les différentes méthodes de test utilisées, ainsi que les références aux normes correspondantes. Enfin, nous décrivons les différents mélanges étudiés.

Cinq compagnons de test ont été réalisés, d'un compagnon à l'autre, et nous avons essayé de corriger les problèmes rencontrés avec les compagnons précédents (mobilité, répartition uniforme des particules, résistance mécanique, durabilité).

Le dosage de ciment de 380 kg reste inchangé. Évaluer et comparer expérimentalement les performances de bétons fabriqués à partir de différents types de granulats de carrière, sources minérales.

Cette étude vise également à apporter des solutions spécifiques aux effets granulats faibles dans le béton en utilisant des matériaux locaux (sable d'oued, fumée de silice).

2.1 PRINCIPE DE LA METHODOLOGIE EXPERIMENTALE :

L'étude consiste à confectionner des bétons contenant des graviers concassés de différentes carrières.

Pour chaque compagne confectionnée, différentes caractéristiques ont été mesurées sur bétons, frais et durci:

- 1- Le comportement à l'état frais : (affaissement),
- 2- Les caractéristiques mécaniques (résistance à la compression),

CHAPITRE 2 : LES MATERIAUX, LES NORMES, LES ESSAIS ET LES PROCEDURES UTILISES

3- La durabilité des bétons (immersion dans des solutions de Na_2SO_4).

2.2 NORMES CONSULTEES :

Les travaux et les manipulations de laboratoire ont été réalisés suivant les exigences des normes suivantes :

NF P 18-404 et NF P 18-405 Confection et conservation des éprouvettes

NF P18-406 Résistance à la compression

NF P18-451 Essai d'affaissement

NF P18-553 Granulats (préparation d'un échantillon pour essai)

NF P18-554 et 555 Mesures des Masses volumiques

NF P18-560 Analyse granulométrique par tamisage

EN 932-1 Propriétés générales des granulats (partie 1)

EN 932-2 Propriétés générales des granulats (partie 2)

NF EN 12350-5 Essai pour béton frais:Essai d'étalement à la table à chocs

NF EN 12390-1 Forme, dimensions et autres exigences relatives aux éprouvettes et aux moules

NF EN 12390-3 Résistance à la compression des éprouvettes

2.3 LE CHOIX DES MATERIAUX :

Les configurations expérimentales étudiées ont été appuyées sur les critères suivants :

2.3.1 Ciments :

Dans cette étude, nous avons utilisé un seul type de ciments à savoir :

- Le ciment Portland CPA-CEM I 42.5/N provenant de la société « lafargebiskra » de l'Algérie.

L'utilisation du Ciment Portland permet d'analyser l'effet de l'incorporation des additions minérales sur les performances des bétons fait à base de sable concassé.

CHAPITRE 2 : LES MATERIAUX, LES NORMES, LES ESSAIS ET LES PROCEDURES UTILISES

Les compositions chimiques, minéralogiques et caractéristiques du ciment sont présentées dans les Tableaux 2.1, 2.2 et 2.3)

En ce qui concerne la densité du ciment, elle a été mesurée au pycnomètre (Tableau 2.4).

Tableau 2.1 : Composition chimique du ciment (%)

	SiO₂	Al₂O₃	Fe₂O₃	CaO	SO₃	MgO
Ciment	20.40	5.53	3.54	61.60	2.38	1.73

Tableau 2.2 : Composition minéralogique du ciment (Bogue)

	C₃S	C₂S	C₃A	C₄AF
Pourcentages	51.19	19.88	8.667	10.773

Tableau 2.3 : Caractéristiques complémentaire du ciment

	CaOI (Résidu de chaux insoluble)	Refus (Tamis : 45 μm)	LSF	MS	MAF	PAF	RI
Ciment	0.56	20	93.41	2.25	1.56	2.74	0.60

CaOI : Résidu de chaux insoluble

LSF : Facteur saturation en chaux

MS : Module Silique

CHAPITRE 2 : LES MATERIAUX, LES NORMES, LES ESSAIS ET LES PROCEDURES UTILISES

MAF : Module Alumino ferrique

PAF : Perte au feu

RI : Résidu insoluble

Tableau 2.4 : Caractéristiques physiques du ciment

ρ Absolue (g/l)	ρ Apparente (g/l)	Surface spécifique (cm ² /g)	Consistance normale (%)	Début de prise (heure : min)	fin de prise (heure : min)
3149.6	1473.5	3581.5	26	3:25	4:55

La classe du ciment (Tableau 2.5) est mesurée sur mortier conventionnel conformément à la norme NF P 15-301.

Tableau 2.5 : Résistances mécaniques du mortier

	Age (Jours)		
	3	7	28
Compression	24	33	47

2.3.2 Granulats :

2.3.2.1 Grapiers :

Les graviers sont d'origine naturelle (calcaires jaunâtres) de la carrière de : bordj Bou Arreridj.

CHAPITRE 2 : LES MATERIAUX, LES NORMES, LES ESSAIS ET LES PROCEDURES UTILISES

➤ **Caractéristiques des graviers :**

Dans ce projet de recherche d'étude, on a choisi trois sources de matériaux (granulat de la région de Bordj Bou Arreridj (BBA) avec même sable (sable de d'OUED) Dans ce projet, on a jugé important d'utiliser :

Gravier de la carrière de BELIMOUR..... Région 1

Gravier de la carrière d'EI-EUCH..... Région 2

Gravier de la carrière d'EL-MHIR.....Région

➤ **Compositions chimiques des graviers :**

Tableau 2.6 : L'analyse chimique et minéralogique du gravier de la région 01 .

