

**UNIVERSITE LIBRE DES PAYS DES GRANDS LACS
FACULTE DE SCIENCES ET TECHNOLOGIES**

DEPARTEMENT DE GENIE CIVIL



BP. 368 GOMA

www.ulpgl.net

**ETUDE COMPARATIVE DES PROPRIETES MECANIQUES
DES MORTIERS CONFECTIONNES A BASE DES SABLES
D'IDJWI, DU MONT GOMA ET DU RWANDA AINSI QUE
DES CIMENT HIMA ET CIMERWA**

Par : **MPORANA FREDDY**

Travail présenté en vue de l'obtention du Diplôme de
Gradué en Sciences et Technologies

Option : Génie civil

Directeur : CT MASIKA MUHIRWA Grace

Encadreur : Ir BAHATI KHASHI Yvan

ANNEE ACADEMIQUE 2024 - 2025

Epigraphe

« Une construction solide commence toujours par une bonne connaissance des matériaux. » Eugene Freyssinet

Remerciements

AU terme de ce travail, il m'est particulièrement agréable d'exprimer ma profonde gratitude envers toutes personnes qui ont contribué, de près ou de loin, à la réalisation de ce mémoire.

Mes premiers remerciements s'adressent à Dieu tout puissant pour la grâce, la sante, la persévérance et la sagesse qui m'a accordées tout au long de mon parcours académique.

Mes remerciements les plus respectueux sont adresses à mon directeur de mémoire Mme CT MASIKA MUHIRWA Grace, pour son encadrement scientifique, sa disponibilité, ses conseils avisés et ses orientations pertinentes qui ont guide l'élaboration de ce travail.

Je remercie également mon encadreur, Monsieur Ir BAHATI KHASHI Yvan, pour son accompagnement constant, ses critiques constructives et son soutien précieux tout au long de réalisation de ce mémoire.

Je tiens à exprimer ma reconnaissance infinie à mes très chers parents GACHURUZI SAMUEL et NANGENERWA NAZAIRI pour leur amour inconditionnel, leurs nombreux sacrifices, leurs encouragements permanents ainsi que leur soutiens moral, spirituel et matériel, qui ont constitué le fondement de ma réussite scolaire et universitaire.

J'adresse également mes sincères remerciement aux autorités académiques et administrative de L'ULPGL, en particulier a la faculté des sciences de l'ingénierie, pour la formation scientifique et professionnelle de qualité dont j'ai bénéficié durant mes études.

Je n'oublie pas de remercier tous les enseignants, collègues, amis et toutes les personnes qui ont apporté leur contribution, directe ou indirecte, a l'aboutissement de ce travail.

Résumé

Ce travail porte sur l'étude comparative des propriétés mécaniques des mortiers normal confectionnés à base des sables d'idjwi, du Mont Goma et du Rwanda ainsi que des ciment Hima et Cimerwa. L'objectif principal est d'identifier les combinaisons sable-ciment offrant les meilleures performances. Une méthodologie expérimentale a été adoptée, consistant à caractériser les matériaux, à formuler les mortiers selon la méthode [normalisée définie par la norme européenne EN 196-1], puis à mesurer la résistance à la compression, la flexion à 3, 7 et 28 jours.

Les résultats montrent que les propriétés mécaniques varient significativement selon la nature des constituants. Le sable d'Idjwi, associé au ciment Hima, a présenté les meilleures résistances. En revanche, le sable de Mont Goma, caractérisé par une forte teneur en fines, a montré des performances plus faibles nécessitant un ajustement du dosage en eau. Cette étude fournit des résistances techniques utiles pour orienter les pratiques de construction vers des solutions plus durables et adaptées aux réalités locales de Goma.

Mots-clés : Mortier, Sable, Ciment, Résistance mécanique, Goma.

Abstract

This study focuses on the comparative analysis of the mechanical properties of mortars made with different types of sand and cement available in Goma. In a context characterized by the diversity of local construction materials (volcanic and fluvial sands, as well as various types of cement), the lack of comparative studies represents a challenge for the quality and durability of construction works.

The main objective of this research is to identify the most effective sand-cement combinations in terms of mechanical performance. To achieve this objective, an experimental methodology was adopted. It consisted of characterizing the materials (sand and cement), preparing mortar samples using a standardized method, and conducting mechanical tests, including compressive strength, flexural strength, and water absorption at different curing ages (3, 7, and 28 days).

The results show that the mechanical properties of mortars vary significantly depending on the type of sand and cement used. The combination of Idjwi sand with Hima cement demonstrated the best mechanical performance, particularly in terms of compressive and flexural strength. On the other hand, Mont Goma sand, characterized by a high content of fine particles, showed lower performance and required adjustment of the water content. Meanwhile, Rwanda sand provided satisfactory results due to its well-balanced granulometry.

This study highlights the importance of material selection in mortar formulation. It provides useful technical references to guide construction practices toward more durable, economical, and locally adapted solutions in the Goma region.

ETUDE COMPARATIVE DES PROPRIETES MECANIQUES DES MORTIER CONFECTIONNES A
BASE DE DIFFERENTS TYPES DE SABLES ET CIMENT

Dédicace

A nos chers parents GACHURUZI SAMUEL et NANGENERWA NAZAIRI

Table des matières

Epigraphe.....	i
Dédicace	v
Remerciements	ii
Résumé	iii
Table des matières	v
Liste des abréviations	ix
Liste des tableaux	x
Liste des figures.....	xi
0.Introduction générale.....	1
0.1 Contexte/Généralités sur le thème	1
0.2 Identification et formulation du problème	1
0.3 Questions de recherche.....	2
0.4. Formulation des hypothèses	2
0.5. Justification du choix du sujet et motivations.....	2
0.6. Énoncé des objectifs de recherche	3
0.6.1. L'objectif général.....	3
0.6.2. Les objectifs opérationnels/spécifiques	3
0.7. Méthodologie et délimitation du travail.....	3
0.8. Structure du mémoire/ Subdivision du travail	4
Chapitre 1 Revue de la littérature ou Généralités.....	5
1.1 INTRODUCTION.....	5
1.2 GENERALITES SUR LE MORTIER [1]	5

ETUDE COMPARATIVE DES PROPRIETES MECANIQUES DES MORTIER CONFECTIONNES A BASE DE DIFFERENTS TYPES DE SABLES ET CIMENT

1.2.1	Définition et rôle du mortier	5
1.2.2	Classification des mortiers [2]	6
1.2.3	Domaine d'application du mortier dans le bâtiment [5]	7
1.2.4	Caractéristiques des mortiers [6]	7
1.3	LES CONSTITUANTS DU MORTIER [8]	9
1.3.1	Le ciment	9
1.3.2	Principales caractéristiques du ciment	12
1.3.3	L'eau de gâchage	16
1.3.4	Les adjuvants [10].....	16
1.4	Dosages et formulation des mortiers	17
1.4.1	Dosages empiriques courants.....	17
1.4.2	Influence du rapport E/C a un impact direct sur les propriétés du mortier :.....	17
1.4.3	Méthode de formulation : méthode du mortier normal (normée).....	18
1.4.4	Ajustement selon les matériaux et les conditions	18
1.5	CONCLUSION PARTIELLE.....	18
Chapitre 2 : METHODOLOGIES		20
2.1	INTRODUCTION.....	20
2.2	ORIGINE ET NATURE DES CONSTITUANTS DU MORTIER	20
2.2.1	Les sables	20
2.2.2	Les ciments	20
2.2.3	L'eau de gâchage	21
2.3	CARACTERISATION DES CONSTITUANTS DU MORTIER [11]	21
2.3.1	Échantillonnage.....	21
2.3.2	Criblage.....	21
2.3.3	La caractérisation du liant.....	21
2.3.4	Les essais sur les granulats [12].....	26
A.	L'absorption d'eau.....	36
B.	La résistance à la compression	37
2.4	METHODE DE FORMULATION DU MORTIER [16]	40

ETUDE COMPARATIVE DES PROPRIETES MECANIQUES DES MORTIER CONFECTIONNES A
BASE DE DIFFERENTS TYPES DE SABLES ET CIMENT

2.4.1	Choix et justification de la méthode	40
2.4.2	Mortier normal (EN 196-1).....	41
2.5	CONCLUSION PARTIELLE.....	41
Chapitre 3 PRESENTATION ET ANALYSES DE RESULTATS		43
3.1	INTRODUCTION.....	43
3.2	RESULTATS OBTENUS SUR LES SABLES	43
3.2.1	SABLE D'IDJWI.....	43
3.2.2	SABLE DE MONT GOMA.....	46
3.2.3	SABLE DU RWANDA	48
3.3	RESULTATS OBTENUS SUR LES LIANTS.....	50
3.3.1	Ciment Hima	51
3.3.2	Ciment Cimerwa	51
3.4	RESULTATS OBTENUS SUR LES MORTIERS.....	51
3.4.1	Caractéristiques du mortier	52
3.5	CONCLUSION GENERALE	57
Annexe A Démonstrations		61
A.1	ESSAIS SUR LES SABLES.....	61
A.1.1	Les analyses granulométriques	61
A.1.1.1	Sable de Mont-Goma	61
A.1.1.2	Sable d'idjwi	63
A.1.1.3	Sable du Rwanda.....	65
A.1.2	L'équivalent du sable.....	66
A.1.3	Masses volumique absolue.....	68
A.1.4	Masses volumiques apparente.....	69

Liste des abréviations

UdeS	Université de Sherbrooke
DI	Département d'Informatique

Liste des tableaux

Tableau 1-1 Spécification et valeurs garanties en fonction de la classe	11
Tableau 1-2 : caractéristiques mécaniques des mortiers	14
Tableau 1-3: Expression quantitatives des degrés de propriété des sables	15
Tableau 1-4 : dosages empiriques courant.....	17
Tableau 2-1: Nature et qualité du sable selon les valeurs d'équivalent du sable.....	30
Tableau 3-1 : tableau de masse volumique absolue et apparente du sable d'idjwi.....	43
Tableau 3-2 : masse volumiques absolu et apparente du sable du Rwanda.....	46
Tableau 3-3 : masse volumique absolue et apparente du sable du Rwanda	48
Tableau 3-4: quantité des constituants des mortiers	52

Liste des figures

Figure 1-1 : constituants du mortier	7
Figure 1-2 : essai de la prise	12
Figure 2-1 : Ciment Cimerwa	22
Figure 2-2 : Ciment Hima	23
Figure 2-3 : Equivalent du sable	27
Figure 2-4 : Analyse granulométrique	33
Figure 2-5 : Presse Hydraulique	40
Figure 3-1 : courbe granulométrique du sable d'idjwi.....	44
Figure 3-2 : courbe granulométrique du sable de Mont.....	47
Figure 3-3 : courbe granulométrique du sable du Rwanda	49
Figure 3-4 : Resistance à la flexion avec le ciment cimerwa	53
Figure 3-5 : Resistance a la flexion avec ciment Hima.....	53
Figure 3-6 : Resistance à la compression avec le ciment Hima	54
Figure 3-7 : résistance à la compression avec ciment Cimerwa	55

0.Introduction générale

0.1 Contexte/Généralités sur le thème

Le mortier est un matériau de base en construction, utilisé pour le montage des blocs, les enduits et autres applications. Il est constitué principalement de ciment, de sable et d'eau. La qualité de ce mortier dépend fortement de la nature des matériaux utilisés, en particulier du type de sable et du ciment.

Dans une ville comme Goma, où les matériaux de construction proviennent de diverses sources (sables volcaniques, fluvial, et ciments de différents types), il est essentiel de connaître leur impact sur les propriétés mécaniques du mortier. Une bonne performance mécanique garantit la durabilité et la résistance des ouvrages.

Ce travail vise donc à comparer les résistances des mortiers fabriqués avec ces matériaux locaux afin de recommander les meilleures combinaisons pour une utilisation sûre et économique dans les chantiers de Goma.

0.2 Identification et formulation du problème

À Goma, différents types de sables, notamment les sables rous et concasse, ainsi que plusieurs types de ciments, sont utilisés dans la confection des mortiers sans contrôle rigoureux ni étude comparative préalable. Cette diversité des matériaux peut entraîner des variations importantes des propriétés mécaniques des mortiers, notamment en termes de résistance et de durabilité des constructions.

Il devient donc nécessaire d'identifier comment ces matériaux influencent les propriétés mécaniques du mortier, afin de guider les choix techniques sur le chantier.

ETUDE COMPARATIVE DES PROPRIETES MECANIQUES DES MORTIER CONFECTIONNES A BASE DE DIFFERENTS TYPES DE SABLES ET CIMENT

Ainsi, le problème principal de cette étude est de déterminer quelle combinaison sable-ciment offre les meilleures performances mécaniques pour les mortiers utilisés à Goma.

0.3 Questions de recherche

Afin de mieux cerner la problématique et d'atteindre les objectifs fixes, les questions de recherche suivantes ont été formulées :

- ❖ Quelle est l'influence des différents types de sables sur les propriétés mécaniques des mortiers ?
- ❖ Quel est l'effet du type de ciment sur les propriétés mécaniques des mortiers ?
- ❖ Quelles combinaisons sable-ciment offrent les meilleures performances mécaniques ?

0.4. Formulation des hypothèses

Portant de la problématique soulevée et des objectifs poursuivis, les hypothèses suivantes ont été formulées pour orienter cette étude comparative :

- ❖ La résistance mécanique des mortiers varierait selon le type de sable utilise?
- ❖ Le type de ciment influencerait significativement la performance mécanique du mortier.
- ❖ Certaines combinaisons sable-ciment produiraient des mortiers plus résistants que d'autres.

0.5. Justification du choix du sujet et motivations

Ce sujet a été choisi en raison de la diversité des matériaux utilisés à Goma dans la confection des mortiers, souvent sans étude préalable. Cette situation peut compromettre la qualité des

ETUDE COMPARATIVE DES PROPRIETES MECANIQUES DES MORTIER CONFECTIONNES A BASE DE DIFFERENTS TYPES DE SABLES ET CIMENT

ouvrages. En comparant les propriétés mécaniques des mortiers à base de différents sables et ciments locaux, ce travail apportera des références techniques fiables pour orienter les professionnels vers des choix durables et adaptés aux réalités du terrain.

0.6. Énoncé des objectifs de recherche

0.6.1. L'objectif général

L'objectif générale est de Comparer les propriétés mécaniques des mortiers fabriqués à partir des différents types de sables et de ciments disponibles à Goma, en vue d'identifier les combinaisons les plus performantes pour les applications en construction.

0.6.2. Les objectifs opérationnels/spécifiques

- ❖ Identifier les types de sables et de ciments couramment utilisés à Goma.
- ❖ Confectionner des échantillons de mortiers à partir des différentes combinaisons sable-ciment.
- ❖ Réaliser des essais mécaniques (résistance à la compression, à la traction, etc.) sur les échantillons.
- ❖ Analyser et comparer les performances mécaniques obtenues.
- ❖ Proposer les combinaisons les plus adaptées selon les résultats des essais.

