



Université de Ghardaïa

N° d'ordre :
N° de série :

Faculté des Sciences et Technologies
Département d'Hydraulique et Génie Civil

Mémoire présenté en vue de l'obtention du diplôme de

MASTER

Domaine : *Sciences et Technologies*

Filière : Génie Civil

Spécialité : *Structure*

Par : CHENINA Fatima Zohra Nacira
KHAINECH Ouidad

Thème

**Utilisation de la poudrette de sable de dune en remplacement partiel
du ciment dans la production d'un béton hydraulique**

Soutenu publiquement le 26/09/2020

Devant le jury :

SALHI Imad	M.A.A	Ghardaïa	Président
AZIEZ M.N	M.A.B	Ghardaïa	Examineur
AMIEUR Abdenacer	Directeur Technique	LTPS	Encadreur
AMIEUR Taha Yacine	Ingénieur d'état	LTPS	Co-encadreur

Année universitaire 2019/2020

Résumé :

L'utilisation des produits secondaires et déchets dans les bétons hydrauliques devient dans nos jours une priorité pour les chercheurs, c'est dans ce contexte que s'inscrit notre projet de fin d'études. Il vise à étudier le comportement mécanique, à travers des essais en compression et traction par fendage, de cinq bétons dans lesquels une partie du ciment est substituée par de la poudrette de sable de dune. Les taux de substitution étudiés varient entre 5% ,7.5%, 10% et 12.5%.

Les résultats obtenus montrent que le comportement de ces bétons à l'état frais est pratiquement similaire au comportement des bétons ordinaires, et que cette substitution s'accompagne d'une fluctuation des performances mécaniques du béton en compression, en traction par fendage.

MOTS-CLES : Béton, ajout, Poudrette de sable de dune, comportement mécanique, Formulation

Abstract:

The use of secondary products and waste in hydraulic concrete is becoming a priority for researchers today, it is in this context that our final project is taking place. It aims to study the mechanical behavior, through compression and tensile tests by splitting, of five concretes in which part of the cement has been replaced by sand powder grounded from the dune sand. The substitution rates studied vary between 5%, 7.5%, 10% and 12.5%.

The results obtained show that the behavior of these concretes in the fresh state is almost similar to the behavior of ordinary concretes, and that this substitution is accompanied by a fluctuation in the mechanical performance of the concrete in compression, in traction by cleavage.

KEYWORDS: Concrète, addition, d'une sand powder, mechanical behavior, mix design.

تلخيص:

أصبح استخدام المنتجات الثانوية والنفايات في الخرسانة الهيدروليكية أولوية للباحثين اليوم، في هذا السياق الذي يتم فيه تنفيذ مشروعنا النهائي. و يهدف إلى دراسة السلوك الميكانيكي، من خلال اختبارات الضغط وسحب الانقسام، من خمسة الخرسانة التي يتم استبدال جزء من الاسمنت بمسحوق الرمال الكثبان الرملية. وتتراوح معدلات الإحلال التي تمت دراستها بين 5%، 7.5%، 10% و 12.5%.

تظهر النتائج التي تم الحصول عليها أن سلوك هذه الخرسانة في الحالة الطازجة يشبه عمليا سلوك الخرسانة العادية، وأن هذا الاستبدال يرافقه تقلب في الأداء الميكانيكي للخرسانة عند تجربة الضغط، و اختبار الشد غير المباشر.

الكلمات المفتاحية : الخرسانة، المضافات، مسحوق الكثبان الرملية ، السلوك الميكانيكي ، الخليط.

REMERCIEMENTS

Avant tout, nous tenons à remercier spécialement notre Créateur, Dieu Tout-Puissant qui nous a donné le courage et la volonté de développer et d'accomplir cette humble œuvre.

*Nous remercions l'encadreur **Dr AMIEUR Abdenacer** Co-encadreur, **Mr AMIEUR Taha Yacine**, pour l'honneur qu'il nous a fait en acceptant la direction de ce travail, et qui ont contribué avec leur aide, leurs efforts et leur disponibilité lors de l'élaboration de ce projet. Nous tenons à leur exprimer notre gratitude, à la fois pour les conseils et l'intérêt et la large culture ainsi que pour la confiance qu'ils nous ont accordée au cours de ce projet de recherche, merci à vous deux d'avoir ouvert les portes d'un monde merveilleux de la recherche expérimentale, malgré tous ces doutes et difficultés. Mes remerciements également pour les membres de jury qui nous font l'honneur de présider et d'examiner mon travail.*

*Nous tenons à remercier également l'ensemble du corps enseignants **département de génie civil et d'hydraulique de l'université de GHARDAIA**, Mes remerciements les plus profonds pour ma chère famille pour son soutien moral et ses encouragements.*

*Les essais expérimentaux de la présente étude se sont déroulés à travers au **Laboratoire des travaux publics du Sud**.*

*Nous remercions vivement tous les **techniciens** pour l'aide desquels nous avons réalisé cette partie. Ainsi que nous remercions **Mr BEDIAF Chikhe** et **Mr DJIKAOUA Med Chikhe** pour leur soutien dans tous les essais expérimentaux. Nous remercions les **directeurs et administrateurs** du **Laboratoire des travaux publics** de nous avoir accueillis à la période de formation pratique de fin de cycle.*

*Nous exprimons tout le bonheur du monde à **mes collègues de la promotion 2020 du Master Génie Civil (option structure)**.*

Enfin, nous tenons à exprimer notre gratitude à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce document.

DEDICACES

Ce modeste travail est dédié :

✚ *A mon exemple éternel, mon soutien moral, source de joie et de bonheur, à celui qui s'est toujours sacrifié pour me voir grandir et réussir, que dieu te garde et te protège **mon très cher Père,***

✚ *A la lumière de mes jours, source de mes efforts, la flamme de mon cœur, de ma vie et de mon bonheur, **Maman que j'adore,***

✚ *A toutes les personnes que j'aime et plus particulièrement, âmes frère et sœurs « **ASMA, HADJER, MOULOUD, MARIEM, et SOUADE** » et mon cousin **YACINE**. Dont le grand privilège leur revient en premier lieu pour conseils, assistance, et encouragements,*

✚ *Je remercie celui qui m'a parrainé en tant qu'étudiant dans le programme de maîtrise, préparant cette recherche pour mon professeur et mon superviseur, le Dr **AMIEUR Abdenacer**, qui a le mérite - après Dieu Tout-Puissant - pour la recherche et le chercheur puisque le sujet était un titre et une idée jusqu'à ce qu'il devienne une thèse et une recherche*

✚ *Je dédie ce travail en particulier à mon **grand-père** et ma **grand-mère**, dont les prières ont été mon soutien pendant les cinq dernières années, et à toutes les familles de « **CHENINA et LAKHAL** »,*

✚ *Aux personnes qui m'ont toujours aidé et encouragé, qui étaient toujours là à mes côtés, et qui m'ont accompagnées durant mon cursus d'études supérieures (**KHEIRA, ZINA, ANES, OUIDADE**), Et mes chères amitiés (**Imane, Laila, Nadjwa, Ahlam**), mes collègues d'étude et frères de cœur.*

CHENINA Fatima Z



Dédicace

Je dédie ce mémoire

A mes chers parents **ma mère** et **mon père** pour leur patience, leur amour
, leur soutien et leurs encouragements.

A mes frères Wassima et Safwan, et Au reste de ma grande famille.

A mon encadreur Monsieur **AMIUER Abdenacer** , qui sans sa
méthodologie

, ses orientations et ses conseils précieux, n'aurait pas été accompli.

A mes amies et mes camarades.

sans oublier tous les professeurs que ce soit du primaire, du moyen, du
secondaire ou de l'enseignement supérieur.

khainech ouidad



Introduction Générale	1
Chapitre I : Généralité sur le béton hydraulique	
I.1. Introduction :.....	3
I.2. Histoire du béton :.....	3
I.3. Les composantes de béton :	4
I.4. Les types de béton :.....	4
I.5. Principaux avantages et inconvénients du béton :	6
I.5.1. Avantages du béton :.....	6
I.5.2. Inconvénients du béton :.....	7
I.6. Les domaines d'emploi du béton :.....	7
I.6.1. Les bâtiments :.....	7
I.6.2. Les travaux publics :.....	7
I.6.3. Autres ouvrages :.....	8
I.7. Les caractéristiques du béton :.....	8
I.7.1. Le béton frais :.....	8
I.7.2. Le béton durci :.....	9
I.7.2.1. Masse volumique du béton durci :.....	10
I.7.2.2. La porosité :.....	10
I.7.2.3. Les résistances mécaniques :	11
I.7.2.4. La durabilité :.....	12
I.7.2.5. Retrait du béton :.....	13
I.7.2.6. Module d'élasticité :.....	13
I.7.2.7. Coefficient de Poisson :.....	13
I.8. Conclusion :.....	14
Chapitre II : Les composants du béton	
II.1 Introduction :.....	15
II.2 Ciment :	15
II.2.1. Définition :.....	15
II.2.2. Fabrication de ciment :	15
II.2.3. Différents types de ciment et utilisations :	16
II.2.4. Les classes du ciment :	16
II.2.5. Essais sur les propriétés du ciment :.....	17
II.2.6. Propriétés du ciment :.....	17

Sommaire

II.3	Granulat :	17
II.3.1.	Différents types de granulats :	18
II.3.1.1.	Granulats Naturel :	18
II.3.1.2.	Granulats Artificiel :	18
II.3.1.3.	Granulats Recyclé :	19
II.3.2.	Caractéristiques de granulats :	19
II.3.3.	Résistances de granulats :	19
II.4	Sable :	20
II.4.1.	Type de sable :	20
II.4.1.1.	Sources naturelles de sable :	20
II.4.1.2.	Sources Sables artificiels :	21
II.4.2.	Classification du sable :	21
II.4.3.	Propriétés du sable :	22
II.5	L'eau de gâchage :	22
II.6	Conclusion :	22

Chapitre III : Amélioration les caractéristiques du béton

III.1.	Introduction :	23
III.2.	Les adjuvants :	23
III.2.1.	Définition :	23
III.2.2.	Classifications des adjuvants :	23
III.2.2.1.	Adjuvants modifiant l'ouvrabilité des bétons :	24
III.2.2.2.	Adjuvants modifiant la prise et le durcissement :	24
III.2.2.3.	Adjuvants modifiant certaines propriétés des bétons :	25
III.3.	Les ajouts :	25
III.3.1.	Avantages des ajouts dans le béton :	26
III.3.1.1.	Avantages économiques et écologiques :	26
III.3.1.2.	Avantages techniques :	26
III.3.2.	Effet des ajouts sur le comportement rhéologique du béton :	27
III.3.3.	Classification des ajouts :	27
III.3.3.1.	Cendres volantes :	27
III.3.3.2.	Le laitier de haut fourneau :	28
III.3.3.3.	Les fumées de silice :	28
III.3.3.4.	Les fillers :	29

III.4. Conclusion :	29
Introduction à la partie pratique	30
Chapitre VI : Méthodologie de la recherche	
IV.1. Introduction :	31
IV.2. Protocole d'étude :	31
IV.3. Analyse et identification des matériaux utilisés :	32
IV.4. Etude de formulation :	33
IV.5. Les essais sur le béton :	34
IV.6. Les essais sur le mortier :	35
Chapitre V : Identification des matériaux	
V.1. Introduction :	36
V.2. Les matériaux utilisés :	36
V.2.1. Gravier :	36
V.2.2. Sable :	36
V.2.3. Ciment :	36
V.2.4. Eau :	36
V.3. Les caractéristiques des matériaux :	36
V.3.1. Gravier:	36
V.3.1.1. Échantillonnage :	36
V.3.1.2. L'analyse granulométrique (NF-P 18-560) :	37
V.3.1.3. Essai coefficient d'aplatissement (NF-P 18-561) :	38
V.3.1.4. Essai de propreté superficielle (NF-P 18-591) :	39
V.3.1.5. Essai l'absorption d'eau (NF-P 18-555) :	39
V.3.1.6. Essai la masse volumique du granulat :	39
V.3.1.7. Fragmentation par méthode de los Angeles (NF EN 1097-2) :	40
V.3.1.8. Résistance à l'usure – essai micro deval (NF EN 1097-2) :	40
V.3.1.9. Analyse chimique (NF EN 1744-1) :	40
V.3.2. SABLE :	41
V.3.2.1. L'analyse granulométrique (NF-P 18-560) :	41
V.3.2.2. Module de finesse (NF P 18 304) :	42
V.3.2.3. Essai la masse volumique du granulat :	42
V.3.2.4. Essai équivalent de sable :	42
V.3.2.5. Essai au bleu de méthylène (NF P 94-068) :	43

Sommaire

V.3.2.6.	Analyse chimique sommaire(NF EN 1744-1) :.....	43
V.3.3.	Poudrette sable de dune :.....	43
V.3.3.1.	Analyse granulométrique des sols et sedimentometrique :.....	44
V.3.3.2.	Essai au bleu de méthylène :.....	45
V.3.3.3.	Essai limites d'Atterberg :.....	46
V.3.3.4.	Analyse chimique du sable (NF EN 1744-1)	46
V.3.3.5.	Essai de consistance normalise :.....	46
V.3.4.	Ciment :.....	46
V.3.4.1.	Essai de consistance normalise :.....	46
V.3.4.2.	Essai de temps de prise :.....	47
V.3.5.	L'eau de gâchage :.....	47
V.4.	Conclusion :.....	47
Chapitre VI :Etude de composition d'un béton hydraulique		
VI.1.	Introduction :.....	48
VI.2.	Méthodes de calcul de la composition du béton selon DREUX GOURISSE :.....	48
VI.2.1.	Résistance souhaitée :.....	48
VI.2.2.	Consistance désirée :.....	49
VI.2.3.	Dimension maximale des granulats « D » :.....	49
VI.2.4.	Dosage en ciment et en eau :.....	49
VI.2.5.	Dosage des granulats :.....	51
VI.2.5.1.	Tracé de la courbe granulométrique de référence :.....	51
VI.2.5.2.	Volume total des granulats :.....	52
VI.2.5.3.	Proportions des divers granulats :.....	53
VI.3.	Formulation du béton ordinaire :.....	54
VI.3.1.	Résistance visée :.....	54
VI.3.2.	Dosage en ciment et eau :.....	54
VI.3.2.1.	Dosage en ciment par m3 de béton :.....	54
VI.3.2.2.	Dosage en eau par m3 de béton :.....	54
VI.3.3.	Détermination des pourcentages des granulats :.....	54
VI.3.3.1.	Tracé de la courbe granulaire de référence :.....	54
VI.3.3.2.	La ligne de partage :.....	55
VI.3.3.3.	Coefficient de compacité :.....	56
VI.3.3.4.	Dosage des granulats :.....	56
VI.4.	Conclusion :.....	57

Sommaire

Chapitre VII : Détermination les caractéristiques du béton et du mortier

VII.1.	Introduction :	58
VII.2.	Malaxage et confection des éprouvettes du béton :	58
VII.2.1.	Mode opératoire de malaxage :	58
VII.2.2.	Confection des éprouvettes :	59
VII.2.3.	Conservation des éprouvettes :	60
VII.3.	Essais sur le béton :	60
VII.3.1.	Essais sur béton frais :	60
VII.3.1.1.	Mesure de la maniabilité :	60
VII.3.2.	Essais sur béton durci :	61
VII.3.2.1.	Essais mécaniques :	61
VII.3.2.2.	La masse volumique apparente :	63
VII.4.	Préparation des éprouvettes du mortier : norme (EN 196-1) :	64
VII.4.1.	L'objectif de l'essai :	64
VII.4.2.	Principe de l'essai :	64
VII.4.3.	Mise en œuvre :	66
VII.5.	Essai sur le mortier :	66
VII.5.1.	Résistance à la flexion :	66
VII.5.2.	Résistance à la compression :	67
VII.5.3.	La masse volumique durci :	68
VII.6.	Conclusion :	68

Chapitre VIII : Présentation des résultats

VIII.1.	Introduction :	69
VIII.2.	Résultats du béton :	69
VIII.2.1.	Essais sur béton frais :	69
VIII.2.1.1.	Affaissement du béton :	69
VIII.2.2.	Essais sur béton durci :	70
VIII.2.2.1.	Résistance à la compression (NF : 12390-3) :	70
VIII.2.2.2.	Résistance à la traction (NF : 12390-6) :	74
VIII.2.2.3.	La masse volumique de béton (la densité) :	78
VIII.3.	Résultats du mortier :	79
VIII.3.1.	Essais sur mortier :	79
VIII.3.1.1.	Résistance à la compression :	79

Sommaire

VIII.3.1.2. Résistance à la traction (flexion) :	83
VIII.3.1.3. La masse volumique de mortier (la densité) :	88
VIII.4. Conclusion :	89
Conclusion Générale	90

Liste des figures

Figure I. 1: Béton hydraulique	3
Figure I. 2: Essais d'écrasement en compression simple.....	12
Figure I. 3: Essais d'écrasement en traction par fendage.....	12
Figure II. 1: Fabrication de ciment	15
Figure II. 2: Granulats naturels	18
Figure II. 3: sable de rivière	20
Figure II. 4: Sable de dune	21
Figure III. 1: Effet pouzzolanique des cendres incorporées dans le béton ou dans le ciment [13]	27
Figure III. 2: Corrélation entre le coefficient de diffusion apparent et la résistance à la compression pour différentes teneurs en laitiers d haut-fourneau [13]	28
Figure IV. 1: Organigramme des différents essais aux matériaux.....	32
Figure IV. 2: Organigramme d'étude de formulation de béton	33
Figure IV. 3: Organigramme des différents essais effectués sur le béton.....	34
Figure IV. 4: Organigramme des différents essais effectués sur le mortier.....	35
Figure V. 1 : Opération de quartage.....	37
Figure V. 2: l'échantillon et les tamis utilisés.....	37
Figure V. 3: courbe granulométrique des graviers.....	38
Figure V. 4: Essai de MDE	40
Figure V. 5: quelques étapes d'essai analyse chimique	41
Figure V. 6: courbe granulométrique de sable d'oued.....	41
Figure V. 7: essai de l'équivalent de sable	42
Figure V. 8: essai de bleu de méthylène	43
Figure V. 9: Production de la poudrette de sable	43
Figure V. 10: essai de sedimentometrique.....	44
Figure V. 11: courbe des essais analyse granulométrique des sols et sedimentometrique	45
Figure V. 12: Essai de temps de prise.....	47
Figure VI. 1: dosage approximatif en ciment en fonction de C/E et de l'ouvrabilité désirée...51	
Figure VI. 2: courbe granulométrique de référence	55
Figure VII. 1: Pesage des composants du béton	58
Figure VII. 2:Le malaxeur de béton du laboratoire	59
Figure VII. 3: Confection des éprouvettes du béton	60
Figure VII. 4: l'essai d'affaissement au cône d'Abrams	61
Figure VII. 5: Essai de compression.....	62

Liste des figures

Figure VII. 6: Essai de traction par fendage	63
Figure VII. 7: Mesure de la masse volumique des bétons à l'état durci.....	64
Figure VII. 8: Pesage des composants du mortier	65
Figure VII. 9: Confection des éprouvettes du mortier	65
Figure VII. 10: Dispositif de traction par flexion.	67
Figure VII. 11: Dispositif de compression.....	68
Figure VIII. 1: essai d'affaissement du béton.....	69
Figure VIII. 2: Variation de l'affaissement en fonction de type de béton	69
Figure VIII. 3: Essai de compression.....	70
Figure VIII. 4 : Histogramme montrant l'évolution de Rc a 7 jours en fonction du taux de poudrette	71
Figure VIII. 5 : Histogramme montrant l'évolution de Rc a 14 jours en fonction du taux de poudrette	72
Figure VIII. 6: Histogramme montrant l'évolution de Rc a 28 jours en fonction du taux de poudrette	73
Figure VIII. 7: Résistance à la compression des bétons formulés (méthode de Dreux-Gorisse) avec Différent pourcentage de P.S.D en fonction d'âge.....	74
Figure VIII.8: Histogramme montrant l'évolution de Rt a 14 jours en fonction du taux de poudrette	76
Figure VIII. 9: Histogramme montrant l'évolution de Rt a 28 jours en fonction du taux de poudrette	77
Figure VIII. 10 : Résistance à la traction des bétons formulés (méthode de Dreux-Gorisse) avec Différent pourcentage de P.S.D en fonction d'âge.....	78
Figure VIII. 11: la masse volumique du béton avec différent pourcentage de P.S.D en fonction d'âge	79
Figure VIII. 12: Histogramme montrant l'évolution de Rc a 7 jours en fonction du taux de poudrette	80
Figure VIII. 13: Histogramme montrant l'évolution de Rc a 14 jours en fonction du taux de poudrette	81
Figure VIII. 14: histogramme montrant l'évolution de Rc a 28 jours en fonction du taux de poudrette	82
Figure VIII. 15: Résistance à la compression du mortier avec différent pourcentage de P.S.D en fonction d'âge	83
Figure VIII. 16 : histogramme montrant l'évolution de Rt a 7 jours en fonction du taux de poudrette	85
Figure VIII. 17 : Histogramme montrant l'évolution de Rt a 14 jours en fonction du taux de poudrette	86
Figure VIII. 18: Histogramme montrant l'évolution de Rt a 28 jours en fonction du taux de poudrette	87
Figure VIII. 19 : Résistance à flexion du mortier avec Différent pourcentage de P.S.D en fonction d'âge.....	88
Figure VIII. 20: la masse volumique du mortier avec différent pourcentage de P.S.D en fonction d'âge	89

Liste des Tableaux

Tableau II. 1: désignation de la classe	17
Tableau II. 2: désignation des granulats (XP 18-545)	18
Tableau III. 1: Dosage en adjuvants par rapport au poids du ciment [22].....	23
Tableau V. 1: résultats de l'analyse granulométrique du gravier	37
Tableau V. 2: résultats de résultats d'aplatissement du gravier.....	39
Tableau V. 3: résultats Propreté superficielle des graviers.....	39
Tableau V. 4: : résultats d'absorption des graviers.....	39
Tableau V. 5: résultats de masse volumique des graviers.....	39
Tableau V. 6: résultat de los Angeles des graviers	40
Tableau V. 7 : résultats de MICRO DEVAL sur les graviers.....	40
Tableau V. 8: résultats des analyses chimiques du gravier.....	40
Tableau V. 9: résultats de l'analyse granulométrique de sable.....	41
Tableau V. 10: : résultats de la masse volumique.....	42
Tableau V. 11: résultats d'équivalent de sable	42
Tableau V. 12 : résultats de bleu de méthylène	43
Tableau V. 13: résultats des analyses chimiques du sable.....	43
Tableau V. 14: résultats Analyse granulométrique de la PSD.....	45
Tableau V. 15 : résultats Essai au bleu de méthylène.....	45
Tableau V. 16: : résultats Essai limites d'Atterberg	46
Tableau V. 17: résultats Essai Analyse chimique du sable.....	46
Tableau V. 18: résultat d'essai de consistance normalise de P.S.D.....	46
Tableau V. 19: résultat d'essai de consistance normalise de ciment	47
Tableau V. 20: résultat d'essai de consistance normalise de ciment	47
Tableau VI. 1: Consistance du béton	49
Tableau VI. 2: Evaluation de « D »	49
Tableau VI. 3: valeurs approximation du coefficient granulaire G	50
Tableau VI. 4: correction du dosage en eau selon le diamètre D de mélange granulaire.	51
Tableau VI. 5: valeurs du terme correcteur K.....	52
Tableau VI. 6: valeurs du coefficient de compacité γ_c	53
Tableau VI. 7: composition du béton.....	57
Tableau VII. 1: les constituants des formules du béton	59
Tableau VII. 2: les constituants du mortier.....	66
Tableau VIII. 1: Les résultats d'essai de compression	71
Tableau VIII. 2: résultat de Rc de béton a 7Jours.....	71
Tableau VIII. 3: résultat de Rc de béton a 14 Jours.....	72
Tableau VIII. 4: résultat de Rc de béton a 28 Jours.....	73
Tableau VIII. 5: Les résultats d'essai de traction.....	75
Tableau VIII. 6: résultat de Rt de béton a 14 Jours.....	75
Tableau VIII. 7: résultat de Rt de béton a 28 Jours.....	76
Tableau VIII. 8: résultats de la masse volumique de béton	78
Tableau VIII. 9: Résultats de résistances à la compression	80
Tableau VIII. 10: résultats de Rc de mortier a 7 Jours	80
Tableau VIII. 11: résultats de Rc de mortier au 14 Jours	81

Liste des Tableaux

Tableau VIII. 12: résultats de Rc de mortier à 28 Jours	82
Tableau VIII. 13: Résultats de résistances à la traction	84
Tableau VIII. 14: résultats de Rt de mortier a 7Jours	84
Tableau VIII. 15: résultats de Rt de mortier a 14Jours	85
Tableau VIII. 16: résultat de Rt de mortier a 28Jours.....	86
Tableau VIII. 17 : résultats de la masse volumique de mortier	88

Liste des symboles

E/C : le rapport de l'eau sur ciment

f_{c28} : Résistance caractéristique à la compression donnée en (MPa).

Al_2O_3 : L'alumine, ou oxyde d'aluminium

CaO : L'oxyde de calcium

SiO_2 : Le dioxyde de silicium, ou silice

CO_2 : Le dioxyde de carbone

AEP : Réseaux d'alimentation en eau potable

CPJ : ciment Portland composé

d/D : la dimension de granulat la plus petite sur la plus grande

D : Dimension maximale des granulats

e : espacement horizontale entre armatures

c : couverture

r : rayon moyen du ferrailage

R : rayon moyen du moule

hm : épaisseur minimale

f_c : résistance moyenne en compression désirée à 28j.

C : dosage en ciment (K/m^3) de béton.

F_{CE} : classe varie de ciment en (à 28 jours) en MPa.

E : dosage en eau totale sur matériaux secs ($litre/m^3$).

G : coefficient granulaire.

C/E : le rapport de ciment sur l'eau

σ_{C28} : classe vraie du ciment

K : correcteur

γ_c : coefficient de compacité

σ_{28j} : La résistance désirée

σ'_{28j} : La résistance visée

Mf : Module de finesse

R_{fd} - R_t : la résistance de traction par fendage, en MPa ou en N/mm^2

N - R : la charge à la rupture (N)

D : diamètre de l'éprouvette (mm)

L : longueur de l'éprouvette (mm)

R_f - R_t : est la résistance la flexion, en mégapascals

Liste des symboles

b : est le c t de la section carrée du prisme, en millimètres

F_r : est la charge appliquée au milieu du prisme la rupture, en newtons

L : est la distance entre les appuis, en millimètres

R_c : est la résistance la compression, en mégapascals

F_c : est la charge maximale la rupture, en newtons

b² : est l'aire des plateaux ou des plaques auxiliaires (40 ×40), en millimètres carrés.