Composition chimique	teneur %								
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	K ₂ O	SO ₃	Cl	Na ₂ O	MgO
Région 01	2.02	0.69	0.75	52.82	0.07	0.16	0.03	0.13	0.72

Tableau 2.7: L'analyse chimique et minéralogique du gravier de la région 02

Composition chimique	teneur %										
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	K ₂ O	SO ₃	Cl	Na ₂ O	MgO	TiO ₂	PF
Région 01	2.0	0.69	0.75	52.8	0.07	0.16	0.03	0.13	0.72	0.03	42.5

CHAPITRE 2 : LES MATERIAUX, LES NORMES, LES ESSAIS ET LES PROCEDURES UTILISES

Tableau 2.8: L'analyse chimique du gravier de la région 3.

composition chimique	Tenures %				
	Ca _s O ₃	Gypses	Sulfates SO ₄ ²	Insolubles	Chlorure Na Cl
Region 03	82.55	1.808	1.00	17.90	-

2.3.2.1.1 Analyse granulométrique [NF P18-560] :

L'analyse granulométrique consiste à tamiser une masse bien déterminée sur une série de tamis à mailles carrées, dont les dimensions d'ouverture sont décroissantes (31.5 ; 25 ; 20 ; 16 ; 12.5 ; 10 ; 8 ; 6.3 ; 5). Les refus sur chaque tamis sont pesés, pour en déduire les tamisât (Photo 2.1). Cela va permettre d'analyser la distribution dimensionnelle des grains de nos échantillons et de tracer leur courbe granulométrique (Figure 2.1).



Figure 2. 2 : analyse granulométrique

CHAPITRE 2 : LES MATERIAUX, LES NORMES, LES ESSAIS ET LES PROCEDURES UTILISES

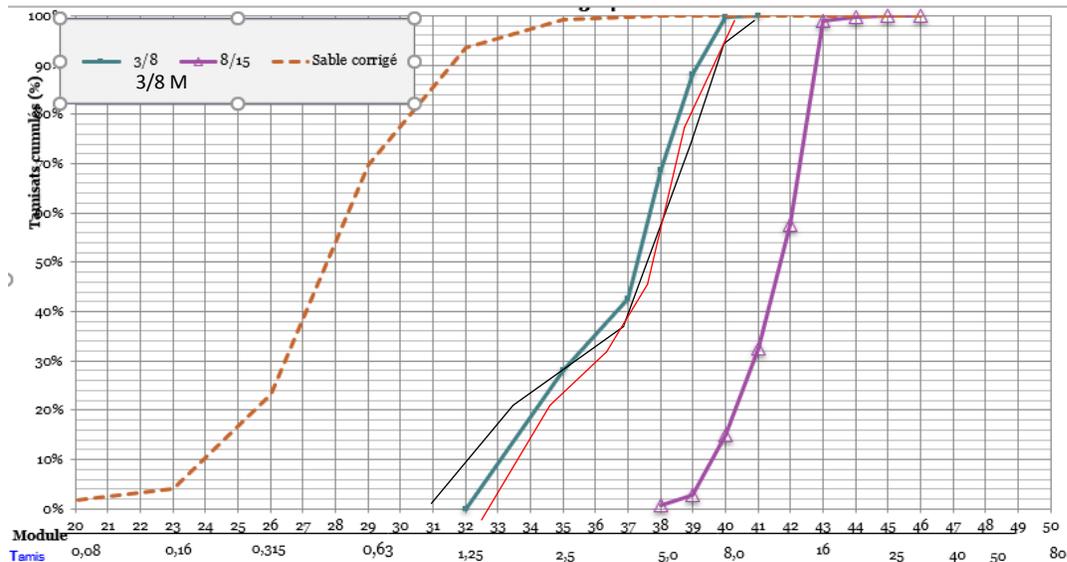


Figure 2. 2 : Courbe d'analyse granulométrique

2.3.2.1.2 Masses volumiques :

Les masses volumiques apparentes et absolues des granulats sont mesurées selon la norme en vigueur [NF P 18-554, NF P 18- 555]. La connaissance de ces paramètres est importante pour la formulation du béton. Les résultats des masses volumiques sont donnés dans le tableau 2.9, suivant :

CHAPITRE 2 : LES MATERIAUX, LES NORMES, LES ESSAIS ET LES PROCEDURES UTILISES

Tableau 2.9 : Masses volumiques apparentes et absolues des graviers

	ρ Apparente (g/l)	ρ Absolue (g/l)	d Apparente	d Absolue
Gravier 8/16	1422	2631	1.422	2.631
Gravier 16/25	1449	2659	1.449	2.659

2.3.2.2 Sables :

La norme (NF P18-541) montre que le sable présente des caractéristiques, pouvant lui permettre d'être utilisé pour la confection des mortiers. De plus, le sable utilisé dans le domaine de bâtiments doit répondre à des exigences de qualité et à des caractéristiques spécifiques à chaque usage. Il est nécessaire d'en établir les caractéristiques par différents essais de laboratoire. Le sable utilisé est de provenance du gisement d'Oued Souf, qui se situe à 620 Km au sud-est d'Alger, c'est un sable naturel (sable de dune), il est constitué principalement de petites particules de silice, propre dont les grains sont généralement de forme arrondie de dimension variant entre 0,08 et 3 mm.

2.3.2.3 Analyse granulométrique

Essai consiste à séparer, au moyen d'une série de tamis, un matériau (gravier ou sable) en plusieurs classes granulaires de dimensions décroissantes et tracer la courbe granulométrique. La courbe granulométrie pour le sable utilisé est présentée dans la Figure 2.3.