0.7. Méthodologie et délimitation du travail

Méthodologie :

- ❖ Identification des sables et ciments utilisés à Goma.

ETUDE COMPARATIVE DES PROPRIETES MECANIQUES DES MORTIER CONFECTIONNES A BASE DE DIFFERENTS TYPES DE SABLES ET CIMENT

- ❖ Préparation d'échantillons de mortiers en variant les types de sable et de ciment.
- ❖ Réalisation d'essais de résistance à la compression à 7 et 28 jours.
- ❖ Analyse et comparaison des résultats obtenus pour chaque combinaison.

Délimitation :

- ❖ L'étude porte uniquement sur les mortiers, sans ajout d'adjuvants.
- ❖ Seuls les matériaux disponibles localement à Goma sont utilisés.
- ❖ L'analyse est limitée aux propriétés mécaniques
- ❖ Les essais sont faits au laboratoire à 3 à 7, et 28 jours

0.8. Structure du mémoire/ Subdivision du travail

Outre l'introduction et la conclusion générales, ce travail est subdivisé en trois chapitres

Chapitre 1 : présentations des généralités relatives au mortiers et aux matériaux utilisés.

Chapitre 2 : Description de la méthodologie adoptée pour la réalisation de l'étude.

Chapitre 3 : présentation, analyses et discussions des résultats obtenus.

Chapitre 1

Généralités

1.1 INTRODUCTION

Le mortier est un matériau composite, obtenu par mélange homogène d'une matière inerte (sables) avec une matière active liant, le tout gâché avec une certaine quantité d'eau.

Le mortier pouvant satisfaire à une variété d'exigence dans le domaine de la construction.

Toutefois. Il n'existe pas le mortier universel, convenant à toutes les situations. Le concepteur ne pourra choisir le mélange convenant le mieux pour un projet donné que s'il a une bonne connaissance des matériaux qui entrent dans le composite du mortier et de leurs propriétés.

1.2 GENERALITES SUR LE MORTIER [1]

1.2.1 Définition et rôle du mortier

Le mortier est un matériau de construction obtenu par un mélange de liant, de sable et de l'eau éventuellement des adjuvants, réalise dans des proportions bien définies de manière à obtenir une pâte de plasticité convenable pour la mise en œuvre. La pâte plastique obtenue joue plusieurs rôles dont :

- ❖ Il sert à lier les différents éléments des constructions tels que des briques, des pierres, des blocs de béton (parpaings).
- ❖ Assurer la liaison, la cohésion des éléments de maçonnerie entre eux, c'est-à-dire la solidité de l'ouvrage.
- ❖ Constituer la chape d'usure, pour le dallage en béton.
- ❖ Protéger les constructions contre l'humidité due aux intempéries ou remontées du sol ;

ETUDE COMPARATIVE DES PROPRIETES MECANIQUES DES MORTIER CONFECTIONNES A BASE DE DIFFERENTS TYPES DE SABLES ET CIMENT

- ❖ Devenir la matière de base pour la fabrication des blocs manufactures ; etc. ;
- ❖ Etc.

1.2.2 Classification des mortiers [2]

Parmi la grande variété des mortiers, certains d'entre eux ont beaucoup de propriétés en commun ceci permet de subdiviser tous les mortiers en groupes, à base de cette classification on retrouve les indices principaux suivant : la nature du liant et la destination.

a. la nature : d'après la nature du liant, on distingue :

Mortier de ciments : le mortier de ciment, très résistants, prennent et durcissent rapidement. De plus, un dosage de ciment suffisant les rend pratiquement imperméables. Les dosages courants sont de l'ordre de 300 à 400 kg de ciment pour un mètre cube de sables.

Mortiers des chaux : les mortiers des chaux sont gras et onctueux. Ils durcissent plus lentement que les mortiers de ciment, surtout lorsque la chaux est calcique [3, 4].

Mortiers bâtards : le mélange de ciment et de chaux permet d'obtenir conjointement les qualités de ces deux liants. Généralement, on utilise la chaux et le ciment par parties égales ; mais on mettra une quantité plus au moins grande de l'un ou de l'autre suivant l'usage et la qualité recherchée.

ETUDE COMPARATIVE DES PROPRIETES MECANIQUES DES MORTIER CONFECTIONNES A BASE DE DIFFERENTS TYPES DE SABLES ET CIMENT

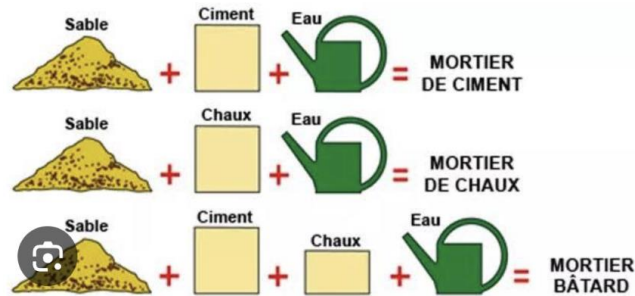


Figure 1-1 : constituants du mortier

b. selon la destination

- Mortier de joints ;
- Mortier de pose ;
- Mortier d'injection ;
- Mortier pour les crépis ;
- Mortier de réparation ;

1.2.3 Domaine d'application du mortier dans le bâtiment [5]

Dans le bâtiment le mortier joue un rôle essentiel pour lier, enduire, protéger et réparer les ouvrages.

- Maçonnerie : liaison des briques, blocs de béton, pierre.
- Enduit de façade : applique sur murs intérieurs, façades extérieures, plafonds.
- Ragréage et nivellement : correction des surfaces irrégulières avant revêtement.
- Pose de carrelage ou de dallage : en couche mince ou épaisse selon les contraintes.
- Travaux de réparation : rebouchage de fissures ou reconstitution d'élément endommagés

1.2.4 Caractéristiques des mortiers [6]

D'après leurs propriétés, les mortiers se subdivisent en deux catégories : les mortiers plastique et les mortiers durcis.

ETUDE COMPARATIVE DES PROPRIETES MECANQUES DES MORTIER CONFECTIONNES A BASE DE DIFFERENTS TYPES DE SABLES ET CIMENT

1.2.4.1 Mortier a l'état frais << état plastique>>

Avant son durcissement, le mortier doit être suffisamment malléable pour être appliqué facilement sur le support. Ses principales propriétés sont.

La consistance, mesure à l'aide d'un essai d'étalement (NF EN 1015-3). Elle détermine la fluidité du mortier et son aptitude à la mise en œuvre.

Le temps de prise, correspondant aux phases de début et de fin de durcissement du mortier.

Un bon dosage approprié des liants et des adjuvants permet d'obtenir un temps de prise adapté aux conditions du chantier.

L'ouvrabilité, qui constitue la propriété la plus importante du mortier à l'état frais. Elle exprime la facilité d'application du mortier sur différents supports. En réalité, elle résulte de la combinaison de plusieurs paramètres, notamment la plasticité, la compacité et la cohésion. Bien que la classe des sables et la proportion des matériaux jouent un rôle important, c'est principalement la teneur en eau qui détermine les valeurs finales de l'ouvrabilité.

1.2.4.2 Mortier a l'état durci

Le mortier durci possède un certain nombre de propriétés de résistance mécanique d'importance majeure.

1.2.4.3 Les résistances mécaniques

Les essais sont souvent effectués sur les éprouvettes prismatiques de 4×4×16cm conservés dans l'eau à 20°C. Les éprouvettes sont ensuite rompues en traction par flexion puis en compression. Les résistances, en traction comme en compression, progressent au fil du temps entre (1 et 28 jours).

Les résistances des mortiers dépendent de plusieurs facteurs notamment :

- ❖ Le dosage en ciment ;
- ❖ Le rapport C/E ;
- ❖ La granulométrie et la nature du sable ;
- ❖ Le retrait ;
- ❖ Etc. [7].

ETUDE COMPARATIVE DES PROPRIETES MECANIQUES DES MORTIER CONFECTIONNES A BASE DE DIFFERENTS TYPES DE SABLES ET CIMENT

1.2.4.4 Le Retrait et gonflements

Les retraits se mesurent sur des prismes 4×4×16 cm en mortier, muni de plots à leurs extrémités et conserves, après démoulage, dans une enceinte a 20°C. Et a 50% d'humidité relative. Ce retrait progresse à peu près comme logarithme entre 1 et 28 jours.

Le mortier prend son retrait plus rapidement que la pâte pure. Le rapport du retrait de la pâte pure sur le retrait du mortier croit avec le temps. Il est de l'ordre de 1,5 et 2,5 les premiers jours, puis augmente pour atteindre 2,5 à 3,5 en un an. En moyenne, le retrait sur mortier est de 2 à 3 fois plus faible que celui de la pâte pure (avec le même ciment).

Le gonflement des mortiers (qui se produisent lorsqu'il sont conserves dans l'eau) se mesure sur les mêmes éprouvettes de 4×4×16 cm conservées dans l'eau a 20°C. Ils sont en général assez faibles (cas de ciment stable ayant une expansion de le Chatelier inferieure sur pate a 10mm).

1.2.4.5 L'absorption de l'eau

L'absorption de l'eau du matériau est la capacite de conserver des échantillons quand ils sont immergés au sein de l'eau a la température de 20,5°C et a la pression atmosphérique. A cette condition l'eau peut pénétrer dans la plupart de vides interstitiel du matériau. Si la porosité du matériau est importante, l'absorption de l'eau est plus grande, mais l'absorption est toujours inferieure a la porosité du matériau.

1.3 LES CONSTITUANTS DU MORTIER [8]

1.3.1 Le ciment

Le ciment est un liant hydraulique, c'est-à-dire capable de faire prise dans l'eau. Il se présente sous l'aspect d'une poudre très fine, mélangée avec de l'eau forme une pâte faisant prise et durcissant progressivement dans le temps.

Ce durcissement est dû à l'hydratation de certains composes minéraux, notamment des silicates des aluminates des calcium.

ETUDE COMPARATIVE DES PROPRIETES MECANIQUES DES MORTIER CONFECTIONNES A BASE DE DIFFERENTS TYPES DE SABLES ET CIMENT

➤ La classification des ciments industriels

Les ciments sont classes, suivant leur composition, en cinq principaux selon les normes NF P 15-301.

- ❖ CPA- CEM I : ciment Portland artificiel ;
- ❖ CPA- CEM II: ciment Portland compose;
- ❖ CHF- CEM III : ciment de haut fourneau ;
- ❖ CPZ- CEM IV : ciment pouzzolanique ;
- ❖ CLC- CEM V : ciment aux laitiers et aux cendres (ciment compose)

Il est à noter que les ciment portland et portland composes englobent les ciments gris et les ciments blanc.

1.3.1.1 Principaux constituant du ciment

Les ciments courants ont pour constituants le clinker et le gypse, auquel il peut être ajoute suivant leur type :

- ❖ du calcaire
- ❖ du laitier de haut fourneau
- ❖ des cendres volantes
- ❖ des fins calcaires
- ❖ de la pouzzolane naturelle
- ❖ des schistes calcines
- ❖ des fumées de silice

Ils ont pour but de modifier certaines de leurs propriétés et de proposer une gamme de produits capable de résoudre les différents problèmes qui se posent lors de la réalisation de certains ouvrages, soit en raison des conditions d'environnement, soit pour des raisons de performances mécaniques particulières qu'il est nécessaire d'obtenir.

1.3.1.2 Classification des ciments en fonction de leur résistance normale

Trois classes sont définies en fonction de la résistance normale a 28 jours ; des sous- classes « R » sont associées à ces trois classes principales pour désignent des ciments dont les

ETUDE COMPARATIVE DES PROPRIETES MECANIQUES DES MORTIER
CONFECTIONNES A BASE DE DIFFERENTS TYPES DE SABLES ET CIMENT

résistances au jeune âge sont élevées. Ces classes sont notées ; classe 32.5, classe 42.5, classe 52.5. Elles doivent respecter les spécifications et valeurs garanties du tableau.

Tableau 1-1 Spécification et valeurs garanties en fonction de la classe [9]

Classe	Résistances à la compression en (MPa)				Retrait a 28 jours	Début de prise	Stabilité
	En 196-1		A 28 jours				
	2 jours	7 jours	Mini.	Maxi.	(m/m)	(Min)	(mm)
32.5		(17.5)	32.5 (30)	≤ 52.5	≤ 800	≥ 90	≤ 10
32.5 R	≥ 13.5 (12)	≤	32.5 (30)	≤ 52.5	≤ 1000	≥ 90	≤ 10
42.5	≥ 12.5 (10)		42.5 (40)	≤ 62.5	≤ 1000	≥ 60	≤ 10
42.5 R	≥ 20 (18)		42.5 (40)	≤ 62.5	≤ 1000	≥ 60	≤ 10
52.5	≥ 20 (18)		52.5 (50)			≥ 60	≤ 10
52.5 R	≥ 30 (30)		52.5 (50)			≥ 60	≤ 10

1.3.2 Principales caractéristiques du ciment

1.3.2.1 Les caractéristiques physiques du ciment [4]

A. Comportement physico – chimique de la pate

Le ciment est essentiellement constitué de :

- Silicate tricalcique : C3S
- Silicate bicalcique : C2S
- Aluminate tricalcique : C3A

Une fois la poudre de ciment mélangée à l'eau, les réactions d'hydratations se développent, il se produit alors une cristallisation qui aboutit à un nouveau système de constituants hydrates stable avec formation de cristaux en aiguilles plus au moins enchevêtrées produisant la prise. Cette réaction chimique s'accompagne d'un dégagement de chaleur plus au moins important selon les ciments et la rapidité de prise.

1. Prise

La prise du ciment c'est -à- dire le passage de la pâte de ciment (ciment + eau) d'une

Consistance fluide a un état solide est phase essentielle dans la fabrication du béton ou mortier puisqu'elle donne sa cohésion au matériau.



Figure 1-2 : essai de la prise

Le début de la prise correspond au moment où l'on observe une augmentation de la viscosité ; ou raidissement de la pâte, ce qui, dans la pratique ; se mesure au moyen de l'aiguille

ETUDE COMPARATIVE DES PROPRIETES MECANIQUES DES MORTIER CONFECTIONNES A BASE DE DIFFERENTS TYPES DE SABLES ET CIMENT

normalisée (appareil Vicat) et correspond au temps écoulé de puis le gâchage de la pâte jusqu'au moment où l'aiguille s'arrête à une distance ($d = 4\text{mm} \pm 1\text{mm}$) du fond de l'anneau de 40mm de hauteur remplis de pâte pure de ciment.

De même la fin de prise correspond au moment où l'aiguille ne s'enfonce plus dans l'anneau.

2. Durcissement

Une fois la prise amorcée. Le phénomène hydratation se poursuit. C'est la période de durcissement qui se poursuit pendant des mois voire des années au cours desquelles les résistances mécaniques continuent de croître.

