

ETUDE DU COEFFICIENT D'ABSORPTION D'EAU DES GRANULATS D'ORIGINE VOLCANIQUE DE GOMA ET SON INFLUENCE DANS LA FORMULATION DU BETON

[STUDY OF WATER ABSORPTION COEFFICIENT OF GOMA'S VOLCANIC AGGREGATES AND ITS INFLUENCE IN FORMULATING CONCRETE]

Chérif BISHWEKA BIRYONDEKE¹, François NGAPGUE², and Grace OLEMBE MUSANGI¹

¹Faculté des Sciences et Technologies Appliquées / Génie Civil, Université Libre des Pays des Grands Lacs (ULPGL/Goma), Goma, Nord-Kivu, RD Congo

²Institut 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: The concrete, which is an artificial stone obtained through the hardening of a binder mixture of water and aggregates rationally selected, is an important material in all fields of construction. Through its performance and versatility, it is present in all domains of building and public works. Concrete strength depends, among others, on the characteristics of the components used in its manufacturing. A good mix of concrete's constituents lead to building solid, durable and economical structures.

This work was initiated in order to characterize Goma's volcanic aggregates for determining their water absorption coefficient since they are mostly used for making concrete in Goma. This would allow a better use of these aggregates as concrete's constituents. Furthermore, the conducted tests lead not only to determining the water absorption coefficient, but also their size distribution and their porosity. Thanks to these additional parameters, we were able to provide users of these aggregates the right proportions for obtaining concrete with good resistance.

KEYWORDS: Water absorption coefficient, Aggregates, Concrete.

RESUME: Le béton, pierre artificielle obtenue grâce au durcissement d'un mélange de liant, d'eau et des granulats choisis de façon rationnelle, est un matériau important dans tous les domaines de la construction. A travers ses performances et sa souplesse d'emploi, il est présent dans tous les domaines du bâtiment et des travaux publics. La résistance du béton dépend entre autre des caractéristiques des constituants utilisé pour sa confection. Un bon dosage des constituants du béton permet de construire des ouvrages solides, durables et économiques.

Le présent travail est initié dans le but de caractériser les granulats d'origine volcaniques de Goma en ce qui concerne leur coefficient d'absorption d'eau étant donné que ce sont eux qui entrent comme granulats dans la confection des bétons à Goma. Ceci dans le souci de leur meilleure utilisation comme constituants des bétons. En outre, les essais effectuées ont permis de connaître non seulement le coefficient d'absorption d'eau des granulats de Goma mais aussi leur composition granulométrique et leur porosité. ces paramètres nous ont permis de fournir aux utilisateurs de ces granulats des proportions valables pour l'obtention de bétons des bonnes résistances.

MOTS-CLEFS: Coefficient d'absorption d'eau, Granulats, Béton.

1 INTRODUCTION

Le béton est un matériau composite, constitué des granulats, liants, eau et des adjuvants. Les granulats qui entrent dans la constitution des bétons exigent pour leurs meilleures utilisations, une connaissance rigoureuse de leurs caractéristiques étant donné que, même semblables à l'œil nu, ils diffèrent suivant la nature des roches mères desquelles ils proviennent, la forme de leurs particules, leurs compositions chimiques et minéralogiques, leurs comportements physiques et mécaniques.

Les différentes éruptions volcaniques antérieures et récentes observées dans la ville de Goma y ont réduit une grande partie des sols meubles en déversant à la surface du sol un massif des roches duquel, après fragmentation par des moyens manuels et mécaniques, résultent des pierres basaltiques. Ce sont des pierres qui ont connu un refroidissement rapide à la surface du sol et sont facilement utilisés dans la confection des bétons dans la ville de Goma comme graviers.

