

Caractérisation granulaire et valorisation des sables d'altération des massifs granitiques de la carrière d'exploitation artisanale de sable de Nepenet (Bafoussam Cameroun)

[Granular characterization and valorization of the weathering sands of the granite massifs of artisanal sand harvesting of Nepenet (Bafoussam Cameroon)]

Merveilles Nguefack Ymefack¹, Clautaire Mwebi Ekengoue¹⁻²⁻³, Kossi Bollanigni Amey²⁻⁴, Rodrigue Fotie Lele²⁻³, Cherif Bishweka Biryondeke²⁻⁵⁻⁶, and Armand Kagou Dongmo¹⁻²

¹Departement des Sciences de la Terre, Laboratoire de Géologie de l'Environnement, Faculté des Sciences, Université de Dschang, Cameroun

²Association Scientifique Africaine pour l'Innovation et l'Entrepreneuriat (ASAIE), Yaoundé, Cameroun

³Green Heart International (GHI), Head Office Building Waffo Pierre, Afrique Construction Ndiandam, P O Box: 1450 Bafoussam, Cameroun

⁴Ecole Nationale Supérieure des Ingénieurs (ENSI), Université de Lomé, Togo

⁵Faculté des Sciences et Technologies Appliquées, Département de Génie Civil, Université Libre des Pays des Grands Lacs (ULPGL), Goma, RD Congo

⁶Ecole Nationale Supérieure Polytechnique (ENSP), Yaoundé, Cameroun

Copyright © 2020 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: Despite the abundance of sand mining sites observed in Cameroon and especially in the Western region, the recognition of the granular properties of these building materials remains a major issue for local builders. This study focuses on the characterization of granular properties of Nepenet sand. On-site sand samples were subjected to laboratory tests to determine their granular properties. Analysis results show that sands are clay ($SE \approx 65 < 70\%$) and medium sized ($2.5 < Mf \approx 3.175 < 3.5$). Washing makes sand coarse by loss of these fine elements ($Mf > 3.6 < 3.5\%$) with negligible improvement in their cleanliness ($SE \approx 70\%$). These natural sands are therefore not recommended for concretes. However, treatment by mechanical washing can make them suitable for concrete of good resistance to the detriment of the ease of implementation. Thus, the improvement of the quality of the sand lies in the installation of a washing device in order to make these materials cleaner.

KEYWORDS: Sand, Cameroon, granular characterization, washing, treatment.

RESUME: Malgré l'abondance des sites d'extraction de sable observés au Cameroun et particulièrement dans la région de l'Ouest, la reconnaissance des propriétés granulaires de ces matériaux de construction reste un enjeu majeur des bâtisseurs locaux. Cette étude porte sur la caractérisation des propriétés granulaires du sable de Népenet. Des échantillons de sable prélevés sur le site ont subi des essais de laboratoire pour la détermination de leurs propriétés granulaires. Les résultats des analyses montrent que les sables sont argileux ($ES \approx 65 < 70\%$) et de granulométrie moyenne ($2,5 < Mf \approx 3,175 < 3,5$). Le lavage rend le sable grossier par perte de ces éléments fins ($Mf > 3,6 < 3,5\%$) avec une amélioration négligeable de leur propreté ($ES \approx 70\%$). Ces sables à l'état naturel ne sont donc pas recommandés pour les bétons. Néanmoins un traitement par lavage mécanique

peut les rendre adapté au béton de bonne résistance au détriment de la facilité de mise en œuvre. Ainsi l'amélioration de la qualité dudit sable réside en la mise en place d'un dispositif de lavage permettant de rendre ces matériaux plus propres.

MOTS-CLEFS: Sable, Cameroun, caractérisation granulaire, traitement, lavage.

1 INTRODUCTION

Le sable est l'une des matières premières la plus utilisée au monde après l'eau et l'air. Bien qu'il soit classé parmi les minéraux de développement dits « négligés » [1]. Au Cameroun comme ailleurs, ce matériau de construction est d'importance capitale dans le Génie Civil [2], [3] et les travaux de construction d'ouvrage d'Art. En effet, engagé dans le processus de pays émergent à l'horizon 2035 [4], le gouvernement Camerounais a entrepris la réalisation de grands travaux tels que la construction des routes, des autoroutes, des stades et de multiples autres infrastructures de nature diverse sur toute l'étendue du territoire national. Ce qui nécessite d'importantes quantités de matériaux de construction tels que le gravier, le ciment, la latérite, la pouzzolane et notamment le sable. A Bafoussam, comme pour le cas des villes de Yaoundé (Capitale politique) et Douala (Capitale économique), de nombreux chantiers à caractère individuel et publique sont entrepris. Comme conséquence, l'on assiste à une augmentation progressive de la demande en sable, matérialisée par l'exploitation abusive des massifs granitiques et basaltiques dégradés par le phénomène d'érosion. Face à cette demande de plus en plus grandissante de ces différents matériaux de construction, de nouveaux sites sont découverts dont celui de Nepenet qui est une carrière artisanale en pleine exploitation dans l'arrondissement de Bafoussam III, plus précisément dans la localité de Kouabang I, à Bamougoum [5], [6].

