

Détermination d'une formulation de carreaux monocouche avec une incorporation de tessons de bouteille de verre

[Determining a formulation monolayer tiles with incorporation of glass bottle shards]

Séraphin Agré Djomo, Honoré Conand Kouakou, Clement Koffi Kouadio, Olivier Moro Boffoué, and Edjikémé Emeruwa

Laboratoire de géomatériaux et technologie du bâtiment (LGTB), UFR des sciences de la terre et des Ressources Minières, Université Felix Houphouet Boigny de Cocody, BP 582 Abidjan 22, Côte d'Ivoire

Copyright © 2016 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the **Creative Commons Attribution License**, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: This work aims to recycle non-biodegradable waste, fight against environmental pollution and improve the performance of construction products. It is to develop a methodology and tools for making tiles made from glass bottle shards. To do this unused bottles have been collected and processed to granulates for making tiles cement-stabilized to the habitat coating. The results show that 0.40 is compared Cement / Tesson optimal to have shimmering tiles with a homogeneous distribution of shards in the cement matrix. The study of the water / cement ratio (W / C) indicates to a W / C ratio between 0.5 and 0.6 for good shaped by densifying the material and improved mechanical performance.

KEYWORDS: Cement, bottles, shards, covering tiles, Materials.

RÉSUMÉ: Ce travail vise à recycler les déchets non biodégradables, lutter contre la pollution environnementale et améliorer les performances des produits pour la construction. Il consiste à mettre en place une méthodologie et des outils pour la confection de carreaux à base de tessons de bouteille en verre. Pour ce faire des bouteilles non réutilisées ont été collectées et transformées en granulats pour la réalisation de carreaux stabilisés au ciment pour le revêtement d'habitat. Les résultats montrent que 0,40 est rapport Ciment/Tesson optimal pour avoir des carreaux chatoyant avec une répartition homogène des tessons dans la matrice cimentaire. L'étude du rapport Eau/Ciment (E/C) indique qu'il faut un rapport E/C compris entre 0,5 et 0,6 pour une bonne mise en forme par densification du matériau et une amélioration des performances mécaniques.

MOTS-CLEFS: Ciment, Bouteilles, Tessons, Carreaux de revêtement, Matériaux.

1 INTRODUCTION

Habituellement, la formulation des matériaux est basée sur des relations empiriques qui relient les paramètres de formulation et les caractéristiques du matériau. En France, les méthodes les plus utilisées telles que celle de Dreux (1990) [1] ou celle de Faury (1953) [2] permettent de définir la composition d'un matériau courant à partir des exigences requises pour la résistance en compression et la consistance ou le dosage en ciment. Ces méthodes sont tout à fait adaptées lorsque l'on souhaite comparer des formulations en fonction de la variation des caractéristiques d'un composant du mélange par exemple la classe du ciment ou la granulométrie des granulats. A ce jour, la formulation des mélanges avec additions des granulats pose encore de nombreuses questions bien que des études approfondies aient été faites au cours de ces dernières années [3], [4]. Ces méthodes proposant des méthodologies de formulation prenant en compte la présence des granulats. C'est dans ce cadre, que cette étude est orientée. Il s'agit d'utiliser les tessons de verre dans la composition de mortier pour la confection des carreaux. Etant données les propriétés des tessons de verre et leur application dans le domaine du génie civil, il est possible d'imaginer que leur incorporation dans des mélanges de sable et de ciment puisse permettre, soit

d'améliorer les caractéristiques du produit fini soit de minimiser les quantités d'eau et de liant utilisés pour leur fabrication. Ces tessons sont des déchets de bouteilles et constituent par là même un matériau à faible coût. Leur utilisation peut donc permettre à la fois de baisser le coût de la production et de résoudre des problèmes sérieux d'élimination de déchets et de pollution. Le travail effectué consiste à optimiser la quantité de tessons de verre et du ciment pouvant permettre une apparition des tessons à la surface des carreaux. De plus un rapport E/C sera déterminé afin de trouver la quantité d'eau suffisante pour une mise en forme du matériau par coulage.

