



Full Length Research Paper

Propriétés des sables utilisés dans la construction au Congo et formulation d'un sable normalisé local.

Raymond Gentil ELENGA^{1*}, Louis AHOUE^{1,2}, Ngombé ITOUA¹, Serge KONDA¹, Guy Richard MOUENGUE²

¹Laboratoire des Matériaux et Energies, Faculté des Sciences et Techniques, Université Marien Ngouabi – Brazzaville.

²Bureau de Contrôle du Bâtiment et Travaux Publics, Brazzaville, Congo

Received July 2018 – Accepted November 2018



*Corresponding author. E-mail: rgelenga@gmail.com

Author(s) agree that this article remain permanently open access under the terms of the Creative Commons Attribution License 4.0 International License.

Résumé:

En dépit des gisements de sable qu'ils recèlent, beaucoup de pays africains continuent d'importer du sable normalisé pour évaluer la qualité des ciments. Le coût élevé de ce sable limite les tests, ce qui conduit parfois aux drames. L'objectif de ce travail est de caractériser cinq des sables les plus utilisés dans la construction au Congo et de chercher un substitut local au sable normalisé importé. Les analyses minéralogiques et géotechniques révèlent que ces sables ont une teneur en silice inférieure au 98 % requis par la norme européenne et qu'ils sont plus fins que les sables normalisés. Toutefois, ils sont conformes aux normes britannique, sud-africaine et américaine pour la fabrication du mortier. Les propriétés mécaniques de ces mortiers sont inférieures à celles du mortier du sable normalisé mais sont fortement corrélées avec ces dernières. La reformulation des sables locaux améliore fortement les propriétés mécaniques du mortier. Le sable reformulé de la rivière Likouala aux herbes donne des propriétés mécaniques identiques avec celles du sable normalisé. Des relations analytiques simples ont été trouvées entre les résistances mécaniques des mortiers des sables locaux et celles du sable normalisé ce qui devrait permettre de les utiliser pour tester les ciments.

Mots-clefs : Sable normalisé ; Géotechnique ; Formulation ; Mortier ; Analyse granulométrique ; Ciments

Citez cet article:

Raymond Gentil ELENGA, Louis AHOUE¹, Ngombé ITOUA, Serge KONDA, Guy R. MOUENGUE (2018). Propriétés des sables utilisés dans la construction au Congo et formulation d'un sable normalisé local. Revue. RAMReS – Sci. Appl. & de l'Ing., Vol. 3(1), pp. 7-13. ISSN 2312-8712.

1. Introduction

Durant ces deux dernières décennies, en Afrique subsaharienne, la croissance de la demande en ciment était de 5 à 12 % par année [1,2]. Cette croissance a été principalement tirée par la construction des infrastructures de base (routes, aéroports, barrages hydro-électriques...) et les logements en raison de la croissance démographique et de l'urbanisation accélérée.

Pour satisfaire cette demande, ces pays importent du ciment de différents pays tout en développant la production locale. Cependant, ces ciments sont présentés suivant des standards étrangers variés (ISO, British standards (BS), Normes Françaises (NF)...) et en général les normes locales ne sont pas encore définies [3]. La référence totale à des normes étrangères ne permet pas la prise en compte de l'environnement local et la valorisation des ressources locales avec leurs spécificités [3,4]. De plus, l'utilisation de ces normes nécessite des équipements et des produits souvent très coûteux et qui ne sont pas toujours disponibles [5]. C'est ainsi que souvent les

essais préliminaires ne sont pas toujours effectués. Cette insuffisance de contrôle conjuguée parfois à celle de la qualification des techniciens expliquent, tout au moins en partie, la détérioration prématurée des ouvrages avec quelques fois des tragédies humaines [4]. Au Congo par exemple, pour les grands travaux publics, la qualité du ciment est contrôlée conformément à la norme NF EN 196-1 qui utilise comme sable normalisé le sable de Leucate (France). Ce sable naturel a des grains ronds, une teneur en silice d'au moins 98 % et une granularité standardisée. Le prix d'1 g de ce sable à Brazzaville est égal à celui de 9000 g du sable local. A notre connaissance, la situation est la même dans les autres pays d'Afrique centrale. Pourtant, ces pays ont beaucoup de gisements de sable [6] qui pourraient être utilisés pour formuler un sable normalisé. Produire localement ce sable présente plusieurs avantages: valorisation des matériaux locaux, réduction du coût des tests, création d'emplois, etc.

