

# Propriétés Physico-Chimiques des Dépôts de Sables du Territoire de Madimba (Kongo Central), Favorables pour l'Industrie de la Verrerie

**ILITO LOFONGO Daddy Patrick<sup>1\*</sup>, KANDOLO KASEME Candice <sup>1</sup>, MULUMBA KALAMBAY Alex<sup>1</sup>, INKIBA BATOKO Arsene<sup>2</sup>, MWANZA KANT Patrick<sup>1</sup>**

## Paper History

Received : July 04, 2020  
 Revised : April 04, 2021  
 Accepted : May 25, 2021  
 Published : July 27, 2021

## Keywords

Sand, Industrial, Classes, Kongo Central, Physico-chemical.

## ABSTRACT

**Physico-Chemical Properties of Sand Deposits in Madimba Territory (Kongo Central), Favorable for Glass Industry.**

The study consists in the determination of the physico-chemical properties of the sands in three deposits (Ngufu, Ngeba, Kimpemba) in the Madimba territory in Kongo Central province in order to assess their use in the glass industry. Essential elements usable in glassware are chemical composition, particle size, moisture, and loss to fire. Documentary work and photo-interpretation techniques enabled the selection of target sites. Sedimentological, particle size and chemical analysis of oxides were used. It was found that more than 80% of the particles in collected samples have their size between 0.71 mm to 0.1 mm ; an average of 98.9058% sand , 0.55% clay and 0.53% silt. These sands have a low fire loss with an average of 0.08% or 0.1%. Humidity is less than 1% ; it may increases with depth because of the influence of groundwater. The results of chemical analysis of oxides give respective a mean contents of SiO<sub>2</sub> :98.9725%; Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> :0.0275%; Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> :0.0075%; TiO<sub>2</sub> :0.0358; CaO :0.0658% ; MgO :0.0217%; K<sub>2</sub>O :0.0200% and MnO :0.0125%. The content of silica, SiO<sub>2</sub>>98.9% shows that these sands are pure and have only low levels of impurities; hence their physico-chemical properties are favorable to glassware.

<sup>1</sup>Centre de Recherches Géologiques et Minières (CRGM), Kinshasa, RD. Congo, 44 Av. De la Démocratie, Kinshasa/Gombe, B.P. : 898, Kinshasa I, RD. Congo.

<sup>2</sup>Ministère des Mines, Secrétariat Général des mines, Direction de géologie, Kinshasa, RD. Congo.

\*Corresponding author, e-mail: daddyiloto@gmail.com

## INTRODUCTION

Le sable est l'un des matériaux de construction le plus important par sa nature, sa composition et ses propriétés physico-chimiques. Les travaux de ZHOU et WANG [2015], DAFALLA et al. [2007] sur l'identification des sables et ceux de ILITO et al. [2018] sur les sables du Kongo Central ont montré l'intérêt de l'identification des dépôts de sables économiquement rentables pouvant servir à des travaux de construction des infrastructures immobilières, c'est-à-dire sable comme matériaux de construction, additif dans le mélange de ciment et dans la production de béton.

Outre cet aspect, le sable est aussi utilisé comme matière première dans l'industrie de la verrerie. Les sables dits « industriels » sont utilisés dans la fabrication de verres, des fenêtres et des écrans d'ordinateur, et également dans les terrains de golf, les fonderies, le dynamitage, les moulages métalliques et les charges de peinture, ou encore dans la fabrication de produits chimiques, de prismes, de lentilles, d'abrasifs, d'éléments réfractaires, des instruments de précision, des produits d'isolation et même des pierres précieuses [MAUBERT, 1989 ; ARMAZ, 2020].

La République Démocratique du Congo possède d'énormes réserves de dépôts de sables, mais les produits de la verrerie se

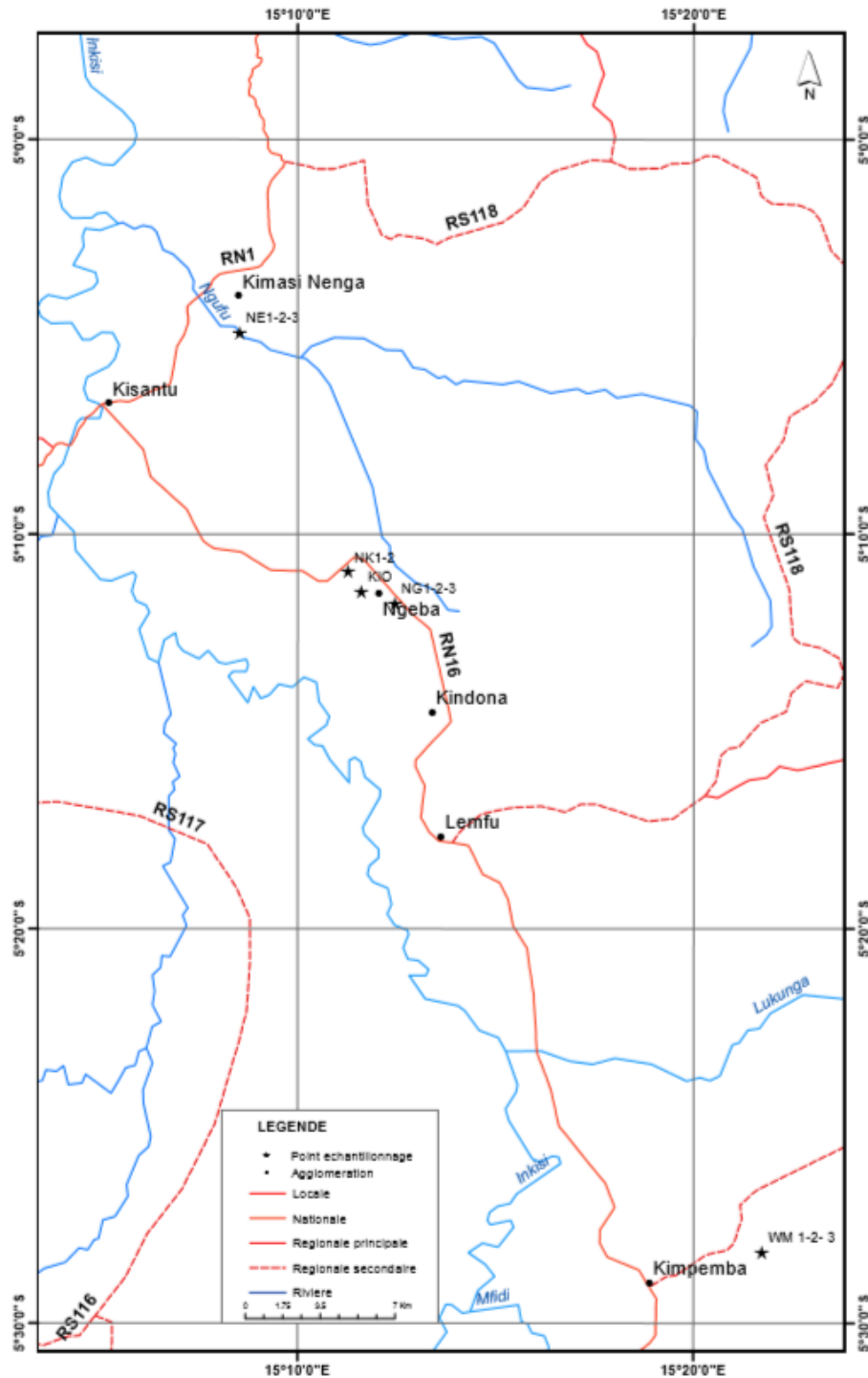


Figure 1. Localisation du secteur d'étude, territoire de Madimba, dans la Province du Kongo Central

