

Géochimie, minéralogie et sélection altérologique des argiles alluviales de la vallée du Nyong à Akonolinga (Cameroun) en vue de leur utilisation dans la production des briques cuites.

Philippe SAMBA ASSOMO ^{1*}, Sylvain KOUAYEP LAWOU ¹, Lucas BOUBA ², Veronique KAMGANG KABEYENE BEYALA.³

¹Higher Teacher Training College of Bertoua, University of Bertoua, Po. Box. 652 Bertoua, Cameroon

²Faculty of Science, University of Maroua, Po.Box.814, Cameroon

³Faculty of Science, University of Dschang, Po.Box. 110 Dschang Cameroon

Résumé

Trois puits ont été ouverts dans la vallée du Nyong à travers lesquels les échantillons d'argiles alluviales ont été récoltés. Ces échantillons ont été soumis à l'analyse spectrométrique de rayons X et la méthode « altérologique normative » a été mise en œuvre en vue de leur sélection dans la production des briques cuites. Les résultats obtenus montrent que la silice (SiO_2) est l'élément le plus abondant suivie par l'alumine (Al_2O_3). Les autres éléments majeurs (TiO_2 , FeO , K_2O , MnO , NiO , P_2O_5 , CaO , Cr_2O_3) ont des concentrations insignifiantes. Les paramètres altérologiques révèlent que l'Indice de Lixiviation Potentielle (ILP) est important contrairement au Degré Virtuel d'Altération de la Roche (DVAR) qui est faible. Le milieu est ouvert et faiblement induré car les valeurs de l'Indice de Confinement Potentiel (ICP) et de l'Indice d'Induration Potentielle (IIP) sont faibles. L'application du protocole de sélection normative aux matériaux de la vallée du Nyong, les a proscrits pour la fabrication des briques cuites. Cependant, en prenant soin de fabriquer les briques cuites avec l'argile saine (100 wt%) ou avec des faibles ajouts de sable (5, 10, 15 wt%), les résultats obtenus sont bons.

Mots clés: Vallée du Nyong, argiles alluviales, altérologie, briques cuites

Received: 17/07/2022

Accepted: 18/08/2022

DOI: <https://dx.doi.org/10.4314/jcas.v18i2.3>

© The Authors. This work is published under the Creative Commons Attribution 4.0 International Licence.

Abstract

In the Nyong valley, three wells were dug from which alluvial clay samples were collected. These samples were subjected to X-ray analysis and the “normative alterology” method was applied for their selection in the production of fired bricks. The results obtained show that silica (SiO₂) is the most abundant element followed by alumina (Al₂O₃). The other major elements (TiO₂, FeO₃, K₂O, MnO, NiO, P₂O₅, CaO, Cr₂O₃) have insignificant concentrations. The alterology parameters show that the Potential Leaching Index (PLI) is high in contrast to the Virtual Degree of Alteration of the Rock (VDA) which is low. The environment is opened and weakly indurated as the Potential Containment Index (PCI) and Potential Induration Index (PII) values are low. The application of the normative selection protocol to the Nyong Valley materials has prohibited them from being used for the manufacture of fired bricks. However, if care is taken to make the fired bricks with 100% pure clay or with small amounts of sand (5%, 10%, 15%), good results are obtained.

Key words: Valley of Nyong, alluvial clay, alterology, fired bricks

1.0 INTRODUCTION

Les matériaux d'altération issus du démantèlement de l'environnement géologique de région d'Akonolinga (Centre Cameroun) forment un important dépôt alluvionnaire dans la vallée du Nyong. Ces matériaux d'alluvionnement sont très riches en argile (Leprun, 1979 ; Kamgang, 1987 ; Yongue, 1986) et se déposent dans la vallée du fleuve après un parcours plus ou moins important grâce aux eaux de ruissellement (Samba Assomo, 2008 ; Samba Assomo et al., 2015 ; Samba Assomo, 2017). Des nombreux auteurs (Nyeck, 1989 ; Bekoa, 1994 ; Yongue, 1995 ; Bitom, 1998 ; Ndjigui, 2008 ; Onana et al., 2009 ; Onana, 2010 ; Ndome Effoudou et al., 2009) se sont intéressés à l'étude des processus d'altération des roches mères et leurs produits d'altération en place, sur terrain ferme dans la région en particulier et dans la zone intertropicale en générale. Les différentes méthodes déployées notamment les bilans d'altération et l'évaluation quantitative et semi-quantitative des produits dérivés montrent une certaine lithodépendance entre la roche mère et les produits d'altération dérivés in situ (Bilong, 1998 ; Yongue, 1995 ; Bitom, 1998). Cependant, peu de recherches dans ce sens se sont intéressées au milieu alluvionnaire (Ngon Ngon, 2007 ; Ngon

Ngon et al., 2009 ; Fadil-Djanabou et al., 2017). La stabilisation des briques à base d'argiles a souvent été faite par cuisson à différents paliers de températures croissants (Ngon Ngon et al., 2009 ; Fadil-Djanabou et al., 2015 ; Mefire Nkalih et al., 2018) ou par mélange avec la latérite avant cuisson (Ekoumou, 2004 ; Njoya, 2007 ; Kouayep Lawou et al., 2012 ; Nyassa Ohandja et al., 2020). Dans tous ces travaux, l'initiative de procéder à la cuisson par ajout de faibles pourcentages de sable (5wt%, 10wt%, 15wt%) n'avait pas été envisagé nulle part encore moins une sélection préalable des matériaux argileux nécessaires à la fabrication des briques cuites. Le présent travail a pour objectif de montrer l'importance de la méthode altérologique normative (Ekodeck et Kamgang, 2003a ; Ekodeck et Kamgang, 2011 ; Ekodeck et Kamgang, 2012) dans la sélection préalable des matériaux argileux pour la fabrication des briques cuites. En même temps, l'étude cherche à identifier la meilleure formulation (argile + sable) qui produit les briques cuites de bonne qualité mécanique.