Lorsque on désire un durcissement rapide on choisit des ciments de classe élevée et de préférence de classe << R >> c'est à dire ayant des caractéristiques complémentaires << rapide >>.

1.3.2.2 Caractéristiques mécaniques des ciments courants

Les ciments courants sont classés en fonction de leurs résistances mécaniques à la compression exprimée en MPa à 28 jours, la norme spécifiant une limite inférieure et une limite supérieure dont les valeurs sont les suivantes.

ETUDE COMPARATIVE DES PROPRIETES MECANIQUES DES MORTIER CONFECTIONNES A BASE DE DIFFERENTS TYPES DE SABLES ET CIMENT

Tableau 1-2 : caractéristiques mécaniques des mortiers [9]

Designation de la classe	à 2 jours	à 28 jours	
	Limite Inferieure	Limite Inferieure	Limite Supérieure
32,5 32,5 R	$\geq 13,5$	$\geq 32,5$	$\leq 52,5$
42,5 42,5 R	$\geq 12,5$ ≥ 20	$\geq 42,5$	$\leq 62,5$
52,5 52,5 R	≥ 20 ≥ 30	$\geq 52,5$	

Classe « R », rapidités, présentent aux jeunes âges des caractéristiques mécaniques plus élevées et leur intérêt particulièrement dans certaines circonstances telles que bétonnage par temps froid, décoffrage rapide, préfabrication.

1.3.2.3 Le sable [9]

Le sables, est une roche sédimentaire meuble, constitue de petites particules provenant de la désagrégation d'autres roches dont la dimension est comprise entre 0,063 et 5 mm

Les sables de bonne granulométrie doivent contenir des grains fins, moyen et gros. Les grains fins se déposent entre les intervalles des gros grains afin de combler les vides. Le rôle du sable dans un mortier est :

- ❖ D'abaisser le prix de revient du mortier ;
- ❖ De diviser la masse du liant pour permettre la prise (liant aérien) ;
- ❖ D'en diminuer le retrait et ses conséquences (les fissurations) du fait que le sable est incompressible que le retrait se trouve amoindri
- **Classification des sables suivant leur origine**

Selon leur origine, les sables peuvent être classes comme suit.

ETUDE COMPARATIVE DES PROPRIETES MECANIQUES DES MORTIER CONFECTIONNES A BASE DE DIFFERENTS TYPES DE SABLES ET CIMENT

Sable de rivière : il est obtenu par dragage des lits des cours d'eau. Il doit être dur et propre pour qu'on puisse l'utiliser dans les mortiers ou béton

Sable de carrière : c'est un sable naturel qui est extrait directement d'une carrière ou un dépôt sédimentaire.

Sable artificiel : il est obtenu par concassage des roches (calcaires durs, gré ...) il est souvent plein de filler. Pour qu'il soit utilisable dans les mortiers, il faut limiter les pourcentages des fines.

Sable de dune : c'est une variété des sables de mer. Il est donc très fin. Les sables de dune se trouvent dans les régions sud de l'Algérie. Ils sont situés en zone présaharienne.

Les sables retenus sont ceux issus des dunes continentales. Ces dunes sont constituées des nombreux amas de sable fins accumulés dans certaines régions spécifiques du Sahara.

Etc.

Tableau 1-3: Expression quantitatives des degrés de propriété des sables

ES	Nature et qualité du sable
<60	Sable argileux : risque de retrait ou gonflement à rejeter pour des bétons de qualité
$60 \leq ES \leq 70$	Sable légèrement argileux : de propriété admissible pour le béton de bonne qualité quand on ne craint pas particulièrement de retrait
$70 \leq ES \leq 80$	Sable propre : à faible pourcentage de fines argileuses convenant parfaitement pour les bétons et mortier de haute qualité
> 80	Sable très propre : l'absence presque totale de fines argileuses risque d'entraîner un défaut de plasticité du béton qu'il faudra rattraper par une augmentation du dosage en eau

1.3.3 L'eau de gâchage

L'eau est un des ingrédients essentiels du mortier, elle intervient à toutes les étapes de la vie du matériau par ses propriétés physico-chimiques et mécaniques.

L'eau introduit dans le mortier ou bétons lors de sa fabrication va remplir deux fonctions essentielles :

Une fonction physique qui confère au béton frais des propriétés rhéologiques permettant son écoulement et son moulage et une fonction chimique qui contribue au développement de la réaction d'hydratation. L'aspect fondamental du dosage en eau reste celui de la recherche d'un optimum sur un objectif contradictoire : une meilleure résistance obtenue en réduisant la quantité d'eau et une amélioration de l'ouvrabilité en augmentant la teneur en eau. C'est lors de la recherche de cet optimum que les adjuvants peuvent jouer un rôle. Le rapport E/C est un critère important des études de bétons ou mortiers ; c'est un paramètre essentiel de l'ouvrabilité du béton et de ces performances : résistance à la compression, durabilité.

1.3.4 Les adjuvants [10]

Les adjuvants sont les produits chimiques, incorporés à très faible dose (< 5% de la masse de ciment), pendant le malaxage ou avant la mise en œuvre du béton afin d'améliorer certaines de ses propriétés. Leur efficacité est liée à l'homogénéité de leur répartition dans le béton.

Selon l'effet recherché ; on peut distinguer, trois grandes familles d'adjuvant :

Action sur la plasticité et la compacité :

- ❖ Les plastifiants réducteurs d'eau
- ❖ Les superplastifiants hauts réducteurs d'eau

Action sur les délais de prise et de durcissement :

- ❖ Les accélérateurs de prise
- ❖ Les accélérateurs de durcissement
- ❖ Les retardateurs

Action sur la résistance aux agressions extérieures :

- ❖ Les entraîneurs d'air

ETUDE COMPARATIVE DES PROPRIETES MECANIQUES DES MORTIER CONFECTIONNES A BASE DE DIFFERENTS TYPES DE SABLES ET CIMENT

- ❖ Les hydrofuges de masse (utilises pour rendre les bétons et mortiers étanches)

1.4 Dosages et formulation des mortiers

1.4.1 Dosages empiriques courants

Les dosages empiriques sont les proportions classiques utilisées sur le chantier pour formuler les mortiers. Ils varient en fonction de l'usage souhaite et du type de liant. Le rapport est généralement exprimé en volume :

1 :3 : (1volume de liant pour 3 volumes de sable) : dosages courants pour les mortiers de maçonnerie

1 :4 à 1 :5 : utilise pour les enduits ou les mortiers moins résistants.

1 :2,5 : pour les joints fins ou travaux nécessitant une meilleure cohésion.

Ces dosages peuvent être adaptés en fonction du liant a utilisé (ciment, chaux ou mélange des deux).

Le tableau présente le dosage empirique les plus courants.

Tableau 1-4 : dosages empiriques courant [13]

Type de mortier	Dosage (liant : sable)	Utilisation courante
Mortier de maçonnerie	1 :3	Blocs, briques
Mortier d'enduit	1 :4 à 1 :5	Enduit muraux
Mortier pour joints fins	1 :2,5	Pose de carreau, pavés

1.4.2 Influence du rapport E/C a un impact direct sur les propriétés du mortier :

- ❖ Un rapport trop élevé (excès d'eau) entraîne une diminution de la résistance mécanique, une porosité accrue et un retrait important.
- ❖ Un rapport très faible rend le mortier difficile à mettre en œuvre et peut nuire l'hydratation du ciment.

Un bon équilibre permet d'assurer la maniabilité, la résistance et la durabilité du mortier.

1.4.3 Méthode de formulation : méthode du mortier normal (normée)

La formulation normalisée repose sur des essais en laboratoire réalisés selon la norme, notamment la norme NF EN 196-1.

Elle consiste à préparer un mortier de référence appelé mortier normal, avec un dosage standardisé de :

- 450 g de ciment
- 1350 g de sable
- 225 ml d'eau

Ce principe de formulation sera également utilisé dans l'étude des mortiers confectionnés à base de différents types de sable et différent type de ciment.

1.4.4 Ajustement selon les matériaux et les conditions

Les dosages et la formulation du mortier peuvent varier en fonction de plusieurs paramètres :

Type de liant : le ciment donne un mortier plus rigide, tandis que la chaux apporte davantage d'élasticité et de perméabilité.

Nature du sable : sa granulométrie, sa forme et sa teneur en impuretés influencent la consistance et la cohésion du mortier.

Condition climatique : en cas de forte chaleur, il est nécessaire de limiter la quantité d'eau afin d'éviter une évaporation rapide. En période de froid, il convient également d'éviter un excès d'eau afin de prévenir les risques de gel.

1.5 CONCLUSION PARTIELLE

Ce chapitre a présenté les notions générales relatives au mortier, notamment sa définition, ses constituants et ses principales propriétés. Il a également mis en évidence la méthode de formulation ainsi que les domaines d'application en construction. Dans le cadre de l'étude

ETUDE COMPARATIVE DES PROPRIETES MECANQUES DES MORTIER CONFECTIONNES A BASE DE DIFFERENTS TYPES DE SABLES ET CIMENT

comparative des propriétés mécaniques des mortiers confectionnés à base de différents types de sable et de ciment, une attention particulière a été accordée à l'influence des matériaux utilisés, sur les performances et la durabilité des mortiers.

Chapitre 2 : METHODOLOGIES

2.1 INTRODUCTION

Ce chapitre est consacré aux matériaux et méthodes utilisées pour la détermination des caractéristiques des mortiers ainsi que de ses constituants. il présente la nature et l'origine des constituants notamment celles des sables, du ciment et de l'eau ; il aborde la caractérisation des constituants précisément celle des sables et du ciment. il présente aussi la formulation du mortier à l'aide de la méthode normalisée et pour finir par la caractérisation du mortier notamment à l'état frais et à l'état durci.

2.2 ORIGINE ET NATURE DES CONSTITUANTS DU MORTIER

Dans cette section nous présenterons l'origine et la nature des principaux constituants des mortiers que nous étudions.

2.2.1 Les sables

Les sables utilisés pour cette étude sont de types et d'origine différentes, notamment le sable roule et le sable de carrière. Nous avons fait usage du sable de carrière extrait de Mont Goma ainsi que du sable roule provenant d'Idjwi mais aussi le sable provenant du Rwanda.

2.2.2 Les ciments

Les ciments utilisés dans cette étude, deux ciments de même famille de résistance, soit 32.5 MPa ont été choisis pour ladite étude, parmi ceux utilisés à Goma, les deux les plus fréquemment utilisés : **Cimerwa, Hima.**

2.2.3 L'eau de gâchage

L'eau de gâchage utilisée dans cette étude est une eau potable du lac Kivu fournie par la REGIDESO et recueilli au robinet

2.3 CARACTERISATION DES CONSTITUANTS DU MORTIER [11]

2.3.1 Échantillonnage

Les essais réalisés en laboratoire nécessitent l'utilisation de quantités réduites et représentatives des matériaux. Ces échantillons sont essentiels pour évaluer les propriétés caractéristiques de l'ensemble des matériaux utilisés dans l'étude.

2.3.2 Criblage

Le criblage constitue une étape essentielle dans la préparation des matériaux destinés à la confection du mortier. Il s'agit d'une opération qui consiste à séparer les grains de sable en fonction de leur taille, à l'aide de tamis présentant différentes ouvertures de maille.

Cette classification granulométrique permet d'obtenir un sable dont les particules sont réparties en plusieurs classes granulaires, ce qui contribue à améliorer la cohésion, la compacité ainsi que la résistance du mortier une fois mise en œuvre.

2.3.3 La caractérisation du liant

Les ciments utilisés dans la confection des mortiers, deux types de liants seront utilisés pour la confection des mortiers dont :

Ciment Cimerwa : est un ciment de type pouzzolanique de classe vraie 32.5Mpa et de masse volumique 2960kg/m fabriqué au Rwanda.

ETUDE COMPARATIVE DES PROPRIETES MECANIQUES DES MORTIER
CONFECTIONNES A BASE DE DIFFERENTS TYPES DE SABLES ET CIMENT



Figure 2-1 : Ciment Cimerwa

Ciment Hima : est un ciment de type pouzzolanique de classe vraie 32.5Mpa de masse volumique 2916kg/m fabriqué en Uganda.

ETUDE COMPARATIVE DES PROPRIETES MECANIQUES DES MORTIER CONFECTIONNES A BASE DE DIFFERENTS TYPES DE SABLES ET CIMENT



Figure 2-2 : Ciment Hima

2.3.3.1 Masse volumique absolue du ciment

On applique la méthode de l'éprouvette graduée selon la norme NF P 18-558.

A. But de l'essai

L'objectif principal de cet essai est de déterminer la masse par unité de volume du ciment pleine sans aucun vide entre les grains.

B. Principe de l'essai

Sachant la masse, le volume du pycnomètre et la masse de liquide n'entrant pas en réaction avec le ciment, on détermine la masse volumique absolue de ciment.

C. Mode opératoire

- ❖ Introduire la solution dans le pycnomètre jusqu'au premier trait repère, note $V_1=0$ ml ;

ETUDE COMPARATIVE DES PROPRIETES MECANIQUES DES MORTIER CONFECTIONNES A BASE DE DIFFERENTS TYPES DE SABLES ET CIMENT

- ❖ Peser le pycnomètre contenant la solution, noté M1 en gramme ;
- ❖ Introduire une quantité de ciment dans le pycnomètre jusqu'au deuxième trait repère, noté V2 en ml ;
- ❖ Peser à nouveau le pycnomètre contenant la solution et le ciment, noté M2 ;

D. Matériels utilisés

Balance électrique

Trois éprouvettes graduées de même volume ou bien le pycnomètre de le Chatelier

E. Expression des résultant

La masse volumique du ciment est déterminée à l'aide de la formule suivante :

$$\rho_{abs} = \frac{M}{V_2 - V_1} \quad (2-1)$$

2.3.3.2 Consistance normale

Cet essai est réalisé selon la norme EN 198-3

A. But de l'essai

Le but de l'essai est de déterminer la quantité d'eau pour obtenir une pâte de ciment ayant une consistance normale.

B. Principe de l'essai

ETUDE COMPARATIVE DES PROPRIETES MECANIQUES DES MORTIER CONFECTIONNES A BASE DE DIFFERENTS TYPES DE SABLES ET CIMENT

L'essai consiste à ajouter progressivement de l'eau au ciment jusqu'à ce que la pâte atteigne une consistance jugée normale suivant la norme.

C. Mode opératoire

- ❖ Peser 500g de ciment ;
- ❖ Mélanger cette quantité de ciment avec une certaine quantité d'eau à commencer à celle correspondant à 27% de la masse du ciment ;
- ❖ Vérifier la consistance à l'aide de l'appareil de Vicat. Si l'affaissement de la sonde se situe entre 6 ± 1 mm, la pâte est considérée comme ayant une consistance normale ; si ce n'est pas le cas, augmenter la quantité d'eau par tâtonnement jusqu'à obtenir une mesure conforme.