CHAPITRE 2 : LES MATERIAUX, LES NORMES, LES ESSAIS ET LES PROCEDURES UTILISES

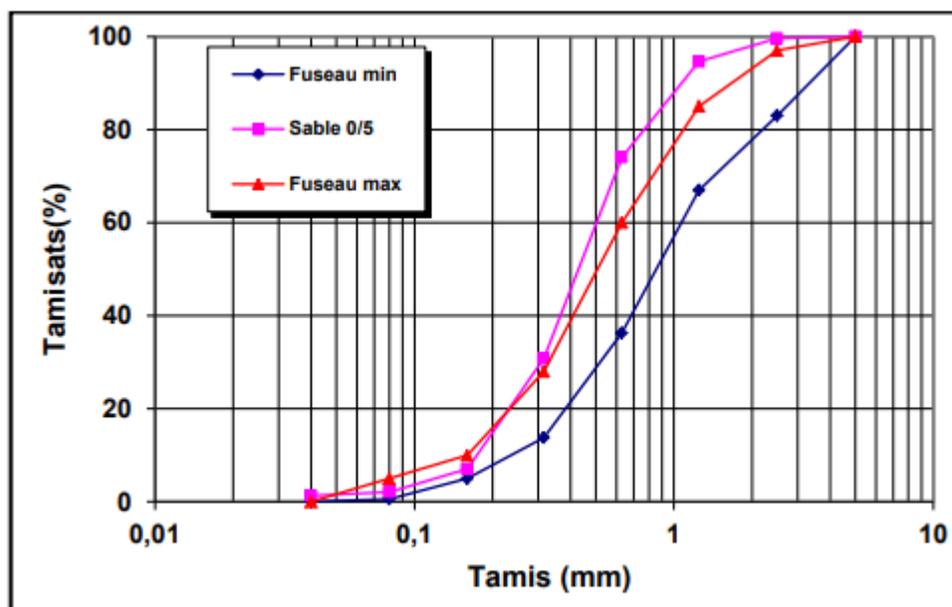


Figure 2. 3 Courbe granulométrique du sable d'Oeudsouf.

2.3.2.4 Masse volumique absolue et apparente des granulats

La masse volumique est une grandeur physique qui caractérise la masse d'un matériau par unité de volume. Différentes masses volumiques peuvent être définies pour les granulats : masses volumiques apparente et absolue (NF EN 1097-3). La masse volumique absolue (γ_{ab}) est la masse par unité de volume de la matière qui constitue le granulat, sans tenir compte des vides pouvant exister dans ou entre des grains. Le Tableau 2.10 montre les masses volumiques apparentes et absolues du sable utilisé.

CHAPITRE 2 : LES MATERIAUX, LES NORMES, LES ESSAIS ET LES PROCEDURES UTILISES

Tableau 2. 10 :Valeurs des masses volumiques du sable.

	Absolue (kg/m ³)	Apparente (kg/m ³)
Sable	2608	1617

2.3.2.5 *Caractéristiques physico-chimiques*

L'équivalent de sable est un essai pour caractériser la propreté d'un sable. Le principe de cet essai est consisté à séparer le sable des particules fines qui remontent par floculation à la partie supérieure de l'éprouvette. Le tableau 2.11 montre les résultats de l'équivalent de sable (933-8+A1, 2015).

Tableau 2. 11 :Valeurs de l'équivalent de sable.

	ESV/ESP
Sable	87; 85

2.3.2.5.1 Absorption d'eau :

Le coefficient d'absorption d'eau est défini comme étant le rapport d'augmentation de la masse après immersion de l'échantillon pendant 24 h dans l'eau à une température de 22 °C, à la masse sèche de l'échantillon.

Les résultats de l'essai sont donnés dans le tableau 2.12 :

CHAPITRE 2 : LES MATERIAUX, LES NORMES, LES ESSAIS ET LES PROCEDURES UTILISES

Tableau 2.12 :Absorption d'eau des granulats utilisés

	SA	SB	SC	SD1	SD2	ST	Gravier (8/16)	Gravier (16/25)
Absorption (%)	3	2.7	4	3.7	3.75	0.95	1.4	1.6

Eau de gâchage :

L'eau de gâchage utilisée pour les essais est conforme aux recommandations formulées dans la norme [NF P18-404]. Cette dernière provient du robinet et s'écoule à une température comprise entre 20 °C ± 2 °C. L'analyse chimique de l'eau (faite à université de Constantine) est présentée dans le tableau 2.12.

Ca	Mg	Na	K	Cl	SO4	CO2	NO3	Insoluble	pH
104	24	86	4	163	161	301	5	752	7.7

Tableaux 2.13 :l'analyse chimique de l'eau

2.5 ESSAIS ET PROCEDURES DES BETONS ELABORES :

2.5.2 Confection et cure des éprouvettes :

La confection des éprouvettes est faite conformément aux normes [NF P 18-404 et 405 et NF EN 12390-2]. Les essais de compression et de durabilité ont été réalisés sur des éprouvettes cubiques (10x10x10) cm³ [NF P18-406]

CHAPITRE 2 : LES MATERIAUX, LES NORMES, LES ESSAIS ET LES PROCEDURES UTILISES

Composition	La Quantité
Ciment	5.472
Fumé de silice	0.32832
Sable	9.70848
Gravier 8/15	7.603488
Gravier 15/25	8.237246
Eau	2.6928

Tableau 2.14 : composition des mélanges préparés

2.5.2.1 Malaxage du béton [NF P18-404] :

Le malaxage du béton a été réalisé comme suit :

- Pré mouillage du malaxeur, pour limiter une absorption de l'eau de gâchage
- Les constituants sont introduits dans la cuve du malaxeur
- Malaxer à sec pendant 1 min
- Ajouter de l'eau d'une façon uniforme et malaxer pendant 2mn

CHAPITRE 2 : LES MATERIAUX, LES NORMES, LES ESSAIS ET LES PROCEDURES UTILISES



Figure2.4 : Malaxage du béton

2.5.2.2 Remplissage et conservation des moules [NF P18-404] :

Le remplissage et la conservation des moules s'est faite comme suit :

- Après gâchage, on procède au remplissage à raison de deux couches, dans des moules qui ont été enduits d'huile à l'avance
- On procède à une consolidation par vibration à la table vibrante
- Enfin araser et lisser la surface du béton
- La conservation des moules contenant les éprouvettes, se fait dans le laboratoire, et afin d'éviter toute dessiccation initiale, on protège les moules par du film plastique
- Après 24 h \pm 2 h les éprouvettes sont démoulées et immergés dans un bassin d'eau à une température de 20 °C \pm 2 jusqu'à la date des essais

Il est à noter que trois éprouvettes par échéance ont été utilisées pour effectuer les essais.