L'utilisation des sables dans le génie civil met en interaction les ciments, gravier (dans certains cas) et eau avec des dosages choisis dans la plupart des cas sur la base de l'expérience. Cette méthode ne permet pas une meilleure utilisation de ces matériaux de construction où leurs propriétés granulaires, variant d'un gisement à l'autre, ne sont pas prises en compte. Comme conséquences, on observe dans la ville de Bafoussam et environs une mauvaise tenue des enduits des revêtements sur les murs, la fissuration et l'effritement des poutres et des poteaux ainsi que la ruine des ouvrages dans certains cas. A contrario, les résultats de l'enquête ouverte auprès des populations riveraines, portant sur la qualité du sable des montages en général et celui de Nepenet en particulier, ont montré que ce sable est à 67% de bonne qualité et à 14% de très bonne qualité. Ces résultats antagonistes constituent la principale cause de notre motivation à s'investir à l'étude des propriétés granulaires du sable de la carrière de Nepenet dans la ville de Bafoussam. Nepenet est la localité du village Kouabang I, une agglomération de la ville de Bafoussam, situé à 5 km environs du centre urbain. Sur le plan géographique, Nepenet est situé entre les coordonnées N5°24'; 5°34' de Latitude et E10°20'; 10°26' de Longitude. Le massif granitique en exploitation artisanale qui fait l'objet de cette étude est représenté par la figure 1 et la figure 2.

L'objectif de cette étude est de caractériser ce sable de Nepenet en vue de déterminer le traitement nécessaire permettant son utilisation comme granulats de béton. Les propriétés granulaires sont déterminées à savoir: l'Equivalent de sable, la granulométrie, le module de finesse et la densité, en vue de proposer des mesures d'atténuation des risques issus de l'utilisation de ces matériaux de construction.