vendent à un prix élevé, car ils sont importés de l'étranger ; d'où la hausse du prix due aux frais liés au transport et à la douane.

D'après ONUDI [1986], les résultats des oxydes de  $\text{SiO}_2$  : 96 à 99.15% ;  $\text{Al}_2\text{O}_3$  : 0.09 à 0.85% ;  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  : 0.07 à 0.018% ;  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  : 0.01 à 0.05% contenus dans les sables de Kinshasa et du Kongo Central ont été jugés acceptables pour l'industrie de la verrerie avec des fractions de moins de 0.5 et 0.1mm qui varient de 80 à 95%, la fraction de moins de 0.1mm représente 1.10 à 2.21%. Tous ces sites de sables quartzeux et de grès tendres quartzeux de Kindobo, de Mont Mbaza, de Mbenseke - Futi et de la source de la rivière Inie sont actuellement lotis pour la majeure partie.

Néanmoins, les quatre sites de compositions chimiques similaires du Kongo Central ne sont pas encore lotis et se situent de part d'autre de la cité de Kisantu dont trois aux environs du village Lemfu sur la route nationale RN16 et le site de Ngufu, à environ 3km de la route nationale (RN1, Kinshasa – Matadi). D'après le même auteur, ces sables peuvent être utilisés dans l'industrie de la verrerie, mais les études sont restées dans la phase embryonnaire.

La présente étude vise la détermination des propriétés physico-chimiques de ces sables par l'usage des différents essais dont la granulométrie, la sédimentologique et les analyses

chimiques des oxydes en vue d'évaluer si ceux-ci sont susceptibles d'être utilisés dans l'industrie de la verrerie [THOULET, 1881 ; FLAVIGNY *et al.*, 1990 ; GALLALA *et al.*, 2008 ; RAKOTOMALALA *et al.*, 2019].

## MATERIEL ET METHODES

### Site d'étude

Le secteur d'étude se localise dans la province du Kongo Central, territoire de Madimba, en République Démocratique du Congo. Elle est comprise entre 15° 5' 00'' et 15° 25' 00'' de longitude Est et 5° 0' 00'' et 5° 30' 00'' de latitude sud, à plus ou moins 120 kilomètres de la ville de Kinshasa, c'est-à-dire de part d'autre de la ville de Kisantu (Figure 1).

### Matériel

Pour la collecte des échantillons sur terrain, les sondeuses manuelles, le pH mètre, le décimètre pour le mesurage des différents niveaux et des profondeurs des trous de sondages ont été utilisés. Les gants pour éviter les contaminations, les sachets plastiques pour la prise des échantillons et leur conditionnement, l'appareil photo numérique pour la prise des images de l'évolution des travaux ont aussi été utilisés. Le GPS Garmin Map 60CSx pour le positionnement géographique des sites et l'ordinateur portable avec les logiciels SIG dont QGIS 3.10 ; Arc GIS 10.3.1, pour le transfert des données GPS et la cartographie. Les images satellitaires du Logiciel Google Earth pour mettre en évidence la distribution de dépôts de sables et leur sélection. Le logiciel Excel a servi pour l'élaboration des graphiques et calculs des paramètres des statistiques descriptives.

### Méthodologie

Il a été recouru aux travaux antérieurs de ONUDI [1986] qui ont permis de mettre en évidence les sites favorables à cette étude (Figure 2).

Le recours à la photo-interprétation des images satellitaires du Logiciel Google Earth a été nécessaire pour mettre en évidence la distribution de dépôts de sables et la sélection des sites ciblés. Pour ce faire, la différence de coloration des objets sur l'image (ou réflectance), les aspects lisses ou rugueux des surfaces, les linéaments (continuité ou discontinuité), les formes des éléments ponctuels et surfaciques, le bon sens et l'expérience acquise au fil du temps ont été les facteurs qui ont guidé à la sélection des différents sites à partir des images Google Earth. La couleur blanche constitue les bancs de sables qui présentent une forte réflectance [ILITO *et al.*, 2018].

La validation des dépôts de sables sur terrain s'est effectuée à l'aide des sondages sur les zones retenues. Une campagne de vérification des sites a été effectuée du 24 mai au 01 juin 2020. Au total, 10 sondages à la tarière manuelle de profondeur de 1 à  $\geq 3$ m ont été exécutés pour confirmer l'existence des dépôts de sable et déterminer leurs extensions latérale et verticale.

Les coordonnées géographiques des sites ont été prélevées à l'aide du capteur Garmin GPSmap 60CSx, avec une précision moyenne de 3 mètres. Elles ont été prises en utilisant le système de coordonnées projetées, WGS 1984, UTM 33S.

Le prélèvement des échantillons de sable s'est fait tout le long du profil de sol et la quantité maximale était de 500g. La description sommaire des échantillons *in situ* s'est suivie de la création des doublons (Duplicate) des échantillons pour le contrôle de qualité. Et d'autres paramètres tels que le taux d'humidité et la perte au feu (PF) ont été déterminés au laboratoire de chimie et géochimie au Centre de Recherches Géologiques et Minières (CRGM).

Les pertes en eau à 110°C ont été effectuées à l'étuve marque Dry-Line (VWR) et les matières volatiles (Perte au Feu) à 110°C sont évaluées après passage au Four (Marque Hobersal HD 200, Température Maximale de 1200°C).