CHAPITRE 2 : LES MATERIAUX, LES NORMES, LES ESSAIS ET LES PROCEDURES UTILISES

Les photos 2.14 et 2.15 montrent le malaxeur, les moules ainsi que le bassin de conservation des éprouvettes.



Figure2.5 : Malaxeur et moules utilisés pendant les essais

2.6 PROGRAMME DES ESSAIS :

2.6.1 Maniabilité :

Elle désigne la facilité de mise en place du béton. Les propriétés mécaniques de ce dernier sont liées à sa maniabilité.

2.6.1.1 Affaissement au cône d'Abrams :

L'appareillage et les procédures ont été suivis tels que décrits dans la norme [NF P 18-451]. Elle est schématisée dans la figure 2.6 :

CHAPITRE 2 : LES MATERIAUX, LES NORMES, LES ESSAIS ET LES PROCEDURES UTILISES

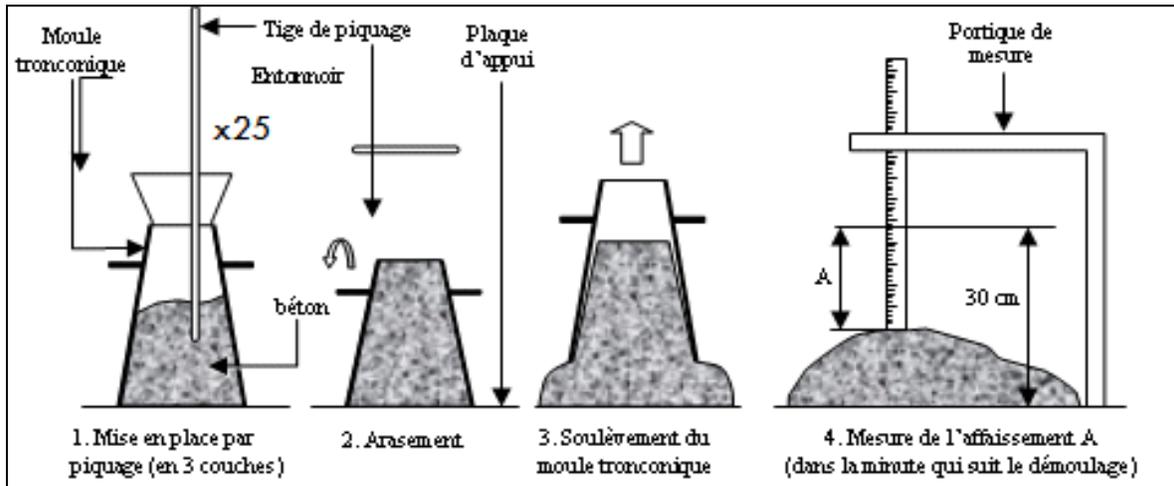


Figure 2.6 : Schématisation de la mesure de l'affaissement au cône d'Abrams

Dans cet essai, il s'agit de constater l'affaissement d'un cône de béton sous l'effet de son propre poids, vu que quand le béton n'est plus maintenu il s'affaisse selon sa consistance (figure2.7).



figure2.7 : Essai réel d'affaissement au cône d'Abrams
(Laboratoire de GC de l'Université de bordj Bou Arreridj 2022)

CHAPITRE 2 : LES MATERIAUX, LES NORMES, LES ESSAIS ET LES PROCEDURES UTILISES

Les consistances données par la norme [NF P 18-451] sont présentées dans le tableau 2.13 :

Tableau 2.15 : Appréciation de la consistance en fonction de l'affaissement au cône

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

(Laboratoire de GC de l'Université de bordj Bou Arreridj 2022)

2.3.3 Résistances mécaniques :

La plupart des essais effectués ont été faits en fonction du matériel disponible, mais aussi en fonction des caractéristiques des matériaux. Sur l'ensemble des essais menés, nous avons constaté l'absence d'anomalie majeure sur les résultats.

2.3.3.1 Essais de résistance à la compression :

L'essai de la résistance à la compression a été effectué sur une presse «Digimax Plus 70-C0019/B» de marque«Controls», d'une capacité de 1000 KN en compression et cela conformément à la norme [NF P 18-406, EN 12390-3]. Elle est constituée par deux plateaux (figure2.8) , celui du bas est fixe alors que celui du haut est relié à un piston exerçant une force axiale croissante. La vitesse de chargement été de l'ordre de

CHAPITRE 2 : LES MATERIAUX, LES NORMES, LES ESSAIS ET LES PROCEDURES UTILISES

0.5 MPa/s. Les valeurs et l'interprétation des résistances sont données dans le chapitre 2.



figure2.8 : Machine d'essai de compression utilisé

La figure 2.8, montre l'état des éprouvettes cubiques après écrasement.



figure2.9: Eprouvettes cubiques (10x10x10) cm³ après écrasement
(Laboratoire de GC de l'Université de bordj Bou Arreridj 2022)

CHAPITRE 2 : LES MATERIAUX, LES NORMES, LES ESSAIS ET LES PROCEDURES UTILISES

2.3.3.2 Attaques chimiques :

Dans cette étude des éprouvettes cubiques de $(10 \times 10 \times 10) \text{ cm}^3$, ont été exposées à des milieux agressifs : acide sulfurique (Na_2SO_4) (figure 2.10).

