

Caractérisation des agglomérés produits avec les agrégats de rivière et de carrière, Centre-Cameroun

**Ludovic Ivan NTOM NKOTTO^{1*}, Serge TCHOUNANG KOUONANG², Jean Claude SOFACK¹,
Billong NDIGUI³ et Boubakar LIKIBY³**

¹ *Mission de Promotion des Matériaux Locaux (MIPROMALO), Département de la Conception et de la Construction, BP 2393, Yaoundé, Cameroun*

² *Mission de Promotion des Matériaux Locaux (MIPROMALO), Département de la Recherche Scientifique, BP 2393, Yaoundé, Cameroun*

³ *Mission de Promotion des Matériaux Locaux (MIPROMALO), Laboratoire d'Analyse des Matériaux, BP 2393, Yaoundé, Cameroun*

* Correspondance, courriel : ludovicivan.li@gmail.com

Résumé

Le but de cette étude est de caractériser des agglomérés produits avec les agrégats de rivière et de carrière. Pour se faire, les deux types de sables mis à contribution (sable rivière d'Ebebda et sable carrière Leboudi) ont été analysés et se sont avérés propres et propices à la mise en œuvre de tous types de béton avec un équivalent de sable ES > 80 %. Par la suite, dix parpaings standards et éco-standard (SP et SE) de compositions massiques respectives deux brouettes de 60 l de sable rivière, deux brouettes de 60 l de sable carrière pour un sac de ciment CPJ de 42,5 R et trois brouettes de 60 l de sable rivière, trois de brouettes de 60 l de sable carrière pour un sac de ciment CPJ de 42,5 R ont été mis en œuvre et caractérisés. L'étude s'est focalisée sur la forme des agglomérés, le taux d'absorption en eau, la masse volumique apparente et la résistance à la compression. Les résultats montrent que : les SP et SE présentent des formes non convenables aux spécifications pour éléments de maçonnerie, néanmoins les masses volumiques apparentes moyennes desdits agglomérés ont des valeurs respectives de $1,23 \pm 0,035 \text{ g.cm}^3$ et $1,17 \pm 0,03 \text{ g.cm}^3$, des taux d'absorption en eau moyens respectifs de $6,43 \pm 0,31 \%$ et $6,97 \pm 0,17 \%$, et des résistances à la compression sèches moyennes respectives de $3,27 \pm 0,03 \text{ MPa}$ et $2,97 \pm 0,09 \text{ MPa}$. Ces caractéristiques sont en adéquations avec les exigences techniques relatives à la mise en œuvre des bétons légers, à l'exception de la variation géométrique influencée par le moule artisanal utilisé. De ces faits, la friabilité des parpaings des fabriques locales est issue soit du non-respect des compositions massiques en sables, ciment et eau, soit des mauvaises conditions de mise en œuvre des agglomérés de parpaings.

Mots-clés : *caractérisation, agglomérés, agrégats, Centre-Cameroun.*

Abstract

Characterization of agglomerates produced with river and quarry aggregates, Center-Cameroon

The purpose of this study is to characterize agglomerates produced with river and quarry aggregates. To do so, the two types of sands used (Ebedda river sand and Leboudi quarry sand) were analyzed and proved to be clean and suitable for the implementation of all types of concrete with an sand equivalent $ES > 80 \%$. Subsequently, ten standard and eco-standard cinder blocks (SP and SE) of respective mass compositions, two wheelbarrows of 60 L of river sand, two wheelbarrows of 60L of quarry sand for a 42.5R CPJ cement bag and three wheelbarrows of 60 L of river sand, three wheelbarrows of 60L of quarry sand for a 42.5R CPJ cement bag were used and characterized. The study focused on agglomerate shape, water absorption rate, bulk density and compressive strength. The results show that: the SP and SE have shapes not suitable for masonry element specifications, nevertheless the average bulk densities of the said agglomerates have values of $1.23 \pm 0.035 \text{ g.cm}^3$ and $1.17 \pm 0.03 \text{ g.cm}^3$ respectively, average water absorption rates of $6.43 \pm 0.31 \%$ and $6.97 \pm 0.17 \%$ respectively, and average dry compressive strengths of $3.27 \pm 0.03 \text{ MPa}$ and $2.97 \pm 0.09 \text{ MPa}$ respectively. These characteristics are in line with the technical requirements for the processing of lightweight concretes, except for the geometric variation influenced by the artisanal mould used. As a result, the friability of cinder blocks from local factories is due either to the failure to comply with the mass compositions of sand, cement and water, or to the poor processing conditions of cinder block agglomerates.

Keywords : *characterization, agglomerates, aggregates, Center-Cameroon.*

1. Introduction

Les bâtiments sont des édifices nécessaires au bon fonctionnement de la société, car ils facilitent ou améliorent la vie des usagers en servant d'abri outre leurs fonctions sociales, politiques et culturelles [1]. Pour leurs permettre de bien remplir leur rôle, il est nécessaire de s'assurer de la qualité des intrants lors de sa mise en œuvre. Au Cameroun, particulièrement dans la ville de Yaoundé la plupart des bâtiments sont construits en maçonnerie d'agglomérés de 15 cm d'épaisseur. Ces constructions en maçonnerie sont les juxtapositions de cette dernière avec d'autres matériaux de construction (mortier de chaux ou de ciment, pâte, etc.) liés entre eux et formant un ensemble de forme et dimensions déterminées [2]. La plupart des règlements existants simplifient le comportement de la maçonnerie dans le but de fournir des critères pratiques pour l'analyse et le calcul des structures. Ces critères comportent, en général, l'utilisation des modèles linéaires qui considèrent la maçonnerie comme un matériau homogène [3]. Ainsi, les données scientifiques des agglomérées issues d'un compromis entre les exigences fonctionnelles (légèreté, aspect, capacité à être enduit, tenue mécanique, etc.) et économiques demeurent insuffisantes [4] en dépit de leurs facilitées de mise en œuvre et de la résistance mécanique acquise à court terme [5]. C'est le cas de ceux réalisés de façon artisanale à l'aide d'un moule et d'un mortier de ciment dosé à 250/300 kg/m³ de sable pour être assemblées en assise afin de constituer des murs [6], ces éléments de remplissage n'exigent que les charges qui leurs sont transmises restent largement inférieures à leur capacité portante [7]. Les agrégats composants ces agglomérés sont d'origine diverses. Dans l'ensemble on distingue les sables résiduelles sur les interfluves, les sables alluvionnaires dans les méandres de rivière ou les bassins sédimentaires [8 - 11] et les sables des carrières d'exploitation des roches magmatiques qui sont des sables artificielles [12, 13]. Ils font l'objet de multiples sollicitations par les fabriques locales qui font partir du secteur informel. Ce secteur d'activités est prisé compte tenu de la disponibilité et du faible coût des matériaux [14]. En effet, celui-ci est le seul à pouvoir proposer des mécanismes de production de l'habitat adaptés au pouvoir d'achats du client. Par ailleurs, l'on constate que