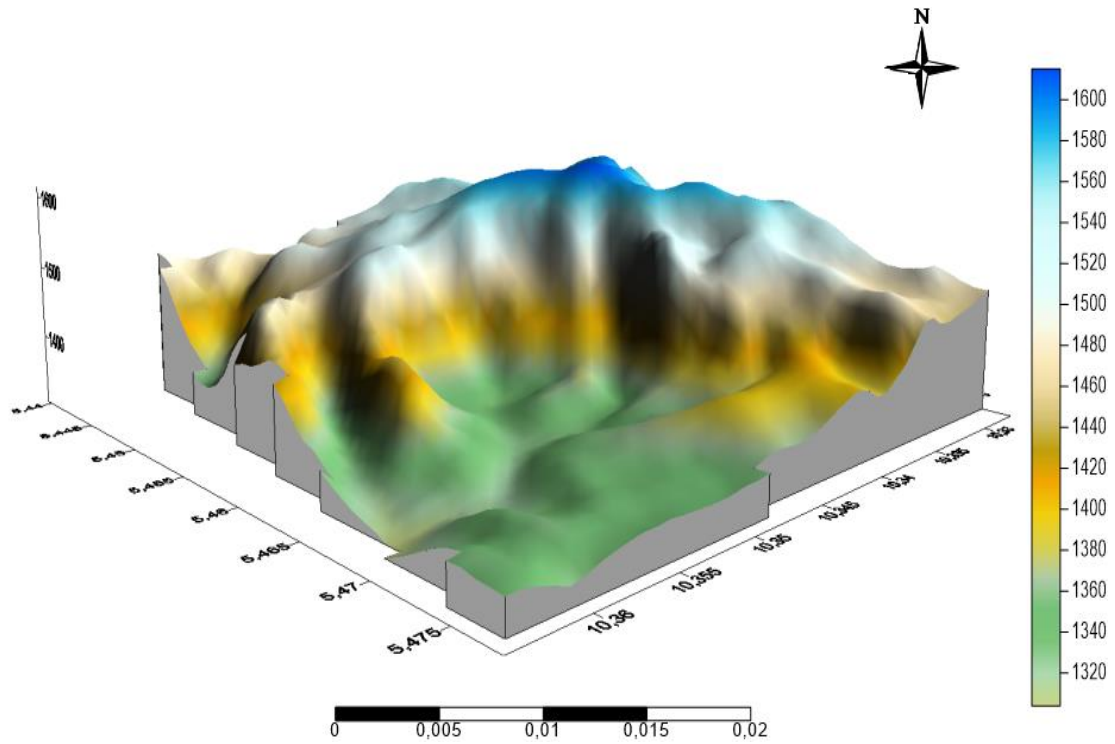


Fig. 1. Représentation numérique 3D de la carrière de sable de Népenet

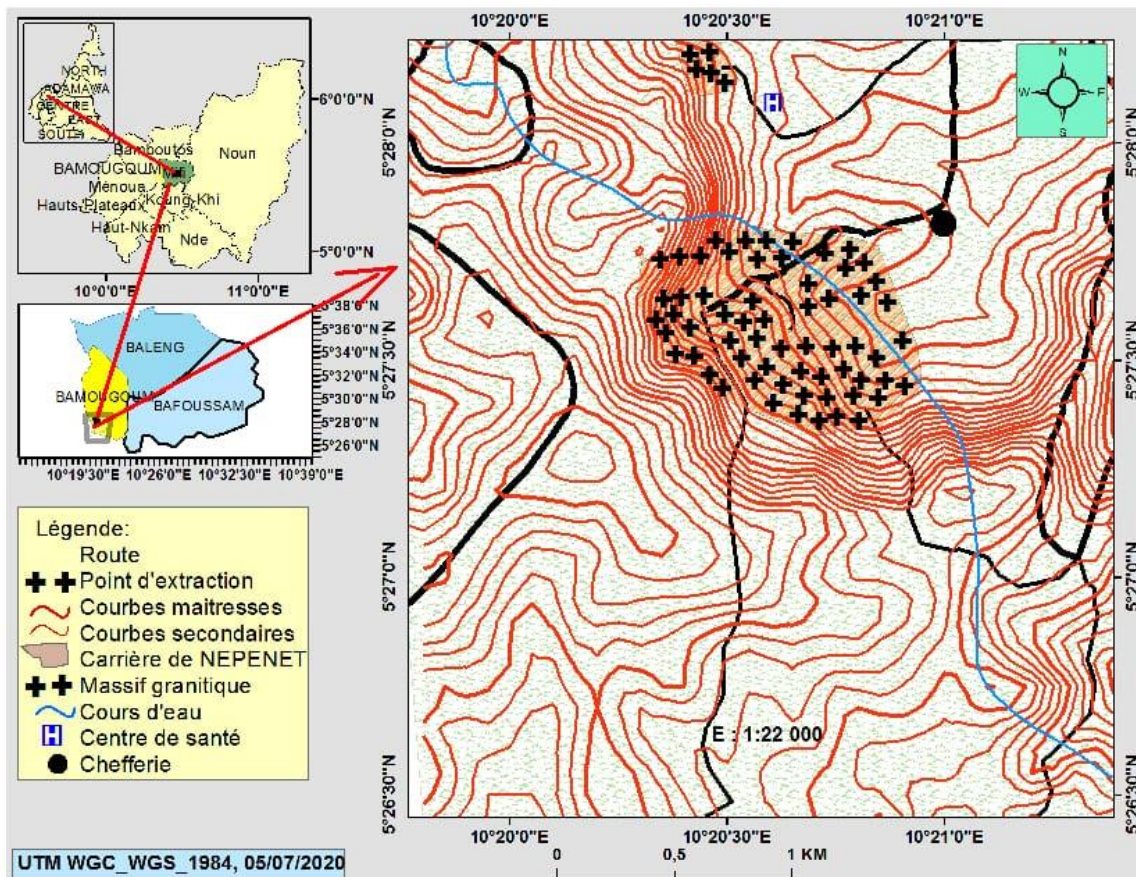


Fig. 2. Carte de localisation de la carrière de NEPENET

2 MATÉRIEL ET MÉTHODOLOGIE

2.1 MATÉRIEL

Pour mener à bien cette étude, plusieurs outils sont utilisés:

- Un GPS de marque GARMIN et caractéristique Etrex 20, 64sx, pour les relever des coordonnées géographiques;
- Un marteau du géologue, pour l'échantillonnage des roches afin de mieux identifier les minéraux présents;
- Une loupe binoculaire de marque Dmitriy Shpilko, pour l'identification du matériau;
- Un appareil complet d'équivalent de sable de marque TECKAMAT pour la propreté des sables;
- Une série de Tamis avec des mailles carrées de tailles: 0,063-0,08-0,125-0,25-0,5-1-2-4 et 5 pour l'analyse granulométrique
- Une balance électronique de marque SILVERCREST, de charge maximale 5000 g et de précision 0,1 g;
- Une étuve de marque TECKAMAT de température maximale de 250°C et de précision de 5°C, pour la conservation des sables
- Un équipement complet de mesure de poids spécifique: Pycnomètre et accessoires
- Un équipement complet de mesure de la densité apparente
- Un logiciel Arcgis pour dresser la carte de localisation de la zone d'étude
- Un logiciel Surfer 12 pour sortir l'image 3D de notre zone d'étude
- Google Earth Pro pour l'extraction de l'image satellitaire de la zone d'étude

2.2 MÉTHODOLOGIE

Les coordonnées géographiques collectées ont permis de ressortir d'une part le model numérique 3D (Fig. 1) ainsi que la carte de localisation de la zone d'étude (Fig. 2), et pour mener les enquêtes auprès des populations utilisant le sable provenant de la carrière de Népenet. Environ 50Kg de sables collectés sont soumis à des essais dans le laboratoire de Sol Solution Afrique Centrale conformément aux normes NF EN 933-1 [7], NF EN 933-2 [8], NF ISO 9276-1 [9], NF ISO 9276-2 [10], NF ISO 9276-4 [11], NF EN 933-8 [12], NF EN 12620 [13], NF P 18-304 [14], NF X 11-630 [15]. Les propriétés granulaires déterminés sont: l'Equivalent de Sable, l'Analyse Granulométrique, les densités absolue (poids spécifique) et apparente. Les échantillonnages sont faits par quartage.

3 RÉSULTATS

3.1 ORGANISATION ET DESCRIPTION DE L'ACTIVITÉ D'EXPLOITATION DE LA CARRIÈRE DE NÉPENET

L'exploitation artisanale du sable de Népenet est hiérarchiquement organisée. Cette exploitation se fait en quatre grandes étapes: le creusement, le lavage, le stockage et la vente. Le creusement (Fig. 3a) est l'activité qui consiste à creuser le sol du massif en exploitation. Le lavage quant à lui est l'opération qui consiste à nettoyer le matériau extrait avec de l'eau afin d'y extraire l'argile (Fig. 3b). Les eaux de lavage proviennent directement de trois étangs (Fig. 3c), construits manuellement par les artisans. Ces étangs, de volumes respectifs 30m×25m×2m; 13m×12m×1,80m et 15m×10m×2m suivant leur longueur, largeur et profondeur, tirent respectivement leur approvisionnement du captage d'une partie des eaux du réseau d'adduction gravitaire en eau potable du village, et de deux points de source naturelle d'eau en surface. Une fois pleins, l'eau emprisonnée dans les différents étangs est libérée à partir du troisième étang inférieur. Cette eau emporte et lave le sable creusé et posé sur son passage au fur et à mesure de son écoulement (Fig. 3d), qui dure 6h30 minutes environs dans les conditions les plus favorables. En effet, les étangs sont liés de manière continue par des passerelles de circulation d'eau, ouvertes ou non en fonction des périodes de stockage ou d'utilisation.



