

CARACTERISATION PHYSIQUE DES SABLES DE RIVIERES EN VUE DE LEUR MEILLEURE UTILISATION DANS LA CONFECTION DES BETONS

[PHYSICAL CHARACTERIZATION OF RIVER SAND FOR BEST USE IN THE MANUFACTURE OF CONCRETE]

Tatiana KAMGA DJOUMEN¹, Chérif BISHWEKA BIRYONDEKE², Grégoire KAMDJO³, and François NGAPGUE³

¹Institut Universitaire de la Côte, Douala, Cameroun

²Faculté des Sciences et Technologies Appliquées / Génie Civil, Université Libre des Pays des Grands Lacs (ULPGL/Goma), Goma, Nord-Kivu, RD Congo

³Institut Universitaire de Technologie Fotso Victor, Université de Dschang, BP134 Bandjoun, Cameroun

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

ABSTRACT: Despite the gradual professionalization of the construction sector as well as the abundance of sand mining sites offered by the Western Cameroon Region, ignorance of materials by local builders persists. In the present work, the physical characterization of river sands of Santchou Sub-Division in Cameroon is performed. Experimental laboratory studies show that sand equivalent is greater than 80%; therefore, these materials are clean sands for concrete manufacture. The Materials from Ntingue and Fombap are well-graded. As for materials from Faungwa are poorly graded. The fineness modulus of Fombap materials indicates that they can be used as sand for concrete manufacture, provided to use Portland cement. Materials from Ntingue and Faungwa are of very high fineness modulus; therefore, particle size distribution requires correction before their use in formulating concrete. For such a correction, it is proposed their association with Fombap sand in suitably chosen proportions using tables obtained in this work. The formulation should be carried out using one of the modern methods. Compression tests on concrete samples made up with these proposals provide good resistance, which demonstrates their validity.

KEYWORDS: Sand, physical characterization, materials, concrete.

RESUME: Malgré la professionnalisation progressive du secteur de la construction ainsi que l'abondance de sites d'extraction de sable qu'offrent la Région de l'Ouest-Cameroun, la méconnaissance des matériaux par les bâtisseurs locaux persiste. Dans le présent travail, la caractérisation physique des sables de rivières de l'Arrondissement de Santchou au Cameroun est effectuée. Les études expérimentales en laboratoire montrent des équivalents de sable supérieurs à 80%, indiquant que ces matériaux sont des sables propres pour la confection des bétons. Les matériaux de Ntingue et de Fombap sont des sables moyens de granulométrie étalée et bien graduée. Quant aux matériaux de Faungwa, ils constituent un gros sable de granulométrie mal graduée. Les valeurs du module de finesse des matériaux de Fombap indiquent qu'ils peuvent être utilisés comme sables pour bétons, à condition d'employer le ciment Portland. Les matériaux de Ntingue et de Faungwa, de module de finesse très élevé, nécessitent une correction granulométrique avant leur utilisation dans la confection des bétons. A cet effet, il est proposé comme moyen de correction, leur association au sable de Fombap à des proportions convenablement choisies à l'aide des tableaux élaborés dans le présent travail. La formulation devra être effectuée à l'aide de l'une des méthodes modernes. Les essais de compression effectués sur les éprouvettes de béton confectionnées à l'aide de ces propositions donnent des bonnes résistances, ce qui atteste de leur validité.

MOTS-CLEFS: Sable, caractérisation physique, matériaux, béton.

1 INTRODUCTION

Situé entre le 5°10' et 5°20' de latitude Nord et le 10°20' et 10°21' de longitude Est, l'Arrondissement de Santchou a une superficie de 316,2 km²; soit 75,91% de la superficie du Département de la Ménoua. Avec une altitude d'environ 700m, l'Arrondissement de Santchou appartient au plateau méridional camerounais et fait partie de la plaine des Mbô. Il est caractérisé par un climat chaud et humide du type Camerounéen, avec un régime des pluies pseudo-tropical, les précipitations de mousson masquent la petite saison sèche (Chevalier, 1993). Dans les zones de hautes altitudes du Département de la Ménoua, les zones situées en amont de Santchou connaissent des pluies abondantes. La saison pluvieuse s'étend essentiellement sur huit mois, avec des précipitations dont la moyenne varie de 1225mm (2008) à 2271mm (2012), avec une moyenne annuelle de 1719 mm [1]. Ces pluies abondantes favorisent la richesse des nappes d'eau souterraines en même temps qu'elles lèvent le niveau des rivières et des sources diverses. Pendant la saison pluvieuse, les eaux des divers origines coulent vers les rivières principales principaux en trainant avec elles des grandes quantités des matériaux qu'elles lavent pendant leur parcours. Ces matériaux lavés ainsi naturellement par des eaux s'accumulent sur les lits des rivières Ménoua et Nkam. Le long de ces rivières, les populations ont créé des carrières d'extraction des granulats en énormes quantités. Ces dernières sont largement utilisées à Santchou et ses environs (Dschang, Melon, Nkonsamba, Loum etc.) pour la confection des bétons et des mortiers. Cependant les dosages en différents constituants de ces derniers sont choisis le plus souvent sur la base de l'expérience qui, sans être inutile, n'est pas suffisante pour une meilleure utilisation de ce patrimoine de développement. Il s'en suit des conséquences néfastes dans le rendement économique des investissements dans l'immobilier (mauvaise tenue dans les enduits de revêtement sur les murs, fissuration et effritement des poutres, des linteaux, des poteaux et même la ruine des ouvrages).