D. Equipements nécessaires et matériaux utilisés

Pour réaliser cet essai on a besoin des éléments ci-après :

- ❖ Appareil de Vicat
- ❖ Sonde de diamètre 10mm
- ❖ Balance de précision
- ❖ Pichet gradué
- ❖ Plaque en verre
- ❖ Moule tronconique
- ❖ Récipient de malaxage et cuillère pour malaxer

❖ Le bécher et une lame métallique

E. Expression des résultats

La pate est considérée à consistance normale si l'affaissement **d** est compris entre $6 \pm 1\text{mm}$; si $d > 7\text{mm}$, cela signifie un manque d'eau et si $d < 5\text{mm}$, cela indique un excès d'eau, dans les deux cas, il faut jeter la pâte, nettoyer et sécher le matériel et recommencer l'essai avec une nouvelle expérience.

2.3.4 Les essais sur les granulats [12]

Le sable de carrière de Mugunga est de couleur noire tandis que le sable roule de Idjwi est de couleur jaunâtre et le sable du Rwanda a aussi une couleur jaunâtre, comme illustre précédemment. Dans la formulation des mortiers, nous utiliserons ces trois types de sable après avoir analysé leurs caractéristiques physiques et géométriques.

2.3.4.1 Les caractéristiques physiques des granulats [13]

- **La recherche de l'équivalent de sable**

L'essai d'équivalent de sable, permettant de mesurer la propreté du sable, et effectuer sur la fraction d'un granulat passant au tamis à mailles carrées de 5mm, il prend compte globalement de la quantité et de la qualité des éléments fins, en exprimant un rapport, conventionnel volumétrique entre les éléments sableux qui sédimentent et les éléments fins qui flocculent, il est défini selon la norme NF EN 933-8. L'équivalent du sable est donné par la formule (2-2) :

$$ES = \frac{h2}{h1} * 100 \quad (2-2)$$

H2 : la hauteur du dépôt de sable visible

H1 : la hauteur totale y compris le flocculat

ETUDE COMPARATIVE DES PROPRIETES MECANIQUES DES MORTIER CONFECTIONNES A BASE DE DIFFERENTS TYPES DE SABLES ET CIMENT

A. But de l'essai

Cet essai est utilisé pour évaluer la propreté des sables entrant dans la composition des mortiers.

B. Principe de l'essai

L'essai consiste à introduire un échantillon de sable dans deux éprouvettes graduées contenant une solution lavante, afin d'évaluer en pourcentage la proportion du sable brut par rapport aux impuretés le contenant.

C. Matériels utilises

Les matériels utilisés pour cet essai sont les suivants :



Figure 2-3 : Equivalent du sable

ETUDE COMPARATIVE DES PROPRIETES MECANIQUES DES MORTIER CONFECTIONNES A BASE DE DIFFERENTS TYPES DE SABLES ET CIMENT

- ❖ Eprouvettes en plexiglass (ayant chacun deux traits repèrent) et leurs bouchons,
- ❖ L'entonnoir pour l'introduction du sable,
- ❖ La bombonne de 5l avec bouchon et siphon,
- ❖ Le tube laveur métallique plongeant,
- ❖ L'agitateur électrique illustre,
- ❖ La règle métallique pour la mesure des hauteurs de sable et flocculant,
- ❖ Le piston taré à masse coulissante de 1kg pour la mesure des hauteurs.

D. Mode opératoire

- ❖ Remplissage de deux éprouvettes par la solution lavante jusqu'au premier repère.
- ❖ Introduire dans l'éprouvette une masse de $120g \pm 1g$ de sable sec à l'aide de l'entonnoir ;
- ❖ Frapper fortement à plusieurs reprises la base de l'éprouvette sur la pomme de la main par déloger les bulles d'air et favoriser le mouillage et l'échantillon ;
- ❖ Laisser reposer 10min ;
- ❖ Boucher l'éprouvette à l'aide du bouchon de caoutchouc ;
- ❖ Fixer l'éprouvette sur l'agitateur ;
- ❖ Agiter l'éprouvette pendant 90 cycles (soit un cycle en 30 secondes) ;
- ❖ Retirer l'éprouvette et la placer verticalement sur la table de l'essai ;

ETUDE COMPARATIVE DES PROPRIETES MECANIQUES DES MORTIER CONFECTIONNES A BASE DE DIFFERENTS TYPES DE SABLES ET CIMENT

- ❖ Oter le bouchon et rincer au-dessus de l'éprouvette avec la solution lavant ;
- ❖ Insérer lentement le tube laveur dans l'éprouvette ;
- ❖ Rincer les parois de l'éprouvette avec la solution lavant ;
- ❖ Enfoncer doucement le tube jusqu'au fond de l'éprouvette ;
- ❖ Puis laver le sable pour détacher les éléments argileux tout en maintenant l'éprouvette en position verticale ;
- ❖ Laisser reposer sans perturbation pendant 20min+10s ;
- ❖ Mesurer à l'aider du règle la hauteur h1 au niveau supérieur du flocculat par rapport au fond de l'éprouvette ;
- ❖ Si possible, mesurer la hauteur h2 entre le niveau supérieur de la zone sédimentée et le fond de l'éprouvette. Arrondir les valeurs de h1 et h2 au millimètre le plus proche ;
- ❖ Descendre doucement le piston taré dans l'éprouvette jusqu'à ce qu'il repose sur le sédiment. Pendant cette opération, le manchon coulissant prend appuie sur l'éprouvette ;
- ❖ Ensuite, introduire la règle dans l'encoche du manchon et faire une lecture perpendiculaire à la face inferieur de la tête du piston ;
- ❖ Lire la hauteur du sédiment h2 au niveau de la face supérieur du manchon. Arrondir la hauteur h2 au millimètre le plus proche
- ❖ Répéter les mêmes opérations deux fois pour s'assurer la fiabilité des résultats.

ETUDE COMPARATIVE DES PROPRIETES MECANIQUES DES MORTIER CONFECTIONNES A BASE DE DIFFERENTS TYPES DE SABLES ET CIMENT

A partir de l'essai équivalent sable ES, il est possible selon le résultat obtenu. De catégoriser le sable selon état de propreté (sa qualité) et donc d'en définir les possibles applications telles que montre dans le tableau.

E. Expression des résultats

Les résultats sont exprimés sous forme de pourcentages et interprétés suivant le tableau :

Tableau 2-1: Nature et qualité du sable selon les valeurs d'équivalent du sable
[14]

ES	Nature et qualité du sable
$ES < 60$	Sable argileux : risque de retrait ou de gonflement, problème d'adhésion, à rejeter pour les bétons de qualité.
$60 \leq ES < 70$	Sable légèrement argileux de propreté admissible pour les bétons de qualité courante quand on ne craint particulièrement pas le retrait.
$70 \leq ES < 80$	Sable propre à faible pourcentage de fines argileuses convenant parfaitement pour des bétons de haute qualité
$ES \geq 80$	Sables très propres : l'absence presque totale de fines argileuses risque d'entraîner un défaut de plasticité du béton qu'il faudra rattraper par une augmentation du dosage en eau.

B. La Masse volumique absolue :NF P 18-555

La masse volumique absolue ρ_s est la masse par unité de volume de la matière qui constitue le granulat. Sans tenir compte des vides pouvant exister dans ou entre des grains. Le calcul de la masse volumique se fait suivant la relation (2-3)

ETUDE COMPARATIVE DES PROPRIETES MECANIQUES DES MORTIER CONFECTIONNES A BASE DE DIFFERENTS TYPES DE SABLES ET CIMENT

$$\rho_s = \frac{M_s}{V_2 - V_1} \quad (2-3)$$

Où :

ρ_s : la masse volumique absolue en g/cm³

M_s : la masse sèche du matériau, en g ;

V_1 et v_2 : la lecture sur éprouvette graduée avant et après l'introduction du granulat, en cm²

A. Mode opératoire

- ❖ L'introduction d'une quantité V_1 d'eau dans une éprouvettes graduée ;
- ❖ L'introduction des granulats secs de masse M_s dans éprouvettes graduée contenant de l'eau ;
- ❖ Saturation des granulats dans l'éprouvette ;
- ❖ Prise du volume V_2 correspondant.

C. La masse volumique apparente : NF P 18-554

La masse volumique apparente est la masse volumique d'un mètre cube du matériau pris en tas, comprenant à la fois des vides perméables et imperméables de la particule ainsi que les vides entre les particules, la masse volumique apparente est calculer à partir de la relation suivante :

ETUDE COMPARATIVE DES PROPRIETES MECANIQUES DES MORTIER CONFECTIONNES A BASE DE DIFFERENTS TYPES DE SABLES ET CIMENT

$$M_{app} = \frac{M_2 - M_1}{V} \quad (2-4)$$

M₂ : la masse du récipient avec l'échantillon.

M₁ : la masse du récipient de mesure vide.

V : le volume du récipient de mesure.

2.3.4.2 Les caractéristiques géométriques des granulats [14]

Analyse granulométrique

Ce dernier consiste à classer les différents grains constituant l'échantillon en utilisant une série de tamis emboités les uns sur les autres. Les dimensions des ouvertures décroissantes du haut vers le bas. Le matériau étudié est placé en partie supérieure des tamis et le classement des grains s'obtient par vibration de la colonne de tamis. De plus, les courbes granulométriques des différents granulats peuvent être déterminées par le résultat de l'essai de l'analyse granulométrique.

A. But de l'essai

L'analyse granulométrique a pour objectif de déterminer la répartition pondérale des grains d'un granulat suivant leurs dimensions par traçage de la courbe granulométrique.

A. Principe de l'essai

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

ETUDE COMPARATIVE DES PROPRIETES MECANIQUES DES MORTIER CONFECTIONNES A BASE DE DIFFERENTS TYPES DE SABLES ET CIMENT

C. Matériel utilises

Les matériels utilisés pour l'analyse granulométrique sont :

- ❖ Une balance de précision ;
- ❖ Une tamiseuse ;
- ❖ Une série des tamis conforme à la norme NF EN 933-2,
- ❖ Un couvercle et un réceptacle de fond,
- ❖ Des récipients en plastique (Bassins).

La figure 4 illustre une série des tamis pour l'analyse granulométrique ainsi qu'une tamiseuse électrique.



Figure 2-4 : Analyse granulométrique

ETUDE COMPARATIVE DES PROPRIETES MECANIQUES DES MORTIER CONFECTIONNES A BASE DE DIFFERENTS TYPES DE SABLES ET CIMENT

D. Mode opératoire

Le mode opératoire pour cet essai est le suivant :

- ❖ Nettoyer les tamis à l'aide d'une brosse métallique
- ❖ Monter la colonne de tamis dans l'ordre décroissante de l'ouverture des mailles en ajoutant le couvercle et le fond,
- ❖ Verser le matériau sec dans la colonne de tamis,
- ❖ Agiter mécaniquement cette colonne,
- ❖ Reprendre un à un les tamis en commençant par celui qui a la plus grande ouverture, en adaptant un fond et un couvercle,
- ❖ Agiter manuellement chaque tamis jusqu'à ce que le refus du tamis ne varie pas de plus de 1% en masse par masse de tamisage,
- ❖ Verser le tamisât recueilli dans le fond sur le tamis immédiatement inférieur,
- ❖ Déterminer ainsi la masse du refus de chaque tamis
- ❖ Poursuivre l'opération jusqu'à déterminer la masse du refus contenus dans le fond de la colonne de tamis.

E. Expression des résultats

Les résultats sont interprétés par le tableau en calculant le refus de chaque tamis en gramme et en pourcentage et le tamisât de chaque tamis en pourcentage ce qui permet de tracer la courbe qui détermine la contenance en pourcentage des différents granulats faisant partie de l'analyse. La module de finesse est exprimée selon la norme XP P 18-540 par la relation (2.4)

ETUDE COMPARATIVE DES PROPRIETES MECANIQUES DES MORTIER CONFECTIONNES A BASE DE DIFFERENTS TYPES DE SABLES ET CIMENT

$$Mf = \frac{1}{100} \sum RC \text{ en } \% \quad 2.4$$

RC : Refus cumule en pourcentage

Mf : module de finesse

Pour la confection du béton le module de finesse du sable doit être entre $2,2 \leq Mf \leq 2,8$.

Le coefficient d'uniformité et le coefficient de courbure, s'il s'agit du sable, ces deux coefficients sont déterminés par les relations (2.5) et (II.6).

$$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}} \quad 2-5$$

$$Cz = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}} \quad 2.6$$

Avec :

- ❖ Cu : coefficient d'uniformité
- ❖ Cz : coefficient de courbure
- ❖ D10 : est le diamètre effectif correspond à l'ordonnée de 10% ;
- ❖ D30 : est le diamètre effectif correspond à l'ordonnée de 30% ;
- ❖ D60 : est le diamètre effectif correspondant à l'ordonnée de 60% ;

D'une part, si $Cu \geq 2$: la granulométrie est étalée où variée ; $Cu \leq 2$: nous disons que la granulométrie est serrée où uniforme ; d'autre part, si $1 < Cc < 3$ le granulat est bien gradue.

2.3.4.3 Essai sur le mortier durci [15]

A. L'absorption d'eau

Le coefficient d'absorption d'eau est défini comme le rapport de l'augmentation de la masse de l'échantillon après imbibition par immersion dans l'eau par rapport à sa masse sèche. C'est le pouvoir d'un matériau d'absorber ou de retenir de l'eau. Cet se réalise suivant la norme NF P 10-502.

A. Outils nécessaire

Pour réaliser cet essai nous aurons besoins de :

- ❖ Une étuve
- ❖ Une balance
- ❖ Un bac d'eau

B. Mode opératoire

- ❖ Conserve l'échantillon pendant au moins 24h dans une étuve a 105°C,
- ❖ Peser l'échantillon, on détermine la masse M1,
- ❖ Immersion totale de l'échantillons dans l'eau pendant 24h,
- ❖ Essuyer l'échantillons par un chiffon,
- ❖ Peser l'échantillons, on déterminer la masse M2.

C. Formule de calcul

La relation permettant de calculer le coefficient d'absorption (Ab%) est :

ETUDE COMPARATIVE DES PROPRIETES MECANIQUES DES MORTIER CONFECTIONNES A BASE DE DIFFERENTS TYPES DE SABLES ET CIMENT

$$Ab\% = \frac{M2-M1}{M1} * 100 \quad 2,7$$

B. La résistance à la compression

L'essai est réalisé conformément à la norme NF EN 12390-3.

A. But

L'essai a pour but de connaître la résistance à la compression du mortier, mesurée en laboratoire sur des éprouvettes.

B. Principe

Les éprouvettes sont chargées jusqu'à rupture dans une machine pour essai de compression. La charge maximale atteinte avant la rupture permet de calculer la résistance à la compression.

C. Matériels utilisés

Comme matériels, nous avons utilisés :

- ❖ Presse hydraulique
- ❖ Dispositif de compression

D. Mode opératoire

Ce mode opératoire est déduit de la norme française P18-455

- Préparation et positionnement des éprouvettes :
- ❖ Essuyer toute humidité excessive de la surface de l'éprouvette.
- ❖ Essuyer les plateaux de la machine et retirer toute particule ou corps étranger.