La détermination de la silice s'est faite par double insolubilisation à l'acide chlorhydrique, sur une attaque au carbonate de sodium, le fer total et l'aluminium ; ainsi que le

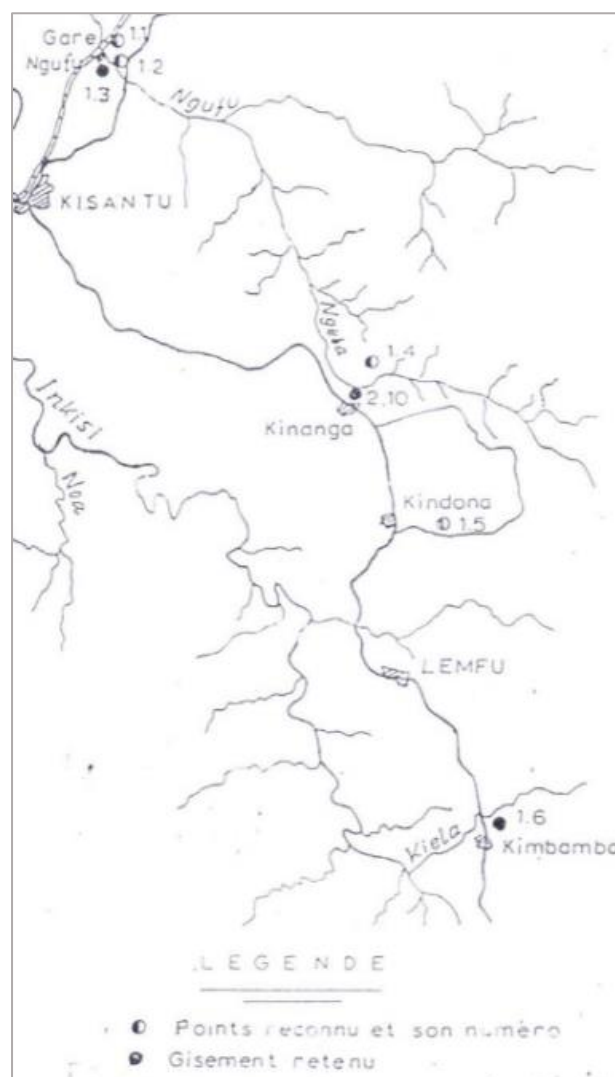


Figure 2. Sites potentiels pour le sable de la verrerie [ONUDI, 1986]

Tableau 1. Localisation de trois sites de prélèvement d'échantillons de sables au Kongo Central (WGS 1984, UTM 33S)

#	ID-Ech	Lat-Sud	Long_Est	Nbre d'échantillons	Observations	Village	Site
1	WM 1-2, 3	9395365	540107	3	Sable fin de couleur blanche	Kimpemba	Kimpemba
2	NK 1-2	9427141	520809	2	Sable fin de couleur blanche	Nkamu	Ngeba
3	KIO	9426238	521438	1	Sable fin de couleur blanche	Kinyonga	Ngeba
4	NG 1-2-3	9425660	523003	3	Sable fin de couleur blanche	Ngeba	Ngeba
5	NE 1-2-3	9438307	515761	3	Sable fin de couleur blanche	Nenga (Ngufu)	Ngufu
Total				12	Echantillons de sables dans trois sites		

Tableau 2. Résultats d'analyses chimiques des échantillons de sables du Territoire de Madimba

#	Site	Kimpemba			Ngeba						Ngufu		
		Makela	Makela	Makela	Mandina	Mandina	Mandina	Nkinyonga	Nkanu	Nkanu	Nenga Kilueka	Nenga Kilueka	Nenga Kilueka
1	Village												
2	ID-Ech	WM1	WM2	WM3	NG1	NG2	NG3	KIO	NK1	NK2	NE1	NE2	NE3
3	Serie Echantillon (N°)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
4	Profondeur (m)	1	2	3	1	2	1	1	1	1	1	2	
5	Remarque (Contrôle qualité)	Duplicate						Duplicate					
6	Oxyde de Silicium (SiO <sub>2</sub> )	99.13	99.16	99.16	99.400	99.42	99.420	98.410	98.00	98.16	99.10	99.13	99.18
7	Oxyde de Fer III (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	0.020	0.020	0.020	0.040	0.010	0.010	0.040	0.060	0.050	0.020	0.020	0.020
8	Oxyde de Chrome (Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	0.004	0.003	0.003	0.003	0.002	0.003	0.020	0.020	0.020	0.003	0.005	0.004
9	Oxyde de Titane (Ti O <sub>2</sub> )	0.040	0.050	0.050	0.040	0.020	0.010	0.040	0.050	0.040	0.030	0.030	0.030
10	Oxyde de Calcium (Ca O)	0.070	0.080	0.070	0.080	0.040	0.040	0.070	0.070	0.070	0.080	0.070	0.050
11	Oxyde de Manganèse (Mg O)	0.020	0.010	0.010	0.020	0.010	0.010	0.030	0.030	0.030	0.030	0.030	0.030
12	Oxyde de potassium (K <sub>2</sub> O)	0.020	0.010	0.010	0.020	0.010	0.010	0.040	0.040	0.040	0.020	0.010	0.010
13	Oxyde de Manganèse (MnO)	0.010	0.020	0.020	0.020	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010
14	Humidité à 110°C	0.510	0.530	0.580	0.280	0.340	0.400	0.600	0.620	0.700	0.500	0.530	0.580
15	Perte au Fer à 1100°C	0.180	0.110	0.002	0.002	0.010	0.001	0.120	0.080	0.100	0.170	0.150	0.060

Source : Analyses CRGM. Mai 2020

calcium et le magnésium, après précipitation à l'ammoniaque des deux premiers métaux, sont déterminés sur le filtrat de la silice par titrimétrie – photométrie et leurs complexes avec EDTA. Les alcalins dont le sodium et potassium ont été déterminé par spectrométrie (DR-90), le manganèse par colorimétrie au permanganate, le titane à l'aide de son complexe avec l'eau oxygénée, déterminé sur une attaque fluosulfurique.

L'essai granulométrique a été effectué après séchage de l'échantillon à l'étuve. L'échantillon de poids moyen de 50.605g a été pesé et mis dans une colonne de tamis de mailles de dimensions de  $\phi$  : <2mm à 0.090mm. Chaque fraction a été

pesée, reportée dans un tableau en fonction du poids (en grammes) et calculée ensuite en pourcentage (%).

## RESULTATS ET DISCUSSIONS

### Propriétés physico-chimiques des sables

Le Tableau 1, reprend les différents sites échantillonnés, leurs coordonnées géographiques, la description sommaire des échantillons de sables et le village le plus proche pour la référence.