les agglomérés des fabriques de la ville de Yaoundé s'effritent au moindre choc relevant ainsi un souci de qualité en dépit des spécifications pour des éléments en maçonnerie prescrites par la norme [15]. De ce fait, la qualité et l'origine des granulats ainsi que la composition massique desdits agglomérés sont mises en cause. Dans ce contexte, le but visé est de caractériser les granulats et les agglomérés à corps creux produits de composition massique standard et ceux éco-standard (condition préjudiciable) à travers des essais au Laboratoire d'Analyse des Matériaux de la MIROMALO (LAM). Le présent travail est une contribution à la valorisation des sables locaux qui sont disponibles et variables en grande quantité dans la région du Centre-Cameroun et de leur utilisation dans des constructions pour atténuer la demande sans cesse grandissante en habitat.

2. Matériel et méthodes

2-1. Zones et méthodes de prélèvement des échantillons

2-1-1. Présentation des zones de prélèvement des échantillons

L'échantillon N-1 est prélevé dans la localité d'Ebebda. Ebebda est une commune du Cameroun située dans la région du Centre et du département de la Lekie. Pour accéder à cette localité, on traverse un pont important qui enjambe la Sanaga, il s'agit du fleuve le plus grand et le plus long au Cameroun avec un bassin de drainage d'environ 140 000 km² qui représente environ 30 % de la superficie du pays et est marquée par la présence de roches meubles sous forme d'un niveau à galet [16]. Ils s'y trouvent des formations volcaniques, plutoniques, métamorphiques et sédimentaires de part et d'autre du bassin de la Sanaga. La zone de prélèvement est située à la confluence des fleuves Sanaga et Mbam de coordonnées géographiques 4° 20' et 4° 30' latitude Nord, 11° 10' et 11° 20' longitude Est. L'échantillon N-2 a été prélevé à Leboudi dans l'arrondissement de Yaoundé VII Chef-lieu Nkolbissong dans la région du Centre. Cette zone est située entre 11° 26' latitude Nord et 3° 54' longitude Est de coordonnées géographiques. Il s'agit est d'un sable concassé ramené à partir des refus de la carrière des roches magmatiques broyées.

2-1-2. Méthode de prélèvement des échantillons

Le premier échantillon N-1 a été obtenu par achat de treize (13) de sable alluviale provenant d'Ebebda. Ce sable est extrait soit par dragage du lit du cours d'eau en activité soit par la plongée des riverains. Quant au second échantillon N-2, treize (13) tonnes de ce sable ont été prélevées de la carrière Leboudi après abattage de la roche à l'explosif et concassage par des engins.

2-2. Caractérisations physiques des échantillons

2-2-1. Analyse granulométrique

Cet essai concerne les granulats de diamètre supérieur à 100 micromètres, la manipulation et les conditions de manipulation sont décrites par la norme [17]. L'analyse s'est effectuée sur les deux échantillons de sable de la *Figure 1* qui après étuvage au Laboratoire de d'Analyse des Matériaux de la MIPROMALO (LAM) à une température de 110°C, ont été tamisés par des tamis normalisés de 20 à 38. Ainsi, les types de granulats en fonction de leurs grosseurs minimales et maximales sont répertoriés comparativement à la norme [18] qui classe les granulats suivant le *Tableau 1*.

Tableau 1 : Classification des granulats [19]

Désignations	Cailloux			Graviers et Gravillons			Sables			Fines/ farines/ Fillers
	Gros	Moyens	Petits	Gros	Moyens	Petits	Gros	Moyens	Petits	
Dimensions	50-80 mm	31,5-50 mm	20-31,5 mm	12,5-20 mm	8-12,5 mm	5-8 mm	1,25-5 mm	0,315-1,25 mm	0,08-0,315 mm	< 0,08 mm
Utilisations	Gros béton (barrage...) Empierrement Chemises – drainage -routes			Béton normal Chemises - drainage			Bétons – Enduits – Mortiers – Chapes - préfabrication			Bétons

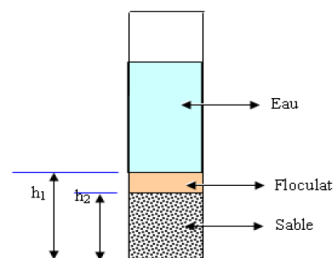
**Figure 1 : Images des deux (02) échantillons de sable**

2-2-2. Équivalent de sable

Cet essai permet d'apprécier le degré de propreté du sable, il s'agit de déterminer les proportions d'argile ($d < 0,08$ mm) contenues dans le sable car à dose importante l'argile absorbe l'eau du béton pour constituer la boue qui gênera l'adhérence du ciment et une fois le béton séché, il s'effritera par manque de résistance. Par contre en faible proportion l'argile va faciliter la mise en œuvre du béton sans altérer sa résistance. La procédure de manipulation de cet essai est précisément décrite par la norme [20]. Le tamisage s'est fait par voie humide pour ne pas perdre d'éléments fins et l'Equivalent de Sable ES a été calculée par la **Formule** :

$$ES(\%) = \frac{h_2}{h_1} \times 100 \quad (1)$$

avec, h_1 la hauteur sable propre + éléments fins (cm) et h_2 la hauteur du sable propre uniquement (cm)

**Figure 2 : Représentation schématique de l'essai de l'équivalent de sable**

L'essai a été effectué avec 120 g de grains sur chacun des échantillons et par voie humide. Le **Tableau 2** suivant décrit la nature et la qualité du sable en fonction de l'Equivalent de Sable (ES).