ETUDE COMPARATIVE DES PROPRIETES MECANIQUES DES MORTIER CONFECTIONNES A BASE DE DIFFERENTS TYPES DE SABLES ET CIMENT

- ❖ Centrer correctement l'échantillon
- ❖ Appliquer la charge progressivement et sans choc
- ❖ Continuer jusqu'à la rupture de l'éprouvette
- ❖ Enregistrer la charge maximale obtenue et la noter sur la liste décalage.
- ❖ Après que l'écrasement ait pris fin, le tableau de bord de la presse affiche la résistance de l'éprouvette ainsi que la charge qu'elle a subie.

$$RC = \frac{F}{A2} \quad 2.8$$

Où :

F : est la force qui agit sur l'éprouvette en N

A : est la section de l'éprouvette en mm

RC : la résistance à la compression en MPa.

La détermination de cette résistance est effectuée à différents âges, du mortier notamment à 3 jours, à 7 jours, et 28 jours,

L'essai à 3 jours permet d'observer la résistance initiale du mortier.

L'essai à 7 jours donne une indication sur l'évolution de la résistance et permet d'estimer la résistance finale.

La résistance mesurée à 28 jours correspond à la résistance de référence du mortier.

C. La résistance à la flexion

ETUDE COMPARATIVE DES PROPRIETES MECANIQUES DES MORTIER CONFECTIONNES A BASE DE DIFFERENTS TYPES DE SABLES ET CIMENT

Des éprouvettes de dimensions (4×4×16) cm ont été utilisées pour la détermination de la résistance à la traction. Les mesures sont faites sur une presse qui répond aux normes, munie d'un banc de flexion a 3 points. Cet essai permet de déterminer la résistance à la traction par flexion du mortier.

La formule (II.9) de calcul de la contrainte de flexion est donnée comme suit :

$$Rf = \frac{1,5 * Ff * l}{b * b * b} \quad 2,9$$

Avec :

Rf : résistance à la flexion, en N/mm² ;

b : cote de la section carre du prisme en mm

Ff : charge applique au milieu du prisme a la rupture en N ;

l : distance entre les appuis en mm

La figure ci-dessous montre le matériel nécessaire pour effectuer l'essai de traction par flexion des éprouvettes de mortier.



Figure 2-5 : Presse Hydraulique

2.4 METHODE DE FORMULATION DU MORTIER [16]

La méthode de formulation du mortier normal selon la norme NF EN 196-1 est une procédure standardisée permettant de préparer et d'évaluer la résistance mécanique des mortiers normal. Elle fixe des conditions précise de dosage, de moulage, de malaxage, et de cure des éprouvettes.

2.4.1 Choix et justification de la méthode

Le choix de la méthode de formulation du mortier normal dans cette étude repose sur son utilisation courante dans les analyses standardisées et comparative en laboratoire.

Cette approche offre un cadre scientifique rigoureux et reproductible, permettant d'évaluer avec précision les propriétés mécaniques du mortier, notamment sa résistance à la compression et à la flexion.

2.4.2 Mortier normal (EN 196-1)

2.4.2.1 Définition du mortier normal

Le mortier normal est un mortier utilise pour déterminer certaines caractéristiques des ciments, en particulier leur résistance à la compression.

Il est préparé conformément à la norme EN 196-1. Ce mortier correspond

À un mélange d'éléments secs dans une proportion 1 :3, avec un rapport E/C = 0,5.

2.4.2.2 Préparation du mortier

a. Composition du mortier

Le mortier doit être compose, en masse, d'une partie de ciment, de trois parties de sable normalise et d'une demi- partie d'eau, correspondant à un rapport E/C de 0,5.

Chaque gâchée destinée à la confection de trois éprouvettes d'essai doit contenir :

- ❖ 450 g ± 2 g de ciment,
- ❖ 1350 g ± 5 g de sable,
- ❖ 225 g ± 1 g d'eau,

b. Malaxage manuel du mortier

- Il faut tout d'abord, avec la pelle, mélanger à sec le sable et le liant aussi parfaitement que possible
- Et former ensuite au milieu du mélange une cuvette qui recevra l'eau de gâchage. La masse est humectée progressivement puis malaxée.

2.5 CONCLUSION PARTIELLE

De la description des matériaux utilisés à la caractérisation des mortiers d'étude, ce chapitre met en évidence, de manière progressive, l'ensemble des étapes suivies. Il présenté notamment les essais de caractérisation des matériaux, la méthode adoptée pour la formulation des mortiers, ainsi que les différents essais réalisés pour évaluer les propriétés des mortiers d'étude.

ETUDE COMPARATIVE DES PROPRIETES MECANIQUES DES MORTIER
CONFECTIONNES A BASE DE DIFFERENTS TYPES DE SABLES ET CIMENT

Chapitre 3

PRESENTATION ET ANALYSES DE RESULTATS

Voici un exemple de texte entre le titre et la première section du chapitre. Il sert à introduire brièvement le contenu du chapitre.

3.1 INTRODUCTION

Cette partie s'intéresse à la présentation des propriétés de différents constituants du mortier et l'interprétation de résultats obtenus après essais au laboratoire. Les essais ont été faite sur les mortiers à l'état durci.

3.2 RESULTATS OBTENUS SUR LES SABLES

3.2.1 SABLE D'IDJWI

3.2.1.1 Les masses volumiques du sable d'idjwi

Les masses volumiques absolue et apparente du sable de idjwi ont été effectué suivants les prescriptions des normes NF P 18-555 et NFP 18-554 respectivement. Le tableau reprend les valeurs des masses volumiques absolue et apparente obtenue au laboratoire.

Tableau 3-1 : tableau de Masse volumique absolue et apparente du sable d'idjwi

Matériau	Masse volumique absolue En g/cm^3	Masse volumique apparente en g/cm^3
Sable d'idjwi	2,464	1,392

ETUDE COMPARATIVE DES PROPRIETES MECANQUES DES MORTIER CONFECTIONNES A BASE DE DIFFERENTS TYPES DE SABLES ET CIMENT

Les résultats obtenus montrent que le sable d'idjwi a une masse volumique absolue de $2,464\text{g/cm}^3$ et une masse volumique apparente de $1,392\text{g/cm}^3$.

3.2.1.2 Courbe granulométrique du sable d'idjwi

La courbe granulométrique permet d'analyser la répartition des grains du sable. Elle est utilisée pour évaluer sa qualité en vue de son utilisation dans le mortier. La figure suivante présente celle d'idjwi.

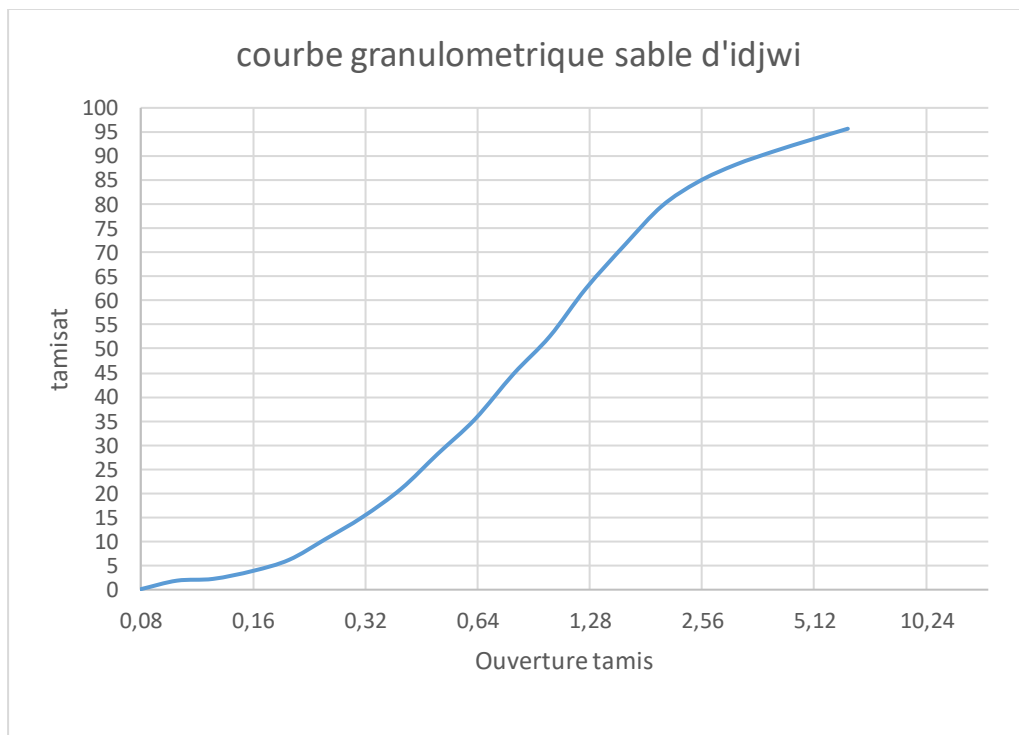


Figure 3-1 : courbe granulométrique du sable d'idjwi

ETUDE COMPARATIVE DES PROPRIETES MECANIQUES DES MORTIER CONFECTIONNES A BASE DE DIFFERENTS TYPES DE SABLES ET CIMENT

D'après, cette courbe granulométrique. Ce sable est constitué majoritairement de particules moyennes, avec une proportion non négligeable de particules grossières. Et une faible teneur en fines.

3.2.1.3 L'équivalent du sable d'idjwi

La détermination de l'équivalent du sable a été réalisée conformément aux prescriptions de la norme NF P 18-597

D'où pour ces deux essais, la moyenne $ES = 70\%$, en se référant au tableau qui illustre la nature et qualité du sable nous pouvons conclure que le sable d'idjwi est un sable propre convenant parfaitement pour les bétons et mortiers de haute qualité.

3.2.1.4 Le module de finesse du sable d'idjwi

Le module de finesse du sable d'idjwi a été déterminé conformément aux prescriptions de la norme XP P 18-540.

$$Mf = \frac{1}{100} \sum Ref \text{ cum en \% des tamis (0,16, 0,315, 0,63, 1,25, 2,5, 5.)}$$

$$Mf = 3$$

Pour obtenir un bon béton ou mortier de bonne qualité, il est recommandé que le module de finesse du sable soit compris entre 2,2 et 2,8. Or, dans notre cas, le module de finesse obtenu est supérieur à 2,8. Cela indique que le sable d'idjwi est constitué majoritairement d'éléments grossiers, ce qui confère une résistance mécanique élevée, mais présente des risques de ségrégation.

3.2.1.5 Coefficient d'uniformité du sable d'idjwi

$$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}} = \frac{0,60}{0,11} = 5,45$$

Donc la granulométrie du sable d'idjwi est étalée ou (variée).

3.2.1.6 Coefficient de courbure du sable d'idjwi

$$Cc = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}} = \frac{(0,27)^2}{0,11 \times 0,60} = 1,10$$

Donc le sable d'idjwi est bien gradue.

3.2.2 SABLE DE MONT GOMA

3.2.2.1 Les masses volumiques du sable du Rwanda

Les masses volumiques et apparente du sable de mont Goma, effectuées suivant les prescriptions des normes NF P 18-554 et NF P 18-554 respectivement, sont représentées dans le tableau.

Tableau 3-2 : Masse volumiques absolu et apparente du sable du Rwanda

Matériau	Masse volumique absolue en g/cm^3	Masse volumique apparente en g/cm^3
Sable mont Goma	2,450 g/cm^3	1,38 g/cm^3

Les résultats obtenus montrent que le sable de mont Goma a une masse volumique absolue de 2,45 g/cm^3 et une masse volumique apparente de 1,38 g/cm^3 .

3.2.2.2 Courbe granulométrique du sable de Mont-Goma

La courbe granulométrique permet d'analyser la répartition des grains du sable. Elle est utilisée pour évaluer sa qualité en vue de son utilisation dans le mortier. La figure suivante présente celle d'idjwi.

ETUDE COMPARATIVE DES PROPRIETES MECANQUES DES MORTIER
CONFECTIONNES A BASE DE DIFFERENTS TYPES DE SABLES ET CIMENT

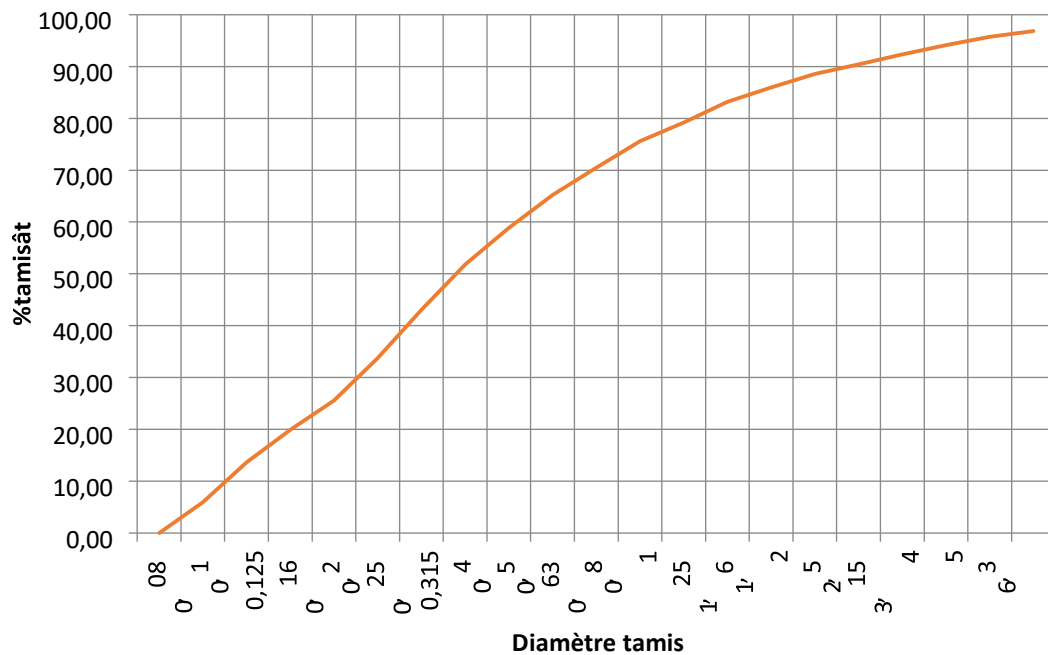


Figure 3-2 : courbe granulométrique du sable de Mont

D'après, cette courbe granulométrique. Ce sable de mont Goma est constitué d'une grande quantité d'élément fins et moyens.

3.2.2.3 L'équivalent du sable de Mont- Goma

D'où pour ces deux éprouvettes, la moyenne $ES = 82,097\%$, en se référant au tableau qui illustre la nature et qualité du sable nous pouvons conclure que le sable de mont Goma est un sable très propre mais l'absence presque totale des fines argileuses risque d'entraîner un défaut de plasticité du béton ou mortier qu'il faudra compenser par une augmentation du dosage en eau.