#### Contrôle qualité des analyses (Qc)

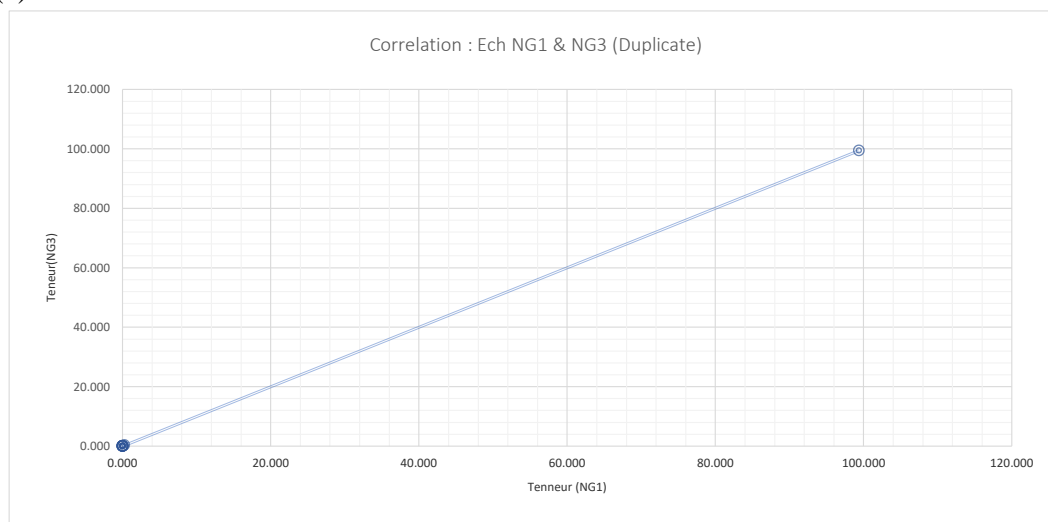
Lors d'échantillonnage, les doublons ont été créés pour permettre de vérifier la fiabilité des résultats en l'absence des standards ou Blank d'analyse. Le [Tableau 2](#), reprend les échantillons du site de Ngeba qui ont été ciblés au vu des potentialités qualitative et quantitative.

Ceci a conduit à dupliquer les échantillons de NK1 et NG1 respectivement en NK2 et NG3. En rapportant les résultats des teneurs des oxydes de NK1 sur l'abscisse et NK2 sur l'ordonnée ; ainsi que les résultats des échantillons NG1 (abscisse) et NG3(ordonnée), il ressort des droites des pentes 45° traduisant

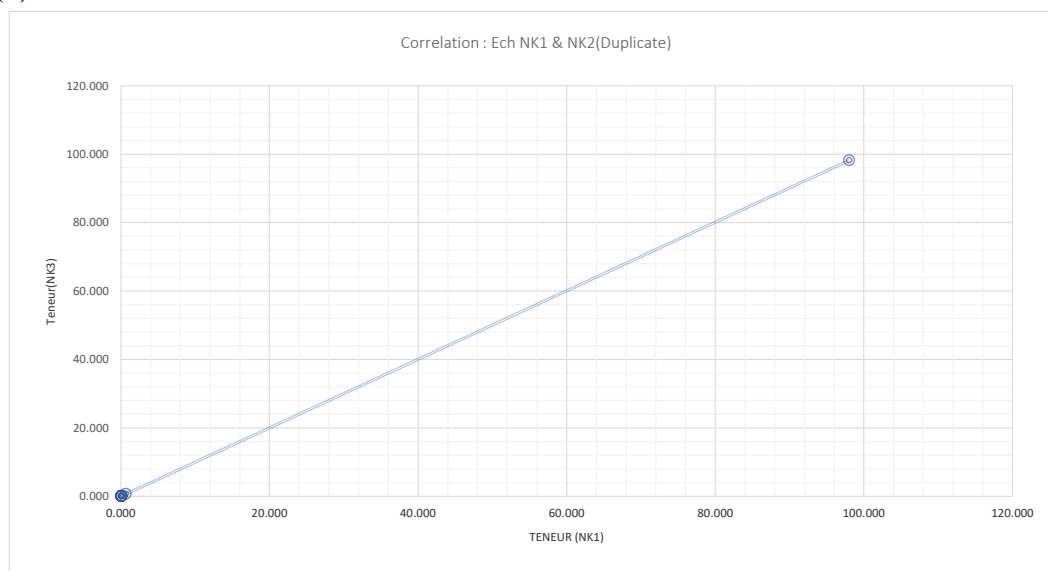
une corrélation entre les échantillons et leurs doublons respectifs ([Figure 3](#)).

Dans le même ordre d'idée, pour matérialiser la fiabilité des résultats des analyses chimiques, les résultats des échantillons et de leurs doublons sont représentés par les graphiques ([Figures 4 et 5](#)). La [Figure 4](#) montre une interdépendance entre les résultats de l'échantillon NG1 (en bleue) et son doublon NG3 et permet de mettre aussi en évidence les teneurs assez élevées des oxydes de silicium ( $\text{SiO}_2$  : 99.400% dans l'échantillon de base et 99.420%

(a)



(b)



*Figure 3. a) Droite de corrélation de pente 45° entre les résultats des analyses chimiques de l'échantillon NK1 et son échantillon dupliqué NK2 (Duplicate) ; b) Droite de corrélation de pente 45° de l'échantillon NG1 et son échantillon dupliqué NG3 (Duplicate) pour tester la fiabilité des résultats.*

dans son doublon). Il en est de même pour l'échantillon NK1 et son doublon comme le montre la [Figure 5](#).

#### *Humidité (Hum) et Pertes au Feu (PF)*

Les humidités relevées dans ces sables ont la valeur minimale de 0,28% et maximale est de 0,7 % avec une moyenne de 0.51% ; donc l'humidité de ces sables est inférieure à 1% ([Tableau 3](#)).

Le taux d'humidité est aussi une caractéristique qui doit être contrôlée régulièrement. Le sable peut être livré sec ou humide (jusqu'à 5 %) ou avec un taux d'humidité contrôlé et garanti de 2, 3 ou 4 % [[ARRMAZ, 2020](#)]. Ainsi donc, les sables de Madimba ne posent aucun problème pour leur taux d'humidité. Ils répondent aux normes de ce point de vue, ils deviennent un peu plus humides en profondeur à la suite des influences des nappes

souterraines. Ces sables présentent une faible perte au feu ayant pour moyenne de 0.08% soit 0.1%.

#### Essais sédimentologiques (Es)

Les résultats d'essais sédimentologiques sont repris dans le **Tableau 4**. On observe une corrélation entre les valeurs des proportions des différentes fractions entre les échantillons et leurs doublons correspondants (Duplicate).

Les paramètres statistiques repris dans le **Tableau 5**, donnent une moyenne de 98.906% de sable contre 0.555 % d'argile et 0.531% de limon. Ceci signifie que les échantillons de sols analysés présentent tous des textures à prédominance sableuse avec des faibles fractions d'argiles et de limons.