Tableau 2 : Valeurs préconisées pour l'équivalent de sable par G.DREUX [21]

ES à Vue	ES au piston	Nature et qualité du sable
ES < 65 %	ES < 60 %	Sable argileux : risque de retrait ou de gonflement Sable à rejeter pour le béton de qualité
65 % < ES < 75 %	60 % < ES < 70 %	Sable légèrement argileux de propreté admissible pour le béton de qualité courante quand le retrait n'a pas de conséquence notable sur la qualité du béton
75 % < ES < 85 %	70 % < ES < 80 %	Sable propre à faible proportion de fines argileuses convenant parfaitement pour les bétons de qualité
ES > 85 %	ES > 80 %	Sable très propre. Absence presque totale des fines argileux risques d'entraîner un défaut de plasticité du béton qu'il faudra compenser par une augmentation du dosage en eau.

2-3. Caractérisations des produits (agglomérées)

2-3-1. Formulation des parpaings (composition)

Par sables, on entend tous granulats de 0/D conformes aux définitions des normes NF P 18-101 et NF P 18-301. Il peut s'agir soit d'un sable naturel alluvionnaire ou de ballastière, soit d'un sable de carrière issu d'un concassage d'une roche massive ou détritique [22]. Au cours de notre expérimentation, deux sables locaux, de provenance et de granulométries différentes ont été utilisés : le sable alluviale de la Sanaga (Seb1) et le sable de carrière d'exploitation des roches magmatiques de Leboudi (SCO2). En ce qui concerne le liant, le ciment CPJ 42,5 R est mis à contribution dans cette expérimentation. Pour chacun des échantillons donnés, nous avons prélevés cinq (5) brouettées de 60 l. Ces prélèvements ont permis de produire les agglomérés de 15 x 20 x 40 cm donc l'un est standard et l'autre éco-standard (*Figure 3*) suivant la composition massique ci-dessous :

Tableau 3 : Compositions massiques des parpaings

Désignation	Composition		
	Ciment 50Kg de CPJ 42.50 R	Sable alluvionnaire de la Sanaga ou Seb1 (bourrette de 60L)	Sable roche magmatique concasse de Leboudi ou SCO2 (bourrette de 60L)
Standard	01	02	02
Eco-standard	01	03	03

Par cette composition, des parpaings standards et éco-standards ont été fabriqués et une étude géométrique, physique et mécanique desdits parpaings ont été effectuées.

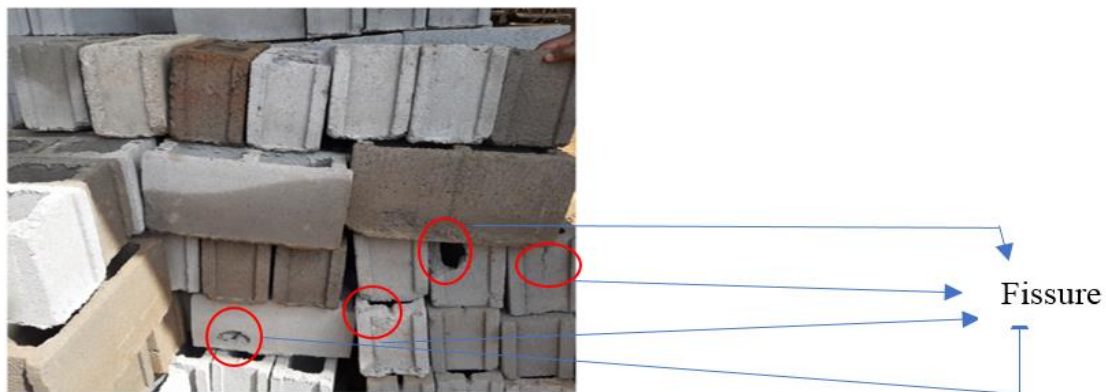


Figure 3 : Photographie des parpaings standards et éco-standards fabriqués

2-3-2. Caractérisation géométrique (forme)

Les dimensions des deux types parpaings respectant la composition massique relevée ci-dessus ont analysées conformément aux conditions de facilitation de pose et de régularité des maçonneries avant l'enduit tel que prescrit par la norme [15]. A travers un moule artisanal, les parpaings aux dimensions suivantes ont été produits :

Tableau 4 : Dimensions réelles des parpaings mis en œuvre

Echantillons	Références	Longueur (mm)	Largeur (mm)	Hauteur (mm)
Parpaing standard	SP1	400	150	212
	SP2	400	150	214
	SP3	400	150	216
	SP4	400	150	214
	SP5	400	150	214
	SP6	400	150	214
	SP7	400	150	210
	SP8	400	150	213
	SP9	400	150	213
	SP10	400	150	212
Parpaing éco-standard	SE1	400	150	210
	SE2	400	150	210
	SE3	400	150	210
	SE4	400	150	208
	SE5	400	150	210
	SE6	400	150	202
	SE7	400	150	208
	SE8	400	150	209
	SE9	400	150	210
	SE10	400	150	210
Dimensions normalisées des blocs (L*I*h) mm ³		400	150	200

La norme [15] définit les tolérances admissibles pour les blocs de forme régulière de la manière suivante :

Tableau 5 : Écarts admissibles des dimensions des agglomérés selon la norme [15] (en mm)