Le problème observé avec ces granulats d'origine volcanique de Goma est qu'étant donné que leurs minéraux n'ont pas eu le temps de cristalliser, ces granulats présentent des nombreux pores si bien que lors de la confection des bétons une partie de l'eau apportée au mélange se retrouve piégée à l'intérieure de ces granulats, or au niveau des calculs des quantités des constituants qui doivent entrer dans la confection du béton, la quantité d'eau efficace trouvée est seulement celle correspondant au mélange au moment du malaxage et ne tient pas compte de la quantité d'eau retenue par la porosité des granulats. D'où la nécessité d'évaluer cette quantité d'eau afin qu'elle soit augmentée à la quantité d'eau efficace trouvée et cela pour la confection des bons bétons où le dosage en différents constituants notamment l'eau est respecté. En effet, l'eau utilisée doit permettre d'atteindre une bonne hydratation du ciment et une meilleure ouvrabilité, résistance et durabilité du béton. Ces facteurs représentent une bonne alternative pour faire face à la destruction précoce des ouvrages. On peut se poser la question de comment déterminer cette quantité d'eau se trouvant à l'intérieur des granulats poreux de Goma pour pouvoir en tenir compte lors de la formulation des bétons. Cette question constitue l'interrogation maîtresse à laquelle nous répondrons dans cette étude.

Soucieux de contribuer à l'augmentation de la résistance des ouvrages et à la réduction des accidents d'ordre techniques dans la ville de Goma, nous nous sommes confiés la tâche de déterminer le coefficient d'absorption d'eau des granulats de ladite ville en vue de son utilisation dans la formulation des bétons, une manière de conférer aux ouvrages en béton de Goma une durée de vie considérable.

Pour atteindre cet objectif principal, nous nous sommes servis de méthode inductive ; Partant de cette méthode, nous avons procédé aux travaux sur terrain (prélèvement de l'échantillon) et des travaux au laboratoire (essais et analyse des résultats en vue de leurs interprétations).

Les résultats obtenus aideront également les constructeurs à prendre des dispositions en vue d'un dosage en eau des bétons confectionnés avec les granulats d'origine volcanique de Goma.

2 MATERIELS ET METHODES

Dans cette partie, il est question de connaître les différents matériels mais aussi la description des essais qui nous ont permis de comprendre les comportements des matériaux qui seront soumis à ces essais de classification effectués à l'antenne laboratoire de l'Office des routes/Goma. Pour se faire, nous avons criblé les granulats étudiés en trois classes dont l'une composée des granulats de diamètre 0.08mm à 5mm, l'autre composée de ceux de 5mm-15mm de diamètre et enfin celle composée des granulats de diamètre 15mm à 25mm. En effet le choix de ces classes a été fonction des dimensions des granulats généralement utilisés pour confection des bétons. [1], [2], [3]

Ainsi pour chacune de ces classes, nous avons prioritairement déterminé le coefficient d'absorption d'eau et avons fait l'analyse granulométrique. Toujours dans le but de caractériser nos matériaux nous nous sommes proposé de déterminer la porosité ainsi que l'indice des vides de nos matériaux.

2.1 MATÉRIELS UTILISÉS

Les matériels utilisés pour la réalisation des essais ci-dessus cités sont les suivants :

- Tamis à mailles carrés
- Balance de précision
- Etuve
- Cuve à eau

- Linge
- Bassin en plastique pour lavage de sable

2.2 MÉTHODES EFFECTUÉES (ESSAIS)

Il sied de signaler qu'avant de passer aux essais, nous avons normalisé les granulats en trois classes ci-hauts citées. Pour la classe 0.08mm-5mm, il a été question de superposer respectivement le tamis de 0.08mm et celui de 5mm. Ceci étant, mettre les matériaux dans le tamis du dessus c'est-à-dire celui de 5mm et tamiser, ensuite récupérer seulement le tamisât sur le tamis de 5mm qui sont à la fois de refus sur le tamis de 0.08mm, c'est ce qui constitue la classe 0.08mm-5mm. En fait, la quantité des matériaux retenue sur le tamis est appelée refus, celle qui passe au travers du tamis est appelée tamisât. La même opération a été reprise pour normaliser les classes 5-15 et 15-25.