2.0 LOCALISATION GEOGRAPHIQUE DE LA ZONE D'ETUDE

Les travaux sont effectués dans la vallée du fleuve Nyong à Akonolinga (Fig.1). Le cours d'eau prend

naissance dans les monts Guimberis à l'Est Cameroun et s'écoule suivant un itinéraire sinueux orienté ENE-WSW avant de se jeter dans l'océan atlantique. Il couvre une surface de 27800 km² et son lit est encaissé dans une vallée marécageuse sous forêt à 651m d'altitude (Ndam, 1997 ; Bineli, 2009 ; Samba Assomo et al., 2015 ; Samba

Assomo, 2017). Cette vallée s'élargit considérablement à Akonolinga, site des travaux, et forme une importante terrasse alluviale développée sur dépôt alluvionnaire. La zone d'étude s'étend en coordonnées géographiques du 3°27' au 4°45' de latitude Nord et du 11°36' au 12°43' de longitude Est.

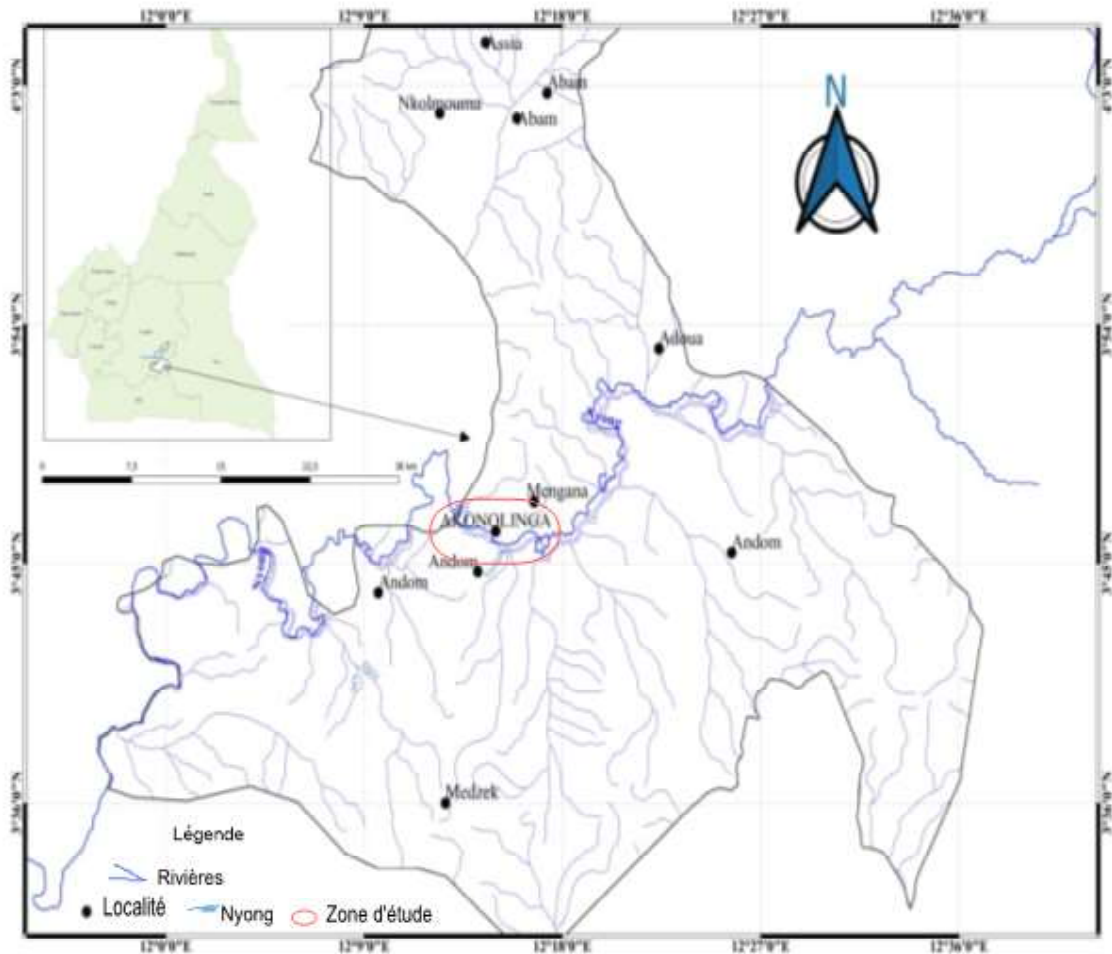


Figure 1. Localisation de la zone d'étude

3.0 MATERIELS ET METHODES D'ETUDE

Trois puits notés P1, P2 et P3 creusés à l'intérieur de la vallée du Nyong (Fig.2) ont permis de récolter des échantillons d'argile. Le sable ayant servi d'adjuvant aux différentes formulations a été prélevé dans le lit du fleuve Nyong. Le prélèvement des échantillons et l'ouverture des puits sont assurés par des doubles sacs plastiques et des outils de travail manuel (pics, pioches, pelles, machettes).