Dimensions	Éléments en béton cellulaire autoclave destinés à être montés		
	Mortier ordinaire et léger	Mortier pour joints fins	
		Mortier pour joints fins A (disposition en panneresse par l'épaisseur)	Mortier pour joints fins B (disposition en panneresse par la largeur)
Longueur	+ 3 - 5	± 3	± 3
Hauteur	+ 3 - 5	± 2	± 1
Largeur	± 3	± 2	± 2

2-3-3. Caractérisations physiques

2-3-3-1. Masse volumique apparente des agglomérés produits

Elle caractérise la forme des grains, la masse volumique apparente d'un bloc du parpaing est déterminée par la méthode géométrique [23]. Elle est estimée pour chacun des produits standards et éco-standards par la **Formule** :

$$\rho_a = \frac{M}{V} \tag{2}$$

avec, ρ_a la masse volumique apparente en kg/m^3 , M la masse du matériau en kg et V le volume apparent du matériau en m^3 . Le volume apparent V représentant ici la longueur x largeur x la hauteur du parpaing.

2-3-3-2. Taux d'absorption de l'eau

Cet essai vise à déterminer le pourcentage massique d'eau absorbé par les échantillons de parpaings pendant 24 heures (24 h). En contact direct avec l'eau, les matériaux l'absorbent par capillarité suivant la **Formule** :

$$M(t) = A \times \sqrt{t_w} \tag{3}$$

où, $M(t)$ est la masse d'eau absorbée par unité de surface (kg/m^2) pour une période t , A le coefficient d'absorption d'eau ($kg/m^2 \cdot s^{1/2}$) et t_w le temps de contact avec l'eau (s)

Les échantillons produits (parpaings) ont été immergés dans l'eau pendant 24 heures pour l'essai d'absorption d'eau (**Figure 4**) et la différence de masse avant et après trempage représente la quantité d'eau absorbée. Ce taux d'eau absorbé sera comparé par la suite à celle prescrite par la norme [24].



Figure 4 : Échantillons d'agglomérés de béton immergés dans l'eau

2-3-4. Caractérisation mécanique : Résistance à la compression sèche

L'essai a consisté à évaluer la compressibilité des échantillons de parpaings sous un chargement en utilisant la pression électrique de compression Marque (COMPACT 1500, ELE International) du LAM. Les éprouvettes ont été soumises à une compression simple jusqu'à l'écrasement à l'aide d'une presse d'essai de compression telle qu'observée dans la **Figure 5**.



Figure 5 : Essai de résistance à la compression sèche

La procédure de manipulation de cet essai est précisément décrite par la norme [25]. Dans cette étude, la résistance à la compression a été évaluée sur la face parallèle à celle de la surface de pose.

3. Résultats et discussion

3-1. Caractéristiques des échantillons de sable

3-1-1. Analyse granulométrique

L'analyse granulométrique effectuée sur le sable alluvionnaire d'Ebebda et celle du sable issue du broyage de la roche magmatique de la carrière de Leboudi a abouti aux résultats résumés dans le **Tableau 6**. Les résultats à l'analyse granulométrique présentent 5,0 % des particules grossières, 74,0 % des particules moyennes, 21,0 % de fraction fine pour le Seb1 et 48,2 % de particules grossières, 22,9 % de fraction moyenne, 28,9 % de fraction fine pour le SCO2. Ces agrégats constituent la matrice (squelette) du béton, ils s'opposent à la propagation des microfissures provoquées par la pâte par retrait améliorant ainsi la résistance dudit béton. Par ailleurs, aucun critère granulométrique n'est à priori exigible pour réaliser un béton de sable : on peut aussi bien utiliser un sable petit qu'un sable alluvionnaire moyen ou grossier ou de concassage la seule restriction d'emploi de sable réside dans leur propreté [26].

Tableau 6 : Distribution granulométrique des échantillons de sables

Réf.	% de particules grossières $5 > \Phi > 2 \text{ mm}$	% de particules moyennes $2 > \Phi > 0,5 \text{ mm}$	% de particules fines $\Phi < 0,5 \text{ mm}$
SCO2	48,2	22,9	28,9
Seb1	5,0	74,0	21,0

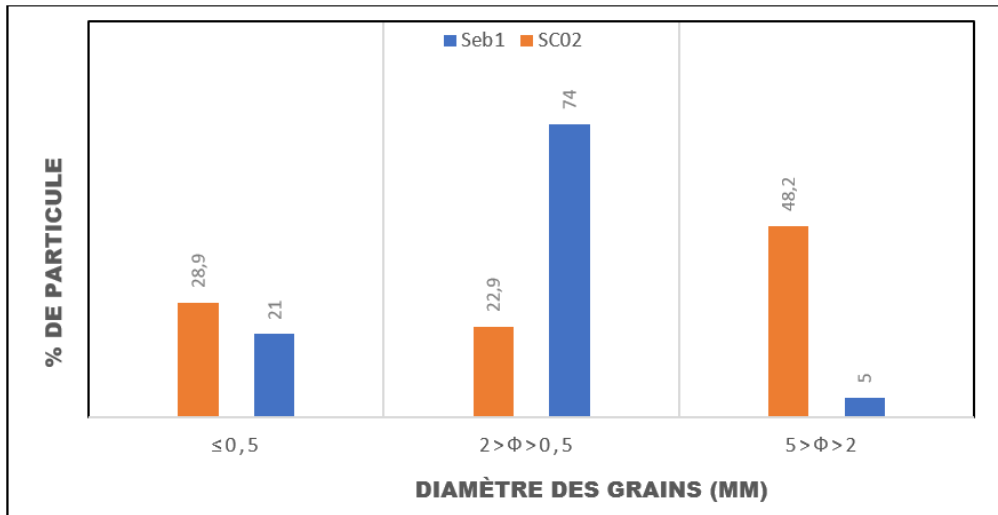


Figure 6 : Courbe granulométrique des échantillons de sable Seb1 et SCO2

3-1-2. Équivalent de sable (ES)

Les mesures d'équivalent de sable des échantillons Seb1 et SCO2 ont été réalisées suivant la norme [20]. Les résultats sont regroupés dans le **Tableau 7** et montrent que ces échantillons ont un ES supérieur à 80 % indiquant ainsi le caractère propre du matériau dont l'absence presque totale des fines particules argileuses. Compte tenu des caractéristiques physiques de ces deux échantillons de sable, il en résulte que les échantillons de sable sont propres et ne présentent pas de particules argileuses.

