

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة غرداية
Université de Ghardaïa

N°d'enregistrement
/...../...../...../...../.....



كلية العلوم والتكنولوجيا
Faculté des Sciences et de la Technologie
قسم الري والهندسة المدنية
Département Hydraulique et Génie Civil

Mémoire
Pour l'obtention du diplôme de Master

Domaine : Sciences et Technologies
Filière : génie civil.
Spécialité : Structure

**Étude de l'influence de la température des constituants sur
les caractéristiques mécaniques et physiques d'un mortier de
ciment**

Soutenu publiquement le 21/9 /2024

Par
-Hacini Hanane & - Hiba Sara

Devant le jury composé de :

Nom et prénom	Maitre Assistant B	Univ. Ghardaïa	Président
AMIEUR Abdenacer	Maitre Assistant A	Univ. Ghardaïa	Directeur de mémoire
KADI Mokhtaria	Maitre de conférences A	Univ. Ghardaïa	Co-Directeur de mémoire
SALHI Imad	Maitre de conférences A	Univ. Ghardaïa	Examineur 1

Année universitaire 2023/2024

Remerciements

Au nom d'Allah Clément et Miséricordieux !

Après avoir rendu grâce à Dieu le tout puissant, le bienveillant, maître des temps
et des circonstances car sans lui rien n'est possible.

Nous souhaitons tout d'abord remercier monsieur **AMIEUR Abdenacer**
qui a accepté de nous encadrer, de nous avoir encouragé et soutenus.

On lui exprime en toute sincérité notre gratitude pour sa patience, sa
disponibilité et sa confiance durant la réalisation de ce travail de fin d'études.

Ses conseils nous ont été des plus précieux.

Aux membres du jury qui nous ont fait l'honneur d'assister et d'avoir accepté la
lourde tâche d'examiner notre travail.

Nous voudrions également exprimer nos remerciements sincères au personnel
du Laboratoire des Travaux Publics du Sud (LTPS) Ghardaïa.

Enfin, nous tenons également à remercier tous les enseignants qui ont contribué
à notre formation, qui ont accepté de répondre à nos questions durant notre
cursus universitaire.



DÉDICACE

A mes très chers parents qui m'ont guidé durant les moments les plus pénibles de ce long chemin, ma mère qui a été à mes côtés et ma soutenu durant toute ma vie, et mon père qui a sacrifié toute sa vie afin de me voir devenir ce que je suis, merci mes parents.

A l'ingénieur égyptien Mahmoud Shehta Elshabrawy , je tiens à exprimer ma profonde gratitude et mon immense reconnaissance pour votre soutien illimité et votre aide précieuse .Grace à vous et à vos efforts, j'ai pu atteindre mes objectifs et surmonter les difficultés sur mon chemin académique .Vous avez été un ami et un enseignant professionnel qui a enrichi ma vie par votre savoir et votre générosité .Je pris dieu de vous récompenser généreusement et de vous accorder encore plus de succès et d'excellence dans votre vie professionnelle et personnelle .

A toutes personnes qui ma aider à pour suivre mes études.

A ma très chère sœur Nasrine ,mes frères Hacene Loukmane et Lazhari.

A toute ma famille sans exception.

A tous mes amies.

A celle qui ma collaboré dans la réalisation de ce mémoire, à toi Sara.

Enfin à tous ceux qui nous sont très chers.





الإهداء

بسم الله الرحمن الرحيم

لم تكن الرحلة قصيرة ولا ينبغي لها أن تكون, لم يكن الحلم قريبا ولا كان الطريق مخفوفاً بالتسهيلات.
الحمد لله الذي يسر البدايات، وأكمل النهايات وبلغنا الغايات , الحمد لله الذي ما تم جهد إلا بعونه وما ختم سعي
إلا بفضله الحمد لله على التمام والختام

بسم خالقي وميسر أموري وعصمت أمري, لك كل الحمد والامتنان.

اهدي هذا النجاح لنفسى أولا ثم إلى كل من سعى معي لإتمام هذه المسيرة، دمتم لي سنداً لا عمر له....
إلى من كلله الله بالهيبة والوقار ... إلى من أحمل اسمه بكل فخر ... إلى من حصد الأشواك عن دربي ليمهد لي طريق
العلم بعد فضل الله ما أنا فيه يعود إليه، الرجل الذي سعى طوال حياته لكي نكون أفضل منه، أبي العزيز.
إلى ملاكي في الحياة، إلى معنى الحب، وإلى معنى الحنان والتفاني، إلى بسمه الحياة وسر الوجود، إلى من كان دعاؤها سر
نجاحي وحنانها بلسم جراحي، التي كانت لي الأمو والأخت والصديقة، داعمي الأول ووجهتي التي استمد منها القوة،
أمي الغالية.

إلى أحن القلوب وأجمل عطايا ربي، إخوتي كوثر وفاطمة الزهراء و(مارية ومحمد عصفير الجنة رحمهما الله)، وإلى عائلتي.
إلى رفيقة الخطوة الأولى، ومن جمعني بها أساور الجامعة واللحظات الجميلة في حرمه، صديقتي حنان.

هبة سارة



Abstract :

The results show that the temperature of the constituents significantly affects the overall performance of cement mortar. An increase in the temperature of the components accelerated the hardening process, which had a positive effect on mechanical strength. In contrast, a decrease in temperature slowed down the hardening process and slightly improved elasticity but had a negative effect on compressive strength.

The study recommends rigorous control of the temperature of the constituents, especially in large projects or in extreme environmental conditions, as temperature variations can significantly affect workability, setting quality, and final performance. Proper temperature management helps to improve the durability of concrete structures, ensuring good long-term performance and reducing the risk of cracking or structural degradation.

Keywords: Temperature, Mechanical and Physical Characteristics, Mortar, Cement, Mixing Water, Sand

Résumé :

Cette étude se concentre sur l'impact de la température des principaux constituants du mortier de ciment, tels que l'eau et le sable, sur ses caractéristiques mécaniques (compression et flexion) et physiques (temps de prise et la densité), afin de comprendre comment les différentes températures influencent les processus chimiques et physiques lors de la prise et de l'hydratation.

Une méthode expérimentale a été utilisée, avec la préparation d'échantillon de mortier d'un ciment à différent T(°C) des composants testés dans des conditions standard. L'effet de la température sur le processus de durcissement et la réaction hydraulique a été surveillé, et les propriétés mécaniques et physiques ont été mesurées après la période de durcissement (7,14,28j).

Les résultats montrent que la température des constituants affecte de manière significative les performances globales du mortier d'un ciment. Une augmentation de la température des composants accélère le processus de durcissements, ce qui a eu un effet positif sur la résistance mécanique. En revanche, une baisse de la température a ralenti le processus de durcissement et légèrement amélioré l'élasticité, mais a eu un effet négatif sur la résistance à la compression.

L'étude recommande un contrôle rigoureux de la température des constituants, en particulier dans les grands projets ou dans des environnements à conditions extrêmes, car les variations de température peuvent affecter considérablement le temps de travail, la qualité de la prise, et les performances finales. Une gestion adéquate des températures permet d'améliorer la durabilité des structures en béton, garantissant de bonnes performances à long terme et réduisant les risques de fissuration ou de dégradation structurelle.

Mots clés : Température, Caractéristiques mécaniques et physiques, Mortiers, Ciment, Eau de gâchage, Sable.

تُرَكِّز هذه الدراسة على تأثير درجة حرارة المكونات الرئيسية لمونة الأسمنت، مثل الماء والرمل، على خصائصها الميكانيكية (الضغط والانحناء) والفيزيائية (زمن الشك والكثافة)، بهدف فهم كيفية تأثير درجات الحرارة المختلفة على العمليات الكيميائية والفيزيائية أثناء الشك والترطيب.

تم استخدام منهج تجريبي، حيث تم إعداد عينات مونة من الأسمنت بدرجات حرارة مختلفة ($T^{\circ}C$) للمكونات المختبرة في ظروف معيارية. تم متابعة تأثير درجة الحرارة على عملية التصلب والتفاعل الهيدروليكي، وتم قياس الخصائص الميكانيكية والفيزيائية بعد فترات التصلب (7، 14، 28 يوماً).

أظهرت النتائج أن درجة حرارة المكونات تؤثر بشكل كبير على الأداء العام لمونة الأسمنت. حيث أن ارتفاع درجة حرارة المكونات يُسرِّع من عملية التصلب، مما كان له تأثير إيجابي على المقاومة الميكانيكية. وعلى العكس، فإن انخفاض درجة الحرارة أدى إلى تباطؤ عملية التصلب مع تحسن طفيف في المرونة، ولكنه أثر سلباً على مقاومة الضغط.

توصي الدراسة بضرورة التحكم الصارم في درجة حرارة المكونات، خاصة في المشاريع الكبيرة أو في البيئات ذات الظروف القاسية، لأن التغيرات في درجات الحرارة يمكن أن تؤثر بشكل كبير على وقت العمل، وجودة الشك، والأداء النهائي. إن إدارة درجات الحرارة بشكل مناسب يُسهم في تحسين متانة الهياكل الخرسانية، مما يضمن أداءً جيداً على المدى الطويل ويقلل من مخاطر التشقق أو التدهور الهيكلي.

الكلمات المفتاحية: درجة الحرارة، الخصائص الميكانيكية والفيزيائية، المونة، الأسمنت، ماء الخلط، الرمل.

Sommaire

Sommaire

Introduction Générale.....	2
I.1. Introduction.....	5
I.2. Généralités sur les mortiers.....	5
I.3. Historique du mortier.....	5
I.4. Définition.....	7
I.5. Les constituants des mortiers.....	7
I.5.1. Les liants.....	7
I.5.1.1. Ciment.....	7
I.5.1.1.1. Classification des ciments.....	8
I.5.1.2. Eau de gâchage.....	9
I.5.1.3. Les sables.....	10
I.5.1.4. Les adjuvants.....	10
I.5.1.5. Les ajouts.....	11
I.6. Les types de mortier.....	11
I.6.1. Les mortiers de ciment.....	11
I.6.2. Les mortiers des chaux.....	11
I.6.3. Les mortiers de bâtards.....	11
I.6.4. Les mortiers fabriqués sur chantier.....	12
I.6.5. Les mortiers industriels.....	12
I.7. Emplois des mortiers.....	12
I.7.1. Le hourdage de maçonnerie:.....	12
I.7.2. Les enduits :.....	13
I.7.3. Les chapes.....	13
I.7.4. Les scellements et les calages.....	14
I.8. Caractéristiques des mortiers.....	14
I.8.1. Les caractéristiques mécaniques :.....	14
I.8.2. Les caractéristiques physiques :.....	15
I.9. Conclusion.....	16
II.1. Introduction.....	18
II.2. Les facteurs influençant la performance du mortier.....	18
II.2.1. Qualité des matériaux constituants.....	18
II.2.2. Proportions des composants.....	19
II.2.3. Système de mélange.....	19
II.2.4. Application et traitement.....	19
II.2.5. Additifs chimiques.....	19
II.2.6. Temps de travail (Workability).....	20

Sommaire

II.2.7. Conditions environnementales.....	20
II.2.7.1. Humidité	20
II.2.7.3.La température	20
II.2.7.3.1.Température élevée.....	20
II.2.7.3.2. Température moyen	21
II.7.3.4. Température basse	23
II.3. Conclusion	25
III.1. Introduction :	27
III.2. Protocol expérimentale.....	27
III.2.1. Objectif de l'Étude :	27
III.2.2. Matériaux et Équipements :.....	28
III.2.3. Préparation des Échantillons :	28
III.2.4. Tests physiques et mécaniques :.....	29
III.2.5. Analyse des Résultats :	29
III.2.6. Analyse des Résultats:.....	30
III.2.7. Conclusions et Recommandations:	30
III.3.Matériaux utilisés et méthodes expérimentales :.....	30
III.3.1.Ciment	30
III.3.1.1.Caractéristiques chimiques du ciment utilisé	30
III.3.1.1. Caractéristiques physiques du ciment utilisé.....	30
III.3.2. Le sable.....	34
III.3.2.1. Caractéristiques chimiques du sable utilisé.....	34
III.3.2.2. Caractéristiques physiques du sable utilisé	34
III.3.3. Eau de gâchage	36
III.4. Préparation des mélanges de mortier de ciment.....	36
III.5. Analyse et essais au laboratoire.....	37
III.5.1. Essai de temps de prise du ciment	37
III.5.2. Essai de résistance à la compression	38
III.5.3. Essai de résistance à la flexion	38
III.5.4. Essai de densité	39
III.6. Discussions et interprétation des résultats.....	39
III.6.1. Effet de la température de l'eau sur le temps de prise de ciment.....	39
III.6.2. Changement de la température d'eau sur le mortier du ciment.....	42
III.6.2.1. Effet de la température de l'eau sur la résistance à la compression.....	42
III.6.2.2. Effet de la température de l'eau sur la résistance à la flexion.....	43
III.6.2.3. Effet de la température de l'eau sur la densité	44
III.6.3. Changement de la température du sable sur mortier du ciment	45

Sommaire

III.6.3.1. Effet de la température du sable sur la résistance à la compression.....	45
III.6.3.2. Effet de la température du sable sur la résistance à la flexion.....	46
III.6.3.3. Effet de la température du sable sur la résistance la densité	47
III.7. Conclusions	49
Conclusion.....	51
Conclusion Générale	53
Bibliographie	57

