

République algérienne démocratique et populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

جامعة عين تموشنت بلحاج بوشعيب

Université –Ain Témouchent- Belhadj Bouchaib

Faculté des Sciences et de la Technologie

Département de Génie Civil et Travaux Publics



Projet de Fin d'Etudes

Pour l'obtention du diplôme de Master en :

Domaine : SCIENCE ET TECHNOLOGIE

Filière : : GENIE CIVIL

Spécialité : VOA

Thème :

Elaboration d'un béton économique

Présenté Par :

BENIAHLA Fatima

SAHARI Hadjer

Devant le jury composé de :

Mme Bendouina Khadidja	UAT.B. B (Ain Témouchent)	Président
Mr Houari Abdelhadi	UAT.B. B (Ain Témouchent)	Examineur
Mme Mohammed Belhadj Ahlem	UAT.B. B (Ain Témouchent)	Encadrant

Dédicace :

Je dédié ce modeste travail à :

Les deux personnes les plus chères à mon cœur, mon père et ma mère.

Mes chers frères

*Ma sœur « **HOUDA** »*

Ma prochaine nièce

Tous mes amis proches

*Mon cher binômes « **SAHARI HADJER** »*

Tout personé ayant participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

BENIAHLA FATIMA

Dédicace

Tout grâce à Dieu

Je dédie cet humble travail

A la mémoire de mon grand-père décède, qui avait toujours été mon soutien et mon destin avait l'intention de voir cette œuvre.

A ma chère grand-mère et chère maman pour leurs sacrifices, leurs amours, leurs tendresses, leur soutient tout au long de mon parcours toutes ces longues années.

A ma chère jumelle Nourhane

A mes chers oncles

A mes meilleures amies : Bouchra, Ahlem, Maroua et son adorable fille Celine

A tous mes enseignants

A tous mes collègues sans exception

*En fin, je remercie mon binôme, Mademoiselle **BENHAIHLA FATIMA** avec qui j'ai terminé mon cursus universitaire*

Merci

SAHARI HADJAR

Remercîment :

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude à toutes les personnes qui ont contribué à l'élaboration de ce mémoire et à la réussite de mon parcours académique.

Tout d'abord, je remercie chaleureusement **Mme. Mohamed Belhadj**, mon directeur de recherche, pour son encadrement rigoureux, ses précieux conseils, et sa disponibilité tout au long de ce travail. Son expertise et sa patience ont été déterminantes dans l'aboutissement de ce projet.

Je tiens également à remercier l'ensemble des membres du **laboratoire génie civil université BELHADJ BOUCHAIB** pour leur accueil chaleureux et leur soutien continu. En particulier, je remercie les responsables du laboratoire pour leurs discussions enrichissantes, leurs suggestions constructives, et leur aide précieuse lors des différentes phases de ce travail.

Mes remerciements s'adressent également à mes collègues et amis, pour leur soutien moral et leurs encouragements. Leurs retours et leur amitié ont été une source de motivation constante.

Enfin, je tiens à exprimer ma reconnaissance à ma famille, pour leur amour, leur soutien inconditionnel, et leur compréhension durant ces années d'études. Leur présence à mes côtés a été une source inestimable de force et de sérénité.

Table des matières

Introduction Générale :	2
-------------------------------	---

chapitre 1: Recherche bibliographique

Introduction :	4
1-MORTIER	4
1.1. Définition :	4
1.2.:caractéristique principale d'un mortier :	4
1.3. Caractéristiques principales :	5
1.4. Domaines d'utilisation des mortiers :	5
1.5. Les constituants d'un mortier :	6
1.5.1. Les ciments :	6
1.5.2. L'eau de gâchage :	7
1.5.3. Les adjuvants :	7
1.6. Les différents types de mortiers :	8
1.6.1. Mortier de ciment :	8
1.6.2. Mortier de chaux :	8
1.6.3. Mortier bâtard	8
1.7. Eléments de ressemblance entre les bétons et mortiers :	8
1.7.1.Mûrissement :	8
1.7.2. Maniabilité :	9
1.7.3. Résistances :	9
1.7.4. Durabilité :	9
Conclusion :	10

chapitre 2 : Le béton et les ajouts à base de déchets

Introduction :	12
1.Déchets :	12
1.2.Les types de déchets :	13
Déchets ménagers	14
Déchets issus des activités économiques	14
Non dangereux	14
Toxiques	14
Déchets à risques infectieux	15
Déchets inertes	15
Déchets agricoles	15
Déchets radioactifs	15

1.3. Recyclage des déchets :	15
1.3.1. Définition :	15
1. Verre :	16
1.1. Définition :	16
1.2. Différents types de verre :	17
1.3. Caractéristiques mécaniques et physiques de verre :	17
1.3.1. La poudre de verre :	18
1.3.2. Utilisation de la poudre de verre :	18
1.4. Poudre de Verre dans la Fabrication du Béton :	19
1.5. Responsabilité et Normes :	19
1.5.1. Propriétés pouzzolaniques:	19
1.5.2. Économies :	19
1.5.3. Développement durable :	19
1.6. Recyclage du verre en Algérie :	20
2. La vase :	21
2.1. Pourquoi utilisé la vase :	22
2.2. Vase non calcinée:	22
2.3. Vase calcinée:	22
Conclusion :	23
chapitre 3: Matériaux utilisé et méthodes d'essais	
Introduction :	25
1. Les matériaux :	26
1.1. Ciment :	26
1.2. Eaux de gâchage :	26
1.3. Sable :	26
1.4. Vase :	26
1.5. Verre :	28
1.6. Adjuvant :	30
1.7. Solution NaOH :	31
2. Les méthodes :	31
2.1. Analyse granulométrique de sable par tamisage :	31
2.1.1. Objectif :	31
2.1.2. PRINCIPE DE L'ESSAI :	31
2.1.4. Appareillage :	32
2.1.5. Module di finesse :	33
3. MORTIER NORMAL :	36

3.1. Définition :	36
3.2. Principe :	36
3.3. Matériel utilisé :	36
3.4. Mode opératoire :	36
3.5. Composition du Mortier Classique :	38
3.6. Les compositions utilisées du pourcentage de mortier :	38
3.7. Préparation Eprouvettes de Mortier :	39
3.8. Conservation des éprouvettes :	39
4. Essais de maniabilité (consistance de mortier) :	39
4.1. Principe de l'essai :	39
4.2. Conduite de l'essai :	40
Conclusion :	42

chapitre 4: Résultats et interprétation d'essais

Introduction :	44
Les essais mécaniques sur les mortiers :	45
1.1. Résistance à la flexion :	45
1.2. Résistance à la compression :	46
1.3. Résultats d'essai de la résistance à la flexion des éprouvettes :	48
1.4. Résultats d'essai de la résistance à la compression des éprouvettes :	50
1.5. Durabilité du béton :	51
1.5.1. Indicateur de durabilité généraux :	52
1.6. La porosité :	52
1.6.1. Définition :	52
1.6.2. La porosité accessible à l'eau :	53
1.7. Essai Absorption capillaire :	55
1.8. Essai de carbonatation :	59
1.9. Essai d'auscultation sonique (Ultrason) :	61
1.9.1. Définition :	61
1.9.2. Méthode de l'essai :	61
1.9.3. Les avantages de l'essai de propagation des ultrasons :	62
1.10. Essai de Conductivité thermique :	66
1.10.1. Méthode du fil chaud :	66
1.10.2. Le but :	66
1.10.3. Mode d'emplois :	66
Conclusion :	70
Conclusion Générale :	71

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1: capacité de recyclage	20
Tableau 2: Caractéristiques physiques et chimiques de la vase de la retenue du barrage de Bouhnifia	28
Tableau 3: Résultats d'analyse granulométrique du sable de mer	33
Tableau 4: Résultat d'analyse granulométrique du sable fin	34
Tableau 5: opération de malaxage de mortier normal.....	37
Tableau 6: Les compositions utilisées pour le mortier	38
Tableau 7: type de mortier selon le temps de maniabilité	40
Tableau 8: Résultat d'essai de la résistance à la flexion.....	48
Tableau 9: Résultat d'essai de la résistance à la compression	50
Tableau 10: Pourcentage de la porosité.....	54
Tableau 11: Le poids net des éprouvettes avant de les recouvrir de RESINE	56
Tableau 12: Résultat d'essai d'absorption.....	57
Tableau 13: Mesure de la carbonatation	59
Tableau 14: Classification du béton d'après la vitesse de son	62
Tableau 15: Les résultats d'essai ultrason.....	63
Tableau 16: LES résultats de conductivité thermique	68

LISTE DES FIGURES

Figure 1: Les compositions des déchets(S ,2006).....	12
Figure 2: Composition des déchets managers et assimilés (DMA) en Algérie	13
Figure 3: Type des déchets.....	14
Figure 4: Bâtiments en verre.....	16
Figure 5: La poudre de verre	18
Figure 6: Recyclage du verre.....	21
Figure 7: Carte de sensibilité à l'envasement des barrages en Algérie (MORSLI et al 2004).....	22
Figure 8: Sble gros et fin	26
Figure 9: Situation géographique de l'emplacement des dragues dans la cuvette du barrage de Bouhnifia et des bassin de rejet des sédiments dragué.....	27
Figure 10: préparation de poudre de vase	27
Figure 11: DRX de la base de Bouhnifia	28
Figure 12: Les verres.....	29
Figure 13: Les étapes de préparation de poudre de verre	30
Figure 14: solution de NaOH.....	31
Figure 15: Analyse granulométrique	32
Figure 16: Courbe granulométrique.....	35
Figure 17: Préparation de mortier simple(témoin)	37
Figure 18: photos des éprouvettes.....	39
Figure 19: révolution de la maniabilité des différents pourcentages de mortiers	40
Figure 20: quelque photos sur l'essai de maniabilité	41
Figure 21 :Principe de l'essai de flexion sur une éprouvette de dimension (4x4x16)cm ..	45
Figure 22: Appareil de l'essai de la flexion.....	46
Figure 23 :système de défaillance sous compression	46
Figure 24: Appareil de l'essai de la compression	47
Figure 25: courbe de la résistance à la flexion	49
Figure 26: Courbe de la résistance à la compression	51
Figure 27 : pourcentage de porosité	54
Figure 28: quelque photos lorsqu'on a fait la résine sur éprouvette	56
Figure 29: Essai d'absorption capillaire.....	57
Figure 30: Courbe de résultats d'essai absorption en fonction du temps	58
Figure 31: Courbe de résultats d'essai absorption en fonction du type de mortier	58
Figure 32 : mesure carbonatation.....	60
Figure 33: Carbonatation des éprouvettes	60
Figure 34: Appareil à ultrasons type Pundit Lab +.....	62
Figure 35: Essai du l'ultrason	64
Figure 36: courbe de résultat d'essai ultrason	64

Figure 37: résultat d'essai de vitesse de propagation	65
Figure 38: Appareil de mesure conductivité thermique	67
Figure 39: Les étapes de mesure la conductivité thermique	67
Figure 39 : graphe sur résultat de conductivité thermique.....	69

Abstract :

The production of economical and sustainable concrete. The global demand for concrete continues to increase, which requires finding innovative solutions to reduce costs while preserving the environment. Dredging of dams generates significant quantities of silt and glass waste, which is often considered waste and disposed of expensively. However, these materials have properties that can be exploited in the production of concrete. It is therefore necessary to explore the possibilities of using these materials in order to meet the needs of the construction sector.

The present work aims to study the use of activated silt from dam dredging and glass powder to produce economical concrete. This approach would make it possible to valorize a material often considered as waste, transforming it into a useful resource in the field of construction. By using this method, it is possible to reduce concrete production costs while minimizing the environmental impact linked to the extraction of natural materials. This research comes against the backdrop of a growing demand for sustainable and affordable building materials.

The objectives of this study are the preparation of economical concrete using mud activated with NaOH and glass powder as a partial substitute material to replace cement. The ultimate objective is to determine whether the concrete thus produced has sufficient mechanical strength and durability to be used in construction.

Keywords :

economical concrete – glass powder – activated vase – NaOH – resistance – durability..

Résumé :

La production de béton économique et durable. La demande mondiale de béton ne cesse d'augmenter, ce qui impose de trouver des solutions innovantes pour réduire les coûts tout en préservant l'environnement. Le dragage des barrages génère d'importantes quantités de vase activée les déchets de verre, sont souvent considérées comme des déchets et éliminées de manière coûteuse. Cependant, ces matériaux possèdent des propriétés pouvant être exploitées dans la production de béton. Il est donc nécessaire d'explorer les possibilités d'utilisation de ces matériaux afin de répondre aux besoins du secteur de la construction.

Le présent travail vise à étudier l'utilisation de la vase activée de dragage des barrages et la poudre de verre pour produire du béton économique. Cette approche permettrait de valoriser un matériau souvent considéré comme un déchet, en le transformant en une ressource utile dans le domaine de la construction. En utilisant cette méthode, il est possible de réduire les coûts de production du béton tout en minimisant l'impact environnemental lié à l'extraction de matériaux naturels. Cette recherche s'inscrit dans le contexte d'une demande croissante de matériaux de construction durables et abordables.

Les objectifs de cette étude la préparation du béton économique en utilisant la vase activée avec le NaOH et la poudre de verre comme matériau de substitution partiel pour remplacer le ciment. L'objectif ultime est de déterminer si le béton ainsi produit présente une résistance mécanique et une durabilité suffisantes pour être utilisé dans la construction.

Mots clés :

béton économique – poudre de verre- vase activé- NaOH- résistance- durabilité.

ملخص:

إنتاج الخرسانة الاقتصادية والمستدامة. ويستمر الطلب العالمي على الخرسانة في التزايد، الأمر الذي يتطلب إيجاد حلول مبتكرة لخفض التكاليف مع الحفاظ على البيئة. يؤدي تجريف السدود إلى توليد كميات كبيرة من نفايات الطمي والزجاج، والتي غالبًا ما تعتبر نفايات ويتم التخلص منها باهظ الثمن. إلا أن هذه المواد لها خصائص يمكن استغلالها في إنتاج الخرسانة. ولذلك فمن الضروري استكشاف إمكانيات استخدام هذه المواد لتلبية احتياجات قطاع البناء.

يهدف العمل الحالي إلى دراسة استخدام الطمي المنشط الناتج من تجريف السدود ومسحوق الزجاج لإنتاج خرسانة اقتصادية. ومن شأن هذا النهج أن يجعل من الممكن استعادة المواد التي غالبًا ما تعتبر نفايات، عن طريق تحويلها إلى مورد مفيد في مجال البناء. باستخدام هذه الطريقة، من الممكن تقليل تكاليف إنتاج الخرسانة مع تقليل التأثير البيئي المرتبط باستخراج المواد الطبيعية. ويأتي هذا البحث على خلفية الطلب المتزايد على مواد البناء المستدامة وبأسعار معقولة.

