

CONTRIBUTION A LA PRODUCTION DES TUILES EN MICRO-BETON A PARTIR DU SABLE NATUREL : CAS DU SABLE DE MONATELE, CAMEROUN

Ndigui Billong, Uphie chinje MELO
Laboratoire des Matériaux et de contrôle de qualité
MIPROMALO, B.P. 2396 Yaoundé , Cameroun.
Email: nbillong@yahoo.fr

RESUME

Deux types de sable du point de vue granulométrique, provenant de Monatélé dans la province Camerounaise du centre, département de la Lékié ont subi des investigations dans le but de les utiliser comme agrégat dans la fabrication des tuiles en micro-béton de type Roman II et de 8 mm d'épaisseur en remplacement des agrégats de carrière couramment utilisés dans la province. Le test d'équivalent de sable et l'analyse granulométrique ont été fait sur les échantillons de sable. Les résultats ont montré que l'un est en majorité constitué de particules moyennes avec près de 33 % de particules grossières, l'autre contient en majorité des particules fines et pas de gros grains. Aucun des types de sable ne peut être utilisé seul dans la production des tuiles. Les deux échantillons possèdent un taux de limons et argiles acceptable.

Les proportions de mélange de ces sables ont été déterminées en se basant sur les spécifications de SKAT/ILO. Ainsi, 70 à 80 % du sable contenant en majorité de grains moyens peut être mélangé avec 30 à 20 % de celui contenant des particules fines. Trois échantillons d'agrégats constitués des mélanges des deux sables pris dans les intervalles précédents ont été testés pour la production des tuiles avec un ciment Portland composé CPJ 35. Les tuiles produites avec l'agrégat constitué du mélange de 75 % et 25 % respectivement des deux sables ne présentent pas de pores à leurs faces extérieures, possèdent un poids de près de 3 kgs, des taux d'absorption et masse spécifique respectives de 7 % et 1782 g/l , supportent en flexion une charge maximale de plus de 50 kgs et sont positifs aux tests de sonorité et d'impact comme recommandé dans la norme Ivoirienne NI-05-10-001, aux spécifications de SKAT/ ILO et J. P. M. Parry.

Du point de vue économique, l'utilisation du sable naturel de Monatélé permet d'économiser au moins 30% des dépenses liées à l'achat de l'agrégat comparativement à l'utilisation des agrégats de carrière.

ABSTRACT

Investigations were carried out on two types of natural sand from Monatéle, a locality situated in the Lékié division of the Centre Province of Cameroon. The aim of the work is to use those sands in the production of 8 mm thick Roman II microconcrete roofing tiles in replacement of processed quarry sand generally used in the province. The clay and silt content test and the granulometry analysis were carried out to samples of sand. One type of sand is consisted of medium size grains and about 33 % of coarse grains. The other type has medium and fine grains. The clay and silt content of the two types of sand is acceptable. Because of their granulometry, none of the sand can be used alone in the production of microconcrete roofing tiles.

Mix proportions of the two types of sand were determined according to SKAT/ILO guidelines. 70 to 80 % of the sand containing medium and coarse grains can be mixed with 30 to 20% of that having medium and fine ones. Samples of tiles with aggregates made of mixtures of the two types of sand in concrete with a Portland-pozzolana cement CPJ 35 were produced and tested for their quality. The results obtained with the aggregate made with 75 and 25 % respectively of the sands gave tiles with no cracks and pores, weighing about 3 kgs, having the water absorption and density of 7 % and 1782 g/l respectively, supporting more than 50 kg in flexure and positive to impact and ring tests as prescribed by the Ivory Coast norm NI-05-10-001, SKAT/ILO and J. P. M. Parry guidelines.

Economically, it was established that the use of the natural sand of Monatéle in the production of microconcrete roofing tiles can save at least 30% of the money used to buy processed quarry sands.

INTRODUCTION

Tout comme la tôle, les tuiles en micro-béton sont des matériaux de couverture utilisés dans l'industrie du bâtiment. Leurs technologie et équipements de production sont simples. Les matières premières de base sont l'eau, le ciment et un agrégat ayant une distribution des gros grains (diamètres > 2mm), moyens (diamètres compris entre 2 et 0,5 mm) et fins (diamètres inférieurs à 0,5 mm) uniforme. La taille des grains maximale étant fonction de l'épaisseur de la tuile [1,2]. Cette exigence granulométrique au niveau de l'agrégat amène les producteurs des tuiles en micro-béton à faire recours aux agrégats de carrière pas toujours disponibles dans certaines localités et parfois chères par rapport aux revenus des populations.