L'action du sulfate de sodium peut être résumée comme suit:

- *Formation du gypse secondaire :*

La formation du gypse secondaire résulte d'une réaction de substitution entre la portlandite et le sulfate, et ceci selon la relation ci-dessous :



- *Formation de l'ettringite secondaire :*

La formation de l'ettringite secondaire peut résulter de la réaction chimique entre le gypse secondaire et les aluminates de calcium anhydres (C_3A) ou hydratés (C_4AH_{13}) selon la relation ci-dessous :



La classe d'agressivité est définie dans le tableau 2.14 :

Tableau 2.15 : Classe d'agressivité des milieux agressifs

	Sulfate de sodium (Na_2SO_4)	Acide sulfurique (H_2SO_4)
Dosage (%)	5 %	3 %
Classe d'agressivité	Moyennement agressif	Moyennement agressif

CHAPITRE 2 : LES MATERIAUX, LES NORMES, LES ESSAIS ET LES PROCEDURES UTILISES

Au bout de 28 jours d'immersion dans les solutions agressives, les éprouvettes ont été écrasées. Les résistances à la compression issues de ces essais nous ont donné une idée sur la durabilité de ces bétons.

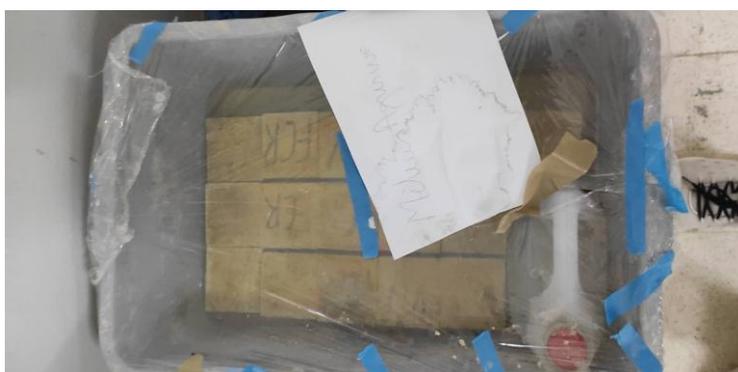


Figure 2.10 : Conservation des éprouvettes exposées à des milieux agressifs

Commenter : les éprouvette est déposé dons un bassin contenant un milieu agressifs pendant 28 jour. Les éprouvette réagir à ce milieu.

2.4 CONCLUSION :

A la fin de ce chapitre, après les essais physiques, analyse chimique et minéralogique du matériau, on note ce qui suit :

- La granulométrie du gravier varie d'une carrière à l'autre.
- La densité et l'absorption d'eau varient selon le matériau.

De plus, connaître les propriétés associées aux matériaux nous aidera dans le chapitre suivant à bien comprendre leur mécanisme d'action et à mieux interpréter les résultats expérimentaux.

CHAPITRE 2 : LES MATERIAUX, LES NORMES, LES ESSAIS ET LES PROCEDURES UTILISES

Tous les essais effectués sur du béton à l'état frais et durci sont couverts. Nous présenterons les résultats et les mesures pour chaque enrobé dans le chapitre suivant. L'interprétation de tous les résultats sera également discutée.

Chapitre 3. Résultats et discussion

Chapitre 3. Résultats et discussion

3 Introduction :

Ce chapitre présente l'ensemble des résultats expérimentaux du comportement à l'état frais, et à l'état durci des différents mélanges réalisés au laboratoire.

3.1 Propriétés à l'état frais :

3.1.1 Affaissement au cône d'Abrams :

L'appareillage et les procédures ont été suivis tels que décrits dans la norme [NF P 18-451]. Elle est schématisée dans la figure 3.1. Les résultats du comportement à l'état frais pour les bétons confectionnés sont présentés sur les figures IV.1 et IV.2.



Figure 3.1. Photo de l'affaissement.

Chapitre 3. Résultats et discussion

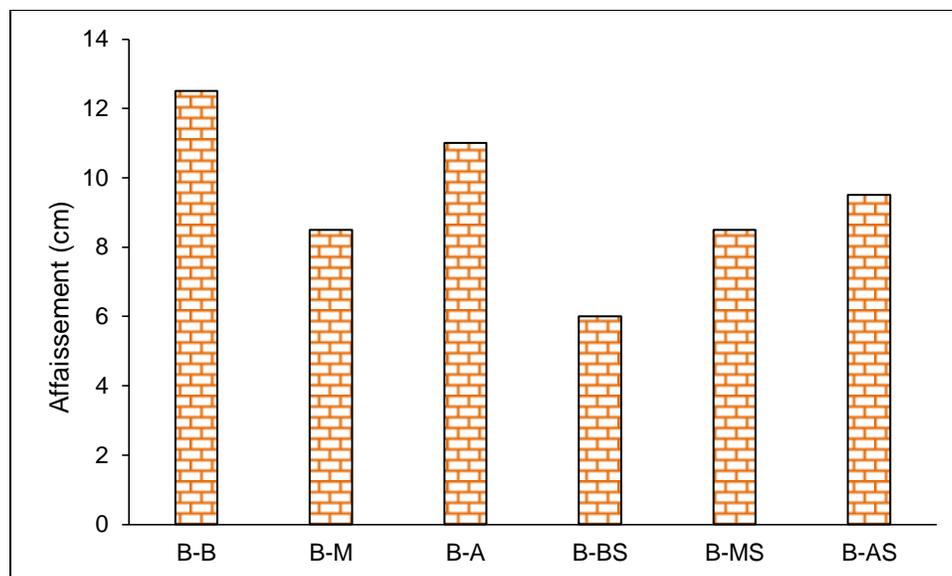


Figure 3.2. Affaissement de différents mélanges.