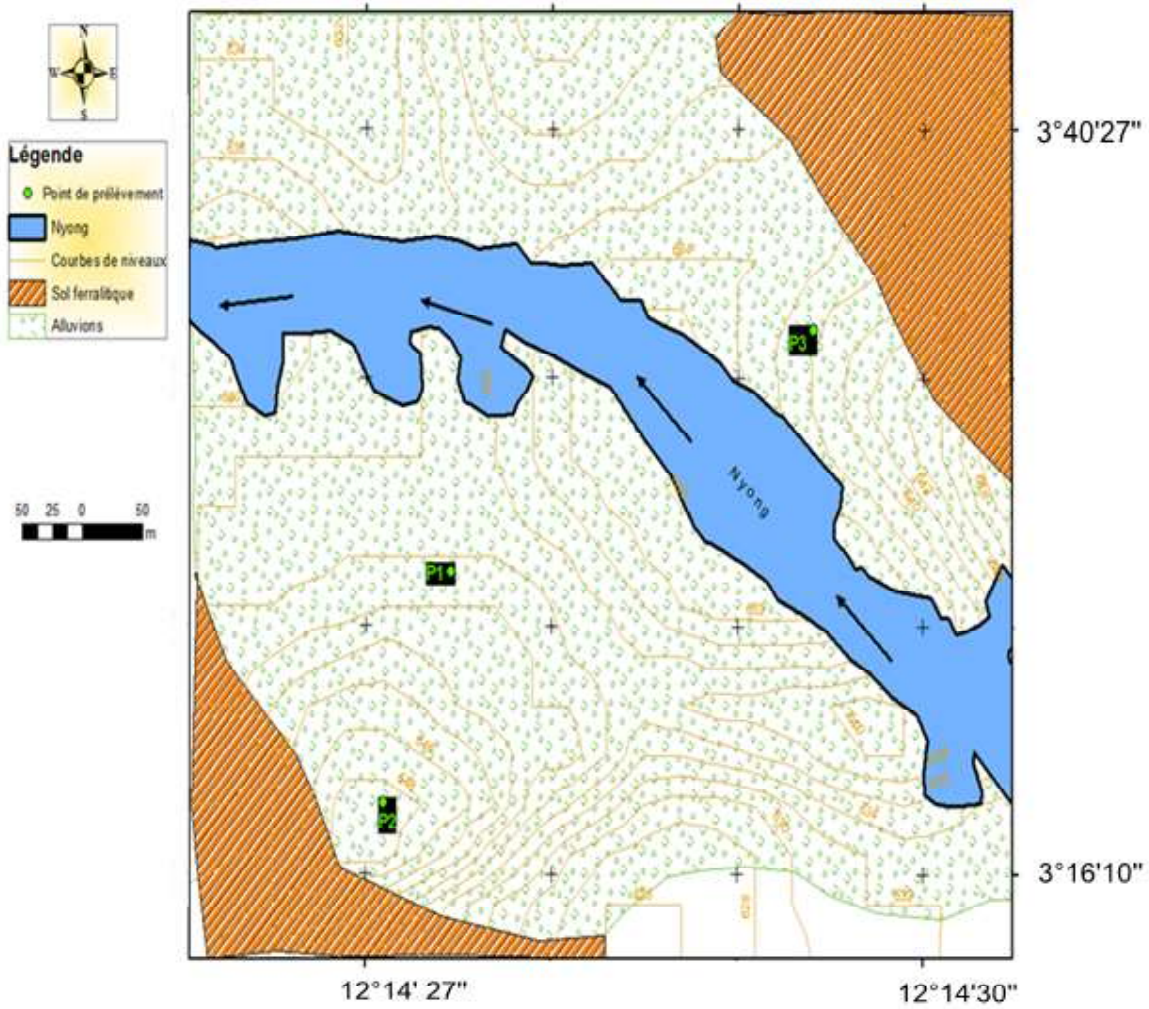


Figure 2 : Carte d'échantillonnage

La méthode altérologique normative a permis de reconstituer minéraux virtuels grâce au protocole manuel décrit par Ekodek et Kamgang (2002, 2011) à partir de l'analyse chimique des éléments majeurs contenus dans les échantillons. Les paramètres altérologiques

à calculer sont la prévalence potentielle de fer et d'alumine(PPFAL), l'indice de confinement potentiel(ICP), le degré virtuel d'altération de la roche(DVAR), l'indice d'induration potentiel(IIP), l'indice d'alumine libre(IAL) l'indice de fer libre (IFL). Les formules sont ci-après présentées :

- (1) $PPFAL = \frac{Gibbsite + boehmite + corindon}{Goethite + hématite}$
- (2) $ICP = \frac{(Silicates\ d'altération - kandites) \times 100}{Gibbsite + boehmite + corindon + silicates\ d'altération}$
- (3) $DVAR = \frac{(Gibb + boeh + Si.am) \times 100 + (kand) \times 75 + (sil.al^\circ cal.alc) \times 50 + (sil.al^\circ FeMg) \times 25}{Gibbsite + boehmite + corindon + silicates + quartz + silice\ amorop\ he}$
- (4) $IIP = \frac{(Oxydes + hydroxydes\ de\ Fe3+, Al3+, Mg2+)}{Tous\ les\ minéraux}$
- (5) $ICP = \frac{(Silicates\ d'altération - Kandites) \times 100}{Gibbsite + boehmite + Corindon + Silicates\ d'altération}$
- (6) $IAL = \frac{(Gibbsite + Boehmite + Corindon)}{Gibbsite + boehmite + corindon + goethite + hématite + co}$
- (7) $IFL = \frac{(Goethite + hématite)}{Gibbsite + boehmite + corindon + goethite + hématite + co}$

L'utilisation de ces paramètres dans les domaines d'interprétation et d'application requiert leur pondération avec le Rapport Altérologique (Ra) où %T représente le pourcentage analytique total et % Tr, le pourcentage analytique résiduel.

$$(8) Ra = \frac{\%T - \%Tr}{\%T} \times 100$$

Quant à la sélection des matériaux pour la fabrication des briques cuites, elle est rendue possible en utilisant le tableau de présélection défini pour cela (Ekodeck et Kamgang, 2011). Ce tableau (Tab.1) tient spécifiquement compte des critères minéralogiques (A) et paramétriques (B) (Ekodeck et Kamgang, 2011). Dans ce tableau (Tab. 1) la partie A) présente les différentes étapes de sélection en utilisant rigoureusement les pourcentages des minéraux reconstitués et la partie B) présente les différentes étapes de sélection en utilisant les pourcentages des paramètres altérologiques calculés. Pour que

les matériaux soient sélectionnés, il faut obligatoirement que les matériaux soient retenus par les deux phases de la sélection (Ekodeck et Kamgang, 2011).

Les laboratoires de la Mission de la Promotion des Matériaux Locaux (MIPROMALO) du Cameroun de Yaoundé, ont été mis à contribution pour la fabrication des briques cuites ; la détermination de leurs propriétés physico-chimiques et mécaniques ainsi que l'identification du cortège minéralogique par DRX. Les éprouvettes sont composées à partir des formulations d'argile saine (ANY100) ou avec des faibles pourcentages massiques de sable à 5wt%(ANY95-5) ; à 10wt%(ANY90-10) et à 15wt%(ANY85-15).