Dans le cadre de ce travail, deux types de sable naturel provenant de Monatéle, dans le département de la Lékié de la Province du Centre [3] sont étudiés en vue de les utilisés individuellement ou mélangés dans la production des tuiles en micro-béton, en remplacement des agrégats de carrière. L'un des types de sable est extrait du fleuve Sanaga (Figure 1), l'autre est creusé à la côte (Figure 2). Les échantillons de sable ont subi le test d'équivalent de sable et l'analyse granulométrique par tamisage conformément aux prescriptions de SKAT/ILO, J. P. M. Parry et de la norme Ivoirienne NI 05-10-001. Les intervalles de mélange des types de sables ont été déterminées. La qualité

d'échantillons des tuiles produites à partir de trois agrégats constitués dans les intervalles de mélange des deux sables a été évaluée. L'impact économique des résultats obtenus a été également étudié.



Figure 1 : Extraction du sable de la Sanaga de Monatélé (Sable A)



Figure 2 : Sable fin de Monatélé (Sable B)

I. MATERIAUX, METHODES ET RESULTATS

I.1. Matériaux

Les matériaux utilisés dans le cadre de notre travail, leurs natures et origines sont résumés au tableau 1.

Tableau 1: Nature et origine des matériaux

Echantillons	Nature	Origine
Sable A	Sable siliceux	Fleuve Sanaga, Monatélé
Sable B	Sable siliceux	Monatéle (à la côte)
Ciment	Ciment composé CPJ 35	CIMENCAM; Cameroun
Colorant	Oxyde de fer (rouge)	BAYER; Allemagne
Eau	Eau courante	S.N.E.C., Cameroun

Les colorants sont utilisés pour améliorer l'aspect esthétique des tuiles. Ils peuvent contribuer à la diminution des résistances mécaniques des tuiles s'il sont utilisés en excès. Des ajouts inférieurs à 5 % sont tolérés [1].

I.2. Methodes et résultats

I.2.1. Test d'équivalent de sable

Ce test a pour but de déterminer la quantité de particules limoneuses et argileuses présentes dans le sable. Les particules limoneuses et argileuses ne sont pas utiles dans le béton pour tuiles. Elles peuvent entrer en compétition avec les grains de ciment en terme d'occupation d'espace et contribuer à la diminution de la résistance mécanique du béton [4]. Pour ce faire, 500,0 grammes de chaque échantillon de sable sont lavés à travers un tamis d'ouvertures de mailles 200 micromètres de la norme AFNOR NF X 501 jusqu'à

éclaircissement des grains. Le tamisat est laissé au repos pendant 72 heures pour permettre à l'eau de se décanter. L'excès d'eau est évacuée, le reste du tamisat est séché à l'étuve à 105°C pendant 48 heures puis pesé. Trois essais ont été effectués pour chaque sable et les moyennes calculées. Le resultat obtenu est indiquée au tableau 2.

Tableau 2: Particules limoneuses et argileuses des sables

Echantillon	Particules inférieures à 200 µm	
	Masse moyenne (g)	Pourcentage (%)
Sable A	2,3	0,46
Sable B	13,6	2,72

1.2.2. Analyse granulométrique

La taille maximale des grains de l'agrégat destiné à la production des tuiles en micro-béton de 8 mm d'épaisseur, est 5 mm [4]. L'ensemble des particules est divisé en trois classes: Les grosses (> 2 mm); moyennes (comprises entre 2 mm et 0,5 mm) et fines (< 0,5 mm). L'analyse granulométrique permet de déterminer les proportions de chacune des classes. Les équipements utilisés sont: Les tamis d'ouvertures de mailles 5mm, 2mm et 0;5 mm de la norme, un vibreur de tamis Endecotts EFL 2000, une balance électronique de précision 1 gramme et une étuve ELE 500225SEI. Le résultat obtenu est au tableau 3.