D'après la figure 3.2 on constate que l'affaissement des bétons est influé par la variation du type des granulats. A titre d'exemple les bétons à base de Mhir présentent un affaissement très faible par rapport aux autres bétons. La présence de la fumée de silice dans les bétons provoque une légère diminution de l'affairement. Ceci est dû à l'effet physique de la fumée de silice qui augmente la compacité du mélange et diminue les vides inters granulaires.

3.2 Propriétés à l'état durci :

3.2.1 Masse volumique :

Les résultats de la densité apparente des différents mélanges sont représentés dans la figure 3.3.

Chapitre 3. Résultats et discussion

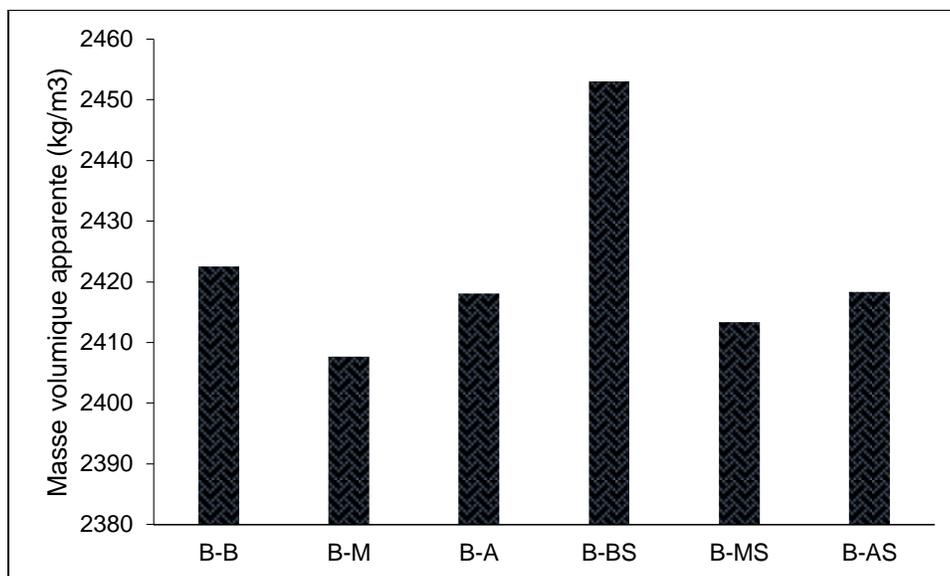


Figure 3. 2 : Densité sèche de différents mélanges.

A partir de la figure 3.3 on remarque que la présence de la fumée de silice dans le B-BS augmente la masse volumique. Ceci, est dû à l'amélioration de la compacité du mélange. Le B-B présente la densité la plus élevée par rapport aux autres bétons.

3.2.2 Résistance à la compression :

Les résultats de la résistance à la compression des différents mélanges sont représentés dans la figure 3.4.

Chapitre 3. Résultats et discussion

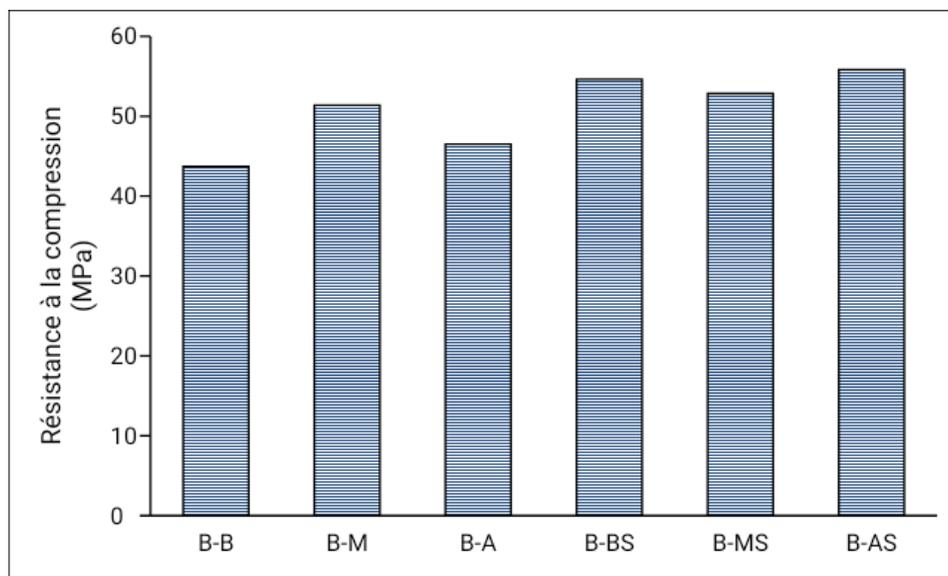


Figure.3.4 : Résistance à la compression de différents mélanges.

A partir de la figure 4.2 on constate que l'introduction des fumées de silice augmente légèrement la résistance à la compression des bétons à 28 jours que ce soit type de granulats. Ce bon comportement des bétons avec fumée de silice est dû à l'effet de la réaction pouzzolanique. L'effet du type de granulats sur la résistance à la compression est négligeable.

Chapitre 3. Résultats et discussion



Figure. 3.5 : Mode de rupture du B-M

3.3 Durabilité des bétons vis-à-vis de l'attaque chimique :

3.3.1 Résistance à la compression :

Les bétons présentent une basicité élevée, de ce fait ils ont une certaine réactivité vis-à-vis des solutions acides telles que (pluies acides, les marécages, milieux industriels, réseaux d'eau usée). Figure 3.6 présente la résistance à la compression de différents mélanges avant et après l'immersion dans l'acide.