Des études sur la formulation du sable normalisé en Afrique sont rares. Au Sénégal, Diop et al. ont formulé un sable local en cherchant à retrouver la granularité du

sable normalisé de Leucate et à avoir un mortier avec les propriétés mécaniques du mortier à base du sable normalisé [8]. Cependant, ils n'avaient pas déterminé la composition minéralogique de leur sable. Une parfaite reproduction du sable normalisé faciliterait la comparaison des résultats d'un laboratoire à un autre. Mais une corrélation fiable entre les propriétés mécaniques du mortier à base d'un sable local et celles du mortier à base du sable normalisé est suffisante pour évaluer la qualité des ciments. En effet, la connaissance de la relation mathématique entre les propriétés mécaniques des deux mortiers permettrait d'élaborer un abaque qui donnerait, connaissant la résistance du mortier local, la résistance du mortier avec le sable normalisé, comme cela se fait pour toute mesure indirecte.

L'objectif de ce travail est, d'une part, de caractériser les sables les plus utilisés dans la construction au Congo et, d'autre part, de chercher parmi ces sables et leurs mélanges, un substitut au sable normalisé importé. Pour cela, la composition minéralogique et les propriétés géotechniques de ces sables seront déterminées ainsi que les corrélations entre les propriétés mécaniques des mortiers à base de ces sables et celles du mortier du sable normalisé.

2. Matériels et méthodes

2.1. Sables

Les sables locaux utilisés ont été fournis par le Bureau de Contrôle du Bâtiment et Travaux Publics du Congo. Ils sont parmi les plus utilisés au Congo pour la construction. Trois d'entre eux sont des sables de rivière: la rivière Sangha à Ouessou (1° 37' 03" N 16° 03' 04" E), la rivière "Likouala aux herbes" à Makoua (0°0' N, 15°38 E) et le fleuve Congo à Brazzaville (4.29 S, 15.30 E). Le quatrième est le sable de grès concassé d'Inkissi, au sud de Brazzaville, et le cinquième est un sable de dune prélevé à Ngamakosso, au nord de Brazzaville (4.19 S, 15.29 E).

Pour déterminer la composition chimique des sables en éléments majeurs, des analyses ont été faites à l'aide d'un spectromètre à fluorescence X Hermo Niton FXL équipé d'une anode en argent et d'un tube à RX 50 kV/400µA/10 W. Avant analyse, les échantillons étaient séchés puis compressés en pastilles. Les analyses ont été réalisées sous hélium pour augmenter la sensibilité en éléments légers. L'appareil est muni d'un logiciel de traitement.

L'analyse granulométrique des différents sables a été réalisée conformément à la norme NE 933-1. Pour chaque échantillon, 200 g préalablement étuvés pendant 24 h à 105 °C ont été tamisés à travers une série mécanisée de tamis de 0,08; 0,100; 0,315; 0,63; 1,25 et 2,5 mm.

L'équivalent de sable, la valeur au bleu de méthylène et la densité des échantillons ont été respectivement mesurés conformément aux normes NF EN 933-8, NF EN 933-9 and ISO/TS 17892-12.

2.1. Ciments

Deux ciments de classes 32.5 et 42.5, CEM I 32.5 N et CEM II/ A-V 42.5 R respectivement fournis par les sociétés SONOCC et UNIBECO ont été utilisés et

leurs propriétés sont rapportées dans les tableaux 1 et 2.

Tableau 1: Propriétés physico-chimiques du ciment CEM I 32.5 N déterminées conformément aux normes ASTM et communiquées par le Bureau du Contrôle du Bâtiment et Travaux Publics.

Composition chimique (ASTM C 150)	(%)	Limites
Al ₂ O ₃	4,65	≤ 6,0
Fe ₂ O ₃	3,40	≤ 6,0
Mgo	1,84	≤ 6,0
SO ₃	1,82	≤ 3,0
Pertes au feu	11,5	≤ 3,0
Insoluble	2,55	≤ 0,75
C ₃ A	6,6	≤ 6,0
C ₃ S	55	50 -70
K ₂ O	0,58	≤ 0,60
Equivalent alcalin	0,03	≤ 0,1
SiO ₂	17,14	-
Na ₂ O	0,33	-

Propriétés physiques et mécaniques (Unité ; norme ASTM)		
Début de la prise (min ; C 191)	170	≥ 60
Fin de la prise (min ; C 191)	235	≤ 720 (RC-09)
Teneur en air du mortier (% ; C 185)	10,8	12
Finesse, surface spécifique (m ² /kg ; C 204)	439	≥ 280
Dilatation à l'autoclave (min ; C 151)	0,0	≤ 10
Résistance compression à 3 jours (MPa ; C109)	15,8	≥ 10,0
Résistance compression à 7 jours (MPa ; C109)	20,1	≥ 17,0

Tableau 2: Propriétés physico-chimiques du ciment CEM II/ A-V 42.5 R déterminées conformément à la norme UNE-EN 197-1: 2011 et communiquées par la société.