Tableau 3: Résultat de l'analyse granulometrique des sables

Echantillon	Grains 5 mm -2 mm		Grains 2 mm- 0,5 mm		Grains > 5 mm		Total	
	Masse(g)	%	Masse(g)	%	Masse(g)	%	Masse(g)	%
	Sable A	1825	33	3597	66	1	0	5476
Sable B	5	0	2684	50	2680	50	5369	100

Aucun des sables n'est constitué de particules superieures à 5 mm.

Selon les spécifications proposées par « Swiss Centre for Appropriate Technology » (SKAT), il est recommandé que les pourcentages des differents classes des particules dans l'agrégat pour tuiles de 8 mm soient les suivantes: Particules grosses 30 à 50 %, moyennes 10 à 55 %, et fines 15 à 40 %. Sur la base de ces recommandations, aucun des deux types de sables étudiés ne peut être utilisé seul dans la production des tuiles. D'où le recours au mélange des deux sables.

1.2.3. Determination des proportions de mélange des sables A et B

Pour mélanger le deux sables, nous nous sommes inspiré de la methode proposée par Acevedo J.[5]. Dans un carrée de 10 cm de coté gradué de 0 à 100% sur tous les cotés, nous representons les pourcentages des classes de particules pour chaque sable que nous joignons par des droites. Puis nous delimitons sur chaque droite, la partie qui satisfait aux recommandations de SKAT. L'intersection des ces trois parties donne verticalement, la zone des bons mélanges des sables A et B (Figure 3)

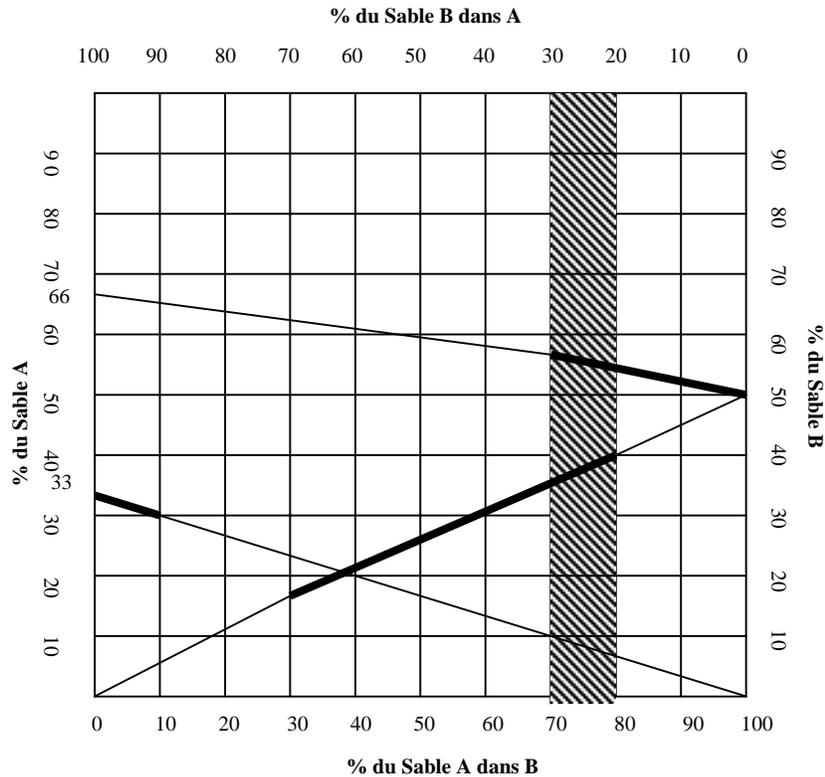


Figure 3: Zone des bons mélanges des sables A et B (partie hachurée)

Cette figure montre que 70 à 80% du sable A peut être mélangé avec 30 à 20 % du sable B si l'on ne tient compte que des particules moyennes et fines. Ce mélange fait satisfaire les proportions en particules fines et moyennes aux recommandations de SKAT, mais tel n'est pas le cas des particules grosses. Néanmoins le comportement des agrégats composés dans les intervalles ci-dessus dans le béton pour tuiles est testé en fabriquant des échantillons de tuiles.