تهدف هذه الدراسة إلى تحضير خرسانة اقتصادية باستخدام الطين المنشط مع NaOH ومسحوق الزجاج كمادة بديلة جزئية لتحل محل الأسمنت. الهدف النهائي هو تحديد ما إذا كانت الخرسانة المنتجة بهذه الطريقة تتمتع بالقوة الميكانيكية والمتانة الكافية لاستخدامها في البناء .

الكلمات المفتاحية:

خرسانة اقتصادية - مسحوق زجاجي - فازه منشطة - هيدروكسيد الصوديوم - مقاومة -

متان

Introduction Générale

Introduction Générale

Introduction Générale :

Le développement durable et la protection de l'environnement sont devenus des préoccupations majeures dans le secteur de la construction. Le béton, matériau le plus utilisé dans le monde, a un impact environnemental significatif, principalement en raison de la production de ciment, qui émet une grande quantité de CO₂. Pour réduire cette empreinte carbone et favoriser une économie circulaire, l'industrie de la construction explore diverses alternatives, y compris l'utilisation de déchets industriels et de sous-produits comme la poudre de verre et la vase de barrage dans la fabrication du béton.

L'incorporation de matériaux recyclés dans le béton est une stratégie clé pour réduire les coûts et minimiser l'impact environnemental. Deux déchets prometteurs dans ce domaine sont la poudre de verre et la vase de barrage.

L'utilisation de ces déchets dans la fabrication du béton permet de produire un matériau plus économique et plus durable. Le béton ainsi fabriqué non seulement répond aux exigences de performance mécanique mais également aux critères environnementaux. En substituant partiellement le ciment par des matériaux recyclés comme la poudre de verre et la vase de barrage, on réduit les coûts de production et l'impact environnemental, tout en contribuant à la gestion efficace des déchets. Cette approche s'inscrit parfaitement dans une démarche d'économie circulaire, où les déchets sont valorisés et réintégrés dans le cycle de production, réduisant ainsi la dépendance aux ressources naturelles et minimisant les déchets. De plus, l'incorporation de ces matériaux recyclés peut améliorer certaines propriétés du béton, telles que la durabilité et la résistance aux agressions chimiques et environnementales.

Chapitre I :

Recherche bibliographique

Introduction :

Ce chapitre se concentre sur une revue bibliographique approfondie concernant le mortier, un matériau de construction essentiel. Nous explorerons les différents types de mortiers, leurs composants principaux comme le sable, le ciment, et l'eau de gâchage, ainsi que l'impact des adjuvants. En outre, nous examinerons l'intégration de matériaux innovants tels que la poudre de verre, la vase calcinée et les solutions alcalines, qui visent à améliorer les propriétés du mortier tout en réduisant les coûts et l'impact environnemental. Cette revue fournit une base théorique pour les recherches ultérieures sur l'élaboration de mortiers économiques et performants. (Monk, 2014)

1- MORTIER

1.1. Définition :

Le mortier, essentiel dans la construction, assure la solidité des éléments, la stabilité de l'ouvrage et comble les espaces entre les blocs. Généralement composé de sable, de liant (ciment ou chaux) et d'eau, ses proportions varient selon les besoins et peuvent être agrémentées d'adjuvants. Les diverses combinaisons de composants, méthodes de mélange et techniques de mise en œuvre permettent de créer une gamme variée de mortiers, adaptés à chaque projet. (MERIEM, 2019/2020)

1.2. : caractéristique principale d'un mortier : (MERIEM, 2019/2020)

Dans toute construction, l'utilisation d'un mortier, qu'il soit composé de ciment ou d'autres liants, est essentielle pour assembler les divers éléments tels que les blocs de béton, les briques ou les éléments en béton préfabriqué. Ce mortier a pour principaux objectifs de :

1-Etablir une liaison entre éléments

2-Garantir la stabilité de l'ensemble de la structure .

3-Remplir les vides entre les blocs de construction, assurant ainsi une cohésion et une informement dans l'ensemble de l'ouvrage

Le mortier résulte de la combinaison d'un liant (tel que la chaux ou le ciment), de sable, d'eau, et parfois d'autres additifs. Il est possible d'obtenir diverses compositions de mortier en ajustant différents paramètres tels que le type et la quantité de liant, l'utilisation d'adjuvants et d'additifs, ainsi que la quantité d'eau. Pour ce qui est du liant, tous les types de ciments et de chaux sont

Chapitre I : Recherche bibliographique

Utilisables, et leur sélection dépend des exigences spécifiques de l'ouvrage et de son environnement. Il est crucial de respecter une durée de malaxage optimale pour obtenir un mélange homogène et uniforme. En fonction des besoins du projet, les mortiers peuvent être adaptés en conséquence.

1-Les mortiers peuvent être fabriqués sur le chantier en dosant et en mélangeant soigneusement les divers composants, y compris les adjuvants.

2-Alternativement, ils peuvent être préparés sur place à partir de mortiers industriels secs pré-dosés, auxquels il suffit d'ajouter la quantité d'eau requise avant utilisation.

3-Une autre option est de les obtenir prêts à l'emploi par le biais d'une centrale de production de mortier.

1.3. Caractéristiques principales : (MERIEM, 2019/2020)

Les caractéristiques principales des mortiers sont :

- 1.Ouvrabilité ;
2. Prise ;
3. Résistances mécaniques ;
4. Retraits et gonflements,

1.4. Domaines d'utilisation des mortiers : (company, 2012)

Les différentes variétés de mortier sont généralement déterminées par leur large éventail d'applications. Une classification des mortiers selon leur utilisation permet d'identifier diverses catégories suivantes :

- Mortier de pose
- Mortier de joints
- Mortier pour les crépis
- Mortier pour le sol
- Mortier pour les stucs
- Pierres artificielles
- Support pour les peintures murales
- Mortier d'injection

-
- Mortier pour les mosaïques
- Mortier de réparation pour
- Mortier auto plaçant
- Mortier fibré.

1.5. Les constituants d'un mortier : (MERIEM, 2019/2020)

Les différents constituants (ciment, granulat, sable, eau de gâchage, adjuvant)

1.5.1. Les ciments :

Le ciment est un matériau sec, finement broyé, qui agit comme un liant hydraulique. Lorsqu'il est mélangé avec de l'eau, il génère des hydrates qui transforment les matériaux granulaires non cohésifs en une substance cohésive dotée de propriétés mécaniques renforcées.

Il existe deux grandes familles de Ciments :

*- Les ciments Portland, constitués majoritairement de silice et de chaux.

Il est utilisé principalement dans les bétons de bâtiments et les ouvrages de génie civil.

*- Les ciments alumineux qui se composent essentiellement d'alumine et de chaux.

Et autres types comme :

- Le ciment Portland.
- Le ciment portland composé.
- Le ciment de haut fourneau.
- Le ciment pouzzolanique.
- Le ciment au laitier et aux cendres

1.5.1.a. Type de ciment :

Les ciments usuels doivent respecter les exigences énoncées dans la norme NF EN 197-1, intitulée "Ciments - Partie 1 : composition, spécifications et critères de conformité des ciments courants". Cette norme établit les caractéristiques principales des ciments, notamment les types, les composants, les classes de résistance et les valeurs limites spécifiées

1.5.2. L'eau de gâchage :

Le dosage en eau joue un rôle crucial dans la composition du mortier, avec une influence notable sur ses propriétés. i.e. Cela se traduit notamment par les caractéristiques résultant des vides formés lors de l'élimination de l'eau pour diverses raisons.

Avec E/C couramment utilisé de 0,5 on estime que la moitié de l'eau de gâchage sert à l'hydratation du ciment, l'autre moitié est eau de mouillage interstitielle qui contribue à la plasticité du mortier requise pour sa mise en œuvre.

1.5.3. Les adjuvants :

Un adjuvant, ajouté en petite quantité lors du mélange de béton ou de mortier, vise à altérer les caractéristiques de la composition soit à l'état frais, soit à l'état durci. Chaque adjuvant est défini par une fonction principale exclusive, bien qu'il puisse également offrir une ou plusieurs fonctions secondaires.

On distingue 3 catégories d'adjuvants :

1.5.3.a Les adjuvants qui modifient l'ouvrabilité du béton :

- Plastifiants réducteurs d'eau
- Super plastifiants hauts réducteurs d'eau

1.5.3.b. Les adjuvants qui modifient la prise et le durcissement :

- accélérateurs de prise.
- accélérateurs de durcissement.
- retardateurs de prise.

1.5.3.c. Les adjuvants qui modifient certaines propriétés du béton :

- entraîneurs d'air.
- hydrofuges de masse
- rétenteurs d'eau.

1.6. Les différents types de mortiers : (réservés, 2022)

Les choix des types de mortiers dépendent de l'usage prévu, ce qui conduit à l'utilisation de formulations diverses, similaires à celles des bétons, adaptées aux spécificités de chaque projet et aux propriétés souhaitées.

1.6.1. Mortier de ciment :

Composé de sable et de ciment, le mortier de ciment est très résistant et prend rapidement.

Sa richesse en ciment le rend peu perméable à la vapeur d'eau.

1.6.2. Mortier de chaux :

Constitué de sable et de chaux, le mortier de chaux est un mortier gras, très souple et qui laisse circuler la vapeur d'eau.

Il durcit plus lentement que le mortier de ciment.

1.6.3. Mortier bâtard

Le mortier bâtard est composé de sable, et à part plus ou moins égale, de ciment et de chaux.

Il allie la résistance du ciment et la souplesse de la chaux.

Son onctuosité le rend facile à travailler et limite le risque de fissuration.

1.7. Eléments de ressemblance entre les bétons et mortiers : (KARINA, 2016)

La similarité entre ces deux matériaux réside dans le fait qu'ils partagent des composants communs. Les mortiers partagent ainsi des constituants avec les bétons, parmi d'autres points de similitude on peut citer :

1.7.1. Mûrissement

Le processus d'hydratation est responsable du durcissement ultérieur du mortier, similaire à celui observé dans les bétons.

1.7.2. Maniabilité :

Comme pour les bétons, la facilité de mise en place des mortiers peut varier. On distingue plusieurs classes de consistance, allant des mortiers fermes et plastiques aux mortiers autoplaçants.

1.7.3. Résistances :

Les mortiers se déclinent en plusieurs classes de résistance, allant des mortiers à maçonner à faible résistance mécanique aux mortiers structurels comme le ductal, qui affichent une résistance à la compression dépassant les 100 MPa.

- Comportement mécanique (lois de comportement, retrait, fluage, fatigue, fragilité,)
- Masses volumique : mortiers lourds à mortiers légers.

1.7.4. Durabilité :

En optimisant la composition des mortiers, il est possible de développer des formulations offrant des durées de vie très intéressantes, notamment pour les ouvrages hydriques.

Conclusion :

Ce chapitre a fourni une revue détaillée des connaissances actuelles sur le mortier, en explorant ses différents types, les composants essentiels, et les innovations récentes visant à améliorer ses performances et sa durabilité. Nous avons examiné les caractéristiques et les rôles du sable, du ciment, de l'eau de gâchage et des adjuvants, soulignant leur importance dans la formulation du mortier. De plus, l'intégration de matériaux alternatifs tels que la poudre de verre et la vase calcinée a été discutée, mettant en lumière leur potentiel pour réduire les coûts et l'impact environnemental. Cette analyse bibliographique établit une base théorique solide pour les travaux ultérieurs de ce mémoire, orientés vers l'élaboration d'un mortier économique. Les informations recueillies permettront de guider les expérimentations et de proposer des formulations innovantes qui répondent aux exigences de performance et de durabilité tout en étant économiquement viables. Les perspectives offertes par les matériaux recyclés et les adjuvants spécifiques montrent un chemin prometteur vers une construction plus durable et efficiente.

Chapitre II

Le béton et les ajouts à base de déchets

Chapitre II : Le béton et les ajouts à base de déchets

Introduction :

Dans ce chapitre on donne une présentation sur les différents types de déchets et leurs gestions, le recyclage des déchets ; et en particulier la poudre du verre et la vase du dragage des barrages.

1.Déchet :

Les déchets sont des matériaux qui sont jetés une fois qu'un travail est terminé ou qu'un objectif a été atteint. Par conséquent, il est devenu inutile, c'est désormais une poubelle et ne sert à rien. Il n'y a aucune valeur économique pour la plupart des gens. Les résidus peuvent être éliminés (lorsqu'il est destiné à être enfoui dans une décharge ou à être enterré) ou recyclé (Gagnant ainsi de nouvelles utilisations).

Ces dernières années, plusieurs définitions des déchets ont été proposées. Le point commun de ces définitions est que les déchets sont Matériau indésirable que le fabricant souhaite éliminer. Selon l'article 3 de la loi algérienne n°01-19 du 12 décembre 2001, « tout résidu procédé de production, de transformation ou d'utilisation, plus généralement tout Substances, matériaux ou produits et tous biens meubles du propriétaire ou du détenteur Vaincu, dont il est prévu de se débarrasser ou dont il est obligé de disposer ou d'éliminer

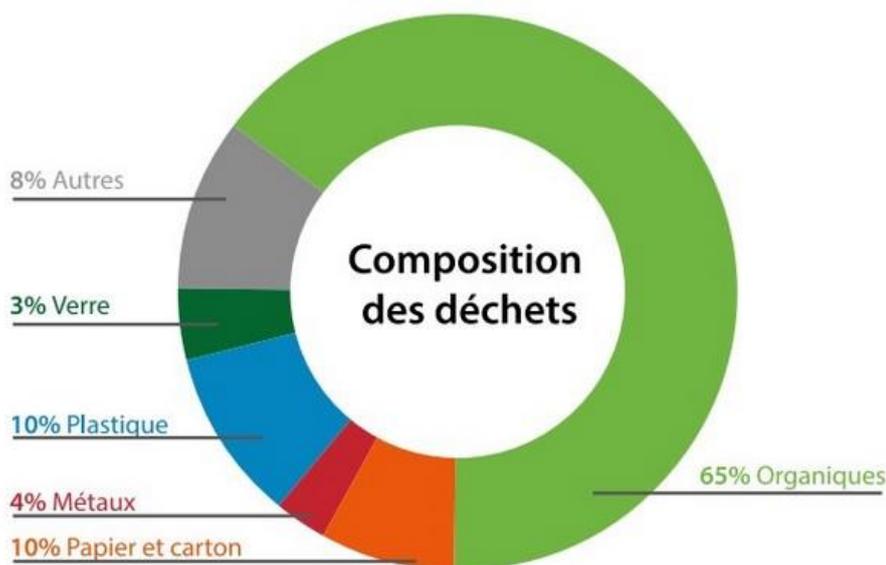


Figure 1: Les compositions des déchets(S ,2006)

Chapitre II : Le béton et les ajouts à base de déchets

La majorité des pays en développement est confrontés à de graves défis environnementaux, sociaux et économiques lorsqu'il s'agit de gérer différents types de déchets solides (Haniyeh , et all, 2020). Leur gestion constitue pour les communautés urbaines un des plus importants défis.