Fig. 3. Vues partielles de la carrière d'exploitation. (a) creusement du sable par un artisan, (b) lavage du sable, (c) étang de stockage d'eau dans la carrière, (d) lavage du sable par les eaux provenant des étangs, (e) bassin de rétention du sable lavé, (f) pelles manuelle utilisé par les artisans pendant l'exploitation du sable, (g, h) tas de sables déjà lavés, stocké et prête à commercialisation, (i) commercialisation du sable à Nepenet.

C'est ainsi que le sable « sale » emporté par les courants d'eau sur une distance moyenne de 400 m, est lavé et recueillie à la sortie d'un bassin en aval créé à cet effet (Fig. 3e). Ce bassin est doté d'un système de sortie contrôlé, haut de 1,5 m, construit en bois local, laissant voir un agencement horizontal de bois plats et une ouverture centrale rectangulaire de 100 cm sur 20 cm. Au fur et à mesure que l'on s'éloigne de celle-ci, le sable est recueilli des eaux, moyennant l'utilisation de pelles manuelles (Fig. 3f) puis, stocké en différents tas [Fig. 3 (g, h)] en vue de leur commercialisation (fig. 3i).

3.2 RÉSULTATS D'ANALYSE DES ÉCHANTILLONS AU LABORATOIRE

Les résultats d'analyses des échantillons au laboratoire sont donnés par les figures 4 à 8.