Trois agrégats constitués respectivement de: 70% sable A et 30% sable B, 75% sable A et 25 % sable B, 80 % sable A et 20 % sable B sont ensuite utilisés pour produire 71 tuiles chacun. Ce nombre étant le nombre moyen de tuile donné par un sac de ciment par rapport aux dosages choisis.

1.2.4. Production des tuiles

Les tuiles ont été produites dans l'unité de production des tuiles en micro-béton de la Mission de Promotion des Matériaux Locaux (MIPROAMO). Le sable est mélangé à sec avec du ciment en respectant le rapport volumique 5/2. L'eau est ensuite ajoutée dans un rapport massique 3/5 par rapport au ciment[6]. L'oxyde de fer est également ajouté (2% en masse du ciment). L'ensemble est mélangé pendant 10 minutes. Le malaxeur utilisé est électrique de marque ALKO, type T01401. Le béton est après versé dans une brouette métallique pour permettre la conservation de l'eau. Avec une mesurette appropriée, le béton est déposé sur la table vibrante préalablement couverte d'un film plastique neuf

bloqué par le gabarit. La table vibrante est faite d'un moteur Multivibe de Parry/ITW. Après 30 secondes de vibration, le gabarit est soulevé et le béton vibré est tiré ensemble avec le film plastique jusqu'au moule pour prendre la forme finale. Le béton est utilisé avant les 45 minutes qui suivent à cause du phénomène de début de prise du ciment [7].

Les tuiles sont démoulées après 24 heures. Les pores et les fissures sont observés sur les tuiles lors du demoulage. Ensuite, elles sont placées sur une surface saturée d'eau et recouvertes par un plastique pour subir pendant sept jours le curage à la vapeur d'eau. Après ce temps, les tuiles sont placées à l'ombre pendant 20 jours. C'est après ces 28 jours que les tuiles subissent le contrôle de qualité final.

1.2.5 Contrôle de qualité des tuiles

a) Pores et fissures

Après observation des faces des tuiles nous avons obtenu les résultats du tableau 4.

Tableau 4: Pores et fissures sur les différentes tuiles

Types de tuiles	Tuiles ayant des pores de plus de 5mm de largeur et 2 mm de profondeur		Tuiles ayant des fissures	
	Nombre	%	Nombre	%
TYPE I (71 tuiles) (70% sable A 30% sable B)	0	0	25	35
TYPE I (71 tuiles) (75% sable A 25 % sable B)	0	0	0	0
TYPE I (71 tuiles) (80% sable A 20% sable B)	5	7	30	42

Les tuiles de type II n'ayant pas présentées de pores et fissures sont celles qui ont subi d'autres tests de contrôle de qualité.

b) Test du poids des tuiles

Quatre tuiles de type II sont choisies de façon aléatoire après 28 jours de conservation et pesées à l'aide d'une balance électronique (précision 1 g). La détermination du poids des tuiles est une autre façon de contrôler les dimensions des tuiles, surtout l'épaisseur [3]. Le résultat obtenu se trouve au tableau 5.

Tableau 5: Poids des tuiles

Tuiles	N° 1	N° 2	N° 3	N° 4
Poids (g)	2999	3069	3020	3052
Moyenne (g)	3034 ± 32			

On constate qu'aucun des écarts entre les poids ne dépasse 10 %.

c) Test de perméabilité

Pour effectuer ce test, un échantillon de quatre tuiles est à nouveau choisi au hasard. Sur chaque tuile une barrière en argile est confectionnée au 1/3 de chaque extrémité de la tuile. La tuile est ensuite placée sur deux supports de façon à être horizontale. Après, l'espace

entre les deux barrières est remplie d'eau et le système est recouvert d'un plastique pendant 24 heures. Si après ce temps des gouttelettes d'eau sont observées à la face opposée de la tuile, le test est négatif. Dans notre cas toutes les tuiles ont été positif à ce test.

d) Charge maximale en flexion

Le test de la charge maximale en flexion permet d'évaluer la solidité des tuiles. Quatre tuiles ayant 28 jours d'âge ont subi ce test. L'équipement utilisé a été construite et calibré au laboratoire de contrôle de qualité de la MIPROMALO sur la base d'un schéma fourni par ECOSOUTH Network, une ONG Latino Américaine qui a une longue expérience dans la dissémination de la technologie des tuiles en microbéton dans le monde. Pour cet équipement (Figure 4), la charge maximale en flexion (en kg) est donnée par la formule ci-dessous

$$\text{Charge maximale en flexion (kg)} = 5z + 8$$

Où **z** est le nombre de litres d'eau versés dans le seau jusqu'à la rupture de la tuile. La constante **8** est obtenue en tenant compte de l'action des poids du bras de l'appareil qui supporte le seau, du seau vide, du poids du morceau de bois en contact avec la tuile et du boulon.