#### Essais Granulométriques (Eg)

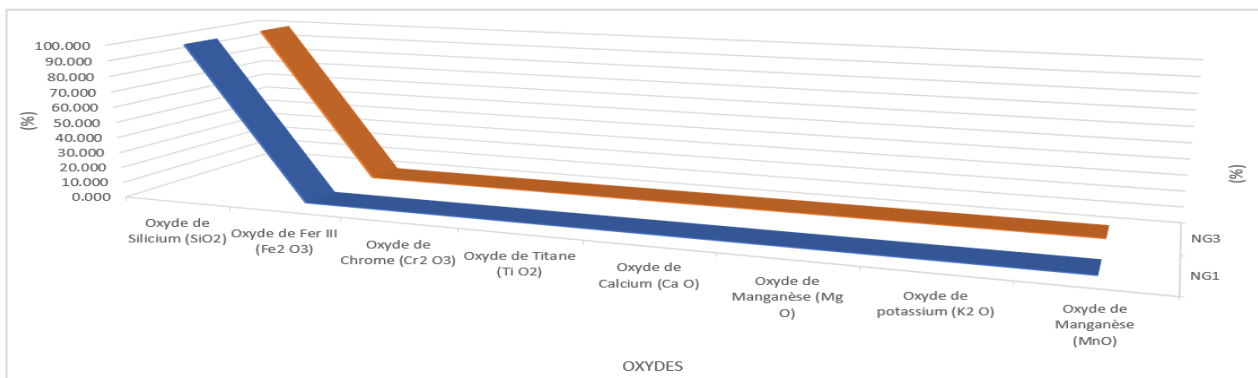
Pour mieux cerner la répartition des fractions de ces échantillons de sables, ceux-ci ont été regroupés en trois grands ensembles pour déterminer la classe prépondérante en fonction de leur granulométrie :

- Particules supérieures à 0.71 m ( $\Phi > 0.71\text{mm}$ ) ;

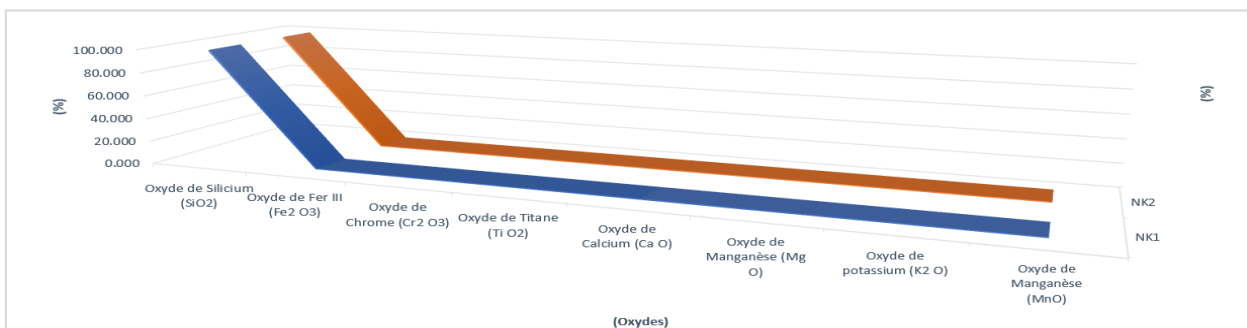
- Particules de diamètre variant entre 0.71 mm à 0.1mm ( $\Phi : 0.71 \text{ mm à } 0.1\text{mm}$ ) ;
- Particules inférieures à 0.1mm ( $\Phi < 0.10\text{mm}$ ).

*Tableau 3. Paramètres physiques des sables du territoire de Madimba au Kongo Central*

#	Paramètres	Humidité à (110°C)	PF à 1100°C
1	Mean	0.514166667	0.082083333
2	Standard Error	0.034890702	0.019376047
3	Median	0.53	0.09
4	Mode	0.53	0.002
5	Standard Deviation	0.120864938	0.067120595
6	Range	0.42	0.179
7	Minimum	0.28	0.001
8	Maximum	0.7	0.18
9	Sum	6.17	0.985
10	Count	12	12



*Figure 4. Corrélation entre les résultats des analyses chimiques de l'échantillon NG1 et son échantillon dupliqué NG3 (Duplicate) pour tester la fiabilité des résultats.*



*Figure 5. Corrélation entre les résultats des analyses chimiques de l'échantillon NK1 et son échantillon dupliqué NK2 (Duplicate) pour tester la fiabilité des résultats.*

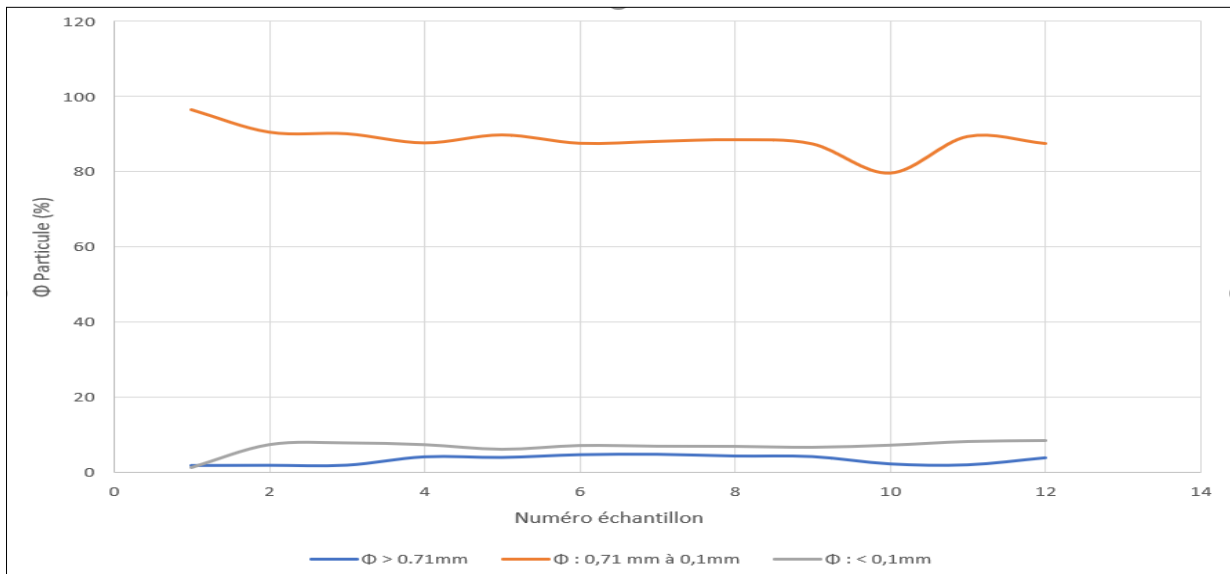


Figure 6. La prédominance des particules de dimensions allant de 0.71 à 0.1mm dans les échantillons de sables du territoire de Madimba

Tableau 4. Résultats d'analyses sédimentologiques des échantillons de sables de Madimba au Kongo Central

N° d'Echantillon	Identification	Texture		
		Limon (%)	Argile (%)	Sable (%)
1	WM1	0.40	0.58	99.02
2	WM2	0.44	0.40	99.06
3	WM3	0.58	0.27	99.15
4	NG1	0.44	0.26	99.3
5	NG2	0.54	0.25	99.21
6 (Duplicate 04)	NG3	0.50	0.33	99.17
7	KIO	0.61	1.26	98.13
8	NK1	0.57	1.24	98.19
9 (Duplicate 08)	NK2	0.54	1.26	98.2
10	NE1	0.60	0.28	99.12
11	NE2	0.54	0.29	99.17
12	NE3	0.61	0.24	99.15

Les Tableaux 6 et 7, reprennent respectivement les répartitions des fractions en poids et en pourcentage des particules d'échantillons prélevés sur terrain. Il ressort une moyenne de 88.52% de fraction de dimension de 0.71mm à 0.1mm, contre 3.36% de particules de diamètres supérieurs à 0.71mm et 6.86% de particules inférieures à 1mm (Tableau 8).