Sommaire

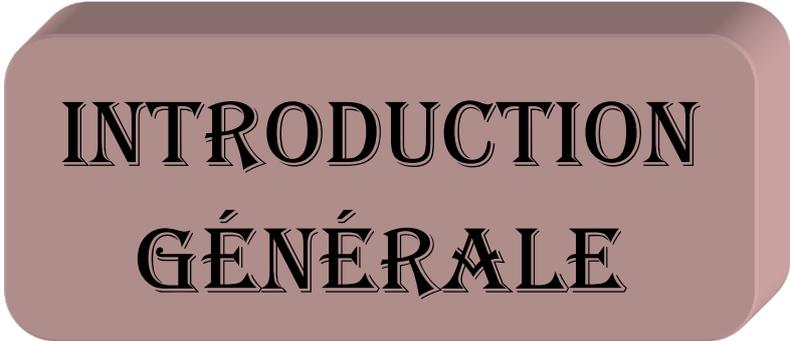
Liste des Tableaux

Tableau I.1: Les différents types de ciment	8
Tableau III.1: Les compositions chimique de ciment.	30
Tableau III.2 : Procédure du malaxage de la pate du ciment.	31
Tableau III.3 : Consistance des certaines pates de ciments testés.....	31
Tableau III.4. : Temps de prise des certaines pates du ciment.....	32
Tableau III.5 : Caractéristiques physiques du ciment CEM II/B 42.5.	33
Tableau III.6 : Les composants chimique du sable de Tamanrasset.	34
Tableau III.7 : Analyse granulométrique du sable.	34
Tableau III.8 : Caractéristiques physique du sable.....	35
Tableau III.9 : Les quantités et les constituants du mortier.....	36
Tableau III.10 : Les étapes du malaxer de mortier.....	37
Tableau III.11: la relation entre température d'eau et temps de prise de ciment.	41

Sommaire

Listes des figures

Figure I.1 : Les constituants des mortiers	7
Figure I.2 : Le ciment.....	8
Figure I.3 : Eau de gâchage.....	9
Figure I.4: Sable	10
Figure I.5: Les joints de maçonnerie	13
Figure I.6: Les enduits.....	13
Figure I.7: les chapes.....	14
Figure I.8: Les scellements et les calages.	14
Figure III.1 : Evolution de la consistance en fonction du rapport E/C.....	31
Figure III.2 : Dispositif expérimental de l'appareil le Chatelier.....	33
Figure III.2 : Essai de l'équivalent de sable [Laboratoire LTPS (Ghardaïa)].....	35
Figure III.3 : Les échantillons	37
Figure III.4 : Appareil de VICAT.	38
Figure III.5 : Essai de Compression	38
Figure III.6 : Essai de Flexion	39
Figure III.2 : La relation entre la température d'eau et résistance de compression.	43
Figure III.3 : La relation entre la température d'eau et résistance de flexion	44
Figure III.4 : La relation entre la température d'eau et la densité.....	45
Figure III.5 : La relation entre la température du sable et la résistance à la compression.	46
Figure III.6 : La relation entre la température du sable et la résistance à la flexion.	47
Figure III.7: La relation entre la température du sable et la densité.....	48



**INTRODUCTION
GÉNÉRALE**

Introduction Générale

Dans le domaine du génie civil, la qualité et la durabilité des matériaux de construction, en particulier le mortier de ciment, sont des facteurs déterminants pour la longévité et la sécurité des ouvrages. Le mortier, composé principalement de ciment, d'eau, et de granulats fins tels que le sable, est largement utilisé pour des applications variées, allant du scellement des briques à la réalisation de finitions en passant par des réparations structurelles. Les caractéristiques mécaniques et physiques de ce matériau, sont fortement influencées par plusieurs paramètres, dont la température des constituants lors de la mise en œuvre.

En effet, la température des différents constituants, notamment l'eau et le sable, joue un rôle crucial dans le processus d'hydratation du ciment, un processus chimique fondamental qui détermine les propriétés finales du mortier. Une température trop élevée ou trop basse peut perturber cette réaction, conduisant à une altération des caractéristiques mécaniques et physiques du matériau. Par exemple, une température élevée peut accélérer l'hydratation, réduisant ainsi le temps de prise et pouvant provoquer une fissuration prématurée, tandis qu'une température trop basse peut ralentir la réaction, entraînant un durcissement incomplet et une résistance mécanique insuffisante.

Cette étude vise donc à examiner de manière approfondie l'influence des variations de température des constituants sur les caractéristiques finales du mortier de ciment, en se concentrant spécifiquement sur un mortier fabriqué à partir du ciment CEM II/B 42,5. Cette variété de ciment, couramment utilisée pour ses propriétés équilibrées en termes de résistance et de durabilité, représente un choix pertinent pour évaluer comment les températures de l'eau et du sable influencent les performances globales du mortier. Les résultats obtenus pourront offrir des recommandations précieuses pour l'optimisation des pratiques de construction, notamment dans des contextes où les conditions thermiques varient considérablement.

La méthodologie de cette recherche inclura une série d'expériences visant à tester les propriétés mécaniques et physiques du mortier sous différentes conditions de température des constituants.

Ces tests permettront d'évaluer des aspects tels que la résistance à la compression, flexion, et la densité...etc. du mortier à long terme. Le but ultime de cette recherche est de développer une meilleure compréhension des interactions thermiques dans le mortier de ciment, afin d'améliorer la qualité des ouvrages de construction, en réduisant les risques de défaillance structurelle et en prolongeant la durée de vie des bâtiments.

La structure de cette étude est organisée en trois chapitres principaux. Le premier chapitre fournit une revue générale sur les mortiers. Le second chapitre traitera des facteurs

Introduction Générale

influençant les performances des mortiers. Le troisième et le dernier chapitre décrit en détail la méthodologie de

Recherche, incluant les protocoles expérimentaux, les instruments de mesure utilisés, et les conditions spécifiques de chaque test. Ce chapitre analysera également les résultats expérimentaux, discutera chaque observation en relation avec les théories existantes, et présentera des conclusions basées sur les données collectées. Enfin, des recommandations seront proposées aux ingénieurs civils pour améliorer les pratiques de mélange et d'application du mortier dans diverses conditions thermiques.

CHAPITRE I :
Généralités sur les mortiers

I.1. Introduction

À l'origine, un mortier se composait simplement d'un mélange entre un liant, généralement du ciment, et du sable, amalgamé avec de l'eau. Cependant, au cours des quatre dernières décennies, les mortiers ont considérablement évolué en devenant de plus en plus complexes, grâce à l'ajout de multiples adjuvants. Désormais, ils font intervenir plus d'une dizaine de composants différents.

Les mortiers sont désormais omniprésents dans tous les domaines du BTP. Par ailleurs, la sophistication croissante des mortiers a entraîné une augmentation constante des mortiers préformulés, également appelés "industriels" ou "prêts à l'emploi", en comparaison avec les mortiers fabriqués sur chantier. L'utilisation d'adjuvants permet d'obtenir une variété de propriétés à l'état frais ou durci, selon l'application finale et les performances requises.

I.2. Généralités sur les mortiers

Le mortier, matériau composite, résulte de la combinaison homogène de matières inertes telles que le sable et de matières actives telles que le liant, le tout mélangé avec une quantité appropriée d'eau. Il répond à une variété d'exigences dans le domaine de la construction. Cependant, il n'existe pas de mortier universel adapté à toutes les situations. Pour sélectionner le mélange le plus approprié à un projet donné, le concepteur doit posséder une bonne connaissance des matériaux composant le mortier et de leurs propriétés.

I.3. Historique du mortier

Les premiers mortiers apparaissent au début du néolithique, vers 10 000 ans avant J.-C. Cette invention coïncide avec le moment où l'homme commence à exploiter activement les ressources naturelles de son environnement et à adopter un mode de vie sédentaire. La nécessité de construire des habitations durables a conduit à l'émergence des mortiers.

Initialement composés d'un mélange de matériaux facilement accessibles, tels que l'argile, la paille et les herbes sèches, les mortiers évoluent vers 4 000 avant J.-C. en Égypte ancienne. À cette époque, on commence à ajouter des roches telles que le gypse ou la chaux, découvrant ainsi leurs propriétés chimiques qui renforcent la solidité et la résistance à l'eau des mortiers.

C'est grâce à ces avancées que les Égyptiens ont pu entreprendre la construction de structures imposantes comme la pyramide de Saqqarah, érigée par Imhotep, architecte du pharaon Djoser, souvent considéré comme l'un des pionniers dans l'utilisation du mortier.

Depuis l'Égypte ancienne, l'utilisation des mortiers n'a cessé de se répandre et de se perfectionner à travers le monde. Les Romains, par exemple, ont également adopté cette technique. Vitruve, un architecte romain, décrit même dans ses écrits la préparation des mortiers à

base de chaux et de sable. Les Romains ont observé que ces mortiers durcissaient en présence de dioxyde de carbone pour se transformer en pierre calcaire, un processus impossible en contact direct avec l'eau.

Pour pallier ce problème, ils ont développé les premiers mortiers hydrauliques en ajoutant de la chaux, des pouzzolanes (des projections volcaniques), et des résidus de brique. Cette innovation leur a permis de construire des ouvrages nécessitant une prise en présence d'eau, tels que des citernes, des bassins, et des aqueducs comme le célèbre pont du Gard.

Le XVIII^e siècle marque un tournant majeur dans l'histoire des mortiers. En 1756, James Seaton révolutionne le domaine en créant le premier mortier de chaux hydraulique, en ajoutant de la pierre calcaire calcinée, de l'argile et de la terre pouzzolanique d'Italie. Grâce à ce mélange novateur, le phare d'Eddy stone a pu être érigé en pleine mer, au sud de la Cornouailles.

En 1796, James Parker franchit une nouvelle étape en brevetant le "ciment romain", un matériau naturel obtenu par la calcination à 900 °C d'un mélange de pierre calcaire et d'argile dans des fours à chaux. Ce produit offre une résistance supérieure, une prise rapide, et trouve des applications diverses dans les constructions exposées à l'humidité ainsi que dans la sculpture de statues.

Puis, en 1824, Joseph Aspidine apporte une contribution essentielle en brevetant le "ciment Portland", un mélange précis de pierre calcaire, d'argile et de différents minéraux, calciné puis broyé en fines particules. Bien que le ciment Portland seul présente une maniabilité limitée, son association avec de la chaux en fait un matériau de haute qualité. L'incorporation de ce ciment dans les mortiers de chaux accélère ainsi le développement des ouvrages en maçonnerie et accroît leur résistance.

En 1951, l'ASTM publie la norme C270-51, connue sous le nom de "Standard Specification for Unit Masonry", établissant les proportions idéales de ciment et de chaux en fonction des propriétés désirées du mortier. Cette norme reste en vigueur jusqu'à ce jour.

Depuis lors, les mortiers ont continué à évoluer, représentant un témoignage de 12 000 ans de progrès. Les motivations qui ont conduit à l'utilisation de la chaux il y a 6 000 ans demeurent toujours aussi pertinentes.

Des chercheurs de l'université de technologie de Delft, aux Pays-Bas, explorent actuellement l'ajout de bactéries dans le mortier utilisé pour la fabrication du béton, afin de le rendre auto-réparant. En cas de microfissures, la bactérie injectée se mélange à l'eau d'infiltration et produit du carbonate de calcium, colmatant ainsi la fissure. [A Historie of Architecture]

I.4. Définition

Le mortier est un matériau de construction obtenu par mélange de liant, de sable et d'eau, éventuellement des adjuvants, réalisé dans des proportions bien définies de manière à obtenir une pâte de plasticité convenable pour la mise en œuvre.

Il sert à lier les différents éléments de construction tels que des briques, des pierres, des blocs de béton (parpaings)...ou à exécuter des revêtements et des enduits de façade. [1]

I.5. Les constituants des mortiers

Le mortier est un des matériaux de construction, qui contient du ciment, de l'eau, du sable, des adjuvants et éventuellement des additions. Ils peuvent être très différents les uns des autres selon la nature et les pourcentages des constituants, le malaxage, la mise en œuvre et la cure. Les mortiers sont constitués par des mélanges de : [2]

- Liant (ciment ou chaux)
- Eau
- Sable
- Adjuvants

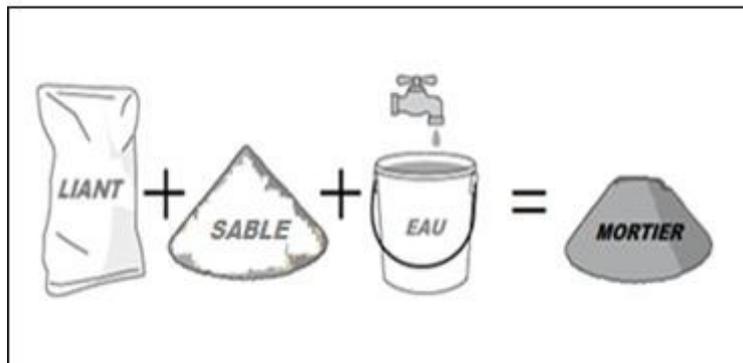


Figure I.1 : Les constituants des mortiers [15]

I.5.1. Les liants

Il peut s'agir de ciment, de chaux, ou d'un mélange de ces matériaux.

I.5.1.1. Ciment

Le ciment est un liant hydraulique, c'est-à-dire une matière inorganique finement moulue issue du broyage du clinker avec ou sans ajouts qui, gâchée avec de l'eau, forme une pâte qui fait prise et durcit par suite de réactions et processus d'hydratation et qui, après durcissement, conserve sa résistance et sa stabilité même dans l'eau. [5]

Le clinker est produit par la cuisson dans un four rotatif à une température de 1500°C d'un mélange d'argile, calcaire, et matériaux minéraux. Il possède une composition minéralogique complexe influente sur les qualités physiques et mécaniques du ciment. [7]



Figure I.2 : Le ciment.

I.5.1.1.1. Classification des ciments

Selon que des constituants, autres que le gypse, sont ou non ajoutés au clinker lors des opérations de fabrication, on obtient les différents types de ciments définis par la norme NF EN 1971.