Figure 4 : Appareil de mesure de la charge maximale en flexion des tuiles

Pour faciliter l'utilisation de cet appareil, le seau a été gradué en kilogrammes à l'avance en fixant des charges maximales et en déduisant par calcul, la quantité d'eau nécessaire dans le seau. A chaque fois une marque est placée sur le seau. Les charges maximales obtenues pour les différentes tuiles sont au tableau 6.

Tableau 6: Charges maximales des tuiles après 28 jours

Tuiles	N° 1	N° 2	N° 3	N° 4
Charge maximale (kg)	70	75	60	80
Moyenne (kg)	71 ± 8			

e) Le test de la sonorité

Après 28 jours de conservation, toutes les tuiles subissent le test de sonorité. Il consiste frapper une pièce de monnaie sur la tuile. La tuile qui possède des microfissures ou certaines parties faibles qui ne sont pas visibles à l'œil nu produira un son doux. Dans le

cas contraire elle produit un son clair. Toutes les tuiles de type II ont été positives à ce test.

e) Essai de choc

L'essai de choc est réalisé avec une bille de 200 grammes tombant d'une hauteur de 20 cm [4]. Cet essai permet de prévoir si les tuiles pourront supporter le choc d'un fruit tombant d'un arbre fruitier, des grêles, etc , une fois posées sur la toiture. Quatre tuiles choisies au hasard ont subi ce test et n'ont pas présentées de fissures.

f) Taux d'absorption d'eau et masse spécifique des tuiles

Des petits morceaux de tuiles sont séchés à l'étuve à 105 °C pendant 24 heures, pesés puis immergés dans une éprouvette de 500 ml contenant 200 ml d'eau pendant 24 heures. Le volume d'eau déplacée par chaque morceau de tuile est observé. Ensuite ces morceaux de tuiles sont soigneusement essuyés à l'aide d'une étoffe et pesés à nouveau. Le tableau 7 montre les résultats obtenus.

Tableau 7: Taux d'absorption d'eau et masse spécifique des tuiles

Morceau de tuile	N° 1	N° 2	N° 3	N° 4
Masse à sec m_1 (g)	27	42	30	29
Volume V d'eau déplacée (litre)	0,015	0,024	0,017	0,016
Masse humide m_2 (g)	29	45	32	31
Taux d'absorption d'eau $(m_2 - m_1) \times 100$	7,4	7,1	6,7	6,9
Densité m_1 / V (g/l)	1800	1750	1765	1812
Taux d'absorption d'eau moyenne w (%)	$7,0 \pm 0,3$			
Masse spécifique moyenne d (g/l)	1782 ± 29			

1.2.6. Impact économique de l'utilisation de l'agrégat à base du sable de Monatéle

L'agrégat utilisé à l'unité de production des tuiles en micro-béton de MIPROMALO constitué de 40% du sable de carrière 0/3 mm, 40% du gavier de carrière 3/7 mm et 20% du sable de Sanaga d'Ebebdà nous a permis de comparer les dépenses effectuées pour l'achat de l'agrégat par rapport à l'utilisation de l'agrégat de type II fait du sable naturel de Monatéle . Les tableaux 8 et 9 resument les dépenses moyennes faites pour 100 litres de chaque agrégat.