La présente étude a pour objectif la caractérisation des sables de Santchou en vue d'une meilleure utilisation dans la confection des bétons. Pour atteindre cet objectif, il est nécessaire d'effectuer les tâches ci-après:

- Prélèvement des échantillons représentatif des sables de de Fombap (rivière Ménoua) et de Faungwa (rivière Nkam) choisis en raison de leur abondance et de leur forte utilisation ;
- Réalisation des essais de laboratoire, classification les matériaux;
- Elaboration des propositions en vue d'une meilleure utilisation des matériaux étudiés.

2 MATERIELS ET METHODES

Dans l'Arrondissement de Santchou, plusieurs carrières de sable sont ouvertes. Un inventaire de ces dernières au cours de nombreuses descentes sur le terrain a permis d'opérer un choix afférent à l'étude. Les carrières de Ntingue et de Fombap sur la rivière Ménoua, ainsi que celle de Faungwa sur la rivière le Nkam ont retenu notre attention du fait de l'abondance des matériaux qu'elles fournissent.

2.1 TRAVAUX SUR LE TERRAIN

Le principal travail sur le terrain a consisté au prélèvement des échantillons. Les échantillons de sable de chaque carrière ont été prélevés à partir des grands tas prêts à être livrés sur le marché. Les prélèvements ont été effectués de manière représentative au sommet, au milieu et à la base de chaque tas. Les échantillons de sable, prélevés soigneusement dans chaque carrière ont été emballés dans des sacs en polystyrène et étiquetés. Ils ont été utilisés pour les essais d'analyse granulométrique, d'équivalent de sable, de détermination des masses volumiques absolue et apparente, de la densité sèche maximale, de l'indice des vides, de la porosité et l'essai de compression du béton à 7 et à 28 jours.

2.2 TRAVAUX EN LABORATOIRE

La teneur en eau a été déterminée par étuvage des matériaux conformément aux prescriptions de la norme NF P 18-050 [2]. L'analyse granulométrique a été effectuée par voie sèche suivant les prescriptions des normes NF P 54-056 [3]. L'équivalent de sable a été déterminé suivant la norme NF P 18 – 598 [4]. La masse volumique absolue a été déterminée par la mesure des grains solides au pycnomètre et par pesées successives suivant les recommandations de la norme NF P 94 – 054 [5]. La masse volumique apparente a été étudiée à l'aide de la méthode du ballon [6]. L'indice des vides et la porosité ont été déterminés par calcul à l'aide des relations qui existent entre les paramètres d'état des sols.

En ce qui concerne la formulation des bétons, dans le présent travail, la méthode « courante » et la méthode C.E.S. ont été utilisées. La première, restant la plus utilisée dans la plupart des chantiers, préconise généralement les dosages ci-après :

deux brouettées de 60 litres de sable, une brouettée de 60 litres de gravillons, dosage en eau visuel. Dans la deuxième méthode, les dosages en différents constituants sont déterminés par calcul en tenant compte de la qualité et de la composition granulométrique des granulats, de la dimension « D » du plus gros granulats, de la consistance et de la résistance en compression désirées et des moyens de mise en œuvre.

3 RESULTATS ET INTERPRETATIONS

Une bonne connaissance des caractéristiques des granulats permet de mieux les utiliser dans la construction. Les caractéristiques physiques des sables de Santchou présentées dans ce paragraphe sont essentiellement les paramètres de densité, l'équivalent de sable et la composition granulométrique.

3.1 PARAMÈTRES DE DENSITÉ DES SABLES

Les valeurs de la masse volumique absolue, de la masse volumique sèche, de la porosité et de l'indice des vides des sables étudiés sont présentées dans le tableau 1.

Tableau 1 : Paramètres de densité des sables de Santchou

Paramètres	Type de sable		
	Sable de la carrière de Ntingue	Sable de la carrière de Fombap	Sable de la carrière de Faungwa
Masse volumique sèche ρ_d (g/cm ³)	1.40	1.49	1.71
Porosité, n (%)	0.89	0.76	0.53
Indice des vides (e)	0.47	0.43	0.35
Masse volumique absolue ρ_s (g/cm ³)	2.64	2.63	2.62

Le tableau 1 montre que les valeurs de la masse volumique sèche des sables des carrières Ntingue et de Fombap sont respectivement égales à 1.40 g/cm³, 1.49 g/cm³, avec des indices de vide et des porosités respectives de 0.47 et 89%, 0.43 et 76%. Quant à la masse volumique absolue de ces matériaux, elle est de 2.64 pour le sable de Ntingue et de 2.63 pour le sable de Fombap. Les valeurs des paramètres de densité des sables de Ntingue et de Fombap sont donc très proches (masses volumiques sèches, indice des vides et porosité) ou presque identiques (masses volumiques absolues). Cela s'explique par le fait que ses matériaux proviennent de la même rivière (Ménoua), malgré la distance entre les carrières respectives.

Quant au sable de la carrière de Faungwa, les valeurs de la masse volumique sèche, de l'indice des vides, de la porosité et de la masse volumique absolue sont respectivement de 1.71 g/cm³, 0.35, 53% et de 2.62 g/cm³, indiquent une densité dans l'ensemble plus élevée que celle des matériaux de Ntingue et de Fombap. Cette différence s'explique par le fait que les matériaux de Faungwa proviennent d'une autre rivière (le Nkam), drainant des matériaux issus des roches mères différentes et sont d'un degré de décomposition physique différent.