Le tableau (I.1) ci –dessous donne la liste des différents types des ciments courants normalisés avec indication, pour chacun d’eux, de leur désignation propre des pourcentages respectifs de constituants qu’ils comportent.

Tableau I.1: Les différents types de ciment [8].

Désignations	Types de Ciments	Teneur en clinker	Teneur en% de l’un de constituants suivants : laitier-pouzzolanes-cendres-calcaires-Schistes-fumées de silice	Teneur en constituants secondaires(filler)
CPA-CEMI	Ciment portland	95à100%		0 à5%
C PJ-CEM II/ACPJ-CEMII/B	Ciment portland Composé	80à 94% 65 à79%	-de 6à20% de l’un quelconque des constituants, sauf dans les cas où les constituant est des fumées de silice auquel cas la proportion est limitée à 10% -de 21à35% avec les mêmes restrictions que ci-dessus	0à5% 0à5%

CHF-CEM III/ACHF-CEM III/BCLK-CE- MIII/C	Ciment de haut- Fourneau	35à64% 20à34% 5à19%	-35à65% de laitier de haute- fourneau -66à80% de laitier de haut- fourneau -81 à95% de laitier de haut- Fourneau	0à5% 0à5% 0à5%
CPZ- CEMIV/ACPZ- CEMIV/B	Ciment Pouz- zolanique	65 à90% 45à64%	-10à35%de pouzzolanes, cendre siliceuses ou fumées de Silice, ces dernières étantlimitéesà10%. -36à55%comme ci-dessus	0à5% 0à5%
CLC-CEM V/ACLIC-CEM V/B	Ciment au la itieret aux cendres	40à64% 20à39%	-18à30% de laitier de haut- fourneauet18à30%de cendres Siliceuses ou de pouzzolanes. -31 à50%de chacun des 2cons- tituantscommeci-dessus	0à5% 0à5%

I.5.1.2. Eau de gâchage

Le choix de l'eau de gâchage a aussi une grande importance car elle remplit un double rôle : elle sert à hydrater le ciment et ce qui est plus important, elle contribue à son ouvrabilité.

Les mortiers devraient contenir la quantité d'eau maximale compatible avec une ouvrabilité optimale. L'eau devrait être propre et ne pas contenir de produits nocifs tels que des acides, des alcali ou des matières organiques. Lorsqu'elle est potable, on peut l'utiliser. [2]



Figure I.3 : Eau de gâchage.

I.5.1.3. Les sables

Normalement, les sables utilisés sont les sables appelées "sable normalisée". Les sables de bonne granulométrie doivent contenir des grains fins, moyens et gros. Les grains fins se disposent dans les intervalles entre les gros grains pour combler les vides. Ils jouent un rôle important : ils réduisent les variations volumiques, les chaleurs dégagées et même le prix. Les dosages se feront en poids plutôt qu'en volume comme c'est souvent le cas, afin d'éviter les erreurs de dosage, par suite de l'augmentation de volume de sable humide.

Ils peuvent être :

- Naturels et roulés (de rivière, de sablières,..), de nature siliceuse ou silico-calcaire ;
- Naturels concassés (roche de carrières), comme des basaltes, porphyres quartzites. Ils sont anguleux et durs.
- Spéciaux (lourds, réfractaires, légers).



Figure I.4: Sable

Certains sables sont à éviter, notamment les "sables à lapin", "généralement très fins, les sables crus qui manquent de fins et de sables de dunes ou de mer qui contiennent des sels néfastes pour les constituants des ciments, par contre ils doivent être propres.[2]

Le diamètre maximum des grains de sable utilisés pour les mortiers est : [9]

- Extra-fins: jusqu'à 0,8mm (entamis), soit 1mm (en passoire).
- Fins: jusqu'à 1,6 mm.
- Moyens: jusqu'à 3,15mm.
- Gros : jusqu'à 5 mm.

I.5.1.4. Les adjuvants

Les adjuvants sont des produits chimiques que l'on utilise dans le cas des bétons. Ils modifient les propriétés des bétons et des mortiers auxquels ils sont ajoutés en faible proportion

(environ de 5% du poids de ciment). Les mortiers peuvent comporter différents types d'adjuvants :

- Les plastifiants (réducteurs d'eau) ;
- Les entraîneurs d'air ;
- Les modificateurs de prise (retardateurs, accélérateurs) ;
- Les hydrofuges ;

Dans tous les cas des soins particuliers doivent être pris afin d'obtenir des mortiers sans ressuage, homogènes d'une gâchée à l'autre.[2]

I.5.1.5. Les ajouts

Les ajouts que l'on utilise dans les mortiers sont :

- Poudres fines pouzzolaniques (cendres, fumée de silice..)
- Fibres de différentes natures ;
- Colorants (naturels ou synthétiques) ;
- Polymères.[1]

I.6. Les types de mortier

Les types de mortiers sont sélectionnés en fonction de l'application envisagée. On trouve une grande variété de mortiers, chacun possédant des propriétés et des applications distinctes, plus ou moins adaptées selon les besoins. Dans les travaux publics on utilise des différents types de mortier.

I.6.1. Les mortiers de ciment

Les mortiers de ciment sont très résistants, prennent et durcissent rapidement. le dosage de rapport entre le ciment et le sable est en général volumétrique de 1:3 et le rapport de l'eau sur ciment est environ 0.35. De plus, un dosage en ciment les rend pratiquement imperméables.[3]

I.6.2. Les mortiers des chaux

Les mortiers de chaux sont moins résistants par rapport aux mortiers de ciment (gras et onctueux). La durée du durcissement des mortiers de chaux est plus lente que pour les mortiers de ciments.[3]

I.6.3. Les mortiers de bâtards

Ce sont les mortiers, dont les liants est le mélange de ciment et de chaux. Généralement, on utilise la chaux et le ciment par parties égales, mais des fois on prend une quantité plus ou moins grande de l'un ou l'autre suivant l'usage et la qualité recherchée. [3]

I.6.4. Les mortiers fabriqués sur chantier

Ils sont préparés avec le ciment et le sable du chantier. Le ciment est un ciment courant CPA ou CPJ et parfois des ciments spéciaux comme le ciment alumineux fondu.

On emploie également des chaux hydrauliques et parfois des liants à maçonner. Le sable est le plus souvent roulé (nature silico-calcaires) parfois concassé et le gâchage s'effectue à la pelle ou à l'aide d'une petite bétonnière. Ces mortiers ne sont donc pas très réguliers et les sables peuvent être différents d'une livraison à l'autre, mais de toutes façons ils doivent être propre et de bonne granulométrie.

Le sable est généralement dosé en poids (ce qui est préférable), soit en volume (cas des petites chantiers). Dans ce dernier cas est très important de tenir compte du phénomène de foisonnement des sables. [3]

I.6.5. Les mortiers industriels

Ce sont des mortiers que l'on fabrique à partir des composants secs, bien sélectionnés, conditionnés en sec, contrôlés en usine et parfaitement réguliers.

Pour utiliser ce type de mortier il suffit de mettre la quantité d'eau nécessaire et malaxer pour ensuite les mettre en œuvre.

Les mortiers peuvent contenir des liants et des sables variés ainsi que certains adjuvants et éventuellement des colorants.

Les fabricants des mortiers industriels proposent une gamme complète de produits répondant à tous les besoins :

- Mortier pour enduits de couleur et d'aspect varié
- Mortier d'imperméabilisation,
- Mortier d'isolation thermique,
- Mortier jointoiment,
- Mortier de ragréage,
- Mortier de scellement, mortier pour chapes,
- Mortier-colle pour carrelages, sur fond de plâtre ou de ciment, etc.,
- Mortier de réparation, [3]

I.7. Emplois des mortiers**I.7.1. Le hourdage de maçonnerie:**

La construction réalisée en éléments maçonnés (blocs de béton, pierre de taille, briques), nécessite leur assemblage avec un mortier qui doit présenter des caractéristiques mécaniques

suffisantes pour assurer la transmission des charges et une compacité suffisante pour être étanche. [4]



Figure I.5: Les joints de maçonnerie [6].

I.7.2. Les enduits :

Ce domaine d'application constitue l'un des plus vastes débouchés des mortiers. A côté des enduits traditionnels en trois couches, se développent aujourd'hui des enduits monocoques épais, ainsi que des enduits isolants. [4]



Figure I.6: Les enduits[6].

I.7.3. Les chapes

Les chapes ont pour fonction d'assurer la mise à niveau du dallage et la régularité de sa surface. Les chapes peuvent constituer la finition. Elles peuvent aussi constituer le support d'un revêtement de sol. [4]



Figure I.7: les chapes.

I.7.4. Les scellements et les calages

La multiplicité des problèmes de scellement et de calage a conduit les producteurs de mortiers industriels à mettre au point des produits spécifiques adaptés aux travaux à réaliser : scellements d'éléments de couverture, d'éléments des seconds œuvres, de mobilier sur baignoires, de regards de visite. [4]



Figure I.8: Les scellements et les calages. [6]

I.8. Caractéristiques des mortiers

Les caractéristiques principales du mortier sont :

I.8.1. Les caractéristiques mécaniques :

Les caractéristiques mécaniques des mortiers concernent leur capacité à résister à des charges ou des forces sans se déformer ou se briser. Voici des certaines des principales caractéristiques mécaniques :

- Résistance à la compression,
- Résistance à la flexion,
- Module d'élasticité,
- Résistance à la traction indirecte,

- Dureté,
- Déformation élastique,
- Résistance à la torsion,
- Résistance à l'usure,
- Résistance au choc,

I.8.2. Les caractéristiques physiques :

Les caractéristiques physiques désignent les propriétés mesurables qui définissent leur comportement et leurs performances dans des applications de construction.

- Densité :
- Porosité :
- Perméabilité :
- Couleur :
- Texture :
- Consistance :
- Temps de prise :
- Retrait :
- Absorption d'eau :
- Conductivité thermique :
- Capacité de respiration :
- Adhérence.

I.9. Conclusion

Il n'existe pas de construction sans mortiers tant leur rôle est indispensable : ils sont le "liant" entre tous les autres constituants et matériaux de l'ouvrage. En poudre ou en pâte, pour assembler le carrelage, mettre des sols à niveau, protéger des murs ou les habiller de couleurs, les mortiers sont les alliés de la construction ou de la rénovation de bâtiments défiant les épreuves du temps. Nous nous concentrerons dans la suite du travail sur les paramètres influençant les performances des mortiers.

CHAPITRE II :
Les paramètres influençant sur
les performances des mortiers

Chapitre II : Les paramètres influençant sur les performances des mortiers

II.1. Introduction

Le mortier représente un élément crucial dans l'industrie de la construction, servant à lier et renforcer les différents matériaux de construction tels que les briques, les blocs et les pierres. Sa performance, définie par ses propriétés mécaniques, sa durabilité et sa facilité d'application, est influencée par plusieurs facteurs clés. Comprendre et maîtriser ces éléments est essentiel pour garantir la qualité et la longévité des structures construites.

Au-delà de sa fonction principale de liaison, le mortier contribue également à :

- **La cohésion et le support** : Il renforce la capacité de la structure à supporter et à distribuer efficacement les charges.
- **L'étanchéité et la protection** : En comblant les espaces entre les matériaux, le mortier prévient les infiltrations d'eau et protège ainsi la structure contre les dommages à long terme.
- **La finition et l'esthétique** : En remplissant les joints entre les matériaux, le mortier améliore l'apparence esthétique globale des constructions.

II.2. Les facteurs influençant la performance du mortier

II.2.1. Qualité des matériaux constituants

- **Ciment** : La qualité du ciment utilisé a un impact significatif sur la performance du mortier. Par exemple, le ciment Portland ordinaire (CEM I) diffère du ciment mélangé (CEM II) en termes de résistance au retrait, de maniabilité et de durcissement. Les types de ciments mélangés, comme le CEM II/B, contiennent des ajouts tels que le calcaire ou les cendres volantes, ce qui influence la vitesse de durcissement et la résistance du mortier.
- **Sable**: La taille et la qualité du sable jouent également un rôle crucial. Un sable propre avec des grains bien gradés contribue à renforcer la durabilité et la résistance du mortier. En revanche, la présence d'impuretés ou l'utilisation de sables à grains trop gros ou trop fins peut nuire à la cohésion du mélange.
- **Eau**: Le rapport eau/ciment (E/C) est un facteur déterminant. Une augmentation de la quantité d'eau rend le mortier plus fluide et facile à travailler, mais cela peut également entraîner une diminution de la résistance après durcissement. À l'inverse, utiliser moins d'eau peut accroître la rigidité du mortier, mais compliquer son maniement.[1]

Chapitre II : Les paramètres influençant sur les performances des mortiers

II.2.2. Proportions des composants

Les proportions des différents composants dans le mélange influencent directement les caractéristiques du mortier. Un contrôle approprié des proportions de ciment, de sable et d'eau peut mener à un mortier cohérent et résistant. Une augmentation de la proportion de ciment dans le mélange augmente la résistance du mortier, tandis qu'une quantité excessive de sable réduit la résistance mais améliore la maniabilité.[1]

II.2.3. Système de mélange

- **Durée de mélange** : La durée de mélange du mortier joue un rôle essentiel dans l'homogénéité du mélange. Si la durée de mélange est trop courte, les composants peuvent ne pas être suffisamment intégrés, ce qui affecte la résistance et la cohésion. À l'inverse, une durée de mélange trop longue peut entraîner un dessèchement du mortier avant son utilisation.
- **Vitesse de mélange** : Un mélange à grande vitesse peut introduire de l'air dans le mélange, ce qui peut entraîner la formation de bulles d'air dans le mortier, et donc une diminution de sa résistance.[1]