R: Est la charge maximale, exprimée en Newtons.

A_c: Est l'aire de la section de l'éprouvette sur laquelle la force de compression est appliquée, exprimée en millimètres carré.

P.S.D : Poudrette de sable de dune

Φ : diamètre

h : hauteur



Introduction Générale

Introduction Générale

Le béton est un matériau de construction élaboré à partir de granulats, de ciment, d'eau et éventuellement d'adjuvants pour modifier certaines de ses propriétés. Actuellement, il est le matériau de construction le plus utilisé au monde, que ce soit en bâtiment ou en travaux publics à cause de ses nombreux avantages dont notamment sa bonne résistance à la compression, son faible coût de revient, sa durable avérée, sa capacité de façonner pratiquement toutes les formes imaginables.

Cette forte pression sur la ressource béton engendre la consommation de grandes quantités de ciment, conduisant à une exploitation massive des carrières de pierre (qui sont concassées pour l'industrie du ciment), entraînant une exploitation à long terme. Cette ressource naturelle ainsi que les problèmes environnementaux qui en résultent (épuisement de cette richesse naturelle, pollution, ...) à travers les pays, y compris l'Algérie et pour y remédier, des lois strictes ont été adoptées pour protéger l'environnement. Ce qui nécessite la recherche d'une nouvelle source d'approvisionnement en ciment tout en améliorant les propriétés du béton avec la nécessité d'intégrer la démarche de développement durable dans la production de ciment et de béton, ce qui lui permettra d'atteindre un équilibre entre les contraintes de protection de l'environnement et les considérations économiques et techniques.

Dans ce contexte, le défi de l'industrie du ciment et du béton est de produire un béton durable, économique et écologiquement viable.

Les additifs présentent une activité liante croissant avec leur quantité, leur finesse, leur composition minéralogique et le type de ciment influe également. En termes pratiques, cette activité liante se traduit par un gain de résistance. Le sable de dune est un matériau d'une grande disponibilité en Algérie. Ce matériau est pratiquement non exploité, malgré les éventuelles caractéristiques qu'il peut présenter.

C'est dans ce contexte de développement durable que s'inscrit notre travail de fin d'études. Sachant qu'il traite la possibilité de substituer une partie de ciment par de la poudre de sable dunes pour élaborer des bétons de structures.

Notre expérimentation s'intéresse sur l'étude de comportement rhéologique (à l'état frais) et mécanique (état durci) de cinq compositions de béton dans lesquelles une partie du ciment a été remplacée par des proportions différentes de poudre de sable de dune préparées sur site de l'étude (LTPS) au moyen d'une machine MDE.

Compte tenu de la consommation excessive de ciment et des dommages qui en résultent, et grâce à cette recherche.

Pouvons-nous obtenir une nouvelle alternative au ciment à économiquement acceptable et écologiquement viable ?

Ainsi, la mémoire se compose de deux parties.

- La partie théorique est divisée en trois chapitres.
 - Dans les trois chapitres Nous avons fait un recherche bibliographique sur :
 - Généralité sur les bétons.
 - Identification de tous les principaux composants du béton
 - Amélioration des propriétés du béton.
- La deuxième partie (expérimentale) est divisée en quatre chapitres.
 - Nous avons identifié toutes les propriétés physiques et mécaniques et chimique des différents matériaux (granulats, ciment, poudre de sable de dune), et identifié toutes les caractéristiques à prendre en compte dans la formulation du béton. Les procédures des essais de la caractérisation de la qualité de béton comme l'ouvrabilité, la résistance à la compression et traction et présentée une partie de l'étude expérimentale, présentant les résultats menés sur le mortier et le béton ordinaire, formulé par la méthode de Dreux Gorisse.
 - Le dernier chapitre du mémoire donne les résultats et l'interprétation des essais réalisés.

Généralité sur le béton hydraulique

Chapitre I

I.1. Introduction :

Le béton, est devenu irremplaçable dans le domaine de la construction, pour des raisons économiques et techniques. Simple en apparence, il est en réalité très complexe, avec une diversité d'applications et de méthodes de formulations. C'est le matériau le plus utilisé au monde : environ 7 milliards de mètres cubes de béton sont mis en œuvre annuellement. La qualité et le potentiel du matériau béton dans la structure dépend bien sur des matériaux de base qui entrent dans la formulation mais également des opérations de : malaxage, mise en œuvre, vibration et cure (protection contre la dessiccation). Pour ne citer que la résistance à la compression du béton qui reste, du point de vue de l'ingénieur, la propriété la plus importante du matériau, si l'on exclut les indicateurs de durabilité[1], il existe des différents facteurs ayant une influence sur la résistance, et sur lesquels on pourra compter pour l'amélioration de la qualité du béton.

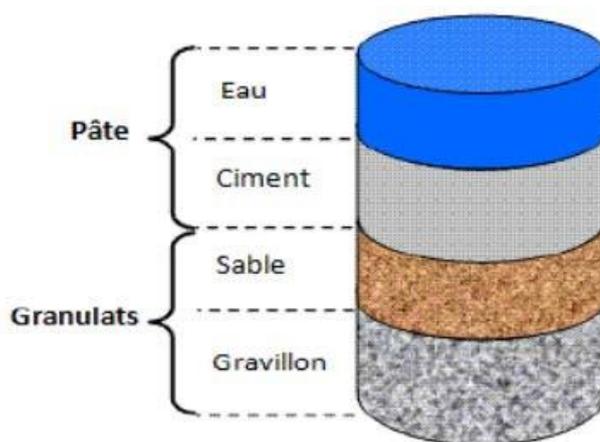


Figure I. 1: Béton hydraulique

I.2. Histoire du béton :

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

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

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

En 1986, des chercheurs Japonais ont pour la première fois fabriquée le béton auto plaçant ou le béton auto nivelant.

Le béton, mélange de plusieurs constituants très différents, dont les uns sont actifs et les autres sont inertes, présente des caractéristiques qui sont fonctions de celles de ses composants. [5]

I.3. Les composantes de béton :

Les bétons sont constitués de ciment, de granulats et d'eau ils peuvent éventuellement contenir des additions minérales et des adjuvants.

I.4. Les types de béton :

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

- En général, le béton peut être classé en 4 groupes, selon :

a. La masse volumique :

- Béton très lourd : $> 2500 \text{ kg/m}^3$: Est un béton à base de granulats spéciaux de densité élevée comme la barytine et l'hématite permettant la réalisation d'ouvrages protecteurs contre les rayons X, gamma et autres rayons radioactifs. [9]
 - Béton lourd (béton courant) : $1800 - 2500 \text{ kg/m}^3$: les résistances mécaniques du béton lourd sont comparables à celle des bétons classiques et même plus élevées compte tenu des faibles dosages en eau. [8]
 - Béton léger : $500 - 1800 \text{ kg/m}^3$: sont des bétons à haute porosité. Ils peuvent être constitués de granulats légers ou lourds et de liants hydrauliques ou de résines synthétiques (époxydes mousse polyuréthane, etc.). [6]
 - Béton très léger : $< 500 \text{ kg/m}^3$:
- b. Le béton courant peut aussi être classé en fonction de la nature des liants :**
- Béton de ciment (le ciment) : C'est un béton constitué totalement de ciment. De bonnes résistances mécaniques, et durables.
 - Béton silicate (la chaux) : ce béton a la particularité d'être composé essentiellement de chaux. **Produit sain et naturel**, il se substitue au ciment traditionnellement employé pour les bétons « classiques ».
 - Béton de gypse (le gypse) : C'est le synonyme du Béton de plâtre. C'est un béton dont le liant est du plâtre ; désormais très peu utilisé. [6]
 - Béton asphalte ou bitumineux (bitume) : C'est un béton constitué d'un béton lié au bitume ; utilisé en particulier pour les couches de roulement des chaussées, des voiries.
- c. Selon la résistance :**
- Bétons ordinaires : Mélange homogène composé exclusivement des constituants de base ciment, granulats, eau, avec un rapport E/C qui varie en fonction de la plasticité ainsi que de la résistance désirée. Le béton ordinaire est caractérisé par sa résistance à la compression qui se situe entre $20 \text{ MPa} \leq f_{c28} \leq 50 \text{ MPa}$. [10]
 - Bétons HPS : Sont des bétons aux résistances mécaniques élevées au jeune âge et à 28 jours (Supérieure à 50 MPa), et un rapport pondéral E/C inférieur à 0.40. Leur propriété essentielle est leur grande résistance en compression qui dépasse largement le cas des bétons ordinaires [7]
 - Béton armé : Matériau constitué par l'association d'un béton hydraulique et d'armatures en acier disposées de manière à résister aux contraintes de traction, à limiter l'ouverture des fissures et éventuellement à renforcer la résistance à la compression du béton. [6]

- Béton précontrainte : Béton artificiellement comprimé avant sa mise en service à l'aide d'armatures ou de câbles d'acier. [6]

d. Selon la granulométrie :

- Les gros bétons : Béton à base de gros granulats (jusqu'à 50 mm) ; utilisé pour des fondations, des ouvrages massifs, etc. [6]
- Le micro-béton : C'est un béton chargé en ciment et en fines afin d'augmenter ses caractéristiques mécaniques et de faciliter son lissage, mais plus sujet à la fissuration de retrait. [6]
- Les bétons de sable : le Béton du sable dans lequel le sable constitue le seul granulats. Ce type de béton utilisé pour valoriser les ressources naturelles locales en l'absence d'autres granulats, possède une résistance mécanique plus faible que les bétons courants. [6]

e. Selon le mode de mise en œuvre :

- Les BAP : C'est un béton hydraulique de consistance fluide, réalisé avec un fort dosage en sable et éléments fins et adjuvant avec des super-plastifiants et un agent de viscosité, de manière à ce qu'il puisse être mis en place dans de bonnes conditions de compacité sans vibration. [6]
- Béton de mousse : Type de béton cellulaire pour lequel les inclusions d'air sont obtenues par incorporation d'un agent moussant. [6]

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

g. Les bétons de fibres : Béton dans lequel sont incorporés des matériaux fibreux de nature variée (métal, verre, etc.) afin d'améliorer sa résistance à la fissuration, aux chocs, à l'usure, etc. [6]

I.5. Principaux avantages et inconvénients du béton :

I.5.1. Avantages du béton :

- 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 la pierre. Correctement utilisé, il dure des millénaires. Il résiste bien au feu et aux actions mécaniques usuelles ;

- Associé à des armatures en acier, il acquiert des propriétés nouvelles qui en font un matériau de construction aux possibilités immenses (béton armé, béton précontraint) ;
- Il convient aux constructions similaires. Les assemblages sont faciles à réaliser dans le cas du 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 ;
- Les ressources nécessaires pour sa fabrication existent dans de nombreux pays en quantités presque illimitées ;
- Il exige peu d'énergie pour sa fabrication. [4]

I.5.2. Inconvénients du béton :

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 suivants :

- Son poids propre élevé (densité de 2,4 environ qui peut être réduite à 1,8 dans le cas de bétons légers de structure et à moins de 1,0 dans le cas de bétons 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 du béton en cas de modification d'un ouvrage.

I.6. Les domaines d'emploi du béton :

I.6.1. Les bâtiments :

Considérons son utilisation dans la construction de logements : pour les murs, 80% des techniques en individuelle, plus de 90% en collectif pour les structures ; pour les planchers, le béton est pratiquement le matériau idéal. Le béton s'est également largement imposé dans les autres secteurs de la construction : bureaux, hôpitaux, locaux, ainsi que dans grands édifices publics et les bâtiments industriels.

I.6.2. Les travaux publics :

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

- **Les tunnels** : Pour les grands tunnels dont les exemples se multiplient dans le monde, le béton est, soit coulé surplace, soit utilisé dans des voussoirs préfabriqués. Ceux-ci sont posés à l'avancement de la machine à forer-le tunnelier.
- **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 les voiries à faible trafic et aménagements urbains montrent un regain d'intérêt pour les solutions béton, qui leur assurent durabilité et faible cout d'entretien.

I.6.3. Autres ouvrages :

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

I.7. Les caractéristiques du béton :

Le béton est un matériau facile à mouler quelles que soient les formes de l'ouvrage, à l'épreuve du temps, économique, résistant au feu et nécessitant peu d'entretien. Matériau composite, mis en œuvre de multiples manières, il répond à un grand nombre de spécifications : résistance mécanique, notamment à la compression, isolation thermique et phonique, étanchéité, aspect, durabilité, sécurité incendie.

Pour utiliser au mieux le béton, il faut bien connaître ses propriétés : d'une part à l'état frais, alors qu'il est plastique et qu'on peut le travailler ; d'autre part, à l'état durci, alors que sa forme ne peut plus être modifiée mais que ses caractéristiques continuent à évoluer durant de nombreux mois, voire des années. [2]

I.7.1. Le béton frais :

La propriété essentielle du béton frais est son ouvrabilité (maniabilité), qui le rend apte à remplir n'importe quel volume, à condition que sa composition a été étudiée en conséquence et que les moyens de mise en œuvre soient appropriés. Il doit être aussi homogène et cohésif. L'ouvrabilité caractérise l'aptitude d'un béton à remplir les coffrages et à enrober convenablement les armatures.

Il existe plusieurs facteurs qui affectent la maniabilité d'un béton :

- Méthode et durée de transport
 - Il s'agit de parcourir de courtes distances
 - Le temps de transport doit être limité
- Procédure de coulage
 - Evitement la hauteur de chute trop importante
 - Conservation l'homogénéité de béton
- Quantité et caractéristiques des composants (liants, granulats) ;
 - Forme et type de granulats et ciment ;
 - La dimension des granulats ainsi que de la régularité de la courbe granulométrique
- Le volume d'air
 - Plus l'énergie de serrage est importante, plus il sera possible de réduire la quantité d'air ;
- Le dosage en eau
 - Un excès d'eau se traduit, entre autres inconvénients, par un phénomène de « ressuage », également une diminution de la compacité, un retrait et une porosité accrues

La grandeur qui caractérise l'ouvrabilité est la consistance ; sa mesure peut être effectuée facilement sur chantier avec la méthode du cône d'Abrams ou « slump test », qui est un essai d'affaissement d'un volume de béton de forme tronconique. [2]

I.7.2. Le béton durci :

Assez souvent, beaucoup de professionnels du béton considèrent que la caractéristique essentielle du béton durci est sa résistance mécanique en compression à un âge donné (28 jours). Sa résistance à la traction ainsi que celle en flexion sont beaucoup plus faibles que sa résistance à la compression. [11]

De nos jours, il est aussi important de se soucier des autres caractéristiques telles que :

- La perméabilité
- La Masse volumique du béton durci
- La porosité

- Les résistances mécaniques
 - La résistance à la compression du béton
 - La résistance à la traction du béton
- La durabilité
- Retrait du béton
- Module d'élasticité
- Coefficient de Poisson
- Le Fluage
- Coefficient de dilatation thermique
- L'absorption d'eau
- Classe d'incendie

Pour maximiser les performances du béton, on doit lui assurer un murissement adéquat.

I.7.2.1. Masse volumique du béton durci :

La masse volumique d'un béton ordinaire utilisé dans les chaussées, les bâtiments et autres structures usuelles est comprise entre 2240 à 2400 kg/m³. Elle dépend de la quantité et de la densité des matériaux, des quantités d'air emprisonné et entraîné. Le béton combiné avec des armatures donne naissance à un béton armé de masse volumique généralement accepté dans les calculs de 2400 kg/m³. La masse d'un béton sec est égale à la masse du béton frais – la masse d'eau évaporable. Une partie de l'eau de gâchage se combine chimiquement avec le liant pour former des hydrates et une autre partie est emprisonnée dans les pores et capillaires qui s'évaporent lentement dépendamment des conditions environnantes du béton.

[11]

I.7.2.2. La porosité :

Une caractéristique essentielle du béton durci est sa porosité -rapport du volume des vides au volume total-. L'importance de cette caractéristique sur la résistance du béton aux agents agressifs, sur la carbonatation et sur la tenue au gel a été démontrée depuis. C'est donc un facteur déterminant de la durabilité du béton.

La recherche d'une porosité minimale doit nécessairement passer par :

- L'augmentation de la compacité du béton frais grâce à une bonne composition du béton et à des moyens de mise en œuvre adaptés ;
- Les compacités réellement atteintes sur chantier ne dépassent guère 0,850 dans 1m³ de béton très bien préparé et vibré par des moyens puissants, il existe encore 150 litres d'air ou d'eau,

constitués notamment par des canaux extrêmement fins, répartis dans la pâte de ciment durcie (capillaires) ;

- L'augmentation du dosage en ciment et le choix de son type ont une influence favorable sur la diminution de la porosité ; les hydrates formés par l'hydratation du ciment ont un rôle essentiel décolmatage des capillaires. On améliore la compacité du béton en jouant sur la granulométrie des granulats dans la fraction des éléments fins, et sur la réduction d'eau. La faible porosité d'un béton présente de nombreux avantages déterminants pour sa durabilité. [2]

I.7.2.3. Les résistances mécaniques :

a. Résistance à la compression du béton :

Une bonne résistance à la compression est la performance bien souvent recherchée pour le béton durci. Cette résistance est généralement caractérisée par la valeur mesurée à vingt-huit jours. On a pu voir précédemment que la résistance dépend d'un certain nombre de paramètres, en particulier le type et le dosage du ciment, la porosité du béton et le facteur E/C, rapport du dosage en eau au dosage en ciment. Parmi les formules qui permettent de prévoir les résistances, celle de Féret est la plus connue.

Les résistances mécaniques du béton sont contrôlées par des essais destructifs ou non destructifs.

- Lors des essais destructifs, la résistance à la compression peut être mesurée en laboratoire sur des éprouvettes généralement cylindriques ; la plus courante en France est l'éprouvette de diamètre 16 cm, hauteur 32 cm ; confectionnées avec le béton destiné à l'ouvrage à contrôler.
- Les essais non destructifs, peuvent utiliser le scléromètre, appareil basé sur le rebondissement d'une bille d'acier sur la surface à tester, ou des instruments de mesure de la vitesse du son au travers du béton (4000m/s pour un béton courant).

Ces deux causes additionnent parfois leurs effets. Les effets de la première peuvent être réduits en utilisant des ciments à faible chaleur d'hydratation. L'ordre de grandeur du retrait total est de 200 à 300µm/m pour un béton usuel. [2]



Figure I. 2:Essais d'écrasement en compression simple

b. Résistance à la traction du béton :

La résistance à la traction du béton est une propriété importante qui affecte l'étendue et la largeur des fissures dans la structure.

Un bon béton doit avoir une résistance à la traction de 1/10 fois celle de la résistance à la compression.



Figure I. 3: Essais d'écrasement en traction par fendage

I.7.2.4. La durabilité :

La durabilité, selon la norme NF X60-500, (Terminologie relative à la fiabilité – Maintenabilité – Disponibilité. Octobre 1988) « l'aptitude d'un bien à accomplir une fonction jusqu'à ce qu'un état limite soit atteint »

- La démarche performante : elle, par le choix d'indicateurs de durabilité et de critères de performance des bétons, permet de définir des objectifs de durabilité compatibles avec le milieu environnant et avec la durée de service envisagée. Avant d'explorer cette démarche proprement dite, nous rappelons ci-dessous les phénomènes qui nuisent à la durabilité du béton [12] :

- La carbonatation
- La corrosion des armatures
- L'action des chlorures
- L'action de l'eau de mer
- La lixiviation
- L'alcali-réaction
- La réaction sulfatique interne
- Le gel / dégel

I.7.2.5. Retrait du béton :

Pendant le processus de séchage ou durcissement du béton est une déformation volumique qui résulte du séchage de la masse du béton. L'eau qui n'a pas été utilisée par les réactions d'hydratation s'évapore du matériau en fonction d'un différentiel d'humidité relative avec l'environnement ambiant (plus sec).

I.7.2.6. Module d'élasticité :

Le module d'élasticité du béton est une propriété importante requise pour le calcul des flèches des éléments de structure en béton.

Le module d'élasticité est le rapport entre la contrainte et la déformation.

I.7.2.7. Coefficient de Poisson :

Lorsque le béton est comprimé dans une direction, il se dilate généralement dans les deux autres directions perpendiculairement à la direction de compression.

Le coefficient de Poisson est le rapport de la déformation latérale et de la déformation longitudinale.

Le coefficient de Poisson varie entre 0,1 pour le béton à haute résistance et 0,2 pour le béton faible résistance.

I.8. Conclusion :

La qualité du béton dépend des caractéristiques de leurs constituants, en particulier, les granulats qui occupent environ 75% du volume total du béton. Ainsi que l'influence de dosage de ciment, l'eau et les adjuvants sur la qualité de béton reste primordiale.

Les composants du béton

Chapitre II

II.1 Introduction :

Le béton peut être classé comme matériau composite et c'est une combinaison de différents composants qui améliorent leurs propriétés de performance [13], ont présente deux des trois composantes essentielles du béton : le ciment et les granulats la troisième composante essentielle est l'eau de gâchage [20]

II.2 Ciment :

II.2.1. Définition :

C'est un liant hydraulique à la base de calcaire et d'argile, qui se présente sous forme d'une poudre minérale fine [16]. l'industrie du ciment (principal matériau de construction) fait partie sans nul doute de ces industries de base dont le rôle stratégique dans une politique de développement est fondamental, on classe le ciment parmi les matériaux de construction. On a dit, en plaisantant, que le ciment était la meilleure colle au monde, ce qui, dans un sens, est tout à fait vrai. [14]

II.2.2. Fabrication de ciment :

De manière schématique, la fabrication du ciment Portland consiste à préparer un mélange de calcaire, marnes ou argiles de granulométrie et de composition chimique définies, puis à le cuire jusqu'au seuil de fusion à 1450° C et enfin, à broyer le produit de cette cuisson en une poudre de ciment fine, miscible et réactive. En principe, on distingue trois étapes dans la fabrication du ciment [15]. La production du ciment se passe par les étapes suivantes :

1^{ère} étape : extraction des matières premières

2^{ème} étape : homogénéisation et cuisson

3^{ème} étape : mouture du ciment et expédition



Figure II. 1: Fabrication de ciment

II.2.3. Différents types de ciment et utilisations :

1. Ciment portland ordinaire : C'est le matériau de construction le plus couramment utilisé dans le mortier pour les travaux de maçonnerie. [17]
2. Ciment à durcissement rapide : la propriété de durcissement rapide est conférée au ciment principalement en brûlant à une température plus élevée et en second lieu par un broyage plus fin des particules. [17]
3. Ciment à prise rapide : il est produit en ajoutant un petit pourcentage de sulfate d'aluminium et en broyant finement le ciment. Il contient très peu ou pas de substances retardatrices comme le gypse. [17]
4. Ciment à haute teneur en alumine : il est obtenu en ajoutant de la bauxite (Al_2O_3) d'environ 55 % de chaux (CaO) d'environ 35 à 45%.
5. Ciment blanc : le ciment blanc est fabriqué à partir d'argile de porcelaine et de craie blanche à la place du calcaire et de l'argile. Il a des propriétés de séchage rapide, une résistance élevée et des valeurs esthétiques supérieures. [17]

II.2.4. Les classes du ciment :

Les ciments sont produits selon les classes de résistance courantes 32,5, 42,5 et 52,5. La classe de résistance 22,5 s'applique uniquement aux ciments spéciaux selon la norme SN EN 14216. Chaque classe de résistance courante est subdivisée en trois classes de résistance à court terme, la classe L étant réservée aux ciments CEM III selon la norme SN EN 197-4 :

L : faible résistance à court terme (indiquée par L = Low), (uniquement pour le ciment de haut fourneau CEM III)

N : résistances à court terme normale, ordinaire (indiquée par N = Normal) R résistances à court terme élevée (indiquée par R = Rapide). [15]

Tableau II. 1: désignation de la classe

Désignation De la classe	Résistance à la compression en (MPa)			
	Résistance à court terme		Résistance courante	
	A 2j	A 7j	Min A 28j	Max
32.5N	–	≥ 16	≥ 32.5	≤ 52.5
32.5R	≥ 10	–		
42.5N	≥ 10	–	≥ 42.5	≤ 62.5
42.5R	≥ 20	–		
52.5N	≥ 20	–	≥ 52.5	–
52.5R	≥ 30	–		

II.2.5. Essais sur les propriétés du ciment :

La fabrication du ciment nécessite un contrôle rigoureux et nombre d'essais sont effectués dans le laboratoire de l'usine afin de s'assurer de sa qualité et de sa conformité aux spécifications des normes nationale [20] :

- Consistance normalise de la pâte de ciment.
- Temps de prise.
- Expansion.
- Résistance de ciment : la traction directe, la compression simple, la flexion.

II.2.6. Propriétés du ciment :

- Il donne de la force à la maçonnerie
- Il agit comme un excellent matériau de liaison
- Il offre une bonne résistance à l'humidité
- Il possède une bonne plasticité
- Il durcit ou durcit tôt
- Il est facilement réalisable [17]

II.3 Granulats :

Un granulats est un matériau utilise en construction qui est compose de grains de déférents dimensions. Il peut être Natural artificiel ou recycle les granulats naturels ne doivent pas avoir subi de transformation autre que mécanique (ils peuvent donc être recycles sont obtenus par traitement de matériaux inorganique précédemment utilises dans la construction.[1]

Tableau II. 2: désignation des granulats (XP 18-545)

	Béton et mortier EN 12620 EN 13139	Mélanges Bitumineux EN 13043	Construction De chaussées EN 13242
SABLES 0/D	d=0 D ≤ 4mm	d=0 D ≤ 2mm	d=0 D ≤ 6.3mm
Gravillons d/D	d ≥ 2 mm 4 mm ≤ D ≤ 63mm	d ≥ 2 mm 2 mm ≤ D ≤ 45mm	d ≥ 1 mm 2 mm ≤ D ≤ 90mm
Graves 0/D	d=0 4 mm ≤ D ≤ 45mm	d=0 2 mm ≤ D ≤ 45mm	d=0 6.3 mm ≤ D ≤ 90mm

II.3.1. Différents types de granulats :

II.3.1.1. Granulats Naturel :

D'origine minérale, issus de roches meubles (alluvions fluviales ou marines) ou de roches massives (roches éruptives, calcaires, métamorphiques...), n'ayant subi aucune transformation autre que mécanique (tels que concassage, broyage, criblage, lavage). [19]



Figure II. 2: Granulats naturels

II.3.1.2. Granulats Artificiel :

D'origine minérale résultant d'un procédé industriel comprenant par exemple des transformations thermiques : sous-produits industriels, granulats réfractaires

On distingue plusieurs types de granulats artificiels qui peuvent être utilisés pour des usages spécifiques. Les plus employés sont le laitier cristallisé concassé et le laitier granulé de haut fourneau obtenus par refroidissement à l'eau. [19]

II.3.1.3. Granulats Recyclé :

Obtenu par traitement d'une matière inorganique utilisée précédemment dans la construction, tels que des bétons de démolition de bâtiments ou des structures de chaussées.[19]

II.3.2. Caractéristiques de granulats

Les granulats doivent répondre à des exigences et des critères de qualité et de régularité qui dépendent, d'une part, de la nature de la roche (résistance aux chocs et à l'usure, caractéristiques physico-chimiques,) et, d'autre part, de caractéristiques physiques liées au processus d'élaboration des granulats (dimensions, formes, propreté...).

