

I. INTRODUCTION :

La plupart des études montrent la faisabilité de la substitution de matériaux naturels par des déchets ou sous-produits industriels et la relative bonne qualité des matériaux obtenus ; certaines conditions demandent toutefois à être respectées telles que le taux de substitution, sa granulométrie et les conditions d'utilisation.

Notre étude est de formuler le mortier avec une substitution de ciment par déchets du verre.

II. LA VALORISATION DES déchets DE VERRE DANS LES MATRICES CIMENTAIRES :

II.1. LA DEFINITION DE MORTIER :

Un ciment qui mélangé à des déchets du verre, formera mortier une fois l'eau ajoutée un procédé qu'on connaît évidemment depuis les temps les plus anciens le sable étant parfois remplacé par de la terre, du marbre de la chaux, le principe se résumant à faire liaison entre différentes éléments de maçonnerie pour qu'ils ne composent qu'un seul bloc unifié.

II.2. L'UTILISATION :

Pour le hourdage de maçonnerie, les enduits, les chaps et les scellements et callage.

II.3. MATERIAUX UTILISES POUR LA REALISATION DES MORTIERS :

Le ciment utilisé est un ciment portland composé de type CEM II/A- 32,5 R. Ce ciment est de type ciment Portland composé. Le sable est un sable normalisé de Guelta.

Les dosages choisis sont de 1350kg de sable, pour 450kg de ciment, le rapport eau/ciment a été pris égal à 0.53.

L'objectif de cette étude était de caractériser le comportement mécanique de mortiers en fonction des conditions de cure et du taux de substitution du ciment par des déchets du verre.

Pour cela, quatre mortiers ont été formulés : un mortier de référence et trois mortiers dans lesquels le ciment a été substitué en masse par 10,20 et 30% des déchets du verre.

Le tableau IV-1 présente les dosages massiques utilisés pour les différentes formulations.

Tableau IV-1 : Formulation des Mortiers

	L'eau(g)	Le ciment(g)	Le sable(g)	Le verre(g)
Le mortier témoin	265	450	1350	/
Mortier à 10% verre	265	405	1350	45
Mortier à 20% verre	265	360	1350	90
Mortier à 30% verre	265	315	1350	135

Où :

- Mortier à 10% verre représente la substitution du ciment par 10% des déchets du verre dans le mortier
- Mortier à 20% verre représente la substitution du ciment par 20% des déchets du verre dans le mortier
- Mortier à 30% verre représente la substitution du ciment par 30% des déchets du dans le mortier

➤ **III. MALAXAGE DU MORTIER :**

Il faut malaxer chaque gâchée de mortier mécaniquement au moyen du malaxeur spécifié.

Le malaxeur étant en position de marche (mais pas en fonctionnement) :

* Verser l'eau dans le récipient et introduire le ciment.

* Mettre alors immédiatement le malaxeur en marche à petite vitesse et après 30 s, introduire régulièrement tout le sable (pendant les 30 s suivantes).

- * Mettre le malaxeur à sa vitesse la plus grande et continuer à mélanger pendant 30s supplémentaires.
- * Arrêter le malaxeur pendant 1 min 30 s. Pendant les 15 premières secondes, enlever au moyen d'une raclette en caoutchouc tout le mortier adhérent aux parois et au fond du récipient en le repoussant vers le milieu de celui-ci.
- * Reprendre ensuite le malaxage à grande vitesse pendant 60 s.



Photo IV-1 : Le malaxeur

IV. PREPARATION DES EPROUVETTES :

Les éprouvettes sont de forme prismatique 40 mm x 40 mm x 160 mm. Elles doivent être moulées le plus vite possible après la confection du mortier.

Le moule métallique à trois alvéoles et sa hausse étant fermement fixés à la table à choc, on introduit la première des deux couches de mortier. La couche est étalée uniformément en utilisant la grande spatule puis serrée par 60 chocs. La deuxième couche est alors introduite, nivelée avec la petite spatule et serrée à nouveau par 60 chocs.

Le moule est enlevé de la table à choc, et après avoir retiré la hausse, on enlève l'excédent de mortier par arasage. La surface des éprouvettes est ensuite lissée.



Photos IV-2 : Préparation des éprouvettes.

IV.1. CONSERVATION DES EPROUVETTES :

Le moule rempli de mortier est convenablement identifié, puis placé jusqu'au moment du démoulage , sur un support horizontal dans une armoire humide ($20^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$, humidité relative supérieure ou égale à 90 %).

Le démoulage est effectué entre 20 h et 24 h après le moulage. Les éprouvettes sont alors marquées convenablement avec un crayon résistant à l'eau.