Tableau 1 : Protocoles de sélection minéralogique(A) et paramétrique(B) des matériaux pour tuiles, briques, céramique fine et réfractaire (Ekodeck et Kamgang, 2011)

A) Première phase de sélection des matériaux en utilisant les critères minéralogiques (Ekodeck et Kamgang, 2011)

CRITERES				MATERIAU	
oxyhydrox de Fe $\geq 12,5\%$				à proscrire	
oxyhydrox de Fe < 12,5%	Quartz $\geq 52, \%$	Sil anh.Ca-alc et FeMg $\geq 15\%$		à proscrire	
	52, %	Sil anh.Ca-alc et FeMg $\geq 15\%$		à proscrire	
	>	Sil anh.Ca-alc et FeMg < 15%	Hydrosil.Sil.Ca-alc et FeMg $\geq 10\%$	à proscrire	
	<	Sil anh.Ca-alc et FeMg < 15%	Hydrosil.Sil.Ca-alc et FeMg < 10%	Kand et hydro.Al $\leq 37,5\%$	à proscrire
	$\geq 15\%$		Kand et hydro.Al $\geq 37,5\%$	<u>bon pour tuiles et briques</u>	
	Quartz < 15%		Sil anh.Ca-alc et FeMg $\geq 10\%$		à proscrire
	<	Sil anh.Ca-alc et FeMg < 10%	Hydrosil.Sil .Ca-alc et FeMg $\geq 5\%$	à proscrire	
	15%		Hydrosil.Sil .Ca-alc et FeMg < 5%	Kand et hydro.Al $\leq 37,5\%$	à proscrire
				37,5% < Kand et hydro.Al $\leq 60\%$	<u>bon pour tuiles et briques</u>
				60% < Kand et hydro.Al $\leq 85\%$	<u>Bon pour céramique fine</u>
			85% < Kand et hydro.Al	<u>bon pour réfractaire</u>	

NB : Sil anh.Ca-alc et FeMg : silicates anhydres calco-alcalins et ferromagnésiens ; Hydrosil.Sil .Ca-alc et FeMg : hydrosilicates calco-alcalins et ferromagnésiens ; Kand et hydro.Al : kandites (kaolinite, halloysite) et hydrates d'alumine

B) Deuxième phase de sélection des matériaux en utilisant les critères paramétriques (Ekodeck et Kamgang, 2011)

CRITERES		MATERIAUX		
IFL ≥ 15%			à proscrire	
IFL < 15%	IRCP ≥ 50%		à proscrire	
	IRCP < 50%	IRLP ≤ 50%	à proscrire	
		50% < IRLP ≤ 70%	DVRAR ≤ 37,5%	à proscrire
			DVRAR > 37,5%	<u>bon pour tuiles et briques</u>
		70% < IRLP ≤ 85%	DVRAR ≤ 37,5%	à proscrire
			37,5% < DVRAR ≤ 62,5%	<u>bon pour tuiles et briques</u>
			DVRAR > 62,5%	<u>bon pour céramique fine</u>
		IRLP > 85%	DVRAR ≤ 37,5%	à proscrire
			37,5% < DVRAR ≤ 60%	<u>bon pour tuiles et briques</u>
	60% < DVRAR ≤ 85%		<u>bon pour céramique fine</u>	
DVRAR > 85%	<u>bon pour réfractaire</u>			

NB: IFL : Importance du fer libre ; IRCP : Indice relatif de confinement potentielle ; IRLP : Indice relatif de lixiviation potentielle ; DRVAR : Degré virtuel relatif d'altération de la roche.

4.0 PRESENTATION ET DISCUSSION DES RESULTATS

4.1- Minéralogie et Géochimie

Les résultats de l'analyse chimique sont présentés sous forme pourcentages d'oxydes des principaux éléments majeurs (Tab.2). Ces résultats montrent que la silice (SiO₂) est fortement concentrée (43% et 74%). L'alumine (Al₂O₃), le fer (Fe₂O₃) et le titane (TiO₂) occupent la seconde place avec les proportions respectives de 5% à 15% ; 0.7% à 6% ; 0.6% à 2%. La somme des alcalins et alcalino-terreux (K₂O + CaO + MgO) est faible, elle environne 0.4%. Le rapport SiO₂/ Al₂O₃ est très élevé dans tous les échantillons et varie entre 4 et 7 démontrant la prévalence de la silice par rapport à l'alumine. La diffraction aux rayons X (DRX) a permis l'analyse minéralogique. L'indexation des différentes raies de diffraction

révèle que la phase cristalline est essentiellement constituée de trois minéraux : le quartz, la kaolinite et la maghémite (Fig. 3a, 3b, 3c). Le quartz (Q) est un minéral résiduel très résistant à l'altération, la Kaolinite (K) est un minéral argileux de type 1/1 qui se forme dans les conditions de drainage moyen et la maghémite (M) est une forme variable de fer qui peut s'individualiser sous la forme de l'hématite ou de la goéthite. La phase amorphe serait source d'autres minéraux qu'il faudrait reconstituer par la méthode altérologique normative à partir de l'analyse chimique globale des échantillons. Les majorité des résultats obtenus aux plans géochimique et minéralogique par des nombreux auteurs convergent avec les résultats de cette étude (Kouyep Lawou et al., 2006 ; Nyassa Ohandja et al., 2020). Adewole (2015) a obtenu les mêmes résultats en examinant

la minéralogie et la géochimie des dépôts argileux d'Idi-Ayunre et Akure au Sud du Nigeria. Lorsque les prélèvements des échantillons sont faits dans un profil bien développé, le cortège minéralogique obtenu dévient plus important (Kamgang et al., 2012). Les résultats obtenus dans cette étude confirment que la kaolinite est le minéral le plus important dans les cortèges minéralogiques des argiles utilisées dans la fabrication des briques cuites (Bukalo et al., 2018 ; Mefire Nkalih et al., 2018). En Inde, Kumar Mishra et al. (2021) révèlent les mêmes cortèges minéralogiques dans la composition des

briques cuites ayant servi à la construction d'un monument historique. Les tendances géochimiques de cette étude convergent avec les travaux des auteurs ayant prélevé au Sud du Cameroun (Kouyep Lawou et al., 2012 ; Kamgang et al., 2012 ; Mefire Nkalih et al., 2018) montrant une prévalence de la silice (SiO_2) et d'alumine (Al_2O_3). Par contre, les travaux de Khathutshelo Netshiongolwe (2017) ont plutôt révélé des teneurs élevées en CaO dans un dépôt argileux à Vhavenda province en vue de la production des briques cuites.