Les granulats sont donc spécifiés par deux types de caractéristiques :

- Caractéristiques intrinsèques, liées à la nature minéralogique de la roche et à la qualité du gisement, telles que, par exemple : La masse volumique réelle, L'absorption d'eau et la porosité, La sensibilité au gel, La résistance à la fragmentation et au polissage, La gélinivité.
- Caractéristiques de fabrication, liées aux procédés d'exploitation et de production des granulats telles que, en particulier : La granularité, La forme (aplatissement), La propreté des sables.

Les caractéristiques des granulats sont fonction de leur famille (gravillons, sables, sablons, fillers) et font l'objet de méthode d'essais et de détermination adaptée. [19]

II.3.3. Résistances de granulats

La résistance à la compression du béton ne peut excéder de manière significative celle de la plupart des granulats qu'il contient ; cependant, il n'est pas facile d'établir la résistance propre de chaque granulat, car il est difficile de soumettre chaque granulat à un essai de résistance au broyage. L'information requise est normalement obtenue par des essais indirects : résistance à l'usure d'un ensemble de granulats, effort nécessaire pour compacter un ensemble de granulats et performance des granulats dans le béton.

La résistance inadéquate des granulats limite leur utilisation puisque leurs propriétés physiques influent sur la résistance des bétons même quand ils sont eux –mêmes assez résistance pour ne pas se fracturer prématurément. [20]

II.4 Sable :

Le sable est un matériau de construction important.il se produit abondamment dans la nature et est formé par la décomposition des roches, les particules de sable sont constituées de petits grains de silice (SiO_2) .il forme un ingrédient majeur dans le béton, le mortier de chaux, le mortier de ciment, etc. [17]

II.4.1. Type de sable :

II.4.1.1. Sources naturelles de sable :

Le sable est formé par l'altération des roches. Basé sur les sources naturelles à partir desquelles le sable est obtenu, il est classé comme suit :

- 1. Sable de fosse :** ce sable est obtenu en formant des fosses dans les sols.il est creusé à une profondeur d'environ 1-2m du niveau du sol ce sable se trouve sous forme de dépôts dans le sol et il se compose de grains anguleux tranchants, qui sont du sel libre.il sert de matériau excellent pour le mortier ou le béton. [17]
- 2. Sable de rivière :** ce sable est largement utilisé à toutes fins. Il est obtenu à partir des rives ou des lits des rivières et il est constitué de grains fins arrondis. Le sable de la rivière est disponible dans des conditions propres. [17]



Figure II. 3: sable de rivière

- 3. Sable de mer :** le sable de mer est obtenu à partir des plages. Il se compose de grains fins et arrondis comme le sable de rivière. Le sable de mer est de couleur brun clair. Puisque le sable de mer contient des sels, il attire l'humidité de l'atmosphère. Après avoir retiré les sels par lavage, il peut être utilisé comme matériau local. [17]

Sable de dune : un matériau naturel sous la forme de petits granules disjoints, résultant de la fragmentation des roches, des minéraux et de certaines matières organiques sèches, en raison de divers facteurs naturels, des vents, des pluies, des vagues, des cycles de gel et de dégel dans les endroits froids, pendant de longues périodes historiques qui s'étendent sur des dizaines de millions d'années.



Figure II. 4: Sable de dune

Le sable est composé principalement de quartz et de silice similaires, ce qui rend sa formule chimiquement non réactive, très rugueuse et plus résistante aux conditions climatiques. Ses couleurs varient en fonction de la nature des roches, minéraux ou matières organiques dont il est issu. Et l'étude scientifique des grains de sable peut révéler de nombreuses informations historiques à leur sujet, liées à la source de sable et à la façon dont il se déplace d'une région à l'autre. [21]

II.4.1.2. Sources Sables artificiels :

Les sables artificiels comprennent les sables résultant du concassage de blocs de laitier des hauts-fourneaux, le sable concassé obtenu de façon identique mais sans filler, le laitier granulé ayant subi un refroidissement rapide, et le laitier broyé obtenu à partir du concassage du laitier granulé. [18]

II.4.2. Classification du sable :

1. **Sable fin** : le sable est connu sous le nom de sable fin. Le sable fin est principalement utilisé pour le plâtrage.
2. **Sable grossier** : est connu comme le sable grossier. Il est généralement utilisé pour les travaux de maçonnerie

- 3. Sable graveleux :** est connu sous le nom de sable graveleux, il est généralement utilisé pour les travaux de béton [17]

II.4.3. Propriétés du sable :

Un bon sable doit posséder les propriétés suivantes :

- Il doit être propre et grossier.
- Il doit être exempt de toute matière organique ou végétale ; généralement 3 à 4% d'argile sont autorisés.
- Il doit être chimiquement inerte.
- Il doit contenir des grains tranchants, anguleux, grossiers et durables.
- Il ne doit pas contenir de sels qui attirent l'humidité de l'atmosphère.
- Il doit être solide et durable. [17]

II.5 L'eau de gâchage :

L'eau est un des ingrédients essentiels du béton, elle intervient à toutes les étapes de la vie du matériau par ses propriétés physico-chimiques et mécaniques. L'eau introduite dans le béton lors de sa fabrication va remplir deux fonctions essentielles :

- Une fonction physique qui confère au béton frais des propriétés rhéologiques permettant son écoulement et son moulage.
 - Une fonction chimique qui contribue au développement de la réaction d'hydratation.
- [16]

II.6 Conclusion :

À la fin de ce chapitre, on peut conclure que les composants du béton ont des types qui peuvent modifier positivement ou négativement les propriétés du béton.



***Amélioration les
caractéristiques du béton***

Chapitre III

III.1. Introduction :

Le béton est constitué de trois ingrédients : des granulats, du ciment et de l'eau. Grâce aux adjuvants et les ajouts qui lui sont ajoutés, le béton peut devenir plus maniable, imperméable et se prêter d'autant mieux aux besoins de la construction [22]. On peut même dire, que les adjuvants et les ajouts sont devenus le quatrième composant du béton.

III.2. Les adjuvants :

III.2.1. Définition :

Les adjuvants sont des produits chimiques qui ajoutés à faible dose au béton (moins de 5 % du volume) vont modifier ses propriétés à l'état frais ou à l'état durci. Ils sont ajoutés au moment du malaxage [22].

Tableau III. 1: Dosage en adjuvants par rapport au poids du ciment [22]

Adjuvants	Dosage en %
Plastifiants	0,15 à 1,2
Superplastifiants	0,6 à 2,5
Accélérateurs de prise	1 à 3
Accélérateurs de durcissement	0,8 à 2
Retardateurs de prise	0,2 à 0,8
Hydrofuges	0,5 à 2
Entraîneurs d'air	0,05 à 3
Rétenteurs d'eau	0,1 à 2

III.2.2. Classifications des adjuvants :

La norme [NF EN 934-2] classe les adjuvants pour bétons, mortiers et coulis, suivant leur fonction principale. On peut distinguer trois grandes catégories d'adjuvants :

- Adjuvants qui modifient l'ouvrabilité du béton : Plastifiant- réducteur d'eau, Superplastifiant haut réducteur d'eau.
- Adjuvants qui modifient la prise et le durcissement : accélérateurs de prise, accélérateurs de durcissement, retardateurs de prise.
- Adjuvants qui modifient certaines propriétés particulières : entraîneurs d'air, générateurs de gaz, hydrofuges de masse.

III.2.2.1. Adjuvants modifiant l'ouvrabilité des bétons :

Ces adjuvants modifient le comportement rhéologique des bétons, mortiers et coulis à l'état frais, avant le début de prise. Ils abaissent le seuil de cisaillement de la pâte et en modifient la viscosité. Ils augmentent la maniabilité tout en réduisant la quantité d'eau de gâchage, ce qui facilite la mise en place des bétons. Ils permettent d'augmenter la compacité du mélange, ce qui se traduit par une amélioration des résistances [22].

III.2.2.1.1. Plastifiant pour le béton :

Ces adjuvants ont pour fonction principale de conduire, à même ouvrabilité, à une augmentation des résistances mécaniques par une réduction de la teneur en eau d'un béton. Ils permettent aussi d'augmenter la plasticité du béton à teneur en eau constante et donc de faciliter sa mise en œuvre [22].

III.2.2.1.2. Superplastifiants hauts réducteurs d'eau

Ils ont pour fonction principale de provoquer un fort accroissement de l'ouvrabilité du mélange tout en conservant les performances mécaniques. Ils permettent aussi, de réduire fortement la teneur en eau de gâchage et donc le rapport E/C [22].

III.2.2.2. Adjuvants modifiant la prise et le durcissement

Ces adjuvants modifient les solubilités des différents constituants des ciments et surtout leur vitesse de dissolution [22].

III.2.2.2.1. Accélérateurs de prise et accélérateurs de durcissement

L'accélérateur de prise a pour fonction principale de diminuer les temps de début et de fin de prise du ciment.

L'accélérateur du durcissement a pour fonction principale d'accélérer le développement des résistances initiales des bétons, avec ou sans modification du temps de prise [22].

III.2.2.2.2. Retardateurs de prise

Les retardateurs de prise ont pour fonction principale d'augmenter le temps de début de prise du ciment. Ils augmentent le temps de début de transition du mélange pour passer de l'état plastique à l'état rigide [22].

III.2.2.3. Adjuvants modifiant certaines propriétés des bétons :

III.2.2.3.1. Entraîneurs d'air

Les entraîneurs d'air ont pour fonction d'entraîner la formation dans le béton, pendant le malaxage, de microbulles d'air (de diamètre inférieur à 100 microns) uniformément réparties dans la masse. Ces microbulles subsistent après durcissement [22].

III.2.2.3.2. Hydrofuges de masse

Les hydrofuges de masse ont pour fonction principale de diminuer l'absorption capillaire des bétons durcis. Il en résulte une faible porosité et donc une faible perméabilité du béton. Les hydrofuges sont généralement à base d'acides gras ou de leurs dérivés (stéarates) [22].

III.2.2.3.3. Rétenteurs d'eau

Les rétenteurs d'eau ont pour fonction de réguler l'évaporation de l'eau, de réduire la perte en eau et d'augmenter ainsi l'homogénéité et la stabilité du mélange. Ils diminuent la tendance au ressuage et les phénomènes de retrait. Ce sont des agents colloïdaux ou des dérivés de la cellulose [22].

III.3. Les ajouts :

Les ajouts que l'on utilise dans les mortiers et les bétons permettent de jouer sur les caractéristiques mécaniques, à savoir la résistance, les délais de mise en œuvre, la plasticité...etc. Ces ajouts permettent de rendre le mortier/béton très performant. Cependant ils en augmentent le coût.

Il existe plusieurs types d'ajouts :

- Les poudres fines.
- Les fibres.
- Les colorants.
- les polymères.

Nous attirons l'attention sur notre recherche qui est à la base d'un ajout cimentaire, qui consiste une substitution partielle de ciment.

III.3.1. Avantages des ajouts dans le béton :

Le béton requiert souvent pour l'amélioration de ses propriétés rhéologiques, l'addition de particules fines inertes ou réactives, qui régulent aussi la quantité de ciment dans la formulation et réduisent ainsi la chaleur d'hydratation cause d'un fort retrait [23].

Ce sont des produits de dimension granulaire inférieure à 80 μ m, obtenus par broyage fin, récupération des déchets des centrales thermiques ou pulvérisation de certaines roches (calcaire, silice, etc.) [23].

L'utilisation des ajouts minéraux a des avantages : techniques ; économiques et écologiques [23].

III.3.1.1. Avantages économiques et écologiques :

La plupart des additions minérales sont des sous-produits provenant de l'industrie et leur coût est souvent égal au coût du transport et de manipulation (broyage par exemple). Ainsi l'incorporation des additions minérales à la formulation de béton comme substituant du ciment (produit plus cher), contribue à réduire le coût du béton. Par ailleurs, l'utilisation généralisée des additions minérales dans le monde contribue aussi à réduire la production du ciment qui nécessite une chaleur importante, donc à réduire la quantité de combustible utilisée pour l'industrie du ciment, ainsi que l'émission du CO₂ de l'industrie cimentière dans la nature [24,25].

III.3.1.2. Avantages techniques

En général, les additions minérales influencent fortement les propriétés des bétons à l'état durci ; elles permettent d'améliorer les propriétés mécaniques et la durabilité des bétons. En raison de leurs petites dimensions, les particules de la poudre se glissent entre les grains plus gros (sable par exemple), contribuant ainsi à avoir un squelette solide plus compact et réduisant l'espace libre pour l'eau. Cette optimisation de la granulométrie du squelette total, aide aussi à limiter le ressuage du béton et à augmenter la cohésion de l'ensemble. Par ailleurs, les additions minérales réduisent la chaleur dégagée du béton lors de l'hydratation, ce qui diminue la fissuration d'origine thermique [26].

III.3.2. Effet des ajouts sur le comportement rhéologique du béton :

L'emploi de certains ajouts dans la confection du mortier et du béton contribue à une modification du processus d'hydratation du ciment. L'incorporation de ces additions minérales entraîne également une modification de la distribution granulaire, l'apparition de nouveaux sites de nucléation et une nouvelle activité des surfaces des grains. Ceci nécessite le malaxage avec des superplastifiants qui viennent défloculer les grains, libérer l'eau piégée dans les interstices et améliorer l'ouvrabilité du béton. Ces modifications des propriétés physicochimiques des composants du béton affectent directement les propriétés rhéologiques du mortier et du béton à l'état frais ainsi que ses composantes finales [20].

III.3.3. Classification des ajouts :

III.3.3.1. Cendres volantes :

Les cendres volantes sont conformes à la norme EN 450. Ce sont des produits pulvérulents de grande finesse résultant de la combustion, en centrale thermique, de minéraux solides. C'est un matériau inorganique fin qui a des propriétés pouzzolanique à long terme. La cendre volante silico-alumineuse (classe F) est principalement vitreuse. Elle peut contenir des phases cristallisées comme le quartz, la mullite, la gehlénite, des spinelles Pouzzolanique, Elle met du temps à réagir. Sa combinaison avec la chaux libérée par l'hydratation du ciment commence à 28 jours. Ainsi, l'ajout de cendre volante réduit le risque de fissuration due à l'élévation de température lors de l'hydratation du ciment [23].

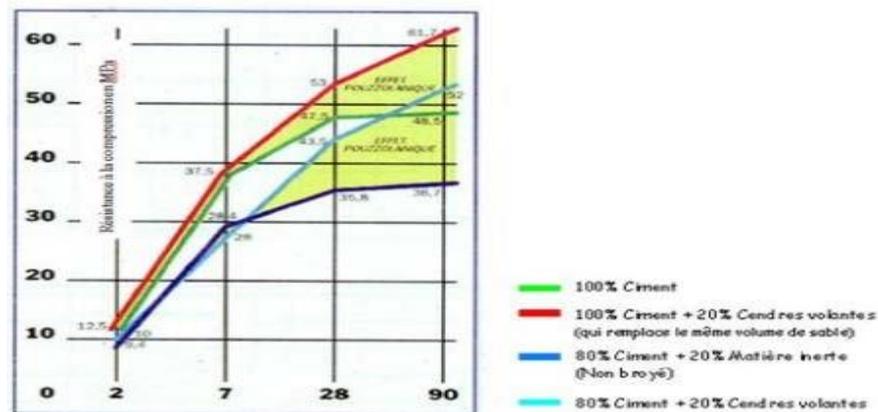


Figure III. 1: Effet pouzzolanique des cendres incorporées dans le béton ou dans le ciment [13]

III.3.3.2. Le laitier de haut fourneau :

C'est un coproduit de la production de la fonte. Dans le procédé de fabrication, dans les hauts fourneaux, le laitier surnage au-dessus de la fonte, et se vitrifie rapidement après refroidissement. Le broyage de ce dernier (à environ 400 m²/kg à 500 m² /kg) donne ce qu'on appelle le laitier vitrifié moulu. Il est utilisé comme ajout cimentaire s'il est conforme à la norme : NF P 18-506 « Additions pour béton hydraulique. Laitier vitrifié moulu de haut fourneau ». La composition chimique du laitier est relativement constante, car pour permettre le refroidissement de la fonte la composition chimique des matières premières doit être bien ajustée. Tandis que sa composition minéralogique dépend de son mode de refroidissement, un laitier est d'autant plus vitreux que le refroidissement est rapide.

L'utilisation de laitier de haut fourneau moulu est limitée aux seuls bétons à base de CEM I de la classe 42,5 ou supérieure [27].

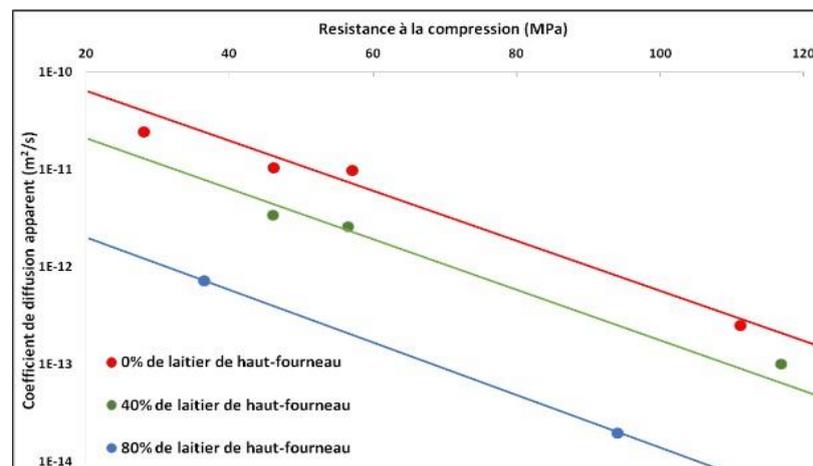


Figure III. 2: Corrélation entre le coefficient de diffusion apparent et la résistance à la compression pour différentes teneurs en laitiers d haut-fourneau [29]

III.3.3.3. Les fumées de silice :

Selon la norme NF P 18-502 « fumées de silice » : il s'agit de : Poudre amorphe divisée résultant de la production d'alliages de silicium. Elle est entraînée par les gaz, depuis la zone de combustion des fours, vers le système de captage. La fumée de silice est un sous-produit de la fabrication du silicium métallique ou des différents ferroalliages contenant du silicium (comme : FeSi, CaSi) Lors de la réduction du quartz en silicium dans un four à 2000 °C il y a production des vapeurs de SiO, au moment de leur passage par les parties les plus froides du four et dès leur contact avec l'air, ces vapeurs s'oxydent et se condensent sous forme de microsphères de silice. Selon la norme, on distingue deux classes A et B les fumées de silice

de classe A étant les plus riches en silice et les plus fines. Compte tenu de leur très grande finesse et de leur très grande réactivité avec la portlandite libérée par l'hydratation du ciment, la proportion des fumées de silices est limitée à 10% du poids de ciment. Leur emploi est réservé aux bétons contenant un superplastifiant [28].

III.3.3.4. Les fillers :

Ils sont élaborés à partir de matériaux calcaires, de dolomites ou de calcites finement écrasés. Ce sont de bons correcteurs de courbes granulométriques utilisés aussi pour augmenter la quantité de fines. La taille dans une gamme inférieure à 0,125mm sera un très grand avantage [23].

Il est à noter que la dolomite peut présenter des problèmes de durabilité à cause de la réaction alcali -carbonate. Le filler calcaire intervient dans la rhéologie des pâtes de ciment par sa granularité et sa réactivité chimique. Il forme avec la pâte de ciment une liaison qui améliore les résistances mécaniques par comparaison à l'effet d'un filler inerte comme le quartz. Cette liaison peut être renforcée par l'utilisation de fillers mixtes (calcaire + silice réactive) ou de rapports eau/ciment plus faibles [28].

III.4. Conclusion :

A la fin de ce chapitre, on peut conclure que le béton est une substance dont nous pouvons changer positivement les propriétés en raison de son effet sur tous les facteurs et même avec des ajouts.

C'est dans ce contexte qu'on peut inscrire notre étude, qui est une contribution à l'étude d'influence de la poudrette de sable de dune sur la résistance de béton.

Introduction à la partie pratique

Nous avons vu dans la recherche bibliographique que l'amélioration des caractéristiques du béton se ferait par plusieurs méthodes et parmi ces méthodes on a parlé des ajouts solides tel que le fumé de silice, c'est dans ce contexte que nous avons pensé à l'amélioration des caractéristiques du béton en ajoutant d'une poudrette préparée par broyage de sable de dune siliceux.

Dans cette partie pratique de notre mémoire on va présenter notre méthodologie de recherche ainsi que les résultats obtenus et nous allons tirer les conclusions et les recommandations obtenus.

L'objectif de cette partie expérimentale est d'étudier la possibilité de substituer partiellement le ciment par la poudrette de sable de dune, tout en changeons le taux de substitution et de vérifier les caractéristiques des bétons obtenus.

Donc la méthodologie adoptée est de fixer l'ensemble des paramètres (matériaux utilisés, formulation, milieu de travail) et changer seulement le taux de substitution de ciment par la poudrette de sable et d'étudier la variation des caractéristiques du béton et du mortier et de les comparer à un béton et un mortier témoins.

Cette étude nous permet de vérifier la possibilité d'améliorer les performances du béton par ajout de poudrette de sable ou la possibilité de réduire le coût de béton en valorisant des matériaux locaux.



Méthodologie de la recherche

Chapitre IV

IV.1. Introduction :

Dans ce chapitre nous allons présenter notre méthodologie de recherche, on va présenter les étapes de notre étude au laboratoire ainsi que le protocole de recherche que nous avons adopté.

IV.2. Protocole d'étude :

Comma déjà mentionné dans l'introduction de notre mémoire, notre travail consiste à étudier la possibilité de substituer une partie de ciment par une poudrette préparée par broyage de sable de dune.

Donc le protocole adopté est les suivant :

- Choisir des matériaux pour les utiliser dans plusieurs formulations de béton ;
- Faire une étude de formulation de béton sur la base des matériaux choisis ;
- Préparé des quantités de béton au laboratoire (Gachet d'essai) selon plusieurs formules en faisons à chaque fois varie le taux de substitution de ciment par la poudrette de sable de dune :
 - Taux de substitution : 0% mélange témoin ;
 - Taux de substitution : 5% ;
 - Taux de substitution : 7.5% ;
 - Taux de substitution : 10% ;
 - Taux de substitution : 12.5%.
- Détermination des caractéristiques de béton frais et durci dans chaque formule ;
- Analyse, comparaison des résultats et tire des conclusions.

Les étapes suivies dans cette étude sont :

- Analyse et identification des matériaux utilisés ;
- Etude de formulation au laboratoire ;
- Réalisation des mélanges d'essai au laboratoire ;
- Détermination des caractéristiques de béton au laboratoire ;
- Interprétation des résultats.