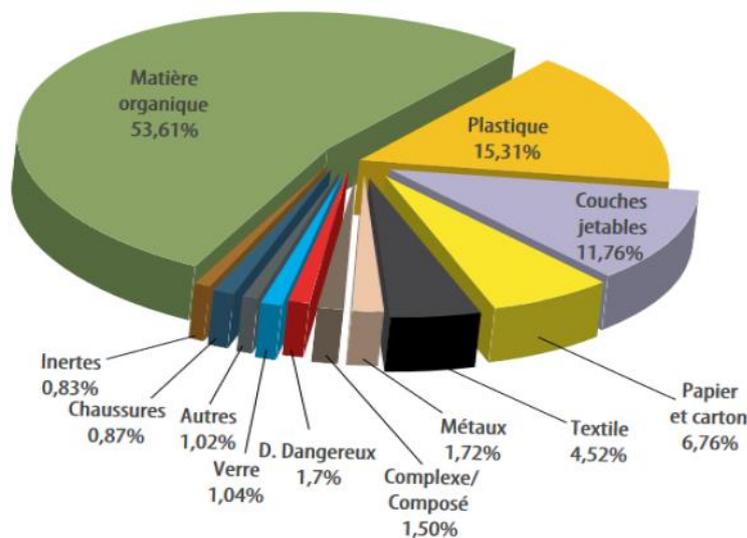


Figure 2: Composition des déchets managers et assimilés (DMA) en Algérie

L'Algérie en tant que l'un de ces pays est confronté à de sérieuses difficultés dans la gestion de ses déchets, malgré les nombreuses mesures réglementaires, institutionnelles et opérationnelles

1.2. Les types de déchets : (D, 2017)

La collecte et le traitement des déchets impliquent leur classement dans différentes catégories. On distingue ainsi les déchets selon leur provenance et le type d'activités dont ils sont issus, selon leur dangerosité et selon les modes de traitements qu'ils nécessitent.



Figure 3: Type des déchets

Déchets ménagers

Collectés par les collectivités locales, les déchets ménagers désignent les déchets produits au quotidien par les ménages. Ils peuvent être incinérés ou recyclés selon leur nature.

Déchets issus des activités économiques

Les déchets rejetés par les professionnels sont classés différemment selon leur toxicité.

Non dangereux

Les déchets non dangereux issus des activités économiques sont de même nature que les déchets ménagers et peuvent subir les mêmes traitements : **le recyclage dans le cas des déchets papier, carton ou plastique, l'incinération des ordures non valorisables.**

Toxiques

Les déchets d'entreprises et de sites industriels **sont classés toxiques lorsqu'ils contiennent des produits dangereux pour la santé et pour l'environnement** : il s'agit par exemple des solvants, huiles, goudrons, mais aussi des déchets électroniques et électriques. Ils doivent faire

Chapitre II : Le béton et les ajouts à base de déchets

L'objet d'un traitement spécifique pris en charge par des sociétés dédiées et régi par des protocoles précis.

Déchets à risques infectieux

Les déchets issus des soins aux particuliers, des hôpitaux et des laboratoires font l'objet d'une catégorie à part : les seringues, bandages, pansements, compresses et l'ensemble du matériel médical usagé **présentent un risque d'infection et/ou de contamination pour les personnes et pour l'environnement.**

Déchets inertes

Le terme de déchet inerte désigne les gravats issus des travaux de BTP et des démolitions. Vitres, parpaings, carrelages, béton : les déchets de ce type sont dits inertes car ils ne se dégradent pas naturellement. Ils peuvent être utilisés comme remblai et sous-couche lors de la construction d'infrastructures routières par exemple. Une grande partie de ces déchets est simplement enfouie dans des centres de stockage dédiés.

Déchets agricoles

Les déchets issus des exploitations agricoles font également l'objet d'un traitement spécifique : ce sont toutes les ordures et matières issues de l'élevage et des cultures, qui peuvent comprendre les films de paillage, les purins, comme les huiles et autres produits toxiques.

Déchets radioactifs

Catégorie très spécifique, d'une haute dangerosité, les déchets radioactifs sont sous la responsabilité de l'agence publique ANDRA (Agence Nationale pour la gestion des Déchets Radioactifs).

1.3. Recyclage des déchets :

1.3.1. Définition : (S, 2006)

Le recyclage est le processus de traitement des déchets industriels et des déchets ménagers, Permettre à ces matériaux d'être réintroduits dans le cycle de production du produit.

Le recyclage a deux conséquences écologiques principales : Réduction des volumes Protection des déchets et des ressources naturelles. C'est l'une des activités économiques société de consommation. Certains procédés sont simples et peu coûteux, mais au contraire, D'autres sont

Chapitre II : Le béton et les ajouts à base de déchets

Complexes, coûteux et peu rentables. Le recyclage est une activité importante dans l'économie et l'environnement depuis les années 1970 la vie dans les pays développés

Le recyclage s'inscrit dans une stratégie de gestion des déchets connue sous le nom des « 3R » : - Réduire, qui regroupe tout ce qui concerne la réduction de la production de déchets, - Réutilisation, le processus de combinaison de produits usagés en nouveaux utiliser. - Le recyclage est le processus de traitement des déchets par le recyclage. Le recyclage apporte une contribution importante à la réduction de la quantité de déchets Éliminé par l'enfouissement et l'incinération, mais pas suffisamment pour y faire face Augmentation de la production de déchets ou à peine assez.

1.Verre :

1.1. Définition :

Le terme verre est utilisé pour désigner des matériaux durs, cassants (cassables) et transparents. Le verre est 100% recyclable et le seul produit pouvant être N'importe quelle taille et forme tout en conservant sa transparence, ses propriétés Physique, Chimie, Thermique et Acoustique.



Figure 4: Bâtiments en verre

1.2. Différents types de verre :

Pour obtenir l'état final du verre, le mélange est chauffé jusqu'au point de fusion (environ 1500°C), Ensuite, nous le refroidissons et le transformons. Différents types de verre peuvent être produits selon différentes utilisations Parmi les produits verriers utilisés on distingue :

- *Produit de base, c'est-à-dire produit de verre silicaté sodocalcique obtenu à l'exportation Retirer du four sans autre traitement
- *Produits de base spéciaux, à savoir produits verriers (obtenus à la sortie du four) Sa composition est différente du verre silico-sodocalcique
- *Produits transformés, c'est-à-dire produits obtenus après transformation fabrication, produits de base ou produits de base spéciaux, entraînant de nouveaux Produits de différentes qualités.

1.3. Caractéristiques mécaniques et physiques de verre : (CléoLANEYRIE, 2014)

La résistance du béton contenant du verre est notablement réduite lorsqu'un ciment à forte teneur alcaline est utilisé, entraînant une dilatation accrue et donc une faible résistance. Par exemple, sur une période de 12 mois, la dilatation d'un béton avec du verre est environ 0,3 %, comparée à seulement 0,018 % pour celui avec du gravier. Le verre peut engendrer deux comportements opposés : la réaction alcali-silice (RAS), provoquant un gonflement, et la réaction pouzzolanique, améliorant la robustesse du matériau. Le recyclage du verre dans le béton peut être bénéfique s'il est réduit en poudre, favorisant la formation de nouveaux composés. La couleur du verre, liée à sa teneur en silice, influence la propension à la RAS, avec le verre vert induisant le moins de réactions. La résistance diminue avec le taux de remplacement du verre, ce qui est confirmé par une baisse linéaire de la résistance en compression. En outre, l'adhérence partielle du verre à la pâte de ciment contribue à cette diminution de la résistance.

Le verre recyclé peut être transformé en granulats légers, avec une densité de 525 kg/m³, en le mélangeant à de l'argile et du silicate de sodium chauffés à 850°C. Le béton ainsi fabriqué a une résistance à la compression d'environ 17 MPa après une cure à la vapeur de 28 jours. Cependant, le verre recyclé, de composition variable et souvent contaminé, nécessite d'être soigneusement nettoyé avant utilisation car, une fois broyé, sa surface rend son utilisation comme granulats de béton impossible.

1.3.1. La poudre de verre

La poudre de verre est un déchet provenant du recyclage des produits en verre. Lorsqu'elle est utilisée comme ajout cimentaire ou comme substitut partiel du ciment, elle peut améliorer certaines propriétés du béton, telles que la durabilité et la résistance. Le verre est principalement constitué de dioxyde de silicium (SiO_2), ce qui le rend réactif dans les systèmes cimentaires, surtout lorsqu'il est finement broyé. L'incorporation de la poudre de verre permet non seulement de valoriser un déchet, mais aussi de réduire la quantité de ciment nécessaire, diminuant ainsi les émissions de CO_2 associées. La poudre de verre, grâce à sa finesse, réagit avec le calcium hydroxide produit par l'hydratation du ciment pour former des produits de réaction cimentaires, contribuant ainsi à la résistance globale du béton. De plus, elle améliore la densité du béton en comblant les vides microscopiques, ce qui augmente la durabilité et réduit la perméabilité du matériau. [8] [9]



Figure 5: La poudre de verre

1.3.2. Utilisation de la poudre de verre :

La poudre de verre est un sous-produit issu du recyclage du verre. Son utilisation comme ajout cimentaire présente de nombreux avantages :

1.3.3. Avantages Environnementaux de la Poudre de Verre :

L'utilisation de la poudre de verre dans la fabrication du béton est considérée comme plus écologique, car elle permet de réduire l'impact environnemental du béton. En remplaçant une partie du ciment classique par de la poudre de verre, il est possible de réduire les émissions de gaz à effet de serre associées à la production de ciment. De plus, en utilisant la poudre de verre,

Chapitre II : Le béton et les ajouts à base de déchets

On évite de dépenser de l'énergie pour fabriquer du nouveau ciment, car on rentabilise l'énergie déjà investie pour fabriquer du verre.

1.4. Poudre de Verre dans la Fabrication du Béton :

La poudre de verre est utilisée comme ajout cimentaire dans la fabrication du béton. Elle peut remplacer une partie de la poudre de béton traditionnelle, généralement de 20 % à 30 %, dans la production de blocs architecturaux antibruit. Des tests ont montré que le béton avec de la poudre de verre est plus performant. En 2018, la poudre de verre a été reconnue comme ajout cimentaire dans la norme canadienne CSA-A3000-18, ce qui a facilité son utilisation à plus grande échelle dans des projets tels que la construction de ponts.

Les bétons avec poudre de verre présentent généralement une meilleure résistance aux attaques chimiques et aux environnements agressifs, ainsi qu'une diminution de la perméabilité et de la chaleur d'hydratation.

1.5. Responsabilité et Normes :

L'utilisation de la poudre de verre dans la fabrication du béton est encadrée par des normes et des exigences. Les producteurs de béton demandent une preuve de conformité pour chaque lot de poudre de verre afin de garantir la qualité du produit final. La responsabilité des matériaux et des procédés prescrits revient au maître d'ouvrage et au concepteur, qui doivent s'assurer que les matériaux répondront aux exigences de performance et en assumer la responsabilité liée à la qualité du béton

1.5.1. Propriétés pouzzolaniques : La silice amorphe contenue dans la poudre de verre réagit avec la chaux libre du ciment pour former des composés cimentaires supplémentaires, améliorant ainsi la résistance et la durabilité du béton.

1.5.2. Économies : En remplaçant partiellement le ciment Portland par la poudre de verre, les coûts de production du béton sont réduits.

1.5.3. Développement durable : L'incorporation de la poudre de verre dans le béton permet de valoriser un déchet et de réduire l'impact environnemental de la production de ciment.

Chapitre II : Le béton et les ajouts à base de déchets

1.6. Recyclage du verre en Algérie : (O. Belarbi, Hakmi .Mohamed Amine, & Hamdani .Med. Tarek, 2012)

Les déchets solides générés en Algérie sont principalement composés de produits organiques, constituant en moyenne 72% du total. En revanche, le plastique représente seulement 10%, suivi par le papier/carton à 9,3%, les chiffons et autres à 4,14%, les métaux à 3,2% et le verre à 1,36%. Les taux de recyclage de ces déchets sont répertoriés dans le tableau suivant :

Tableau 1: capacité de recyclage

Nature des déchets	Quantité en tonne / an
Papier	385.000
Plastique	130.000
Métaux	100.000
Verre	50.000
Matières diverses	95.000
Total	760.000



Figure 6: Recyclage du verre

2.La vase :

La vase de barrage est un sédiment accumulé dans les réservoirs et les barrages. Sa gestion pose souvent des problèmes environnementaux et économiques. Cependant, des études récentes ont montré que cette vase peut être transformée et utilisée comme composant du béton. La vase contient souvent des minéraux argileux et des éléments chimiques qui peuvent contribuer à la matrice cimentaire. En traitant et en intégrant la vase dans le béton, on peut réduire les coûts de gestion des sédiments et valoriser un matériau abondant et souvent problématique. L'utilisation de la vase de barrage comme addition cimentaire ou comme agrégat dans le béton permet de réduire la consommation de ressources naturelles et de gérer efficacement un déchet difficile. Cette approche permet également d'améliorer certaines propriétés du béton, telles que la maniabilité et la résistance aux attaques chimiques.

Chapitre II : Le béton et les ajouts à base de déchets

2.1. Pourquoi utilisé la vase :

Les aménagements hydrauliques en Algérie constitués de digues de barrages sont fragiles et soumis à des envasements importants qui, dans des délais très courts peuvent les rendre inutilisables. C'est pourquoi il est d'une extrême urgence de procéder aux travaux de dragage afin de sauver nos ressources en eau qui ne cessent de s'appauvrir. L'envasement des barrages constitue malheureusement une arme à double tranchant puisqu'il est responsable de la diminution du niveau d'eau potable et d'irrigation, d'une part et il est la cause de la détérioration de l'environnement, d'autre part.

Une étude réalisée par MORSLI et al. (2004) donne une carte de sensibilité à l'envasement des barrages dans laquelle est représentée la zone à très fort taux d'envasement des 18 barrages les plus envasés en Algérie parmi lesquels on compte le barrage de Fergoug (MEKERTA et al., 2012) et celui de Bouhanifia. Le comblement de ces deux barrages est de 100% et 60% respectivement (REMINI & HALLOUCHE, 2007).

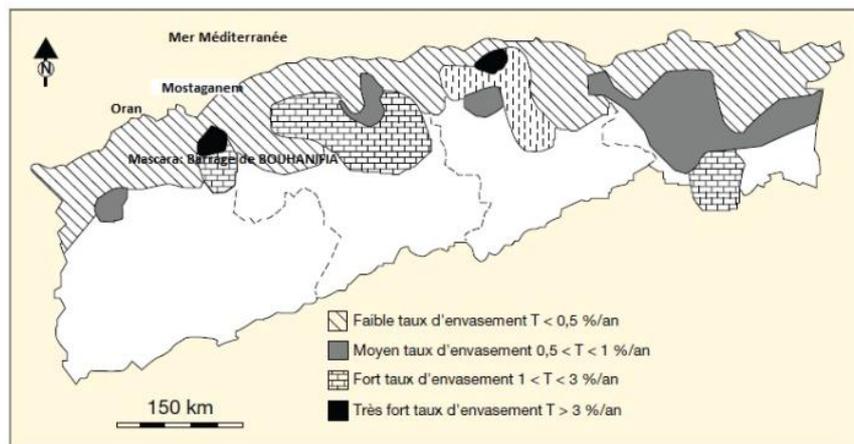


Figure 7: Carte de sensibilité à l'envasement des barrages en Algérie (MORSLI et al 2004)

La vase des barrages est un sous-produit issu des opérations de dragage des réservoirs. Elle peut être utilisée comme ajout cimentaire, soit directement, soit après calcination :

2.2. Vase non calcinée :

Riche en argile, la vase non calcinée peut être incorporée dans le béton en remplacement partiel du ciment. Elle améliore la maniabilité du béton frais et sa résistance aux cycles de gel-dégel.