3.2.2.4 Le module de finesse du sable de Mont-Goma

Le module de finesse trouve pour le sable de Mont Goma est :

$$Mf = \frac{1}{100} \sum Ref \text{ cum en \% des tamis (0,16, 0,315, 0,63, 1,25, 2,5, 5,)}$$

$$Mf = 1,6$$

ETUDE COMPARATIVE DES PROPRIETES MECANIQUES DES MORTIER CONFECTIONNES A BASE DE DIFFERENTS TYPES DE SABLES ET CIMENT

Le module de finesse obtenu pour le sable de Mont Goma est de 1,6. Cette valeur indique que le sable est très fin, car le module de finesse des sables courants varie généralement entre 2,2 et 2,8 pour un sable moyen. Un module de finesse faible traduit une forte proportion de particules fines et une granulométrie dominée par des grains de petite dimension. Par conséquent, la demande en eau du mortier.

Ce sable peut améliorer la cohésion et la compacité du mélange, mais il nécessite un ajustement du rapport eau/ciment afin d'éviter une diminution des résistances mécaniques. Une formulation appropriée est donc indispensable pour garantir les performances du mortier.

3.2.2.5 Coefficient d'uniformité du sable de Mont Goma

$$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}} = \frac{1}{0,18} = 5,56$$

Donc la granulométrie du sable de Mont Goma aussi elle étalée

3.2.2.6 Coefficient de courbure du sable de Mont Goma

$$Cc = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}} = \frac{(0,35)^2}{0,18 \times 1} = 0,68$$

La granulométrie n'est bien graduée.

3.2.3 SABLE DU RWANDA

3.2.3.1 Les masses volumiques du sable du Rwanda

Les valeurs des masses volumiques absolues et apparentes du sable du Rwanda sont présentée dans le tableau ci-dessous.

Tableau 3-3 : masse volumique absolue et apparente du sable du Rwanda

Matériau		
----------	--	--

ETUDE COMPARATIVE DES PROPRIETES MECANIQUES DES MORTIER CONFECTIONNES A BASE DE DIFFERENTS TYPES DE SABLES ET CIMENT

	Masse volumique absolue en g/cm^3	Masse volumique apparente en g/cm^3
Sable du Rwanda	2,627 g/cm^3	1,405 g/cm^3

Les résultats obtenus montrent que le sable du Rwanda a une masse volumique absolue de 2,62 g/cm^3 et une masse volumique apparente de 1,326 g/cm^3 .

3.2.3.2 L'équivalent du sable du Rwanda

Pour ces deux éprouvettes, la moyenne ES = 87,222, en se référant au tableau qui illustre la nature et la qualité du sable nous pouvons conclure aussi que le sable du Rwanda est un sable aussi très propre convenant parfaitement pour les mortiers et bétons de haute qualité.

3.2.3.3 Courbe granulométrique du sable du Rwanda

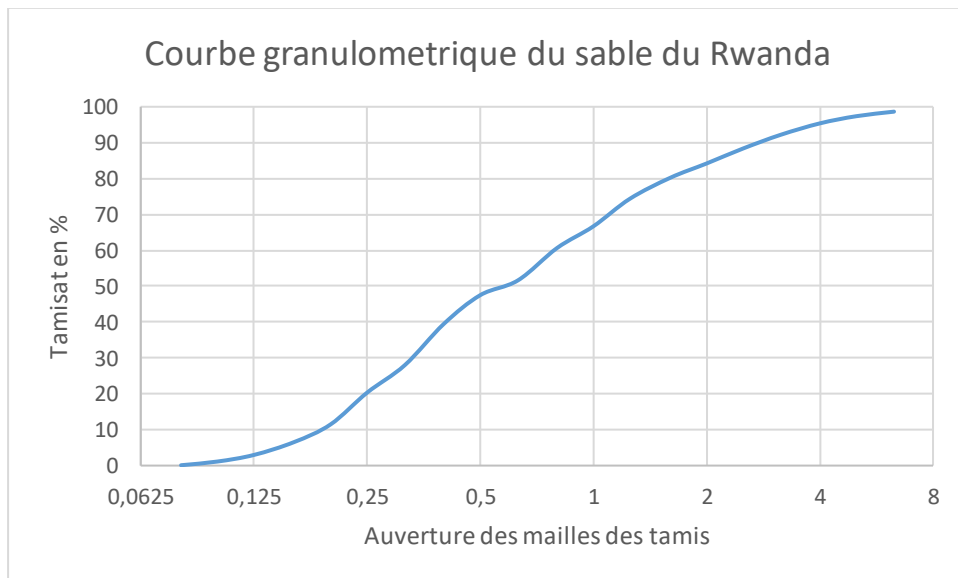


Figure 3-3 : courbe granulométrique du sable du Rwanda

ETUDE COMPARATIVE DES PROPRIETES MECANIQUES DES MORTIER CONFECTIONNES A BASE DE DIFFERENTS TYPES DE SABLES ET CIMENT

D'après, cette courbe granulométrique le sable du Rwanda contient une proportion équilibrée de grains fins, moyens et gros, ce qui est idéal pour obtenir un béton compact avec un minimum de vides.

3.2.3.4 Le module de finesse du sable du Rwanda

Le module de finesse trouve pour le sable du Rwanda est le suivant :

$$Mf = \frac{1}{100} \sum Ref \text{ cum en \% des tamis (0,16, 0,315, 0,63, 1,25, 2,5, 5,)} \\ Mf = 2,536999$$

Le module de finesse obtenu pour le sable du Rwanda est de 2,54. Cette valeur est considérée comme idéale ; en effet, les normes en vigueur stipulent que le module de finesse d'un sable destiné à la confection d'un béton ou d'un mortier de qualité doit être compris entre 2,2 et 2,8. Le sable étudié répond donc parfaitement à ces exigences.

3.2.3.5 Coefficient d'uniformité du sable du Rwanda

$$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}} = \frac{1,40}{0,25} = 5,6$$

La granulométrie du sable du Rwanda est étalée ou (variée)

3.2.3.6 Coefficient de courbure du sable du Rwanda

$$Cc = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}} = \frac{(0,55)^2}{0,25 \times 1,40} = 0,86$$

La granulométrie n'est pas bien graduée.

3.3 RESULTATS OBTENUS SUR LES LIANTS

Nous avons effectué, sur le ciment, les essais de consistance normale ainsi que la détermination de sa masse volumique.

3.3.1 Ciment Hima

3.3.1.1 La consistance normale

La consistance normale a été réalisé conformément à la norme EN 198-3. Pour un échantillon de ciment de 500 g, le résultat a révélé une distance de 5 mm par rapport au fond du moule (sonde de Vicat) pour une teneur en eau de 32,2 %. Les détails de ces essais sont présente en annexe III.

3.3.1.2 La masse volumique du ciment Hima

La masse volumique du ciment a été déterminée selon la norme NF P 18-554. Les résultats obtenus en laboratoire indiquent que le ciment **Hima** présente une masse volumique de 2.91

3.3.2 Ciment Cimerwa

3.3.2.1 La consistance normale

Le résultat de la consistance normale du ciment a été de 5 mm de hauteur avec 34% de quantité d'eau pour un échantillon de ciment de 500 g tel que démontre en annexe III.

3.3.2.2 La masse volumique du Ciment Cimerwa

La masse volumique du ciment a été déterminée conformément à la norme NF P 18-554. Ainsi, au laboratoire, le ciment Cimerwa a présente une masse volumique de 3.10

3.4 RESULTATS OBTENUS SUR LES MORTIERS

La formulation du mortier s'est effectuée avec la méthode normalisée définie par la norme européenne. Le tableau présente les quantités obtenues pendant la formulation.

ETUDE COMPARATIVE DES PROPRIETES MECANIQUES DES MORTIER CONFECTIONNES A BASE DE DIFFERENTS TYPES DE SABLES ET CIMENT

Tableau 3-4: quantité des constituants des mortiers

Mélange du mortier	Dosage en C (g)	Dosage en E (g)	Dosage en S (g)
Sable Mont Goma	450 g	225 g	1350 g
Sable du Rwanda	450 g	225 g	1350 g
Sable d'idjwi	450 g	225 g	1350 g

On remarque que les quantités sont identiques pour les trois types de sable. Cela indique que l'étude suit une formulation normalisée.

Le mélange pour trois éprouvettes se compose comme suit :

- C (ciment) : 450 g
- E (Eau) : 225 g
- S (Sable) : 1350 g

3.4.1 Caractéristiques du mortier

Dans cette partie sont présentes les résultats des essais des résistances a la compression et à la flexion. Ainsi que le taux d'absorption d'eau sur les éprouvettes cubique de 40*40*160 confectionnées dans cette étude après 3 jours, 7 jours, et 28 jours d'immersion dans l'eau.

3.4.1.1 Resistance a la flexion

Les éprouvettes prismatiques de 40*40*160 mm confectionnées dans cette étude ont été soumises à un essai de résistance à la flexion après 3,7, et,28 jours d'immersion dans l'eau.

ETUDE COMPARATIVE DES PROPRIETES MECANIQUES DES MORTIER
CONFECTIONNES A BASE DE DIFFERENTS TYPES DE SABLES ET CIMENT

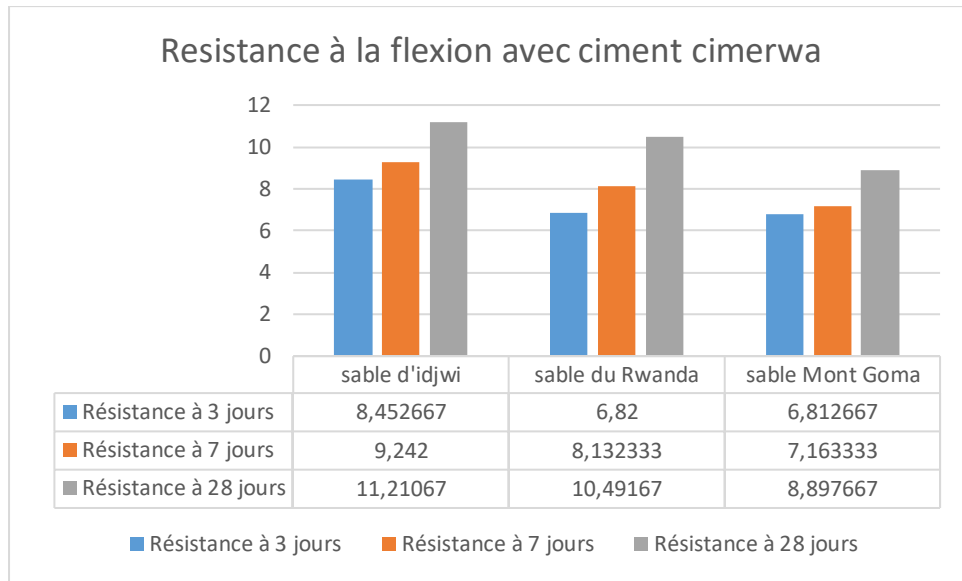


Figure 3-4 : Resistance à la flexion avec le ciment cimerwa

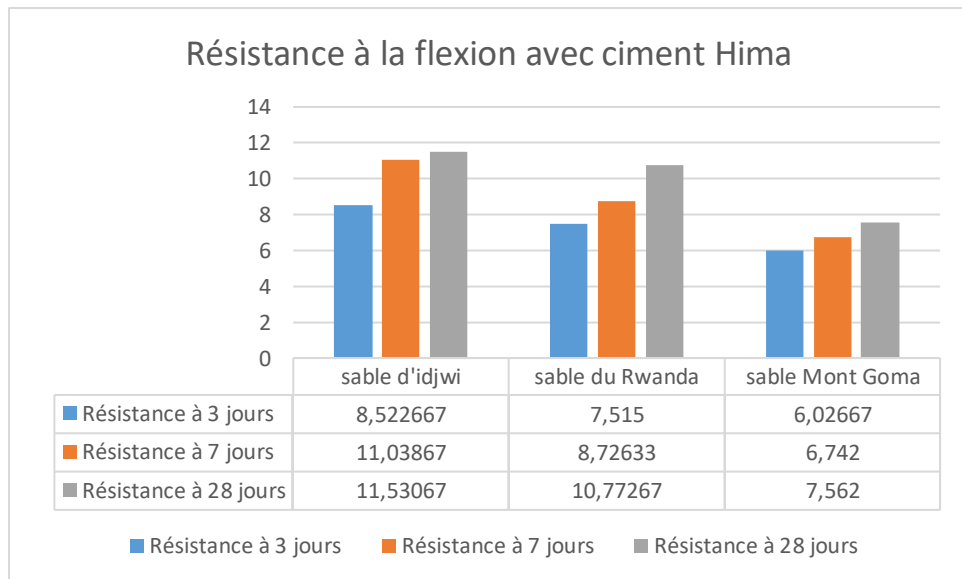


Figure 3-5 : Resistance a la flexion avec ciment Hima

A 3 jours d'âges, les résultats des essais de résistance à la flexion des mortiers montrent que la combinaison Ciment HIMA et sable d'idjwi est la plus performante. Avec une valeur de 8,522

ETUDE COMPARATIVE DES PROPRIETES MECANIQUES DES MORTIER CONFECTIONNES A BASE DE DIFFERENTS TYPES DE SABLES ET CIMENT

N/mm^2 . A l'inverse, la combinaison présentant la plus faible résistance est celle du ciment Hima avec le sable de Mont Goma affichant $6,02667 N/mm^2$.

A 7 jours d'âges, la combinaison à base de ciment Hima a affiché la résistance la plus élevée, atteignant $11,04 N/mm^2$. A l'inverse, la résistance la plus faible a été enregistrée pour la combinaison associant le ciment Hima au sable du Mont Goma avec $6,742 N/mm^2$.

A 28 jours d'âges, la combinaison ciment Hima et sable d'idjwi confirme sa performance avec une résistance de $11,53067 N/mm^2$. Parallèlement, le mélange utilisant le sable de Mont Goma présenté une résistance inférieure, soit, de $7,562 N/mm^2$.

3.4.1.2 Résistance a la compression

Les éprouvettes prismatiques de $40*40*160$ mm confectionnées dans cette étude ont été soumises à un essai de résistance à la compression après 3,7, et,28 jours d'immersion dans l'eau.