2.2.1 ESSAIS DE DETERMINATION DU COEFFICIENT D'ABSORPTION D'EAU

➤ BUT DE L'ESSAI

Certains matériaux granulaires peuvent présenter une porosité interne comme ceux d'origine volcanique qui est préjudiciable, en particulier, au dosage en eau des bétons ce qui influe à sa résistance. En effet, la détermination du coefficient d'absorption d'eau permet d'évaluer la quantité d'eau retenue par la porosité des granulats afin d'en tenir compte pour le dosage en eau efficace lors de la formulation des bétons.

➤ PRINCIPE DE LA MESURE [4]

On détermine un coefficient d'absorption qui est le rapport de l'augmentation de la masse de l'échantillon après imbibition par l'eau, à la masse sèche de l'échantillon. Cette imbibition est obtenue par immersion de l'échantillon dans l'eau pendant 24 heures à 20° C. Le coefficient d'absorption d'eau A_b est défini par la relation (2-1):

$$A_b = \frac{M_0 - M_1}{M_0} \cdot 100 \quad (2-1)$$

M_0 = masse de l'échantillon sec après passage à l'étuve à 105° C

M_1 = masse de l'échantillon imbibé, surface sèche déterminée comme suit :

➤ MESURE POUR LES SABLES (CLASSE 0.08MM-5MM)

Après imbibition, étaler l'échantillon sur une surface plane non absorbante et le soumettre à un flux d'air chaud, tout en le remuant afin que la surface externe de grain sèche. Ce séchage doit être effectué de manière douce afin de ne pas éliminer l'eau qui pourrait être piégée à l'intérieur du granulat. Veiller également à ne pas perdre de grains de sable au cours de l'opération. Les grains sont alors libres de toute force d'attraction capillaire.

➤ MESURE POUR LES GRAVILLONS (CLASSE 5-15 ET 15-25)

Après imbibition, l'échantillon est soigneusement épongé avec un tissu absorbant, les gros éléments étant essuyés individuellement.

Ainsi pour le cas de nos essais à l'antenne laboratoire de l'office des routes basée à Goma, après séchage de nos matériaux à l'étuve à 105° nous avons trouvé :

- Pour les sables une masse des matériaux secs $m_d = 4000g$
- Pour les gravillons de la classe 5-15, $m_d = 4000g$
- Pour les gravillons de la classe 15-25, $m_d = 4000g$

Après immersion dans l'eau à 20° C pendant 24 heures, nous avons pesé :

- Pour les sables une masse humide $m = 4440g$
- Pour les gravillons de la classe 5-15, $m = 4542g$
- Pour les gravillons de la classe 15-25, $m = 4544g$

2.2.2 ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE

➤ BUT DE L'ESSAI

L'analyse granulométrique permet de déterminer la grosseur et les pourcentages pondéraux respectifs des différentes familles de grains constituant l'échantillon. Elle s'applique à tous les granulats de dimension nominale inférieure ou égale à 0.08mm, à l'exclusion des fillers.

A noter qu'il faut éviter la confusion entre la granulométrie qui s'intéresse à la détermination de la dimension des grains et la granularité qui concerne la distribution dimensionnelle des grains d'un granulat. Cet essai se réalise selon les normes NF P 94-056 et NF P 94-057.

➤ PRINCIPE DE L'ESSAI [5]

L'essai consiste à classer les différents grains constituant l'échantillon en utilisant une série de tamis, emboîtés les uns sur les autres, dont les dimensions des ouvertures sont décroissantes du haut vers le bas. Le matériau étudié est placé en partie supérieure des tamis et le classement des grains s'obtient par vibration de la colonne de tamis.

Avant l'opération de tamisage, l'échantillon est lavé d'un tamis de 0.08mm afin d'éliminer les fines et éviter ainsi l'agglomération des grains, ceci pouvant fausser les résultats de l'analyse. L'analyse granulométrique est conduite sur la fraction refusée par le tamis de 0.08mm.