Photo IV-3 : Identification des éprouvettes (le pourcentage -l'âge)

IV.2. CONSERVATION DES EPROUVETTES DANS L'EAU :

Les éprouvettes marquées sont immergées dans l'eau à $20^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ dans des récipients adéquats jusqu'au moment de l'essai. Les éprouvettes doivent être retirées de l'eau, essuyées au maximum 15 min avant que l'essai soit exécuté



Photo IV-4 : la conservation des éprouvettes à l'eau

IV.3. RESISTANCES MECANIKES DES MORTIERS :

Pour la détermination de la résistance à la flexion, on utilise la méthode de la charge concentrée à mi portée au moyen du dispositif de flexion normalisé. Les demi-prismes obtenus dans l'essai de flexion doivent être essayés en compression sur les faces latérales de moulage sous une section de 40 mm x 40 mm.



Photo IV-5 : le dispositif de flexion.

IV.4. RESISTANCE A LA FLEXION :

Placer le prisme dans le dispositif de flexion avec une face latérale de moulage sur les rouleaux d'appui et son axe longitudinal perpendiculaire à ceux-ci. Appliquer la charge verticalement par le rouleau de chargement sur la face latérale opposée du prisme et l'augmenter de $50 \text{ N/s} \pm 10 \text{ N/s}$, jusqu'à rupture.

Conserver les demi-prismes humides jusqu'au moment des essais en compression.



Photo IV-6 : L'écrasement par l'appareil de l'essai de traction par flexion

Tableau IV-2 : La résistance à la flexion des mortiers à 7 jours

Mortier+verre (%)	Poids des éprouvettes (g)	La résistance a la traction par flexion (MPa)	La moyenne(MPa)
Le mortier témoin	510	0,53	0,57
	515	0,57	
	511	0,58	
Mortier à 10% verre	538	0,55	0,65
	540	0,65	
	534	0,66	

Mortier à 20% verre	542	0,75	0,76
	546	0,70	
	544	0,77	
Mortier à 30% verre	543	0,45	0,46
	549	0,46	
	548	0,46	

Tableau IV-3 : La résistance à la flexion des mortiers à 14 jours

Mortier+verre	Poids des éprouvettes (g)	La résistance a la traction par flexion(MPA)	La moyenne(MPA)
Le mortier témoin	538	0,77	0,77
	533	0,72	
	530	0,77	
Mortier à 10% verre	540	0,69	0,71
	548	0,57	
	544	0,73	
Mortier à 20% verre	553	0,69	0,99
	540	1	
	548	0,98	
Mortier à 30% verre	560	0,5	0,5
	566	0,65	
	559	0,5	

Tableau IV-4 : La résistance à la flexion des mortiers à 21 jours

Mortier+verre	Poids des éprouvettes (g)	La résistance a la traction par flexion(MPA)	La moyenne(MPA)
Le mortier témoin	539	0,85	0,85
	535	0,62	
	528	0,85	

Mortier à 10% verre	549	0,97	0,97
	552	0,97	
	544	1	
Mortier à 20% verre	552	1,05	1,02
	547	0,85	
	559	1	
Mortier à 30% verre	558	0,6	0,56
	567	0,56	
	563	0,57	

Tableau IV-5 : La résistance à la flexion des mortiers à 28 jours

Mortier+verre	Poids des éprouvettes (g)	La résistance a la traction par flexion(MPA)	La moyenne(MPA)
Le mortier témoin	541	0,85	0,87
	548	0,75	
	540	0,90	
Mortier à 10% verre	550	0,90	1,15
	558	1,1	
	549	1,2	
Mortier à 20.% verre	558	1,12	1,18
	560	1,2	
	552	1,17	
Mortier à 30% verre	571	0,7	0,6
	565	0,6	
	560	0,5	