3.2 EQUIVALENT DE SABLE

L'équivalent de sable représente la moyenne entre l'équivalent de sable visuel et l'équivalent de sable mesuré au piston. Les valeurs de l'équivalent de sable des matériaux étudiés sont présentées sur le tableau 2.

Tableau 2 : Valeurs de l'équivalent de sable des matériaux de Santchou

Type de sable	Sable de Ntingue	Sable de Fombap	Sable de Faungwa
Equivalent de sable	89.99	82.40	90.90

Le tableau 2 montre que les valeurs de l'équivalent de sable sont de 89.99, 82.40 et 90.90 respectivement pour les matériaux de Ntingue, de Fombap et de Faungwa. L'équivalent de sable des matériaux étudiés étant supérieur à 80 indique que, du point de vue de propreté, que ces matériaux sont des sables propres utilisables pour la confection des bétons.

3.3 COMPOSITION GRANULOMETRIQUE DES SABLES

La composition granulométrique des sables des carrières de Ntingue, de Fombap et de Faungwa est présentée sous forme des courbes sur les figures 1, 2 et 3 et dans les tableaux 3, 4 et 5 de l'annexe 2. Les courbes granulométriques de tous les sables sont également représentées sur un même graphique (figure 4) afin de faciliter une analyse comparative.