Tableau 7 : Valeurs de l'équivalent de sable (ES) des deux échantillons

Echantillons	ES
Seb1	98,8
SCO2	99,1
Norme Française NF P18-598	> 80

L'essai à l'équivalent de sable effectué sur nos échantillons présente une valeur de 98,8 % pour le Seb1 et 99,1 % pour le SCO2. Les deux sables sont propices à la mise en œuvre de tous types de béton, y compris ceux à hautes performances compte tenue de la norme [16]. En effet, les propriétés de l'agrégat affectent la durabilité et la performance du béton, de sorte que l'agrégat fin est un composant essentiel du béton et du mortier de ciment [27]. L'agrégat petit (sable) et grossier (gravillons) représente environ 75 % du volume total du béton. Il est donc important d'obtenir un agrégat de bonne qualité sur le site, car l'agrégat forme la matrice principale du béton ou du mortier.

3-2. Caractéristiques des produits (Parpaings)

3-2-1. Formulation des parpaings

En général, la demande en sable naturel alluvionnaire est assez élevée dans les pays en développement pour satisfaire la croissance rapide des infrastructures. L'extraction croissante de sable naturel dans les lits de rivières cause de nombreux problèmes à savoir : l'approfondissement des rivières, le glissement des berges, une perte de végétation sur les berges des rivières, la perturbation de la vie aquatique en plus d'affecter l'agriculture en raison de l'abaissement de la nappe phréatique souterraine [28, 29]. Par ailleurs, le

pourcentage optimal de sable concassé par rapport au sable naturel est soit 1 : 1,5 ou 1,5 : 1, il induit une réduction du volume des vides de 41 à 46 % dans un mélange de ces deux derniers. Ainsi, la teneur en ciment et la teneur en eau peuvent être réduites lors du mélange avec le sable naturel et artificiel [30]. Le remplacement du sable par la poussière de pierre de carrière de broyage réduit l'ouvrabilité du béton, tandis que la résistance à la compression et la résistance à la traction des mélanges de béton augmentent jusqu'à un taux de substitution de 40 % [31]. Les auteurs [32, 33] ont indiqué que les refus de carrière pouvaient être utilisés comme granulats petits dans le béton et ont constaté que la poussière de carrière réduisait les coûts sans affecter la résistance du béton. C'est dans cette optique qu'il a été mis en œuvre des parpaings éco-standard de composition massique 3 brouettes de 60 L de SC02, 3 brouettes de 60 L de Seb1 pour un sac de ciment de 50 kg. Ce dosage permet une prise en compte du respect de l'environnement, de la diminution du coût des matériaux et sera étudié avec celui standard, soit de 2 brouettes de 60 L de SC02, 2 brouettes de 60 L de Seb1 pour un sac de ciment de 50 kg rencontré dans les fabriques locales.

3-2-2. Caractéristique géométrique

Les dimensions des parpaings sont reportées dans le **Tableau 8** ci-dessous. Les variations dimensionnelles des hauteurs des deux types de parpaings (SP et SE) sont supérieures à la valeur acceptable selon la norme [15]. Pourtant, la garantie du respect des dimensions de coordination modulaire et des dimensions de fabrication, dans les tolérances dimensionnelles, facilite la pose et assure la régularité des maçonneries avant enduit. Cette prescription est donc tout à fait importante. Cependant, les risques majeurs sont essentiellement d'ordre mécanique dus à une transmission non uniforme des charges dans les murs. Et ceci entraîne généralement un tassement différentiel, cause des fissures graves dans les bâtiments [32]. D'ailleurs, les bâtiments se composent en règle générale d'un grand nombre de pièces individuelles, mises en place à des moments différents, et produites et montées par divers fabricants; c'est pourquoi des règles géométriques constantes sont nécessaires pour assurer, la réalisation d'une construction globale sans défaut [33]. Tout de même, le non-respect de la hauteur des échantillons de parpaings engendre une perte du point de vue économique durant la production.

Tableau 8 : Variations dimensionnelles des parpaings produits

Echantillon	Références	Longueur (mm)	Largeur (mm)	Hauteur (mm)	Variation Hauteur (mm)	Variation moyenne
Parpaing standard	SP1	400	150	212	+12	13,2
	SP2	400	150	214	+14	
	SP3	400	150	216	+16	
	SP4	400	150	214	+14	
	SP5	400	150	214	+14	
	SP6	400	150	214	+14	
	SP7	400	150	210	+10	
	SP8	400	150	213	+13	
	SP9	400	150	213	+13	
	SP10	400	150	212	+12	
Parpaing Eco Standard	SE1	400	150	210	+10	8,7
	SE2	400	150	210	+10	
	SE3	400	150	210	+10	
	SE4	400	150	208	+8	
	SE5	400	150	210	+10	
	SE6	400	150	202	+2	

	SE7	400	150	208	+8	
	SE8	400	150	209	+9	
	SE9	400	150	210	+10	
	SE10	400	150	210	+10	
Dimensions standard des blocs (L*l*h) mm ³		400	150	200	//	
Ecart admissible en millimètres selon la norme [9]		+ 3/- 5	+ 3/- 5	+ 3/- 5		

3-2-3. Caractéristiques physiques : Masse volumique apparente et taux d'absorption d'eau des agglomérés produits