La Figure 6, montre que plus de 80% des particules des échantillons ont des dimensions variant-entre 0.71mm et 0.1mm. La flexure observée dans l'échantillon n°10 (NE1) est due aux pertes d'échantillon enregistrées lors de traitement, soit 5.47g sur 50.8g de poids total de l'échantillon analysé (10.77% de pertes). Toutefois, la frange de ces particules demeure tout de même dominante.

Notons que la classe de sable la mieux indiquée pour la verrerie est comprise entre 0.6 à 0.1mm [UN, 1974] ; 0.5 et 0.1mm [ONU, 1986] ou 100 et 300  $\mu$ m [ARRMAZ, 2020].

#### Résultats d'Analyses Chimiques des Oxydes (ACO)

Pour mieux comprendre la signification statistique des résultats de sables (Tableau 2) issus d'un même territoire et dans les conditions similaires de dépôt, les paramètres statistiques (statistiques descriptives) ont été déterminé à l'aide du logiciel Excel (Tableau 3). Ce tableau montre que les teneurs de SiO<sub>2</sub> varient de 98.00% à 99.42%, ce qui atteste la présence des sables riches en silice. Les teneurs moyennes des oxydes dans ces sables à des profondeurs allant de 1m à 3m sont de : SiO<sub>2</sub> :

Tableau 5. Les proportions de chaque fraction dans les échantillons de sables du Kongo Central

Paramètre	Limon (%)	Argile (%)	Sable (%)
Mean	0.530833333	0.555	98.90583333
Standard Error	0.020613997	0.124466	0.129154936
Median	0.54	0.31	99.135
Mode	0.54	1.26	99.15
Standard Deviation	0.07140898	0.431161	0.447405822
Sample Variance	0.005099242	0.1859	0.20017197
Kurtosis	-0.762586587	-0.56481	-0.39382311
Skewness	-0.678047214	1.169496	1.236495963
Range	0.21	1.02	1.17
Minimum	0.4	0.24	98.13
Maximum	0.61	1.26	99.3
Sum	6.37	6.66	1186.87
Count	12	12	12



Tableau 6. Résultats d'analyse granulométrique en poids des échantillons de sable de Madimba au Kongo Central (CRGM, Mai 2020)

N° Echantillon	Indentification	Poids en gramme (g) des fractions en millimètres (mm)				Poids en gramme (g) des fractions en millimètre (µm)					
		Poids du sable en gramme (g)	2mm et 1,4mm	1,4mm et 1,0mm	1,0mm et 0,710mm	0,710 et 0,500mm	0,500mm et 0,355mm	0,355mm et 0,250mm	0,250mm et 0,125mm	0,125mm et 0,090mm	0,090mm et fond tamis
			Φ > 0.71mm	Φ : 0,71 mm à 0,1mm				Φ < 0,10mm			
1	WM1	50.84	0.11	0.1	0.42	2.04	14.2	19.2	10.6	3.02	0.97
2	WM2	50.53	0.14	1.6	2.02	5.73	15.2	11.16	9.46	4.18	0.99
3	WM3	50.75	0.27	1.7	2.05	3.04	15.7	11.24	11.49	4.22	1.01
4	NG1	50.55	0.24	1.56	1.96	3.3	15.3	10.76	9.04	5.94	2.1
5	NG2	50.6	0.28	1.15	1.7	3.27	19.2	11.07	7.7	4.18	2.02
6	NG3	50.63	0.31	1.3	2.04	3.4	14.2	11.8	10.18	4.76	2.38
7	KIO	50.71	0.15	1.46	1.95	3.28	15.3	12.22	9.7	4.18	2.44
8	NK1	50.7	0.18	1.4	1.96	3.27	15.4	11.76	10.17	4.22	2.21
9	NK2	50.81	0.2	1.32	1.9	3.25	15.2	11.16	10.01	4.76	2.14
10	NE1	50.8	0.22	1.44	2.05	3.4	14.1	11.7	7.05	4.18	1.18
11	NE2	50.1	0.15	1.86	2.15	3.55	15.8	11.76	9.43	4.26	1.04
12	NE3	50.24	0.3	1.8	2.2	3.58	15.3	12.07	8.2	4.76	1.96

Tableau 7. Répartition des fractions des particules en pourcentage dans les échantillons de sables des gisements de Madimba au Kongo Central

#	Identificatio n	Profondeu r (m)	Φ > 0.71m m	Φ : 0,71 mm à 0,1mm	Φ : < 0,1mm
1	WM1	1	1.91	96.46	1.24
2	WM2	2	1.96	90.50	7.44
3	WM3	3	1.99	90.07	7.92
4	NG1	1	4.15	87.64	7.44
5	NG2	2	3.99	89.76	6.19
6	NG3	1	4.70	87.54	7.21
7	KIO	1	4.81	88.03	7.02
8	NK1	1	4.36	88.48	6.98
9	NK2	1	4.21	87.38	6.73
10	NE1	1	2.32	79.61	7.30
11	NE2	2	2.08	89.34	8.30
12	NE3	1	3.90	87.48	8.56

Source : CRGM, Mai 2020

98.9725% ; Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> : 0.027% ; Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> : 0.007% ; TiO<sub>2</sub> : 0.036% ; CaO : 0.066% ; MgO : 0.022% ; K<sub>2</sub>O : 0.020% et MnO : 0.013%. Ces sables sont purs et ne contiennent que de faibles teneurs d'impuretés.

En tenant compte de la variation des teneurs en silice en fonction des profondeurs, il ressort que les teneurs faibles sont supérieures à 97.5% (à environ un mètre de profondeur) au village de Nkamu et les teneurs élevées sont dans le village Ngeba où elles vont croissantes avec la profondeur comme l'illustre le profil (Figure 7). Les échantillons WM1, WM2 et WM3 ont été prélevés respectivement à des profondeurs de 1m, 2m et 3m dans le site Kimpemba, tout comme les échantillons NE1, NE2 et NE3 dans le site de Ngufu.