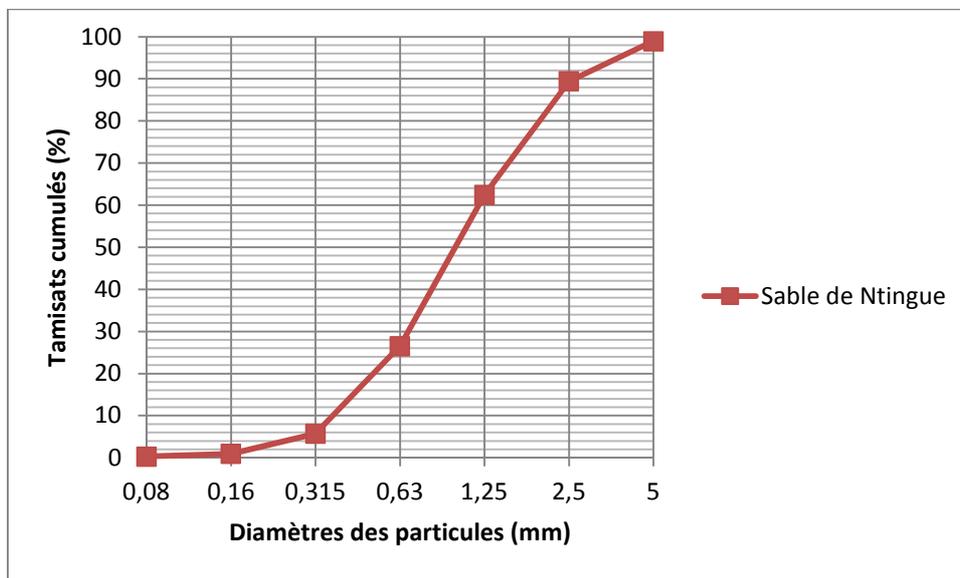


Figure 1 : courbe granulométrique du sable de la carrière Ntingue

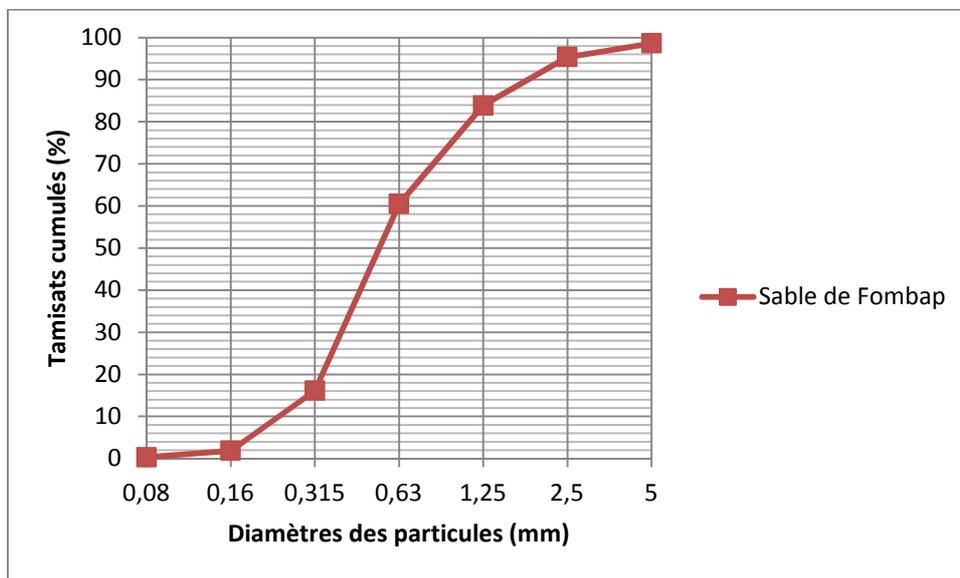


Figure 2 : courbe granulométrique du sable de la carrière Fombap

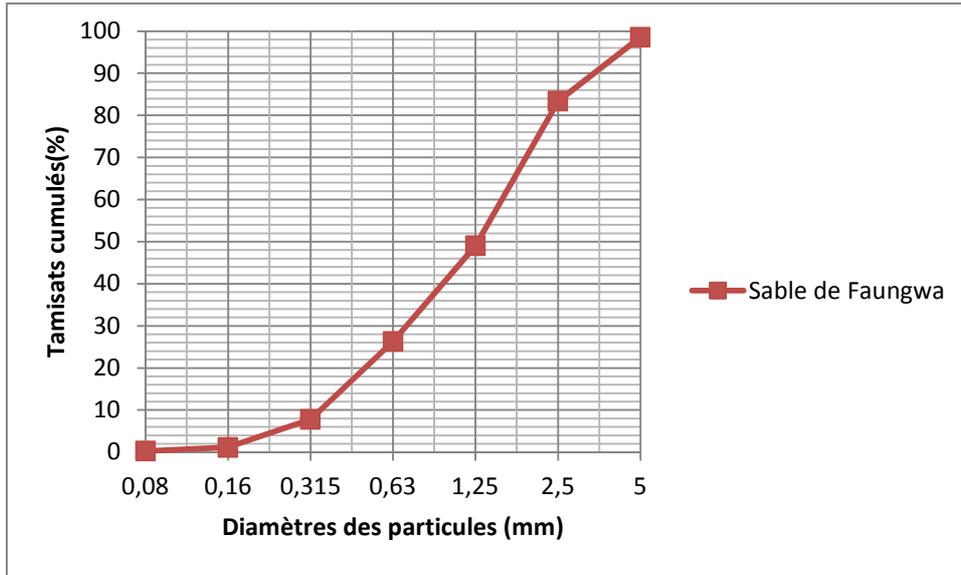


Figure 3 : courbe granulometrique du sable de la carrière Faungwa

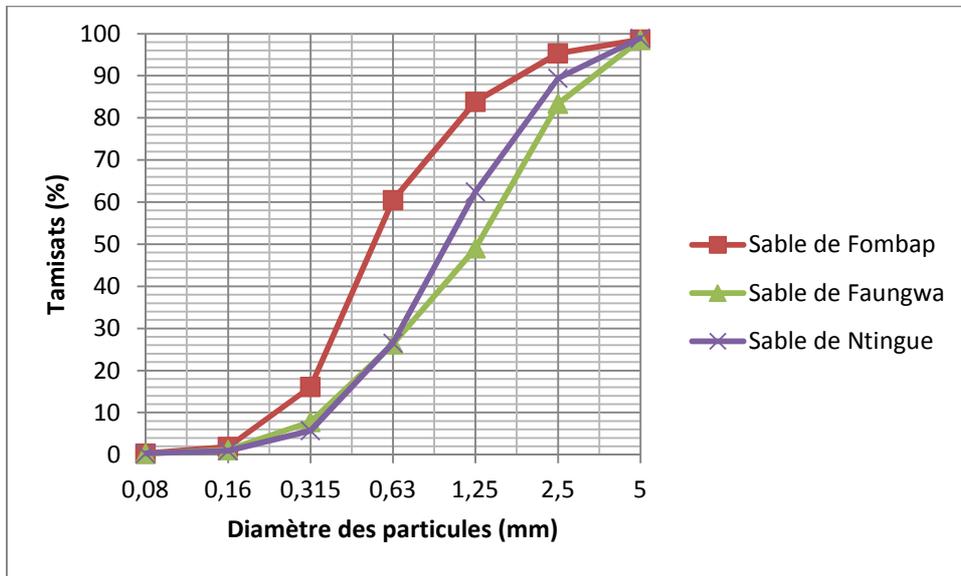


Figure 4: courbes granulometriques des sables de Ntingue, de Fombap et de Faungwa

L'observation des courbes granulométriques présentées sur les figures 1, 2 et 3 montrent que les matériaux contiennent toutes les classes granulaires. Les courbes granulométriques des sables de Ntingue et de Fombap ont une concavité vers le haut, traduisant que ces matériaux sont riches en gros éléments. En plus, les courbes sont décalées les unes des autres (figure 4), ce qui témoigne de la différenciation de ces matériaux bien que ceux des carrières Ntingue et Fombap proviennent du même fleuve (Ménoua). L'allure générale des courbes est sensiblement la même (forme de doucine), montrant de ce fait que les matériaux sont les granulats courants.

3.4 CLASSIFICATION DES SABLES DE SANTCHOU

Dans le présent travail, la classification des matériaux étudiés se base sur le système du Cahier des Charges et Devis Généraux (CCDG) du Ministère des Transports du Québec (Canada) [7], les valeurs de coefficients d'uniformité et de courbure, ainsi que le module de finesse.

3.4.1 CLASSIFICATION DES SABLES DE SANTCHOU SUIVANT LE CCDG

Dans le système CCDG de classification, un sol est un sable lorsqu'il contient moins de 50% de particules passant le tamis de $80\mu\text{m}$ et donc plus de 50% de particules retenues sur ce tamis passant le tamis de 5mm. Un sol est un sable fin lorsqu'il contient plus de 50% de particules passant le tamis de $315\mu\text{m}$. Le sable Moyen comme un sol contenant moins de 50% de particules passant le tamis de $315\mu\text{m}$ et plus de 50% passant le tamis de 1,25mm. Quant au gros sable, c'est un sol contenant moins de 50% de particules passant le tamis de 1,25mm.