IV.3. Analyse et identification des matériaux utilisés :

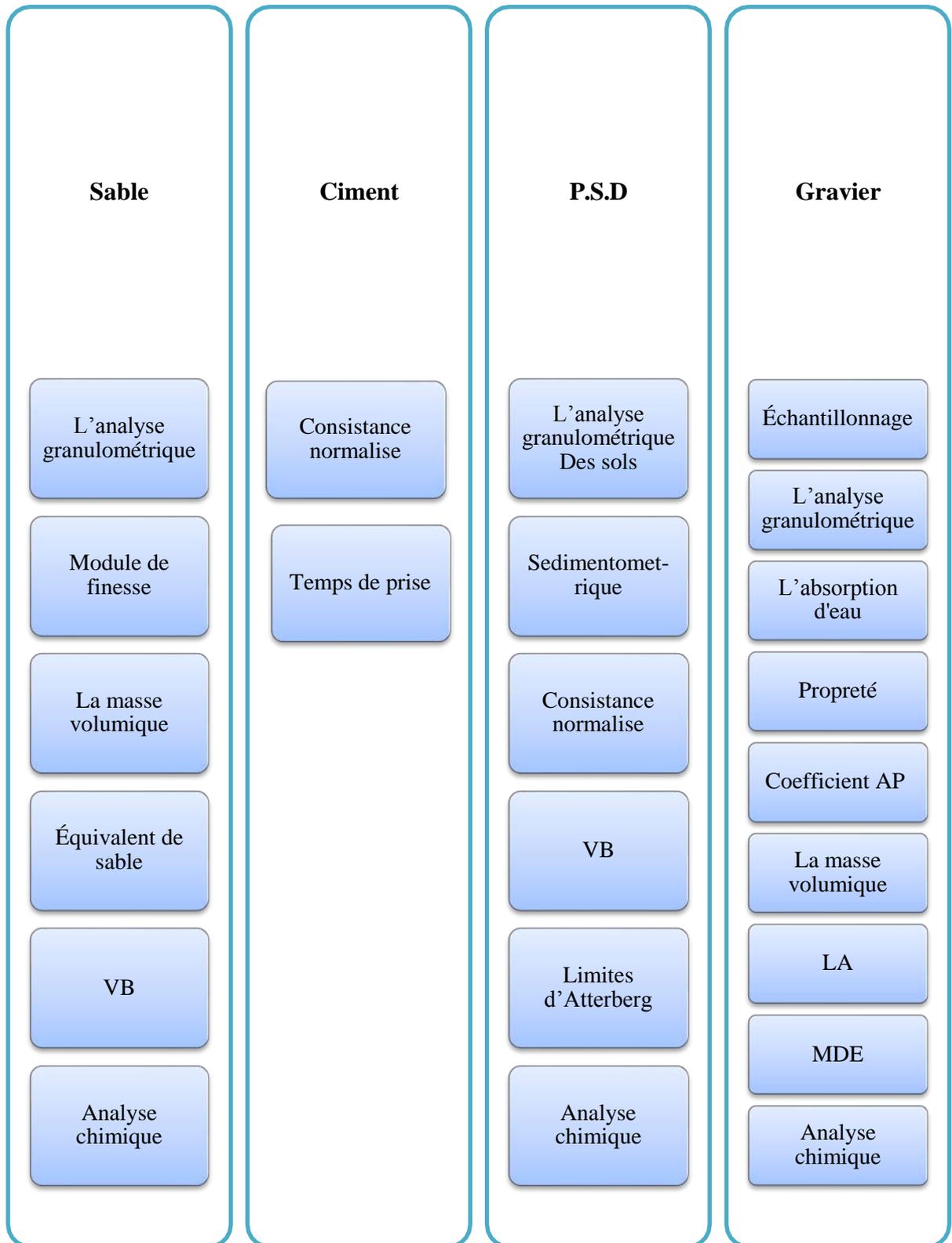


Figure IV. 1: Organigramme des différents essais aux matériaux

IV.4. Etude de formulation :

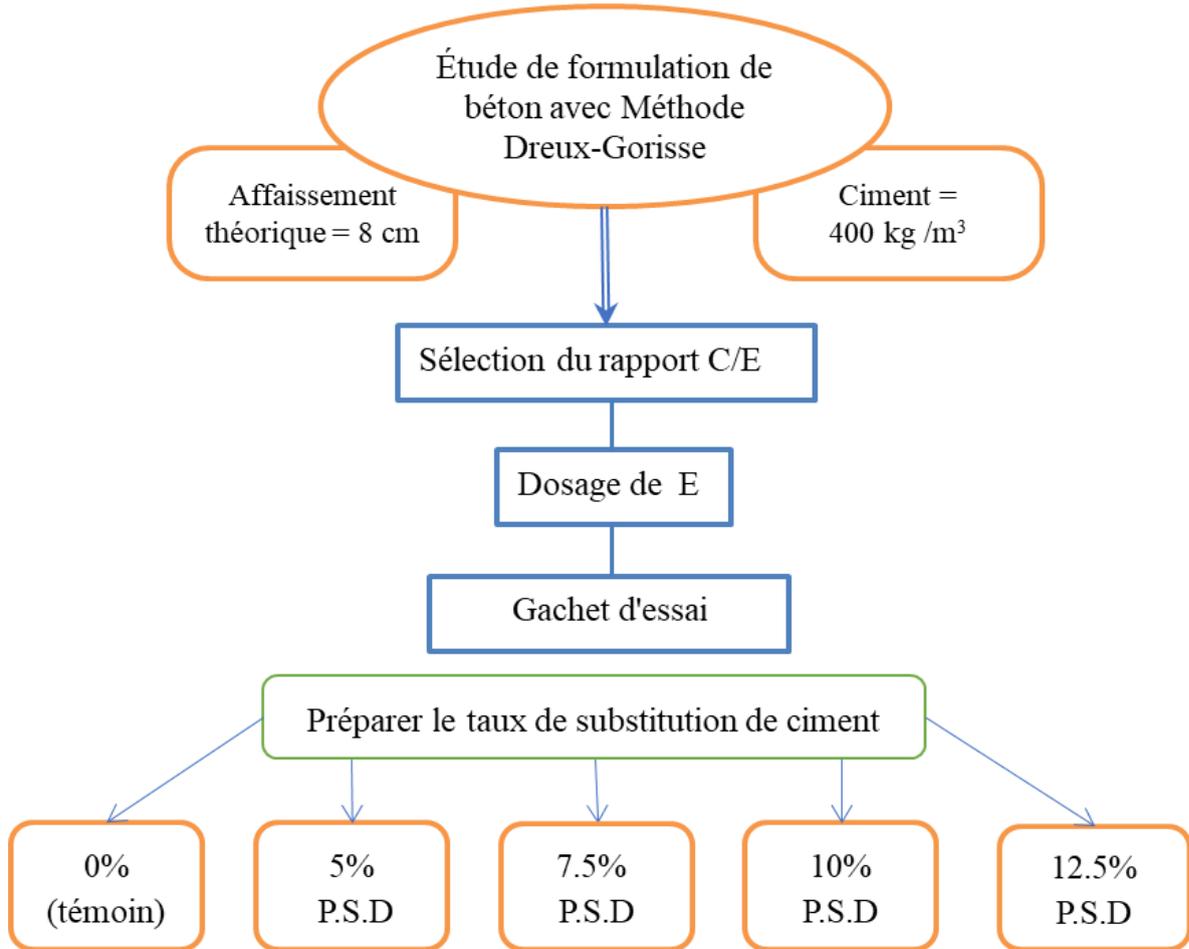


Figure IV. 2: Organigramme d'étude de formulation de béton

IV.5. Les essais sur le béton :

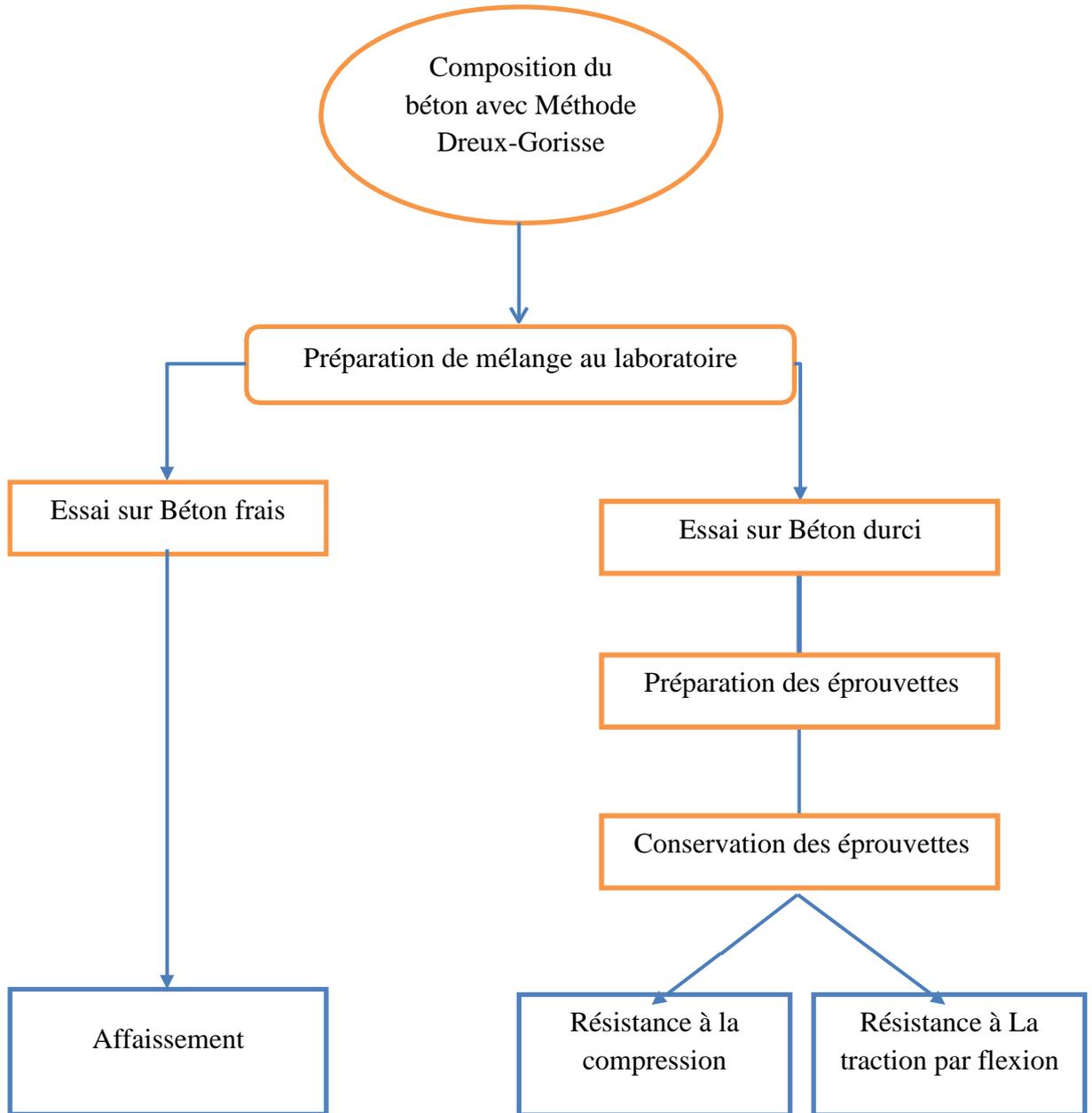


Figure IV. 3: Organigramme des différents essais effectués sur le béton

IV.6. Les essais sur le mortier :

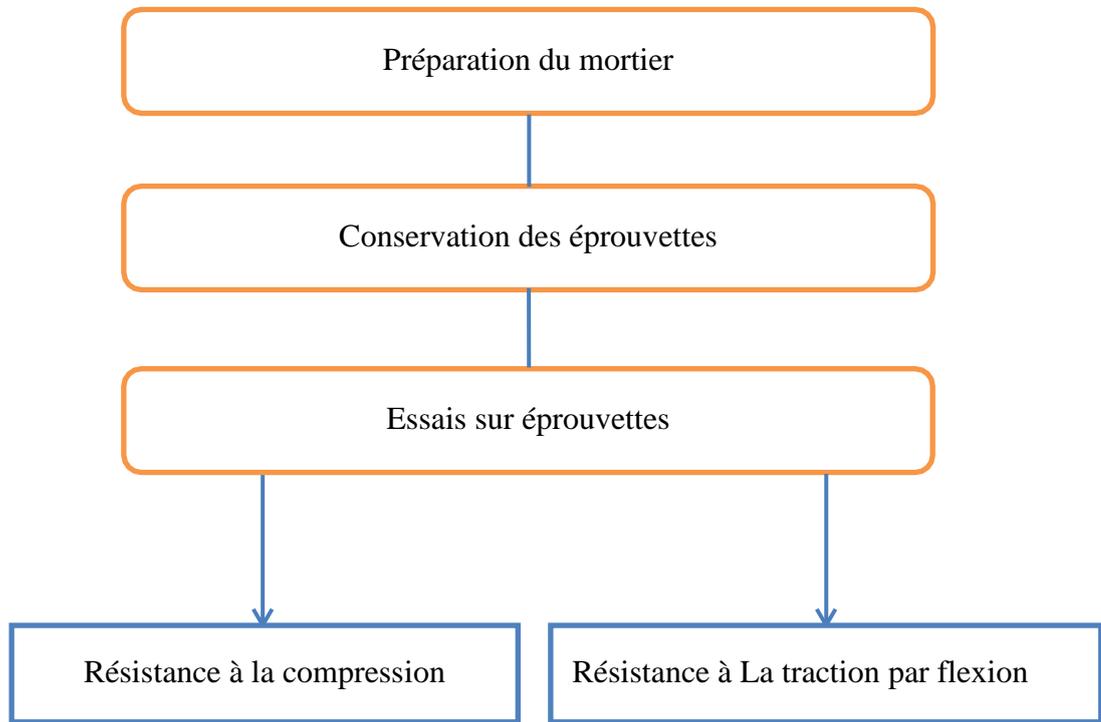


Figure IV. 4: Organigramme des différents essais effectués sur le mortier



Identification des matériaux

Chapitre V

V.1. Introduction :

L'objectif de ce chapitre expérimental, est la caractérisation des matériaux utilisés dans ce travail, Ainsi que tous les essais sont normalisés et réalisés dans le cadre des normes AFNOR au laboratoire des travaux publics de sud de la wilaya de Ghardaïa.

V.2. Les matériaux utilisés :

V.2.1. Gravier :

Le gravier utilisé de classes, 3/8 ,8/15 et 15/25, a été ramené du la station de concassage SARL ALCOGAZ à Metlili La qualité de gravier utilisé est de nature calcaire grisâtre.

V.2.2. Sable :

Les sables utilisés pour notre recherche sont deux sables :

- Sable d'oued : est un sable roulé ramené d'oued M'ZI (LAGHOUAT).
- Sable de dune (à broyer pour produire la PSD) : est un sable Natural ramené de HASSI LEFHAL (El Menai).

V.2.3. Ciment :

Matine CPJ - CEM II/B 42.5 N. Il est certifié, conforme à la norme Algérienne (NA-442) et Européenne (EN 197-1)

V.2.4. Eau :

L'eau Utilisée dans la formulation est l'eau potable de réseau AEP de la ville de Ghardaïa, donc selon la norme NA 1966, elle ne nécessite aucun essai. [30]

V.3. Les caractéristiques des matériaux :

V.3.1. Gravier :

V.3.1.1. Échantillonnage :

Les essais effectués en laboratoire portent nécessairement sur des quantités réduites de matériaux qui doivent cependant permettre de mesurer des paramètres caractéristiques de l'ensemble du matériau dans lequel on a fait le prélèvement. Le passage de l'échantillon total prélevé sur le tas à l'échantillon réduit, nécessaire à l'essai, peut se faire par quartage ou à l'aide d'un échantillonneur.

L'échantillon doit être séché à l'étuve a 105°C s'il est exempt de minéraux argileux, ce qui est rare, ou à 60°C dans le cas contraire. [1]

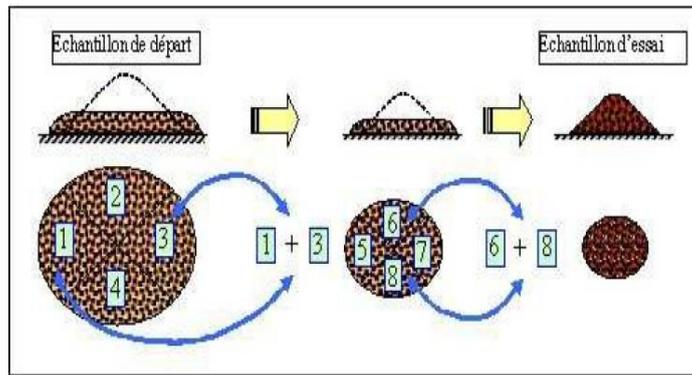


Figure V. 1 : Opération de quartage

V.3.1.2. L'analyse granulométrique (NF-P 18-560) [31] :

L'essai consiste à classer les différents grains constituant l'échantillon en utilisant une série de tamis, emboités les uns sur les autres, dont les dimensions des ouvertures sont décroissantes du haut vers le bas. Le matériau étudié est placé en partie supérieure des tamis et le classement des grains obtenu par vibration de la colonne de tamis [1].



Figure V. 2: l'échantillon et les tamis utilisés

Tableau V. 1: résultats de l'analyse granulométrique du gravier.

Classe	Gravier 3/8	Gravier 8/15	Gravier 15/25
Tamis ouverture(mm)	Tamisât %		
40	100	100	100
31.5	100	100	98.82
25	100	100	93.54

20	100	99.62	26.78
16	100	98.67	2.93
12.5	100	42.19	0.4
10	100	9.43	0
8	100	1.22	0
6.3	86.33	0.52	0
5	60.28	0	0
4	31.4	0	0
3.15	19.36	0	0
2.5	4.86	0	0
2	2.46	0	0
1.60	1.79	0	0
1.25	1.5	0	0
1	1.37	0	0

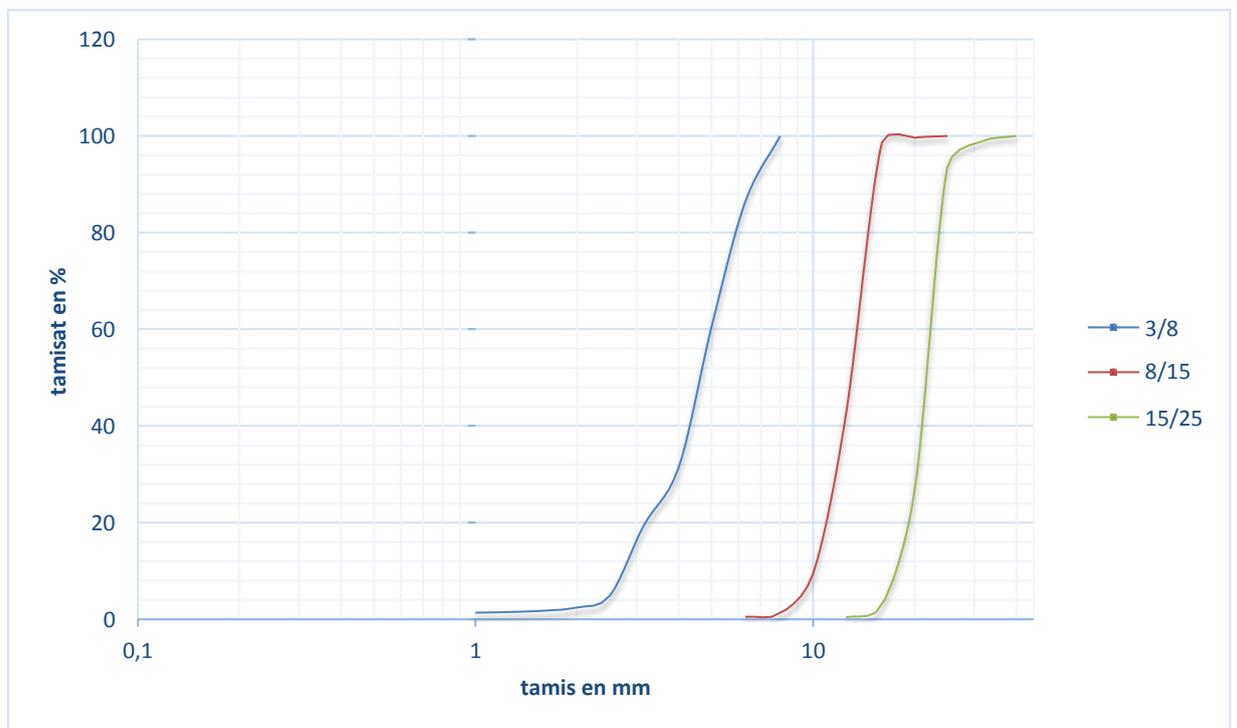


Figure V. 3: courbe granulométrique des graviers.

V.3.1.3. Essai coefficient d'aplatissement (NF-P 18-561) [32] :

L'essai consiste à effectuer un double tamisage : Tamisage sur tamis à mailles carrées, pour classer l'échantillon étudié en différentes classes d/D (avec $D = 1,25 d$), suivant leur grosseur G.

Puis tamisage des différentes classes granulaires d/D, sur des grilles à fentes parallèles d'écartement : $\frac{dd}{1.58}$.

Tableau V. 2: résultats de résultats d'aplatissement du gravier

Classe	Gravier 3/8	Gravier 8/15	Gravier 15/25
Aplatissement [%]	30.15	13.48	4.85

V.3.1.4. Essai de propreté superficielle (NF-P 18-591) [33] :

La propreté superficielle est définie comme étant le pourcentage pondéral de particules inférieures à 0.5 mm (ou 1.6mm pour les ballasts) mélangées ou adhérentes à la surface des granulats supérieurs à 2mm.

Tableau V. 3: résultats Propreté superficielle des graviers

Classe	Gravier 3/8	Gravier 8/15	Gravier 15/25
Propreté P (%)	2.29	0.78	00

V.3.1.5. Essai l'absorption d'eau (NF-P 18-555) [34] :

Le coefficient d'absorption d'eau est défini comme le rapport de l'augmentation de masse de l'échantillon entraînée par une imbibition partielle en eau, à la masse sèche de l'échantillon. Cette imbibition partielle est obtenue par immersion de l'échantillon dans l'eau pendant 24 H à 20 °C à la pression atmosphérique.

Tableau V. 4 : résultats d'absorption des graviers.

L'échantillon	Gravier 3/8	Gravier 8/15	Gravier 15/25
Ab (%)	6.04	3.95	2.27

V.3.1.6. Essai la masse volumique du granulat (NF-P 18-598) [35] :

La masse volumique est la grandeur qui permet de passer de la masse d'un matériau, au volume occupé par ce même matériau, elle est très utile car les granulats sont destinés à remplir des volumes. [1]

Tableau V. 5: résultats de masse volumique des graviers.

L'échantillon	Gravier 3/8	Gravier 8/15	Gravier 15/25
MV _{ABS} (t/m ³)	2.59	2.58	2.59
MV _{APP} (t/m ³)	1.08	1.13	1.22

V.3.1.7. Fragmentation par méthode de los Angeles (NF EN 1097-2) [36] :

Le principe de l'essai los Angeles et de faire rouler dans un tambour rotatif un échantillon de granulat mélange à des boules d'acier. À la fin, on évalue la quantité de matériau retenu sur le tamis de 1.6mm.

Tableau V. 6: résultat de los Angeles des graviers.

Classe	Gravier 3/8	Gravier 8/15	Gravier 15/25
LA %	44.84	43.68	33.5

V.3.1.8. Résistance à l'usure – essai micro deval (NF EN 1097-1) [37] :

Essai détermine le coefficient micro deval qui est le pourcentage de l'échantillon d'origine réduit à une dimension inférieure à 1.6 mm par rotation dans un cylindre.



Figure V. 4: Essai de MDE

Tableau V. 7 : résultats de MICRO DEVAL sur les graviers.

Classe	Gravier 3/8	Gravier 8/15
MDE %	14.626	31.388

V.3.1.9. Analyse chimique (NF EN 1744-1) [38] :

Le tableau (II-8) donne la composition chimique du gravier.

Tableau V. 8: résultats des analyses chimiques du gravier

Echantillon	GRAVIER
Taux des insolubles [%]	1.5
Taux de carbonates CaCO ₃ [%]	90
Taux chlorure Cl ⁻ [%]	0.012
Taux de sulfates SO ₃ [%]	00



Figure V. 5: quelques étapes d'essai analyse chimique

V.3.2. SABLE :

V.3.2.1. L'analyse granulométrique (NF-P 18-560) [31] :

L'essai de L'analyse granulométrique tableau (III-9) et figure (III-5) Permet de Déterminer par la grosseur et les pourcentages pondéraux respectifs des différentes Familles de grains constituant l'échantillon, le sable passe à travers une série de tamis Décroissante des mailles en (mm) 6.3 ; 5 ; 2.5 1.25 ; 0.63 ; 0.315 ; 0.16 ; 0.08.

Tableau V. 9: résultats de l'analyse granulométrique de sable.

Tamis ouverture (mm)	6.3	5	2.5	1.25	0.63	0.315	0.16	0.08
tamisât %	100	99.05	94.96	91.52	78.35	30.64	2.4	1.01

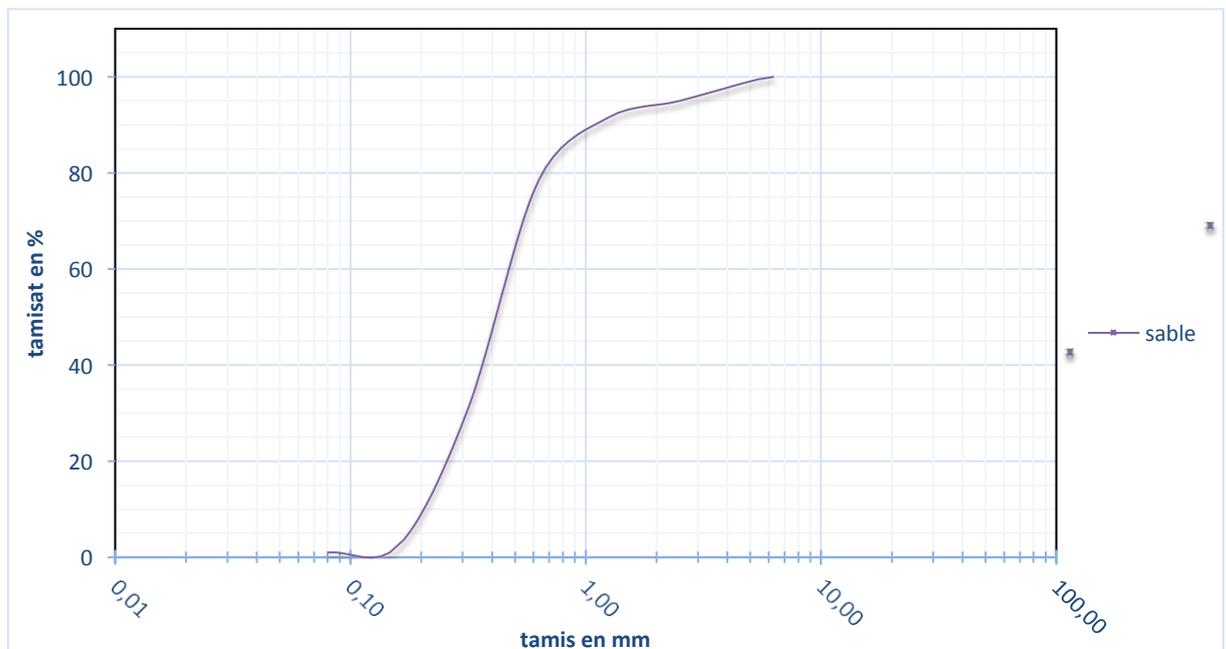


Figure V. 6: courbe granulométrique de sable d'oued

V.3.2.2. Module de finesse (NF P 18 304):

Le module de finesse d'un sable est égal au centième de la somme des refus exprimés en pourcentage pondéral sur les différents tamis de la série sauf le tamis (0.08) Il est donné par la relation suivante :

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

Avec : Ri : refus cumulés en (%).

$$Mf = \frac{0.95 + 4.09 + 8.48 + 21.65 + 69.36 + 97.6}{100} = 2.021\%$$

V.3.2.3. Essai la masse volumique du granulat (NF-P 18-598) [35]:

Tableau V. 10: : résultats de la masse volumique.

	Sable d'oued
MV _{ABS} (t/m ³)	2.62
MV _{APP} (t/m ³)	1.51

V.3.2.4. Essai équivalent de sable (NF EN 933-8) [39] :

Cet essai est utilisé de manière courante pour évaluer la propreté des sables entrant dans la composition des bétons. L'essai consiste à séparer les particules fines contenues dans le sol des éléments sableux plus grossiers.[1]



Figure V. 7: essai de l'équivalent de sable

Tableau V. 11: résultats d'équivalent de sable.

	Sable d'oued
ES %	70.14

V.3.2.5. Essai au bleu de méthylène (NF P 94-068) [40] :

L'essai consiste à mesurer par dosage la quantité de bleu de méthylène pouvant être adsorbée par le matériau mis en suspension dans l'eau. Cette quantité est rapportée par proportionnalité directe à la fraction 0/50 mm du sol. La valeur de bleu du sol est directement liée à la surface spécifique des particules constituant le sol ou le matériau rocheux.



Figure V. 8: essai de bleu de méthylène

Tableau V. 12 : résultats de bleu de méthylène.

	Sable d'oued
VB (g/cm ³)	0.17

V.3.2.6. Analyse chimique sommaire (NF EN 1744-1) [38] :

Le tableau (II-13) donne la composition chimique du sable.