De ce qui précède, il ressort que les teneurs vont légèrement croissantes avec la profondeur. Il serait possible qu'on trouve moins d'impureté en profondeur et un sable aussi riche en SiO<sub>2</sub>. Toutefois, l'humidité ira croissante due à l'influence des nappes.

ARRMAZ [2020], estime pour les applications industrielles que les gisements de silice produisant au moins 95 % de quartz (SiO<sub>2</sub>) sont plus préférés que ceux à proportions inférieures de SiO<sub>2</sub>. La production d'un sable d'une pureté aussi élevée nécessite que le minerai extrait soit soumis à un traitement significatif de filtrage des impuretés par des procédures de flottation des minéraux de gangue, tels que le fer, l'aluminium et le magnésium, pour les séparer de la silice [PAJEAN, 2007].

Les teneurs en silices sont supérieurs à 98.00% et la teneur moyenne de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> est de 0.0275%, teneur exigée dans la fabrication des verres blanc (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> : < 0.04 %), des verres mi-blanc (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> : < 0.10 %), et éventuellement des verres colorés (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> :



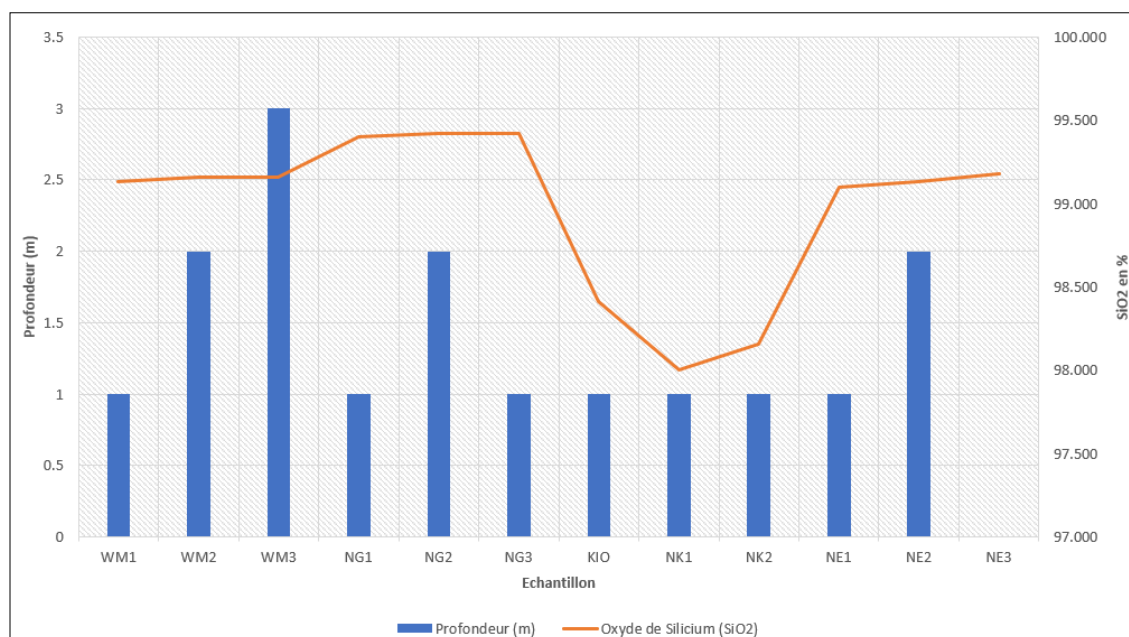


Figure 7. Allure de la variation des teneurs de  $SiO_2$  suivant les différents sites et les profondeurs d'échantillonnage

Tableau 8. Paramètres de statistiques descriptives des échantillons de sables du Kongo Central

Paramètres statistiques descriptive	(SiO <sub>2</sub> )	(Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	(Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	(Ti O <sub>2</sub> )	(Ca O)	(Mg O)	(K <sub>2</sub> O)	(MnO)
Mean	98,9725	0,0275	0,0075	0,0358	0,0658	0,0217	0,02	0,0125
Standard Error	0,1426	0,0046	0,0021	0,0036	0,0042	0,0027	0,0037	0,0013
Median	99,145	0,02	0,0035	0,04	0,07	0,025	0,015	0,01
Mode	99,13	0,02	0,003	0,04	0,07	0,03	0,01	0,01
Standard Deviation	0,4940	0,0160	0,0076	0,0124	0,0144	0,0094	0,0128	0,0045
Range	1,42	0,05	0,018	0,04	0,04	0,02	0,03	0,01
Minimum	98	0,01	0,002	0,01	0,04	0,01	0,01	0,01
Maximum	99,42	0,06	0,02	0,05	0,08	0,03	0,04	0,02
Sum	1187,67	0,33	0,09	0,43	0,79	0,26	0,24	0,15
Count	12	12	12	12	12	12	12	12

Tableau 9. Composition chimique du sable de quelques gisements à travers le monde [ARRMAZ, 2020] comparées à celle des sables de Madimba

#	Paramètres	Sable Fontaine-bleau	Sable Aisne	Sable Oise	Sable Gironde	Sable Feldspathique	Quartz filonien Portugal	Cristal de roche Brésil	Madimba RDC #
1	SiO <sub>2</sub>	99.7	99.6	99.6	98.5	95	99.8	99.99	98.97
2	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.05	0.11	0.1	0.8	2.7	0.04	0.007	
3	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.013	0.02	0.015	0.04	0.055	0.002	0.001	0.027
4	K <sub>2</sub> O	0.01	0.04	0.01	0.4	1.9	0.1	0.001	0.02
5	Perte au feu	0.1	0.2	0.2	0.2	0.02	-	-	0.08

(#) Les teneurs moyennes pour les gisements de sables du territoire de Madimba /Kongo Central

de 0.1 à 1 % selon la couleur) [ARRMAZ, 2020]. Toutefois, la production d'un sable d'une pureté aussi élevée nécessite que le minerai extrait soit soumis à un traitement significatif de filtrage

des impuretés, pour les séparer de la silice. Ainsi donc, les sables du territoire de Madimba peuvent servir à la production d'une large gamme de produits de verre à des différentes couleurs.

## CONCLUSION

La présente étude a consisté en la détermination des propriétés physico-chimiques des sables du territoire de Madimba, en vue de déterminer si ceux-ci sont utilisables dans l'industrie de la verrerie.

Les résultats des essais granulométriques, sédimentologiques et les analyses chimiques de ces sables ont permis de les catégoriser.