Un extrait des résultats de l'analyse granulométrique des matériaux obtenus dans le présent travail est présenté dans le tableau 3.

Tableau 3: Extrait de la composition granulométrique des sables de Santchou

Matériaux	Particules passant le tamis de 5mm (%)	Particules passant le tamis de 1,25mm (%)	Particules passant le tamis de $315\mu\text{m}$ (%)	Particules passant le tamis de $80\mu\text{m}$ (%)
Sable de Ntingue	98,95	62,43	5,72	0,29
Sable de Fombap	98,61	83,86	16,20	0,27
Sable de Faungwa	98,57	49,03	7,79	0,27

Le tableau 3 montre que les sables de Ntingue et de Fombap sont des sables moyens, tandis que celui de Faungwa est un gros sable.

3.4.2 CLASSIFICATION DES SABLES DE SANTCHOU SUIVANT LES COEFFICIENTS D'UNIFORMITE, DE COURBURE ET LE MODULE DE FINESSE

La classification basée sur les coefficients de d'uniformité et de courbure, ainsi que le module de finesse des sables a été également utilisée. Les coefficients d'uniformité, de courbure et le module de finesse déterminés avec l'utilisation de la composition granulométrique présentée sur les figures 1, 2, 3 sont présentés dans le tableau 4.

Tableau 4 : coefficients d'uniformité, de courbure et module de finesse des sables étudiés

Matériaux	Coefficient d'uniformite C_u	Coefficient de courbure C_z	Module de finesse MF
Sable de Ntingue	3.22	1.02	3.16
Sable de Fombap	2.50	1.00	2.44
Sable de Faungwa	4.31	0.93	3.34

Le tableau 4 montre que les valeurs du coefficient d'uniformité (C_u) étant de 3.22, 2.5 et 4.31 respectivement pour les sables des carrières Ntingue, Fombap et Faungwa. Les valeurs de C_u sont supérieures à 2 ; la granulométrie est donc étalée. Quant au coefficient de courbure (C_z), les valeurs sont de 1 et 1.02 respectivement pour sables des carrières Fombap et Ntingue, ce qui signifie que la granulométrie est bien graduée indiquant ainsi la présence d'une grande variété de dimensions. En ce qui concerne le sable de Faungwa, la valeur de C_z est de 0.93, inférieur à 1 et indiquant l'absence de certains diamètres entre les diamètres D_{10} et D_{60} . La granulométrie du sable Faungwa est donc mal graduée.

Le module de finesse a été déterminé comme la somme des refus cumulés sur les tamis de module 23, 26, 29, 32, 35 et 38 ramenée à l'unité. La valeur du module de finesse obtenue pour le sable de la carrière Fombap est de 2.44, ce qui entre dans l'intervalle préférentiel des modules de finesse des sables pour béton ($2,2 \leq MF \leq 2,8$). Quant aux sables des carrières Ntingue et Faungwa, ils ont pour module de finesse 3.16 et 3.34, valeurs qui attestent une fois de plus le caractère gros de ces matériaux. Des valeurs si élevées n'entrent pas dans l'intervalle préférentiel des modules de finesse des sables pour béton. Eu égard à cela, la granulométrie de ces sables nécessite une correction. En effet, cette granulométrie peut conduire à

une résistance non optimale des bétons dont il entre dans la constitution, ce qui peut à son tour être l'une des causes de l'effritement, de la fissuration, voire de la ruine des structures (poteaux, poutres, linteaux, etc.) observés sur plusieurs bâtiments quelques années après leur construction.

L'utilisation combinée des sables étudiés, associée à une bonne formulation permettrait d'améliorer leur qualité pour la confection des bétons, ce qui conduirait à l'amélioration de la résistance de ces derniers. Afin d'étudier les combinaisons préférentielles de ces sables pour la fabrication des bétons, l'étude des mélanges à certaines proportions des matériaux a été effectuée. A cet effet, des éprouvettes de béton ont été confectionnées avec l'utilisation des gravillons de classe 6/14 de Foréké-Dschang. Les paramètres de densité de ces derniers sont présentés dans le tableau 5.

Tableau 5 : Paramètres de densité des gravillons 6/14 de Foréké-Dschang

Masse volumique sèche, ρ_d (g/cm ³)	Indice des vides, e	Porosité, n (%)	Masse volumique absolue, ρ_s (g/cm ³)
1.51	0.74	42	2.64

Le tableau 5 montre que la masse volumique sèche, indice des vides, la porosité et la masse volumique absolue du gravillon de classe 6/14 de Foréké- Dschang sont respectivement de 1.51 g/cm³, 0.74, 42% et de 2.64 g/cm³. Les valeurs concordent, d'ordre de grandeur, avec celles des autres granulats, issus de la décomposition physique des roches

La composition granulométrique des gravillons de classe 6/14 de Foréké-Dschang est présentée sous forme de courbe sur la figure 5.