2.3. Vase calcinée :

La calcination de la vase à haute température (600-800°C) la transforme en un matériau pouzzolanique. Incorporée dans le béton, la vase calcinée réagit avec la chaux libre du ciment, améliorant ainsi la résistance mécanique et la durabilité du béton.

Conclusion :

En conclusion, l'utilisation d'ajouts à base de déchets dans la fabrication du béton présente de nombreux avantages environnementaux et économiques, tout en améliorant les propriétés du béton. Cette approche contribue à une construction plus durable en valorisant les sous-produits industriels et en réduisant l'impact environnemental de la production de ciment.

Chapitre III :

Matériaux utilisé et méthodes d'essais

Introduction :

Ce chapitre présente les différents matériaux utilisés pour la formulation du mortier, en détaillant leurs caractéristiques spécifiques. Nous aborderons également la procédure de fabrication d'un mortier de référence (simple) et les étapes de préparation des éprouvettes de mortier avec des pourcentages variés de poudre de verre et de vase. Enfin, nous décrirons les essais réalisés à l'état frais pour évaluer la prise et la maniabilité de chaque formulation.

1. Les matériaux :

1.1 Ciment :

Le ciment utilisé est un ciment disponible sur le marché fabriqué par la cimenterie de Beni-Saf ((la cimenterie la plus proche de Ain Témouchent)

1.2. Eaux de gâchage :

L'eau de gâchage provient du robinet du laboratoire de béton du département de génie civil et de l'Université Belhadj Bouchaib Ain Témouchent. Il s'agit d'une eau propre et potable.

1.3. Sable :

On a utilisé un sable grossier modifier par un sable très fin, Après modification, nous avons obtenu du bon sable a un module de finesse 2,6



Figure 8: Sable gros et fin

1.4. Vase :

Les échantillons ont été collectés en aval du barrage Bouhanifia dans les zones de déversement. La figure présente les étapes de préparation de la vase, laquelle a été soumise à un traitement thermique à 750°C pendant 5 heures. (Abdelkadir Belghit, 2015)



Figure 9: Situation géographique de l'emplacement des dragues dans la cuvette du barrage de Bouhnifia et des bassins de rejet des sédiments dragué



Figure 10: préparation de poudre de vase

Tableau 2: Caractéristiques physiques et chimiques de la vase de la retenue du barrage de Bouhnifia

composant	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	K ₂ O	Na ₂ O	Cl	LOI
%	42,14	14,55	6,14	13,24	2,61	0,25	1,2	0,5	0,022	18,82

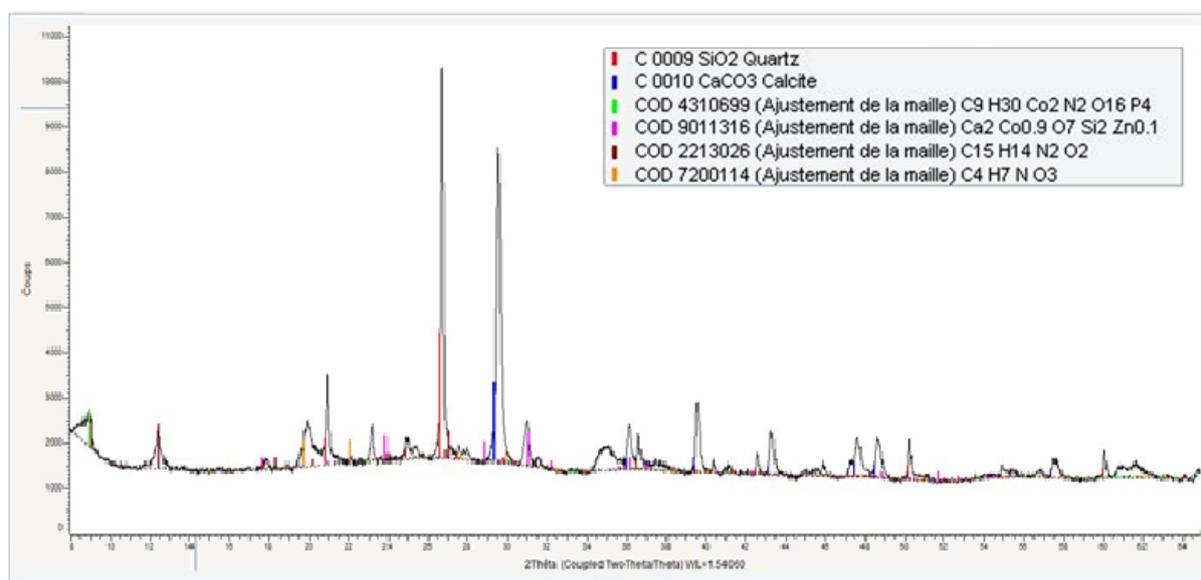


Figure 11: DRX de la base de Bouhnifia

1.5. Verre :

Les étapes requises pour produire de la poudre de verre sont les suivantes :

- 1-Nettoyage
- 2- Concassage
- 3- Broyage
- 4- Tamisage par tamis 0.125 mm
- 5- Tamisage par tamis0.08



Figure 12: Les verres



Figure 13: Les étapes de préparation de poudre de verre

1.6. Adjuvant :

Dans le souci de confectionner des bétons ayant des maniabilités comparables, l'utilisation d'un super plastifiant réducteur d'eau a été nécessaire en particulier pour les bétons contenant les ajouts minéraux. Le choix s'est porté sur un super plastifiant :

Pour la confection des bétons, nous avons utilisé le medaplast SP 40 commercialisé par SIKA-Algérie. Cet adjuvant est utilisé pour le béton avec ajout de la pouzzolane naturelle.

C'est un superplastifiant haut réducteur d'eau (conforme à la norme EN 934-2 (2002)) permettant d'obtenir des bétons de très haute qualité avec des rapports E/C faibles.

1.7. Solution NaOH :

Dans une fiole jaugée d'un volume de 1 L, verse 100 mL d'eau distillée et dégazée. Ensuite, tu pèses avec précision environ 10 g de NaOH (file:///C:/Users/asus/Downloads/MetroPol-Methode-Analyse-METHANALYSE_152%20(4).pdf, s.d.)



Figure 14: solution de NaOH

2. Les méthodes :

2.1. Analyse granulométrique de sable par tamisage :

2.1.1. Objectif :

L'analyse granulométrique vise à évaluer la répartition des tailles des grains constituant un granulat dont les dimensions vont de 0,063 à 125 mm. Elle implique la mesure du REFUS, qui est la quantité de matériau retenue sur un tamis, ainsi que du TAMISAT (ou passant), qui est la quantité de matériau traversant le tamis.

2.1.2. PRINCIPE DE L'ESSAI :

Pendant l'essai, le matériau est séparé en différentes classes granulaires de tailles décroissantes en utilisant une série de tamis.

Chapitre III : Matériaux utilisés et méthodes d'essais

Les masses des refus et des tamisages sont comparées à la masse initiale du matériau, puis exprimées en pourcentage. Ces pourcentages sont ensuite représentés graphiquement pour analyse.

2.1.4. Appareillage :

- Des tamis
- Tamiseuse
- Balance de précision 1g
- Fond de tamis et couvercle
- Pinceau
- Etuve



Figure 15: Analyse granulométrique

Chapitre III : Matériaux utilisé et méthodes d'essais

2.1.5. Module di finesse :

Il est égal au centième de la sommes des refus cumulés, exprimés en pourcentage, aux tamis de :0.125 _ 0.250 _ 0.5 _ 1 _ 2 _ 4 mm NF EN 12620

➤ Remarque :

- 1.8 et 2.2 : le sable est de grains fins
- 2.2 et 2.8 : on est en présence d'un sable préférentiel
- 2.8 et 3.2 : le sable est un peu grossier

Le tableau suivant montre le résultat d'analyse granulométrique obtenue pour le sable utilisé (sable de mer) :

Tableau 3: Résultats d'analyse granulométrique du sable de mer

Tamis	Poids de tamis +refus cumulé	Refus cumulé	Pourcentage de refus cumulé R%	Pourcentage tamis cumulé T%
4	355.8	0.22	0.022 %	99.978 %
2	330.4	11.74	1.174 %	98.826 %
1	347.07	385.4	38.53 %	61.47 %
0.5	258.77	659.5	65.94 %	34.06 %
0.25	239.27	941.71	94.154 %	5.846 %
0.125	224.75	999.01	99.97 %	0.12 %
0.63	215.25	999.88	99.97 %	0.03 %
Fond	352.76	1000.14	99.99 %	0 %

Chapitre III : Matériaux utilisés et méthodes d'essais

MF = 2.997  le sable est un peu grossier

Un bon sable pour mortier doit avoir un module finesse d'environ **2.2 et 2.8**. Au-dessous, le sable est à majorité d'éléments fin et très fins, ce qui nécessite une augmentation du dosage en eau, au-dessus le sable manque d'éléments fins et le mortier y perd en ouvrabilité.

Il est possible de modifier le module de finesse d'un sable grossier par adjonction d'un deuxième sable plus fin en utilisant la règle d'Abrams

Les proportions de sable à prendre pour avoir **MF** visé sont :

$$\%S_1 = \frac{mf - mf_2}{mf_1 - mf_2} \times 100 \quad \text{et} \quad \%S_2 = \frac{mf_1 - mf}{mf_1 - mf_2} \times 100$$

Avec :

- MF : module de finesse visé
- MF_1 : module de finesse du sable grossier S_1
- MF_2 : module de finesse du sable fin S_2

Le tableau suivant montre le résultat d'analyse granulométrique obtenue pour le sable fin :

Tableau 4: Résultat d'analyse granulométrique du sable fin

Tamis	Poids de tamis +refus cumulé	Refus cumulé	Pourcentage de refus cumulé R%	Pourcentage tamis cumulé T%
2	330.5	10.54	1.05%	98.95 %
1	375.2	24.14	2.41 %	97.59 %
0.5	259.37	159.2	15.92 %	84.08 %
0.250	239.37	775.78	77.57 %	22.43 %
0.125	319.11	943.4	94.32 %	5.68 %
0.63	215.2	982.22	98.21 %	1.79 %
Fond	352.78	1000.11	100 %	0 %

Chapitre III : Matériaux utilisés et méthodes d'essais

MF = 1.9127 → le sable est à majorité de grains fins

On applique la règle d'Abrams :

$$\%S_1 = \frac{2.6-1.9}{2.9-1.9} \times 100$$

$$\%S_1 = 70 \%$$

$$\%S_2 = \frac{2.9-2.6}{2.9-1.9} \times 100$$

$$\%S_2 = 30 \%$$

C'est-à-dire : pour un bon sable on prend :

- 70 % de sable grossier (945 g)
- 30 % de sable fin (405 g)

Graphe :

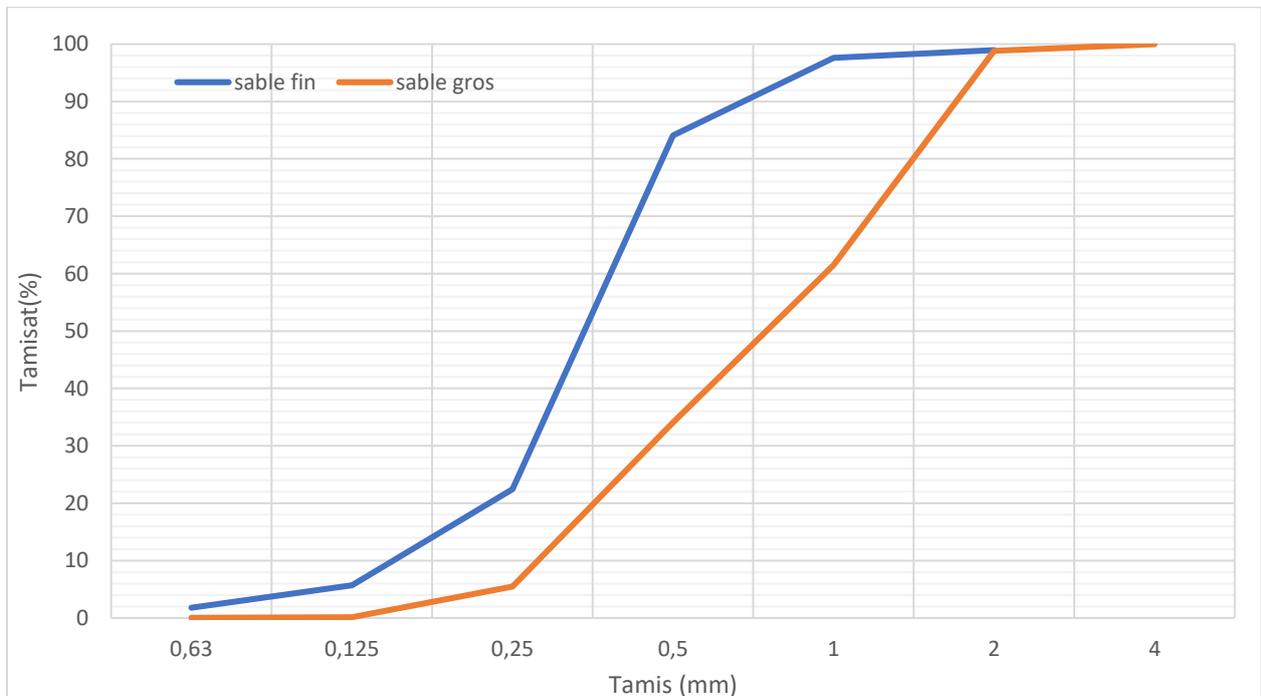


Figure 16: Courbe granulométrique

3. MORTIER NORMAL :

3.1. Définition :

Le mortier standard est utilisé pour évaluer diverses propriétés des ciments, notamment leur résistance à la compression. Ce mélange est préparé selon des normes spécifiques. Il est composé d'un ratio de 1 :3 entre les éléments secs, avec un rapport eau/ciment de 5.

3.2. Principe :

L'expérience implique la préparation d'un mortier standard en utilisant du sable normalisé, conditionné dans des sacs plastiques pesant 1350 ± 5 g chacun.

3.3. Matériel utilisé :

- 1- Moules pour éprouvette 4×4×16.
- 2- Malaxeur.
- 3- Appareil à chocs.
- 4- Règle à raser.