➤ DESCRIPTION DE L'ESSAI

Nous avons procédé à l'analyse granulométrique par voie sèche à l'aide d'une série des tamis normalisés. Le tamisage à sec n'est précis que pour les matériaux de cohésion comme les sables ou les graviers. En présence d'un sol limoneux ou argileux, il faut effectuer un tamisage sous l'eau. Le matériau doit alors être mis à tremper pendant un temps suffisant pour désagréger mottes et agglomérats.

Nous avons toujours commencé par passer l'échantillon dans une étuve à 105 °C jusqu'à poids constant de façon à déterminer le poids de l'échantillon sec. Le matériau séché de masse M_2 est versé sur une série de tamis choisis de telle manière que la progression des ouvertures soit croissante du bas de la colonne vers le haut. En partie inférieure, on dispose un tamis de 0.08mm surmontant un fond étanche afin de récupérer les éléments fins qui n'auraient pas été entraînés par le lavage initial. Un couvercle est également disposés en haut de la colonne afin d'interdire toute perte de matériau pendant le tamisage.

On appellera **tamisât** le poids des matériaux passant à travers un tamis donné et **refus** le poids de matériau retenu par ce même tamis. Le matériau étudié est versé en haut de la colonne de tamis et celle-ci est ensuite vibrée. On considère que le tamisage est terminé lorsque les refus ne varient pas de plus de 1% entre deux séquences de vibrations.

Le refus du tamis ayant la plus grande maille est pesé. Soit R_1 la masse de ce refus. Le refus du tamis immédiatement inférieur est pesé. Soit R_2 la masse du deuxième refus. La somme R_1+R_2 représente le refus cumulé sur le deuxième tamis.

Cette opération est poursuivie pour tous les tamis pris dans l'ordre des ouvertures décroissantes. Ceci permet de connaître la masse cumulée R_n aux différents niveaux de la colonne de tamis. Le tamisât présent sur le fond de la colonne de tamis est également pesé. Soit P sa masse.

La somme des refus cumulés mesurés sur les différents tamis et du tamisât sur le fond (fillers) doit coïncider avec le poids de l'échantillon introduite en tête de colonne. La perte éventuelle de matériau pendant l'opération de tamisage ne doit pas excéder plus de 2% du poids total de l'échantillon de départ. Les résultats obtenus sont repérés sur les tableaux (1,2,3), lesquels tableaux nous permettent finalement de tracer les courbes granulométriques (figure. 1, 2, 3). Elles représentent le poids de tamisât cumulés (échelle arithmétique) en fonction du diamètre équivalent, D , des particules solides (échelle logarithmique). La courbe granulométrique donne le pourcentage en poids des particules de taille inférieure ou égal à un diamètre donné (pourcentage du poids) total de la matière sèche de l'échantillon étudié. Les coordonnées semi-logarithmique permettent une représentation plus précises des fines particules dont l'influence est capitale sur le comportement des sols.

2.2.3 ESSAI DE DETERMINATION DE LA POROSITE DES GRAVIERS

➤ BUT DE L'ESSAI

La détermination de la porosité d'un matériau permet de connaître la proportion des vides dans ce matériau.

➤ PRINCIPE [6], [7]

- chasser tout le liquide et peser le matériau sec
- remplir ces vides avec de l'eau
- une nouvelle pesée donnera le résultat cherché

➤ DESCRIPTION DE L'ESSAI

- pour la préparation, prélever une quantité moyenne des matériaux
- ensuite passer au séchage de l'échantillon en le portant à une température de 105°C et l'y maintenir jusqu'à masse constante
- après c'est le pesage de l'échantillon sec, soit M_0 cette masse
- l'étape suivante consiste à remplir les pores de l'eau en plaçant l'échantillon dans de l'eau froide et l'y maintenir pour que l'eau rentre dans les pores
- peser à nouveau l'échantillon mais avant essayer chaque surface extérieure des grains (chiffon), soit M_1 cette masse
- en déduire la porosité n .