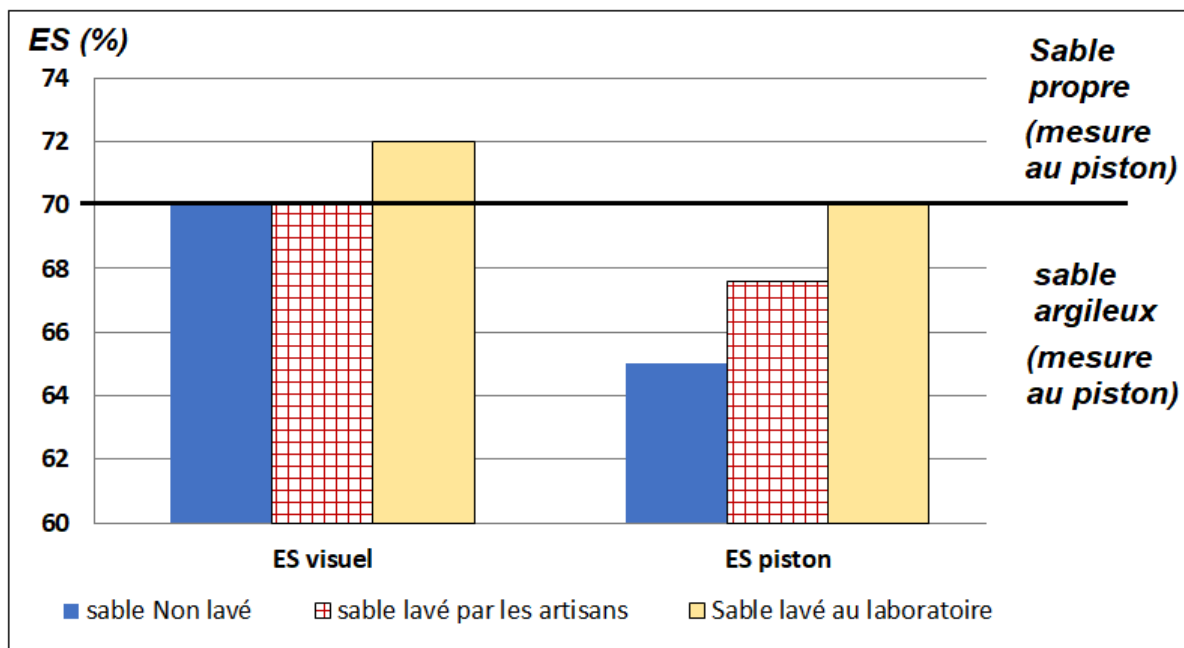


Fig. 4. Equivalents de sable des matériaux lavés et non lavés

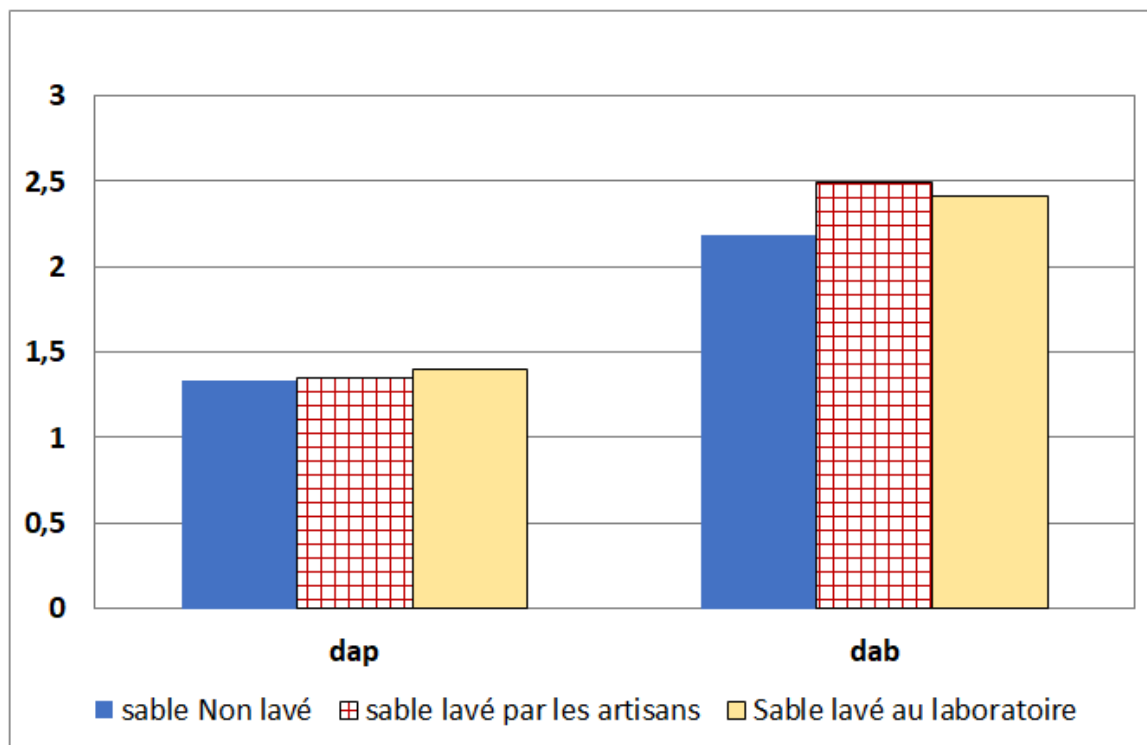


Fig. 5. Densité des matériaux lavés et non lavés

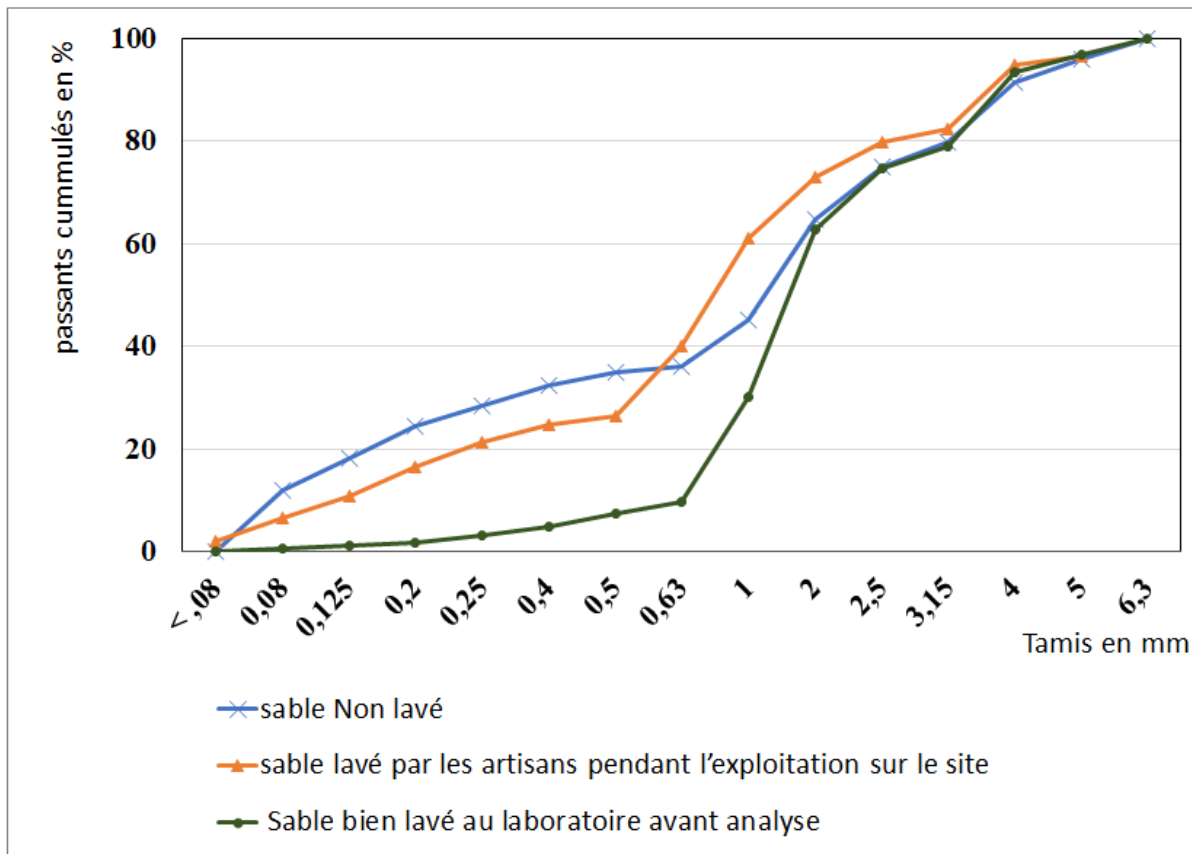


Fig. 6. Courbe granulométrique des matériaux lavés et non lavés

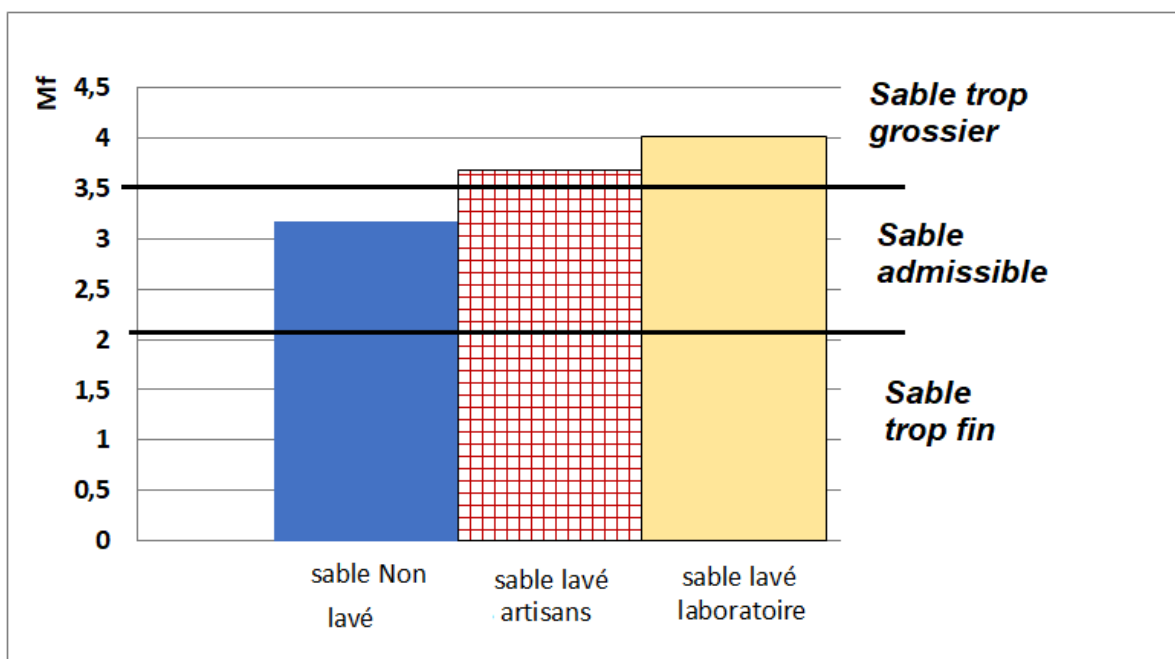


Fig. 7. Module de finesse des matériaux lavés ou non

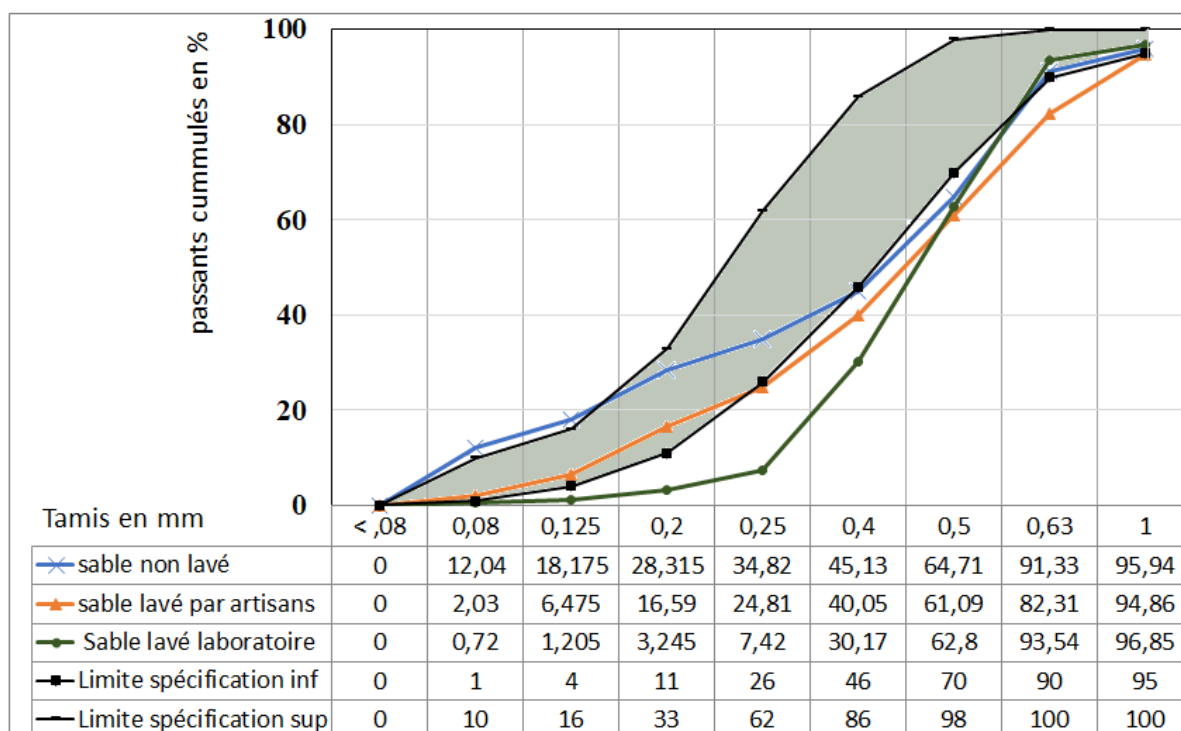


Fig. 8. Courbe granulométrique des matériaux lavés et non lavés dans le fuseau de spécification

Les résultats montrent que :

- Les sables ont une densité apparente de 1,33 sans lavage à 1,35 après lavage (Fig. 5). Ils sont de granulats adaptés aux bétons classiques.
- Quel que soit le mode de traitement, le module de finesse est compris entre 2,5 et 3,5 pour les sables non-lavés ($Mf \approx 3,175$) et supérieur à 3,5 ($Mf \approx 3,685$ et $4,016$) pour les sables lavés (Fig. 7). Ces résultats sont confirmés par les courbes granulométriques des trois sables (fig. 8). En effet, elles montrent que seuls les sables non-lavés sont 50% dans le fuseau alors que ceux lavés sont dans la zone des gros grains du fuseau de spécification. Les sables non-lavés ont donc une granulométrie adaptée à la production des bétons classiques tandis que ceux lavés sont adaptés aux bétons dont on recherche une résistance élevée au détriment de l'ouvrabilité.
- Seuls les sables lavés au laboratoire présentent un équivalent de sable de 70% (Fig. 4). Les sables non-lavés et lavés par les artisans ont des équivalents de sable inférieurs à 70% ($ES \approx 65$ et $67,59\%$). Ils comportent donc d'éléments argileux ne permettant pas leur utilisation dans le béton.