Les résultats d'analyses chimiques donnent des teneurs moyennes des oxydes variant légèrement en fonction de la profondeur allant d'un mètre à trois mètres :  $\text{SiO}_2$  :98.9725% ;  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  :0.0275% ;  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  : 0.0075% ;  $\text{TiO}_2$  : 0.0358 ;  $\text{CaO}$  : 0.06583% ;  $\text{MgO}$  :0.02167% ;  $\text{K}_2\text{O}$  :0.02% et  $\text{MnO}$  : 0.0125%. D'où, ces sables sont quasi purs et ne renferment que de faibles teneurs d'impuretés.

Dans l'ensemble, plus de 80% des particules des échantillons ont des dimensions variant entre 0.71mm à 0.1mm, soit une moyenne de 98.9058% de sable contre 0.555 % d'argile et 0.5308% de limon. Les échantillons de sols analysés présentent tous des textures à prédominance sableuses avec des faibles fractions d'argiles et de limons.

A ce propos, il apparaît que ces sables sont de bonne qualité et se prêtent bien à l'industrie de la verrerie.

Les sables présentent une faible perte au feu (PF) maximale de 0.18% pour une moyenne de 0.08%, soit 0.1%. Le taux d'humidité enregistré est inférieur à 1%. L'humidité allant croissante avec la profondeur (à cause de l'influence de la nappe aquifère) constitue un paramètre à contrôler régulièrement en cas d'exploitation.

Les réserves considérables ont été enregistrées sur les trois sites à savoir Ngufu, Ngeba et Kimpemba. Ceci donne la possibilité de fournir les verreries sur une longue période. Toutefois, la maîtrise d'un certain nombre de contraintes est le préalable pour cette industrie. Il s'agit de la maîtrise foncière du gisement, les calculs des réserves, les conditions hydrologiques, le permis d'exploitation et le respect des contraintes liées à l'environnement qui n'ont pas été développés dans cette étude.

## RESUME

L'étude consiste à déterminer les propriétés physico-chimiques des sables dans trois sites (Ngufu, Ngeba et Kimpemba) dans le territoire de Madimba dans la Province du Kongo Central et leur usage en verrerie. Les paramètres essentiels utilisables en verrerie sont la composition chimique, la granulométrie, l'humidité et la perte au feu. Le recours aux travaux documentaires et aux techniques de la photo-interprétation ont permis la sélection des sites cibles. Les essais sédimentologique, granulométrique et les analyses chimiques des oxydes ont été utilisés. Il ressort que plus de 80% des

particules des échantillons ont présenté des dimensions de 0.71mm à 0.1mm, soit une moyenne de 98.90% de sable contre 0.55% d'argile et 0.53% de limon. Ces sables possèdent une faible perte au feu d'environ 0.1%. L'humidité est inférieure à 1% ; elle pourra aller croissante avec la profondeur à la suite de l'influence des nappes souterraines. Les résultats d'analyses chimiques des oxydes donnent des teneurs moyennes respectives de :  $\text{SiO}_2$  :98.9725% ;  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  :0.0275% ;  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  :0.0075% ;  $\text{TiO}_2$  :0.0358 ;  $\text{CaO}$  :0.0658% ;  $\text{MgO}$  :0.0217% ;  $\text{K}_2\text{O}$  :0.0200% et  $\text{MnO}$  : 0.0125%. Les teneurs de silice,  $\text{SiO}_2 > 98.90\%$  attestent que ces sables sont quasi purs car ils ne contiennent que de faibles teneurs d'impuretés ; à cet effet, leurs propriétés physico-chimiques sont favorables à leur utilisation dans la verrerie.

## Mots clés

Sable, Industriel, Verrerie, Kongo Central, Physico-chimique.

## REFERENCES

- ARRMAZ [2020]. Silice/ Sable De Verrerie. Inédit. <https://arrmaz.com/fr/industries/minieres/silice-sable-de-verrierie/>, janvier 2019.
- DAFALLA M.S., IBRAHIM S.I., ELHAG A.M.H, DOKA M.A. [2007]. Assessment of Sand Encroachment Using Remote Sensing and GIS: Case Study Dongola Area, Sudan, LARS 2007.
- FLAVIGNY E., DESRUES J., PALAYER B. [1990]. Sable d'Hostun « RF ». *Rev. Franç. Géotech.* 53, 67-70.
- GALLALA W., GAIED M. E., TLILI A., MONTACER M. [2008]. Les sables de Sidi Aïch caractérisation et préconcentration. Conference Paper, Research Gate, March 2008. <https://www.researchgate.net/publication/282008383>. Janvier 2019.
- ILITO L.D.P., MAKANZU I.F., MATUNGILA. J., MUANZA K.P. [2018]. Utilisation de l'imagerie satellitaire Google Earth dans l'identification des dépôts de sables alluvionnaires de la rivière Kwilu dans la Province du Kongo Central. RDC. *Journal Congo Sciences.* 6, 1, 14-22
- MAUBERT F. [1989]. La silice pour l'industrie. Memento roches et minéraux industriels, BRGM, Service Géologique National, Département Géologie, Service Roches et Minéraux Industriels, Orléans Cedex 2 – France. 89 SGN 150 GEO, 66p.
- ONUDI [1986]. Phase I. Travaux de reconnaissance Préliminaire et Phase II. Prospection systématique. Kinshasa – Bas-Congo ; Inédit. pp. 45-46 ;
- PAJEAN G. [2007]. L'élaboration du verre. Une Petite Encyclopédie Du Verre, .13, 5, 14-17.
- RAKOTOMALALA J. Y., RAZANAMPARANY B., RAHARIMALALA L., RABESIAKA M. et RAJAONARITININA E. [2019]. Caractérisation physico-chimique de calcaire, dolomie et de sable siliceux de Madagascar en vue de leur valorisation en élaboration de verre silico-sodocalcique. *Afrique SCIENCE* 15,5,177 – 186.
- THOULET J. [1881]. Étude microscopique d'un sable du Sahara. In : *Bulletin de la Société minéralogique de France*, 4, 9, 262-268.
- UN [1974]. Inventaire des ressources Minières dans le Bas-Zaïre. Rapport de résiliation. Préparé pour le Gouvernement du Zaïre par l'Organisation des Nations Unies agissant en tant qu'Organisation participante et chargée de l'exécution pour le compte du

Programme des Nations Unies pour le développement. New-York.  
Inédit. pp.63-66.

ZHOU X.W., WANG H.L. [2015]. Application of Google Earth in Modern  
River Sedimentology Research. Journal of Geosciences and  
Environment Protection 3, 1-8.  
<http://dx.doi.org/10.4236/gep.2015.38001>.



This work is in open access,  
licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International  
License. The images or other third party material in this article are  
included in the article's Creative Commons license, unless indicated  
otherwise in the credit line; if the material is not included under the  
Creative Commons license, users will need to obtain permission from the  
license holder to reproduce the material. To view a copy of this license,  
visit <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>