En effet $M_0 - M_1$ représente la masse d'eau contenue dans les pores, le même nombre mesure le volume de ces vides. Donc :

$$n = \frac{M_0 - M_1}{\text{volume du matériau}} \times 100 \quad (2-2)$$

$$\text{Or volume matériau} = \frac{\text{masse du matériau}}{\text{masse volumique du matériau}} = \frac{M_0}{\rho} \quad (2-3)$$

$$\text{Donc : } n = \frac{M_1 - M_0}{M_0} \times \rho \times 100 \quad (2-4)$$

Pour le cas des granulats d'origine volcanique de Goma au laboratoire de l'office des routes, nous avons pesé :

- $M_0 = 4000\text{g}$
- $M_1 = 4542\text{g}$
- $\rho = 1,43\text{g/cm}^3$

➤ INDICE DES VIDES [8], [9]

L'indice des vides e représente le rapport du volume des vides et du volume des grains. L'indice des vides est trouvé à partir de la porosité par la formule suivante (2-5):

$$e = \frac{n}{1-n} \quad (2-5)$$

3 ANALYSE ET INTERPRETATION DES RESULTATS

3.1 INTRODUCTION

Dans cette partie, il est question de présenter de manière synthétique les différentes valeurs numériques obtenues aux divers essais et expressions indiquées dans le point précédent pour chaque cas. Partant de cela, les résultats et interprétations sur différents essais réalisés se présentent de la manière suivante :

3.2 COEFFICIENT D'ABSORPTION D'EAU

Après calcul, le coefficient d'absorption d'eau des granulats d'origine volcaniques de Goma est :

- Pour le sable de 0.11 soit 11%
- Pour les graviers classe 5-15 de 0.1355 soit 13.55%
- Pour les graviers classe 15-25 de 0.136 soit 13.6%

Ces résultats montrent que pour confectionner un mètre cube de béton avec les granulats d'origine volcanique de Goma avec dosage S du sable et G des gravillons il y'a chaque fois une quantité d'eau retenue par la porosité des granulats évaluée à $G \times 0.1355$ (0.136 ou 0.11) kilogramme par mètre cube qu'il faut ajouter sur la quantité d'eau efficace obtenue pour s'assurer un bon dosage en eau.

3.3 ANALYSE GRANULOMETRIQUE

La composition granulométrique des granulats d'origine volcanique de Goma a été étudiée à l'aide de la méthode présentée au point précédent. Les résultats sont présentés sous forme de la courbe granulométrique les figures 1, 2, 3 ainsi que dans les tableaux 1, 2, 3 qui suivent :