Tableau V. 13: résultats des analyses chimiques du sable

Echantillon	Sable d'oued
Taux des insolubles [%]	93.3
Taux de carbonates CaCO ₃ [%]	03
Taux chlorure Cl ⁻ [%]	00
Taux de sulfates SO ₃ [%]	00

V.3.3. Poudrette sable de dune :

Préparation de poudrette de sable de dune :

Pour préparer une poudrette de sable il est nécessaire de suivre les étapes suivantes :

- Amené de sable qui répond aux critères et exigences.
- Broyage de sable à l'aide d'une machine micro-deval qui nous a été conseillé encadreur

* Méthode d'essais

1. Pesé d'essai de 500 g de sable de dune.
2. Mise en place dans un tambour avec 5 kg de billes métalliques.
3. Appliquer une rotation de 12 000 tours au Tambour à la vitesse de 100 tours/minute.



Figure V. 9: Production de la poudrette de sable

V.3.3.1. Analyse granulométrique des sols et sedimentometrique :

L'analyse granulométrique est effectuée conformément aux recommandations de la norme (NF P94-056) [42] qui traite de l'analyse granulométrique des sols par tamisage à sec après lavage et de la norme (NF P94-057) [41] qui traite de l'analyse granulométrique des sols par sedimentometrie. [1]

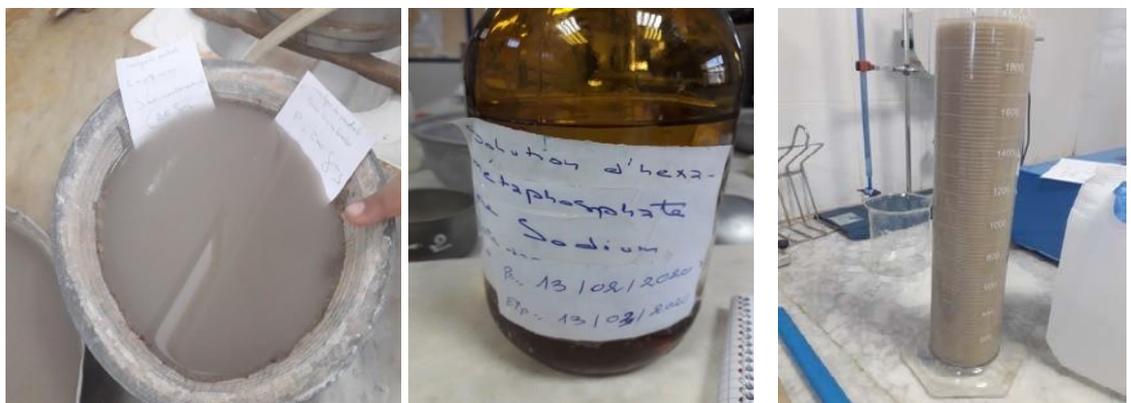


Figure V. 10: essai de sedimentometrie

Tableau V. 14: résultats Analyse granulométrique de la PSD.

Poids de l'échantillon	Tamis (mm)	Tamisât %
200 g	5	100
	2	100
	1	99
	0.4	97
	0.2	96
	0.1	91
	0.08	91

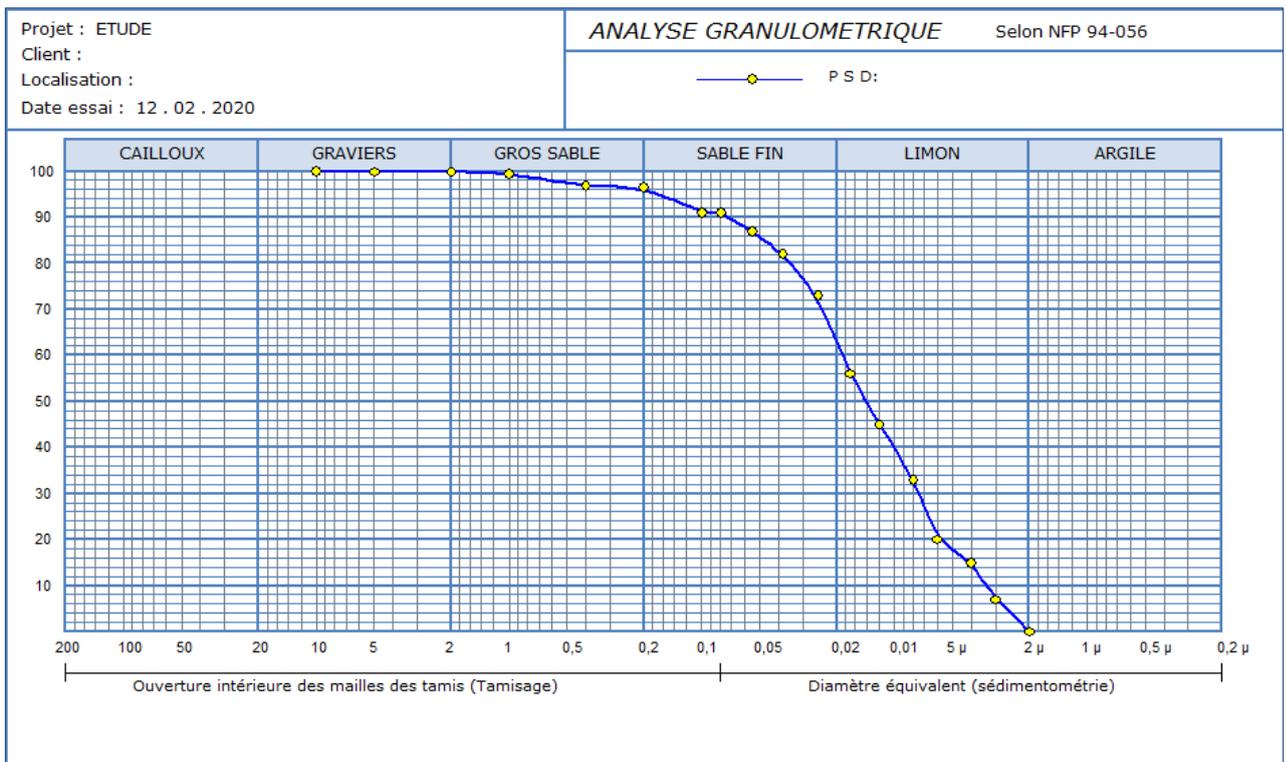


Figure V. 11: courbe des essais analyse granulométrique des sols et sedimentometrique

V.3.3.2. Essai au bleu de méthylène (NF P 94-068) [40] :

Le tableau (II-15) donne Essai au bleu de méthylène

Tableau V. 15 : résultats Essai au bleu de méthylène

	P. S. D
VB (g/cm ³)	0.23

V.3.3.3. Essai limites d'Atterberg (NF P 94-051) [43] :

Les limites d'atterberg sont des teneurs en eau pondérales, caractéristiques du sol. Elles correspondent à des comportements particuliers de celui-ci sous l'action des variations de la teneur en eau. Ces limites sont déterminées sur la fraction de sol passant au travers du tamis 400µm.[11]

Tableau V. 16: : résultats Essai limites d'Atterberg

	LL	LP	IP
Résultat	23.24	17.75	5.49

V.3.3.4. Analyse chimique du sable (NF EN 1744-1) [38] :

Le tableau (II-17) donne Essai Analyse chimique du sable

Tableau V. 17: résultats Essai Analyse chimique du sable

Echantillon	P.S. D
Taux des insolubles [%]	94.8
Taux de carbonates CaCO ₃ [%]	00
Taux chlorure Cl ⁻ [%]	00
Taux de sulfates SO ₃ [%]	00

V.3.3.5. Essai de consistance normalise (EN 196-3) [44] :

Le tableau (II-18) donne Essai de consistance normalise de P.S.D

Tableau V. 18: résultat d'essai de consistance normalise de P.S.D

Echantillon	500 g de P.S. D
L'eau	157.5g (31.5%)
Résultat	6 mm

V.3.4. Ciment :**V.3.4.1. Essai de consistance normalise(EN 196-3) [44] :**

La consistance est évaluée ici en mesurant l'enfoncement, dans la pâte d'une tige cylindrique sous l'effet d'une charge constante. L'enfoncement est d'autant plus important que la consistance est plus fluide. La consistance évaluée de cette manière sera appelée " consistance Vicat." [1]

Tableau V. 19: résultat d'essai de consistance normalise de ciment

Echantillon	500 g de CIMENT
L'eau	130 g (26%)
Résultat	7 mm

V.3.4.2. Essai de temps de prise (EN 196-3) [44] :

L'objet de l'essai est de connaître le début et la fin de prise des pâtes de ciment afin de pouvoir évaluer le temps disponible pour la mise en place correcte des mortiers et des bétons qui seront ensuite confectionnés



Figure V. 12: Essai de temps de prise

Tableau V. 20: résultat d'essai de consistance normalise de ciment

Temps 0 à la fin de prise	4 H et 45 Min
Temps 0 au début de pris	3 H et 1 Min
Début de prise à la fin de prise	1 H et 44 MIN

V.3.5. L'eau de gâchage :

L'eau Utilisée dans la formulation est l'eau potable de réseau AEP de la ville de Ghardaïa donc, elle ne nécessite aucun essai. [30]

V.4. Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons obtenus les les caractéristiques des matériaux au laboratoire afin d'étudier la formulation de béton.

On consacre le troisième chapitre à la formulation du béton.

Etude de composition d'un béton hydraulique

Chapitre VI

VI.1. Introduction :

Dans ce chapitre on présente la méthode que déterminer la composition du béton ordinaire. Pour cela la méthode dite « DREUX GOURISSE » est utilisée. Cette méthode, pratique et simple, a pour but de définir d'une façon simple et rapide une formule de composition d'un béton en fonction des qualités souhaitées et des matériaux utilisés (eau E, ciment C, sable S, et gravier G). Toutefois, il faut noter que seules quelques gâchées d'essai et de confection d'éprouvettes permettront d'ajuster au mieux la composition à adopter définitivement.

- Les performances requises pour un béton impliquent :
 - L'ouvrabilité du béton, généralement définit par l'affaissement au cône d'Abrams.
 - La résistance du béton, le plus souvent à 28 jours.
 - La durabilité qui conduit à imposer un dosage minimum en ciment et rapport E/C maximum.
- Les différentes méthodes de composition des bétons :
 - Méthode de BOLOMEY.
 - Méthode de FAURY.
 - Méthode d'ABRAMS.
 - Méthode de VALLETTE.
 - Méthode de JOISEL.
 - Méthode AMERICAINE.
 - Méthode BRITANNIQUE.
 - Méthode de DREUX GOURISSE (la méthode choisie).

**VI.2. Méthodes de calcul de la composition du béton selon DREUX
GOURISSE :**

VI.2.1. Résistance souhaitée :

En générale, on demandera une résistance f_{c28} en compression à 28 jours et compte tenu des dispersions et de l'écart quadratique, il faudra viser une résistance moyenne à 28 jours.

f_c supérieur à f_{c28}

$$f_{c28} = f_c - 0,8 s \dots\dots\dots(I)$$

VI.2.2. Consistance désirée :

Elle est fonction de la nature de l'ouvrage (plus ou moins massif ou plus ou moins ferrillé), de la difficulté de bétonnage, des moyens de serrage. Elle est définie, en générale, par l'affaissement au cône comme indiqué dans le tableau 1.

Tableau VI. 1: Consistance du béton

Plasticité	Serrage	Affaissement « A » en cm
Béton très ferme	Vibration puissante	0 à 2
Béton ferme	Bonne vibration	3 à 5
Béton plastique	Vibration courante	6 à 9
Béton mou	Piquage	10 à 13
Béton liquide	Léger piquage	≥ 14

VI.2.3. Dimension maximale des granulats « D » :

Elle est fonction des caractéristiques de la pièce à bétonner « coffrage, ferrillage... ». Les valeurs de D sont données au tableau 2.

Tableau VI. 2: Evaluation de « D »

Caractéristiques de la pièce à bétonner	Dimension maximale des granulats	
	Roulés	Concassés
e (espacement horizontale entre armatures)	≤ 0,9 e	≤ 0,8 e
c (couverture)	≤ 0,8 c	≤ 0,7 c
r (rayon moyen du ferrillage)	≤ 1,8 r	≤ 1,6 r
R (rayon moyen du moule)	≤ 1,2 R	≤ R
hm (épaisseur minimale)	≤ hm / 4	≤ hm / 4

VI.2.4. Dosage en ciment et en eau :

Le dosage en eau et en ciment dépend de la résistance visée, et de la qualité du ciment et des granulats, ainsi expérimentalement, on établit une relation entre l'ensemble de ces paramètres.

$$f_c = G * f_{CE} * (C/E - 0,5) \dots\dots\dots (II)$$

f_c : résistance moyenne en compression désirée à 28j.

C : dosage en ciment (K/m^3) de béton.

f_{CE} : classe varie de ciment en (à 28 jours) en MPa.

E : dosage en eau totale sur matériaux secs ($litre/m^3$).

G : coefficient granulaire.

Expérimentalement, il est établi que cette qualité dépend des granulats, mais également de son diamètre selon les valeurs suivant :

Tableau VI. 3: valeurs approximation du coefficient granulaire G

Qualité des granulats	Dimension maximale D des granulats		
	Fin $D \leq 16 \text{ mm}$	Moyen $D \leq 40 \text{ mm}$	Gros $D \leq 63 \text{ mm}$
Excellente	0,55	0,60	0,65
Bonne, courante	0,45	0,50	0,55
Passable	0,35	0,40	0,45

Cette relation permet de déterminer le rapport C/E :

$$C/E = f_c / (G * \sigma_{C28}) + 0,5 \dots \dots \dots \text{(III)}$$

Il est à observer à travers cette relation que le dosage en ciment est d'autant plus important que la résistance désirée du béton soit forte.

Pour une résistance désirée, on a également moins besoin le ciment lorsque la qualité ou la dimension des granulats augmentent.

Le problème consiste à délier le dosage en ciment du dosage en eau.

Le dosage en eau dépend également de l'ouvrabilité désirée, ainsi en intégrant l'ouvrabilité désirée, expérimentalement, et à partir du rapport C/E, il est possible de déterminer le dosage en ciment par l'abaque suivant :

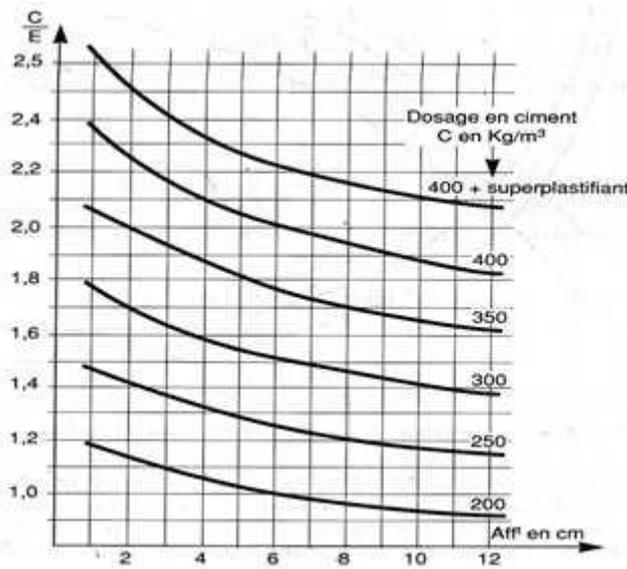


Figure VI. 1: dosage approximatif en ciment en fonction de C/E et de l'ouvrabilité désirée

Il est à observer que plus l'ouvrabilité désirée est importante plus il faut d'eau et plus il faut de ciment.

La quantité d'eau dépend également du diamètre des grains à humidifier, le dosage en eau déterminé est indiqué pour mouiller tous les grains du mélange granulaire représentatif maximal, EX : (D=31,5mm).

Tableau VI. 4: correction du dosage en eau selon le diamètre D de mélange granulaire.

Dimension maximale des granulats en mm	10	12,5	16	20	25	31,5	40	50
Correction sur le dosage en eau en %	+9	+6	+4	+2	0	-2	-4	-6

VI.2.5. Dosage des granulats :

VI.2.5.1. Tracé de la courbe granulométrique de référence :

Elle doit être tracée sur une feuille d'analyse granulométrique (papier semi-logarithmique). Le ciment n'est pas inclus dans la courbe. Celle-ci est composée de deux segments OA et AB avec brisure en A.

Le point d'origine O est fixé à 0% de tamis sur le plus petit tamis, 0,080mm.

Ce point est repéré par ses coordonnées : O [0,080 ; 0]

De même, B se situe sur le tamis, Dmax du gravier, avec 100% de tamisât.

Ce point est repéré par ses coordonnées : B [Dmax ; 100].

Pour le point de briseur A, il apparaît que le tamisât sur lequel il se situe est invariable quel que soit les proportions du mélange.

➤ **Abscisse X du point de brisure :**

D/2, si $D \leq 25\text{mm}$, et au milieu de l'intervalle [5 ; D] si $D \geq 25$.

➤ **Ordonnée Y du point de brisure :**

Le pourcentage Y des tamisats cumulatifs est :

$$Y = 50 - \sqrt{DD} + K + K_s + K_p \dots\dots\dots(IV)$$

K est un terme correcteur qui dépend du dosage en ciment, de la forme des granulats, de la puissance de serrage et de la finesse de sable, comme le montre le tableau VI

Tableau VI. 5: valeurs du terme correcteur K

Vibration		Faible		Normale		Puissance	
Forme des granulats (du sable en particulier)		Roulé	Concassé	Roulé	Concassé	Roulé	Concassé
Dosage en ciment (Kg / M ³)	400 + fluidifiant	-2	0	-4	-2	-6	-4
	400	0	+2	-2	0	-4	-2
	350	+2	+4	0	+2	-2	0
	300	+4	+6	+2	+4	0	+2
	250	+6	+8	+4	+6	+2	+4
	200	+8	+10	+6	+8	+4	+6

Si $M_f \neq 2.5 \rightarrow$ Correction supplémentaire **$K_s = 6 M_f - 15$**
 Pour un béton pompable \rightarrow Correction supplémentaire **$K_p = +5 \text{ à } +10$**

VI.2.5.2. Volume total des granulats :

Le volume total des granulats par unité de volume de béton frais est fourni par le tableau 5 qui indique la valeur du coefficient de compacté γ_c .

Tableau VI. 6: valeurs du coefficient de compacité γ_c

Consistance	Mode de serrage	γ_c coefficient de compacité						
		D = 5	D = 10	D = 12,5	D = 20	D = 31,5	D = 50	D = 80
Molle	Piquage	0,750	0,780	0,795	0,805	0,810	0,815	0,820
	Vibration	0,755	0,785	0,800	0,810	0,815	0,820	0,825
	Vibration normale	0,760	0,790	0,805	0,815	0,820	0,825	0,830
Plastique	Piquage	0,760	0,790	0,805	0,815	0,820	0,825	0,830
	Vibration faible	0,765	0,795	0,810	0,820	0,825	0,830	0,835
	Vibration normale	0,770	0,800	0,815	0,825	0,830	0,835	0,840
	Vibration puissante	0,775	0,805	0,820	0,830	0,835	0,840	0,845
Ferme	Vibration faible	0,775	0,805	0,820	0,830	0,835	0,840	0,845
	Vibration normale	0,780	0,810	0,825	0,835	0,840	0,845	0,850
	Vibration puissante	0,785	0,815	0,830	0,840	0,845	0,850	0,855
Pour sable concassé, gravier concassé, diminuer $\gamma_c = -0,03$								
Pour sable roulé, gravier concassé, diminuer $\gamma_c = -0,01$								

Le coefficient de compacité γ_c est le rapport du volume absolu des matières solides (ciment et granulats) par unité de volume de béton frais.

Le volume absolu de l'ensemble des granulats est : $V = (1000 \gamma_c) - V_c$

Le volume absolu des grains de ciment : $V_c \frac{C}{\gamma_c}$ et $\gamma_c = 3,1 \text{ g/cm}^3$

VI.2.5.3. Proportions des divers granulats :

Les proportions des différents granulats sont déterminées graphiquement, en représentant les courbes granulométriques des granulats utilisés et la courbe de référence OAB définie précédemment et les lignes de partage entre chacun des granulats en joignant le point à 95% de la courbe granulaire du premier au point de 5% de la courbe du granulat suivante.

VI.3. Formulation du béton ordinaire :**VI.3.1. Résistance visée :**

La résistance désirée pour un béton ordinaire à 28 jours est de l'ordre de : $\sigma_{28j} = 25 \text{ MPa}$.

La résistance visée est telle que : $\sigma'_{28j} = 1,15 \cdot \sigma_{28j}$, soit $\sigma'_{28j} = 1,15 \cdot 25 = 28,75 \text{ MPa}$.

VI.3.2. Dosage en ciment et eau :**VI.3.2.1. Dosage en ciment par m³ de béton :**

On à fixer la dose de ciment 400 kg/m^3 .

VI.3.2.2. Dosage en eau par m³ de béton :

Après avoir fixé la dose de ciment et le degré d'affaissement selon le cône d'Abrams (A) on peut en déduire grâce à l'abaque et en fonction d'A que le rapport C/E correspondant :

$$\left. \begin{array}{l} C = 400 \text{ kg/m}^3 \\ A = 8 \text{ cm} \end{array} \right\} \rightarrow \text{L'abaque donne le rapport de C/E : } C/E = 1,95$$

$$C/E = 1,95 \text{ et } C = 400 \text{ kg/m}^3 \rightarrow E = \frac{C}{1,95} = \frac{400}{1,95} = 205,12 \text{ kg/m}^3$$

VI.3.3. Détermination des pourcentages des granulats :**VI.3.3.1. Tracé de la courbe granulaire de référence :**

Sur le même graphe d'analyse granulométrique, Type AFNOR (pourcentage des tamis en fonction du module ou diamètre des tamis comme elle est représentée dans la figure 2), on trace une composition granulaire de référence OAB avec :

Le point O est repéré par ses coordonnées : [0,080; 0]

Le point B est repéré par ses coordonnées : [D_{max} ; 100], (D_{max} = 31,5mm : le diamètre du plus gros granulat).

Le point de brisure A aux coordonnées suivantes :

En abscisse :

D/2, si $D \leq 25\text{mm}$, et au milieu de l'intervalle [5 ; D] si $D \geq 25$.

$$D = \frac{D_{max}-5}{2} = \frac{31,5-5}{2} = 13,25 \text{ mm}$$

En ordonnée : $Y = 50 - \sqrt{D_{max}} + K_s + K + K_p$

Pour $C = 400 \text{ kg/m}^3$; vibration normale ; sable roulé on trouve : $K = 0$, on lui ajoute une correction supplémentaire K_s :

Si : $M_f \neq 2,5 \rightarrow K_s = (6 M_f - 15) = (6 \times 2,02 - 15) = -2,88$ $K_p = 0$

$Y = 50 - \sqrt{31,5} + (-2,88) + 0 + 0 = 41,50$

Ainsi, les coordonnées du point de brisure A sont : (13,25 ; 41,5).

VI.3.3.2. La ligne de partage :

La ligne de partage joint le point d'ordonnée 95% de la courbe granulométrique du plus petit granulat au point d'ordonnée 5%, de la courbe granulométrique du plus gros granulat. Le point d'intersection entre cette ligne et la courbe théorique du mélange optimum indique les proportions en pourcentage de volume absolu de sable et gravier. Ces proportions sont lues sur le pourcentage de tamisats correspondant à ce point d'intersection. Ce pourcentage indique la proportion de sable, le complément donne la proportion de gravier.

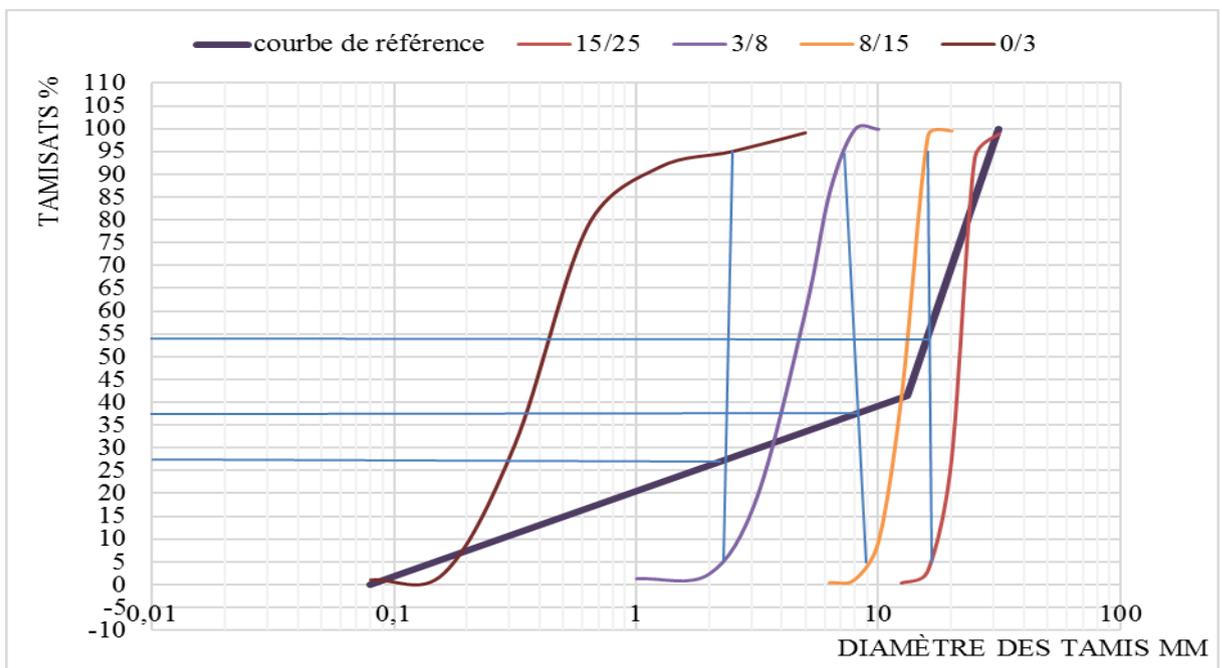


Figure VI. 2: courbe granulométrique de référence

On obtient donc un mélange optimal avec un volume absolu de 27 % de sable optimale et 73% de gravier (Gravier 3/8 : 10% + Gravier 8/15 : 17% + Gravier 15/25 : 46 %). Sur la

courbe granulométrie, les points d'intersection entre les lignes de partage et la courbe OAB donnent.

VI.3.3.3. Coefficient de compacité :

Il est défini comme le rapport des volumes absolus en litres des matières solides :

$$V_M = V_s + V_G + V_C \dots\dots\dots (V)$$

Au volume total du béton frais soit un mètre cube :

$$\gamma_c = \frac{V_m}{1000} \dots\dots\dots (VI)$$

En utilisant le tableau des valeurs du coefficient de compacité et après interpolation pour un diamètre maximum de granulats égal à 25mm.