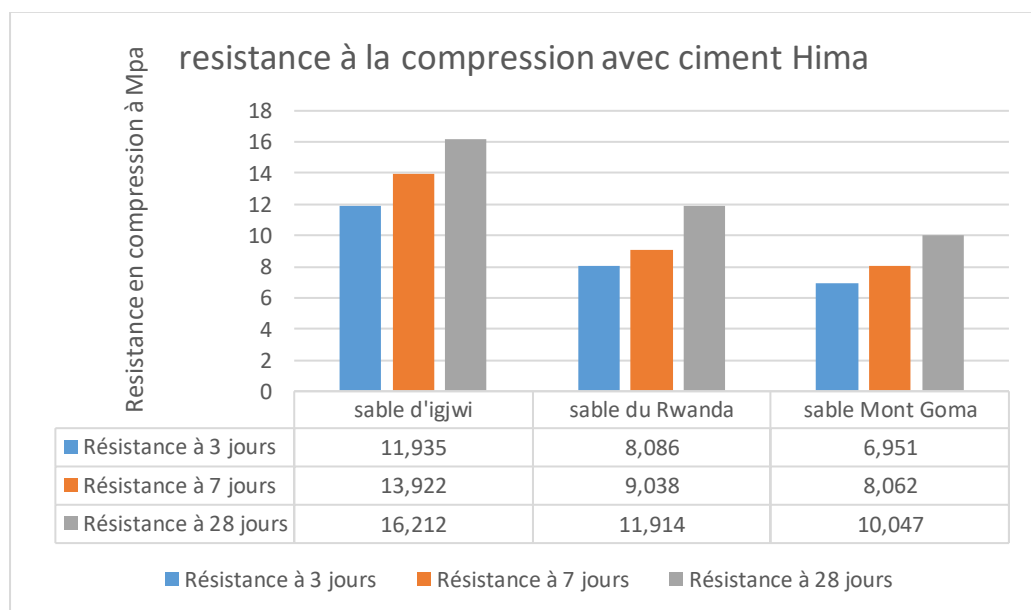


Figure 3-6 : Résistance à la compression avec le ciment Hima

ETUDE COMPARATIVE DES PROPRIETES MECANQUES DES MORTIER
CONFECTIONNES A BASE DE DIFFERENTS TYPES DE SABLES ET CIMENT

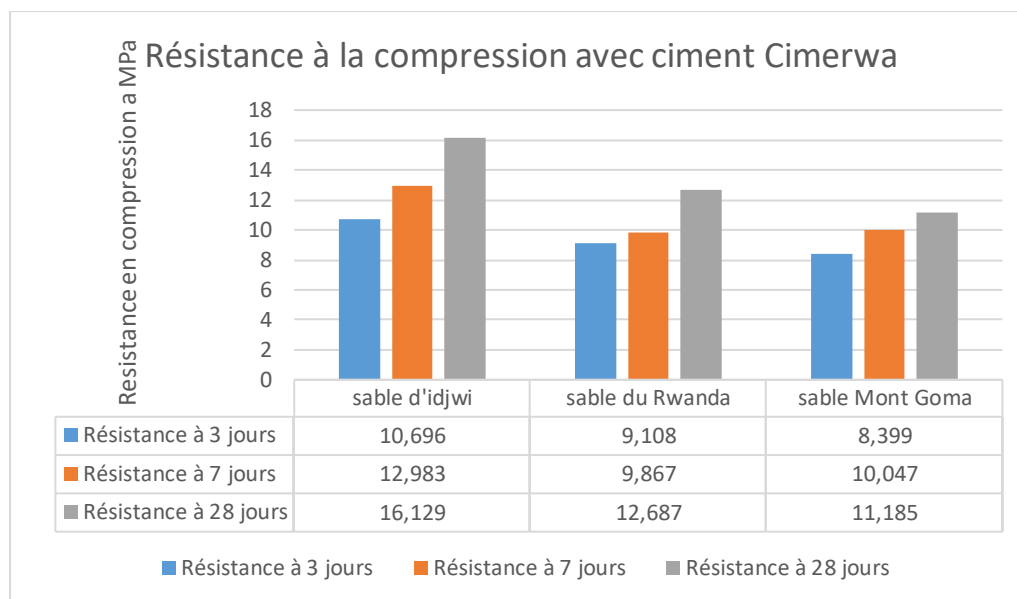


Figure 3-7 : résistance à la compression avec ciment Cimerwa

3 jours : le ciment Hima combiné avec le sable d'idjwi présente une résistance élevée par rapport aux autres combinaisons, soit 11,935 MPa, et la combinaison Hima avec le sable de Mont Goma offre une faible résistance de 6,951 MPa.

A 7 jours : la combinaison du ciment Hima avec le sable d'idjwi présente toujours la résistance plus élevée, soit 13,922 MPa. En revanche, la combinaison du ciment Hima avec le sable de Mont Goma demeure la moins performante avec une valeur de 8,062 MPa.

A 28 jours : la même combinaison du ciment Hima avec le sable d'idjwi présente une résistance plus élevée par rapport aux autres combinaisons, soit, de 16,212 MPa, tandis que la combinaison du ciment Hima avec le sable de Mont Goma présente une résistance inférieure de 10,047 MPa.

Ainsi, les résultats montrent clairement que le sable d'Idjwi confère au mortier de meilleures propriétés mécaniques. Ce comportement permet de caractériser ce mortier comme étant plus

résistant et plus performant, tandis que le mortier à base de sable de Mont Goma est moins adapté pour des applications nécessitant une forte résistance.

3.5 Conclusion partielle

Le troisième chapitre permet de valider les performances physiques et mécaniques des matériaux étudiés à travers différents essais de laboratoire. Il en ressort deux conclusions majeures :

La supériorité de la combinaison Sable d'Idjwi + Ciment HIMA : C'est l'association qui offre de loin les meilleures propriétés mécaniques, affichant les résistances à la flexion (11,53 N/mm²) et à la compression (16,212 MPa) les plus élevées à l'échéance de 28 jours. Le sable d'Idjwi se caractérise comme un sable propre, idéal pour des mortiers hautement résistants.

Les limites du Sable du Mont Goma : À l'inverse, les mortiers confectionnés à base de sable du Mont Goma affichent les performances les plus faibles (une résistance à la compression de seulement 10,047 MPa à 28 jours). Cela s'explique par sa nature très fine et sa forte proportion en particules fines, augmentant sa demande en eau et le rendant moins adapté pour les ouvrages nécessitant de fortes contraintes mécaniques.

De son côté, le sable du Rwanda présente des propriétés intermédiaires et satisfaisantes grâce à une granulométrie bien équilibrée. En somme, ce chapitre démontre de manière factuelle que la nature géométrique et la propreté du sable local influencent la durabilité et la résistance du mortier frais ou durci dans la région de Goma.

3.6 CONCLUSION GENERALE

Au terme de cette étude portant sur la comparaison des propriétés mécaniques des mortiers confectionnés à base de différents types de sables et de ciments disponibles à Goma, il ressort que les caractéristiques des matériaux influencent fortement les performances des mortiers.

Les résultats expérimentaux ont permis de confirmer les hypothèses de départ, notamment que la nature du sable et le type de ciment jouent un rôle déterminant dans la résistance mécanique. Parmi les combinaisons étudiées, le mélange du ciment Hima avec le sable d'Idjwi s'est révélé le plus performant, tandis que certaines combinaisons impliquant le sable de Mont Goma ont montré des résistances plus faibles.

Cette étude met en évidence l'importance de bien choisir et caractériser les matériaux locaux avant leur utilisation en construction. Elle constitue ainsi une référence technique utile pour les ingénieurs et les professionnels du bâtiment à Goma, en leur permettant d'opter pour des combinaisons de matériaux adaptées, garantissant la durabilité et la sécurité des ouvrages.

Toutefois, ce travail présente certaines limites, notamment l'absence d'adjuvants et la restriction aux essais mécaniques. Des études futures pourraient intégrer d'autres paramètres tels que la durabilité à long terme, la résistance aux agressions chimiques ou l'influence des conditions climatiques.

En perspective, cette recherche ouvre la voie à une meilleure valorisation des matériaux locaux dans le domaine du génie civil, contribuant ainsi au développement durable du secteur de la construction.

Bibliographie

- [1] D. T. BOUBEKEUR, Matériaux des construction, 2017.
- [2] B. M. Jonatan, Etude de l'impacte physico- mécanique de l'adjuvant sikalite hydrofuge sur le beton et mortier (TFC ULPGL), Goma, 2023/2024.
- [3] JUnit.org. [En ligne]. Available: <http://www.junit.org>. [Accès le 2 Janvier 2019].
- [4] G. D. e. J. Festa, nouveau guide du beton et de ses constituants, paris, 1998.
- [5] J. Douce, «Les mortiers :un peut d'histoire et principales applications actuelles,» *Les mortiers :un peut d'histoire et principales applications actuelles*, vol. 410, p. 63 a 64, 2016 a Paris .
- [6] A. MERIEM, Etude des proprietes mecaniques d'un mortier a base de verre recycle, Algerie, 2019/2020.
- [7] R. K. Hamid Eskandari-Naddaf, «Expermental evaluation of the effect of mix design ratios on compressive strenght of cement mortars containing cement strenght classe 42,5 and 52,5 MPa,» *international journal of civil engineering* , 2013.
- [8] m. d. f. d. d. M. Bouheka Abdia, etudes des mortiers a base d'une pouzzolane naturelle locale, Algerie, le 29juin 2022.
- [9] A. f. d. N. (. AFNOR), Criteres de conformites des ciment courants, La Plaine Saint - Denis: AFNOR, 1991.
- [10] O. i. d. n. (. o. A. f. d. normalisation, NF EN 197-1 Ciment -partie 1: composition , specification et criteres de conformite des ciments courants, la plaine Saint-Denis: AFNOR Editions.

ETUDE COMPARATIVE DES PROPRIETES MECANIQUES DES MORTIER CONFECTIONNES A BASE DE DIFFERENTS TYPES DE SABLES ET CIMENT

- [11] D. c. M. d. f. d'etudes, Etude comparative de l'utilisation du sable de dune en substitution du sable de riviere : cas des mortiers normalises, 2018/2019/ universite de Mouloud Mammeri de Tizi-ouzou.
- [12] M. .. N. Donatien, cours de technologie du beton, Burundi , 2026.
- [13] G. K. o. H. Renaud, La maconnerie : Guide pratique ou pratique du beton arme et de la maconnerie, Paris : Editions Eyrolles.
- [14] M. G. Alfred, etude des proprites hydro- mecanique du mortier de ciment confectionne a base des differents types de sable : cas du sable de carriere de mont goma(TFC a ulpgl), Goma, 2023/24.
- [15] M. JAMES, CONCRETE PRACTICES AND SCAFFOLDING, KIGALI, 2025/2025.
- [16] C. M. GRACE, cours labo des materiaux, Goma, 2023/2024.
- [17] AFNOR, NF P 18-598: Granulats _ Determination de l'equivalent du sable, paris: Association francaise de Normalisation (AFNOR), 1991.
- [18] C. M. GRACE, Cours de physique et technologie du beton, ULPGL, 2023/2024.
- [19] M. L. N. V. -M. M. H. e. A. N. Berredjem Layachi, «Etude expermentale de la formulation des mortiers a base de sable recycle,» *Academic Journal of civil Engineering*, vol. 34, n° %11, p. 6 a 9, 2016.
- [20] K. M. Merveille, etude coparative des proprietes mecaniques des mortiers confectionnes a base de sable recycle et de sable des rivieres, Goma, 2024.
- [21] M. JAMES, CONCRETE PRACTICES AND SCAFFOLDING, KIGALI, 2024/2025.

ETUDE COMPARATIVE DES PROPRIETES MECANIQUES DES MORTIER
CONFECTIONNES A BASE DE DIFFERENTS TYPES DE SABLES ET CIMENT

Annexe A Démonstrations

A.1 ESSAIS SUR LES SABLES

A.1.1 Les analyses granulométriques

A.1.1.1 Sable de Mont-Goma

Tableau 1 : La répartition granulométrique du sable de Mont Goma

N° TAMIS		OUVERTURE (mm)		REFUS CUMULES		TAMISAT
ASTM	AFNOR	ASTM	AFNOR	(g)	(%)	(%)
3"	50	76,2	80	0	0	100
2 1/2"	49	63,5	63	0	0	100
2"	48	50,8	50	0	0	100
1 1/2"	47	38,1	40	0	0	100
1 1/4"	46	31,7	31,5	0	0	100
1"	45	25,4	25	0	0	100
3/4"	44	19,1	20	0	0	100
2/3"	43	16,9	16	0	0	100
1/2"	42	12,7	12,5	0	0	100
3/8"	41	9,52	10	0	0	100
1/3"	40	7,93	8	0	0	100
1/4"	39	6,35	6,3	95	3,16	96,84
3/16"	38	4,76	5	129	4,3	95,7
5	37	4	4	176	5,93	94,07
6	36	3,36	3,15	231	7,7	92,3
8	35	2,38	2,5	288	9,6	90,4
10	34	2	2	344	11,46	88,54
12	33	1,68	1,6	422	14	86
16	32	1,19	1,25	505	16,83	83,17

ETUDE COMPARATIVE DES PROPRIETES MECANIQUES DES MORTIER
CONFECTIONNES A BASE DE DIFFERENTS TYPES DE SABLES ET CIMENT

18	31	1	1	625	20,83	79,17
20	30	0,84	0,8	733	24,43	75,57
30	29	0,59	0,63	886	29,53	70,47
35	28	0,5	0,5	1043	34,76	65,24
40	27	0,4	0,4	1235	41,16	58,84
50	26	0,315	0,315	1445	48,16	51,84
60	25	0,25	0,25	1709	56,96	43,04
70	24	0,2	0,2	1989	66,3	33,7
100	23	0,16	0,16	2232	74,4	25,6
120	22	0,125	0,125	2403	80,1	19,9
140	21	0,1	0,1	2590	86,33	13,67
200	20	0,08	0,08	2821	94,03	5,97

ETUDE COMPARATIVE DES PROPRIETES MECANIQUES DES MORTIER
CONFECTIONNES A BASE DE DIFFERENTS TYPES DE SABLES ET CIMENT

A.1.1.2 Sable d'idjwi

Tableau 1 : La répartition granulométrique du sable d'Idjwi

N ^o TAMIS		OUVERTURE (mm)		REFUS CUMULES		TAMISAT
ASTM	AFNOR	ASTM	AFNOR	(g)	(%)	(%)
3"	50	76,2	80	0	0	100
2 1/2"	49	63,5	63	0	0	100
2"	48	50,8	50	0	0	100
1 1/2"	47	38,1	40	0	0	100
1 1/4"	46	31,7	31,5	0	0	100
1"	45	25,4	25	0	0	100
3/4"	44	19,1	20	0	0	100
2/3"	43	16,9	16	0	0	100
1/2"	42	12,7	12,5	0	0	100
3/8"	41	9,52	10	0	0	100
1/3"	40	7,93	8	0	0	100
1/4"	39	6,35	6,3	130	4,33	95,67
3/16"	38	4,76	5	70	6,66	93,34
5	37	4	4	70	9	91
6	36	3,36	3,15	84	11,8	88,2
8	35	2,38	2,5	107	15,36	84,64
10	34	2	2	150	20,36	79,64
12	33	1,68	1,6	235	28,2	71,8
16	32	1,19	1,25	279	37,5	62,5
18	31	1	1	298	47,43	52,57
20	30	0,84	0,8	233	55,2	44,8
30	29	0,59	0,63	283	64,63	35,37
35	28	0,5	0,5	217	71,86	28,14
40	27	0,4	0,4	215	79,03	20,97
50	26	0,315	0,315	178	84,9	15,1
60	25	0,25	0,25	137	89,53	10,47
70	24	0,2	0,2	128	93,8	6,2