3.4. Mode opératoire :

- 1- Monter 1 moule (soit 3 éprouvettes) en prenant soin d'huiler la totalité des éléments
- 2- Préparer les matériaux soit pour un mortier normal avec :
 - E /C = 0.5
 - 1350 g de sable (945g sable gros + 405 sable fin)
 - 450 g de ciment
 - 225 g d'eau
- 3- Remplir le moule en 2 fois puis soumis à chaque fois 60 chocs
- 4- Araser la surface
- 5- Procéder à l'étiquetage (date, nom, série)
- 6- Démoulage de ces éprouvettes après 24h
- 7- Stockage de ces éprouvettes jusqu'au jour de l'essai

Chapitre III : Matériaux utilisés et méthodes d'essais

Les options de malaxage sont Synthétisées dans le tableau suivant :

Tableau 5: opération de malaxage de mortier normal

Opérations	Introduction de l'eau	Introduction du ciment	Introduction du sable	Introduction de la cuve		
Durée			30 s	15 s	1 min15s	60 s
Etat du malaxeur	Arrêt		Vitesse lente	Arrêt		Vitesse rapide



Figure 17: Préparation de mortier simple(témoin)

3.5. Composition du Mortier Classique :

La composition en masse du mortier traditionnel utilisé est la suivante :

- 3 parts de sable.
- 1 part de ciment.
- 1/5 part d'eau.

3.6. Les compositions utilisées du pourcentage de mortier :

Dans notre étude, nous avons fabriqué des éprouvettes pour caractériser les propriétés physiques et mécaniques des mortiers élaborés avec différents pourcentages de poudre de verre et de vase (normal et calciné)

Tableau 6: Les compositions utilisées pour le mortier

Composition	Ciment	Vase	Verre	Sable	Solution NAOH	Adjuvant
G2	450 g			1350 g	300 g	9 g
G3 25%	112.5 g	168.75 g	168.75 g	1350 g	300 g	9 g
G4 30%	135 g	157.5 g	157.5 g	1350 g	300 g	9 g

- Et on fait les mêmes compositions avec les mêmes pourcentages mais avec une vase calcinée

3.7. Préparation Eprouvettes de Mortier :

Les échantillons sont de forme prismatique avec des dimensions de 4 cm x 4 cm x 16 cm. Ils doivent être fabriqués dès que possible après la préparation du mortier.

Le moule métallique, comprenant trois cavités et sa surélévation, est solidement fixé à la table à choc. La première couche de mortier est versée dans la cavité, uniformément répartie à l'aide de la grande spatule, puis compactée avec 60 impacts. Ensuite, la deuxième couche est ajoutée, nivelée avec la petite spatule et à nouveau compactée avec 60 impacts.

3.8. Conservation des épreuves :

Les échantillons doivent demeurer dans le moule, protégés contre les chocs, les vibrations et le dessèchement, pour une durée minimale de 16 heures et maximale de 3 jours, à une température de $20^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$. Après démoulage, les épreuves sont conservés à l'air libre jusqu'à la date des essais à l'état durci.



Figure 18: photos des épreuves

4. Essais de maniabilité (consistance de mortier) :

Elle nous a permis d'évaluer la fluidité du mortier qui fait l'objet des essais.

4.1. Principe de l'essai :

Dans ces expériences, la consistance est déterminée par le temps nécessaire au mortier pour se déverser sous l'influence d'une vibration.

4.2. Conduite de l'essai :

Le mortier est déversé dans la partie la plus spacieuse, délimitée par la cloison, et étalé en quatre couches par piquage. Après quatre minutes depuis la fin du mélange, la cloison est retirée, entraînant le démarrage du vibreur et du chronomètre par l'opérateur. Sous l'effet de la vibration, le mortier commence à se déverser. Le chronomètre est stoppé dès que le mortier atteint un repère sur la paroi opposée du boîtier.

Tableau 7: type de mortier selon le temps de maniabilité

Classe de consistance	Duré (s)
Ferme	$T \geq 40$
Plastique	$20 < t \leq 30$
Très plastique	$10 < t \leq 20$
Fluide	$T \leq 10$

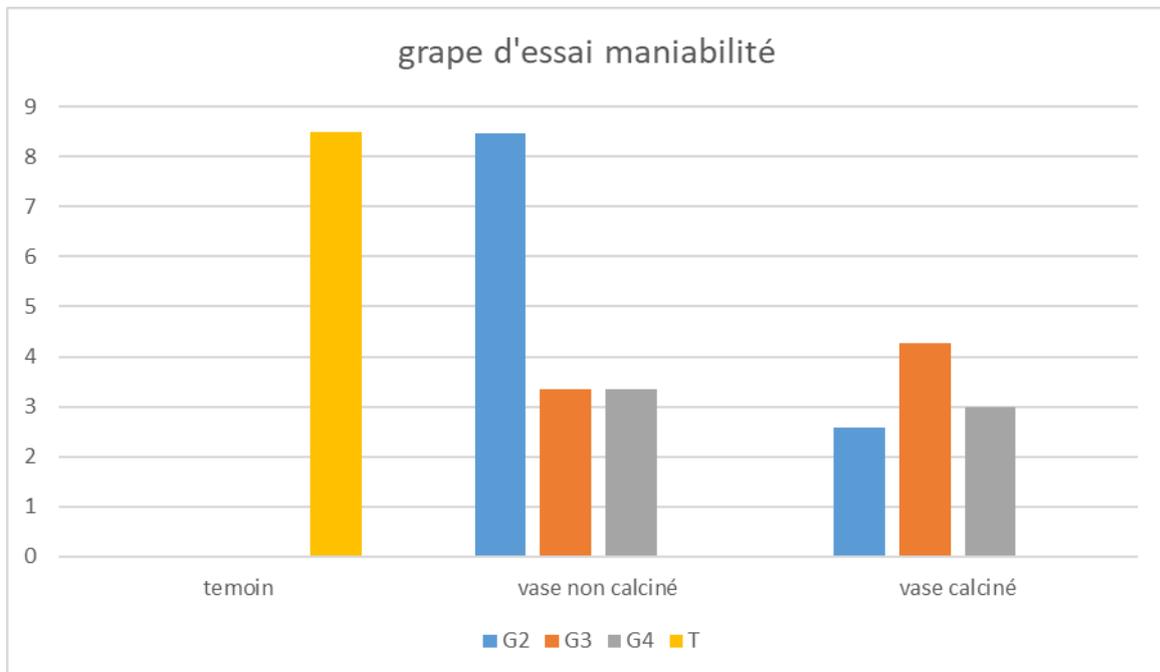


Figure 19: révolution de la maniabilité des différents pourcentages de mortiers



Figure 20: quelque photos sur l'essai de maniabilité

Conclusion :

Ce chapitre, dédié à la présentation des matériaux étudiés et des protocoles de caractérisation, pose les bases de notre programme expérimental. Afin de montrer que les mortiers confectionnés, présentent des caractéristiques de durabilité et de résistance compatibles à celle prescrites dans les normes. Par la suite, ces mortiers vont être caractérisés par le biais d'indicateurs de durabilité généraux tels que la porosité accessible à l'eau, l'absorption et afin d'estimer leur sensibilité et leur pertinence quant à l'évaluation du risque de carbonatation. Ainsi que la caractérisation des propriétés thermiques.

Chapitre IV :
Résultats et interprétations d'Essais

Introduction :

Dans ce chapitre, nous présentons les résultats obtenus à partir des différents essais décrits dans le précédent chapitre. Les résultats obtenus nous permettent d'interpréter l'effet d'ajout de la poudre de verre et la vase sur les propriétés physiques et mécaniques des mortiers étudiés et en particulier sur leur durabilité ainsi que les caractéristiques thermiques.

Nous décrivons, en premier lieu, les résultats relatifs à la caractérisation des mortiers étudiés notamment la résistance mécanique, la perte de masse. Ensuite, nous présentons les résultats des indicateurs de durabilité plus particulièrement la porosité, le coefficient d'absorption et la carbonatation.

Nous avons effectué des essais de résistance mécaniques sur les mortiers avec la poudre de verre et la vase calciné et non calciné, de même pour la durabilité on a effectué les essais d'absorption, de porosité et de carbonatation et pour les caractéristiques thermiques on fait les essais de conductivité thermique en passant par l'essai d'ultra son.

1. Les essais mécaniques sur les mortiers :

1.1. Résistance à la flexion : (Abdelkader, 2019)

L'essai de flexion permet aussi de déterminer la résistance à la rupture d'un matériau. On positionne une barrette du matériau sur deux supports, puis on applique une force croissante au centre de la barrette jusqu'à ce qu'elle se rompe.

Nous avons évalué la résistance à la flexion en utilisant la méthode de la charge concentrée à mi-portée, employant un dispositif de flexion normalisé, également connu sous le nom de flexion à trois points.

Cette méthode implique l'application d'une charge verticale au centre du prisme, sur sa face latérale opposée, et son augmentation progressive jusqu'à rupture, avec une vitesse constante.

Ci-dessous est présenté un schéma illustrant le principe de cet essai

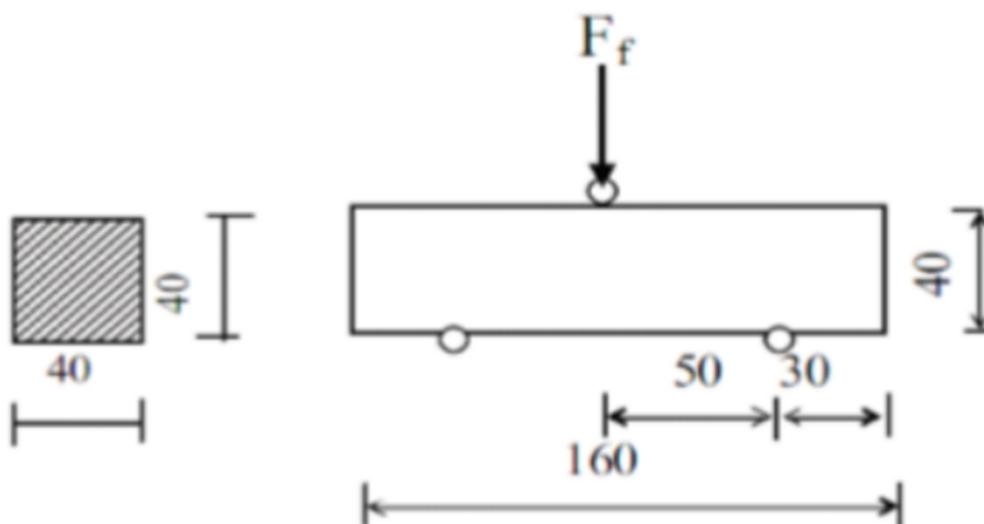


Figure 21 : Principe de l'essai de flexion sur une éprouvette de dimension (4x4x16)



Figure 22: Appareil de l'essai de la flexion

1.2. Résistance à la compression : (Abdelkader, 2019)

L'essai de compression implique l'application de forces axiales opposées sur une éprouvette de forme prismatique positionnée entre les plateaux d'une presse.

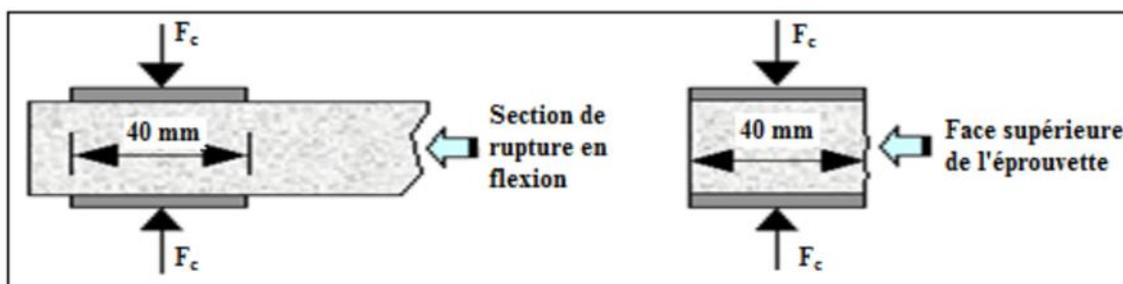


Figure 23 : système de défaillance sous compression

Chapitre IV : Résultats et interprétations d'Essais

Dans cet essai, chaque demi-prisme, résultant de la flexion précédente, est centré latéralement par rapport aux plateaux de la machine à une précision de ± 0.5 mm et positionné longitudinalement de manière à créer un porte-à-faux d'environ 10 mm à l'extrémité du prisme. La charge de compression est ensuite appliquée de manière constante jusqu'à ce que le prisme se rompe.



Figure 24: Appareil de l'essai de la compression

1.3. résultats d'essai de la résistance à la flexion des éprouvettes :

Tableau 8: Résultat d'essai de la résistance à la flexion

Type du Mortier JOURS	7 jours	14 jours	28 jours	90 jours
Vase non calcine				
Mortier témoin	1.9	2	2.9	3
Mortier G2	0.3	0.8	0.95	1.3
Mortier G3 25%	0.5	0.2	0.5	0.55
Mortier G4 30%	0.6	0.3	0.5	0.5
Vase calcine				
Mortier G2	0.2	0.2	0.6	
Mortier G3 25%	0.9	0.5	0.3	
Mortier G4 30%	0.4	0.4	0.75	

Chapitre IV : Résultats et interprétations d'Essais

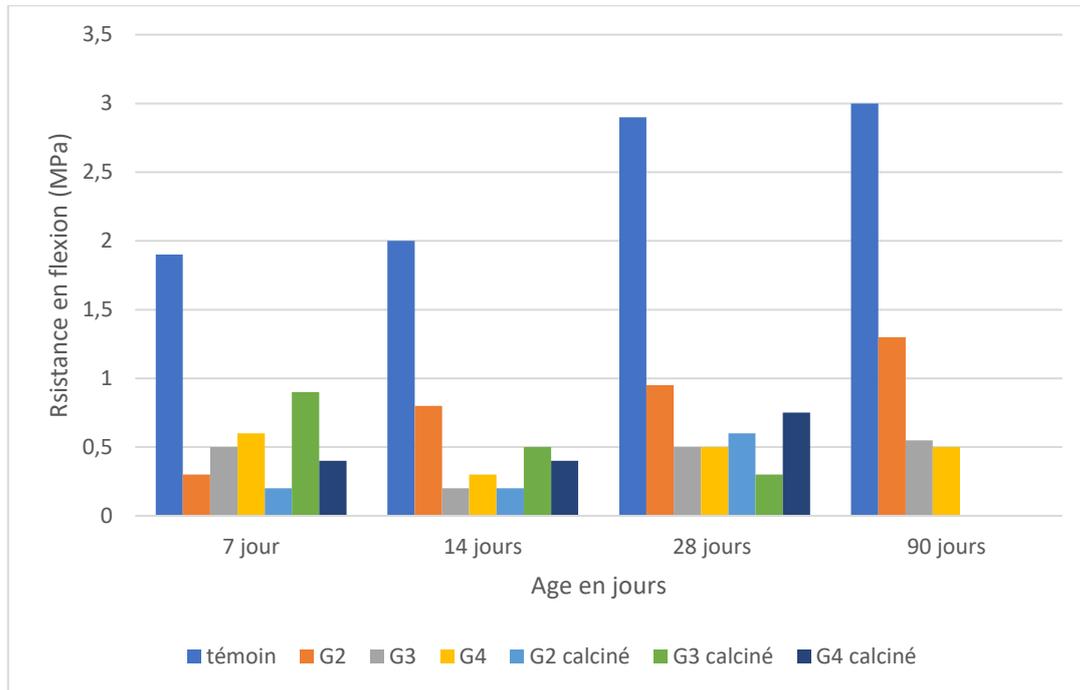


Figure 25: courbe de la résistance à la flexion

Plusieurs chercheurs ont étudié l'évolution de la résistance en compression avec l'ajout de la vase. Mais, les résultats étaient très divers à cause de la différence de la composition du béton (type de granulats utilisés, proportions des composants du béton et rapport E/C) et des pourcentages d'ajout. Notre originalité réside dans le fait d'activer la vase à l'aide de NaOH.