II.2.4. Application et traitement

- **Application** : Le mortier doit être appliqué au bon moment et de manière appropriée. Un retard dans son utilisation après le mélange peut entraîner une perte d'eau et un durcissement prématuré, ce qui réduit la cohésion du mortier. Il est également important que les surfaces sur lesquelles le mortier est appliqué soient propres et légèrement humides pour assurer une bonne adhérence.
- **Traitement** : Après l'application du mortier, il doit être maintenu humide pendant une certaine période pour garantir un durcissement correct. Un bon traitement favorise le développement de la résistance et de la durabilité, tandis qu'un manque de traitement peut entraîner des fissures et une réduction de la résistance.[1]

II.2.5. Additifs chimiques

De nombreux additifs sont utilisés pour améliorer la performance du mortier, tels que des agents ajoutés qui augmentent la résistance à l'eau ou améliorent la flexibilité du mélange. Ces additifs peuvent être bénéfiques dans certaines conditions environnementales ou pour atteindre des caractéristiques spécifiques du mortier, comme la réduction du retrait ou l'augmentation du temps de travail.[1]

Chapitre II : Les paramètres influençant sur les performances des mortiers

II.2.6. Temps de travail (Workability)

Le temps de travail fait référence à la période pendant laquelle il est possible de travailler avec le mortier avant qu'il ne commence à durcir. La maniabilité est influencée par le rapport eau/ciment, la qualité du sable et la température ambiante. Un bon temps de travail permet une application fluide et aisée du mortier, tandis qu'un mortier qui durcit rapidement rend le travail difficile et peut entraîner des fissures et une diminution des performances finales.[1]

II.2.7. Conditions environnementales

Les conditions environnementales jouent un rôle crucial dans la détermination des propriétés du mortier lors du mélange, de l'application et après le durcissement. Ces conditions incluent, **l'humidité, le vent et la température.**

II.2.7.1. Humidité

Le niveau d'humidité ambiante influence la quantité d'eau perdue par évaporation. Une humidité élevée peut retarder le séchage, alors qu'une humidité faible peut causer un dessèchement prématuré du mortier, ce qui affecte sa résistance et sa durabilité.[1]

II.2.7.2. Vent

Le vent peut également exacerber la perte d'humidité, entraînant un durcissement inégal et des fissures dans le mortier. Une bonne protection contre le vent est donc essentielle lors de l'application du mortier, surtout dans des conditions climatiques difficiles.[1]

II.2.7.3. La température

II.2.7.3.1. Température élevée

Dans les zones à haute température, les réactions chimiques entre l'eau et le ciment s'accélèrent, un processus connu sous le nom d'hydratation. Cette accélération peut entraîner certains problèmes, tels que :

- Accélération du durcissement

Les températures élevées augmentent la vitesse de la réaction d'hydratation entre le ciment et l'eau, ce qui entraîne un durcissement plus rapide du mortier. Ce durcissement accéléré peut être bénéfique lorsque le projet de construction nécessite un avancement rapide. Cependant, dans les cas où un temps de travail prolongé est requis pour ajuster et modeler le mortier, ce phénomène peut s'avérer problématique.

- Augmentation de l'évaporation

Avec des températures élevées, l'eau s'évapore plus rapidement, ce qui peut entraîner un déficit en eau nécessaire pour compléter le processus d'hydratation du ciment. Ce manque d'eau peut provoquer l'apparition de fissures et une diminution de la résistance finale du mortier.

Chapitre II : Les paramètres influençant sur les performances des mortiers

- Retrait rapide

L'évaporation rapide de l'eau entraîne également un retrait rapide du mortier pendant le durcissement, provoquant des fissures superficielles. Ces fissures peuvent affecter négativement la qualité et la durabilité de la construction.

En **Argentine**, notamment dans des régions comme **Buenos Aires** qui connaissent de fortes variations saisonnières de température, des études ont examiné l'influence de la température élevée, en particulier en été, sur la performance des mortiers. [10]

Étude :

Une étude a analysé l'impact des températures **élevées durant l'été (supérieures à 30°C)** sur la résistance des mortiers. Les résultats ont montré que les mortiers fabriqués à des températures élevées développent une résistance plus rapidement au début. Cependant, l'évaporation rapide de l'eau due à la chaleur réduit la résistance à long terme et provoque des fissures de retrait.

- Détails de l'étude :

L'étude a été réalisée par l'**Université Nationale de La Plata (Universidad Nacional de La Plata)**, où des expériences sur des mortiers à base de ciment CEM II/B ont montré que les températures élevées nécessitent un traitement soigneux comme l'humidification ou la protection des mortiers pour éviter la fissuration superficielle et assurer une hydratation complète.

- L'**Université du Caire**, en Égypte, a mené des expériences intensives sur la performance du mortier dans des environnements chauds et secs, qui ont un impact significatif sur le ciment et le mortier utilisés dans les projets de construction.

Une augmentation de la température réduit considérablement le temps de prise. Le mortier mélangé à une température de 35°C s'est solidifié en 3 heures, tandis qu'à 15°C, le processus a pris plus de 6 heures pour atteindre le même stade. [11].

II.2.7.3.2. Température moyenne

L'**effet des températures moyennes** (comprises entre 15°C et 25°C) sur le mortier de ciment diffère considérablement de celui des températures élevées ou basses. Les températures moyennes sont généralement considérées comme idéales pour le travail avec le ciment et le mortier, car elles permettent un bon équilibre entre la vitesse de prise et le développement de la résistance.

- Vitesse de prise :

À des températures moyennes, le processus d'**hydratation** (réaction chimique entre l'eau et le ciment) se déroule de manière modérée. Cela conduit à une vitesse de prise équilibrée, où la prise n'est ni trop rapide (comme à des températures élevées) ni trop lente (comme à des températures basses).

Chapitre II : Les paramètres influençant sur les performances des mortiers

Par exemple, à une température d'environ 20°C, le temps de prise initiale du mortier peut varier entre 4 et 6 heures, ce qui est idéal pour obtenir une bonne résistance initiale sans compromettre les performances à long terme.

- Développement de la résistance :

À des températures moyennes, le **développement de la résistance** est régulier et équilibré. Le mortier acquiert une bonne résistance dans les premiers jours suivant la coulée, et continue de se renforcer de manière graduelle sur le long terme. Cela contraste avec les températures élevées qui accélèrent le processus mais peuvent provoquer des fissures, ou les températures basses qui retardent la prise.

- Moins de fissures:

Dans ces conditions moyennes, le risque de **fissuration par retrait** est beaucoup plus faible par rapport aux températures élevées, car le mélange ne perd pas d'eau rapidement. Cela permet au mortier de durcir de manière cohérente sans contraction rapide.

- Meilleure maniabilité :

À des températures moyennes, la **maniabilité** ou la facilité de manipulation du mortier est meilleure. Le mortier reste suffisamment façonnable et facile à appliquer pendant une durée adéquate, ce qui facilite son coulage et sa finition avant que le processus de prise ne commence.

- Impact minime sur le temps de cure global :

Les températures moyennes n'ont pas d'effet significatif sur le **temps de cure** (le temps nécessaire au mélange pour atteindre sa résistance finale). Dans ces conditions, le mortier continue à gagner en résistance de manière naturelle sur une période de 28 jours ou plus.

Études :

Université de Loughborough (Royaume-Uni, 2018) : Une étude a montré que le mortier mélangé à des températures moyennes (entre 18°C et 22°C) présentait le meilleur équilibre entre la vitesse de prise et le développement de la résistance à long terme, comparé aux mélanges réalisés à des températures extrêmes (élevées ou basses). [12]

Université de Melbourne (Australie, 2019) : Il a été constaté que les températures moyennes favorisent une **bonne cohésion des composants**, tout en réduisant le risque de fissuration, ce qui en fait des conditions idéales pour la construction dans les régions au climat tempéré. [12]

Chapitre II : Les paramètres influençant sur les performances des mortiers

II.7.3.4. Température basse

Effet des températures basses (inférieures à 5°C) sur le mortier de ciment peut avoir des conséquences négatives importantes sur ses performances et sa qualité. [13].

- Ralentissement du processus d'hydratation :

À des températures basses, le processus d'hydratation (réaction entre l'eau et le ciment) ralentit considérablement. Cela entraîne un retard dans la prise et le développement de la résistance, car il peut falloir plusieurs jours, voire des semaines, pour atteindre la résistance requise. [14]

- Augmentation du temps de prise :

Le temps nécessaire pour initier le processus de prise augmente de manière significative. Dans certains cas, il peut prendre plus de 24 heures avant que le mortier ne commence à durcir, ce qui impacte les délais de construction.

- Risque de gel:

Si la température est suffisamment basse, l'eau à l'intérieur du mortier peut geler, entraînant des dommages structurels. Le gel peut provoquer l'explosion des particules d'eau en raison de l'expansion, entraînant des fissures et une détérioration de la qualité du mortier.

- Impact sur la résistance finale :

Le mortier exposé à des températures basses peut ne pas atteindre la résistance finale requise, ce qui affecte la durabilité globale de la construction. Le mortier peut devenir faible et vulnérable aux dommages au fil du temps.

- Impact sur les composants:

Les composants ajoutés tels que le sable et le ciment peuvent être affectés négativement par les températures basses, ce qui entraîne un manque d'interaction appropriée.

- Méthodes de traitement spécifiques :

Des mesures spéciales doivent être prises lors des travaux à des températures basses, telles que :

- Utiliser des additifs qui accélèrent le processus d'hydratation.
- S'assurer que les matériaux et composants utilisés dans le mélange sont chauds avant utilisation.
- Protéger le mortier du gel en utilisant des couvertures ou des sources de chaleur.

Études :

Université du Texas (University of Texas, 2016) : Une étude a montré que le mortier mélangé à des températures inférieures à 5°C était significativement affecté en termes de temps de prise

Chapitre II : Les paramètres influençant sur les performances des mortiers

et de résistance finale, les résultats montrant que le mortier n'atteignait pas la résistance requise même après 28 jours dans certains cas.

American Concrete Institute (2019): A publié des directives sur la manière de gérer les températures basses, soulignant l'importance d'utiliser des additifs et des mesures spéciales pour garantir le succès du mortier.

Chapitre II : Les paramètres influençant sur les performances des mortiers

II.3. Conclusion

La performance du mortier de ciment dépend de plusieurs facteurs, notamment **l'humidité, la température**

- **Humidité** : Un faible taux d'humidité peut provoquer une évaporation rapide de l'eau, affectant la réaction du ciment et entraînant une performance médiocre. À l'inverse, un taux d'humidité élevé favorise la résistance.
- **Température** : Des températures élevées accélèrent le processus de prise, ce qui peut entraîner des fissures et une perte de résistance. En revanche, des températures basses ralentissent l'hydratation, retardent la prise et augmentent le risque de gel, compromettant ainsi la résistance du mortier.
- **Rapport eau-ciment et qualité des matériaux** : Ces éléments influencent également les propriétés du mortier. L'utilisation de composants inappropriés peut nuire à la durabilité et à l'efficacité.

CHAPITRE III :
Etude de l'influence de la
température des composantes
sur les performances

III.1. Introduction :

L'étude de l'influence de la température des composantes sur les performances mécaniques et physiques des mortiers ciment est un domaine de recherche crucial dans le secteur de la construction. En effet, les propriétés des matériaux cimentaires sont fortement influencées par les conditions environnementales, notamment la température, qui peut affecter la réaction d'hydratation du ciment, le développement de la résistance mécanique, et la durabilité du matériau.

Le mortier, mélange de ciment, de sable et d'eau, est un élément fondamental dans la construction de structures en béton et en maçonnerie. Sa performance optimale est essentielle pour assurer la stabilité et la longévité des édifices. Cependant, la température des composants avant et pendant le mélange peut avoir des effets significatifs sur les propriétés finales du mortier. Par exemple, une température élevée peut accélérer les réactions chimiques, entraînant une prise rapide du ciment, tandis qu'une température basse peut ralentir ces réactions, retardant le développement de la résistance.

Cette étude vise à analyser comment la température des différents composants eau et agrégats (sable) influence les performances mécaniques (telles que la résistance à la compression et à la flexion) et les propriétés physiques (comme la densité ..) des mortiers. Comprendre ces influences permettrait de mieux contrôler le processus de fabrication et d'application des mortiers, afin d'optimiser leurs performances et leur durabilité dans diverses conditions climatiques.

L'objectif principal de cette recherche est de fournir des données empiriques et des analyses approfondies sur les impacts thermiques, offrant ainsi des recommandations pratiques pour les professionnels du secteur de la construction. Cela pourrait également contribuer à l'élaboration de nouvelles normes et techniques pour améliorer la qualité des ouvrages construits en mortiers ciment.

III.2. Protocol expérimentale**III.2.1. Objectif de l'Étude :**

Étudier comment la température des différents composants du mortier de ciment influence les performances mécaniques (résistance à la compression et à la flexion) et physiques (temps de prise, densité).