Tableau 8: Coût de l'agrégat nécessitant les produits de carrière à Yaoundé

Composition de l'agrégat	Prix moyen (F CFA) de la brouette de 60 litres	Quantité dans le mélange(%)	Prix unitaire (F CFA / litre)	Prix total de 100 litre
Sable de carrière 0/3 mm	1000	40	16,67	666,67
Sable Sanaga Ebebda	1000	40	16,67	666,67
Gravier 3/7 mm	2500	20	41,67	833,33
TOTAL		100	/	2166,67

Tableau 9: Coût de l'agrégat utilisant le sable naturel de Monatéle à Yaoundé

Composition de l'agrégat	Prix moyen (F CFA) de la brouette de 60 litres	Quantité dans le mélange(%)	Prix unitaire (F CFA / litre)	Prix total de 100 litres
Sable A	1000	75	16,67	1250
Sable B	600	25	10	250
TOTAL		100	/	1500

II. INTERPRETATIONS

Il ressort des résultats de la présente étude que deux types de sable de Monatéle étudiés contiennent moins de 4% en masse de limons et argiles, ils pourront être utilisés dans le béton sans lavage préalable. 70 à 80 % du sable A peuvent être mélangé théoriquement avec 20 à 30 % du sable B mais en pratique, le mélange de 75 % du sable A avec 25 % de sable B donne des meilleurs résultats. La charge moyenne en flexion (71 ± 8 Kg), le poids moyens (3034 ± 31 g), le taux d'absorption d'eau ($7,0 \pm 0,3\%$), la densité (1782 ± 2 g) des tuiles et les résultats autres tests de contrôle de qualité des tuiles fabriquées est conforme à la norme Ivoirienne NI 05 10 001 et aux spécifications de SKAT/ILO pour les tuiles en micro-béton de 8 mm où il est exigée, une charge maximale en flexion d'au moins 50 kg, un poids moyen compris entre 2,5 et 3 kg, un taux d'absorption d'eau inférieur à 12 % et une masse spécifique supérieure à 1700 g/l [4]. La bonne performance des tuiles au niveau des tests de contrôle de qualité démontre que la conformité des classes de particules de l'agrégat (grosses, moyennes et fines) par rapport aux recommandations de SKAT/ILO est une condition nécessaire mais pas suffisante car l'agrégat utilisé satisfait à ces recommandations sont satisfaites uniquement en ce qui concerne les particules moyennes et fines mais permet d'obtenir des tuiles conformes.

Du point de vue économique, les résultats montrent que, la différence entre les dépenses faites pour les agrégats utilisant les produits de carrière (2166,67 F CFA/ 100 litres) et le sable naturel de Monatéle (1500 F CFA/ 100 litres) est de 666,69 F CFA/ 100 litres. Soit environ 30 %. L'utilisation du sable naturel de Monatéle contribue donc efficacement à la réduction du coût de production des tuiles.

CONCLUSION

Le présent travail a montré que les tuiles en microbéton pouvaient être fabriquées avec un agrégat constitué de 75% du sable du fleuve Sanaga et 25 % du sable fin tous de Monaté. Les tuiles produites à partir de cet agrégat sont conformes à la norme Ivoirienne NI 05 10 001 et aux spécifications internationales. L'introduction du sable naturel de Monaté dans le processus de production des tuiles en microbéton permettra d'économiser au moins 30% des dépenses faites pour l'achat de l'agrégat par rapport à l'utilisation des agrégats de carrières.

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient tous ceux qui de près ou de loin ont contribué à la réalisation de cette étude, spécialement, les techniciens de l'unité de production des tuiles en microbéton et du laboratoire de contrôle de qualité de MIPROMALO.

REFERENCES

- [1] Parry J. P. M. and Associates, ITW/ Parry fibreconcrete or microconcrete tiles technology instruction manual.
- [1] Gram H. E., Gut P.J.(1991), Quality control guidelines, SKAT/ ILO, FCR/ MCR Toolkit N° 29, 69 P.
- [3] Ndigui Billong (1999), Les agrégats dans la ville de Yaoundé, Rapport, *African Journal of Building Materials*, Vol. 03, N° 03, PP 33-37.
- [4] Norme Ivoirienne NI 05 10 001
- [5] NOTI TEJAS (1997), Information bulletin for the Latin America MCR Network, Special édition, 34 P.
- [6] Designing effective sand and mortar mixes for microconcrete roof tiles (2002), Technical sheet, Grupo Sofonias, 12 P.
- [7] Buchner W., Schilliebs R., Winter B., Buchel K. H., (1989), Industrial inorganic chemistry, *VCH*, PP 370 -399.