On constate sur la figure 6 une évolution de la résistance en fonction de l'âge.

On remarque aussi que la gâché N° 4 donne des résistances de flexion supérieure par rapport aux autres formulations.

Chapitre IV : Résultats et interprétations d'Essais

1.4. Résultats d'essai de la résistance à la compression des éprouvettes :

Tableau 9: Résultat d'essai de la résistance à la compression

	Résistance Mpa			
	7 jours	14 jours	28 jours	90 jours
Vase non calcine				
Mortier témoin	25,38	32,66	39,22	59,10
Mortier G2	7,18	10,23	24,67	33,58
Mortier G3 (25%)	18,06	24,51	32,89	41,60
Mortier G4 (30%)	15,88	21,72	29,42	33,75
Vase calcine				
Mortier G2	10,80	17,46	34,69	49,87
Mortier G3 (25%)	31,20	44,74	49,56	60,74
Mortier G4 (30%)	26,82	35,48	38,77	42,44

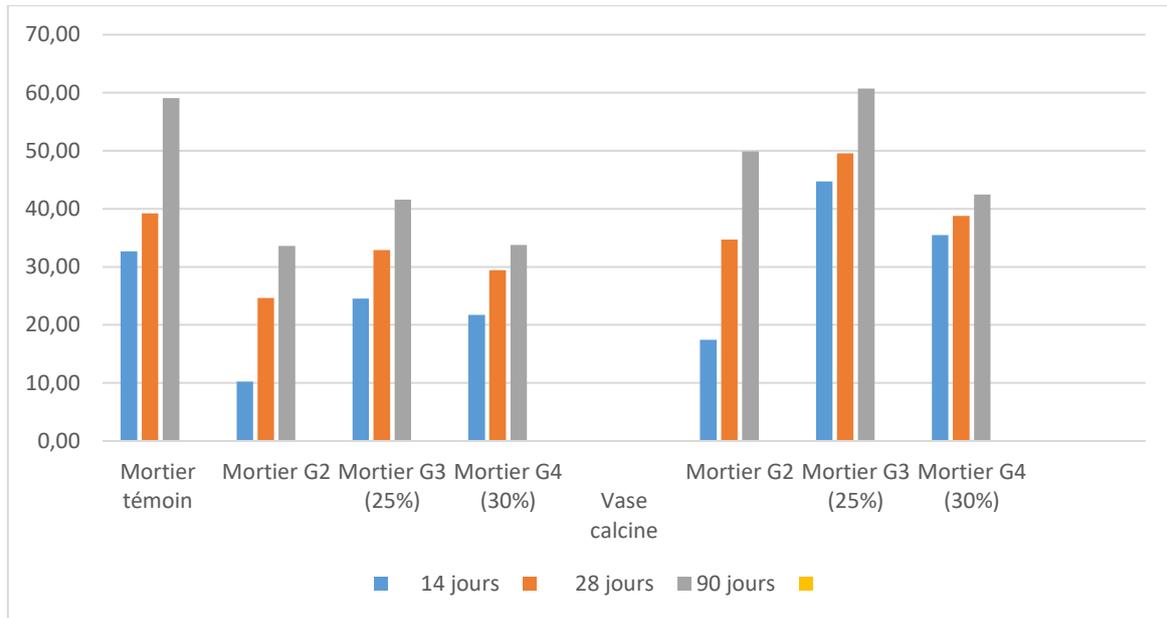


Figure 26: Courbe de la résistance à la compression

Sur la figure 7 on constate une évolution de la résistance en compression des différents types de mortier, on remarque aussi que les mortiers avec la vase calcinée présentent des résistances supérieures à celle de la vase non calcinée. Dans la gamme des mortiers à base de vase non calciné on constate que les mortiers de la gâchée N°3 dont le pourcentage d'ajouts est de 25% est supérieurs par rapport aux autres mortiers.

1.5. Durabilité du béton : (Abdelkader, 2019)

La durabilité se définit par la capacité à maintenir sa résistance et à remplir sa fonction pendant toute sa durée de vie utile, plutôt que de manière indéfinie. Cela implique que le mortier doit résister à divers processus de dégradation potentiels, tels que les cycles de gel-dégel et les attaques chimiques. Une durabilité médiocre se traduit par une détérioration qui peut être causée par des facteurs externes ou des phénomènes internes du mortier, qui peuvent être de nature mécanique, physique ou chimique. Les réactions alcali-silice et alcali-carbonate, ainsi que la présence d'ions agressifs comme les chlorures, les sulfates et les gaz carboniques, sont responsables des attaques chimiques externes. Ces agents peuvent provenir de sources naturelles ou industrielles. Il est important de noter que la détérioration du mortier est rarement le résultat d'une seule cause ; souvent, le mortier peut se comporter de manière satisfaisante malgré certaines lacunes, mais l'ajout d'un facteur défavorable peut entraîner des problèmes.

Chapitre IV : Résultats et interprétations d'Essais

Pour assurer la durabilité d'un ouvrage, il est nécessaire de prendre en compte les éléments suivants :

- 1- Opter pour des matériaux durables.
- 2- Adapter la conception de la structure aux conditions environnement.
- 3- Assurer une surveillance rigoureuse de la qualité des matériaux et des méthodes de construction.

1.5.1. Indicateur de durabilité généraux :

Les indicateurs généraux de durabilité sont les paramètres essentiels qui sont considérés comme fondamentaux.

- Porosité accessible à l'eau,
- Absorption,
- Conductivité,
- Ultrason,

1.6. La porosité :

1.6.1. Définition : (Abdelkader, 2019)

Le béton est composé de vides capables de retenir différents fluides tels que l'air, l'eau ou des hydrocarbures sous forme liquide ou gazeuse, et de les laisser circuler, ce qui le rend poreux et perméable.

Un milieu poreux se compose d'une matrice solide avec des vides, appelés pores, qui peuvent être connectés ou non. Lorsque ces vides forment un réseau complexe et connecté permettant le transfert de masse depuis l'extérieur du milieu poreux, on parle de porosité ouverte. Ces pores sont généralement en communication avec l'atmosphère, directement ou indirectement. En revanche, les pores isolés ou ceux qui ne sont pas connectés à l'extérieur sont considérés comme fermés.

Une faible porosité confère une bonne résistance contre les agents agressifs. Le béton, en tant que matériau poreux, comprend des pores qui sont cruciaux pour sa résistance et sa durabilité.

Le paramètre le plus couramment reconnu est la porosité P , qui se définit comme le rapport entre le volume des vides V_v et le volume total V_t .

$$P = \frac{V_v}{V_t} \quad \text{avec} \quad V_t = V_v + V_s$$

1.6.2. La porosité accessible à l'eau : (Abdelkader, 2019)

La détermination de la porosité accessible à l'eau est cruciale pour évaluer et prédire la durabilité des matériaux. Elle constitue un indicateur fondamental de durabilité selon les directives énoncées dans le document publié par l'AFGC en 2004 [AFGC 2004]. Parmi les méthodes disponibles, la pesée hydrostatique selon le mode opératoire AFPCAFREM offre une mesure simple et praticable sur une large variété de matériaux.

En utilisant cette technique, il est également possible de calculer la densité sèche des matériaux, ce qui permet d'obtenir une évaluation complète de leurs propriétés physiques.

La porosité est calculée par la formule suivante :

$$\varepsilon = \frac{(M_{air} - M_{sec})}{M_{air} - M_{eau}} \times 100$$

$$\text{Témoïn : } \frac{(579,2 - 558,0)}{(579,2 - 319,4)} \times 100 = 8,160 \%$$

Non calcine :

$$G2 : \frac{(555,5 - 553,3)}{(555,5 - 303,3)} \times 100 = 0,873 \%$$

$$G3 : \frac{(547,0 - 498,9)}{(547,0 - 296,3)} \times 100 = 19,186 \%$$

$$G4 : \frac{(547,0 - 488,1)}{(547,0 - 293,3)} \times 100 = 23,216 \%$$

La vase calcine :

$$G2 : \frac{(523,1 - 468,2)}{(523,1 - 275,0)} \times 100 = 22,128 \%$$

$$G3 : \frac{(214,2 - 193,8)}{(214,2 - 114,1)} \times 100 = 20,379 \% \quad \text{une demi-éprouvette}$$

$$G4 : \frac{(535,0 - 476,7)}{(535,0 - 282,6)} \times 100 = 23,098 \%$$

Chapitre IV : Résultats et interprétations d'Essais

Tableau 10: Pourcentage de la porosité

Type de Mortier	Le (%) de la porosité
Vase non calcine	
Mortier témoin	8,160
Mortier G2	0,873
Mortier G3 25%	19,186
Mortier G4 30%	23,216
Vase calcine	
Mortier G2	22,128
Mortier G3 25%	20,379
Mortier G4 30%	23,098

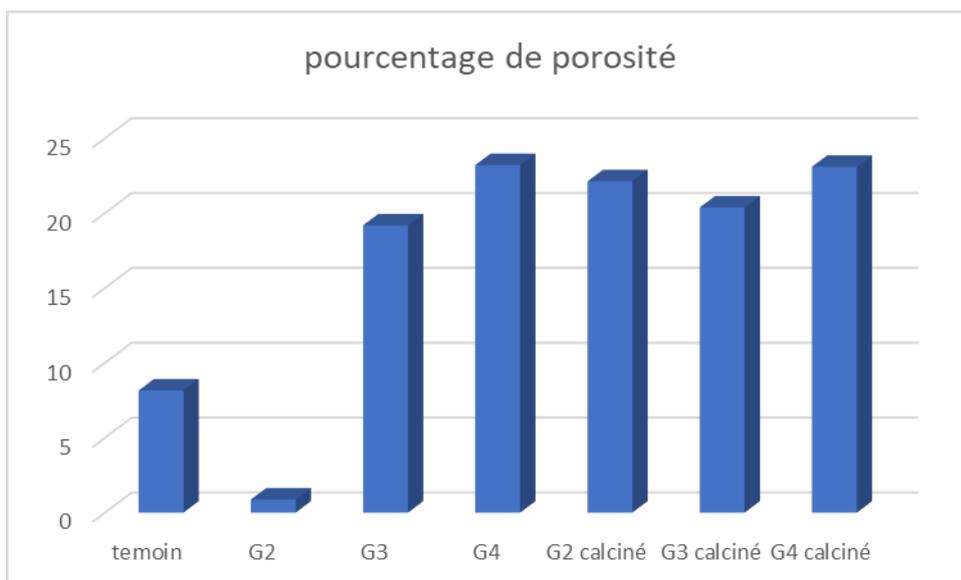


Figure 27 : pourcentage de porosité.

1.7. Essai Absorption capillaire : (kaouter, 2018)

Dans le cadre de cette étude, un essai complémentaire a été mené afin de mesurer l'absorption capillaire des différents types de mortiers examinés. L'objectif était d'analyser l'impact de l'ajout de poudre de verre et la vase (calcine et non calcine), utilisée en remplacement partiel du ciment à diverses concentrations, sur cette caractéristique physique. Cette investigation vise à enrichir notre compréhension de la valorisation de la poudre de verre et la vase dans les mortiers.

L'essai vise à mesurer la quantité d'eau absorbée par les mortiers à différents rapports eau/liant et avec diverses concentrations de poudre de verre et la vase (calcine et non calcine) au fil du temps. Cette évaluation a été réalisée sur des échantillons prismatiques à l'âge de 28 jours.

Après la période de cure, les échantillons sont retirés puis séchés pendant 24 heures dans une étuve réglée à 85 °C. Ensuite, ils sont refroidis dans un dessiccateur pendant 24 heures afin d'atteindre une stabilisation thermique. Pour empêcher tout échange hydrique latéral durant

Chapitre IV : Résultats et interprétations d'Essais

l'essai, cinq faces de chaque éprouvette ont été enduites d'une couche de résine époxy, laissant une seule face non recouverte de résine, avec une surface de (4 x 4) cm².

Après ces préparations, l'essai d'absorption capillaire est lancé. Les éprouvettes testées sont d'abord pesées initialement (notées M0 en grammes), puis elles sont positionnées verticalement sur un bac en verre contenant de l'eau distillée, de sorte que la surface non recouverte des échantillons soit immergée dans l'eau sur une profondeur de 5 mm. À des intervalles spécifiques, les échantillons sont épongés et leur évolution de masse est suivie en pesant chaque échantillon (noté Mi) après 5, 10, 15, 30 et 60 minutes d'immersion dans l'eau.