On trouve une valeur de $\gamma_c = 0,830 - 0,01 = 0,820$.

VI.3.3.4. Dosage des granulats :

Volumes absolus des constituants solides sont :

$$\text{Le volume total absolu : } 1000 \times 0,820 = 820 \text{ L/m}^3$$

$$\text{Le volume absolu du ciment : } (400 / 3,1) = 129,03 \text{ L/m}^3$$

$$\text{Le volume absolu des granulats : } 820 - 129,03 = 690,97 \text{ L/m}^3$$

$$\text{Le volume absolu du gravier } 3/8 : V_{G1} = 690,97 \times (10 / 100) = 69,097 \text{ L/m}^3$$

$$\text{Le volume absolu du gravier } 8/15 : V_{G2} = 690,97 \times (17 / 100) = 117,46 \text{ L/m}^3$$

$$\text{Le volume absolu du gravier } 15/25 : V_{G3} = 690,97 \times (46 / 100) = 317,84 \text{ L/m}^3$$

$$\text{Le volume absolu du sable : } V_S = 690,97 \times (27 / 100) = 186,56 \text{ L/m}^3$$

Connaissons les masses volumiques absolues des granulats :

$$\text{Gravier } 3/8 = 69,09 \times 2,59 = 178,94 \text{ Kg/m}^3$$

$$\text{Gravier } 8/15 = 117,46 \times 2,58 = 303,04 \text{ Kg/m}^3$$

$$\text{Gravier } 15/25 = 317,84 \times 2,59 = 823,20 \text{ Kg/m}^3$$

$$\text{Sable } 0/3 = 186,56 \times 2,62 = 488,78 \text{ Kg/m}^3$$

Le tableau suivant présente la composition du béton pour chaque usage

Tableau VI. 7: composition du béton

	Pour 1m ³ de béton	Pour un sac de ciment (50kg)	Pour confectionner 9 éprouvettes cylindriques (15x30)
Composants	Quantité (kg/m ³)	Quantité (Kg)	Quantité (Kg)
Ciment	400	50	19,07
Sable 0/3	488.78	122,19	23,30
Gravier 3/8	178.94	44,73	8,53
Gravier 8/15	303.04	75,76	14,45
Gravier 15/25	823.20	205,8	39,25
Eau	205	51,25	9,77
Rapport E/C	0.51		

VI.4. Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons présenté la méthode de formulation de DREUX-GOURISSE et les différents paramètres qui ont une influence directe sur la formulation, nous avons constaté que cette méthode tient en compte plusieurs paramètres reliés aux composantes de béton, aux conditions de mise en œuvre et la qualité de béton désirée.

Nous avons appliqué cette méthode sur notre béton afin de déterminer le pourcentage de chaque composant.

Nous avons aussi calculé les quantités nécessaires pour préparer les éprouvettes au laboratoire qui feront l'objet de détermination des caractéristiques de béton.



***Détermination les
caractéristiques du
béton et du mortier***

Chapitre VII

VII.1. Introduction :

Après vérification des performances des matériaux utilisés dans la présente étude et l'étude de la formulation de béton qui nous permet de déterminer les pourcentages des composants, on va procéder à la préparation des mélanges expérimentales au laboratoire.

VII.2. Malaxage et confection des éprouvettes du béton :

VII.2.1. Mode opératoire de malaxage :

La préparation du mélange a été faite en respectant soigneusement les démarches suivantes :

Peser le sable, les granulats et le ciment (selon la formule déterminée dans le chapitre précédent).



Figure VII. 1: Pesage des composants du béton

Introduction le sable, le ciment, et les graviers dans le malaxeur. Le tout est ensuite malaxé pendant 60 secondes.

Introduire de l'eau puis malaxer pendant 40 secondes.

Les quantités utilisées pour les différentes formules sont calculées pour confectionner au moins 09 éprouvettes pour chaque formule.

Le tableau suivant donne les quantités utilisées pour chaque formule :

Tableau VII. 1:les constituants des formules du béton

La formule	Ciment (Kg)	Poudrette de sable de dune (Kg)	Graviers (Kg)			Sable (Kg)	Eau	Quantité des éprouvettes
			15/25	8/15	3/8			
0% PDS	19,07	00	39,25	14,45	8,53	23,30	9,77	09
5% PDS	18,11	0,95	39,25	14,45	8,53	23,30	9,77	09
7,5% PDS	17,63	1,43	39,25	14,45	8,53	23,30	9,77	09
10% PDS	17,16	1,90	39,25	14,45	8,53	23,30	9,77	09
12,5% PDS	16,68	2,38	39,25	14,45	8,53	23,30	9,77	09



Figure VII. 2:Le malaxeur de béton du laboratoire.

VII.2.2. Confection des éprouvettes :

Les moules d'éprouvettes pour les essais de compression, sont des corps d'éprouvette de forme cylindrique de dimensions normalisés ($\Phi=15$ cm, $h=30$ cm). Le remplissage des moules se fait avec délicatesse particulièrement pour les éprouvettes de compression. Les moules remplis sont par la suite vibrés par un vibreur ou sur une table vibrante pour évacuer les bulles d'air et éviter les cavités dans le béton frais (augmente la compacité du béton).



Figure VII. 3: Confection des éprouvettes du béton

VII.2.3. Conservation des éprouvettes :

Après 24 heures, les éprouvettes sont démoulées. Ils sont ensuite soumis, avant l'écrasement à une cure humide dans l'eau ou dans une chambre humide jusqu'à l'âge de l'essai.

VII.3. Essais sur le béton :

VII.3.1. Essais sur béton frais :

VII.3.1.1. Mesure de la maniabilité :

a. Définition :

C'est l'essai le plus couramment utilisé car il est très simple à mettre en œuvre. Il est utilisable tant que la dimension maximale des granulats ne dépasse pas les 40mm.

b. Principe de l'essai :

Il s'agit de constater l'affaissement d'un cône de béton sous l'effet de son poids propre. Plus cet affaissement sera grand et plus le béton sera réputé fluide.

c. Equipement nécessaire :

L'équipement utilisé couramment est appelé cône d'Abrams, L'appareille comme le montre la figure 1 se compose de 4 éléments :

Un moule tronconique sans fond de 30cm de haut, de 20cm de diamètre en sa partie inférieure et de 10cm de diamètre en sa partie supérieure ;

- Une plaque d'appui.
- Une tige de piquage.
- Un portique de mesure.

d. Conduite de l'essai :

Pour mesurer l'affaissement on introduit le béton frais dès la fin de sa confection en trois couches recevant chacune 25 coups de piquage. Araser le moule, démouler immédiatement en soulevant le moule. Après mesurer l'affaissement à partir du point le plus bas du béton. L'affaissement est mesuré par la différence de hauteur entre le moule et le niveau supérieur du béton après démoulage, le résultat obtenu (en centimètre) permet de classer les bétons.



Figure VII. 4: l'essai d'affaissement au cône d'Abrams

VII.3.2. Essais sur béton durci :

VII.3.2.1. Essais mécaniques :

a. Essai de compression– Norme NF EN 12390-3 :

➤ But de l'essai :

Le résultat que l'on recherche à obtenir avec cet essai est la détermination de la résistance à la compression (le rapport entre la force appliquée/la section de l'éprouvette).

➤ **Principe de l'essai :**

Le principe de l'essai est de soumettre une éprouvette cylindrique, cubique ou une carotte à une force croissante et constante jusqu'à rupture de celle-ci afin de déterminer sa résistance à la compression.

➤ **Calcul de résultat :**

La résistance à la compression simple du béton est donnée par la formule suivante :

$$R_c = \frac{F}{S} \dots \dots \dots (I)$$

Où : R_c : Est la résistance en compression, exprimée en mégapascals (N/mm^2).

F: Est la charge maximale, exprimée en Newtons.

S: Est l'aire de la section de l'éprouvette sur laquelle la force de compression est appliquée, exprimée en millimètres carrés.



Figure VII. 5: Essai de compression.

b. Essai de traction– Norme NF EN 12390-6 :

➤ **But de l'essai :**

Déterminer la résistance à la traction directe par fendage d'éprouvettes cylindriques de béton durci.

➤ **Principe de l'essai :**

Une éprouvette cylindrique est soumise sur toute sa génératrice à un effort de compression appliqué sur une zone étroite. Les contraintes de traction orthogonales qui en résultent provoquent la rupture de l'éprouvette par traction.

➤ **Calcul de résultat :**

La résistance du béton à la traction par fendage R_{fd} est donnée par la formule suivante, obtenue à partir de la théorie de l'élasticité :

$$R_{fd} = \frac{2N}{\pi d L} \dots\dots\dots (II)$$

R_{fd} : la résistance de traction par fendage, en **MPa** ou en **N/mm²**.

N : la charge à la rupture (**N**) ;

D : diamètre de l'éprouvette (**mm**) ;

L : longueur de l'éprouvette (**mm**).



Figure VII. 6: Essai de traction par fendage

VII.3.2.2. La masse volumique apparente :

La densité du béton à l'état solide est mesurée par le poids simple des moules cylindriques (15 x 30) cm² comme le montre la figure suivante :



Figure VII. 7: Mesure de la masse volumique des bétons à l'état durci.

La masse volumique à l'état durci (M_v) s'obtient grâce à l'expression suivante :

$$M_v \text{ (Kg/m}^3\text{)} = \frac{\text{Masse}}{\text{volume éprouvette}} \dots\dots\dots\text{(III)}$$

VII.4. Préparation des éprouvettes du mortier : norme (EN 196-1).

VII.4.1. L'objectif de l'essai :

Détermination des caractéristiques du mortier à base de ciment ou ciment + poudrette de sable de dune, notamment la résistance à la compression, la résistance à la traction et la masse volumique.

VII.4.2. Principe de l'essai :

La méthode consiste à déterminer la résistance à la compression et, facultativement, la résistance à la flexion d'éprouvettes de forme prismatique et de dimensions 40 mm 40 mm 160 mm.

Ces éprouvettes sont moulées partir d'une gâchée de mortier plastique contenant une partie en masse de ciment, trois parties en masse de sable normalisé et une demi partie d'eau (rapport eau/ciment de 0,50). Des sables normalisés provenant de différentes sources et pays peuvent très utilisés, condition qu'ils aient montre que les résultats obtenus pour la résistance du ciment ne diffèrent pas de façon significative de ceux obtenus avec le sable de référence.

Dans la procédure de référence, le mortier est préparé par malaxage mécanique et serré dans un moule au moyen d'un appareil chocs. D'autres qui permetts et procédures de serrage peuvent très utilisé comme variantes, condition qu'ils aient démontre que les résultats obtenus

pour la résistance du ciment ne diffèrent pas de façon significative de ceux obtenus avec l'appareil chocs et la procédure de référence.

Les éprouvettes sont conservées dans leur moule en atmosphère humide pendant 24 h et, après démoulage, elles sont conservées sous l'eau jusqu'au moment des essais de résistance.

A l'âge requis, les éprouvettes sont retirées de leur milieu de conservation humide, elles sont cassées en flexion, avec détermination de la résistance en flexion lorsqu'elle est exigée ou simplement cassées par d'autres moyens convenables qui ne soumettent pas les demi-prismes à des contraintes préjudiciables, puis chaque demi-prisme est soumis à l'essai de résistance à la compression.



Figure VII. 8: Pesage des composants du mortier



Figure VII. 9: Confection des éprouvettes du mortier

VII.4.3. Mise en œuvre :

Est un mortier qui sert à-Mélanger sable normalisé avec le ciment à tester et la poudrette de sable de dune dans les proportions suivantes :

- a- Nous avons faire 45 éprouvettes en mortier de ciment conservées dans l'eau.
- b- 36 éprouvettes différents dosages de poudrette de sable de dune conservées dans l'eau, pendant 7j, 14j et 28j.

Tableau VII. 2: les constituants du mortier

Matériaux	Les dosages de poudrette de sable de dune				
	0 %	5 %	7.5 %	10 %	12.5 %
Ciment	450 g	427.5 g	416.25 g	405 g	393.75 g
Sable normalisé	1345 g	1345 g	1345 g	1345 g	1345 g
Poudrette de sable de dune	00 g	22.5 g	33.75 g	45 g	56.25 g
Eau	225 g	225 g	225g	225 g	225 g

VII.5. Essai sur le mortier :

VII.5.1. Résistance à la flexion :

Utiliser la méthode de la mise en charge en trois points, au moyen d'un des types d'appareil décrits en figure suivant.

Installer le prisme dans l'appareil, en plaçant une face latérale sur les rouleaux d'appui et son axe longitudinal perpendiculairement aux appuis. Au moyen du rouleau de mise en charge, appliquer la charge verticalement sur la face latérale opposée du prisme et augmenter régulièrement la charge la vitesse de (50±10) N/s, jusqu'à la rupture.

Couvrir les demi-prismes d'un chiffon humide, jusqu'au moment des essais de résistance la compression.

Calculer la résistance la flexion, **R_f** en méga pascals, par la formule suivante :

$$R_f = \frac{1,5 \cdot F_f \cdot L}{b^3} \dots\dots\dots (IV)$$

Où :

R_f : est la résistance à la flexion, en mégapascals ;

b : est le côté de la section carrée du prisme, en millimètres ;

F_f : est la charge appliquée au milieu du prisme à la rupture, en newtons ;

L : est la distance entre les appuis, en millimètres.



Figure VII. 10: Dispositif de traction par flexion.

VII.5.2. Résistance à la compression :

Effectuer l'essai sur les deux moitiés du prisme rompu ou par d'autres moyens qui ne soumettent pas les demi-prismes des contraintes néfastes.

Essayer chaque demi-prisme en appliquant la charge sur les faces latérales, au moyen de l'équipement décrit en figure suivante.

Centrer les demi-prismes latéralement par rapport aux plateaux de la machine, 0,5 mm, et longitudinalement de façon que l'extrémité du prisme passe de 10 mm environ, par rapport aux plateaux ou aux plaques auxiliaires.

Augmenter la charge régulièrement à la vitesse de (2400 ± 200) N/s pendant toute la durée d'application de la charge, jusqu'à la rupture.

Lorsque l'accroissement de la charge est réglé manuellement, il convient de procéder avec soin au réglage de la baisse de la vitesse de mise en charge à l'approche de la charge de rupture, car ceci peut influencer de manière significative sur les résultats.

Calculer la résistance à la compression, **R_c** en mégapascals, par la formule suivante :

$$R_c = \frac{F_c}{1600} \dots\dots\dots(V)$$

Où :

R_c : est la résistance la compression, en mégapascals ;

F_c : est la charge maximale la rupture, en newtons ;

1 600 : est l'aire des plateaux ou des plaques auxiliaires (40 mm 40 mm), en millimètres carrés.



Figure VII. 11: Dispositif de compression

VII.5.3. La masse volumique durci :

La masse volumique réelle est déterminée par pesée hydrostatique sur des éprouvettes (04*16) cm. La masse volumique apparente est déterminée sur base d'un volume calculé au moyen des dimensions mesurées.

VII.6. Conclusion :

Ce chapitre définit la pièce standard à laquelle les différents mélanges de béton et de mortier doivent répondre et les modalités de leur construction.



Présentation des résultats

Chapitre VIII

VIII.1. Introduction

Dans ce chapitre, nous mettons en évidence les résultats de notre étude en général et les caractéristiques des bétons frais et durci et mortier.

VIII.2. Résultats du béton

VIII.2.1. Essais sur béton frais

VIII.2.1.1. Affaissement du béton

En béton frais l'essai d'affaissement de chaque formulation de béton L'affaissement se fait l'aide du cône d'Abrams selon la norme NF- EN 12350-2 et l'appareillage sont complètement décrits dans la norme NF P 18-451.



Figure VIII. 1: essai d'affaissement du béton

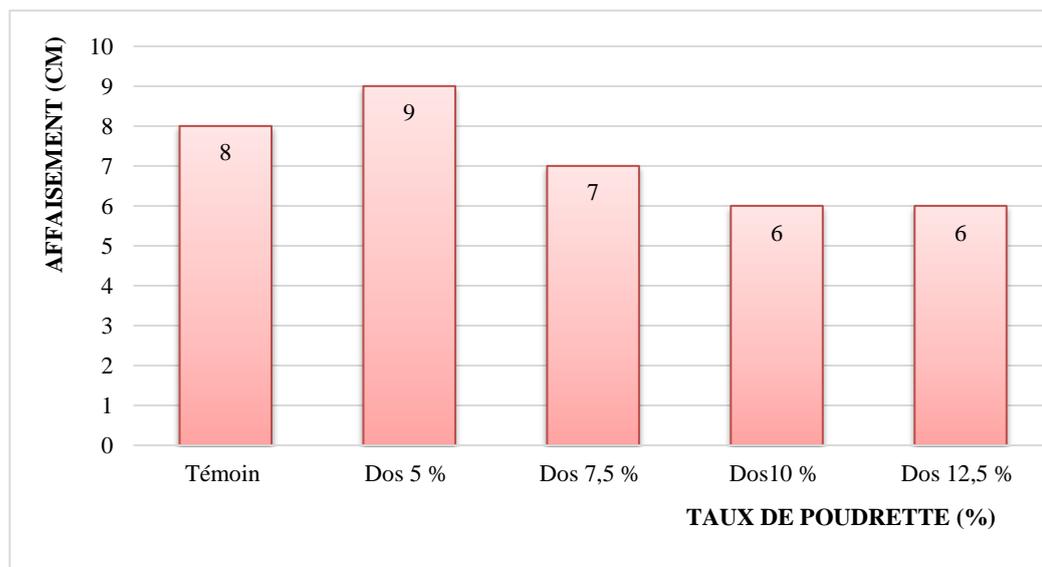


Figure VIII. 2: Variation de l'affaissement en fonction de type de béton

✂ Discussion des résultats

Dans notre étude, le degré d'affaissement est du béton plastique (Aff = 5 à 9 cm).

Nous notons que la valeur maximale était en 5% P.S.D (9 cm) et la valeur minimale en 10% et (6cm) pour 12.5 %.

Est-ce que le taux d'ajout de poudrette a une influence sur l'affaissement? est-ce que la quantité de l'eau est changé ? :

- Notons que l'affaissement du béton n'est pas beaucoup affecté par l'ajout de la poudrette de sable.
- On constate qu'il n'est pas nécessaire d'ajouter de l'eau pour garder le même niveau de plasticité du béton.

VIII.2.2. Essais sur béton durci

Des éprouvettes en béton préparés pour un laboratoire ont été testés 7, 14 et 28 jours.

VIII.2.2.1. Résistance à la compression (NF : 12390-3)

L'essai a pour but de connaître la résistance à la compression du béton de l'éprouvette étudiée est soumise à une charge croissante jusqu' à la rupture. la contrainte de rupture a la compression est le rapport entre la charge de rupture et la section transversale de l'éprouvette.

[1]



Figure VIII. 3: Essai de compression

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

$$R_c = \frac{R}{A_c} \dots \dots \dots (V. 1).$$

Où : R_c : Est la résistance en compression, exprimée en mégapascals (N/mm^2).

R: Est la charge maximale, exprimée en Newtons.

A_c : Est l'aire de la section de l'éprouvette sur laquelle la force de compression est appliquée, exprimée en millimètres carré.

Tableau VIII. 1: Les résultats d'essai de compression

Age	Béton témoin (0% d'ajout)		Béton à 5% de P.S. D		Béton à 7.5% de P.S. D		Béton à 10% de P.S. D		Béton à 12.5% de P.S.D	
	R_c [MPa]	R_c Moy [MPa]	R_c [MPa]	R_c moy [MPa]	R_c [MPa]	R_c Moy [MPa]	R_c [MPa]	R_c moy [MPa]	R_c [MPa]	R_c moy [MPa]
7 jours	35.90 28.76	32.33	29.16 32.50	30.83	26.38 28.76	27.57	36.12 34.14	35.13	29.02 30.16	29.59
14 jours	38.73 38.50	38.62	40.76 41.22	40.99	29.50 29.89	30	36.80 38.22	37.51	35 36	35.5
28 jours	40.04 40.37	40.21	38.10 41.61	39.86	32.38 31.03	31.71	41.95 44.05	43	38 36	37

➤ **Comparaison des résultats**

1) Résistance à 7jours :

Tableau VIII. 2: résultat de R_c de béton a 7Jours

	Témoins	5%	7.5%	10%	12.5%
RC	32.33	30.83	27.57	35.13	29.59
% d'évolution				8.66	
% de régression		4.63	14.72		8.47

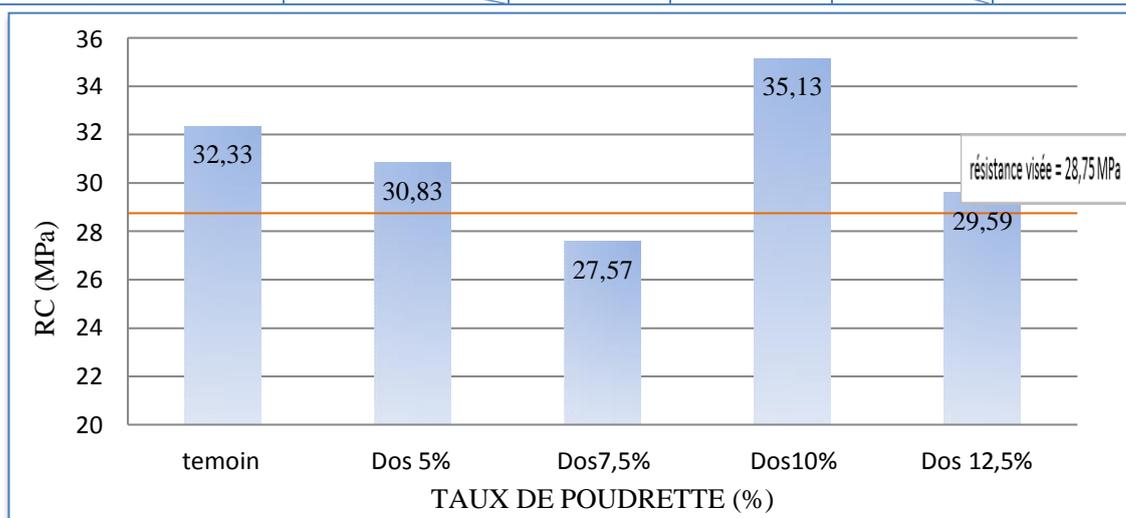


Figure VIII. 4 : Histogramme montrant l'évolution de R_c a 7 jours en fonction du taux de poudre

- Toutes les résistances à la compression obtenues à 7 jours dépassent 25 MPa, dénotant ainsi un béton de bonne résistance.
- La valeur maximale de Rc a été obtenue à 10% de poudrette de sable de dune.
- La valeur minimale de Rc a été obtenue à 7.5% de poudrette de sable de dune.
- On constate que l'évolution de la résistance en fonction du taux de poudrette est aléatoire, mais que l'évolution de la résistance par rapport au béton témoin n'a pas dépassé 9%, pourtant la régression dépasse 14%.
- On remarque que la meilleure résistance après ajout de poudrette a été obtenue pour le pourcentage 10%.

2) Résistance à 14 jours :

Tableau VIII. 3: résultat de Rc de béton a 14 Jours

	Témoins	5%	7.5%	10%	12.5%
RC	38.62	40.99	30	37.51	35.5
% d'évolution		6.13			
% de régression			22.32	2.87	8.07

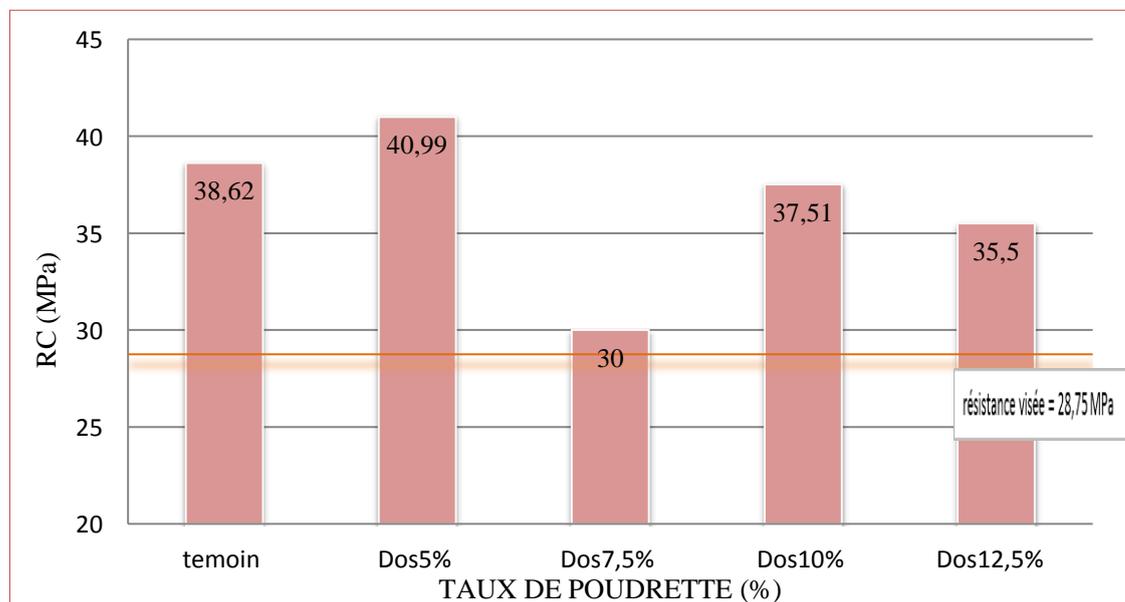


Figure VIII. 5 : Histogramme montrant l'évolution de Rc a 14 jours en fonction du taux de poudrette

- Toutes les résistances à la compression obtenues à 14 jours dépassent les 30 MPa, dénotant ainsi des bétons de bonnes résistances.