Composition chimique	Valeur (%)	Limites
Pertes au feu	3,10	-
Insoluble	9,10	-
SO ₃	2,90	≤ 4
Cl	0,03	≤ 0,1

Propriétés physiques et Mécaniques		
Début de la prise (min)	170	≥ 60
Fin de la prise (min)	235	≤ 720 (RC-09)
Dilatation (mm)	0,0	≤ 10
Résistance à la compression à 2 jours (MPa)	29,7	≥ 20,0
Résistance à la compression à 28 jours (MPa)	54,5	42,5-62,5

2. Résultats et discussion

2.1. Caractéristiques physiques des sables

Tous les sables examinés, à l'exception du sable d'Inkissi, ont des grains émoussés, ronds ou ovoïdes. Ces résultats sont en accord avec ceux rapportés par Giresse et al. [9] et par Delaume et al. [10] qui ont

expliqué cette morphologie par le fait que ces sables provenant de la formation de Carnot et des sables batékés auraient déjà subis des remaniements. Beaucoup de normes se fondent sur l'analyse granulométrique pour évaluer la qualité des sables. La figure 1 représente les courbes granulométriques des différents sables étudiés. Ces courbes sont accompagnées du fuseau de référence de la norme européenne qui est beaucoup utilisée en Afrique, de celui de la norme du Qatar qui est plus tolérante, et de celui des sables pour mortiers de l'Afrique du Sud. Toutes les courbes des sables locaux utilisés sont au-dessus du fuseau de référence européen mais sont proches de la limite supérieure du fuseau du Qatar. Par contre, tous ces sables sont conformes aux normes SABS 1090, ASTM C144 et BS1200 type G pour la fabrication des mortiers [11]. Ainsi, ces sables à l'état naturel sont plus fins que les sables standards, et notamment leur granularité n'est pas conforme aux prescriptions européennes. Mais, il est maintenant admis que l'allure de la courbe granulométrique ne suffit pas pour apprécier complètement la qualité d'un sable, et un sable peut être reformé. En effet, des études montrent que le remplacement partiel d'un sable de rivière (sable grossier) par un sable de dune (sable fin) peut améliorer les propriétés mécaniques du béton en réduisant sa porosité [12,13].

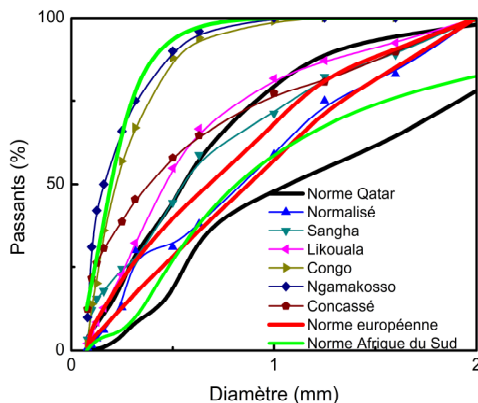


Figure 1. Courbes granulométriques des six sables avec les fuseaux des normes européenne, du Qatar et de l'Afrique du sud.

Le tableau 3 rapporte des caractéristiques physiques des différents sables. La valeur au bleu de méthylène de tous les sables est de 0,1 et leur équivalent de sable est supérieur à 85 hormis celui du sable concassé. Ainsi, d'après le Guide des terrassements routiers 2000, ces sables sont insensibles à l'eau et presque dépourvus d'argile. Ce résultat est en accord avec ceux rapportés par Moukolo et al. [14] et Delaune et al. [10] qui avaient déjà constaté que l'érosion chimique est prépondérante pour le fleuve Congo et ses affluents, et qu'au niveau de Brazzaville les limons, les argiles et la matière organique en suspension ne se déposent quasiment pas, leur teneur restant constante en amont et en aval de Brazzaville.

Tableau 3 : Caractéristiques physiques des sables étudiés. Louk = Likouala aux herbes, Sang = Sangha, Cong = Fleuve Congo, Nga = Dune de Ngamakosso, Conc = Concassé d'Inkissi. Es = Equivalent de sable (%), D = diamètre moyen (mm), F = Fines (%), Da = Densité apparente, Mf = Module de finesse, Vb = Valeur au bleu de méthylène, C_c = Coefficient de courbure, C_u = Coefficient d'uniformité.