Sur le plan de la masse volumique apparente, les parpaings standards et éco-standards ont respectivement les valeurs moyennes de $1,23 \pm 0,035 \text{ g.cm}^3$ et $1,17 \pm 0,03 \text{ g.cm}^3$ comme contenu dans le **Tableau 9**. Ces valeurs sont inférieures de celles de l'auteur [34] compte tenu du fait que la masse des parpaings faisant l'objet de cette étude est inférieure à celle des parpaings les plus utilisés dans la construction des bâtiments à Abidjan. Néanmoins, ces valeurs restent inférieures 2 g.cm^3 tel que préconisé pour les bétons légers [26]. Ces valeurs indiquent ainsi la faible densité du béton mis en œuvre au vue de la légèreté des granulats utilisés. Pour ce qui est du taux d'absorption de l'eau, les parpaings standards et éco-standard ont des valeurs moyennes respectives de $6,43 \pm 0,31 \%$ et $6,97 \pm 0,17 \%$ inférieures à $7,5 \%$ tel que prescrit par la norme [24]. Ce faible taux d'absorption en eau est un indicateur important à la mise en ouvrage de génie civil, car très souvent, les agglomérés de béton peuvent être enterrés en soubassement et soumis à contraintes préjudiciables telles que : les remontées capillaires, l'affouillement, l'effet renard ou alors exposés aux intempéries qui fragilisent sa résistance.

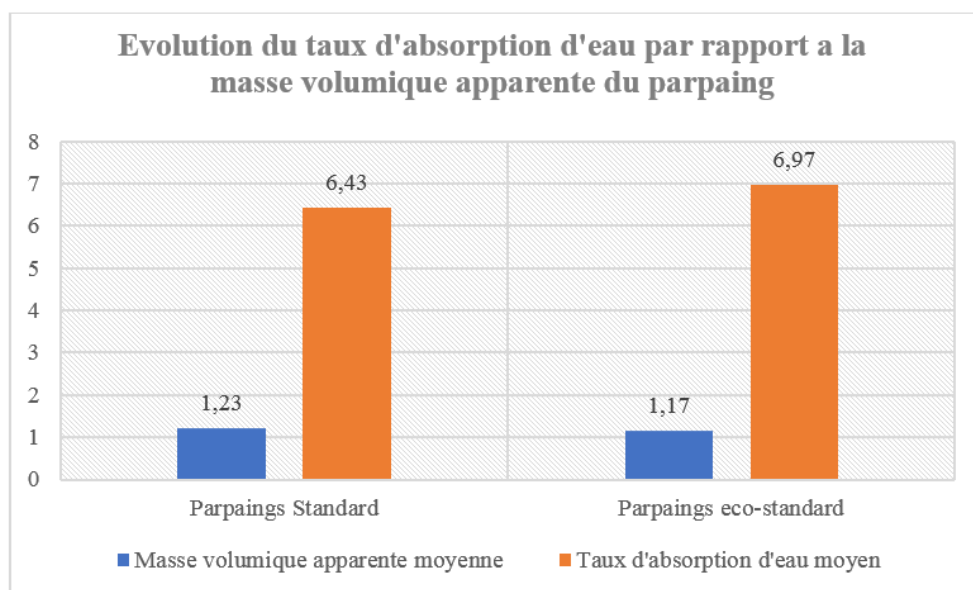
Tableau 9 : Comportement de la masse volumique apparente des blocs de parpaing

Echantillon	Références	Masse (g)	Volume net (cm ³)	Masse volumique apparent (kg/mm ³)	VM moyenne et écart-type
Parpaing standard	SP1	16251	12720	1,28	$1,23 \pm 0,035 \text{ g.cm}^3$
	SP2	15115,5	12936,3	1,17	
	SP3	15802	12960	1,22	
	SP4	15029,5	12840	1,17	
	SP5	15512	12840	1,20	
	SP6	15522,5	12840	1,20	
	SP7	15850,5	12600	1,25	
	SP8	15742,5	12780	1,24	
	SP9	15957	12780	1,25	
	SP10	15679	12720	1,23	
Parpaing Eco Standard	SE1	14592,5	12600	1,15	$1,17 \pm 0,03 \text{ g.cm}^3$
	SE2	14508,5	12600	1,15	
	SE3	14816	12600	1,17	
	SE4	14257,5	12480	1,14	
	SE5	15000	12600	1,19	
	SE6	14981,5	12120	1,23	
	SE7	14502	12480	1,16	
	SE8	14455,5	12540	1,15	
	SE9	14206	12600	1,13	
	SE10	14070	12600	1,12	

Tableau 10 : Comportement du taux d'absorption d'eau des échantillons de parpaings

Echantillon	Références	Masse sèche (g)	Masse humide (g)	Taux d'Absorption (%)	Variation moyenne et écart-type
Parpaing standard	SP1	563	598	6,22	6,43 ± 0,31 %
	SP2	339	360	6,2	
	SP3	424	450,5	6,25	
	SP4	634,5	678,5	6,93	
	SP5	391	418	6,90	
	SP6	469	498	6,18	
	SP7	546,5	583,5	6,77	
	SP8	435	462	6,21	
	SP9	642	682	6,23	
	SP10	509	541,5	6,38	
Parpaing Eco Standard	SE1	773	827,5	7,05	6,97 ± 0,17 %
	SE2	388,5	416	7,07	
	SE3	410,5	440	7,18	
	SE4	477	511	7,12	
	SE5	489,5	522	6,63	
	SE6	727,5	779	7,07	
	SE7	411,5	440,5	7,04	
	SE8	744	795	6,85	
	SE9	589,5	630	6,87	
	SE10	489	522,5	6,85	
Valeurs recommandées ≤ 7,5 la norme [22]					

Ainsi, à travers l'analyse des caractéristiques physiques précédentes des blocs à corps creux, l'observation faite est que le taux d'absorption de l'eau augmente inversement à la masse volumique apparente du parpaing. Ceci s'explique par le fait que le taux d'absorption de l'eau est un indicateur à la porosité du matériau. Ce qui corrobore avec l'analyse de l'auteur [34] qui a montré que la diminution de la porosité entraîne une densification et donc une augmentation de la masse volumique.