Tableau 2 : Résultats de l'analyse chimique des échantillons

Puits	Echantillons	SiO_2	Al_2O_3	TiO_2	Fe_2O_3	K_2O	MgO	MnO	NiO	P_2O_5	CaO	Cr_2O_3	H_2O	LOI	SUM
P1	A1NY50	43.03	5.74	0.65	0.78	0.20	0.11	0.10	0.10	0.30	0.13	0.12	35.00	13.74	100.00
	A1NY100	74.70	11.10	2.00	0.80	0.30	0.20	ND	ND	0.10	0.15	0.10	4.00	6.55	100.00
P2	A2NY50	59.96	11.00	1.5	1.10	0.30	0.10	ND	0.10	0.15	0.11	0.70	17.00	7.98	100.00
	A2NY100	71.40	15.00	2.20	2.00	0.50	0.20	ND	0.10	0.50	0.51	0.1	7.36	0.13	100.00
P3	A3NY50	65.15	13.80	3.00	2.00	0.50	0.20	0.05	0.05	0.08	0.05	0.05	10.00	5.00	99.93
	A3NY100	64.68	15.20	2.50	7.00	0.50	0.20	ND	0.08	0.04	0.03	0.02	8.00	1.75	100.00

DL= 10^{-4} (Limite de Détection) ; ND : Non Détecté ; LOI: Perte au feu

4.2- Cortège minéralogique virtuels et paramètres altérologiques

Les résultats de l'analyse chimique ont permis de reconstituer le cortège minéralogique virtuel ainsi que la détermination des paramètres altérologiques (Tab.3). Les minéraux virtuels ou normatifs reconstitués dans tous les échantillons appartiennent aux groupes suivants : minéraux peu ou non altérables (mpa), les silicates supergènes calcoalcalins (ssca), les silicates supergènes ferromagnésiens (ssfm), les oxyhydroxydes (oxhy) et la silice (sil). Les paramètres altérologiques mettent en évidence une prévalence de l'alumine par rapport au fer (P.P.F.AL >1,6) ; une roche mère dont le degré d'altération, exprimé par le DVAR, est faible, sauf dans deux échantillons de surface (A1NY50 et A2NY50) où la valeur de DVAR est élevée. La valeur de I.L.P est élevée ce qui montre que le milieu est ouvert. Ceci s'accompagne des valeurs faibles des paramètres de confinement (I.C.P) et d'induration (I.I.P). Les valeurs de DVAR sont

moyennes exprimant que les alluvions proviennent des roches moyennement altérées. Les valeurs de ILP sont très élevées et presque identiques dans tous les échantillons (ILP \geq 90%). Une tendance similaire s'établit entre les valeurs des indices IIP et ICP qui oscillent autour de 20% confirmant davantage le défaut d'induration et confinement. La combinaison des paramètres altérologiques permet de caractériser la vallée du Nyong comme un milieu d'alluvionnement ouvert, faiblement induré dont les géomatériaux sont issus des roches mères extrêmement lixiviées et moyennement altérées. Le cortège minéralogique virtuel reconstitué dans cette étude est proche de celui obtenu par Kamgang et al. (2012) à partir des argiles alluviales de la vallée du Nyong à Ayos et Eddou Minko et Trescases (1990) sur les argiles développées sur migmatites au Gabon. Cependant, il est différent de celui obtenu par Ndome Efferoudou (2010) à partir des argiles sédimentaires de Douala (Cameroun).

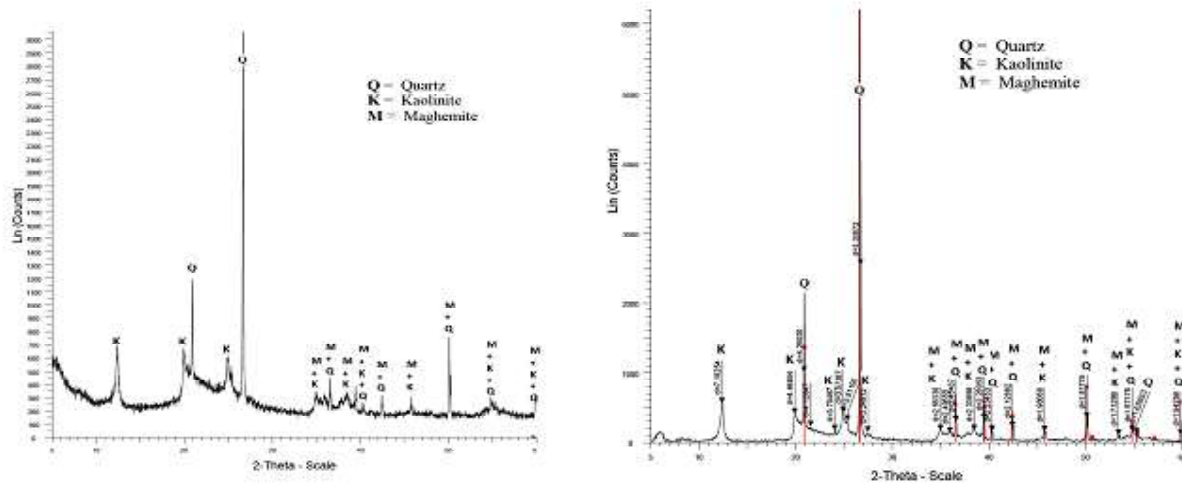


Figure 3a : Indexation des minéraux dans P1 (A1NY20 et A1NY50)