4 DISCUSSIONS ET RECOMMANDATIONS

4.1 DISCUSSIONS

L'équivalent de Sable porté sur les échantillons provenant de la carrière de Nepenet a donné 67,59% pour la valeur au piston. Ces résultats, proches de ceux qu'ont obtenus Amey et al. [16], [17] 66,32% au Togo et par Taha-Hocine et Salim [18] en Algérie (65,73%), indiquent qu'il s'agit d'un sable légèrement argileux, au regard des recommandations indiqués par la norme NF P 18-598 [19]. En effet, la valeur 67,59 est très éloigné de celle obtenue par Happi [20] ($ES > 90$) lors de ses études portant sur la caractérisation de la production dans les sablières alluvionnaires de la Lékié et perspective de son amélioration: cas de la sablière de l'amitié (Nkol'Ossananga). Au regard de ce qui précède, cette différence justifie l'écart de propreté entre le sable alluvionnaire (sable Sanaga) et les sables éluvionnaires des hauts plateaux de l'Ouest. Ce résultat a été prévisible et reste jusqu'ici pas surprenant, car, contrairement aux sables de mer qui bénéficient de l'aspect dynamique de l'eau de mer donc très propres et dépourvus d'éléments fins [21], [22], [23], [24], [25] les sables silteux ne bénéficient pas de ce phénomène. Ils sont de plus couverts de terres végétales souvent fines et argileuses qui contribuent à les enrichir en éléments fins et argileux provenant du phénomène d'entraînement par les eaux pluviales qui s'infiltrent dans les sols [16]. En outre, le mode d'extraction

de ces matériaux de construction contribue aussi à la pollution de ces sables par un mauvais dégagement de la couverture végétale avant extraction [24], [25]. Par conséquent, pour ce qui est de leur utilisation pour la fabrication des bétons, ces sables ont des propriétés qui les écartent des composants de bétons classiques, et sont plutôt mieux adaptés aux bétons dont la facilité de mise en œuvre est plus recherchée au détriment de la résistance du béton fabriqué. Ce qui pourrait être la cause du résultat antagoniste obtenu lors des enquêtes de terrain, où jusqu'à 67% de la population enquêtée affirme qu'il s'agit d'un sable de bonne qualité, justifié par leur état de satisfaction.

Le traitement par la population de ce sable par lavage ne garantit toujours pas sa propreté ($ES=67,59\% < 70$) et sa granulométrie ($Mf > 3,684 > 3,5$) pour son utilisation dans le béton. Car ils comportent toujours d'éléments argileux qui sont des sources d'affaiblissement des résistances des bétons, et la diminution des éléments fins rendant le matériau trop grossier (Fig. 4, 7 et 8). Seul le lavage au laboratoire permet d'atteindre la juste limite de la propreté du sable pour béton ($ES=70\%$) et rendant le matériau plus grossier ($Mf=4,015$). Il est donc possible de procéder à un traitement de ce matériau par un lavage efficace pour le transformé en matériau pour béton sans ignorer qu'il provoque la disparition des éléments fins donnant ainsi un matériau mal gradué. Un meilleur système permettant de valoriser ces matériaux de construction réside donc en l'utilisation d'un système de lavage plus approprié.

4.2 RECOMMANDATIONS

Etant donné que les matériaux non-lavés ou lavés manuellement ne s'approprient pas à la production de béton de qualité, il est souhaitable que:

- Le mode lavage soit mécanisé pour garantir la qualité de ce matériau.
- A défaut de la mécanisation du procédé de lavage, une étude de formulation de béton et mortier soit faite spécifiquement avant toute utilisation de ce matériau [17], [26], [27].

5 CONCLUSION

L'activité d'exploitation du sable représente de nos jours un secteur important pour l'économie camerounaise. Cette étude est réalisée dans le but de déterminer les propriétés granulaires du sable de la carrière de Nepenet dans la localité de Kouabang I en vue d'assurer la sécurité et la durabilité des ouvrages. Des enquêtes menées auprès des intervenants dans le sable de cette carrière à savoir les exploitants, les acheteurs et les utilisateurs du sable provenant de ladite carrière sont menées suivi des essais de laboratoire réalisés sur les échantillons de sable. Le matériau à l'état naturel est argileux et n'est pas adapté aux travaux de béton ($ES \approx 64$). Traité par lavage, il devient propre ($ES \approx 70$) mais trop grossier ($Mf \approx 4,015 > 3,5$), s'adaptant aux bétons dont la résistance est recherchée au détriment de la facilité de mise en œuvre. Il est donc possible d'opérer un traitement par lavage mécanique permettant de réduire les risques de dégradation des ouvrages.