**Figure 7 : Évolution du taux d'absorption d'eau par rapport à la masse volumique apparente du parpaing**

3-2-4. Caractéristique mécanique : Résistance à la compression sèche

Les résultats des essais à la compression présentés dans le **Tableau 11** sont supérieurs à la valeur seuil recommandée par la norme [25] pour les parpaings standards sans tolérances et avec tolérances pour les parpaings éco-standard. Ce qui traduit le niveau de propreté des sables entrants dans la composition desdits agglomérés, car le dosage parpaings standard étant celui normalisé et celui éco-standards se situant dans les conditions préjudiciables, les résistances à la compression des deux types de parpaings restent supérieures à celle recommandée. Cette observation va en étroite ligne avec celle de l'auteur [35] qui a déclaré que le pourcentage des fines allant de 5 % à 15 % peut être utilisé dans le béton. Tout de même en ce qui concerne le sable carrière de Leboudi, il est important de signaler que la méthode de concassage est à l'origine des fines et le choix du concasseur est basé sur l'abrasivité de la roche mère, de la fraction d'alimentation du circuit et de la nature du sable requis [36]. Par ailleurs, la présence des fissures sur les échantillons des parpaings observées sur la **Figure 3** a négativement impactée les résistances à la compression évaluées.

Tableau 11 : Résultats de l'essai de résistance à la compression sèche (f_b) sur les agglomérés produits

Echantillon	Références	Force (N)	Surface (mm ²)	Résistance à la compression Rc (MPa)	Variation moyenne et écart-type
Parpaing standard	SP1	199000	60000	3,31	3,27 ± 0,03 MPa
	SP2	197000	60450	3,25	
	SP3	194000	60000	3,23	
	SP4	193000	60000	3,21	
	SP5	198000	60000	3,30	
	SP6	198000	60000	3,30	
	SP7	193000	60000	3,21	
	SP8	197000	60000	3,28	
	SP9	194000	60000	3,23	
	SP10	196000	60000	3,26	
Parpaing Eco Standard	SE1	178000	60000	2,96	2,97 ± 0,09 MPa
	SE2	180000	60000	3	
	SE3	176000	60000	2,93	
	SE4	176000	60000	2,93	
	SE5	192000	60000	3,2	
	SE6	185000	60000	3,08	
	SE7	176000	60000	2,93	
	SE8	168000	60000	2,89	
	SE9	176000	60000	2,93	
	SE10	164000	60000	2,93	
Valeurs recommandées ≥ 3 MPa selon la norme [19]					

4. Conclusion

Parvenu au terme de ce travail dont l'objectif était de caractériser les agglomérés à corps creux produits de composition massique standard et ceux éco-standard, il en ressort que :

- Le sable d'Ebedda (Seb1) est constitué des particules moyennes - petites et le sable provenant des roches magmatiques broyées de la carrière de Leboudi (SCO2) présente des particules grossières - petites ;
- Les deux sables sont très propres et présentent une absence presque totale d'argiles ainsi, sont propices à la mise en œuvre de tous types de béton ;
- Les variations dimensionnelles des hauteurs des deux types de parpaings standards et éco-standard (SP et SE) mis en œuvre sont supérieures à la valeur acceptable, ce qui n'engendre pas de risque majeur dans la construction mais une perte du point de vue économique et de la production ;
- Les masses volumiques apparentes des parpaings SP et SE ont des valeurs moyennes préconisées pour la mise en œuvre des bétons légers ;
- Les parpaings SP et SE présentent un faible taux d'absorption en eau, ce qui les rend propice à la construction compte tenu des différentes sollicitations auxquelles ils seront soumis (intempéries, affouillement, etc.) ;
- La résistance à la compression des parpaings SP et SE ont des valeurs moyennes admissibles au vue des spécifications pour éléments de maçonnerie.

Ainsi, au vue de la propreté du sable d'Ebedda et celle de Leboudi, la composition massique des agglomérés produits permet d'aboutir aux résultats conformes aux exigences techniques de mise en œuvre des bétons légers.

Références

- [1] - C. A. ROULET, " Santé et qualité de l'environnement intérieur dans les bâtiments ", collection gérer l'environnement, Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, (2004) 261 p.
- [2] - Z. ZENAGUI et H. BENYOUCEF, " Fabrication des agglomérés des bétons légers avec la pouzzolane concassée ", Mémoire d'Obtention du Diplôme de Master en Génie civil, Option : Ingénierie des Structures, Université de TLEMCEM, (2012) 75 p.
- [3] - F. B. HOUTI, " Comportement des structures en maçonnerie sous sollicitation uniaxiale ", Mémoire pour l'obtention du diplôme de Master en Génie Civil, Option : Matériaux-Structures-Géotechniques, Université Abou Bekr Belkaid - TLEMCEM, (2002) 89 p.
- [4] - S. PATTOFATTO, " Comportement dynamique du béton frais : application au procédé de fabrication des parpaings ", Thèse de doctorat de l'Ecole Normale Supérieure de Cachan, ENS Cachan, (2004) 189 p.
- [5] - I. BENOUDJAFER, N. ZEMMOURI et al, " Etude de l'amélioration de la performance énergétique des bâtiments résidentiels a climat sec et chaud ", Courrier du Savoir N-26, (2018) 245 - 258
- [6] - E. ADJOVI, O. AYNA et al, " Maçonnerie d'agglomérés spéciaux creux de ciment de 15 cm d'épaisseur : conception et estimation du cout sec total ", *Rev. Ivoir. Sci. Technol.*, (16) (2010) 51 - 68
- [7] - B. MOHAMED, " Optimisation de la composition d'un mortier de chaux en vue de l'élaboration d'un béton de chaux léger à base de copeaux de bois ", mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention d'un Master en génie civil, Faculté des sciences et de l'ingénierie, Université Amar Telidji à Laghouat, (2006) 141 p.
- [8] - Y. BERTON et P. LE BERRE, " Guide de prospection des matériaux de carrière ", Orléans Ed. France, Manuels et méthodes, NRGM N-5, BRGM, (1983) 160 p.
- [9] - P. MAURIZOT, A. ABESSOLO et al, " Etude et prospection minière du Sud-Ouest Cameroun ", Synthèse des travaux de 1978 à 1985, Rapp. BRGM 85 CMR 66, (1986) 274 p.