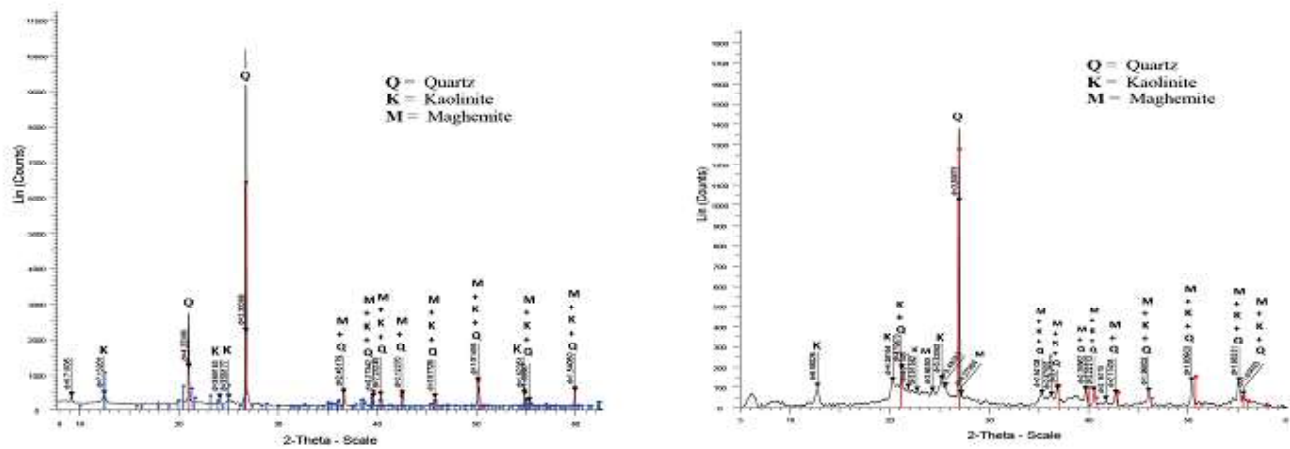


Figure 3b : Indexation des minéraux dans P2 (A1NY20 et A1NY50)

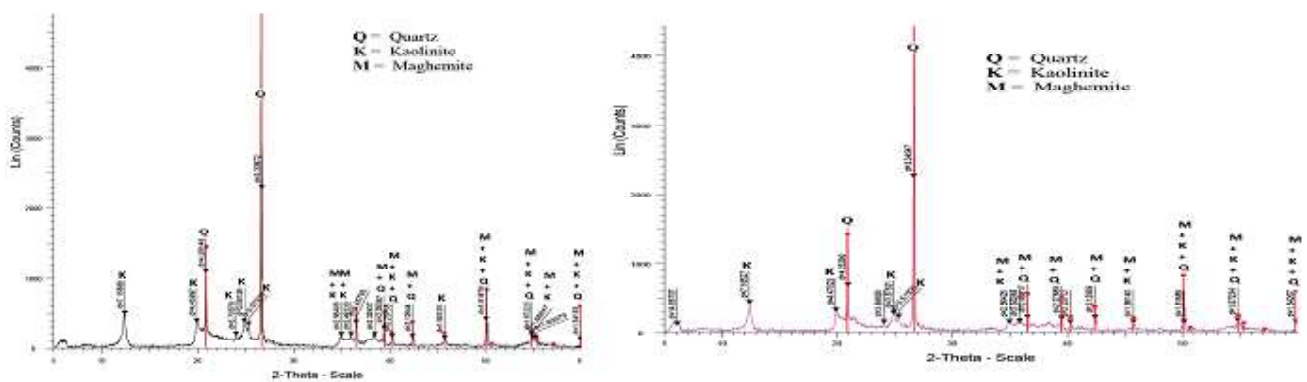


Figure 3c : Indexation des minéraux dans P3 (A1NY20 et A1NY50)

Tableau 3 : Cortège minéralogique et paramètres altérologiques

Groupes des minéraux et Paramètres altérologiques	Puits	P1		P2		P3	
	Echantillons	A1NY50	A1NY100	A2NY50	A2NY100	A3NY50	A3NY100
mpna	apatite	0,20	0,20	0,10	0,00	0,00	0,00
	anatase	0,64	1,84	1,28	2,16	2,24	2,16
ssca	séricite	1,59	2,38	2,38	2,38	2,38	238
	Scolécite	0,00	0,00	0,00	0,00	0,39	0,00
ssfm	antigorite	0,18	0,27	0,18	0,27	0,27	0,27
oxhyAl	gibbsite	7,80	15,60	15,44	22,15	19,18	21,68
oxhyFe	goethite	0,89	0,89	1,24	1,78	2,13	7,29
Sil	Sil amorphe	67,55	13,73	54,31	3,64	24,52	6,33
	quartz	0,00	64,80	24,82	67,92	48,45	59,46
PPFAL		7,76	17,52	12,45	12,44	9,00	2,97
IRLP		71,32	92,36	91,70	94,38	92,85	94,27
DVRAR		78,04	31,60	72,34	28,06	47,43	32,47
IRIP		8,70	16,53	16,55	23,85	21,40	29,09
IRCP		14,71	14,52	14,07	10,68	13,68	10,89
IAL		7,66	14,95	53,74	20,68	18,17	20,25
IFL		0,87	0,85	4,31	1,6	2,01	6,81

NB : mpa : minéraux peu altérables, ssca : silicates secondaires calco-alcalins ; ssfm : silicates secondaires ferromagnésiens ; oxhy Al : oxhydroxydes d'Alumine ; oxhy Fe : oxhydroxydes de Fer, sil : silice ; PPFAL : prévalence potentielle de fer libre ; IRLP: indice relative de lixiviation potentielle; DVRAR: degré virtuel relative d'altération de la roche ; IRIP: indice relatif d'induration potentielle; IRCP: indice relative de confinement potential; IAL: induration due au Fer libre ; IAL: induration due à L'Alumine libre.