- La valeur maximale de Rc a été obtenue à 5% de poudrette de sable de dune.
- La valeur minimale de Rc a été obtenue à 7.5% de poudrette de sable de dune.
- On constate que l'évolution de la résistance en fonction du taux de poudrette est aléatoire, mais que l'évolution de la résistance par rapport au béton témoin n'a pas dépassé 7%, pourtant la régression dépasse 22%.
- On remarque que la meilleure résistance après ajout de poudrette a été obtenue pour le pourcentage 5%

3) Résistance à 28jours :

Tableau VIII. 4: résultat de Rc de béton a 28 Jours

	Témoins	5%	7.5%	10%	12.5%
RC	40.21	39.86	31.71	43	37
% d'évolution				6.93	
% de régression		0.87	21.13		7.98

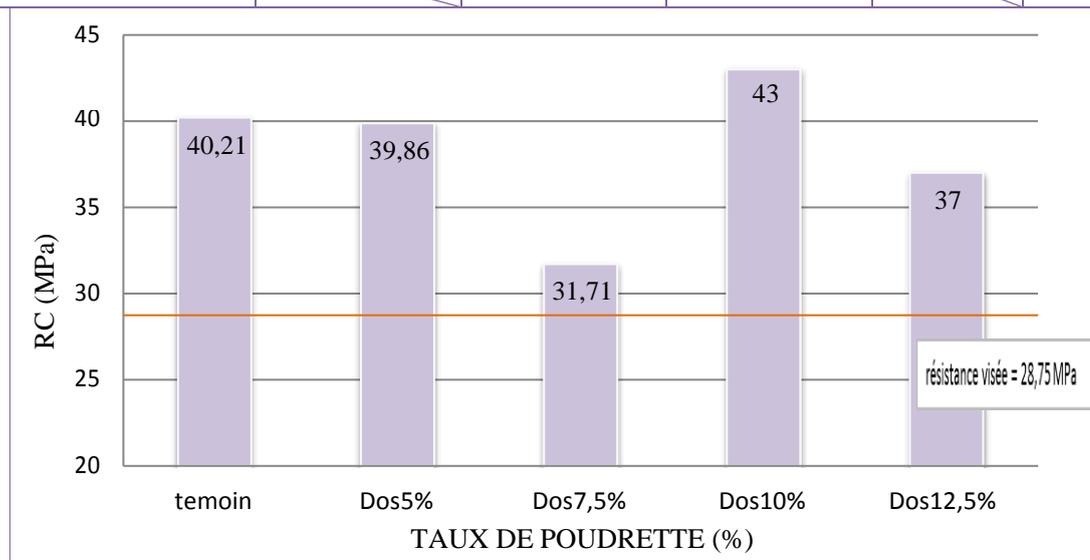


Figure VIII. 6: Histogramme montrant l'évolution de Rc a 28 jours en fonction du taux de poudrette

- Toutes les résistances à la compression obtenues à 28 jours dépassent les 30 MPa dénotant ainsi des bétons de bonnes résistances pour un dosage de 400 kg/m³.
- La valeur maximale de Rc a été obtenue à 10% de poudrette de sable de dune.
- La valeur minimale de Rc a été obtenue à 7.5% de poudrette de sable de dune.

- On constate que l'évolution de la résistance en fonction du taux de poudrette est aléatoire, mais que l'évolution de la résistance par rapport au béton témoin n'a pas dépassé 7%, pourtant la régression dépasse 21%.
- On remarque qu'la meilleure résistance après ajout de poudrette a été obtenue pour le pourcentage 10%.

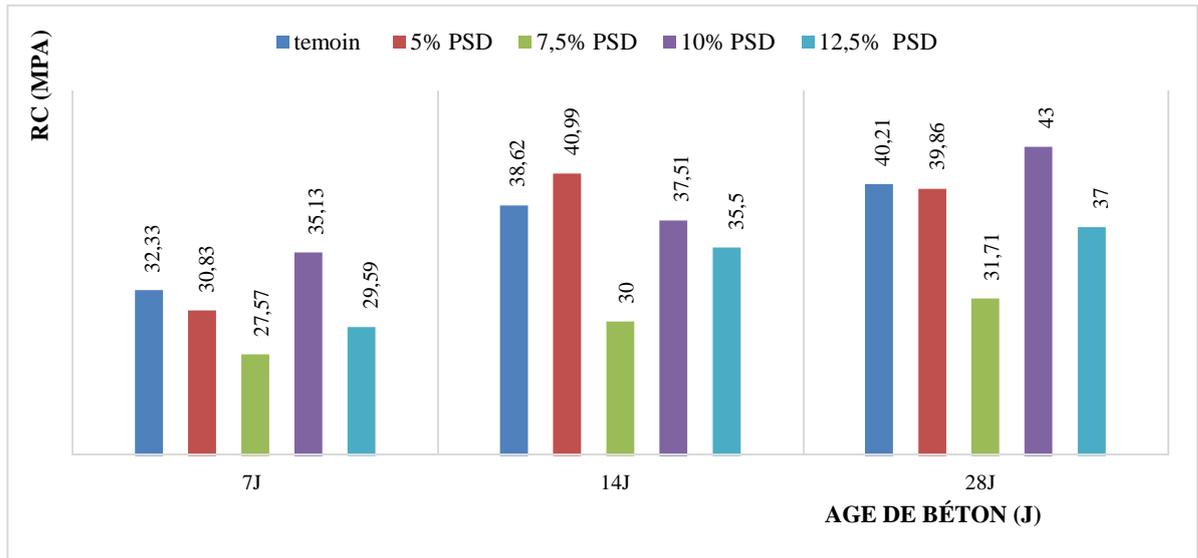


Figure VIII. 7: Résistance à la compression des bétons formulés (méthode de Dreux-Gorisse) avec Différent pourcentage de P.S.D en fonction d'âge

Discussions de résultats

- La figure VIII-7 illustre le développement de la résistance de bétons confectionnés avec un dosage unique avec des différents pourcentages de poudrette sable de dune.
- La meilleure résistance à 7 jours a été obtenue pour le béton à 10% de poudrette sable de dune.
- La meilleure résistance à 14 jours a été obtenue pour le béton à 5% de poudrette sable de dune.
- La meilleure résistance à 28 jours a été obtenue pour le béton à 10% de poudrette sable de dune.

VIII.2.2.2. Résistance à la traction (NF : 12390-6)

Un essai de fendage est réalisé sur trois éprouvettes cylindriques. Cet essai permet de déterminer expérimentalement la résistance en traction du béton.

La résistance en traction par fendage est donnée par l'équation suivante :

$$R_t = \frac{2 \times R}{\pi \times L \times D} \dots \dots \dots (V.2)$$

Où :

R_t : Est la résistance en traction par fendage, exprimée en mégapascals (N/mm²).

R : Est la charge maximale, exprimée en Newtons.

L : Est la longueur de la ligne de contact de l'éprouvette, en millimètres.

d : Est le diamètre nominal de l'éprouvette en millimètres.

Tableau VIII. 5: Les résultats d'essai de traction

Age	Béton témoin (0% d'ajout)		Béton à 5% de P.S. D		Béton à 7.5% de P.S. D		Béton à 10% de P.S. D		Béton à 12.5% de P.S.D	
	Rc [MPa]	Rc Moy [MPa]	Rc [MPa]	Rc moy [MPa]	Rc [MPa]	Rc Moy [MPa]	Rc [MPa]	Rc moy [MPa]	Rc [MPa]	Rc moy [MPa]
14 jours	6.54	6.54	5.94	5.94	4.04	4.04	5.61	5.61	2.57	2.57
28 jours	7.45 8.07	7.76	6.23 7.67	6.95	6.51 5.61	6.06	6.71	6.71	2.42	2.42

➤ **Comparaison des résistances :**

1) Résistance à 14jours :

Tableau VIII. 6: résultat de R_t de béton a 14 Jours

	Témoins	5%	7.5%	10%	12.5%
R _t	6,54	5,94	4,04	5,61	2.57
% d'évolution					
% de régression		9.17	38.22	14.22	60.70

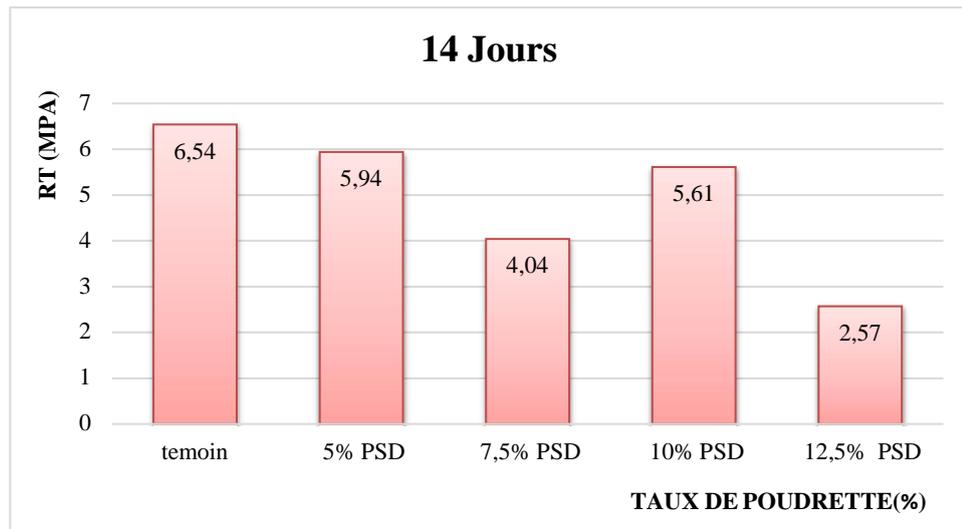


Figure VIII.8: Histogramme montrant l'évolution de Rt a 14 jours en fonction du taux de poudrette.

- Toutes les résistances à la traction obtenues à 14 jours dépassent les 2 MPa dénotant ainsi des bétons de bonnes résistances.
- La valeur maximale de Rt a été obtenue à béton témoins (0% de poudrette de sable de dune).
- La valeur minimale de Rt a été obtenue à 12.5% de poudrette de sable de dune.
- On constate que l'évolution de la résistance en fonction du taux de poudrette est aléatoire, mais que l'évolution de la résistance par rapport au béton témoin n'a pas dépassé 0%, pourtant la régression dépasse 60%.
- notons que la meilleure résistance après ajout de poudrette a été obtenue pour le pourcentage 0% (Béton témoin)

2) Résistance à 28jours :

Tableau VIII. 7: résultat de Rt de béton a 28 Jours

	Témoins	5%	7.5%	10%	12.5%
Rt	7,76	6,95	6,06	6,71	2.42
% d'évolution					
% de régression		10.43	21.90	13.53	68.81

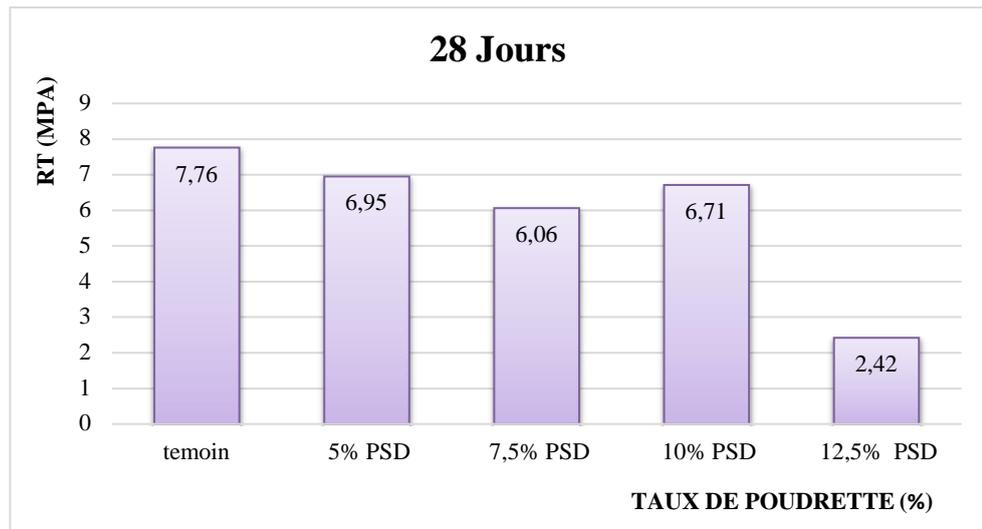


Figure VIII. 9: Histogramme montrant l'évolution de Rt a 28 jours en fonction du taux de poudrette

- Toutes les résistances à la traction obtenues à 28 jours dépassent les 2 MPa dénotant ainsi des bétons de bonnes résistances.
- La valeur maximale de Rt a été obtenue à béton témoins (0% de poudrette de sable de dune).
- La valeur minimale de Rt a été obtenue à 12.5% de poudrette de sable de dune.
- On constate que l'évolution de la résistance en fonction du taux de poudrette est aléatoire, mais que l'évolution de la résistance par rapport au béton témoin n'a pas dépassé 0%, pourtant la régression dépasse 68%.
- On remarque qu' la meilleure résistance après ajout de poudrette a été obtenue pour le pourcentage 0% (Béton témoin)

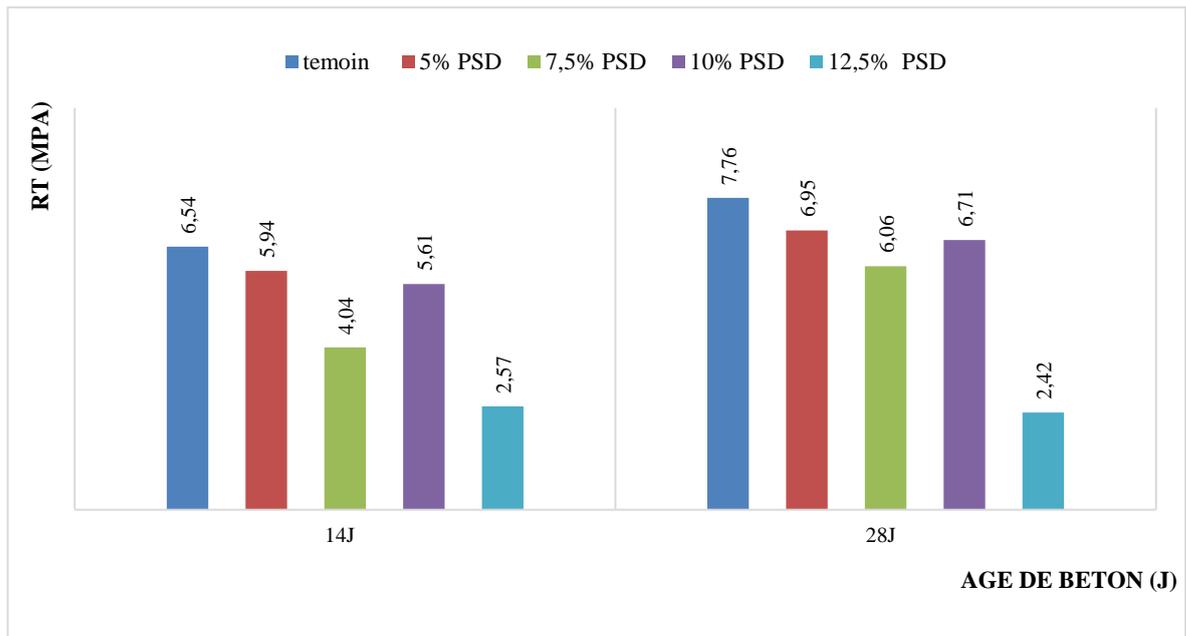


Figure VIII. 10 : Résistance à la traction des bétons formulés (méthode de Dreux-Gorisse) avec Différent pourcentage de P.S.D en fonction d'âge

Discussions de résultats

- Le développement de la résistance de bétons confectionnés avec un dosage unique avec des différents pourcentages de poudrette sable de dune.
- La meilleure résistance à 14 jours a été obtenue pour le béton témoin.
- La meilleure résistance à 28 jours a été obtenue pour le béton témoin.

VIII.2.2.3. La masse volumique de béton (la densité) :

Tableau VIII. 8: résultats de la masse volumique de béton

Jours	Formulations (t/ m ³)				
	Témoin (0% d'ajout)	5 % P.S.D	7.5 % P.S.D	10 % P.S.D	12.5 % P.S.D
28 j	2.322	2.301	2.293	2.310	2.315

➤ Comparaison de la masse volumique :

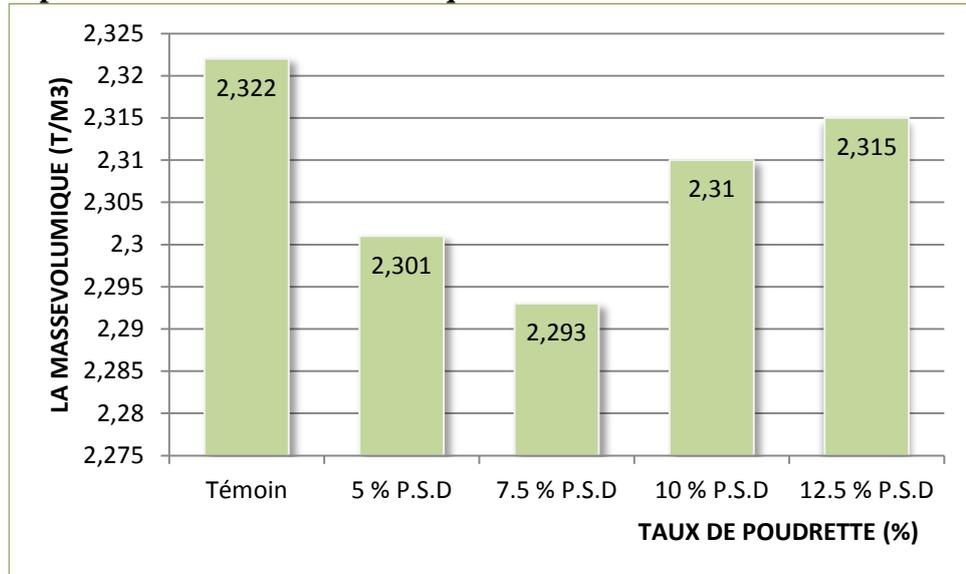


Figure VIII. 11: la masse volumique du béton avec différent pourcentage de P.S.D en fonction d'âge

✍ Discussions de résultats

- La meilleure masse volumique à 28 jours a été obtenue pour le béton témoin.

VIII.3. Résultats du mortier

VIII.3.1. Essais sur mortier

Mesure des résistances à la compression et à la traction (EN 196-1)

L'essai consiste à étudier les résistances à la traction et à la compression d'éprouvettes de mortier normal. Dans un tel mortier la seule variable est la nature du liant hydraulique ; la résistance du mortier est alors considérée comme significative de la résistance du liant utilisé[11]

VIII.3.1.1. Résistance à la compression

Calculer la résistance à la compression, **R_c** en mégapascals, par la formule suivante :

$$R_c = \frac{F_c}{b^2} \dots \dots \dots (V.3)$$

Où :

R_c : est la résistance la compression, en mégapascals ;

F_c : est la charge maximale la rupture, en newtons ;

b^2 : est l'aire des plateaux ou des plaques auxiliaires (40 ×40), en millimètres carrés.

Tableau VIII. 9: Résultats de résistances à la compression

	Mortier témoin (0% d'ajout)	Mortier à 5% de P.S. D	Mortier à 7.5% de P.S. D	Mortier à 10% de P.S. D	Mortier à 12.5% de P.S.D
Age	Rc moy [MPa]	Rc moy [MPa]	Rc moy [MPa]	Rc moy [MPa]	Rc moy [MPa]
7 jours	31.57	33.65	34.48	28.18	26.46
14 jours	41.98	38.34	34.59	25	30
28 jours	44.28	44.90	37.19	41.16	39.38

Comparaison des résistances :

1) Résistance à 7 jours :

Tableau VIII. 10: résultats de Rc de mortier a 7 Jours

	Témoins	5%	7.5%	10%	12.5%
RC	31.57	33.65	34.48	28.18	26.46
% d'évolution		6.58	9.21		
% de régression				10.73	16.18

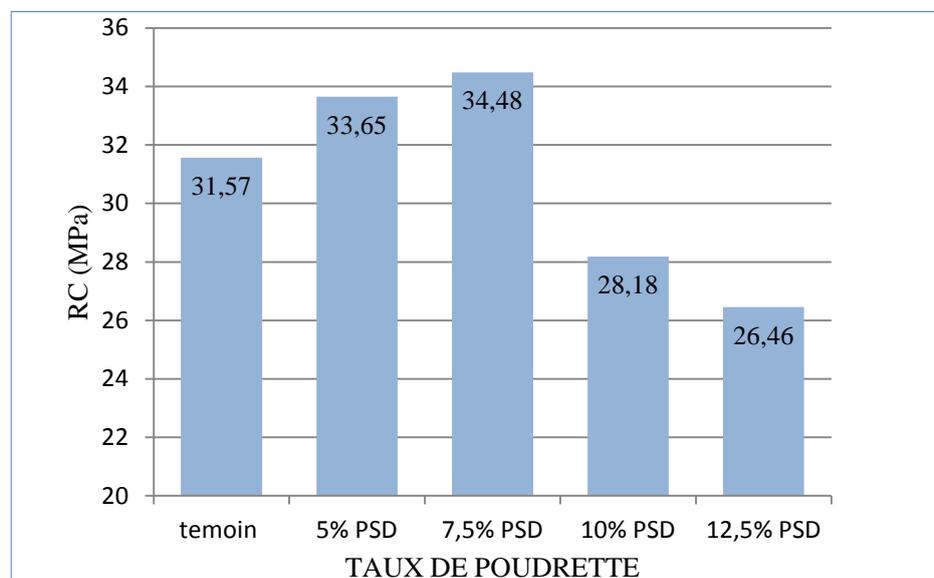


Figure VIII.12: Histogramme montrant l'évolution de Rc a 7 jours en fonction du taux de poudrette

- Toutes les résistances à la compression obtenues à 7 jours dépassent les 26 MPa dénotant ainsi des mortiers de bonnes résistances.
- La valeur maximale de Rc a été obtenue à 7.5% de poudrette de sable de dune.
- La valeur minimale de Rc a été obtenue à 12.5% de poudrette de sable de dune.
- On constate que l'évolution de la résistance en fonction du taux de poudrette est aléatoire, mais que l'évolution de la résistance par rapport au béton témoin n'a pas dépassé 10%, pourtant la régression dépasse 16%.
- On remarque qu'la meilleure résistance après ajout de poudrette a été obtenue pour le pourcentage 7.5%

2) Résistance à 14jours :

Tableau VIII. 11: résultats de Rc de mortier au 14 Jours

	Témoins	5%	7.5%	10%	12.5%
RC	41.98	38.34	34.59	25	30
% d'évolution					
% de régression		8.67	17.60	40.44	28.53

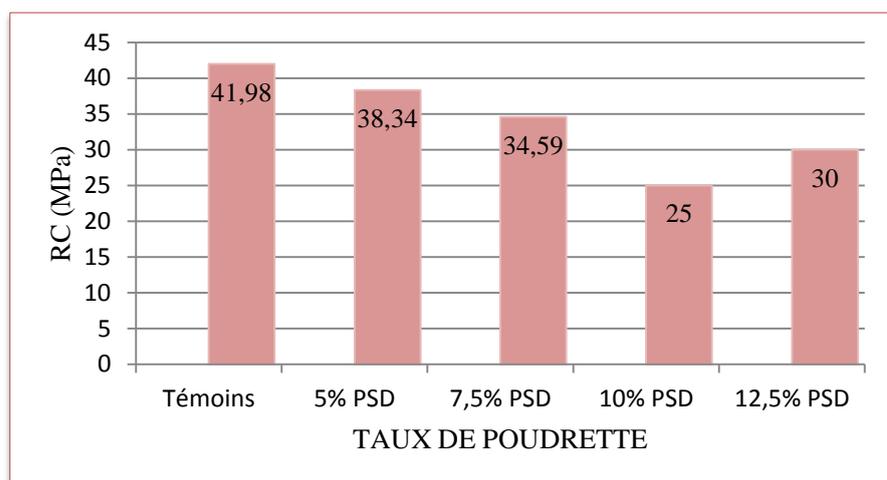


Figure VIII. 13: Histogramme montrant l'évolution de Rc a 14 jours en fonction du taux de poudrette

- Toutes les résistances à la compression obtenues à 14 jours dépassent les 25 MPa dénotant ainsi des mortiers de bonnes résistances.
- La valeur maximale de Rc a été obtenue à béton témoin.
- La valeur minimale de Rc a été obtenue à 10% de poudrette de sable de dune.
- On constate que l'évolution de la résistance en fonction du taux de poudrette est aléatoire, mais que l'évolution de la résistance par rapport au béton témoin n'a pas dépassé 0%, pourtant la régression dépasse 40%.
- On remarque qu'la meilleure résistance après ajout de poudrette a été obtenue pour le pourcentage 0% d'ajout (témoin)

3) Résistance à 28jours :

Tableau VIII. 12: résultats de Rc de mortier à 28 Jours

	Témoins	5%	7.5%	10%	12.5%
RC	44.28	44.90	37.19	41.16	39.38
% d'évolution		1.40			
% de régression			16.01	7.04	11.06

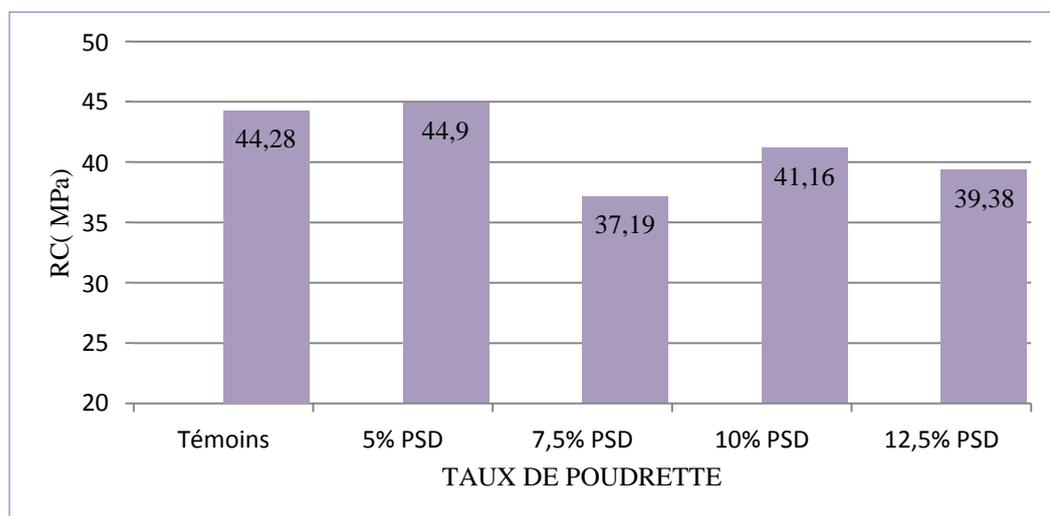


Figure VIII. 14: histogramme montrant l'évolution de Rc a 28 jours en fonction du taux de poudrette

- Toutes les résistances à la compression obtenues à 28 jours dépassent les 36 MPa dénotant ainsi des mortiers de bonnes résistances
- La valeur maximale de Rc a été obtenue à 5% de poudrette de sable de dune.