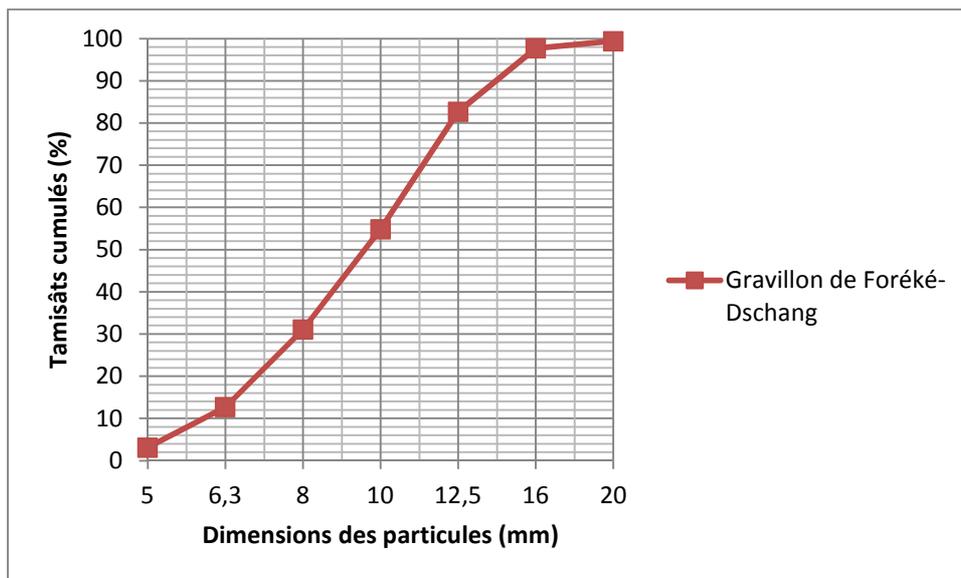


Figure 5 : courbe granulometrique des gravillons 6/14 de Foréké-Dschang

La figure 5 montre que, la courbe granulometrique des gravillons de Foréké-Dschang est assez regulière, ce qui indique la présence d'une grande variété de diamètres.

La classification de ces matériaux suivant les coefficients d'uniformité et de courbure est présentée dans le tableau 6.

Tableau 6: Coefficients d'uniformité et de courbure des gravillons 6/14 de Foréké-Dschang

Classe granulaire	Coefficient d'uniformite (C_u)	Coefficient de courbure (C_z)
6/14	1,74	1,03

Le tableau 6 montre que la granulométrie des gravillons de Foréké-Dschang est serrée et bien graduée car C_u est inférieur à 2 et C_z situé entre 1 et 3.

4 PROPOSITIONS EN VUE D'UNE MEILLEURE UTILISATION DES SABLES DE SANTCHOU

Dans le présent paragraphe, Il est question d'élaborer, sur la base des résultats obtenus, des propositions en vue d'une meilleure utilisation des matériaux étudiés dans la construction des ouvrages de génie civil, notamment dans la confection des structures en béton et de donner les perspectives pour des recherches futures.

4.1 PROPOSITIONS EN VUE D'UNE MEILLEURE UTILISATION DES SABLES DE SANTCHOU

Les dosages « courants » ne tiennent pas suffisamment compte des caractéristiques des granulats malgré le fait que celles-ci varient et ont une influence considérable sur la résistance des bétons. De plus, ces dosages ne tiennent pas compte de la résistance du béton à atteindre spécifiquement pour chaque cas de structure ou de projet. En vue d'améliorer les qualités des bétons confectionnés à base des sables de Santchou, nous proposons que les acteurs de Génie Civil procèdent à une bonne formulation à l'aide de l'une des méthodes modernes existantes.

Dans le cadre de la valorisation des matériaux, le sable de Fombap (ES compris entre 70 et 80), peut être utilisé pour la confection des bétons à condition que le liant utilisé soit le ciment Portland et que les dosages en différents constituants de béton soient obtenus par formulation à l'aide de l'une des méthodes modernes existantes. La correction granulométrique de ce sable n'est pas nécessaire, son module de finesse de 2,44 entrants dans l'intervalle préférentiel des modules de finesse des sables pour bétons.

Les valeurs du module de finesse des sables de Faungwa et de Ntingue, respectivement de 3,34 et de 3,16, indiquant que leurs courbes granulométriques n'entrent pas dans les fuseaux préférentiels pour la granularité des sables à béton, nous proposons qu'une correction granulométrique soit apportée à ces sables en vue de l'amélioration de la qualité des bétons confectionnés. A cet effet, chacun des sables de Ntingue et de Faungwa devra être associé au sable de Fombap, à des proportions convenables pour obtenir des sables de bonne granulométrie pour la confection des bétons. En vue de faciliter la tâche aux utilisateurs dans le choix des proportions convenables, des propositions ont été élaborées dans le présent travail. Les proportions proposées sont présentées dans les tableaux 7 et 8. Dans les mêmes tableaux sont présentés les modules de finesse obtenus, pour chaque association de sables.

Tableau 7 : Proportions en vue de l'association des sables de Ntingue et de Fombap

Proportion du sable de Fombap (%)	Proportion du sable de Ntingue (%)	Module de finesse obtenu par association des sables de Ntingue et de Fombap
98,61	1,39	2,45
97,22	2,78	2,46
95,83	4,17	2,47
94,44	5,56	2,48
93,06	6,94	2,49
92,00	8,00	2,50
84,72	15,28	2,55
78,00	22,00	2,60
70,83	29,67	2,65
64,00	36,00	2,70
56,94	43,06	2,75
50,00	50,00	2,80

Tableau 8: Proportions en vue de l'association des sables de Faungwa et de Fombap