III.2.2. Matériaux et Équipements :

- **Matériaux :**
 - Ciment Portland type II/B 42.5
 - Sable
 - Eau de robinet
- **Équipements :**
 - Tamis
 - Agitateur ES (L.004.15.S.001)
 - Balance
 - Bain marie (pour chauffer l'eau) (L.02109.S.001)
 - Thermomètre
 - Four (pour chauffer le sable)
 - Malaxeur de laboratoire
 - Appareil Vicat Manuel (L.010.09.S.001)
 - Moules pour échantillons de mortier (prismes)
 - Compacteur automatique
 - Machine de test compression
 - Machine de test flexion

III.2.3. Préparation des Échantillons :

- **Préparation des Composants :**
 - **Ciment**
 - **Eau :** utilisée à des températures différents (5,10,20,30,50,60) °C
 - **Sable :** utilisée à des températures différentes à (15, 20, 30,60,80) °C
- **Mélange des Composants :**
 - Mélanger les composants à des températures spécifiques (combinaisons des températures des composants) pour préparer le mortier.
 - Exemples de combinaisons :

- Ciment et sable à température normale, eau à (5,10,20,30,50,60) °C
- Ciment et l'eau à température ambiante, sable à (15, 20, 30,60,80) °C

- **Coulage et Durcissement :**

- Couler le mortier dans des moules pour former des échantillons de formes standard (prismes de 40x40x160 mm).
- Laisser les échantillons durcir à une température contrôlée de 20°C pendant 24 heures.
- Démouler les échantillons et les immerger dans l'eau à 20°C jusqu'à la date du test (7,14,28 jours).

III.2.4. Tests physiques et mécaniques :

Temps de prise :

- Utiliser l'appareil de Vicat

Densité :

- Mesurer la densité apparente des échantillons.

Résistance à la Compression :

- Mesurer la résistance à la compression des prismes après les périodes mentionnées ci-dessus de durcissement.
- Utiliser une machine de compression pour appliquer une charge progressive jusqu'à la rupture.

Résistance à la Flexion :

- Mesurer la résistance à la flexion des prismes après d'après les périodes mentionnées ci-dessus de durcissement.
- Utiliser une machine de flexion pour appliquer une charge progressive jusqu'à la rupture.

III.2.5. Analyse des Résultats :

- Comparer les résultats des tests mécaniques pour les différentes combinaisons de températures des composants.
- Analyser l'influence de chaque composant et de leurs combinaisons sur les performances mécaniques et physiques du mortier.

- Identifier les températures optimales pour chaque composant pour maximiser les performances du mortier.

III.2.6. Analyse des Résultats :

- Comparer les résultats des tests mécaniques pour les différentes combinaisons de températures des composants.
- Analyser l'influence de chaque composant et de leurs combinaisons sur les performances mécaniques et physiques du mortier.
- Identifier les températures optimales pour chaque composant pour maximiser les performances du mortier.

III.2.7. Conclusions et Recommandations :

- Résumer les principaux résultats et conclusions de l'étude.
- Formuler des recommandations pour les professionnels du bâtiment concernant le stockage et la manipulation des composants du mortier de ciment pour optimiser ses performances en fonction des conditions climatiques.

III.3. Matériaux utilisés et méthodes expérimentales :

III.3.1. Ciment

III.3.1.1. Caractéristiques chimiques du ciment utilisé

Le ciment utilisé, dans ce travail de recherche, est un ciment portland composite CEM II/B 42.5 produit par la société Lafarge à M'sila. Les compositions chimiques de ce ciment sont illustrées dans le tableau suivant :

Tableau III.1: Les compositions chimique de ciment.

Composants	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaSO ₄
Quantité (%)	60%-67%	20%-25%	5%-8%	2%-6%	3%-5%,

III.3.1.1. Caractéristiques physiques du ciment utilisé

➤ Essai de consistance (NF EN 196-3)

La consistance de la pâte de ciment caractérise sa fluidité. L'objectif est de définir une consistance normalisée à l'aide de l'appareil de Vicat muni d'une sonde.

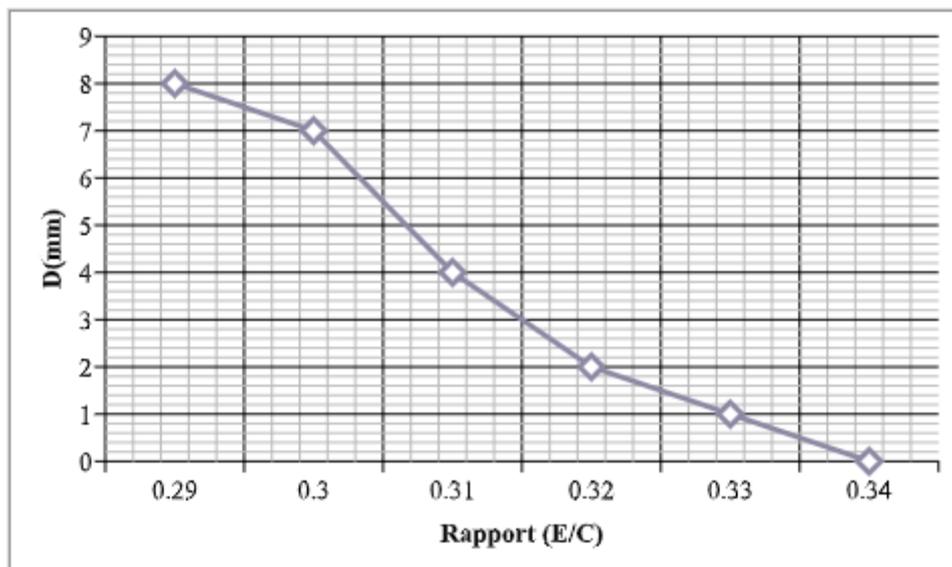
Selon la norme NF EN 196-3, le malaxage de la pâte du ciment est effectué tel qu'il est indiqué sur le tableau ci-dessous Tableau (III.2)

Tableau III.2 : Procédure du malaxage de la pâte du ciment.

Opération	Introduction de l'eau	Introduction de ciment	Malaxage	Raclage de la cuve	Malaxage
Durée	10s maximum		90s	15s	90s
Etat du malaxeur	Arrêt		Vitesse lent	Arrêt	Vitesse lente

Afin de trouver la bonne consistance de la pâte du ciment, nous avons testé plusieurs rapports (E/C) jusqu'à obtention d'une pâte ayant une consistance de 28 %.

La figure ci-dessous montre la variation de la consistance en fonction du rapport E/C.

**Figure III.1 : Evolution de la consistance en fonction du rapport E/C**

On observe tout d'abord que la pâte du ciment témoin avec un rapport E/C allant de 0,32 à 0,34 est trop fluide, pour cela pour les différentes pâtes un rapport de 0,31 est choisi puisque on a obtenu une consistance normale. Dans le tableau (III.3) on trouve les résultats de la consistance des certains pâtes de ciment.

Tableau III.3 : Consistance des certaines pâtes de ciments testés.

Mélange de ciment	M1	M2
Température d'eau (C°)	10	20
Consistances (mm)	5	4

Des résultats Nous remarquons que M1, mélangé avec de l'eau à une température de 10°C, présente une consistance plus élevée (5 mm) par rapport à M2, mélangé avec de l'eau à 20°C (4 mm). Cela peut s'expliquer par le fait que la température plus basse augmente la viscosité du mélange, conduisant à une consistance plus élevée.

➤ Mesure de début et de la fin de prise

Il est nécessaire de connaître le temps de début de prise des liants hydrauliques afin de déterminer le temps disponible pour la mise en œuvre sur site des mortiers et des bétons. Les essais se font à l'aide de l'aiguille de Vicat, qui indique le début et la fin de la prise.

Les résultats de l'essai de prise sont illustrés dans le tableau ci-dessous Tableau (III.4)

Tableau III.4. : Temps de prise des certaines pates du ciment

Mélange de ciment	M1	M2
Début de prise	1h21min	1h40min
Fin de prise	3h52min	4h40min

Selon les résultats On remarque que M1 commence à prendre plus rapidement et termine le processus de prise en moins de temps par rapport à M2. Cela peut être expliqué à cause de le fait de température d'eau. Alors nous en concluons que :

- **M1** semble être plus adapté aux projets nécessitant un début et une fin de prise plus rapides. Cela pourrait être utile dans des conditions environnementales froides où le processus de prise est plus lent.
- **M2** pourrait être plus adapté dans les situations où les ingénieurs ont besoin de plus de temps pour le traitement et la mise en forme avant le début de la prise.

➤ Mesure de la masse volumique apparente du ciment (NF P 18-558)

L'essai consiste à peser un récipient vide d'un volume (V), puis le remplir sans tassement d'un matériau sec (ciment) et le peser ensuite (M).

La masse volumique apparente, selon la norme NF P 18-558, sera déduite de la formule [8]:

$$\rho_{app} = \frac{M}{V} \times 1000 (\text{kg/m}^3)$$

- La masse volumique apparente compacte est déterminée par la pesée d'un récipient d'un litre, rempli de ciment avec un tassement de 25 coups par 3 couches.

➤ Mesure de la masse volumique absolue du ciment (NF P 18-558)

La masse volumique absolue est déterminée en utilisant le dispositif Le Chatelier.

La masse volumique absolue est déduite, selon la norme NF P 18-558 de la formule suivante :

$$\rho_{abs} = \frac{M_2 - M_1}{V_2 - V_1} \text{ (Kg/m}^3\text{)}$$

- M1 est la masse initiale.
- M2 est la masse finale.
- V1 est le volume initial.
- V2 est le volume finale.

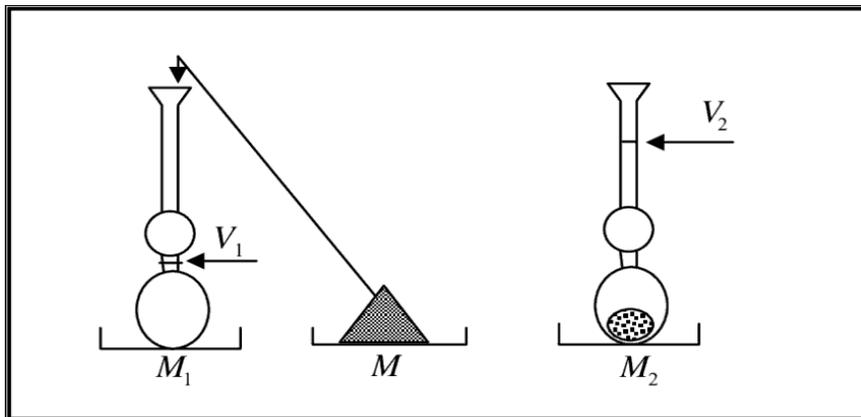


Figure III.2 : Dispositif expérimental de l'appareil le Chatelier.

Selon les résultats obtenus, les masses volumiques apparente et absolue du ciment utilisé, sont incluses dans l'intervalle imposé par la norme NA 231 (Norme Algérienne, 1992), compris entre 0.900 – 1.100 g/cm³ pour la masse volumique apparente et 2.900 – 3.150 g/cm³ pour la masse volumique absolue.

Tableau III.5 : Caractéristiques physiques du ciment CEM II/B 42.5.

Couleur	Gris
Masse volumique apparente(g/cm ³)	1100
Masse volumique absolue (g/cm ³)	3100
Début de prise	60-120
Fin de prise	180-240

III.3.2. Le sable**III.3.2.1. Caractéristiques chimiques du sable utilisé**

Le sable utilisé pour préparer les mélanges de mortier de ciment a été fourni par la wilaya de Tamanrasset. Il s'agit de sable naturel exempt d'impuretés ayant les propriétés chimiques suivantes :

Tableau III.6 : Les composants chimiques du sable de Tamanrasset.

Composant chimique	SiO ₂ (silice)	Al ₂ O ₃ (Alumine)	Fe ₂ O ₃ (Oxyde de fer)
Pourcentage (%)	90-95	2-5	0.5-2

III.3.2.2. Caractéristiques physiques du sable utilisé

Pour déterminer les caractéristiques physiques du sable utilisé, des essais de laboratoire doivent être effectués à savoir : l'analyse granulométrique, l'équivalent de sable et les masses volumiques apparente et absolue du sable.

- **Analyse granulométrique du sable selon la norme NF P 18-560**

L'analyse granulométrique a été réalisée au laboratoire des Travaux publics à Ghardaïa selon la norme NF P18-560. L'essai consiste à classer les différents grains constituant l'échantillon en utilisant une série de tamis (de 0.063 à 1 mm), emboîtés les uns sur les autres, dont les dimensions des ouvertures sont décroissantes du haut vers le bas. Les résultats obtenus sont récapitulés dans le tableau (III.7).

Tableau III.7 : Analyse granulométrique du sable.

Diamètre des tamis (mm)	1	0.500	0.250	0.125	0.063
Refus cumulé	34.4	106.3	175.1	235.5	249.7

- **Mesure de l'équivalent de sable selon la norme NF P 18-598.**

L'essai d'équivalent de sable (E.S) est généralement utilisé pour contrôler le sable :

$$Es = \frac{H1}{H2} \times 100$$

Les valeurs préconisées par la norme (NF P 18-598) correspondent aux intervalles suivants [14] :

1. $60 \leq ES \leq 70$: Sable légèrement argileux - admissible pour mortiers courants avec risque de retrait important,
2. $70 < ES \leq 80$: Sable propre - convient bien pour un mortier de haute qualité ;
3. $ES > 80$: Sable très propre - absence presque totale de fines argileuses.

Les valeurs obtenues des coefficients d'équivalent de sable visuel et à piston sont respectivement 73.94 % et 78.03 %. Le sable utilisé est donc un sable propre et qu'il convient parfaitement pour la formulation d'un bon mortier de haute qualité.



Figure III.2 : Essai de l'équivalent de sable [Laboratoire LTPS (Ghardaïa)].

- **Mesure de la masse volumique apparente et absolue du sable selon la norme NF P 18-555**

Les mesures des masses volumiques apparente et absolue sont nécessaires, non seulement pour contrôler la qualité des granulats, mais aussi pour calculer la composition des mortiers.

Alors, cet essai permet, en particulier, de déterminer la masse ou le volume du sable pour élaborer la composition de mortiers dont les caractéristiques sont imposées. Les résultats de cette caractérisation sont regroupés dans le tableau ci-dessous.