Sable	Es	D	F	Mf	C _c	C _u	Da	Vb
Likou	94	0,5	1	2,0	1,2	4,3	1,5	0,1
Sang	91	0,5	2	2,2	1,5	6,4	1,5	0,1
Cong	89	0,2	4	1,1	0,8	2,7	1,5	0,1
Nga	86	0,2	6	0,8	0,6	2,5	1,5	0,1
Conc	65	0,4	9	1,8	0,6	6,0	1,4	0,1

De l'examen des courbes et des grandeurs physiques, il ressort que les caractéristiques du sable de Ngamakosso sont proches de celles du sable du fleuve Congo, et celles du sable de la rivière Likouala aux herbes sont proches de celles du sable de la rivière Sangha.

90 % de la masse des sables de Ngamakosso et du fleuve Congo sont constitués de grains de taille comprise entre 0,09 et 0,5 mm avec respectivement un diamètre moyen de 0,18 et 0,23 mm. Ce spectre étroit des tailles des grains dans le domaine des sables fins se traduit par des faibles modules de finesse (0,8 et 1,01, soit des valeurs deux fois plus faibles que celles du minimum autorisé par la norme européenne EN), du coefficient de courbure et du coefficient d'uniformité. Les valeurs obtenues de ces grandeurs y compris celle de la densité sont semblables à celles rapportées pour des sables de dune [12,15]. Selon la norme NF EN ISO 14688-2, ces deux sables sont mal gradués alors que les sables normalisés sont bien gradués. Ces sables faiblement gradués sont difficiles à compacter et donnent des mortiers avec de faibles propriétés mécaniques [15,16,17]. La ressemblance entre le sable du fleuve Congo et celui de Ngamakosso qui est une dune située au bord du fleuve et en amont du lieu de prélèvement du sable du fleuve suggère que le sable du fleuve dragué et qui gêne l'accès au port fluvial de Brazzaville proviendrait pour une bonne part de l'érosion du sable des collines nord de Brazzaville dont la couverture végétale a été détruite par les populations riveraines. La distribution en taille des grains de ces deux sables correspond à celles rapportées dans la littérature pour des sables aériens. Les fonctions de discrimination de Sahu [18] classent ces deux sables parmi les sables aériens alors que les trois autres sont classés parmi les sables de rivière. Des études récentes indiquent en effet une origine éolienne pour ces sols de couverture [19,20].

Les sables des rivières Likouala aux herbes et Sangha ont des caractéristiques plus proches de la limite supérieure autorisée. Cette ressemblance entre ces deux sables pourrait s'expliquer par le fait que ces rivières drainent la même région et ont des cours similaires. Ces sables sont plus fins que ceux de rivière étudiés par Benchaa Benabed et al. [16] et Weiguo Shen et al. [21] dont les modules de finesse (Mf) sont respectivement de 2,45 et 2,83. Mais ils ont quasiment le même module de finesse que le sable de rivière utilisé comme sable de référence en Australie (Mf = 2,158 et Cu = 2,885) [12]. Les densités apparentes de ces deux sables sont dans l'intervalle autorisé (2,63-2,67) [15].

Le sable concassé du grès d'Inkissi a un coefficient d'uniformité dans l'intervalle de celui des sables normalisés mais a un diamètre moyen plus faible. Cette faible valeur du diamètre moyen s'explique par un taux de fines supérieur aux valeurs autorisées. Cependant, sa valeur au bleu de méthylène, tout comme celles des autres sables étant inférieure à 1, ce sable est quasiment dépourvu d'argile. Les fines du sable d'Inkissi résultent essentiellement du concassage de la roche.

2.2. Composition chimique des sables

La composition chimique en éléments majeurs des différents sables est rapportée dans le tableau 4. Tous les sables naturels ont une teneur en silice supérieure à 90 % mais inférieure aux 98 % requis par la norme NF EN 196 – 1 : 2006. Les sables du fleuve Congo et de Ngamakosso sont les plus riches en silice. Le deuxième élément majeur des sables naturels est l'hématite alors que celui du sable concassé est l'alumine. Les mêmes oxydes furent déjà trouvés dans les éléments en suspension dans les eaux du fleuve Congo et de ses affluents mais l'alumine y est le deuxième oxyde et l'hématite le troisième [14,22].

Tableau 4 : Composition chimique en éléments majeurs des différents sables.