Tableau 11: Le poids net des éprouvettes avant de les recouvrir de RESINE

Mortier témoin	541.3 g
G2	527.1 g
G3	495.1 g
G4	485.8 g
G2 Calcine	472.0 g
G3 Calcine	484.8 g
G4 Calcine	475.4 g

- Après séchage pendant une longue durée a l'étuve :



Figure 27: quelques photos lorsqu'on a fait la résine sur éprouvette

Chapitre IV : Résultats et interprétations d'Essais



Figure 28: Essai d'absorption capillaire

Tableau 12: Résultat d'essai d'absorption

Type de Mortier	Durée				
	5 min	10 min	15 min	30 min	60 min
Mortier Témoin	192.3 g	541.8 g	541.9 g	442.2 g	542.7 g
G2	179.1 g	528.9 g	529.2 g	529.7 g	530.5 g
G3	149.0 g	499.4 g	500.2 g	502.0 g	505.3 g
G4	137.5 g	487.7 g	488.5 g	490.4 g	492.8 g
G2 Calcine	126.8 g	479.4 g	481.4 g	485.6 g	491.7 g
G3 Calcine	138.7 g	489.2 g	489.9 g	491.6 g	490.5 g
G4 Calcine	128.7 g	479.2 g	480.2 g	481.8 g	484.9 g

Chapitre IV : Résultats et interprétations d'Essais

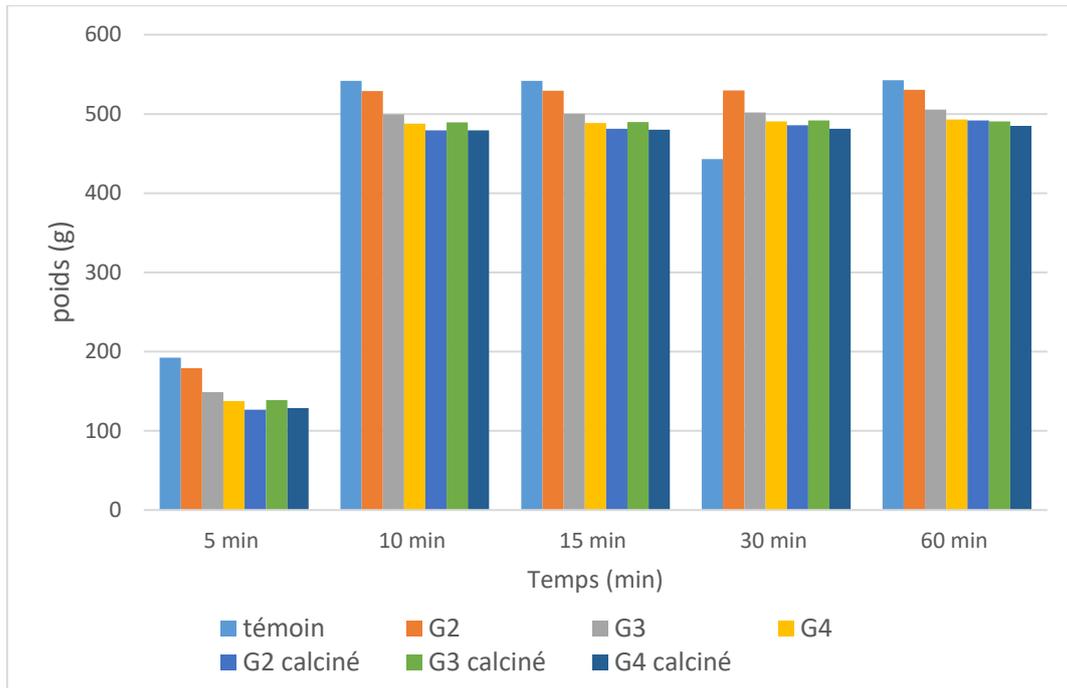


Figure 29: Courbe de résultats d'essai absorption en fonction du temps

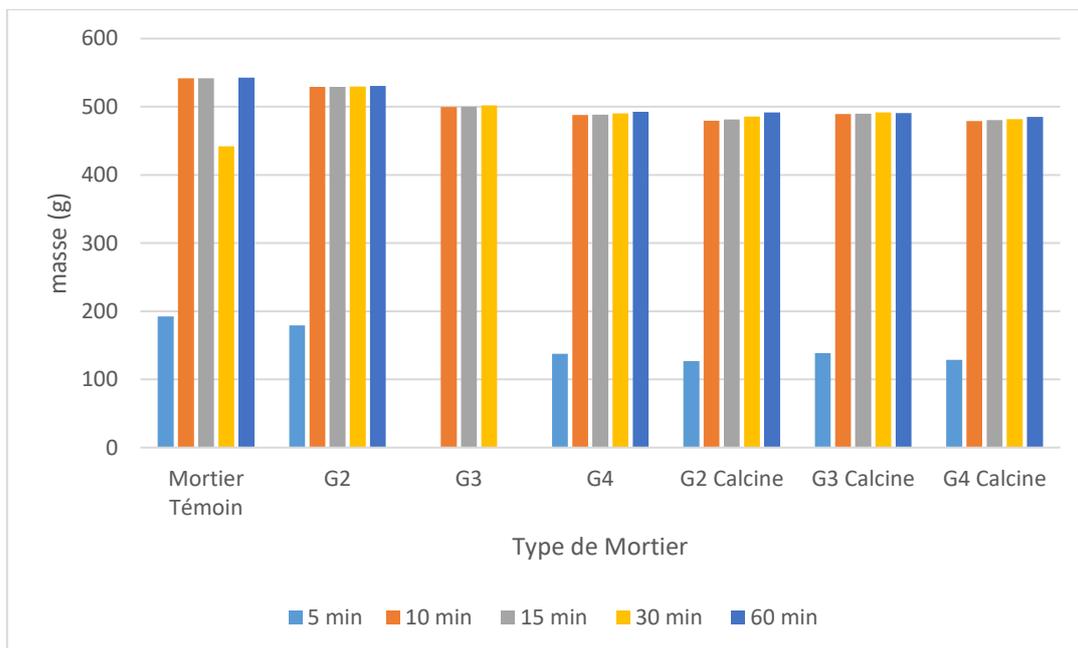


Figure 30: Courbe de résultats d'essai absorption en fonction du type de mortier

Dans ces figures on remarque que les différents types de mortiers on presque la cinétique d'évolution de l'absorption. Mais pour le mortier témoin a une absorption plus importante que

Chapitre IV : Résultats et interprétations d'Essais

les autres mortiers ce qui signifie que les mortiers avec ajouts de la poudre de verre et de la vase ont une meilleure durabilité.

1.8. Essai de carbonatation :

L'essai de carbonatation du béton est une méthode utilisée pour évaluer la profondeur de carbonatation à l'intérieur d'un échantillon de béton. La carbonatation est un processus chimique où le dioxyde de carbone (CO_2) de l'air réagit avec l'hydroxyde de calcium ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) dans le béton pour former du carbonate de calcium (CaCO_3). Cette réaction abaisse le pH du béton, ce

Type de Mortier	La carbonatation	
Vase non calcine		
Mortier témoin	0	
Mortier G2	0,333	0,475
Mortier G3 25%	0,666	1,3
Mortier G4 30%	0,862	0,727
Vase calcine		
Mortier G2	0,941	
Mortier G3 25%	1,175	
Mortier G4 30%	0.62	

Tableau 13: Mesure de la carbonatation

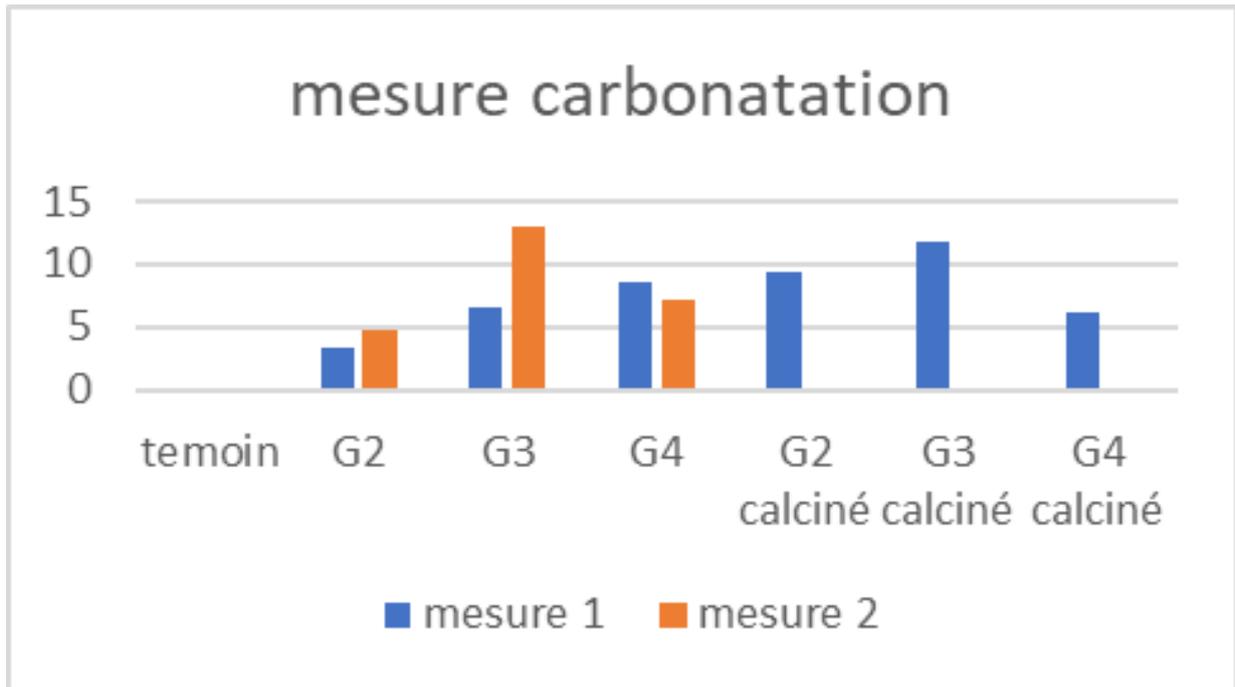


Figure 32 : mesure carbonatation.



Figure 31: Carbonatation des éprouvettes

1.9. Essai d'auscultation sonore : (Ultrason) (kaouter, 2018)

1.9.1. Définition :

L'essai connu sous le nom d'essai aux ultrasons est utilisé pour mesurer la vitesse de propagation des ondes soniques à travers un échantillon de matériau, tel que du mortier dans notre cas. Cette vitesse peut être déterminée dans les directions longitudinale et transversale de l'échantillon, et elle est généralement plus élevée lorsque le matériau est plus dense et donc plus résistant.

1.9.2. Méthode de l'essai :

La méthode repose sur la mesure du temps nécessaire à une onde pour parcourir une distance définie à travers le matériau. L'appareillage comprend un capteur en contact avec l'échantillon, un générateur d'ondes, un amplificateur, un circuit de mesure du temps et un affichage numérique indiquant le temps écoulé pour que les ondes traversent le matériau. Il est important que le matériau soit homogène, isotrope et élastique entre les transducteurs pour des résultats précis.

Chapitre IV : Résultats et interprétations d'Essais

Tableau 14: Classification du béton d'après la vitesse de son

Vitesse du son en m/s	Appréciation de la qualité
>4500	Excellent
3500 à 4500	Bon
3000 à 3500	Assez bon
2000 à 3000	Médiocre
< 2000	Très mauvais



Figure 32: Appareil à ultrasons type Pundit Lab +

1.9.3. Les avantages de l'essai de propagation des ultrasons :

Selon CHUNG ET LAW (1983), l'essai de propagation des ultrasons est efficace pour détecter diverses anomalies telles que les fissures parallèles au chemin de l'onde, les vides, les dommages causés par le gel-dégel ou le feu, ainsi que pour évaluer l'uniformité du béton dans des structures similaires. Cette méthode est donc considérée comme idéale pour évaluer l'homogénéité du mortier. De plus, les essais par ultrasons ne se limitent pas aux échantillons de laboratoire, mais peuvent également être effectués in-situ sur des ouvrages terminés ou en cours de construction

Chapitre IV : Résultats et interprétations d'Essais

L'essai de propagation des ultrasons peut être employé pour surveiller les évolutions microstructurales dans un élément, notamment suite à des cycles répétés de gel-dégel. Étant donné la taille relativement réduite des échantillons testés, nous avons opté pour une méthode de mesure directe dans notre recherche. Cette approche peut également être déployée in-situ, par exemple sur des poteaux ou certaines poutres. Les transducteurs sont positionnés de part et d'autre de l'élément à tester pour assurer une évaluation précise

Tableau 15: Les résultats d'essai ultrason

		Essai d'auscultation sonique : (Ultrason)			
Type du Mortier	Jours	7 jours	14 jours	28 jours	90 jours
Vase non calcine					
Mortier témoin		3645 m/s	3730 m/s	4336 m/s	4188 m/s
Mortier G2		8752 m/s	1447m/s	2649 m/s	2703 m/s
Mortier G3 (25%)		2694 m/s	2616 m/s	2067 m/s	2363 m/s
Mortier G4 (30%)		2627 m/s	3426 m/s	1800 m/s	2059 m/s
Vase calcine					
Mortier G2		1643 m/s	1700 m/s	1618 m/s	
Mortier G3 (25%)		2996 m/s	3053 m/s	2446 m/s	
Mortier G4 (30%)		2606 m/s	2904 m/s	2763 m/s	

Chapitre IV : Résultats et interprétations d'Essais



Figure 33: Essai du l'ultrason

- Voici les résultats de notre essai sur le tableau dans différents jours (7,14 ,28,90 jours) :