Tableau III.8 : Caractéristiques physique du sable

Caractéristique physique	Equivalent de sable visuel (%)	Equivalent de sable à piston (%)	Masse volumique absolue (g/cm ³)	Masse volumique apparente (g/cm ³)
Valeurs	73.94%	78.07%	2.62	1.49

III.3.3. Eau de gâchage

L'eau utilisée et de l'eau potable (eau de robinet).

III.4. Préparation des mélanges de mortier de ciment

Le tableau (III.9) montre les quantités et les composants du mélange utilisé dans cette étude

Tableau III.9 : Les quantités et les constituants du mortier.

Mélange	Ciment	Sable	Eau
Quantités	450g	1350g	275g

Nous avons préparé un ensemble de prismes de dimensions (40*40*160) mm pour étudier l'influence de la température des certains composants sur les performances mécaniques et physiques d'un mortier de ciment.

- Changement de température d'eau :

Nous avons préparé 54 échantillons dans les conditions suivantes :

De l'eau à des températures différentes :

- Basses (5,10°C),
- Modérée (20°C),
- Elevées (30, 50, 60 degrés Celsius),

Tandis que :

- Les quantités spécifiées de sable et de ciment étaient à température ambiante (20°C).

- Changement de température du sable

Nous avons préparé 36 échantillons dans les conditions suivantes :

- De sable à des températures différentes :
- Modérée (15°C),
- Elevée (30, 60,80 degrés Celsius),

Tandis que :

- Les quantités spécifiées d'eau et de ciment étaient à température ambiante (20°C).

Le malaxage de mortier a été réalisé selon la norme (NF EN 196-1) reconnues et indiquées dans le tableau (III.10).

Tableau III.10 : Les étapes du malaxer de mortier

Opération	Introduction d'eau	Introduction ciment		Introduction du sable		Raclage la cuve	
Durée	10s		30s	30s	30s	15s	60s
Etat de malaxeur	Arrêt		Vitesse lent		Vitesse rapide	Arrêt	Vitesse rapide

Après avoir homogénéisé de mélange, il a été coulé en trois couches dans les moules et comprimé à l'aide d'un compacteur automatique. Les échantillons ont été laissés pendant 24 heures à température ambiante, puis les moules ont été démoulés, numérotés et immergés dans l'eau. Au jour prévu (7 j, 14j et 28 j), les éprouvettes sont rompues en compression, en flexion et densité.



Figure III.3 : Les échantillons

III.5. Analyse et essais au laboratoire

III.5.1. Essai de temps de prise du ciment

L'essai de prise a été effectué conformément à la norme EN 196-3 à l'aide de l'appareil de Vicat. L'essai consiste à déterminer le temps de début et de fin de prise pour chaque pâte de ciment, en utilisant de l'eau à des températures différentes lors de leur préparation.



Figure III.4 : Appareil de VICAT.

III.5.2. Essai de résistance à la compression

Cet essai a été réalisé dans le laboratoire de Travaux Public du Sud Ghardaïa, où une charge compressive de 1,8 KN/s a été appliquée à un taux de charge uniforme sur l'échantillon placé entre les surfaces de la machine d'essai, jusqu'à ce qu'il atteigne la rupture.



Figure III.5 : Essai de Compression

III.5.3. Essai de résistance à la flexion

Les échantillons ont été placés dans la machine d'essai, avec la face inférieure du prisme reposant sur les appuis, tandis que la surface supérieure a été soumise à une force verticale au centre d'environ (50 ± 10) N/s jusqu'à la rupture.



Figure III.6 : Essai de Flexion

III.5.4. Essai de densité

Dans l'essai de densité, l'échantillon a été pesé après avoir été immergé dans l'eau puis séché. La densité a ensuite été calculée est la moyenne des valeurs pour trois échantillons à la même température a été déterminée.

III.6. Discussions et interprétation des résultats

III.6.1. Effet de la température de l'eau sur le temps de prise de ciment

D'après le tableau, on peut observer que :

À une température de 5C° :

- Consistance (5mm) : À une température d'eau basse (5°C), la consistance reste à 5 mm, ce qui indique que la réaction entre le ciment et l'eau est relativement lente. Cela permet au mélange de maintenir une viscosité modérée et de rester relativement facile à travailler malgré la température froide.
- Début de prise (1h55min) : A une température basse comme 5c°, le processus de prise commence lentement. Cela indique que les particules de ciment et d'eau réagissent lentement à des températures basses.
- Fin de prise (4h17 min) : Le processus de prise prend plus de temps pour se compléter. Cela peut être utile dans certaines situations où les ouvriers ont besoin de plus de temps pour façonner et couler le mortier.

À une température de 10C° :

- Consistance (5mm) : À 10°C, la consistance reste également à 5 mm, indiquant un effet similaire à celui observé à 5°C. La réaction entre l'eau et le ciment se produit assez lentement, permettant au mélange de conserver sa consistance modérée et sa maniabilité.
- Début de prise (1h21min) : Avec une légère augmentation de la température, la vitesse de réaction chimique entre l'eau et le ciment augmente, ce qui entraîne un début de prise plus rapide.
- Fin de prise (3h52min) : Le temps de prise totale est réduit par rapport à 5°C, ce qui indique une réaction plus rapide.

À une température de 20C° :

- Consistance (4 mm) : la consistance diminue à 4 mm à 20°C, ce qui suggère une légère augmentation de la réaction entre le ciment et l'eau. Cela signifie que le mélange devient plus fluide et moins visqueux, probablement en raison d'une réaction thermique modérée qui facilite le travail et le moulage du mélange.
- Début de prise (1h40min) : Le temps de prise augmente légèrement par rapport à 10°C, ce qui peut être dû à un équilibre thermique optimal pour la réaction.
- Fin de prise (4h40min) : bien que le temps de début de prise soit plus court, le temps de fin de prise est plus long, ce qui laisse plus de temps pour façonnage.

À une température de 30C° :

- Consistance (5 mm) : À 30°C, la consistance revient à 5 mm, indiquant que la réaction thermique n'est pas assez forte pour modifier significativement la viscosité du mélange par rapport aux températures plus basses. Cela signifie que le mélange conserve une consistance équilibrée et une bonne maniabilité.
- Début de prise (1h24min) : la réaction chimique s'accélère davantage avec l'augmentation de la température.
- Fin de prise (3h52min) : le temps de prise total est réduit, ce qui indique un processus de prise plus rapide.

À une température de 50C° :

- Consistance (8mm) : À 50°C, la consistance augmente à 8 mm, ce qui indique que la réaction entre le ciment et l'eau devient beaucoup plus rapide, entraînant une formation plus rapide du gel de ciment et une augmentation de la viscosité du mélange. Cela peut rendre le mélange plus dense et plus difficile à travailler.
- Début de prise (1h09min) : a des température élevées la réaction chimique devient très rapide, entraînant un début de prise très rapide.
- Fin de prise (3h40min) : le temps de prise totale est considérablement réduit, ce qui reflète une vitesse de réaction élevée.

À une température de 60C° :

- Consistance (8mm) : À 60°C, la consistance reste à 8 mm, indiquant un effet similaire à celui observé à 50°C. La réaction très rapide entre l'eau et le ciment entraîne une formation rapide du gel de ciment, augmentant ainsi la densité du mélange et rendant sa manipulation plus difficile. Cela met en évidence l'effet des températures élevées sur l'accélération des réactions chimiques et l'augmentation de la viscosité.
- Début de prise (1h20min) : La réaction chimique atteint son apogée, entraînant un début de prise en un temps record.
- Fin de prise (3h31min) : Le temps de prise totale est le plus court parmi toutes les température , ce qui indique le processus de prise le plus rapide .

TableauIII.11 : la relation entre température d'eau et temps de prise de ciment.

Mélange de ciment	M1	M2	M3	M4	M5	M6
Température d'eau utilisé(C°)	5	10	20	30	50	60
Consistance (mm)	5	5	4	5	8	8
Début de prise	1h55min	1h21min	1h40min	1h24min	1h09min	1h02min
Fin de prise	4h17min	3h52min	4h40min	3h52min	3h40min	3h31min

III.6.2. Changement de la température d'eau sur le mortier du ciment

III.6.2.1. Effet de la température de l'eau sur la résistance à la compression

À partir de le schéma III.2, qui montre effet de la température de l'eau sur la résistance à la compression après 7 jours, on observe que la résistance à la compression du mortier augmente lorsque la température de l'eau passe de 5°C à 20°C, atteignant 24,32 MPa à 20°C. Cela indique qu'une température modérée de l'eau favorise l'hydratation et le durcissement du mortier.

Au-delà de 20°C, la résistance à la compression diminue légèrement à 30°C et 50°C, ce qui suggère qu'une température trop élevée peut accélérer les réactions de manière excessive et réduire la résistance.

À 60°C, on note une légère augmentation de la résistance, ce qui pourrait être dû à une meilleure répartition de la chaleur pendant le durcissement.

Après 14 jours, une augmentation notable de la résistance à 20°C (28,54 MPa) confirme que la température modérée de l'eau est optimale pour obtenir de meilleurs résultats.

La température élevée de 60°C montre une augmentation significative de la résistance (26,82 MPa) par rapport aux températures plus basses (5°C, 10°C, 30°C, 50°C), suggérant que les effets thermiques peuvent améliorer la résistance à moyen terme.

Après 28 jours, Les résultats montrent que la résistance maximale est atteinte à 20°C (30,63 MPa), confirmant que la température modérée de l'eau est idéale pour obtenir une résistance maximale à long terme.

Les températures élevées (50°C et 60°C) montrent également une bonne résistance (29,6 MPa et 25,73 MPa respectivement), indiquant que des réactions thermiques prolongées peuvent améliorer la résistance du mortier.

Les températures basses (5°C) montrent une résistance beaucoup plus faible (24,69 MPa), indiquant que les températures froides ne sont pas idéales pour développer la résistance maximale du mortier.

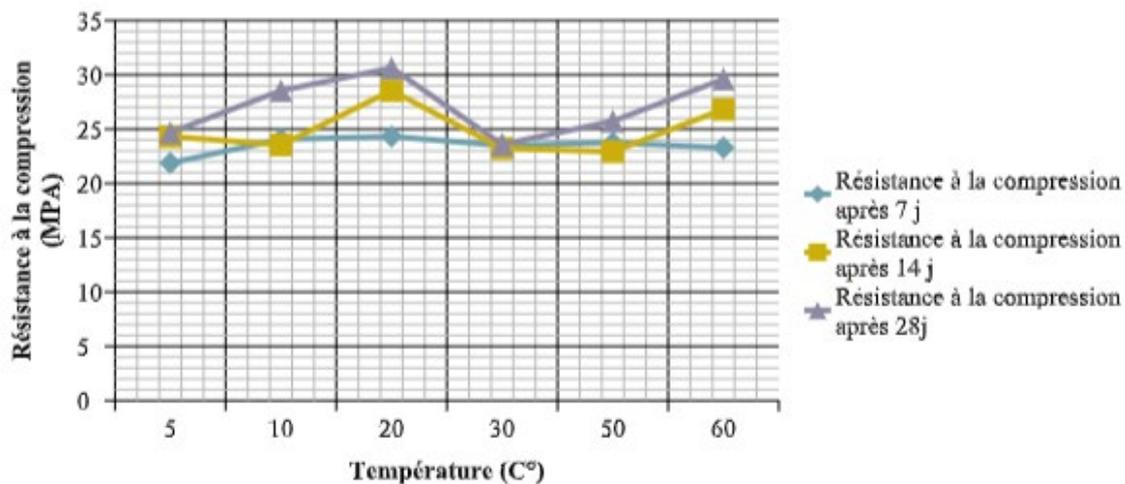


Figure III.2 : La relation entre la température d'eau et résistance de compression.

III.6.2.2. Effet de la température de l'eau sur la résistance à la flexion

Après 7 jours On observe une augmentation de la résistance à la flexion lorsque la température de l'eau passe de 5°C à 20°C, atteignant un maximum de 5,06 MPa à 20°C. Cela indique qu'une température modérée de l'eau favorise le développement initial de la résistance à la flexion.

À 30°C et 50°C, la résistance à la flexion diminue légèrement, ce qui suggère que des températures d'eau plus élevées peuvent affecter négativement le développement initial de la résistance. À 60°C, la résistance à la flexion augmente de manière significative à 5,38 MPa, ce qui pourrait indiquer une amélioration des réactions chimiques à des températures très élevées dans les premiers jours.

Après 14 jours, les résultats montrent une résistance relativement stable autour de 5,19-5,25 MPa pour la plupart des températures (5°C, 10°C, 20°C, 30°C, 50°C), sauf à 60°C où la résistance augmente légèrement à 5,47 MPa.

Cela suggère que la température de l'eau a un impact moindre sur la résistance à la flexion après 14 jours par rapport aux premières phases de durcissement.

Et après 28 jours la résistance maximale à la flexion est atteinte à 10°C avec 6,28 MPa, suivie de près par 5°C avec 6,11 MPa. Cela indique que des températures de l'eau plus basses favorisent le développement de la résistance à long terme.

À 20°C et 60°C, la résistance est relativement similaire (6 MPa et 6,03 MPa respectivement), suggérant que ces températures sont également efficaces pour le développement de la résistance à long terme.

Les températures plus élevées (30°C et 50°C) montrent une résistance à la flexion légèrement inférieure (5,66 MPa), ce qui peut indiquer un effet négatif des températures élevées sur la résistance à long terme.