- [10] - J. M. REGNOULT, " Synthèse géologique du Cameroun ", Ed. MINEE du Cameroun, (1986) 119 p.
- [11] - C. M. EKENGOUÉ, R. F. LELE et al, " Influence de l'exploitation artisanale du sable sur la santé et la sécurité des artisans et l'environnement: cas de la carrière de Nkol'Ossananga, Région du Centre - Cameroun ", *European Scientific Journal May*, édition, Vol. 14, N°15, (2018) 1857 - 7881
- [12] - S. DADJIO, A. AGBOBLI et al, " Aspect sanitaire du travail des enfants dans les carrières d'exploitation de gravier et de sable dans la région Marine au Togo ", *Journal de la recherche scientifique de l'Université de Lomé*, 24 (1), Vol. 21, N° 4-1 (2019) 310 - 316 p
- [13] - J. T. J. RANDRIANANDRAINA, " Etude d'impact environnemental pour l'ouverture du projet d'exploitation de carrière aaa ANDOHAN'AMPANDRANA ", mémoire de Master 2, Université d'Antananarivo, (2015) 91 p.
- [14] - C. PETTAN, P. VERMANDE et al, " L'impact du secteur informel dans la production de l'habitat au Cameroun ", *Cah. Sci. hum.*, 37 (4) (1995) 883 - 903
- [15] - NF EN 771-4, Spécification pour éléments de maçonnerie, (2003)
- [16] - D. BALLA et S. NGOS III, " La terrasse d'Ebebda (centre du Cameroun) : preuve d'une migration de la confluence Mbam-Sanaga ", *Afrique SCIENCE*, 09 (1) (2013) 54 - 63
- [17] - NF P 18-560, Granulat-Analyse Granulométrique, (1990)
- [18] - NF P 18-304, Granulométrie des granulats, (1973)
- [19] - M. MBESSA, " Traité de génie civil ", Vol. 1 : Matériaux, Département de génie civil de l'ENSP de Yaoundé, (2005) 172 p.
- [20] - NF P 18-598, Granulat-Equivalent de sable, (1991)
- [21] - S. MBENGUE et M. ABDOUL, " Etude comparative des résultats in situ en vue de la maîtrise de la qualité : application au béton de densité normale ", *Projet de fin d'étude, Département de génie civil-centre de Thiès*, (2006) 115 p.
- [22] - L. GALTIER, " Momentos roches et minéraux industriels - Granulats ", *Rapport BRGM R37826, Service Géologique National, Département de Géologie*, (1993) 145 p.
- [23] - Centre d'Etudes et de Recherches de l'Industrie du Béton (CERIB), " Blocs en béton de granulats courants et légers ", CS 10010-28233 EPERNON CEDEX France, (2017) 116 p.
- [24] - NF EN 772-11, Méthodes d'essai des éléments de maçonnerie — Partie 11 : détermination de l'absorption de l'eau par capillarité des éléments de maçonnerie en béton de granulats, en béton cellulaire autoclave, en pierre reconstituée et naturelle et du taux initial d'absorption d'eau des éléments de maçonnerie en terre cuite, (2011)
- [25] - NF EN 772-1, Méthodes d'essai des éléments de maçonnerie — Partie 1 : détermination de la résistance à la compression, (2011)
- [26] - H. BILLHOUT, " Béton de sable : caractéristiques et pratiques d'utilisation ", *Projet National de Recherche de Développement SABLOCRETE, Université de Paris, Presse de l'Ecole des Ponts et Chaussées*, (1994) 121 p.
- [27] - B. P. HUDSON, " Manufactured sand for Concrete ", *The Indian Concrete Journal*, (1997) 237 - 240
- [28] - S. AHMAD et S. MAHMOOD, " Effects of crushed and natural sand on the properties of fresh and hardened concrete ", *33rd conference on our world in concrete and structures, Singapore*, (2008) 25 - 27
- [29] - S. ELAVENIL, B. VIJAYA et H. HARIHARAN, " Manufactured sand, a solution and an alternative to river sand and in concrete manufacturing ", *J Eng. Comput Appl Sci (JEC&AS)*, 2 (2) (2005) 20 - 24
- [30] - S. VILLALOBOS, D. A. LANGE et al, " Evaluation, testing and comparison between the crushed manufactured sand and natural sand ", *Technical Note, Dept. of Civil and Environmental Engineering, University of Illinois*, (2005) 1 - 6
- [31] - M. SHUKLA, A. K. SAHU et al, " Studies on Strength and Behaviour of Concrete by Using Stone Dust as Fine aggregate ", *Proceedings of National Seminar on Advances in Cement and Concrete*, (2000) 38 - 43

- [32] - K. K. BABU, " Performance of quarry waste as replacement of aggregate in concrete ", International Seminar on Civil Engineering Practice Roorkee, (1996) 926 - 934
- [33] - R. ILANGOVAN, N. MAHENDRAN et al, " Strength and durability properties of concrete containing quarry rock dust as fine aggregate ", ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences, Vol. 3, N° 5 (2008) 20 - 26
- [34] - I. BAKAYOKO, M. A. SERIFO et al, " Étude qualitative des parpaings les plus utilisés dans la construction des bâtiments à Abidjan ", *Afrique SCIENCE*, 15(6) (2019) 187 - 197
- [35] - N. M. JACKSON et R. H. BROWN, " Use of higher fines contents in Portland cement concrete ", ICAR 4th annual symposium, (1996)
- [36] - S. H. NORMAN, " Sand solutions : Replacing natural sand in concrete ", Special Report, (2008) 24 - 26