ETUDE COMPARATIVE DES PROPRIETES MECANIQUES DES MORTIER
CONFECTIONNES A BASE DE DIFFERENTS TYPES DE SABLES ET CIMENT

100	23	0,16	0,16	69	96,1	3,9
120	22	0,125	0,125	50	97,76	2,24
140	21	0,1	0,1	11	98,13	1,87
200	20	0,08	0,08	54	99,9	0,1

ETUDE COMPARATIVE DES PROPRIETES MECANIQUES DES MORTIER
CONFECTIONNES A BASE DE DIFFERENTS TYPES DE SABLES ET CIMENT

A.1.1.3 Sable du Rwanda

Tableau 1 : La répartition granulométrique du sable d'Idjwi

N ₀ TAMIS		OUVERTURE (mm)		REFUS CUMULES		TAMISAT
ASTM	AFNOR	ASTM	AFNOR	(g)	(%)	(%)
3"	50	76,2	80	0	0	100
2 1/2"	49	63,5	63	0	0	100
2"	48	50,8	50	0	0	100
1 1/2"	47	38,1	40	0	0	100
1 1/4"	46	31,7	31,5	0	0	100
1"	45	25,4	25	0	0	100
3/4"	44	19,1	20	0	0	100
2/3"	43	16,9	16	0	0	100
1/2"	42	12,7	12,5	0	0	100
3/8"	41	9,52	10	0	0	100
1/3"	40	7,93	8	0	0	100
1/4"	39	6,35	6,3	41	1,3667	98,6333
3/16"	38	4,76	5	38	2,6333	97,3667
5	37	4	4	60	4,6333	95,3667
6	36	3,36	3,15	95	7,8	92,2
8	35	2,38	2,5	115	11,6333	88,3667
10	34	2	2	125	15,8	84,2
12	33	1,68	1,6	120	19,8	80,2
16	32	1,19	1,25	175	25,6333	74,3667
18	31	1	1	230	33,3	66,7
20	30	0,84	0,8	182	39,3667	60,6333
30	29	0,59	0,63	270	48,3667	51,6333
35	28	0,5	0,5	124	52,5	47,5
40	27	0,4	0,4	240	60,5	39,5
50	26	0,315	0,315	345	72	28
60	25	0,25	0,25	230	79,6667	20,3333
70	24	0,2	0,2	265	88,5	11,5

ETUDE COMPARATIVE DES PROPRIETES MECANIQUES DES MORTIER
CONFECTIONNES A BASE DE DIFFERENTS TYPES DE SABLES ET CIMENT

100	23	0,16	0,16	148	93,4333	6,5667
120	22	0,125	0,125	108	97,0333	2,9667
140	21	0,1	0,1	55	98,8667	1,1333
200	20	0,08	0,08	31	99,9	0,1

A.1.2 L'équivalent du sable

EQUIVALENT DE SABLE DU RWANDA							
Prise d'essai : 120g							
Eprouvette numéro 01							
LECTURE A LA REGLE (cm)	H1				11,45	ES	89,08296 9
	H2				10,2		
LECTURE AU PISTON (cm)	H1				11,45	ES	82,09607
	H2				9,4		
Eprouvette numéro 02							
LECTURE A LA REGLE (cm)	H1				8,3	ES	90,96385 5
	H2				7,55		
LECTURE AU PISTON (cm)	H1				8,3	ES	86,74698 8
	H2				7,2		
Moyenne lecture à la règle					90,023412		
Moyenne lecture au piston					84,421529		
Moyenne des moyennes					87,222471		

ETUDE COMPARATIVE DES PROPRIETES MECANIQUES DES MORTIER
CONFECTIONNES A BASE DE DIFFERENTS TYPES DE SABLES ET CIMENT

EQUIVALENT DE SABLE D'IDJWI				
Prise d'essai : 120g				
Eprouvette numéro 01				
LECTURE A LA REGLE (cm)	H1	9,4	ES	71,27659 6
	H2	6,7		
LECTURE AU PISTON (cm)	H1	9,4	ES	68,08510 6
	H2	6,4		
Eprouvette numéro 02				
LECTURE A LA REGLE (cm)	H1	13,3	ES	69,17293 2
	H2	9,2		
LECTURE AU PISTON (cm)	H1	13,3	ES	67,66917 3
	H2	9		

Moyenne lecture à la règle	70,224764
Moyenne lecture au piston	67,87714
Moyenne des moyennes	69,050952

EQUIVALENT DE SABLE DE MONT GOMA				
Prise d'essai : 120g				
Eprouvette numéro 01				
LECTURE A LA REGLE (cm)	H1	9,6	ES	90,625
	H2	8,7		
LECTURE AU PISTON (cm)	H1	9,6	ES	75
	H2	7,2		
Eprouvette numéro 02				
LECTURE A LA REGLE (cm)	H1	9,4	ES	90,42553 2
	H2	8,5		

ETUDE COMPARATIVE DES PROPRIETES MECANIQUES DES MORTIER CONFECTIONNES A BASE DE DIFFERENTS TYPES DE SABLES ET CIMENT

LECTURE AU PISTON (cm)	H1	9,4	ES	72,340426
	H2	6,8		

Moyenne lecture à la règle	90,525266
Moyenne lecture au piston	73,670213
Moyenne des moyennes	82,097739

A.1.3 Masses volumique absolue

MASSE VOLUMIQUE ABSOLUE						
1. SABLE DU RWANDA						
ESSAI 1	Masse sèche(g)	400	ρ_1	2,5477707	MOYENNE	2,6270347 g/cm ³
	V1(ml)	400				
	V2(ml)	557				
ESSAI 2	Masse sèche(g)	400	ρ_2	2,6666667		
	V1(ml)	400				
	V2(ml)	550				
ESSAI 3	Masse sèche(g)	400	ρ_3	2,6666667		
	V1(ml)	400				
	V2(ml)	550				

MASSE VOLUMIQUE ABSOLUE						
2. SABLE D'IDJWI						
ESSAI 1	Masse sèche(g)	400	ρ_1	2,5	MOYENNE	2,4644594 g/cm ³
	V1(ml)	400				
	V2(ml)	560				
ESSAI 2	Masse sèche(g)	400	ρ_2	2,4242424		
	V1(ml)	400				
	V2(ml)	565				
ESSAI 3	Masse sèche(g)	400	ρ_3	2,4691358		
	V1(ml)	400				
	V2(ml)	562				

ETUDE COMPARATIVE DES PROPRIETES MECANIQUES DES MORTIER
CONFECTIONNES A BASE DE DIFFERENTS TYPES DE SABLES ET CIMENT

MASSE VOLUMIQUE ABSOLUE						
3. SABLE DE MONT GOMA						
ESSAI 1	Masse sèche(g)	200	ρ_1	2,5	MOYENNE	2,4509804 g/cm³
	V1(ml)	200				
	V2(ml)	280				
ESSAI 2	Masse sèche(g)	200	ρ_2	2,5		
	V1(ml)	200				
	V2(ml)	280				
ESSAI 3	Masse sèche(g)	200	ρ_3	2,3529412		
	V1(ml)	200				
	V2(ml)	285				

A.1.4 Masses volumiques apparente

MASSE VOLUMIQUE APPARENTE						
1. SABLE D'IDJWI						
ESSAI 1	Masse du moule (g)	4353	ρ_1	1,366752 1	MOYENNE	1,3925662 g/cm³
	Moule+échantillon (g)	5659				
	Masse échantillon (g)	1306				
	Volume du moule cm ³	955,55				
ESSAI 2	Masse du moule (g)	4353	ρ_2	1,402333 7		
	Moule+échantillon (g)	5693				
	Masse échantillon (g)	1340				
	Volume du moule cm ³	955,55				
ESSAI 3	Masse du moule (g)	4353	ρ_3	1,408612 8		
	Moule+échantillon (g)	5699				
	Masse échantillon (g)	1346				
	Volume du moule cm ³	955,55				

ETUDE COMPARATIVE DES PROPRIETES MECANIQUES DES MORTIER
CONFECTIONNES A BASE DE DIFFERENTS TYPES DE SABLES ET CIMENT

MASSE VOLUMIQUE APPARENTE			
2. SABLE DU RWANDA			
ESSAI 1	Masse du moule (g)	4353	ρ_1
	Moule+échantillon (g)	5702	
	Masse échantillon (g)	1349	
	Volume du moule cm ³	955,55	
ESSAI 2	Masse du moule (g)	4353	ρ_2
	Moule+échantillon (g)	5678	
	Masse échantillon (g)	1325	
	Volume du moule cm ³	955,55	
ESSAI 3	Masse du moule (g)	4353	ρ_3
	Moule+échantillon (g)	5709	
	Masse échantillon (g)	1356	
	Volume du moule cm ³	955,55	

1,411752 4	MOYENNE	1,4058221 g/cm³
1,386636		
1,419078		

ETUDE COMPARATIVE DES PROPRIETES MECANIQUES DES MORTIER
CONFECTIONNES A BASE DE DIFFERENTS TYPES DE SABLES ET CIMENT

ETUDE COMPARATIVE DES PROPRIETES MECANIQUES DES MORTIER CONFECTIONNE
DIFFERENTS TYPES DE SABLES ET CIMENT

RESISTANCE ET DENSITES DE MORTIER SABLE MONT-GOMA													
DESIGNATION				MASSE	VOL	DENSITE	DENSITE	FORC	RES	MOY	FOR		
SABLD	DOSAGE	AGE	EPROUVE	(g)	(cm3)	DENSITE	MOYENNE	FLEX	FLX	FLEX	COM		
HIMA+Mg	450	3 JOURS	1	506	256	1,976	1,964333	3600	8,437	7,562	10451		
			2	498	256	1,945		2440	5,718		9779		
			3	505	256	1,972		3640	8,531		13135		
		7 JOURS	1	501	256	1,957	1,886333	3260	7,64	6,026667	14909		
			2	498	256	1,945		2010	4,71		13471		
			3	450	256	1,757		2445	5,73		9782		
		28 JOURS	1	542	256	2,117	1,996	2930	6,867	6,742	15389		
			2	511	256	1,996		2560	6		16638		
			3	480	256	1,875		3140	7,359		16205		
		CIM+MG	450	3 JOURS	1	547	256	2,136	2,029333	4070	9,539	6,812667	18648
					2	521	256	2,035		2540	5,953		10834
					3	491	256	1,917		2110	4,946		10834
7 JOURS	1			548	256	2,14	2,153333	2640	6,187	7,163333	15388		
	2			552	256	2,156		3290	7,71		16635		
	3			554	256	2,164		3240	7,593		16203		
28 JOURS	1			493	256	1,925	1,987667	4220	9,89	8,897667	15580		
	2			532	256	2,078		3630	8,507		19415		
	3			502	256	1,96		3540	8,296		18698		

ETUDE COMPARATIVE DES PROPRIETES MECANIQUES DES MORTIER
CONFECTIONNES A BASE DE DIFFERENTS TYPES DE SABLES ET CIMENT

RESISTANCE ET DENSITE DE MORTIER DU SABLE DU RWANDA												
DESIGNATION				MASSE (g)	VOLUME	DENSITE	DENSITE M	FORCE FL	RES FLEX	MOY FLEX	FORCE CO	RES COM
E	DOSAGE	AGE	EPROUVE									
A+SR	450	3 JOURS	1	514	256	2,007	1,999667	3400	7,968	7,515	13279	8,229
			2	511	256	1,996		3160	7,406		13135	8,209
			3	511	256	1,996		3060	7,171		12512	7,84
		7 JOURS	1	540	256	2,109	2,04	4070	9,539	8,726333	15101	9,438
			2	529	256	2,066		3840	9		14198	9,198
			3	498	256	1,945		3260	7,64		13567	8,479
		28 JOURS	1	552	256	2,156	2,124333	5640	13,218	10,77267	16203	10,127
			2	534	256	2,085		4360	10,218		20901	13,063
			3	546	256	2,132		3790	8,882		20086	12,554
		3 JOURS	1	510	256	1,992	1,984	3070	7,195	6,82	15916	9,947
			2	509	256	1,988		3020	7,078		15580	9,738
			3	505	256	1,972		2640	6,187		12224	7,64
		7 JOURS	1	569	256	2,223	2,193667	3790	8,882	8,132333	19271	12,045
			2	560	256	2,187		3360	7,875		14525	9,079
			3	556	256	2,171		3260	7,64		13567	8,479
		28 JOURS	1	547	256	2,136	2,158333	4750	11,132	10,49167	23682	14,801
			2	552	256	2,156		4460	10,453		19223	12,011
			3	559	256	2,183		4220	9,89		18025	11,220

ETUDE COMPARATIVE DES PROPRIETES MECANIQUES DES MORTIER
CONFECTIONNES A BASE DE DIFFERENTS TYPES DE SABLES ET CIMENT

RESISTANCE T DANSITES DE MORTIER SABLE D'IDJWI													
DESIGNATION				MASSE	VOL	DENSITE	DENSI M	FOR	RES	MOY	FOR		
SABLE	DOSAGE	AGE	EPROUVE	(g)	(cm3)			FLEX	FLEX	FLEX	COM		
HIMA+IDJ	450	3 JOURS	1	552	256	2,156	2,142667	4170	9,773	8,522667	2138		
			2	548	256	2,14		3450	8,085		1912		
			3	546	256	2,132		3290	7,71		1677		
		7 JOURS	1	574	256	2,242	2,232667	4840	11,343	11,03867	2492		
			2	571	256	2,23		4690	10,992		2257		
			3	570	256	2,226		4600	10,781		1931		
		28 JOURS	1	560	256	2,187	2,188333	4460	10,453	11,53067	2727		
			2	561	256	2,191		4980	11,671		2514		
			3	560	256	2,187		5320	12,468		2512		
		CIME+IDJ	450	3 JOURS	1	561	256	2,191	2,166333	4120	9,656	8,452667	1989
					2	554	256	2,164		3640	8,531		1831
					3	548	256	2,144		3060	7,171		1313
7 JOURS	1			540	256	2,109	2,068667	4600	10,781	9,242	2387		
	2			529	256	2,066		3680	8,625		1975		
	3			520	256	2,031		3550	8,32		1869		
28 JOURS	1			547	256	2,136	2,144	5320	12,469	11,21067	2588		
	2			553	256	2,16		4650	10,898		2358		
	3			547	256	2,136		4380	10,265		2794		

ETUDE COMPARATIVE DES PROPRIETES MECANIQUES DES MORTIER
CONFECTIONNES A BASE DE DIFFERENTS TYPES DE SABLES ET CIMENT