2 MATÉRIEL ET MÉTHODE

2.1 MATIÈRE PREMIÈRE

La matière première utilisée dans la réalisation de cette étude est constituée par le ciment, de tesson de bouteille de verre et le sable.

2.1.1 CIMENT

Le ciment utilisé est un ciment blanc de type CEM I 52,5 R. Il est fabriqué à partir de matière première particulièrement choisies qui sont généralement la craie pure et l'argile blanc (Kaolin) contenant de très petites quantités d'oxydes de fer et d'oxyde de manganèse [5]. Il a été soumis à l'analyse chimique afin de déterminer sa composition chimique.

2.1.2 SABLE

Le sable utilisé dans nos travaux provient d'une carrière située dans la commune de Port-Bouët (Abidjan Côte d'Ivoire). Ce sable lagunaire essentiellement constitué de quartz. Il a été soumis à une analyse granulométrique afin de déterminer la distribution des grains.

2.1.3 TESSONS DE BOUTEILLE DE VERRE

Les tessons de bouteille de verre sont obtenus par broyage après lavage des bouteilles collectées dans les ordures ménagères à travers les communes d'Abidjan. Ce sont les passants aux tamis de 5 mm et les refus du tamis de 1 mm qui seront utilisés dans ce travail.

2.2 MÉTHODE D'ÉLABORATION DES CARREAUX

Des éprouvettes de mortiers constitués de ciment de tesson et de sable, sont confectionnées selon la norme NF EN 196-1 [6]. Pour l'élaboration des carreaux, le sable, le ciment et les tessons sont d'abord mélangés à sec pendant 30 secondes grâce à un malaxeur. Ensuite, nous ajoutons l'eau de gâchage, et l'ensemble est mélangé pendant 30 secondes ce qui donne une durée totale d'une minute pour le mélange. La pâte obtenue est versée dans un moule en bois de dimension 23 x 23 x 1,5 cm. Les échantillons sont démoulés 48 heures après le coulage. Les carreaux sont ainsi obtenus.

Dans le cas de ce travail, les tessons dans le carreau doivent produire un effet de mosaïque. C'est à dire que les tessons doivent apparaître à la surface des carreaux. Ainsi pour trouver la bonne formulation, la quantité de tessons et d'eau de gâchage vont variées progressivement dans les différents mélanges.

Les différentes compositions des mortiers utilisés pour la confection des carreaux sont représentés dans le tableau 1

Tableau 1: Compositions des différents mélanges pour une variation du rapport C/T

Quantité d'eau de gâchage (ml)	Rapport C/T	Matières premières utilisées (g)		
		Tesson	sable	Ciment+adjuvant
180	0,25	1000	400	260
210	0,40	625		
250	0,60	417		

Pour chaque quantité d'eau de gâchage, trois types de mortiers ont été élaborés en faisant varier la quantité de tesson tout en maintenant fixe la quantité de sable et de ciment (Tableau 1).

2.3 CARACTÉRISATION DU MATÉRIAU DURCI

➤ Appréciation de l'état des carreaux

Après 28 jours de séchage, sous le même angle la photo des différents carreaux est prise. Sur ces images le contraste est renforcé afin de comparer des carreaux et d'apprécier l'épaisseur de couverture des tessons.

➤ Résistance à la flexion 3 points

La mesure de la résistance à la flexion est effectuée sur une machine de type **Controls** sur laquelle un dispositif de flexion trois points a été monté. La résistance est calculée selon la formule :

$$R_f = (3 \times F \times L) / (2 \times e^2 \times \ell) \quad (1)$$

➤ Résistance à l'usure

L'usure est un ensemble complexe de phénomène, amenant une émission de débris avec perte de masse, de forme, et s'accompagnant de transformation physiques de la surface. Elle est caractérisée par la présence dans le contact d'un état de surface rugueux ou par la pénétration dans le matériau le plus tendre des particules dures [7]. L'usure a été mesurée selon la norme NF EN ISO 10545 [8]. La machine utilisée pour l'essai se compose de deux plateaux. Un plateau porte-échantillon permet de maintenir nos échantillons. L'autre plateau fixé à un moteur électrique porte le dispositif de l'usure. Sur l'échantillon, est versé environ 100 g de sable de nature quartzéux de diamètre moyen inférieur à 2 mm. La rotation du plateau supérieur entraîne des frottements de sable à la surface du carreau ce qui provoque son usure. Après deux minutes trente de rotation du moteur à 75 tr/min, nous calculons l'usure du carreau selon la formule suivante:

$$U = \frac{(m_1 - m_2)}{s} \times 100 \quad (2)$$

3 RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

3.1 ANALYSE CHIMIQUE DU CIMENT PORTLAND BLANC

L'analyse chimique de ce ciment indique qu'il est essentiellement constitué de CaO, de SiO₂ et de Al₂O₃. Ces différents teneurs en oxydes sont proches de ceux obtenus par Hamidi et al, (2011) [9]. Il a une faible teneur en alcalins, il est donc moins susceptible de favoriser une réaction alcali-silice (Tableau 2).

Tableau 2: Composition chimique du ciment blanc Portland

oxydes	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	SO ₃	K ₂ O	CaO	TiO ₂	Cr ₂ O ₃	MnO	Fe ₂ O ₃	Na ₂ O	SrO
Teneur (%)	<0,37	3,70	18,40	2,47	0,29	67,36	<0,10	1,73	<0,07	3,35	<0,01	0,05

3.2 DETERMINATION DU RAPPORT CIMENT/TESSONS OPTIMAL

Le tableau 3 présente la variation de rapport Ciment/Tesson (C/T) en fonction de l'aspect des carreaux.

Tableau 3: Influence du rapport C/T sur l'aspect des carreaux

Rapport C/T	Appréciations	Images des carreaux
0,25	Mauvaise cohésion des constituants. Matrice cimentaire insuffisante	
0,40	Bonne cohésion des constituants. matrice cimentaire suffisante	
0,60	Bonne cohésion des constituants. Matrice cimentaire en excès. Les tessons complètement noyés	

Il montre que lorsque le rapport C/T augmente, l'effet lumineux et esthétique recherchés par l'incorporation des tessons de bouteille de verre dans les carreaux est progressivement inhibé.

En effet, en deçà du rapport C/T de 0,40, les tessons apparaissent à la surface des carreaux. Cependant cette surface reste assez rugueuse. Contrairement, au rapport C/T de 0,6 dont la surface des carreaux est lisse, mais tous les tessons sont recouverts d'une couche de ciment dont l'épaisseur croît avec ce rapport. Dans ce cas une opération de polissage serait nécessaire pour les faire apparaître. Par contre, lorsque le rapport C/T est de 0,40, la surface des carreaux est lisse et les tessons sont par endroit partiellement couverts d'une fine pellicule de ciment. L'application d'une mousse humide les rendent parfaitement visible. Ce changement d'aspect est donc lié aux volume de pâte de ciment dans le mélange. Ce volume augmente avec le rapport C/T. La quantité de pâte de ciment est aussi fonction du dosage en eau. Certaines études montrent qu'elle affecte les performances des bétons. Ainsi, le rapport C/T de 0,40 est donc la proportion optimal pour avoir des carreaux de surface lisse, et des tessons partiellement recouvert d'une fine matrice cimentaire.

3.3 EFFET DU RAPPORT E/C SUR LA RESISTANCE A LA FLEXION DES CARREAUX

Le tableau 4 montre l'influence de la variation du rapport E/C sur la résistance à la flexion des carreaux. Cette résistance baisse avec l'augmentation du rapport E/C. Elle passe de 0,29 MPa à 0,16 MPa, pour des rapports E/C croissants.