Proportion du sable de Fombap (%)	Proportion du sable de Faungwa (%)	Module de finesse obtenu par association des sables de Faungwa et de Fombap
98,89	1,11	2,45
97,78	2,22	2,46
96,61	3,33	2,47
95,56	4,44	2,48
94,44	5,56	2,49
93,00	7,00	2,50
87,78	12,22	2,55
82,00	18,00	2,60
76,67	23,33	2,65
71,00	29,00	2,70
65,56	34,44	2,75
60,00	40,00	2,80

4.2 VERIFICATION DE LA VALIDITE DES PROPOSITIONS ELABOREES

Dans le but de vérifier la validité des propositions élaborées, des éprouvettes de béton ont été confectionnées et soumises aux essais de compression. Les éprouvettes ont été confectionnées avec l'utilisation des gravillons 6/14 de Foréké-Dschang. Des groupes de trois éprouvettes chacun ont été confectionnés à base des sables et des méthodes de formulation ci-après :

Groupe 1 : Sable de Faungwa ; dosages en ciment, en granulats et en eau choisis suivant la méthode « courante », soit un sac de 50kg de ciment, deux brouettées de 60 litres de sable, une brouettée de 60 litres de gravillons, dosage en eau visuel.

Groupe 2 : Sable de Faungwa ; dosages en divers constituants obtenus par formulation à l'aide de la méthode « C.E.S ».

Groupe 3 : Sable de Fombap ; dosages en divers constituants obtenus par formulation à l'aide de la méthode « C.E.S ».

Groupe 4 : Le sable est constitué d'un mélange de 29% du sable Faungwa et de 71% du sable Fombap ; la méthode « C.E.S » est utilisée pour la formulation du béton.

Groupe 5 : Le sable est constitué de 40% du sable Faungwa et de 60% du sable Fombap ; la méthode « C.E.S » est utilisée pour la formulation du béton.

Les calculs de formulation ont été effectués avec l'utilisation des données ci-après :

- Résistance souhaitée à 28 jours : $f_{c28} = 20$ MPa ;
- Diamètre du plus gros granulats : $D = 20$ mm ;
- Classe vrai du ciment : $\sigma'_c = 35$ MPa ;
- Coefficient granulaire : $G = 0,40$;
- Affaissement au cône d'Abrams : $A = 8$ cm.

Les masses des constituants (dosages) finalement obtenues par formulation à l'aide de la méthode C.E.S. pour la confection d'un mètre cube de béton sont les suivantes:

Groupe 2 : $E = 208,15$ kg; $C = 445,45$ kg; $S = 715,57$ kg; $G = 1127,78$ kg, ce qui donne la masse volumique du béton : $\rho_b = 2496,95$ kg/m³, correspondant à un poids volumique : $\gamma_b = 24,970$ kN/m³.

Groupe 3 : $E = 208,15$ kg; $C = 445,45$ kg; $S = 616,99$ kg; $G = 1229,47$ kg, ce qui donne la masse volumique du béton : $\rho_b = 2500,06$ kg/m³, correspondant à un poids volumique :

$$\gamma_b = 25,001 \text{ kN/m}^3.$$

Groupe 4 : $E = 208,15$ kg; $C = 445,45$ kg; $S = 669,02$ kg; $G = 1198,45$ kg, ce qui donne la masse volumique du béton : $\rho_b = 2492,14$ kg/m³, correspondant à un poids volumique :

$$\gamma_b = 24,921 \text{ kN/m}^3.$$

Groupe 5 : E = 208,15kg; C = 445,45kg; S = 680,16kg; G = 1164,77kg, ce qui donne la masse volumique du béton : $\rho_b = 2498,53\text{kg/m}^3$, correspondant à un poids volumique :

$$\gamma_b = 24,985\text{kN/m}^3.$$

Les éprouvettes de béton confectionnées avec l'utilisation des dosages présentés ci-haut ont été soumises au test de compression à 7 jours et à 28 jours. Les résultats obtenus sont présentés sur le tableau 10.

Le tableau 10 montre que les éprouvettes de béton formulé à l'aide la méthode « courante » donnent une résistance plus faible que celle des bétons formulés avec la méthode « C.E.S » (exemple des bétons confectionnés à base du sable Faungwa). De plus, la valeur de 11.20 MPa est inférieure à 16 MPa qui est la plus petite valeur recommandée pour les bétons usuels. Tout ceci confirme la moins bonne convenabilité de la méthode « courante ».

Tableau 10 : Résistance à la compression des éprouvettes de béton à 7 et 28 jours

Sable et méthode	Résistance à la compression du béton à 7 jours (MPa)	Résistance à la compression du béton à 28 jours (MPa)
Groupe 1 : Sable de Faungwa ; méthode « courante »	5.98	11.20
Groupe 2 : Sable de Faungwa ; méthode « C.E.S »	12,86	20,78
Groupe 3 : Sable de Fombap ; méthode « C.E.S »	13.69	22.12
Groupe 4 : Sable constitué de 29% de sable de Faungwa et de 71% de sable de Fombap ; méthode « C.E.S »	12.11	19.57
Groupe 5 : Sable constitué de 40% de sable de Faungwa et de 60% de sable de Fombap ; méthode « C.E.S »	12.44	20.11

Les éprouvettes de béton formulé à l'aide de la méthode « C.E.S » donnent les résistances de 20.78 MPa et de 22.12 MPa à 28 jours respectivement pour les sables de Faungwa et de Fombap. Ces valeurs légèrement supérieures à la résistance escomptée (20 MPa à 28 jours) sont satisfaisantes. La résistance la plus élevée (22.12 MPa) est obtenue avec l'utilisation du sable de Fombap, ce qui confirme une fois de plus que ce dernier peut être utilisé sans correction dans la fabrication des bétons. Quant au sable de Faungwa, la résistance du béton obtenue est bonne ; cependant son caractère gros risque de provoquer la ségrégation ce qui peut conduire à la résistance hétérogène des bétons dans les structures mises en œuvre. Le caractère gros de ce sable peut également conduire à la perméabilité élevée des bétons, ce qui favorise la pénétration de l'air dans les structures, provoquant l'oxydation des armatures qui gonflent et font éclater les structures. La nécessité d'utiliser le sable de Faungwa en le combinant au sable de Fombap est donc confirmée.