Oxyde	Sables				
	Conca	Congo	Likou	Ngama	Sangha
SiO2	85,99	97,46	92,89	95,14	91,59
Fe2O3	2,70	1,58	2,10	2,65	3,44
Al2O3	6,88	0,15	0,12	0,53	0,80
K2O	2,47	0,05	0,02	< LOD	0,32
CaO	0,70	0,55	0,44	0,40	0,45
SrO	0,21	0,12	0,10	0,04	< LOD
MnO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01
TiO2	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
MgO	0,32	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD
Total	99,27	99,90	95,66	98,75	96,61

2.3. Résistances mécaniques des mortiers

2.3.1. Etalonnage avec les sables naturels.

Les résistances en compression et en flexion des mortiers fabriqués avec les différents sables naturels sont systématiquement inférieures à celles du mortier du sable normalisé (figures 2 à 5). Comme le présageait l'analyse des courbes granulométriques, à 28 jours, les résistances mécaniques des mortiers avec les sables de concassage, Ngamakosso et du fleuve Congo sont les plus faibles. Ces valeurs sont de l'ordre de

grandeur de celles obtenues avec des sables de dunes mais sont suffisantes pour un usage général à l'extérieur et à l'intérieur [11]. On peut aussi constater que pour ces sables-ci, quand le module de finesse passe de 2,2 à 1,8, la résistance mécanique diminue de près de 50% comme l'avaient rapporté Lim et al. [23]. Mais en deçà de 1,8, l'influence du module de finesse est beaucoup plus faible.

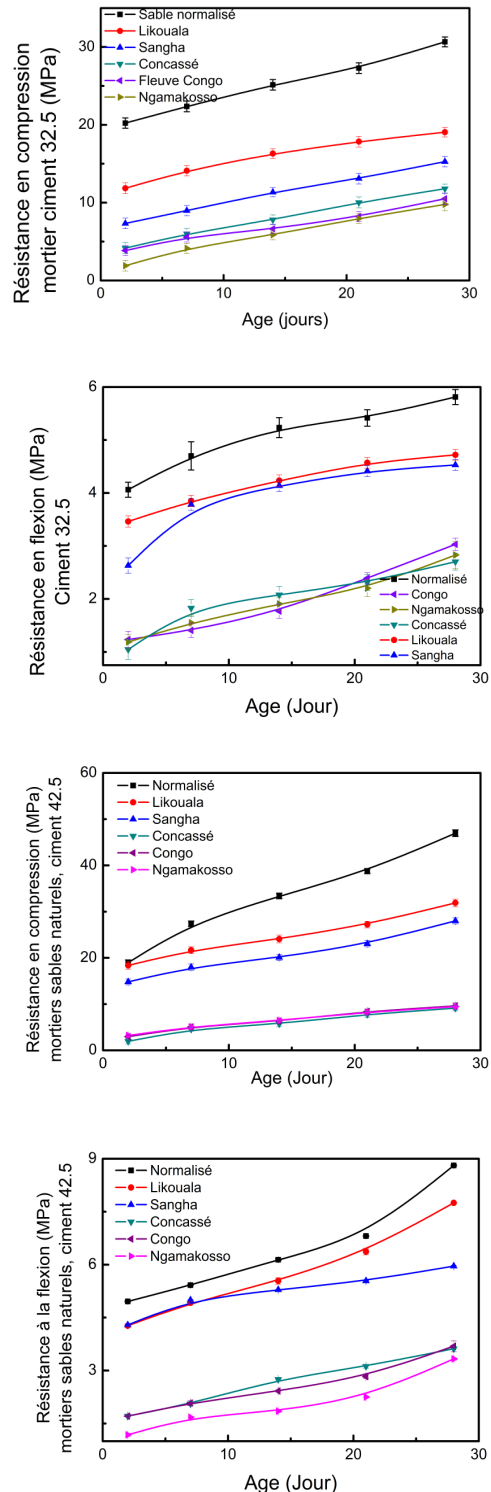


Figure 2 : Résistances mécaniques en compression et en flexion des mortiers de sables naturels et du sable normalisé avec les ciments 32.5 et 42.5 en fonction de l'âge du mortier.

Comme on peut le constater, il y a une forte corrélation entre la résistance du mortier du sable normalisé et celle des sables naturels. La figure 3 qui représentent les résistances en compression des mortiers des sables naturels en fonction de leur équivalent du sable normalisé illustre cette corrélation.