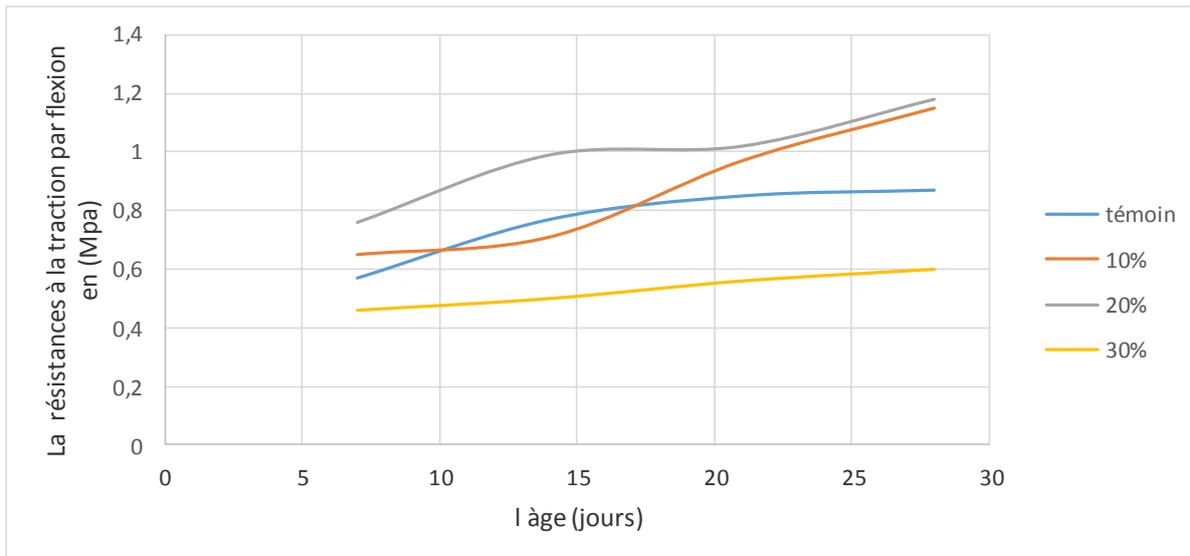


Figure IV-01 : Les résistances à la traction par flexion des mortiers à j jours

INTERPRETATION :

La figure III-1 représente l'évolution de la résistance à la flexion en fonction du pourcentage de verre. L'augmentation du taux de verre provoque une augmentation de la résistance à la flexion par rapport au mortier de référence (0,87 Mpa), on constate une augmentation de résistance de (1,18 Mpa) pour les mortiers à 20% de verre à 28 jours.

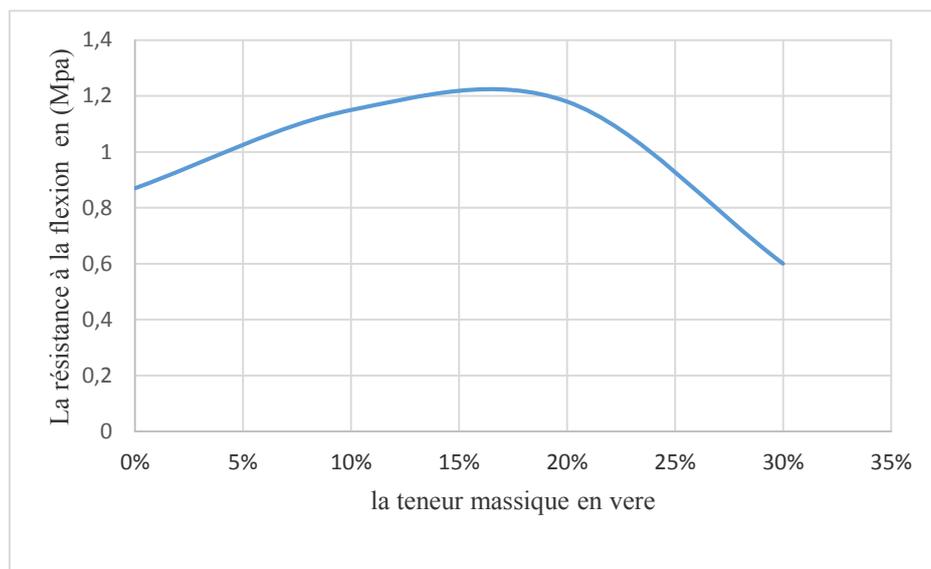


Figure IV-2 : Evolution de la résistance à la flexion des mortiers, en fonction de la teneur en verre

Interprétation :

L'évolution de la résistance à la flexion des mortiers, en fonction de la teneur en verre est donnée par **Figure IV -2**. On observe une augmentation de la résistance à la flexion celle-ci varie de 1,18Mpa pour une teneur de verre allant jusqu'à 20% A partir de cette valeur on constate une chute de la résistance.

IV.5. RESISTANCE A LA COMPRESSION :

*entrer chaque demi-prisme latéralement par rapport aux plateaux de la machine à ± 0.5 mm

Près et longitudinalement de façon que le bout du prisme soit en porte-à-faux par rapport aux plateaux d'environ 10 mm.

*Augmenter la charge avec une vitesse de $2400 \text{ N/s} \pm 1\ 200 \text{ N/s}$ durant toute l'application de la charge jusqu'à la rupture (compenser la décroissance de vitesse de la charge à l'approche de la rupture).