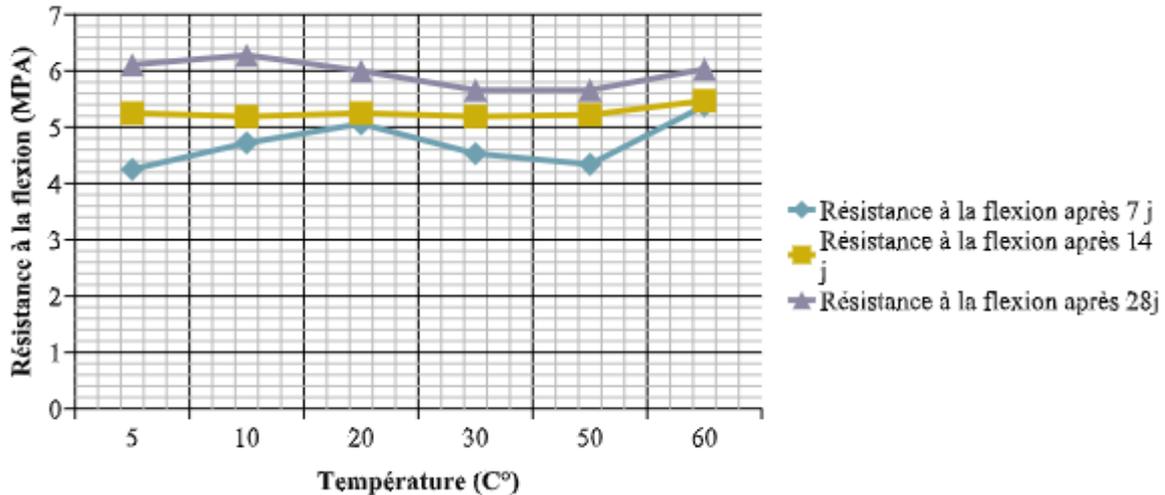


Figure III.3 : La relation entre la température d'eau et résistance de flexion

III.6.2.3. Effet de la température de l'eau sur la densité

Les valeurs que nous avons fournies semblent identiques à celles de la résistance à la flexion. Pour la densité, nous nous attendrions à des valeurs en g/cm^3 ou kg/m^3 et généralement, elles seraient plus constantes. Cependant, en considérant ces valeurs comme des données de densité, nous pouvons encore analyser les tendances observées.

Après 7 jours, à une température de 20°C, la densité atteint son maximum à 5,06. Cela suggère qu'une température modérée de l'eau favorise une bonne compacité du mortier dans les premiers jours.

À 60°C, une densité encore plus élevée est atteinte (5,38), ce qui peut indiquer que des températures très élevées favorisent une hydratation plus rapide, augmentant ainsi la densité initiale. Après 14 jours, la densité reste relativement stable autour de 5,19-5,25 pour la plupart des températures (5°C, 10°C, 20°C, 30°C, 50°C), avec une légère augmentation à 60°C (5,47). Cela montre que la température de l'eau a un impact moindre sur la densité après deux semaines.

Après 28 jours, la densité maximale est observée à 10°C (6,28) et à 5°C (6,11), ce qui suggère que des températures plus basses de l'eau favorisent une meilleure compaction et un développement de la densité à long terme.

Les températures de 20°C et 60°C montrent des densités similaires (6 et 6,03 respectivement), indiquant que ces températures sont également efficaces pour le développement de la densité à long terme.

Les températures de 30°C et 50°C montrent une densité légèrement inférieure (5,66), ce qui peut indiquer que des températures d'eau plus élevées peuvent affecter négativement la densité à long terme.

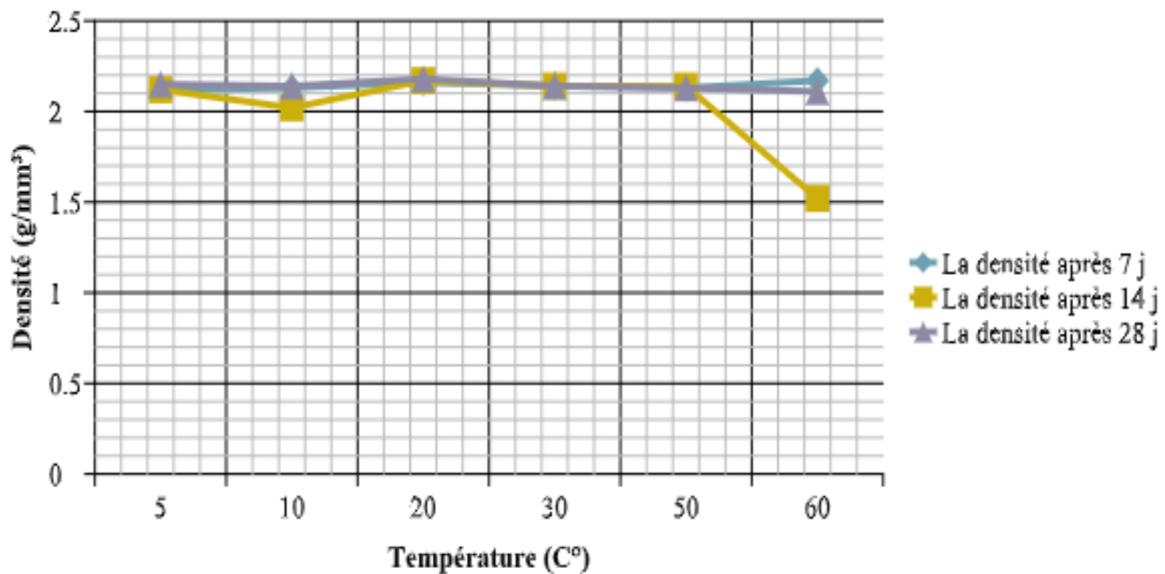


Figure III.4 : La relation entre la température d'eau et la densité.

III.6.3. Changement de la température du sable sur mortier du ciment

III.6.3.1. Effet de la température du sable sur la résistance à la compression

Après 7 jours, la résistance est la plus élevée à 30°C, ce qui indique que cette température favorise le durcissement initial. Les températures très élevées (60°C et 80°C) réduisent la résistance, probablement en raison d'une réaction chimique trop rapide, entraînant des fissures internes.

Après 14 jours, on remarque que la résistance à 80°C devient la plus élevée. Cela suggère que la réaction chimique rapide à des températures élevées a donné un coup de pouce à la résistance sur une période plus longue. Cependant, la température de 15°C continue de fournir une bonne résistance, reflétant une augmentation continue et stable du durcissement.

Après 28 jours, la résistance est la plus élevée à 30°C, ce qui montre que cette température offre un équilibre optimal entre un durcissement rapide et une qualité finale. La résistance à 60°C et 80°C est plus faible, confirmant que des températures très élevées peuvent nuire à la qualité finale du mortier.

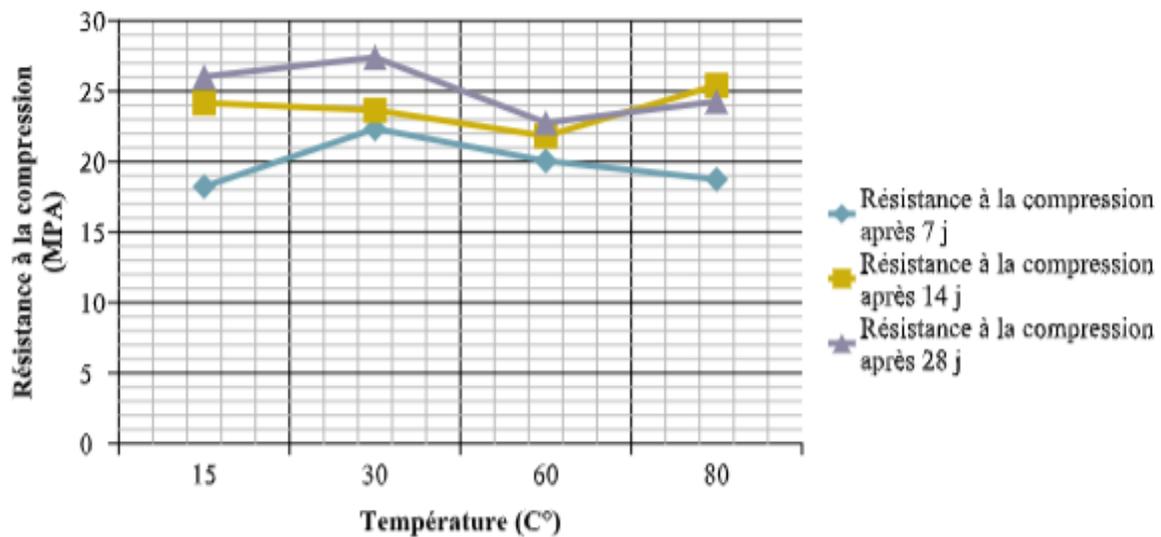


Figure III.5 : La relation entre la température du sable et la résistance à la compression.

III.6.3.2. Effet de la température du sable sur la résistance à la flexion

Après 7 jours, la résistance à la flexion est la plus élevée à 60°C, suggérant que cette température favorise un durcissement initial plus rapide et plus efficace. La résistance est plus faible à 15°C et 80°C, cette dernière étant légèrement inférieure à celle de 15°C, ce qui pourrait être dû à une réaction chimique trop rapide, créant des tensions internes.

À 14 jours, La température de 30°C offre la meilleure résistance à la flexion, tandis que les températures de 60°C et 80°C montrent également des résistances élevées. La température de 15°C continue de donner des résultats inférieurs.

Après 28 jours, La résistance à la flexion est la plus élevée à 60°C, indiquant que cette température favorise le développement à long terme de la résistance. Les températures de 30°C et 80°C offrent également de bonnes résistances. La température de 15°C donne la résistance la plus faible.

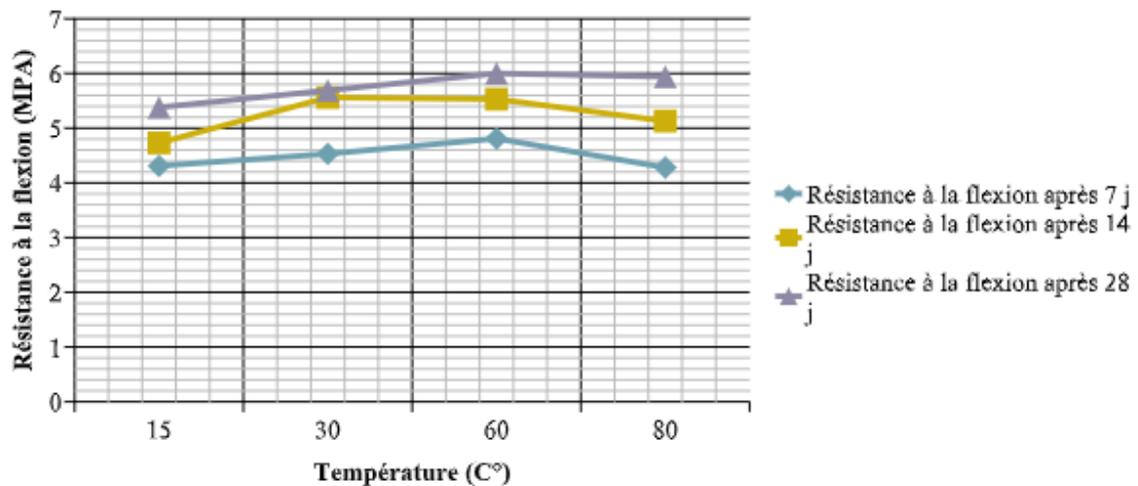


Figure III.6 : La relation entre la température du sable et la résistance à la flexion.

III.6.3.3. Effet de la température du sable sur la résistance la densité

Après 7 jours, on observe que la densité du mortier est légèrement plus élevée à 30°C. Cela indique que cette température favorise peut-être une meilleure réaction chimique initiale entre le ciment et l'eau, augmentant ainsi la densité. Les autres températures montrent des densités proches les unes des autres.

Après 14 jours, la densité continue d'augmenter légèrement à 15°C et 30°C. Pour la température de 60°C, la densité reste constante, ce qui peut indiquer que la réaction chimique s'est déroulée rapidement au début puis s'est stabilisée. À 80°C, la densité augmente légèrement.

Après 28 jours, on observe une légère diminution de la densité à 30°C, ce qui pourrait être dû à une perte d'eau ou à la formation de micro-fissures. Les autres températures montrent des densités presque stables, indiquant une stabilisation de la structure interne du mortier.