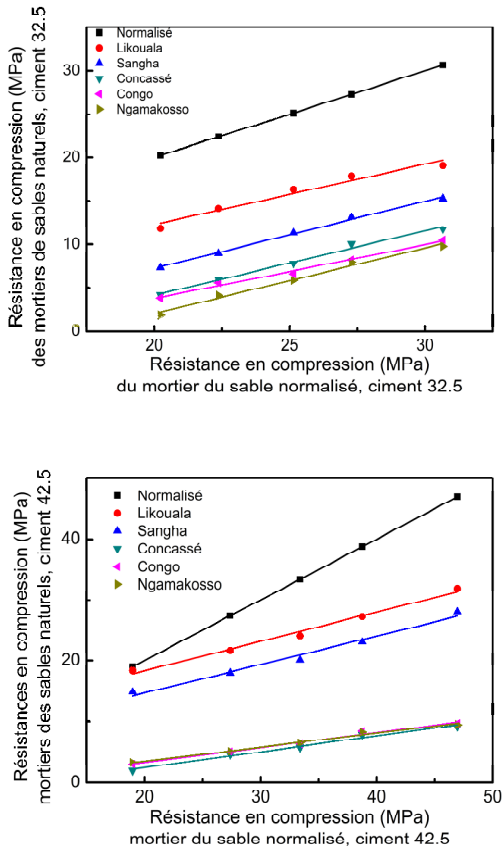


Figure 3 : Résistances mécaniques en compression des mortiers de sables naturels avec les ciments 32.5 et 42.5 en fonction de celle du mortier du sable normalisé.

Les relations linéaires entre ces résistances sont rapportées dans le tableau 5.

En vue d'améliorer la corrélation entre le sable normalisé et les sables locaux, ces derniers ont été reformulés pour que leur courbe granulométrique soit la plus proche possible de la courbe moyenne du fuseau de la norme européenne. La figure 4 représente les résistances en compression des mortiers de ces sables reformulés avec celle du sable normal.

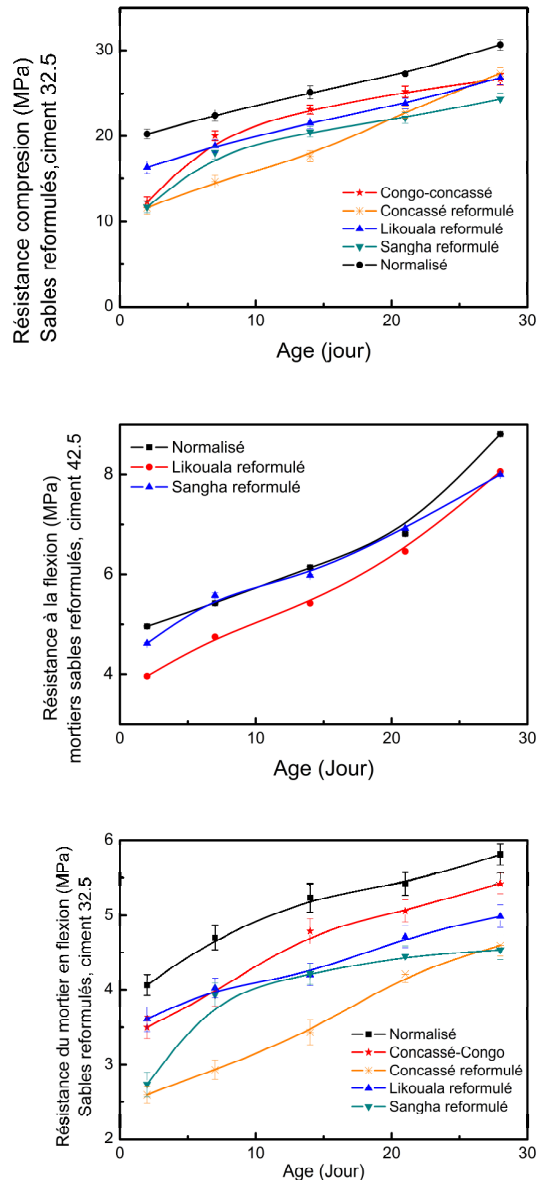
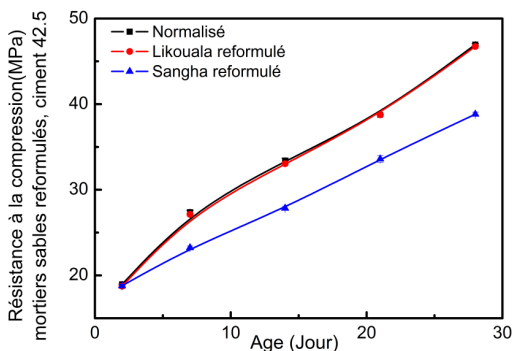


Figure 4 : Résistances mécaniques en compression et en flexion des mortiers de sables reformulés et du sable normalisé avec les ciments 32.5 et 42.5 en fonction de l'âge du mortier.