Tableau 4: Variation de la résistance à la flexion en fonction du rapport E/C

Rapport E/C	Résistance à la flexion trois points (MPa)	
	Moyenne	Ecart-type
0,5	0,29	1,86
0,6	0,23	4,46
0,7	0,16	4,45

Nous constatons la baisse de la résistance avec l'augmentation de E/C donc de la quantité d'eau de gâchage, est due à la cristallisation du ciment. En présence d'eau, le ciment forme un gel dans lequel les particules de ciment anhydre sont dispersées. Les silicates de calcium hydratés (C-S-H) se développent dans ce gel et vont progressivement coulisser puis s'enchevêtrer pour donner au matériau sa résistance. Lorsque le dosage en eau devient important, et la quantité de ciment constante, les particules de ciment sont assez distant dans le gel. Ainsi les C-S-H formés n'arrivent pas à former un enchevêtrement assez compact d'où la chute de la résistance Des résultats similaires ont également été rapportés par Meftah et al, (2012) [10]. Les résistances élevées pour des rapports plus faibles seraient dues à une bonne densification du matériau et une répartition homogène des composantes dans le volume du matériau. Ceci est illustré par la figure 1.

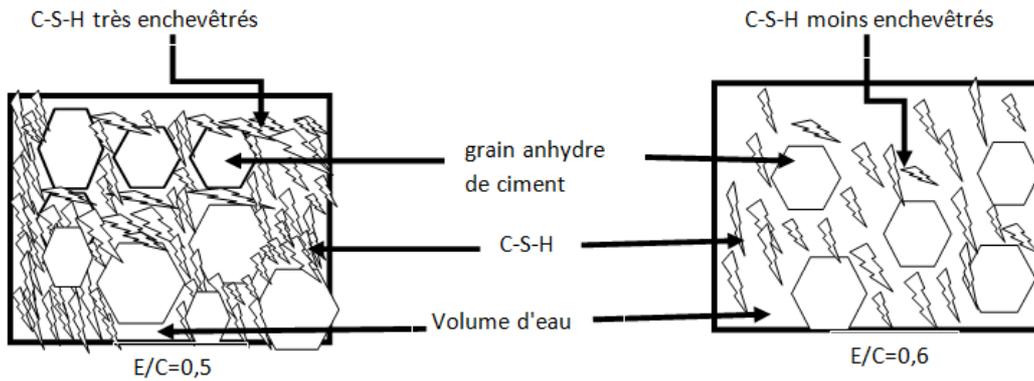


Figure 1: Représentation schématique des mortiers à l'état durci pour différents rapports E/C

3.4 INFLUENCE DU RAPPORT E/C SUR LA RÉSISTANCE   L'USURE

Tableau 5: Variation de la résistance à l'usure en fonction du rapport E/C

Rapport E/C	Usure (%)	
	Moyenne	Ecart-type
0,5	0,85	0,30
0,6	3,16	1,44
0,7	3,36	1,51

Le tableau 5 présente les résultats d'essais des différents échantillons à 180 jours. Nous constatons que la résistance à l'usure baisse pour des rapports E/C plus faible. La différence de perte de poids due à l'usure est observable par l'arrachement des particules sur les échantillons après l'essai. Nous présentons les différentes images de carreaux ayant subis l'usure pour différents rapports E/C. Sur ces images les particules arrachées pour les rapports E/C de 0,6 et 0,7 sont plus accentuées. Cette perte de masse importante serait due au non enrobage des tessons par la matrice cimentaire. Au cours de la densification par coulage, la matière fine a tendance à remonter à la surface du matériau provoquant donc une ségrégation des grains dans le mortier.