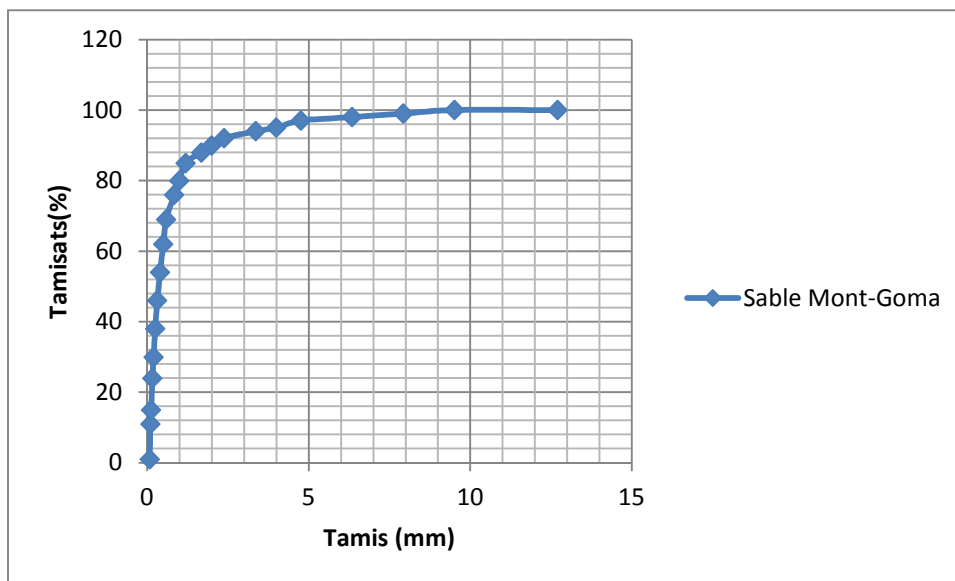


Figure 1. Courbe granulométrique sable Mont-Goma classe 0.08-5

Tableau 1. Analyse granulométrique du sable de mont-Goma 0.08-5mm

POIDS SEC : 2200g

N° tamis		OUVERTURE (en mm)		REFUS		TAMISE	REMARQUE
ASTM	AFNOR	ASTM	AFNOR				
3"	50	76.2	80				
2 1/2"	49	63.5	63				
2"	48	50.8	50				
1 1/2"	47	38.1	40				
1 1/4"	46	31.7	31.5				
1"	45	25.4	25				
3/4"	44	19.1	20				
2/3"	43	16.9	16				
1/2"	42	12.7	12.5			100	
3/8"	41	9.52	10	11	0	100	
1/3"	40	7.93	8	21	1	99	
1/4"	39	6.35	6.3	45	2	98	
3/16"	38	4.76	5	71	3	97	
5	37	4	4	102	5	95	
6	36	3.36	3.15	134	6	94	
8	35	2.38	2.5	177	8	92	
10	34	2	2	219	10	90	
12	33	1.68	1.6	272	12	88	
16	32	1.19	1.25	341	15	85	
18	31	1	1	430	20	80	
20	30	0.84	0.8	533	24	76	
30	29	0.59	0.63	685	31	69	
35	28	0.5	0.5	835	38	62	
40	27	0.4	0.4	1005	46	54	
50	26	0.315	0.315	1184	54	46	
60	25	0.25	0.25	1371	62	38	
70	24	0.2	0.2	1538	70	30	
100	23	0.16	0.16	1672	76	24	
120	22	0.125	0.125	1881	85	15	
140	21	0.1	0.1	1955	89	11	
200	20	0.08	0.08	2178	99	1	