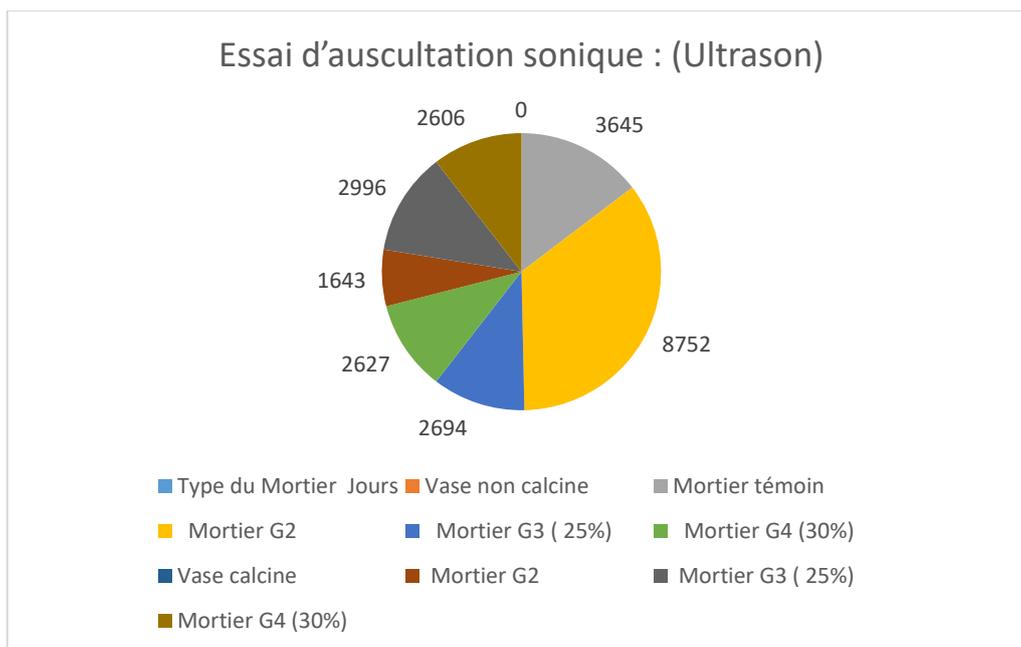


Figure 34: courbr de résultat d'essai ultrason

Chapitre IV : Résultats et interprétations d'Essais

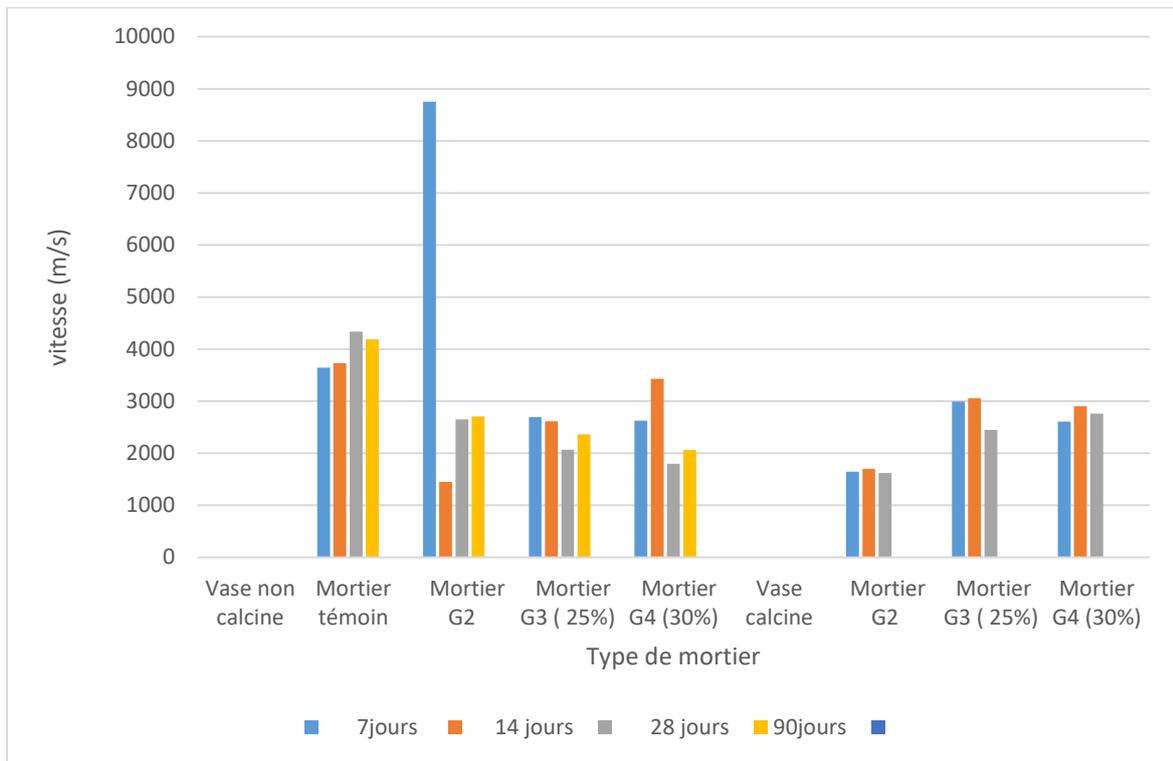


Figure 35: résultat d'essai de vitesse de propagation

1.10. Essai de Conductivité thermique :

1.10.1. Méthode du fil chaud :

Cette méthode est surtout utilisée pour mesurer la conductivité thermique des matériaux réfractaires isolants à haute température et les matériaux isolant en vrac. Un fil résistif est utilisé comme source de chauffage. Le fil généralement en platine sert aussi de capteur de température.

1.10.2. Le but :

le but Est de déterminer expérimentalement la conductivité thermique de l'échantillons de forme cubique (7x 7x 7) cm et prismatique (4x 4x 16) a chaque changement de température 24 C, 200 C, 400C et a 600 C.

1.10.3. Mode d'emplois :

- Après séchage des échantillons.
- Laissez l'échantillon repose pendant 24 heures.
- Percez l'échantillon avec un diamètre de 2 mm et une profondeur de 1 cm.
- Versez la colle dans le deux trous.
- Allumez l'appareil.
- Placez les connecteurs à l'intérieur des deux trous.
- Allumez l'appareil et lire les données
- Répéter l'opération température de 200°C, 400°C et 600°C.

Chapitre IV : Résultats et interprétations d'Essais



Figure 36: Appareil de mesure conductivité thermique

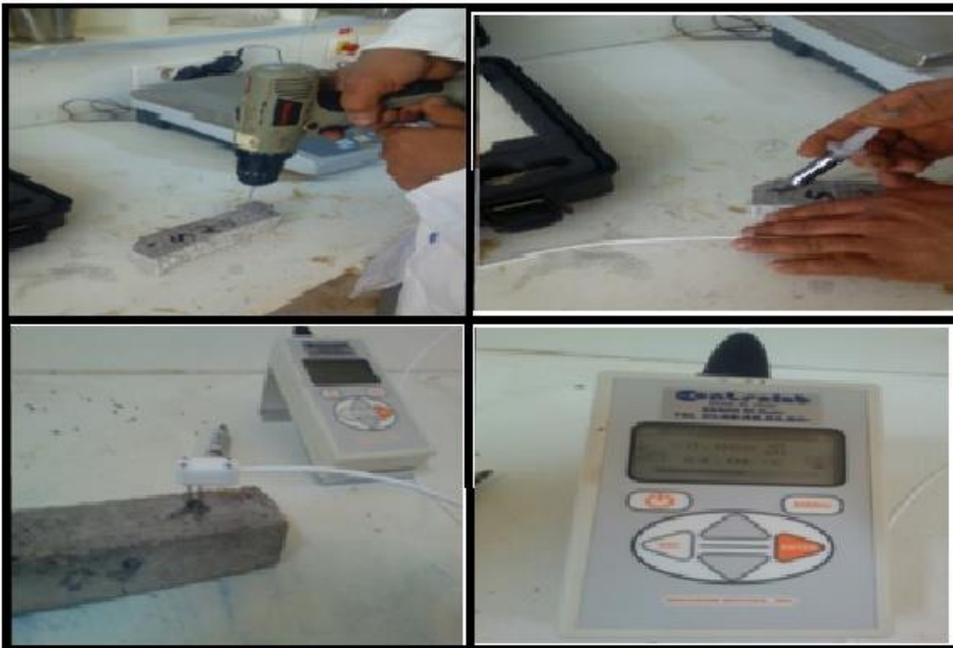


Figure 37: Les étapes de mesure la conductivité thermique

Chapitre IV : Résultats et interprétations d'Essais

Tableau 16 : LES résultats de conductivité thermique

Type du Mortier JOURS	D mm^2/s	K $\omega/m.k$	rh0 $c.cm /\omega$	C $MJ /m^3.k$	Température $^{\circ}C$
Vase non calcine					
Mortier témoin	0,758	0,976	102,46	1,287	23,87
Mortier G2	0,472	1,064	93,97	2,257	23,09
Mortier G3 25%	0,501	1,272	78,59	2,538	21,80
Mortier G4 30%	0,375	0,805	124,2	2,147	21 ,99
Vase calcine					
Mortier G2	0,277	0,601	166,4	2,174	22 ,21
Mortier G3 25%	0,396	0,920	108,7	2,323	22,86
Mortier G4 30%	0,656	0,919	108,8	1,401	22,01

Chapitre IV : Résultats et interprétations d'Essais

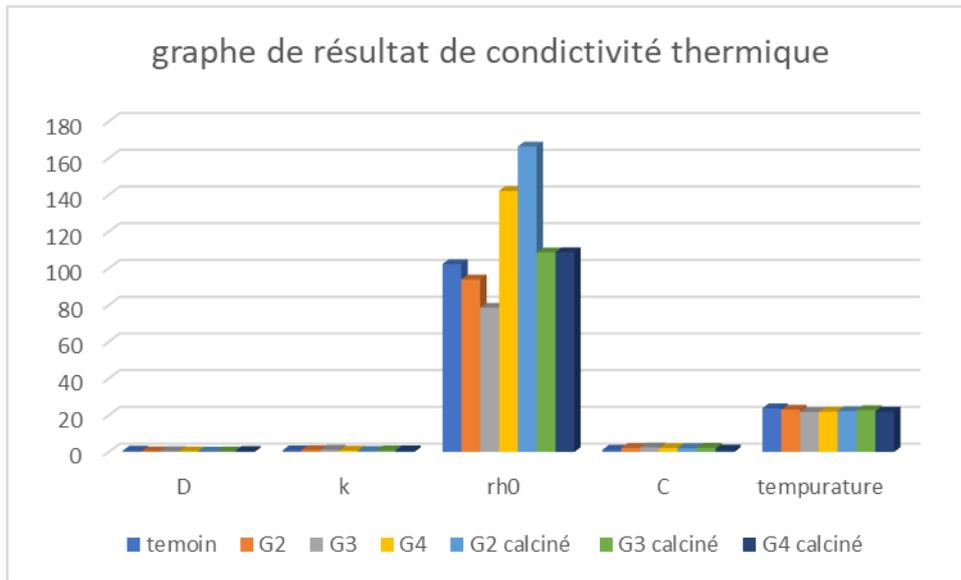


Figure 40 : graphe sur résultat de conductivité thermique

Conclusion :

Ce chapitre rassemble les résultats des essais menés dans le cadre d'une étude expérimentale sur le comportement des mortiers avec ajout de la poudre de verre et de la vase calciné et non calciné et activé avec le NaOH, le premier volet a été consacré à la détermination des grandeurs mesurables nécessaires à la prédiction de la durabilité des mortiers à base de déchets.

L'étude de durabilité a été menée sur trois grandeurs, le calcul porosité accessible à l'eau, l'absorption et enfin la carbonatation.

Il apparaît donc important, au regard de ces résultats, de ne pas sous-estimer l'effet de l'ajouts de déchet ou le remplacement totale sur la durabilité dans les matériaux cimentaires, ainsi que pour l'effet de la carbonatation. La conséquence sur la durée de service des structures évoluant dans les milieux chauds et agressifs. L'ajout de ces déchets a été démontré qu'il est bénéfique sur la durabilité des bétons.

Conclusion Générale

L'utilisation de la poudre de verre et de la vase des barrages, qu'elle soit calcinée ou non, dans la fabrication du béton est une pratique qui offre plusieurs avantages, notamment économiques et environnementaux. Voici une conclusion générale sur leurs impacts sur les propriétés mécaniques et durables du béton :

L'ajout de poudre de verre au béton peut améliorer la résistance à la compression, surtout lorsqu'elle est finement moulue. La réaction pouzzolanique entre la poudre de verre et l'hydroxyde de calcium produit des composés supplémentaires de silicate de calcium hydraté (C-S-H), renforçant ainsi la matrice du béton.

L'incorporation de vase des barrages dans le béton peut varier en fonction de sa composition chimique et de son traitement. La vase calcinée peut améliorer la résistance en agissant comme un matériau cimentaire supplémentaire.

La réduction de la porosité est souvent observée avec l'ajout de poudre de verre en raison de la formation de produits C-S-H supplémentaires, qui comblent les pores du béton. Une porosité réduite améliore la résistance globale du béton et sa durabilité. La vase, notamment lorsqu'elle est calcinée, peut également contribuer à une réduction de la porosité, améliorant ainsi la densité et la durabilité du béton.

L'utilisation de la poudre de verre peut réduire la vitesse de carbonatation du béton. La formation de C-S-H supplémentaires consomme plus d'hydroxyde de calcium, ce qui diminue la quantité de portlandite disponible pour la carbonatation. Les effets sur la carbonatation peuvent varier. La vase calcinée, en fonction de sa composition, peut soit contribuer à la réduction de la carbonatation en agissant comme une source pouzzolanique, soit rester neutre.

La conductivité thermique du béton avec de la poudre de verre peut être légèrement réduite en raison de l'amélioration de la microstructure et de la réduction de la porosité. L'impact sur la conductivité thermique dépend de la nature de la vase et de son traitement. En général, une amélioration de la densité du béton peut entraîner une réduction de la conductivité thermique.

L'intégration de ces matériaux alternatifs (poudre de verre et vase des barrages) dans la production de béton peut significativement réduire les coûts de matériaux et améliorer la

Conclusion Générale

Durabilité à long terme. La réutilisation de déchets industriels et de résidus de barrages contribue également à une construction plus durable et à une réduction de l'empreinte carbone.

En conclusion, l'utilisation de la poudre de verre et de la vase des barrages, qu'ils soient calcinés ou non, présente des avantages substantiels pour la fabrication de béton, notamment en améliorant la résistance mécanique, en réduisant la porosité et en retardant la carbonatation. Ces ajouts peuvent également influencer positivement la conductivité thermique, contribuant ainsi à la performance énergétique des structures en béton. Leur application dans le béton économique est prometteuse, offrant une alternative durable et rentable tout en valorisant des matériaux de rebut.

Références

- Abdelkader, H. W. (2019). *effet de la carbonatation sur le mortier à base de la pouzzolane et la poudre de marbre* .
- Abdelkadir Belghit, N. E. (2015). https://www.researchgate.net/publication/362712015_La_Vase_Calcinee_des_Barrages_aut_ant_qu'addition_substituable_partiellement_au_ciment_comportement_vis-a-vis_de_l'Attaque_de_l'Acide_Chloridrique.
- Adel, B. M. (2017). *Utilisation de poudre de verre dans le*.
- Allaoua, B. (2006). *Valorisation des fibres métalliques issues des déchets*.
- CléoLANEYRIE. (2014). *Valorisation des déchets de chantier du BTP: comportement à. france : Université de Cergy*.
- company, b. p. (2012). <https://bricoleurpro.ouest-france.fr/dossier-2291-mortier.html>.
- D, N. (2017). *Influence de la quantité de fibres naturelles (alfa) et commerciales*.
- ECO Entreprises Québec. (2019). *memoire déposé dans le cadre du mandat d'initiative sur les enjeux de recyclage et de valorisation locale du verre* .
- [file:///C:/Users/asus/Downloads/MetroPol-Methode-Analyse-METHANALYSE_152%20\(4\).pdf](file:///C:/Users/asus/Downloads/MetroPol-Methode-Analyse-METHANALYSE_152%20(4).pdf). (s.d.).
- [file:///C:/Users/asus/Downloads/MetroPol-Methode-Analyse-METHANALYSE_152%20\(4\).pdf](file:///C:/Users/asus/Downloads/MetroPol-Methode-Analyse-METHANALYSE_152%20(4).pdf). (s.d.).
- kaouter, M. S. (2018). *valorisation de la poudre de verre dans des mortiers à base des matériaux locaux* .
- KARINA, T. (2016). *Etude à l'état frais et à l'état durci de l'influence des Fines de Mortiers de Démolition sur les propriétés des Mortiers*.
- Lafond, A. (2022). *QUELLES SONT LES DIFFÉRENCES ENTRE LE MORTIER ET LE BÉTON ?*
- MERIEM, A. K. (2019/2020). *Etude des propriétés mécaniques d'un mortier à base de verre recyclé*.
- Monk, D. S. (2014). *Concrete: Microstructure, Properties, and Materials, 4th Edition*.
- O. Belarbi, D. d., Hakmi .Mohamed Amine, A., & Hamdani .Med. Tarek, A. (2012). *valorisation des déchets en verre dans l'industrie des*. Université de Saida.
- réservés, D. T. (2022). <https://www.distriartisan.fr/blog/tout-savoir-sur-le-mortier/>.
- S, S. (2006). *Comportement des béton a base de granulats recyclés*.