4.3 Résultat de la sélection altérologique des matériaux

Les résultats de sélection, en appliquant les protocoles minéralogique et paramétrique (Tab.4a et 4b), montrent que les matériaux alluvionnaires de la vallée du Nyong ne sont pas indiqués pour la production des briques. Les causes de proscription minéralogique sont soit les teneurs faibles de la somme kandites + hydrates d'alumine,

soit les taux élevés de quartz. La disqualification paramétrique résulte des teneurs faibles de DVRAR de certains échantillons. La divergence des résultats entre les sélections minéralogique et paramétrique entraîne directement la disqualification du matériau. La sélection des matériaux pour plusieurs usages est difficilement favorable à l'état naturel compte tenu du désordre minéral (Samba Assomo, 2017). Comme dans cette étude, des travaux anciens indiquent que plusieurs auteurs ont proscrit les matériaux par la méthode altérologique normative pour plusieurs usages (Kamgang et Ekodeck, 1991; Yongue, 1986 ; Eddou Minko et Trescases, 1990). Pour remédier à cette préoccupation du rejet des matériaux par la méthode normative, il est souhaitable que des matériaux sélectionnés, comme matière première, pour la production des briques fassent l'objet des traitements préalables (Samba Assomo, 2017).

Tableau 4a : Résultats de la sélection minéralogique

CRITERES				MATERIAU	
oxyhydrox de Fe \geq 12,5%				à proscrire	
oxyhydrox de Fe < 12,5%	Quartz \geq 52,%			à proscrire	
	52,% > Quartz \geq 15%	Sil anh.Ca-alc et FeMg \geq 15%		à proscrire	
		Sil anh.Ca-alc et FeMg < 15%	Hydrosil.Sil.Ca-alc et FeMg \geq 10%		à proscrire
			Hydrosil.Sil.Ca-alc et FeMg < 10%	Kand et hydro.Al \leq 37,5%	à proscrire
				Kand et hydro.Al \geq 37,5%	<u>bon pour tuiles et briques</u>
	Quartz < 15%	Sil anh.Ca-alc et FeMg \geq 10%		à proscrire	
		Sil anh.Ca-alc et FeMg < 10%	Hydrosil.Sil .Ca-alc et FeMg \geq 5%		à proscrire
			Hydrosil.Sil .Ca-alc et FeMg < 5%	Kand et hydro.Al \leq 37,5%	à proscrire
				37,5% < Kand et hydro.Al \leq 60%	<u>bon pour tuiles et briques</u>
				60% < Kand et hydro.Al \leq 85%	<u>Bon pour céramique fine</u>
85%< Kand et hydro.Al				<u>bon pour réfractaire</u>	

NB1: Sil anh.Ca-alc et FeMg : silicates anhydres calco-alcalins et ferromagnésiens ;Hydrosil.Sil .Ca-alc et FeMg : hydrosilicates calco-alcalins et ferromagnésiens ;Kand et hydro.Al :kandites (kaolinite, halloysite) et hydrates d'alumine

NB2 : les causes de la proscription sont en couleur de thème jaune.

Tableau 4b : Résultats de la sélection minéralogique

CRITERES				MATERIAUX	
IFL \geq 15%				à proscrire	
IFL < 15%	IRCP \geq 50%			à proscrire	
	IRCP < 50%	IRLP \leq 50%			à proscrire
			50% < IRLP \leq 70%	DVRAR \leq 37,5%	à proscrire
		70% < IRLP \leq 85%	DVRAR > 37,5%		<u>bon pour tuiles et briques</u>
			DVRAR \leq 37,5%	à proscrire	
				37,5% < DVRAR \leq 62,5%	<u>bon pour tuiles et briques</u>
				DVRAR > 62,5%	<u>bon pour céramique fine</u>
		IRLP > 85%	DVRAR \leq 37,5%		à proscrire
			37,5% < DVRAR \leq 60%		<u>bon pour tuiles et briques</u>
			60% < DVRAR \leq 85%		<u>bon pour céramique fine</u>
DVRAR > 85%			<u>bon pour réfractaire</u>		

NB1 : IFL : Importance du fer ferrique libre ; IRCP : Indice relatif de confinement potentielle ; IRLP : Indice relatif de lixiviation potentielle ; DRVAR : Degré virtuel relatif d'altération de la roche.

NB2 : les causes de la proscription sont en couleur de thème jaune

4.3 Paramètres physico-mécaniques des briques cuites

Les paramètres physico-mécaniques, à l'exception de la granulométrie du sable utilisé dans les formulations, sur lesquels l'intérêt de cette étude a porté, lorsque les différentes éprouvettes étaient soumises à des paliers de températures croissantes (900°C, 1000°C ,1100°C), sont la couleur, la cohésion, la résonance, l'absorption de l'eau des éprouvettes, le retrait linéaire, la perte au feu, l'évolution de la masse volumique et la résistance à la flexion.

Les résultats des paramètres physiques montrent que la couleur varie de 7.5 YR7/4 : rose à 2.5Y7/

2 gris clair. La cohésion obtenue est bonne, la résonance est métallique. Le sable prélevé sur le lit du Nyong ayant servi aux différents mélanges des éprouvettes a fait l'objet de l'analyse granulométrique par tamisage. La courbe granulométrique (Fig. 4) révèle que le sable utilisé a une granulométrie moyenne (86,81%).