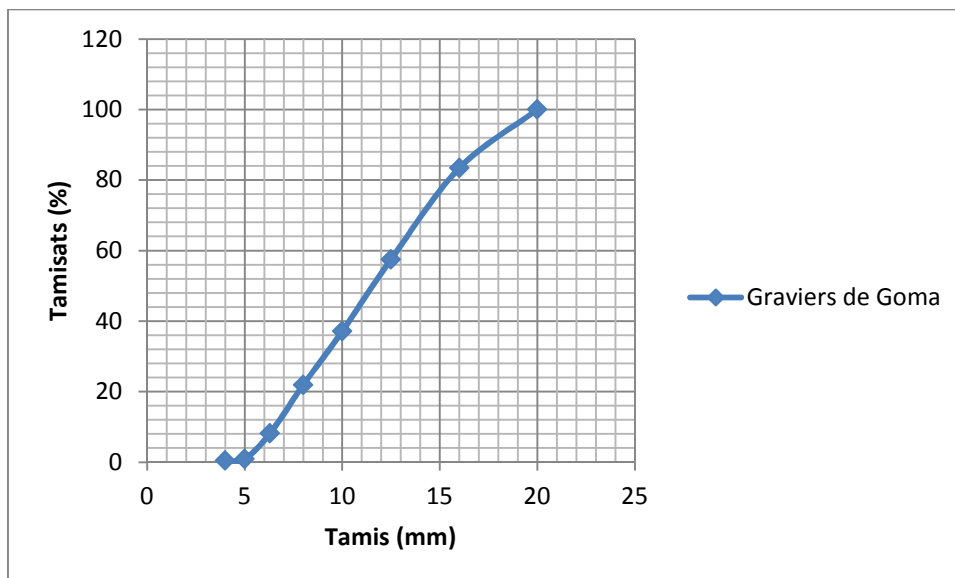


Figure 2. Courbe granulométrique graviers classe 5-15

Tableau 2. Analyse granulométrique graviers de Goma classe 5-15

POIDS SEC : 8000g

N° tamis		OUVERTURE (en mm)		REFUS		TAMISE	REMARQUE
ASTM	AFNOR	ASTM	AFNOR				
3"	50	76.2	80				
2 1/2"	49	63.5	63				
2"	48	50.8	50				
1 1/2"	47	38.1	40				
1 1/4"	46	31.7	31.5				
1"	45	25.4	25				
3/4"	44	19.1	20			100	
2/3"	43	16.9	16	1333	16.6	83.4	
1/2"	42	12.7	12.5	3405	42.5	57.5	
3/8"	41	9.52	10	5034	62.9	37.1	
1/3"	40	7.93	8	6253	78.1	21.9	
1/4"	39	6.35	6.3	7350	99.8	8.2	
3/16"	38	4.76	5	7932	99.1	0.9	
5	37	4	4	7964	99.5	0.5	
6	36	3.36	3.15				
8	35	2.38	2.5				
10	34	2	2				
12	33	1.68	1.6				
16	32	1.19	1.25				
18	31	1	1				
20	30	0.84	0.8				
30	29	0.59	0.63				
35	28	0.5	0.5				
40	27	0.4	0.4				
50	26	0.315	0.315				
60	25	0.25	0.25				
70	24	0.2	0.2				
100	23	0.16	0.16				
120	22	0.125	0.125				
140	21	0.1	0.1				
200	20	0.08	0.08				