REFERENCES

- [1] Clautaire Mwebi Ekengoue; Rodrigue Fotie Lele; Armand Kagou Dongmo, 2018; « 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*, 14 (15): 246-268., Doi: 10.19044/esj.2018.v14n15p246, 2018.
URL: <http://dx.doi.org/10.19044/esj.2018.v14n15p246>.
- [2] Gavriletea M. D., "Environmental impacts of sand exploitation. Analysis of sand market", *Journal of sustainability* 1118 (9): 1-26, 2017.
- [3] Padmalal D., Maya, K., "Sand Mining: Environmental Impacts and Selected Case Studies", Springer: Berlin, Germany, 2014.
- [4] Ngouanfo S. N., « Impacts Socio-économique de l'exploitation artisanale du sable dans la localité de KOABANG 1 (Ouest Cameroun) », 2016.
- [5] PCD., Plan Communal de Développement de la commune d'arrondissement de Bafoussam 3ème, 2013.
- [6] NF EN 933-1 (1997), Essais pour déterminer les caractéristiques géométriques des granulats, Partie 1: Détermination de la granularité – Analyse granulométrique par tamisage.
- [7] NF EN 933-2 (1996), Essais pour déterminer les caractéristiques géométriques des granulats, Partie 2: Détermination de la granularité – Tamis de contrôle, dimensions nominales des ouvertures.
- [8] NF ISO 9276-1 (1998), Représentation de données obtenues par analyse granulométrique - Partie 1: Représentation graphique.

- [9] NF ISO 9276-2 (2001), Représentation de données obtenues par analyse granulométrique - Partie 2: Calcul des tailles / diamètres moyens des particules et de moments à partir de distributions granulométriques.
- [10] NF ISO 9276-4 (2001), Représentation de données obtenues par analyse granulométrique - Partie 4: Caractéristique d'un processus de triage.
- [11] NF EN 933-8 (1999), Essais pour déterminer les caractéristiques géométriques des granulats, Partie 8: Evaluation du fin-Equivalent de sable.
- [12] NF EN 12620 (2002), Granulats pour béton.
- [13] NF P 18-304 (1973), Granulométrie des granulats.
- [14] NF X 11-630 (2001), Granulométrie – Vocabulaire.
- [15] Amey K. B., Neglo K., Tamba S. et Johnson A. K. C., « Caractérisation physique de sables silteux au Togo », Afrique SCIENCE, 10 (2) (2014) 53 - 69 53, ISSN 1813-548X, <https://www.ajol.info/index.php/afsci/article/view/109653>, 2014.
- [16] Amey K. B., « Formulation de la composition des mortiers-Etude expérimentale faite sur les sables silteux », Editions Universitaires Européennes, ISBN: 978-613-8-44027-7; OmniScriptum Publishing Group, Germany, 2018.
- [17] Taha-Honice D., Guettala S., « Effets de divers types de sables sur les propriétés d'un béton autoplaçant », Journée nationale du béton (JNB), Troisième conférence du génie civil et de la planification urbaine, 2017.
- [18] NF P 18-598 (1991), Granulats - Équivalent de sable - GRANULATE.
- [19] Happi T. W., « Caractérisation de la production dans les sablières alluvionnaires de la Lékié et perspective de son amélioration: cas de la sablière de l'amitié (Nkol'Ossananga) », Département des Sciences de la Terre, Université de Dschang, 70p., 2015.
- [20] Amey K. B., Bedja K et Neglo K., « Etude de l'évolution transversale des distributions différentielle et cumulative et de la classe granulaire », Journal de la Recherche Scientifique de l'Université de Lomé, ISSN: 2413-354X; 2005 Série E; Volume 7 (2): 135-142; <https://www.ajol.info/index.php/jrsul/article/view/119075>, 2005.
- [21] Amey K. B., « Caractérisation des sédiments sableux du littoral togolais: Expérimentation et détermination d'une formule de sable normal », Thèse de Doctorat unique en science de l'ingénieur, Université de Lomé au Togo, 2006.
- [22] Amey K. B., Bédja K., Neglo K., « Distribution longitudinale de la granulométrie du sable littoral togolais: Grain moyen, sorting index et skewness », Journal des Sciences Pour l'Ingénieur, African Journals Online (AJOL), ISSN: 0851-4453, N°8 2007, pages 1 à 8., 2007.
- [23] Amey K. B., « Potentialité granulaire des sédiments sableux des littoraux- lois et modèles de distribution », Editions Universitaires Européennes, ISBN: 978-613-9-53347-3; OmniScriptum Publishing Group, Germany, 2020.
- [24] AMEY Kossi BOLLANIGNI, NEGLO Kouma; 2018; « Characterisations of Parameters of Granularity of Sediments from Togolese Littoral: Granular Potential »; American Journal of Applied Sciences; Science Publications; ISSN Print: 1546-9239; ISSN Online: 1554-3641; Volume 15; Issue 8; 2018; page n° 399-408.
doi: 10.3844/ajassp.2018.399.408;
<http://thescipub.com/abstract/10.3844/ofsp.12132>;
<https://thescipub.com/pdf/10.3844/ajassp.2018.399.408>.
- [25] Kemgang Y. L. D., « Evaluation de la pollution de l'eau due à l'activité de la sablière de Tsoutsang en vue de proposer des mesures d'atténuation », Mémoire de Master professionnel, Département des Sciences de la Terre, Université de Dschang, 54p., 2015.
- [26] Amey K. B., Samah O. D., Neglo K., Amoussou K., Sounsah K. M., Tchamdja B., « Experimental Study of the Formulation of Mortar Based on Silty Sand of Togo », American Journal of Civil Engineering and Architecture, Science and Education Publishing, ISSN: 2328-3998, volume 6 No. 5 page N° 172-179.
doi: 10.12691/ajcea-6-5-1., <http://pubs.sciepub.com/ajcea/6/5/1>, 2018.