*La résistance en compression R_c (en N/mm^2) est calculée au moyen de la formule :

$$R_c = \frac{F_c}{1600}$$

R_c : est la résistance en compression, en newtons par millimètre carré ou en MPa.

F_c : est la charge maximale à la rupture, en newtons.



Photo IV-7 : le dispositif de compression.

Tableau IV-6 : La résistance à la compression des mortiers à 7 jours.

Mortier + verre	Poids des éprouvettes (g)	La résistance à la compression (MPA)	La moyenne(MPA)
Mortier témoin	510	10,84	10.68
	515	10,51	
	511	9,88	
Mortier à 10% verre	538	11,7	11,75
	540	11,8	
	534	10,93	
Mortier à 20% verre	542	12,38	12.04
	546	11,7	
	544	10,88	
Mortier à 30% verre	543	8,63	9.65
	549	9,64	
	548	9.66	

Tableau IV-7 : La résistance à la compression des mortiers à 14 jours

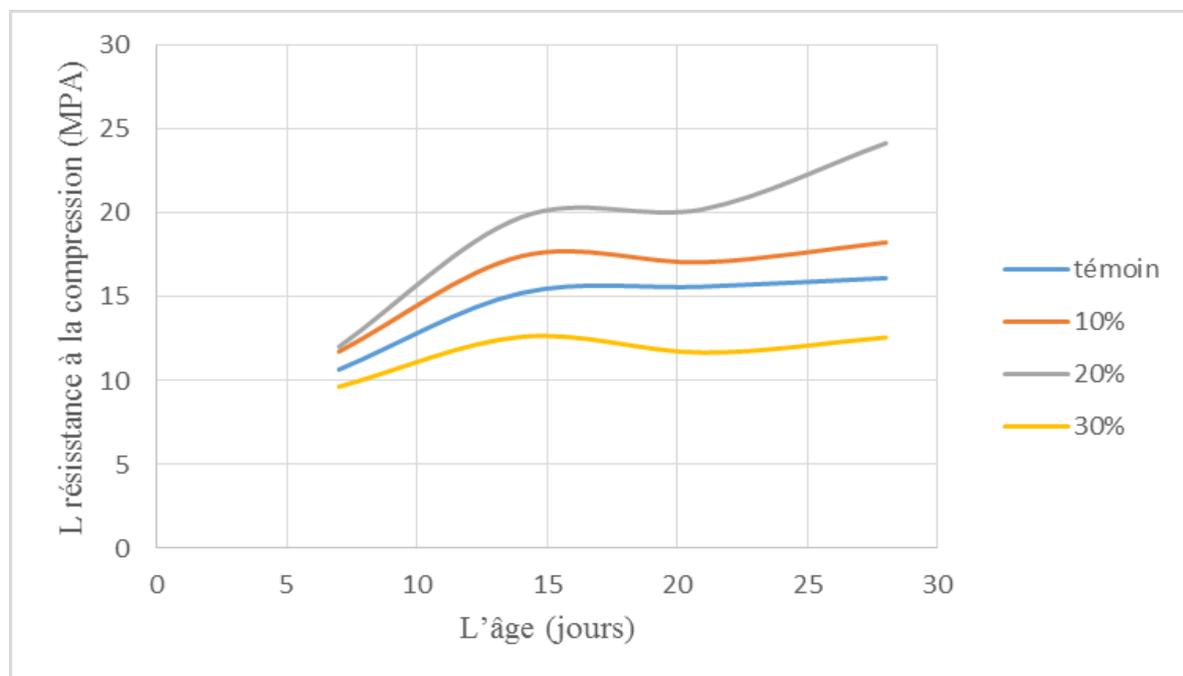
Mortier + verre	Poids des éprouvettes (g)	La résistance à la compression (MPa)	La moyenne(MPa)
Mortier témoin	538	11,5	15,24
	533	15,86	
	530	14,63	
Mortier à 10% verre	540	15.18	17,44
	548	17.71	
	544	17.16	
Mortier à 20% verre	553	18,24	19.77
	540	20,44	
	548	20,06	
Mortier à 30% verre	560	13.15	12,63
	566	10,87	
	559	9,93	

Tableau IV-8 : La résistance à la compression des mortiers à 21 jours

Mortier + verre	Poids des éprouvettes (g)	La résistance à la compression (MPa)	La moyenne(MPa)
Mortier témoin	541	13,18	12,59
	548	15,44	
	540	12,01	
Mortier à 10% verre	550	15,79	15,62
	558	15,44	
	549	18	
Mortier à 20% verre	558	16,67	17,08
	560	15,56	
	552	17.5	
Mortier à 30% verre	571	13.69	11,69
	565	11,49	
	560	11,88	