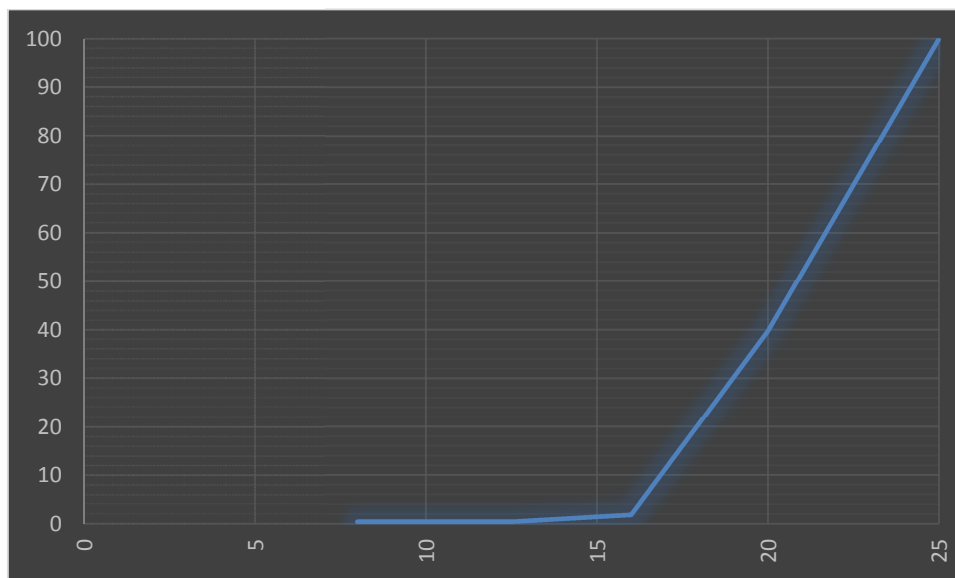


Figure 3. courbe granulométrique graviers classe 15-25,

Tableau 3. Analyse granulométrique des graviers de Goma classe 15-25

POIDS SEC : 8000g

N° tamis		OUVERTURE (en mm)		REFUS		TAMISE	REMARQUE
ASTM	AFNOR	ASTM	AFNOR				
3"	50	76.2	80				
2 1/2"	49	63.5	63				
2"	48	50.8	50				
1 1/2"	47	38.1	40				
1 1/4"	46	31.7	31.5				
1"	45	25.4	25			100	
3/4"	44	19.1	20	4825	60.3	39.7	
2/3"	43	16.9	16	7862	98.2	1.8	
1/2"	42	12.7	12.5	7960	99.5	0.5	
3/8"	41	9.52	10	7965	99.56	0.44	
1/3"	40	7.93	8	7968	99.6	0.4	
1/4"	39	6.35	6.3				
3/16"	38	4.76	5				
5	37	4	4				
6	36	3.36	3.15				
8	35	2.38	2.5				
10	34	2	2				
12	33	1.68	1.6				
16	32	1.19	1.25				
18	31	1	1				
20	30	0.84	0.8				
30	29	0.59	0.63				
35	28	0.5	0.5				
40	27	0.4	0.4				
50	26	0.315	0.315				
60	25	0.25	0.25				
70	24	0.2	0.2				
100	23	0.16	0.16				
120	22	0.125	0.125				
140	21	0.1	0.1				
200	20	0.08	0.08				

3.4 POROSITE

Après expérience, nous avons trouvé une proportion des vides dans les graviers de 19.38% soit 0.1938 en utilisant l'expression (2-4) du point précédent.

Ayant trouvé la porosité des graviers, nous avons calculé l'indice des vides ce qui nous a donné une valeur de 0.24 en utilisant l'expression (2-5)

Il est important de constater à ce niveau que les granulats d'origine volcanique de la ville de Goma présentent un volume important des vides qu'il ne faut jamais ignorer lors du calcul de la quantité d'eau entrant dans la confection des bétons avec ces granulats. En outre ces granulats accumulent de l'eau dans leurs vides (19.38%) ce qui visiblement perturberait le dosage en eau une fois le facteur porosité ignoré.

4 CONCLUSION GENERALE

L'eau utilisée dans la confection des bétons doit permettre d'atteindre une bonne hydratation du ciment et une meilleure ouvrabilité, résistance et durabilité du béton. Ces facteurs représentent une bonne alternative pour faire face à la destruction précoce des ouvrages.

En la lumière des résultats obtenus au laboratoire, nous pouvons affirmer sans ambages que les granulats d'origines volcaniques particulièrement ceux de Goma présentent une proportion non négligeable des vides, ceci étant, ils sont à même de retenir une quantité d'eau importante d'où la nécessité d'en tenir compte lors de la confection des bétons et cela suivant les proportions décrites dans cette étude. C'est-à-dire par exemple pour la confection d'un béton dont le dosage par mètre cube des graviers de classe 5-15 est de 1000kg, il faut 135.5 litres d'eau à ajouter à la quantité d'eau efficace auparavant trouvée.

Nous souhaiterions dans la ville de Goma une formulation des bétons à base de ces granulats effectuée en considérant leur coefficient d'absorption d'eau afin de fournir aux utilisateurs des proportions valables pour l'obtention de bétons des bonnes résistances.

REFERENCES

- [1] M. CALLAUD, *Mécanique des sols, propriétés des sols*, Tome I, édition 2003.
- [2] Groupement belge, *technologie du béton*, édition 2006
- [3] Guillaume FRANQUEVILLE, *la technologie du béton*, France 10, Rue des Cévennes
- [4] R. Dupain, *Granulats, sols, ciments et béton*, édition 2008.
- [5] NF P 94-056 : *Sols : reconnaissance et essai. Analyse granulométrique. Méthode par tamisage à sec après lavage*. AFNOR, mars 1996, 16 p.
- [6] Dupai R., Lanchon R., Saint-Arroman J.C., (2000) : *granulats, sols, ciments et béton. Caractérisation des matériaux du génie civil par les essais de laboratoire*. Collection A. capliez.
- [7] Lanchon.R, Cours de Laboratoire : Granulats, Béton, Sols. Ed. Desforge, 1983, p.34
- [8] CASSAN M., *Aide-mémoire de mécanique des sols*, Presses des Ponts et Chaussées 1994.DUNOD éditeur.
- [9] Bouassida R., Boussetta, R (2007) : *Manuel des travaux pratiques de mécanique des sols*. Centre de publication universitaire, Tunis-Tunisie, 116p.