Chapitre 3. Résultats et discussion

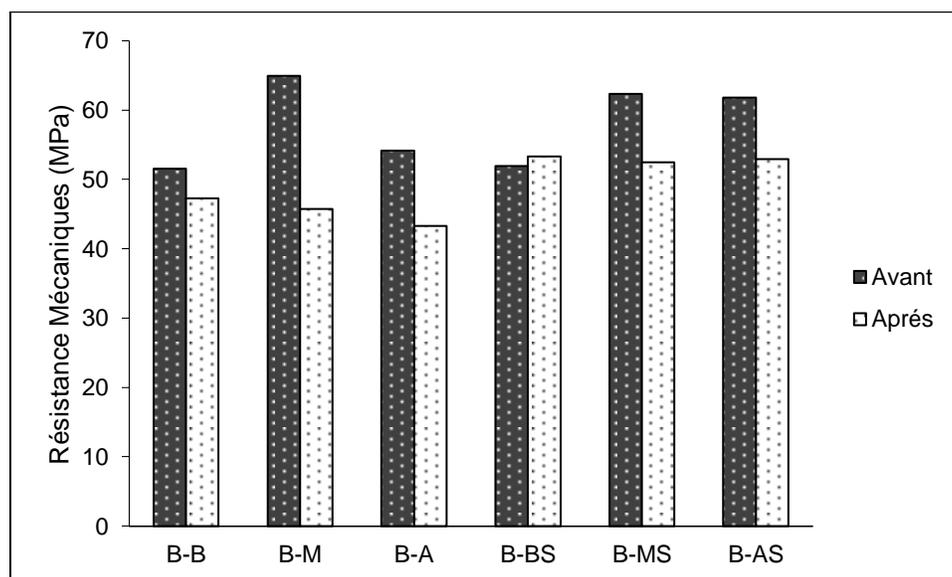


Figure .3.6 : Résistance à la compression des bétons sous attaque chimique.

D'après la figure 3.6 on constate que la résistance à la compression des bétons diminue après l'immersion dans l'acide sulfurique. Cependant B-BS possède une légère augmentation ce qui signifie le bon comportement de ce béton vis-à-vis de l'attaque chimique. La résistance à la compression de B-M diminue considérablement. Ceci probablement est dû à faible compacité de ce béton provoquant plus de vides.

3.3.2 Perte en masse :

Figure 3.7 présente la perte de masse des différents bétons utilisés.

Chapitre 3. Résultats et discussion

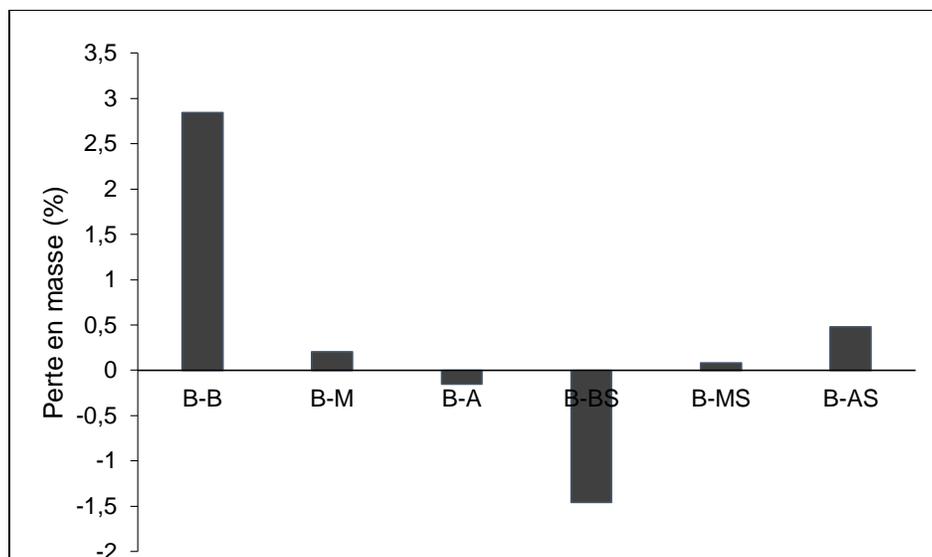


Figure 3.7. Perte en masse des différents mélanges étudiés.

D'après la figure 3.7 on constate que le mélange B-BS présente un léger gonflement. Ce résultat confirme la bonne résistance à la compression. Le mélange B-B présente une perte de masse très élevée. On conclut que la présence de fumée de silice dans les bétons est bénéfique contre l'attaque chimique.

3.4 Conclusion :

L'étude menée dans le présent chapitre vise à contribuer à mieux comprendre le comportement de granulats provenant de différentes carrières dans les bétons ordinaires. On a démontré dans cette étude la possibilité que l'ajout des fumées de silice présente des bonnes propriétés physiques et mécaniques que les bétons sans ajout. La variation sur les types des granulats joue un rôle important dans le comportement à l'état frais et durci des bétons. De plus la réaction pouzzolanique de la fumée de silice augmente la résistance des bétons vis-à-vis de l'attaque chimique que ce soit le type des granulats.

Conclusion générale

L'objectif de ce travail était évaluer expérimentalement l'étude de la durabilité sur les propriétés du béton ordinaire et avec pourcentage fumée de silice (la résistance à la compression et la perte de masse) dans les milieux agressifs (acide sulfurique) de pourcentage 5% à partir de différent graviers.

D'après les résultats expérimentaux qui nous avons obtenu, nous pouvons conclure que :

✓ L'affaissement diminue après avoir utilisé l'ajout de pouzzolane, cette diminution dépend de leur finesse par rapport la finesse du ciment.

✓ La masse volumique varie entre les bétons de différentes régions, cela dépend à la caractéristique de chaque gravier des régions.