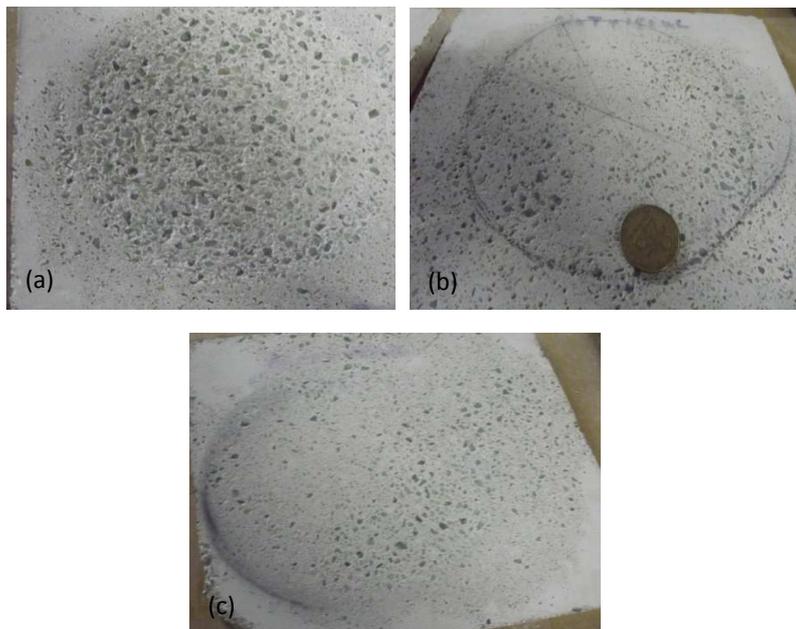


Figure 2: Images des carreaux après le test d'usure:(a) image pour E/C égal à 0,7, (b) image pour E/C égal à 0,6, (c) image pour E/C égal à 0,5.

La perte de masse mesurée après 2 min 30 seconde de frottement est très faible pour les échantillons ayant un rapport E/C de 0,5. Ceci serait due à la bonne cohésion entre les tessons et la matrice cimentaire. Les grains de sable glissent sur la surface des tessons empêchant donc leur arrachement. Les particules arrachées sont moindre pour E/C de 0,5. Le rapport E/C a une influence sur la résistance à l'usure, voila pourquoi pour des rapports élevés, les pertes de masse sont importante. Compte tenu des différents résultats obtenus, nous pouvons établir une relation entre la résistance à la flexion et l'usure. Les tableaux 4 et 5 illustrent bien que la résistance à l'usure du matériau augmente avec l'augmentation de la résistance à la flexion.

4 CONCLUSION

Ce travail nous a permis de montrer que les tessons de bouteilles provenant du recyclage des bouteilles non réutilisées, peuvent servir de matières premières pour la confection des carreaux performants.

Le rapport Ciment/Tesson optimal pour la confection des carreaux est de 0,40. Ce rapport nous a permis de fixer en pourcentage les autres matières entrant dans la formulation de nos carreaux.

Les rapports E/C utilisés pour une mise en forme par densification est 0,5 et 0,6. Pour ces rapports nous obtenons les meilleures performances mécaniques.

REFERENCES

- [1] Dreux. G: Nouveau guide du béton, Edition Eyrolles, (1990)
- [2] Faury J. Le béton. Influence de ses constituants inertes. Règles à adopter pour sa meilleure composition, sa confection et son transport sur les chantiers, Edition Dunod 3ème édition, (1953)
- [3] Karim Miled. Effet de taille dans le béton léger de polystyrène expansé. Thèse de l'école nationale des ponts et chaussées. 179p. (2005).
- [4] Franck Cassagnabere. Produits préfabriqués en béton file: vers l'amélioration des performances du matériau pour mieux gerer le procédé de production. Thèse de l'université Paul Sabatier Toulouse III. 297p. (2007).
- [5] Charef A. Fabrication du ciment blanc. Aspects physico-chimiques du ciment blanc, (2006)
<http://www.canblog.com/cf/blogsuggest.cf?m?partner=canalblog>. Consulté en 2015.
- [6] AFNOR NF EN 196-1 Méthode d'essais des ciments- Partie1: Détermination des résistances mécaniques, (2006)
- [7] Barreau. O. Etude tribologique de revêtement en régulation de turbines, rapport de stage turboméca-ENIT, (1999).
- [8] NF EN ISO 10545-7. Détermination de la résistance à l'abrasion des carreaux et dalle céramique émaillés, pp 293-294, (2012).
- [9] Hamidi. M.,Kacimi. L.,Cyr. M., Clastres. P. Etude de l'activité pouzzolanique d'une roche andésitique à Algerie. INVA CO2: séminaire international. Innovation et valorisation en génie civil et matériaux de construction. pp 10-181., (2011).
- [10] Meftah. Houria, Arabi Nouredine. L'effet du rapport E/C sur le comportement des bétons à hautes température. Laboratoire génie civil, UniversitéBadji Mokhtar Annaba, 9 p, (2012).