Tableau IV-9 : La résistance à la compression des mortiers à 28 jours

Mortier + verre	Poids des éprouvettes (g)	La résistance à la compression (MPa)	La moyenne(MPa)
Mortier témoin	539	13,87	16,13
	535	15,9	
	528	19,28	
Mortier à 10% verre	549	21,31	18,26
	552	18,69	
	544	17,86	
Mortier à 20% verre	552	24,12	24,18
	547	23,63	
	559	24,83	
Mortier à 30% verre	558	11,8	12,59
	567	12,12	
	563	13,87	

**Figure IV-3 : La résistance des mortiers à la compression à j jours**

INTERPRETATION DES RESULTATS :

Figure IV-3 montre l'effet de l'ajout de verre sur la résistance à la compression du mortier. L'augmentation du taux augmente la résistance à la compression par rapport au mortier de référence à l'âge 28 jours environ 24,18 Mpa (mortier + 20 % des déchets de verre) et une perte de résistance pour les différents mortiers. La diminution de cette résistance est attribuée aux propriétés physiques et géométriques du déchet de verre qui engendrent des fragilités locales dans la matrice cimentaire.

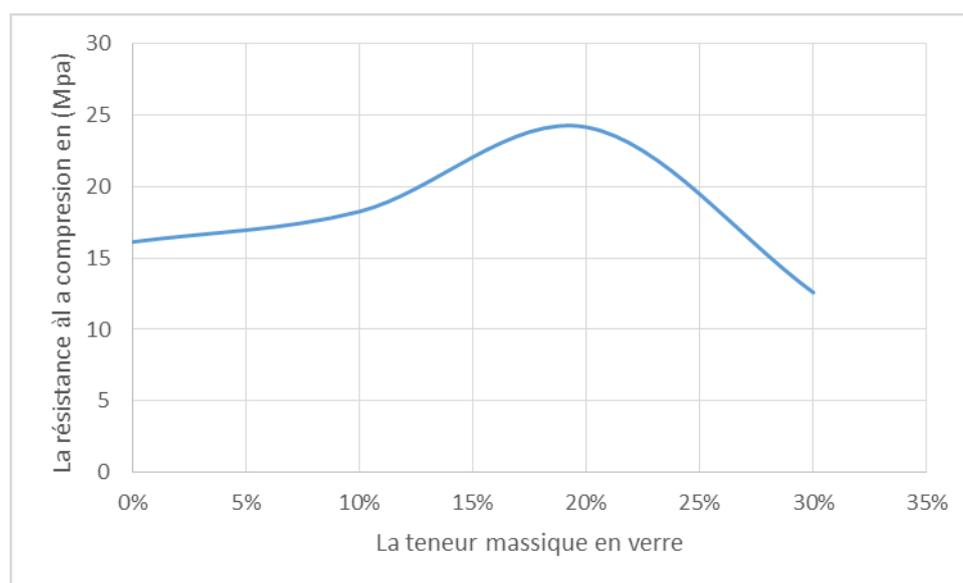


Figure IV-4 : Evolution de la résistance à la compression des mortiers, en fonction de la teneur en verre

INTERPRETATION :

La **figure IV-1** représente l'évolution de la résistance de compression à 28 jours en fonction du pourcentage des déchets de verre. L'augmentation des pourcentages massiques des déchets de verre provoque un accroissement de la résistance à la compression par rapport au mortier témoin (environ de 16,13MPa). On constate une augmentation de résistance (environ de 24,18 MPA) pour le mortier à 20% de verre.

Une conservation des performances mécaniques de formulation réalisées avec la substitution du ciment par déchets de verre ayant été démontrée une amélioration à été conservée dans certaines conditions, les gains les plus importantes par rapport aux mortiers de référence ont été obtenus pour les différents taux de substitution (10, 20, 30 %)

V. CONCLUSION :

L'objectif de cette étude est d'examiner les potentialités de l'incorporation de particules fines de verre dans une matrice cimentaire, le mélange étudié est un mortier dont le ciment a été substitué par ces particules à des teneurs massique de 0, 10, 20, 30 %

Les dosages de ciment variable de 1350g sable pour un dosage de ciment variable suivant la quantité de verre ajoutée, le rapport eau /ciment a été pris égale à 0,53

Les résultats des essais mécaniques (résistance à la compression et à la flexion permis de confirmer la possibilité de la valorisation de verre en tant que matériaux substituables en partie au ciment.