Les bétons immergés dans des milieux agressifs exposent à une perte de masse, cela dépend au type du milieu agressif.

D'après nos résultats, nous obtenons :

✓ Dans le milieu H₂SO₄, il y a un ordre croissant dans la perte de masse après une immersion de 28 jours, avec une petite croissance après 60 jours.

En ce qui concerne la résistance, nous avons conclu que :

En fin, on conclut que les bétons de région 2 et 3 résistent mieux que le béton de région 1 dans les milieux agressifs (acide sulfurique).

Perspectives et recommandations :

D'après ce qu'on a conclu dans cette recherche, on peut déduire ce qui suit :

✓ La durabilité du béton à long terme.

✓ Teste des graviers des différentes régions dans les milieux agressifs.

✓ Durabilité du béton vis-à-vis le gel-dégel.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES :

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES:

Akçaoglu, T., M. Tokyay, et T. Çelik (2004), Effect of coarse aggregate size and matrix

Quality on ITZ and failure behavior of concrete under uniaxial compression, *Cement and Concrete Composites*, 26(6), 633-638.

Assié, S. (2004), Durabilité des Bétons Auto-Plaçants, Thèse de doctorat, Institut national des sciences appliquées de Toulouse.

Baroghel-Bouny, V. (1994), Caractérisation des pâtes de ciment et des bétons. Méthodes, analyse, interprétation, Thèse de doctorat, Ecole Nationale des Ponts et Chaussées.

Baron, J., et J. Ollivier (1992), La durabilité des bétons, Presse de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, Paris.

Baron, J., et R. Sauterey (1982), Le béton hydraulique, Presse de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, Paris.

Bazant, Z. (1972), Thermodynamics of hindered adsorption and its implications for hardened cement paste and concrete, *Cement and Concrete Research*, 2(1), 1-16.

Beaudoin, J., et R. Feldman (1985), High-strength cement pastes -- A critical appraisal, *Cement and Concrete Research*, 15(1), 105-116.

deLarrard, F. (2000), Structure granulaire et formulation des bétons, Ouvrages d'art OA 34, Etudes et Recherches des LCPC.

Dreux, G., et J. Festa (1995), Nouveau guide du béton, Edition Eyrolles

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES :

Feldman, R., et P. Sereda (1968), A model for hydrated Portland cement paste as deduced from sorption-length change and mechanical properties, *Materials and Structures*, 1(6), 509-520.

Guénot-Delahaie, I. (1997), Contribution à l'analyse physique et à la modélisation du fluage propre du béton, Thèse de doctorat, Ecole Nationale des Ponts et Chaussées.

Hansen, T. (1986), Physical structure of hardened cement paste. A classical approach, *Materials and Structures*, 19(6), 423-436.

Khelafi, H. (1988), Contribution à l'étude de l'association armature-béton à haute performance, Thèse de doctorat, INSA, Toulouse.

Loukili, A. (1996), Etude du retrait et du fluage de bétons à ultra-hautes performances, Thèse de doctorat, Université de Nantes.

Maso, J. (1980), Liaison entre les granulats et la pâte de ciment hydraté, In 7ème Congrès International de la chimie des ciments, Rapport principal, Paris.

Mehta, P. (1986), *Concrete, structure, properties and materials*, In Englewood Cliff, New Jersey :Prentice-Hall.

Muñoz, P. (2000), Rhéologie des bétons durcis : Approche couplée de la modélisation des retraits et fluages de bétons a hautes et très hautes performances, Thèse de doctorat, INSA, Toulouse, France.

Powers, T. (1968), The thermodynamics of volume change and creep, *Materials and Structures*, 1(6), 487-507.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES :

Proust, E. (2002), Retrait et fluage des bétons auto placants :Vers une compréhension des comportements différés, Thèse de doctorat, Institut national des sciences appliquées de Toulouse

Tafraoui, A. (2009), Contribution à la valorisation de sable de dune de l'erg occidental (Algérie), Thèse de doctorat, INSA, Toulouse.

Viallis-Terrisse, H. (2000), Interaction des Silicates de Calcium Hydratés, principaux constituants du ciment, avec les chlorures d'alcalins. Analogie avec les argiles, Thèse de doctorat, Université de Bourgogne.

Wittmann, F. (1977), Fundamental principles of a model describing the characteristic properties of concrete, Schriftenreihe Deutscher Ausschuss für Stahl beton.

NORMES CONSULTES :

NF-P18-404 : Bétons- Essais d'étude, de convenance et de contrôle confection et conservation des éprouvettes, Décembre 1981.

NF-P18-406 : Bétons- Essais de compression, Décembre 1981.

NF-P18-451 : Bétons-Essai d'affaissement, Décembre 1981.

NF-P18-553 :Granulats- Préparation d'un échantillon pour essai, Septembre 1990.

NF-P18-554 :Granulats- Mesure des Masses Volumiques, de la porosité, du coefficient d'absorption et de la teneur en eau des gravillons et cailloux, Décembre 1990.

NF-P18-560 :Granulats- Analyse granulométrique par tamisage, Septembre 1990.

NF-EN 932-1 :Essais pour déterminer les propriétés générales des granulats Partie 1 : Méthodes d'échantillonnage, Décembre 1996.

NF-EN 932-2 :Essais pour déterminer les propriétés générales des granulats Partie 2 : Méthodes de réduction d'un échantillon de laboratoire, Août 1999.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES :

NF-EN 12350-5 : Essais pour béton frais - Partie 5 : essai d'étalement à la table à choc, Juin 2009.

NF-EN 12390-1 : Essai pour béton durci-Forme, dimensions et autres exigences relatives aux éprouvettes et aux moules, Octobre 2001.

NF-EN 12390-3 : Essai pour béton durci-Résistance à la compression des éprouvettes, Février 2003.