Les éprouvettes bétons confectionnés à base des différentes combinaisons ont donné les résistances de 20.11 MPa et de 19.57 MPa à 28 jours respectivement pour les groupes 4 et 5. De ces résultats, on remarque que l'association du sable Fombap au sable de Faungwa a donné des résistances légèrement plus basses mais restant bonnes. En même temps, ces combinaisons permettent d'éviter les risques de ségrégation et d'augmenter le degré d'imperméabilité des bétons obtenus, ce qui assure leur meilleure tenue et leur durabilité. La combinaison optimale que nous proposons est celle du groupe 4 (29% de sable de Faungwa et 71% de sable de Fombap).

5 CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES

Le présent travail a été centré sur la caractérisation physique des sables de Santchou en vue de leur meilleure utilisation dans la confection des bétons. Il découle de cette étude que :

Les sables les plus abondants dans l'Arrondissement de Santchou sont ceux provenant des carrières de Ntingue, Fombap (rivière Ménoua) et de Faungwa (rivière Nkam).

Les valeurs de l'équivalent de sable égales à 89.99, 82.4 et 90.9 respectivement pour les sables des carrières de Ntingue, Fombap et Faungwa montrent que ces matériaux ont un degré de propreté convenable pour la confection des bétons. Les

courbes granulométriques recoupent indifféremment les fuseaux préférentiels des sables pour bétons. Ces courbes sont concaves vers le bas pour les sables de Ntingue et de Fombap ce qui traduit que ces matériaux sont des sables moyens, la concavité n'étant pas très accentuée. Quant au sable de Faungwa, sa courbe granulométrique est concave vers le haut, ce qui traduit son caractère gros. Les valeurs du module de finesse sont de 3.16, 2.44 et 3.34 respectivement pour les sables de Ntingue, Fombap et de Faungwa. Ces valeurs attestent que le sable de Fombap peut être utilisé dans la confection des bétons à condition d'employer le ciment Portland comme liant, contrairement aux sables de Ntingue et de Faungwa qui nécessitent une correction granulométrique.

Il est proposé que la formulation soit effectuée à l'aide de l'une des méthodes modernes existantes. Il est également proposé que les sables de Ntingue et de Faungwa soient associés au sable de Fombap à des proportions convenablement déterminées à l'aide des tableaux élaborés au cours du présent travail. Les essais de compression effectués sur les éprouvettes de béton confectionnées avec l'utilisation des propositions élaborée dans le présent travail donnent des bonnes résistances, ce qui atteste de leur validité.

Dans le cadre des travaux futurs, il sera important de procéder à une étude expérimentale des éprouvettes de béton confectionnées avec l'utilisation de toutes les valeurs du module de finesse présenté dans les tableaux 4.1 et 4.2, afin de proposer des proportions en fonction de toutes les résistances usuelles des bétons. Les caractéristiques chimiques et minéralogiques seront étudiées en vue de la prévention des facteurs d'altération éventuels des bétons confectionnés à base de ces sables de Santchou. La caractérisation des sables des autres carrières de Santchou et l'élaboration des propositions en vue de leur meilleure utilisation sera également effectuée. Des études en vue de l'élargissement du domaine d'utilisation de ces matériaux seront effectuées.

REFERENCES

- [1] MBOUOMBOUO DANIEL MFOSSA (2007). Caractérisation des étangs d'inondation de la plaine des mbô et analyse des facteurs influençant leur production piscicole. Diplôme d'Ingénieur des Eaux, Forêt et Chasses, FASA, Université de Dschang.
- [2] NF P 94 – 050 (1995). Sols: reconnaissance et essais. Détermination de la teneur en eau pondérale des matériaux. Méthode par étuvage. AFNOR, Paris.
- [3] NF P 54-056 (1996). Sols : reconnaissance et essais. Analyse granulométrique des sols. Méthode par tamisage à sec après lavage, AFNOR, Paris.
- [4] NF P 18-598 (octobre 1991). Granulat / Equivalent de sable. AFNOR..
- [5] NF P 54-054 (1991), sols : reconnaissance et essais. Détermination de la masse volumique des particules solides des sols. Méthodes du pycnomètre à eau. AFNOR, Paris.
- [6] DAUPAIN, R. ; LANCHON, R. ; SAINT- ARROMAN, J. C. (1995). Granulat, Sols, Ciments et Béton : caractérisation des matériaux de génie civil par les essais de laboratoire. éd. Casteilla, Paris 235p.
- [7] ROBITAILLE, V. et TREMBLAY, D. (1997). Mécanique des sols (théorie et pratique) Modulo éd. Québec- Canada, 652p.