Il en ressort que la reformulation améliore significativement les résistances mécaniques. Pour le ciment 42.5, les résistances en compression des mortiers des sables reconstitués sont quasiment égales à celle du mortier du sable normalisé. Par contre, l'augmentation est moins importante avec le ciment 32.5 qu'avec le ciment 42.5. Les coefficients de corrélation, les relations de conversion entre les résistances des sables locaux et celle du sable normal ainsi que leurs coefficients de détermination sont aussi rapportés dans le tableau 5.

Tableau 5 : Coefficient de corrélation et relation analytique avec coefficient de détermination (R^2) et écart type (SD) entre la résistance du mortier du sable normal et celle de chacun des sables locaux naturels ou reformulés. Corrél = coefficient de corrélation, ref = reformulé, conca = concassé.

Compression ciment 42.5				
Sable	Corrél	Relation	R^2	SD
Likouala	0,994	$2,08x - 17,92$	0,989	0,637
Sangha	0,991	$2,13x - 11,32$	0,982	0,780
Concassé	0,993	$3,84x + 10,77$	0,986	0,385
Congo	0,992	$4,17x + 6,83$	0,985	0,377
Ngamakosso	0,995	$4,35x + 4,96$	0,989	0,295
Likouala rec	1,000	$x + 0,32$	1,000	0,140
Sangha rec	0,994	$1,35x - 5,24$	0,987	1,039

Compression ciment 32.5				
Sable	Corrél	Relation	R^2	SD
Congo	0,995	$1,62x + 13,83$	0,990	0,290
Ngamakosso	0,994	$1,33x + 17,32$	0,988	0,398
Concassé	0,995	$1,33x + 14,27$	0,991	0,343
Sangha	0,998	$1,3x + 10,67$	0,997	0,204
Likouala	0,981	$1,45x + 2,38$	0,963	0,644
Sangha ref	0,942	$0,89x + 7,84$	0,887	1,886
concas ref	0,994	$0,65x + 12,87$	0,987	0,817
Cong-conc	0,919	$0,78x + 8,44$	0,846	2,589
Likouala ref	0,999	$x + 3,8$	0,998	0,214

Flexion ciment 32.5				
Sable	Corrél	Relation	R^2	SD
Likouala	0,989	$1,33x + 0,49$	0,976	0,093
Sangha	0,965	$0,92x + 1,45$	0,931	0,232
Concassé	0,989	$1,11x + 2,84$	0,979	0,104
Ngamakosso	0,965	$1,12x + 2,88$	0,931	0,190
Congo	0,917	$x + 3,09$	0,841	0,341
Congo-conca	0,990	$0,86x + 1,12$	0,980	0,130
conca ref	0,951	$0,85x + 2,03$	0,905	0,299
Likouala ref	0,963	$1,28x - 0,49$	0,927	0,171
Sangha ref	0,948	$0,98x + 1,16$	0,900	0,268

3. Conclusion

L'objectif de ce travail était de caractériser cinq sables parmi les plus utilisés dans la construction au Congo et de rechercher parmi eux un substitut au sable normalisé importé. Les analyses révèlent que ces sables locaux sont fins par rapport à la norme européenne relative au sable normalisé. De plus, leur teneur en silice est légèrement inférieure au 98% requis. Toutefois, les sables de la Likouala aux herbes et de la sangha entrent dans les normes du Qatar, et tous les sables locaux

étudiés sont conformes aux normes britannique, sud-africaine et américaine pour la fabrication des mortiers. Les résistances mécaniques des mortiers de ces sables naturels quoique inférieures à celle de leur équivalent du sable normalisé, présentent une corrélation supérieure à 0,94 avec celle-ci. La reformulation de ces sables améliore notablement les propriétés mécaniques des mortiers. Le sable reformulé de la rivière Likouala aux herbes donne les mêmes résistances mécaniques que le sable normalisé. Les relations analytiques simples trouvées permettent de déduire la résistance équivalente du mortier du sable normalisé connaissant celle avec le sable local, ouvrant ainsi la possibilité de tester les ciments avec du sable local.