- La valeur minimale de Rc a été obtenue à 7.5% de poudrette de sable de dune.
- Notons que l'évolution de la résistance en fonction du taux de poudrette est aléatoire, mais que l'évolution de la résistance par rapport au béton témoin n'a pas dépassé 2%, pourtant la régression dépasse 16%.
- On constate qu'la meilleure résistance après ajout de poudrette a été obtenue pour le pourcentage 5%

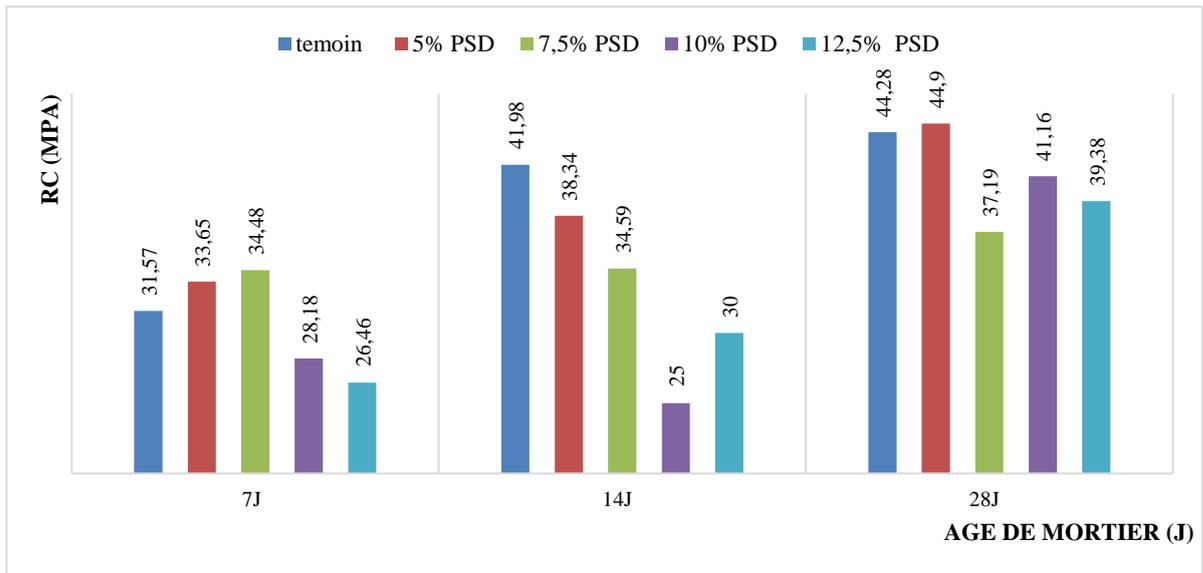


Figure VIII. 15: Résistance à la compression du mortier avec différent pourcentage de P.S.D en fonction d'âge

Discussions de résultats

- La meilleure résistance à 7 jours a été obtenue pour le béton à 7.5% de poudrette sable de dune
- La meilleure résistance à 14 jours a été obtenue pour le béton à 0% de poudrette sable de dune (témoin)
- La meilleure résistance à 28 jours a été obtenue pour le béton à 5% de poudrette sable de dune

VIII.3.1.2. Résistance à la traction (flexion)

Calculer la résistance la traction, Rt en méga pascals, par la formule suivante :

$$R_t = 1.5 \times F_f \times L/b^3 \dots\dots\dots(VV. 4)$$

Où :

Rt : est la résistance la flexion, en méga pascals ;

b : est le c t de la section carrée du prisme, en millimètres ;

Ff : est la charge appliquée au milieu du prisme la rupture, en newtons ;

L : est la distance entre les appuis, en millimètres.

Tableau VIII. 13: Résultats de résistances à la traction

	Mortier témoin (0% d'ajout)	Mortier à 5% de P.S. D	Mortier à 7.5%de P.S. D	Mortier à 10% de P.S. D	Mortier à 12.5% de P.S.D
Age	Rc moy [MPa]	Rc moy [MPa]	Rc moy [MPa]	Rc moy[MPa]	Rc moy[MPa]
7 jours	13.63	12.55	12.5	12.5	10.05
14 jours	10.7	9.98	9.19	11.35	10.95
28 jours	13.90	10.95	9.85	12.1	7.40

➤ **Comparaison des résistances :**

1) Résistance à 7jours :

Tableau VIII. 14: résultats de Rt de mortier a 7Jours

	Témoins	5%	7.5%	10%	12.5%
7J	13.63	12.55	12.5	12.5	10.05
% d'évolution					
% de régression		7.92	8.29	8.29	26.26

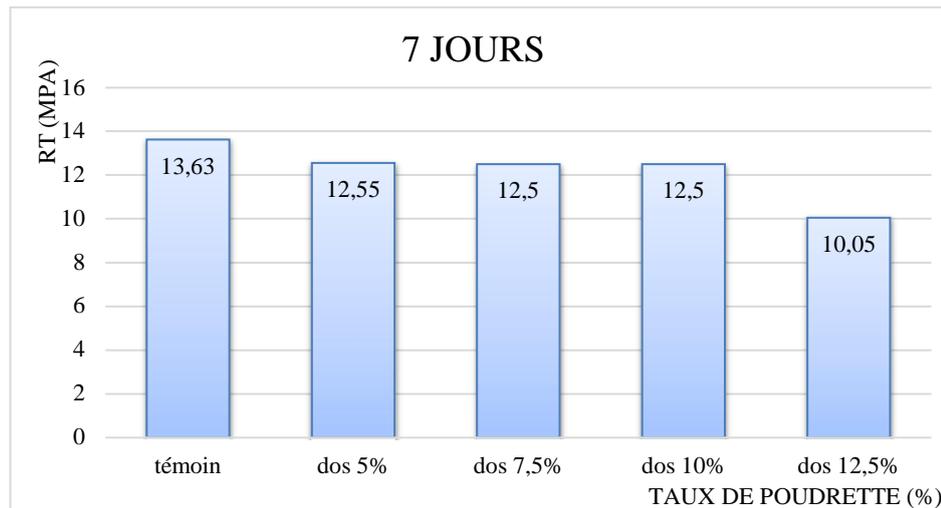


Figure VIII. 16 : histogramme montrant l'évolution de Rt a 7 jours en fonction du taux de poudrette

- Toutes les résistances à la traction obtenues à 7 jours dépassent les 10 MPa dénotant ainsi des mortiers de bonnes résistances.
- La valeur maximale de Rt a été obtenue à mortier témoin.
- La valeur minimale de Rt a été obtenue à 12.5% de poudrette de sable de dune.
- On constate que l'évolution de la résistance en fonction du taux de poudrette est aléatoire, mais que l'évolution de la résistance par rapport au béton témoin n'a pas dépassé 0%, pourtant la régression dépasse 26%.
- On constate qu'la meilleure résistance après ajout de poudrette a été obtenue pour le pourcentage 0% mortier témoin

2) Résistance à 14jours :

Tableau VIII. 15: résultats de Rt de mortier a 14Jours

	Témoins	5%	7.5%	10%	12.5%
14J	10.7	9.98	9.19	11.35	10.95
% d'évolution				6.07	2.33
% de régression		6.72	14.11		

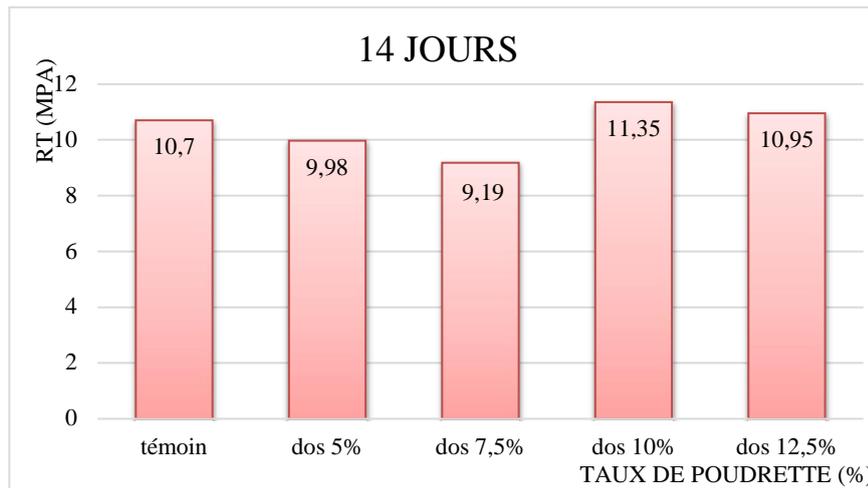


Figure VIII. 17 : Histogramme montrant l'évolution de Rt a 14 jours en fonction du taux de poudrette

- Toutes les résistances à la traction obtenues à 14 jours dépassent les 9 MPa dénotant ainsi des mortiers de bonnes résistances.
- La valeur maximale de Rt a été obtenue à 10% de poudrette de sable de dune.
- La valeur minimale de Rt a été obtenue à 7.5% de poudrette de sable de dune.
- On constate que l'évolution de la résistance en fonction du taux de poudrette est aléatoire, mais que l'évolution de la résistance par rapport au béton témoin n'a pas dépassé 7%, pourtant la régression dépasse 14%.
- On remarque qu'la meilleure résistance après ajout de poudrette a été obtenue pour le pourcentage 10%

3) Résistance à 28jours :

Tableau VIII. 16: résultat de Rt de mortier a 28Jours

	Témoins	5%	7.5%	10%	12.5%
28J	13.90	10.95	9.85	12.1	7.40
%d'évolution					
%de régression		21.22	29.13	12.94	46.76

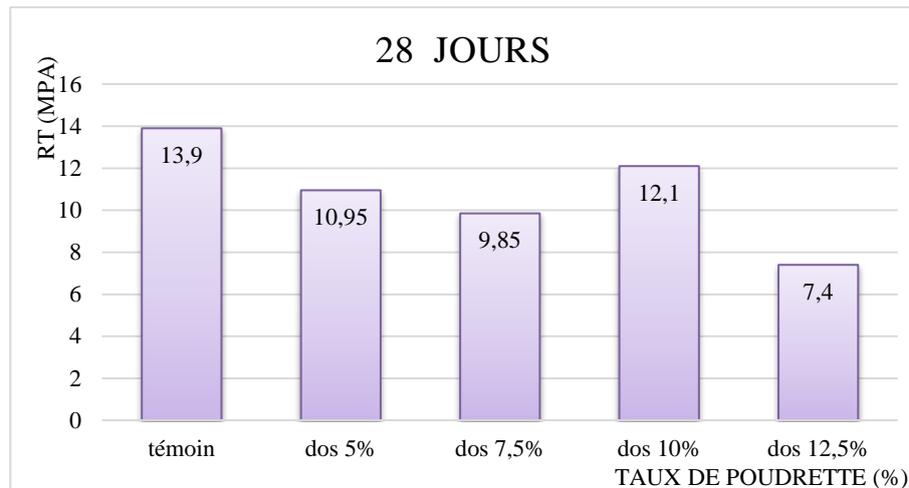


Figure VIII. 18: Histogramme montrant l'évolution de R_t à 28 jours en fonction du taux de poudrette

- Toutes les résistances à la traction obtenues à 28 jours dépassent les 7 MPa dénotant ainsi des mortiers de bonnes résistances.
- La valeur maximale de R_t a été obtenue à mortier témoin.
- La valeur minimale de R_t a été obtenue à 12.5% de poudrette de sable de dune.
- On remarque que l'évolution de la résistance en fonction du taux de poudrette est aléatoire, mais l'évolution de la résistance par rapport au mortier témoin n'a pas dépassé pas 0%, et la régression a dépassée 46%
- On remarque qu'la meilleure résistance après ajout de poudrette a été obtenue pour le pourcentage 0% mortier témoin

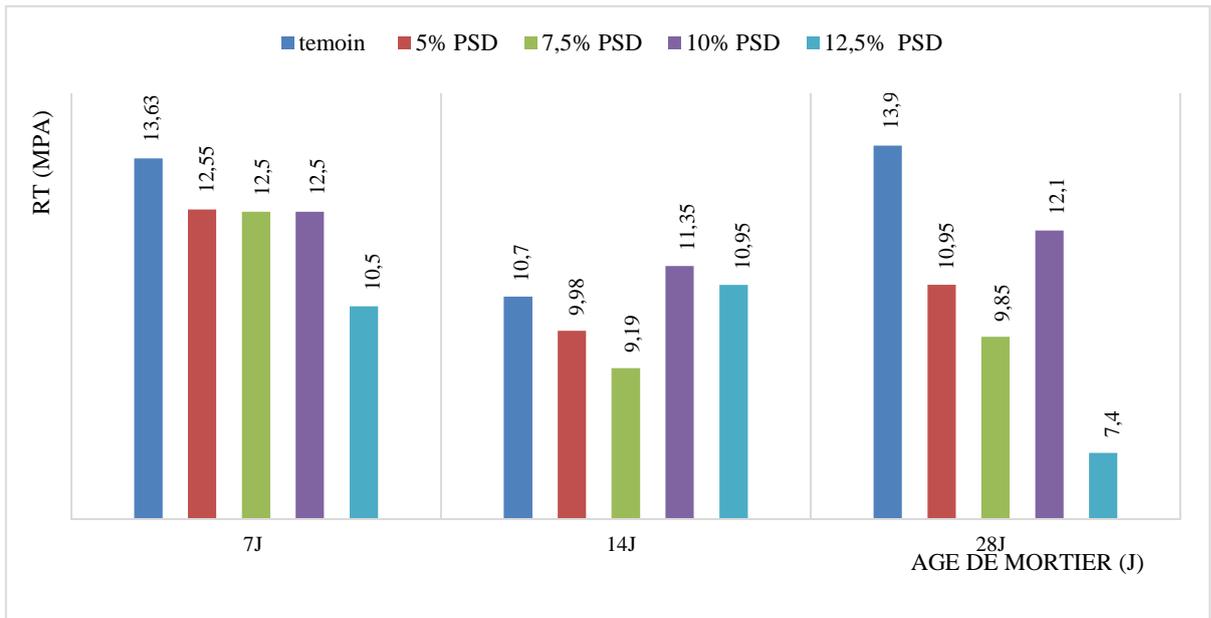


Figure VIII. 19 : Résistance à flexion du mortier avec Différent pourcentage de P.S.D en fonction d'âge

✍ Discussions de résultats

- La meilleure résistance à 7 jours a été obtenue pour le béton à 0% de poudrette sable de dune (témoin)
- La meilleure résistance à 14 jours a été obtenue pour le béton à 10% de poudrette sable de dune
- La meilleure résistance à 28 jours a été obtenue pour le béton à 0% de poudrette sable de dune (témoin)

VIII.3.1.3. La masse volumique de mortier (la densité) :

Tableau VIII. 17 : résultats de la masse volumique de mortier

Jours	Formulations (t/m ³)				
	Témoin (0% d'ajout)	5 % P.S.D	7.5 % P.S.D	10 % P.S.D	12.5 % P.S.D
28 j	2.289	2.311	2.296	2.290	2.311

➤ Comparaison de la masse volumique :

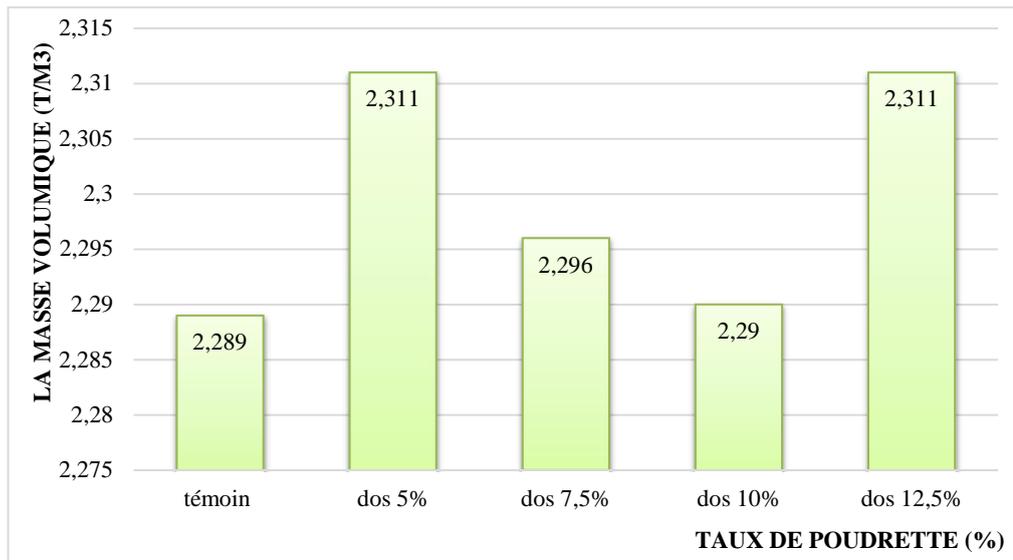


Figure VIII. 20: la masse volumique du mortier avec différent pourcentage de P.S.D en fonction d'âge

Discussions de résultats

- 4) La meilleure masse volumique à 28 jours a été obtenue pour le mortier à 5% PSD et 12.5% PSD.

VIII.4. Conclusion

Après avoir analysé et comparé des résultats de béton et mortier, nous voyons que la résistance est acceptable en 28 jours.

Effet d'ajout de poudrette de sable de dune c'était évident sur l'affaissement Mais sans augmenter l'eau, l'affaissement requis était en béton plastique (Aff = 5 à 9 cm).

La conclusion qu'on peut tirer de ces résultats c'est la prépondérance de la qualité du béton témoin à la résistance de la traction et béton a 10 % à la résistance de la compression.

Finalement, on peut dire que cette étude a mise en évidence qu'il est désormais possible d'obtenir un béton normal à pourcentage de poudrette de sable de dune, Avec quelques ajouts et améliorations mineurs pour augmenter sa résistance à la traction.



Conclusion Générale

Conclusion Générale

Cette étude a mis en évidence généralement que l'utilisation de la poudrette de sable de dune (qui existé significativement dans notre région) en remplacement partiel du ciment dans la production d'un béton hydraulique et le mortier.

Nous avons étudié le comportement mécanique et physique des bétons et des mortiers à base de ciment pur et après une substitution partielle de ciment par une poudrette de sable de dune, l'étude basée sur une approche expérimentale a permis des tirer les conclusions suivantes :

- ✚ Engendrait des différences mineures à l'état frais. L'utilisation de la poudrette de sable dans le béton n'a pas d'effet négatif sur l'ouvrabilité du béton, par contre, cela permettait d'avoir avec la même quantité d'eau des affaissements plus élevées par rapport au cas de ciment brut. Ainsi, la classe de consistance des différents bétons est plastique (l'affaissement varie de 5 à 9 cm).
- ✚ La contribution de la poudrette a amélioré la résistance en compression et en traction de béton, elle est un effet significatif proportionnellement à l'augmentation du taux de substitution, jusqu'au 12.5% du ciment.
- ✚ L'influence de la poudrette de sable de dune sur la résistance des mortiers est assez satisfaisante.
- ✚ Pour la masse volumique du béton l'utilisation de la poudrette de sable de dune n'a pas rapportée un plus, les résultats étaient presque les mêmes .

En conclusion on peut dire que l'utilisation de de la poudrette de sable de dune est une solution économique et écologique qui nous permet de réduire la consommation de ciment et par conséquent réduire le cout de béton, ceci nous donne une opportunité pour la valorisation des sables de dune très disponible dans notre pays notamment.

Nous espérons que à travers cette étude nous avons contribué à une vraie valorisation de ce matériau très intéressant qui est le sable de dune qui peut être une richesse qui permet la création de l'emploi pour les jeunes et la richesse pour le pays.

Conclusion Générale

La recherche dans ce domaine dans notre pays reste encore modeste et nécessite une bonne prise en charge par les universités et centres de recherche surtout dans le sud Algérien.

En perspective nous proposons

- ✚ Étude l'effet de la poudrette de sable de dune sur la durabilité des bétons
- ✚ Étudier plusieurs types de sable de différentes régions et découvrir la différence entre eux
- ✚ Étude l'effet de la poudrette de sable de dune a la résistance de mortier dans les milieux agressifs ;
- ✚ Étude de possibilité d'utiliser la poudrette de sable avec d'autres ajout pour formuler des bétons à hautes performances et très hautes performances (BHP et BTHP).

Références Bibliographiques

- [1] DUPAIN R., LANCHON R., SAINT-ARROMAN J.C. (2000) ; Granulats, sols, ciments et bétons, 4^eédition actualisée, Paris.
- [2] CIMBÉTON, Les bétons : formulation, fabrication et mise en œuvre - CT G11Fiches Techniques (Tome 2) Janvier 2013
- [3] J. M. Sganzin, Programme ou résumé des leçons d'un cours de constructions : avec des applications tirées spécialement de l'art de l'Ingénieur des ponts et chaussées.
- [4] R. Vittone, Bâtir : manuel de la construction, PPUR Presses polytechniques, 2010.
- [5] G. e. F. Dreux, Nouveau guide du béton et de ses constituants., EYROLLES, Huitième édition 1998 Troisième tirage 2007
- [6] Jean-Paul Ray et Jean- Luk Blin – Lacroix 2011. Le dictionnaire professionnel du BTP
- [7] CIM béton, 2000. Construire avec les bétons, Ed du moniteur
- [8] CIM béton, 2000.Le ciment et ses applications, Fiches techniques.
- [9] Richard et Cheyrezy.M 1995.Les bétons de poudres réactives, Annales ITBTP. Série béton 320
- [10] Dupain, Lanchon.R et Saint-Arromain.J.C, 1995.Granulats, sols, ciments et bétons, Ed Educactivre, 276p Paris.
- [11] S-Laldji, Cours-ETS : Caractéristiques fondamentales du béton, hiver 2015
- [12] Site documentaire du Lerm : <http://doc.lerm.fr/retour-durabilite/> , page consultée le:11/01/2020
- [13] L. DVORKIN AND O.DVORKIN. Basics of concrete science. St-Petersburg (Russia), Stroi-Beton, 2006, p22.
- [14] NASR – EDDINE KEDJOUR. le laboratoire du béton. Office des publications universitaires 1 Place centrale de ben – Aknoun (Alger), 2005, p12.
- [15] HOLCIM, Guide pratique du béton : Concevoir et mettre en œuvre des bétons durables, Edition Suisse, 2015.
- [16] Sidi Mohammed El Amine BOUKLI HACENE, contribution à l'étude de la résistance caractéristique des bétons de la région de Tlemcen. Thèse doctorat, tlemcen, 2009,p20-21.

Références Bibliographiques

- [17] SATHEESH GOPI, Basic civil engineering, India Pvt.Ltd,2010.
- [18] www.construction-maison.ooreka.fr, « les-différents-types-de-sable » à Paris, 2007-2020.
- [19] www.infociments.fr « caractéristiques-et-types-de-granulats » ,Février 2018.
- [20] ADAM.NEVILLE ,propriétés des betons .traduit par le CRIB, édition Eyrolles. , paris ,septembre 2000.
- [21] www.alarabiya.net « الرمل-مورد-طبيعي-غير-متجدد-ومهدد-بالنضوب » ,06/09/2018.
- [22] plateforme d'information: <https://www.infociments.fr/betons/adjuvantssolutions> béton , Construction Moderne / Annuel Ouvrages d'art 2014
- [23] YAMMINE JOUMANA., rhéologie des bétons fluides à hautes performances relations entre formulations, propriétés rhéologiques, physico-chimie et propriétés mécaniques, thèse de doctorat, l'Ecole Normale Supérieure de Cachan, 262 p, 2007.
- [24] Bezzi Tiziri, Souidi Fatiha, Chelouah Nacer, Influence de l'ajout d'une argile locale, cuite et broyée, sur la résistance à la compression et le retrait d'un béton auto plaçant, Université Abderrahmane MIRA, Bejaïa, Algérie.
- [25] F. Souidi, N. Chelouah, A. Noumowé, A. Kaci, Communication. Exploitation d'argile dans la fabrication de mortiers écologiques, matériaux 2010-18-22, NANTES, France, octobre 2010.
- [26] MAHER EL BARRAK, thèse de doctorat contribution à l'étude de l'aptitude à l'écoulement des bétons autoplaçants à l'état frais, thèse de doctorat, Université de Toulouse, 12juillet 2005.
- [27] Mhamed Adjoudj. Effet des additions minérales et organiques sur le comportement rhéologique du béton. Mécanique des matériaux [physics.class-ph]. Université de Cergy Pontoise ; Université Hassiba Benbouali de Chlef (Algérie), 2015. Français
- [28] J. BARON et J. OLLIVIER, les bétons bases et données pour leurs formulations, EYROLLES, 1999.
- [29] TIMHADJELT Nassim, LION Maxime. MPACT DE LA FORMULATION DES BETONS SUR LE COEFFICIENT DE DIFFUSION DES IONS CHLORURE –FOCUS SUR L'EFFET DES LAITIERS DE HAUT-FOURNEAU, 7-8Novembre 2018.

Références Bibliographiques

- [30] CHEHAM AHMED, « Béton hydraulique à base des sables peu-propre Cas : la région Ghardaïa » mémoire de master, Ouargla, (2018).
- [31] NF-P 18-560 «d'analyse granulométrique par tamisage», 1990.
- [32] NF-P 18-561 «mesure coefficient d'aplatissement», 1990.
- [33] NF-P 18-591 « détermination la propreté superficielle», 1990.
- [34] NF-P 18-555 « coefficient d'absorption d'eau », 1990
- [35] NF-P 18-598 «la masse volumique du granulat », 1990
- [36] NF EN 1097-2 «Essais pour déterminer les caractéristiques mécaniques et physiques des granulats- partie 2 : méthode pour la détermination de la résistance a la fragmentation », 1998.
- [37] NF EN 1097-1 «Essais pour déterminer les caractéristiques mécaniques et physiques des granulats- partie 1 : détermination de la résistance à l'usure (micro-deval)», 1996.
- [38] NF EN 1744-1 « analyse chimique sommaire».
- [39] NF EN 933-8 «Essais pour déterminer les caractéristiques géométriques des granulats Partie 8 : Évaluation des fines — Équivalent de sable)», 1999.
- [40] NF P 94-068 «Mesure de la capacité d'adsorption de bleu de méthylène d'un sol ou d'un matériau rocheux : Détermination de la valeur de bleu de méthylène d'un sol ou d'un matériau rocheux par l'essai à la tache)», 1998.
- [41] NF P 94-057« analyse granulométrique des sols: méthode par sédimentation »1992.
- [42] NF P 94-056« analyse granulométrique: méthode par tamisage à sec après lavage »1996.
- [43] NF P 94-051 « détermination des limites d atterberg : limite de liquidité a la coupelle – limite de plasticité au rouleau »1993.
- [44] EN 196-3 « la consistance normalisée—ESSAI de prise »2008.