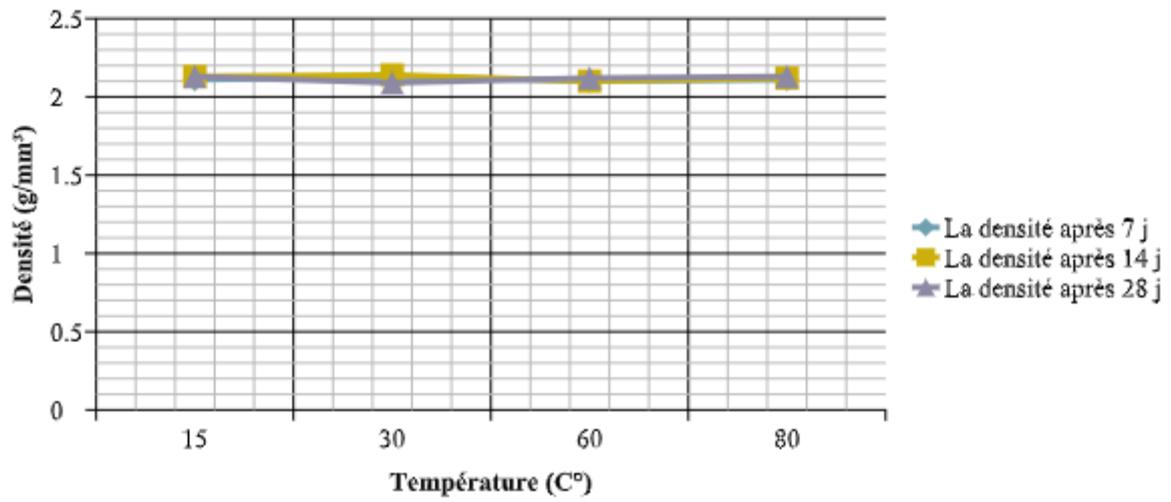


Figure III.7: La relation entre la température du sable et la densité

III.7. Conclusions

En se basant sur les résultats expérimentaux obtenus dans cette étude et après discussion de ces résultats, nous pouvons tirer les conclusions suivantes :

- Avec l'augmentation de la température, le temps de début de prise diminue, indiquant une réaction plus rapide entre le ciment et l'eau.
- Avec l'augmentation de la température, le temps de fin de prise diminue, indiquant que le processus de prise se complète plus rapidement à des températures élevées.
- Dans les environnements froids, les travailleurs ont besoin de plus de temps pour travailler avec le mortier, tandis que dans les environnements chauds, ils doivent travailler plus rapidement pour éviter une prise rapide.
- La température optimale de l'eau pour préparer le mortier est d'environ 20°C pour obtenir la meilleure résistance à la compression à court et à long terme.
- Les températures élevées (50°C et 60°C) peuvent améliorer la résistance à la compression à long terme, mais peuvent ne pas être aussi efficaces dans les phases précoces.
- Les températures basses (5°C et 10°C) entraînent un développement plus lent et moins efficace de la résistance à la compression.
- La température de l'eau a un impact significatif sur le développement de la résistance à la flexion du mortier.
- Une température modérée de l'eau (20°C) semble être optimale pour le développement initial de la résistance à la flexion.
- Les températures plus basses (10°C et 5°C) favorisent le développement de la résistance à la flexion à long terme, atteignant des valeurs maximales après 28 jours.
- Les températures très élevées (60°C) peuvent améliorer la résistance à la flexion à court terme mais ont un effet moindre à long terme.
- La température de l'eau a un impact significatif sur la densité du mortier, surtout dans les premières phases de durcissement.
- Une température modérée de l'eau (20°C) semble être optimale pour obtenir une densité élevée dans les premiers jours.
- Des températures plus basses (10°C et 5°C) favorisent le développement d'une densité maximale à long terme.
- Des températures très élevées (60°C) peuvent augmenter la densité initiale mais ont un effet moins marqué à long terme.

- Une température du sable de 30°C semble être optimale pour le développement rapide et final de la résistance à la compression du mortier.
- Les températures très basses (15°C) et très élevées (60°C et 80°C) peuvent ralentir ou compromettre l'hydratation du ciment, ce qui réduit la résistance à la compression.
- À des températures élevées, des mesures de conservation de l'humidité doivent être prises pour éviter une perte d'eau trop rapide, par exemple en utilisant des additifs retardateurs ou en maintenant un environnement humide pendant la cure.
- Une température de 60°C semble offrir les meilleures performances en termes de résistance à la flexion après 28 jours. Toutefois, des températures plus modérées comme 30°C offrent également de bons résultats avec moins de risques associés.
- Les températures très basses (15°C) et très élevées (80°C) montrent des résistances finales acceptables, mais les variations observées peuvent indiquer une hydratation non uniforme du ciment.
- La densité du mortier est relativement stable à toutes les températures testées, avec des variations mineures. Cela suggère que la température du sable n'a pas un impact significatif sur la densité finale du mortier
- Les variations de densité peuvent être dues à des changements dans l'humidité et l'hydratation du ciment. Une gestion appropriée de l'humidité est essentielle pour maintenir une densité uniforme et éviter les variations significatives.

Conclusion

L'étude de l'influence de la température des composants sur les performances physiques et mécaniques du mortier de ciment révèle plusieurs aspects clés pour optimiser la qualité du produit final.

Température de l'eau : Une température modérée d'environ 20°C est généralement optimale pour obtenir une résistance à la compression, une densité et une résistance à la flexion élevées, tant à court qu'à long terme. Les températures plus élevées (50°C et 60°C) peuvent améliorer la résistance à la compression sur le long terme, mais peuvent nuire aux phases initiales de durcissement. Inversement, des températures plus basses (5°C et 10°C) ralentissent le développement initial des propriétés du mortier, mais favorisent une résistance accrue et une densité maximale sur le long terme.

Température du sable : Une température proche de 30°C semble optimale pour développer rapidement la résistance à la compression. Les températures extrêmes, tant élevées que basses, peuvent compromettre l'hydratation du ciment, réduisant ainsi les performances mécaniques.

Gestion de l'humidité : Dans les environnements à haute température, il est crucial de maintenir une bonne gestion de l'humidité pour éviter une perte rapide d'eau, par exemple en utilisant des additifs retardateurs ou en maintenant un environnement humide pendant la cure.

Performance globale : La température des composants influence considérablement la résistance à la compression, la résistance à la flexion et la densité du mortier. Une gestion appropriée de la température, associée à une bonne gestion de l'humidité, est essentielle pour optimiser les performances du mortier et garantir des résultats fiables et durables.

Pour atteindre les meilleures performances physiques et mécaniques du mortier de ciment, il est crucial de contrôler la température de l'eau et du sable, d'ajuster les conditions de mélange et de cure en fonction des températures environnementales, et de maintenir une gestion adéquate de l'humidité. Ces pratiques permettront de maximiser la qualité et la durabilité du mortier dans diverses conditions de construction.

Conclusion Générale

Conclusion Générale

Cette étude a permis d'explorer en profondeur l'influence de la température des constituants sur les caractéristiques mécaniques et physiques du mortier de ciment CEM II/B 42,5. Les résultats obtenus révèlent des impacts significatifs des variations de température de l'eau et du sable sur les propriétés finales du mortier.

Les températures élevées accélèrent le processus d'hydratation, ce qui peut améliorer la résistance à la compression précoce mais aussi augmenter le risque de fissuration. À l'inverse, les températures basses ralentissent le durcissement, affectant négativement la résistance du mortier et allongeant le temps de prise. Ces résultats soulignent l'importance d'un contrôle précis de la température des constituants pour optimiser les performances du mortier et minimiser les risques associés aux variations thermiques.

L'étude contribue ainsi à une meilleure compréhension des ajustements nécessaires dans les pratiques de mélange et d'application du mortier dans des environnements aux conditions thermiques variées. Toutefois, certaines limites, telles que le champ restreint des températures testées et la généralisation des résultats à d'autres types de ciment, doivent être reconnues. Il est donc recommandé de mener des recherches supplémentaires, couvrant une gamme plus large de températures et différents types de ciment, afin d'affiner les recommandations fournies.

En conclusion, cette étude confirme l'importance d'un suivi rigoureux des températures des constituants lors de la préparation du mortier pour améliorer ses performances.

Nous espérons que:

- Les professionnels du bâtiment trouveront dans ce travail un guide utile pour améliorer la qualité de leurs projets.
- Les chercheurs et étudiants, quant à eux, pourront s'appuyer sur cette contribution pour approfondir la recherche dans ce domaine.

Dans ce contexte on peut proposer à titre indicatif:

- L'étude d'amélioration des performances des bétons et des mortiers à base d'agrégats chauds par ajout des additifs;
- Etude d'amélioration des caractéristiques des ciments pour s'adapter aux constituants très chauds;

Recommandations

- Travail par temps froid (5°C - 10°C) :
 - Il faut prendre en compte que le processus de prise sera lent, ce qui donne aux travailleurs plus de temps pour travailler avec le mortier. Cela peut être utile dans les projets nécessitant plus de temps pour le façonnage et le coulage.
 - Il est recommandé d'utiliser des additifs pour accélérer le processus de prise si nécessaire, surtout si les délais sont serrés.
- Travail par temps modéré (20°C - 30°C) :
 - Ces conditions sont idéales pour la plupart des projets, car la prise se fait à une vitesse moyenne, offrant suffisamment de temps pour travailler et façonner sans retards importants.
 - Le processus de prise peut être contrôlé en utilisant des additifs pour améliorer les performances selon les besoins.
- Travail par temps chaud (50°C - 60°C) :
 - Les travailleurs doivent être prêts à travailler plus rapidement, car le processus de prise se fait très rapidement, réduisant ainsi le temps disponible pour le façonnage et le coulage.
 - Il est recommandé d'utiliser des additifs pour ralentir le processus de prise afin de donner plus de temps aux travailleurs.
 - Stocker les matériaux dans des endroits frais pour réduire l'impact des températures élevées.
 - Humidifier régulièrement les surfaces et les outils pour aider à contrôler la température du mortier.
- Planification et préparation :
 - Les conditions climatiques prévues doivent être prises en compte lors de la planification des projets en béton et ajuster le calendrier de travail en conséquence.
 - Former les travailleurs à la manipulation du mortier à différentes températures pour assurer la qualité du travail.
 - Maintenir le contact avec les fournisseurs pour obtenir les matériaux et les additifs nécessaires afin d'ajuster la vitesse de prise en fonction des conditions climatiques.
- Qualité et surveillance :
 - Surveiller régulièrement les températures pendant le travail et ajuster les procédures si nécessaire pour assurer la prise correcte du mortier.
 - Effectuer des tests périodiques sur des échantillons de mortier pour vérifier la qualité de la prise.

Conclusion Générale

- Pour garantir les meilleures performances du mortier, il est conseillé d'utiliser de l'eau à une température modérée d'environ 20°C.
- Dans les environnements où il n'est pas possible de contrôler la température de l'eau, des mesures doivent être prises pour ajuster la composition du mortier ou la durée de cure pour obtenir des résultats optimaux.
- En cas de températures élevées, il peut être utile de refroidir l'eau utilisée ou d'utiliser des additifs spécifiques pour contrôler la vitesse des réactions.
- Pour optimiser la résistance à la flexion du mortier, il est recommandé d'utiliser de l'eau à une température modérée de 20°C, surtout pour les premières phases de durcissement.
- Pour des applications nécessitant une résistance maximale à long terme, il peut être avantageux d'utiliser de l'eau légèrement plus froide (10°C).
- Pour optimiser la densité du mortier, il est recommandé d'utiliser de l'eau à une température modérée de 20°C, surtout pour les premières phases de durcissement.
- Contrôle de la Température du Sable : Il est recommandé de maintenir la température du sable proche de 30°C pour optimiser la résistance à la compression du mortier.
- Gestion de l'Humidité : Assurer une cure adéquate, en particulier à des températures élevées, pour garantir une hydratation complète du ciment.
- Surveillance de la Densité : Bien que les variations soient minimales, il est important de surveiller la densité tout au long du processus de cure pour détecter tout problème potentiel lié à l'hydratation ou aux conditions de température.

Bibliographie

Bibliographie

- [1] Neville, A.M. (2011). "Properties of Concrete"
- [2] Kosmatka, S.H., Kerkhoff, B., & Panarese, W.C. (2002). "Design and Control of Concrete Mixtures"
- [3] "Manual of Construction Techniques"
- [4] "Guide pratique du bâtiment"
- [5] Bouglada M.S. ; « Effet de l'activation du ciment avec ajout minéral par Lachaux fine sur le comportement mécanique du mortier » ; mémoire de magister; université de M'sila; 2008.
- [6] D'après le chantier du Mountain View i City Lavista City New Capital à l'Égypte (PDG : Mahmoud Shehta Elshabrawy).
- [7] Richane S. ; « Prise en compte de l'orientation des fibres dans une poutre continue à matrice de béton » ; Mémoire de magister; M'sila; 2004.
- [8] Cours en ligne : « matériaux de construction chapitre 5 : les mortiers » ; disponible sur site web: http://www.la.refer.org/materiaux/chapitre_cinqdeux.html
- [9] Cours en ligne : « Chapitre 01 : Généralités sur les mortiers » disponible sur le site : dspace.univ-tiaret.dz
- [10] Blanco, A., Martínez, R., & Hernández, J. (2015). "Influence of environmental temperature on the mechanical properties of cement mortars: Case of Argentina". *Construction Materials Journal*.
- [11] Almusallam, A.A., Al-Gahtani, A.S., Aziz, A.R., & Maslehuddin, M. (1996). "Effect of environmental conditions on the properties of fresh and hardened concrete". *Cement and Concrete Composites*, 18(6), 453-461.
- [12] Ghafoori, N., & Diawara, H. (2010). "Effect of Curing Temperature and Water-to-Cement Ratio on Mortar Strength and Durability". *Journal of Materials in Civil Engineering*, 22(3), 240-246
- [13] Kumar, S., & Varma, S. (2018). "Influence of Temperature on the Strength and Durability of Concrete". *International Journal of Engineering Research and Applications*, 8(2), 55-61.
- [14]: TOUTLEMONE. G. « Notions pour les matériaux de constructions et la pratique des travaux ». 7ème édition. Paris, Eyrolles 1974.
- [15] Letertre F. et Renaud H. ; « Technologie de bâtiment-gros œuvre : travaux de maçonneries et finition » ; édition faucher ; 1978.



Autorisation d'impression d'un mémoire de Master

	Nom et prénom	Signature
Le président de jury	CADY Mokhtaria	
Examineur	SALHI Aimad	
Encadreur	AMIEUR Abdenneour	

Je soussigne, Dr : **CADY Mokhtaria**

Président de jury des étudiant(s) : **Hacini Hanane & Hiba Sara**

Filière : **Génie Civil** Spécialité : **Structures**

Thème : **Étude de l'influence de la température des constituants sur les caractéristiques mécaniques et physiques d'un mortier de ciment.**

J'autorise le(s) étudiant(s) mentionné(s) ci-dessus à déposer leur(s) manuscrit final au niveau du département.

L'président de jury



Ghardaïa, le

Le chef de département

بولميس الطيب
رئيس قسم الري
و الهندسة المدنية