REFERENCES

- [1] The Infrastructure Consortium for Africa (ICA). Infrastructure financing trends in Africa-2015. ICA report 2015. www.icafrica.org
- [2] World Bank and African Development Bank. Africa Infrastructure Knowledge Program. Handbook on infrastructure statistics, 2011. <http://www.infrastructureafrica.org/>
- [3] Marinescu, M. V. A., Schmidt, W., Msinjili, N. S., Uzoegbo, H. C., Stipanovic Oslakovic, I., Kumaran, G.S., Brouwers, H. J. H., Kuehne, H. - C., Rogge, A. Recent Developments and Perspectives Regarding the Standardisation and Quality Surveillance of Cement in the East, Central and South African Region. Proceedings of the 13th International Congress on the Chemistry of Cement. Ed. A. Palomo, A. Zaragoza, J.C. Lopez. - Madrid, Spain : Instituto de ciencias de la construccion "Eduardo Torroja" CSIC, 2011.
- [4] Schmidt, W., Radlinska, A., Nmai, C., Buregyeya, A., Lai W. L., Kou, S. Why does Africa need African concrete? An observation of concrete in Europe, America, and Asia—and conclusions for Africa. In International Conference on Advances in Cement and Concrete Technology in Africa, Johannesburg, South Africa (pp. 1139-1148), 2013.
- [5] Mubila, M., Moolman, A., Zyl, W. V., Kokil, B., Lufumpa, C. L. Study on Road Infrastructure Costs: Analysis of Unit Costs and Cost Overruns of Road Infrastructure Projects in Africa. Statistics department. Africa Development Bank. www.afdb.org, 2014.
- [6] Giresse, P. Carte sédimentologique du plateau continental du Congo. O.R.S.T.O.M. Paris, 1980.
- [7] Institut National pour l'étude agronomique du Congo Belge. Carte des sols et de la végétation du Congo Belge et du Ruanda-Urundi. Bruxelles, 1960.
- [8] Diop, M. B., Lo, P. G., Bouguerra, A. Une nouvelle méthode d'élaboration d'un sable normal pour la classification des ciments axée sur les matériaux locaux : cas du Sénégal. Journal des Sciences vol 1 N° 1, 2001.
- [9] Giresse, P., Ouettinengué, R., Barusseau, J. P. Minéralogie et microgranulométrie des suspensions et des alluvions du Congo et de l'Oubangui. Sci. géo. Bull., 43, 2-4, 1990.
- [10] Delaume, M., Jouanneau, M., Harle J. Granulométrie et minéralogie des suspensions particulières des fleuves Congo et Oubangui. Grands bassins fluviaux. Paris, 1993
- [11] Glencross-Grant, R., Walker, P. Survey of building sands in Australia. Construction and Building Materials 17, 2003.

- [12] Luo F. J., He, L., Pan, Z., Duan, W. H., Zhao, X. L., Collins, F. Effect of very fine particles on workability and strength of concrete made with dune sand. *Construction and Building Materials* 47, 2013.
- [13] Reddy, B. V. V., Gupta, A. Influence of sand grading on the characteristics of mortars and soil-cement block masonry. *Construction and Building Materials* 22, 2008.
- [14] Moukolo, N., Laraque, A., Olivry, J. C., Bricquet, J. P. Transport en solution et en suspension par le fleuve Congo (Zaïre) et ses affluents de la rive droite. *Hydrological sciences, Journal des sciences hydrologiques* 38,2,4, 1993
- [15] Elipe, M. G. M. López-Querol. S. Aeolian sands: Characterization, options of improvement and possible employment in construction – The State-of-the-art. *Construction and Building Materials* 73, 2014
- [16] Benchaa Benabed, B., El-Hadj Kadri, Azzouz, L., Kenai, S. Properties of self-compacting mortar made with various types of sand. *Cement & Concrete Composites* 34, 2012.
- [17] Venkatarama Reddy, B.V., Gupta, A. Influence of sand grading on the characteristics of mortars and soil-cement block masonry. *Construction and Building Materials* 22, 2008.
- [18] Sahu, B. K. J. *Sediment. Res.* 34,1, 1964
- [19] Miyouna T., Malounguila-Nganga D. M., Essouli O. F., Ndembé-Ndembé A. J., Moussiessié J., Kinga Mouzéo, Boudzoumou F. Etude paléoenvironnementale des dépôts détritiques de la formation de couverture du bassin côtier du Congo *Rev. Cames* 4, 1, 2016.
- [20] Thieblemont, D. Evidence for an Aeolian origin of the Holocene lateritic surface cover of Gabon. *Quat. Int.* 296, 2013.
- [21] Shen, W., Yang, Z., Cao, L., Cao, L., Liu, Y., Yang, H., Lu, Z., Bai, J. Characterization of manufactured sand: Particle shape, surface texture and behavior in concrete. *Construction and Building materials.* 114, 2016.
- [22] Kinga Mouzéo. Transport particulaire actuel du fleuve Congo et quelques affluents : enregistrement Quaternaire dans l'éventail détritique profond (sédimentologie, minéralogie et géochimie). Thèse Doc. Univ. Perpignan, 1986.
- [23] Lim, S. K., Tan, C. S., Chen, K. P., Lee, M. L., Lee, W. P. Effect of different sand grading on strength properties of cement grout. *Construction and Building Materials*, 38, 2013.