L'absorption de l'eau baisse avec l'augmentation de la température de cuisson. Elle passe de 22.5% à 17.1% pour ANY100 ; de 21.6 à 17.7% pour ANY95-5 ; de 21.3 à 17.9 pour ANY90-10 et de 20.8 à 18% pour ANY85-15. L'absorption de l'eau semble également dépendre de la teneur en argile. Ainsi, pour l'éprouvette ANY100 composée essentiellement d'argile, elle est légèrement plus grande (Fig.5)

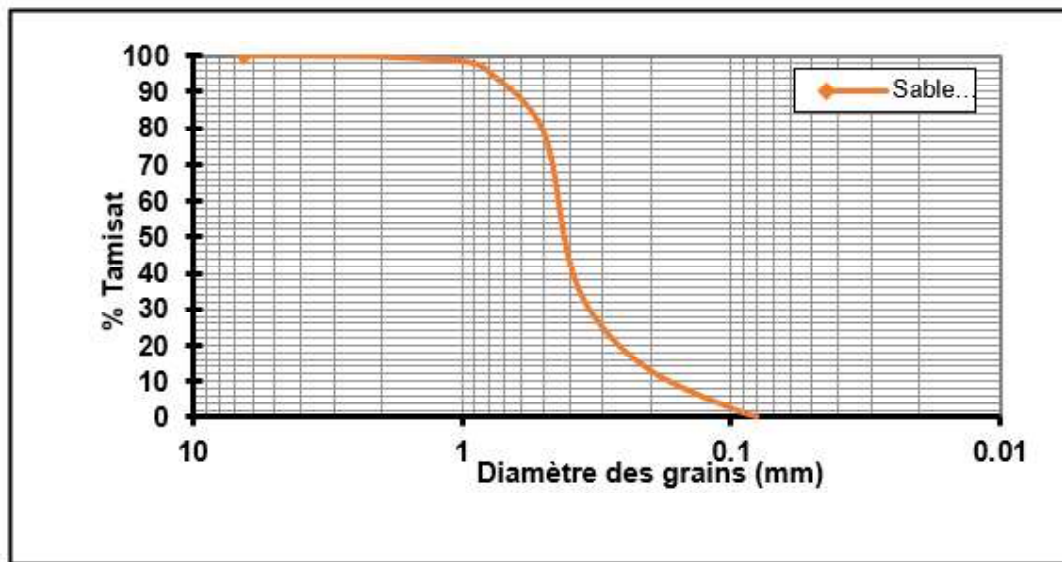


Figure 4 : analyse granulometrique du sable

Le retrait linéaire (Fig.6) augmente avec l'élévation de la température de cuisson. Il augmente très rapidement lorsque l'éprouvette est dépourvue de sable(ANY100) alors que c'est le contraire lorsque la teneur en argile baisse (ANY85-15). Lorsqu'on passe de 900°C à 1100°C les retraits linéaires des éprouvettes varient de la manière suivante : de 1.7 à 5.2% (ANY100), de 1.6 à 3.8% (ANY95-5), de 1.5 à 3.2% (ANY90-10) et 1.2 à 2.7% (ANY85-15). L'examen de la perte au feu (Fig.7) indique que les éprouvettes perdent régulièrement de masse

en fonction de l'augmentation de la température de cuisson. D'une manière générale la variation de la perte est inférieure à 1% pour tous les échantillons. Elle est de 0.6% dans ANY100 ; 0.4% dans ANY95-5 ; 0.5% dans ANY90-10 et 0.9% dans ANY85-85, lorsqu'on passe de 900°C à 1100°C. Ces valeurs indiquent que les matériaux sont débarrassés des impuretés.

La masse volumique augmente légèrement avec la température de cuisson. Elle semble dépendre de la teneur en sable, raison pour laquelle elle est importante dans l'éprouvette ANY85-15 par

rapport aux autres. La valeur moyenne de la masse volumique est de $1.7g/cm^3$ (Fig.8).

Les résultats de la résistance à la flexion (Fig.9) montrent que ce paramètre augmente avec la température de cuisson. Le résultat obtenu dépend beaucoup plus de la formulation du mélange. Le meilleur résultat étant obtenu pour la formulation ANY95-5. L'argile pure donne également un résultat intéressant.

Les propriétés physiques et mécaniques des briques cuites de cette étude sont similaires de celles obtenues par des nombreux auteurs (Mefire Nkalih et al.,2015., Mefire Nkalih et al.,2018., Oikonomopoulod et al.,2015., Ngun et al., 2011., Monoharan et al.,2011., Souza et al., 2002., Xu et al., 2014). Les travaux d'Adewole (2015) ont montré que les argiles peuvent servir

pour les constructions industrielles. Les travaux de Kumar Mishara et al.(2021) montrent que la bonne qualité mécanique des briques cuites est obtenue à partir d'une température de cuisson de $900^{\circ}C$ même à partir d'un four traditionnel. Ces résultats ont été obtenus en examinant les briques cuites ayant servi à la construction des monuments historiques. Cependant, lorsque les briques cuites sont fabriquées à partir des argiles latéritiques sans traitement, la qualité mécanique obtenue est mauvaise à cause des teneurs élevées en nodules de fer (Nyassa Ohandja et al.,2020). Dans ce cas, des traitements subséquents sont nécessaires (Samba Assomo, 2017). La médiocrité de la qualité mécanique des briques cuites a été évoquée par Oluwole Akintola (2020), il préconise l'usage des briques pour des constructions d'un étage.

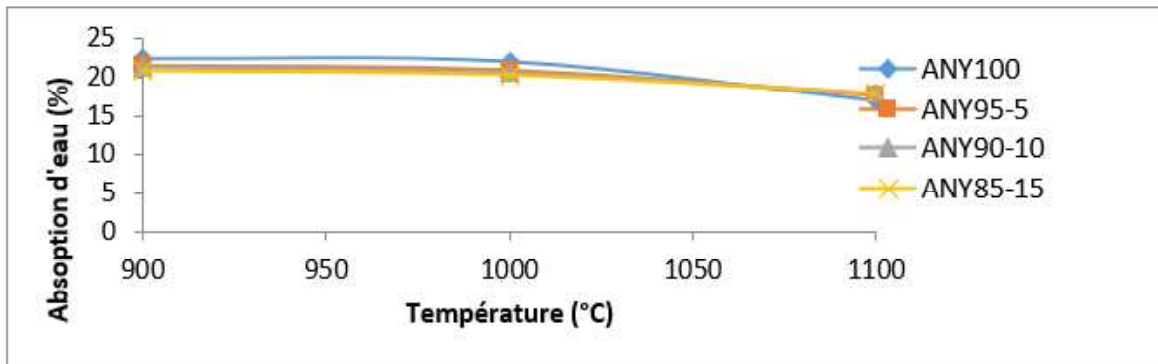


Figure 5 : Evolution moyenne de l'absorption de l'eau en fonction de la température

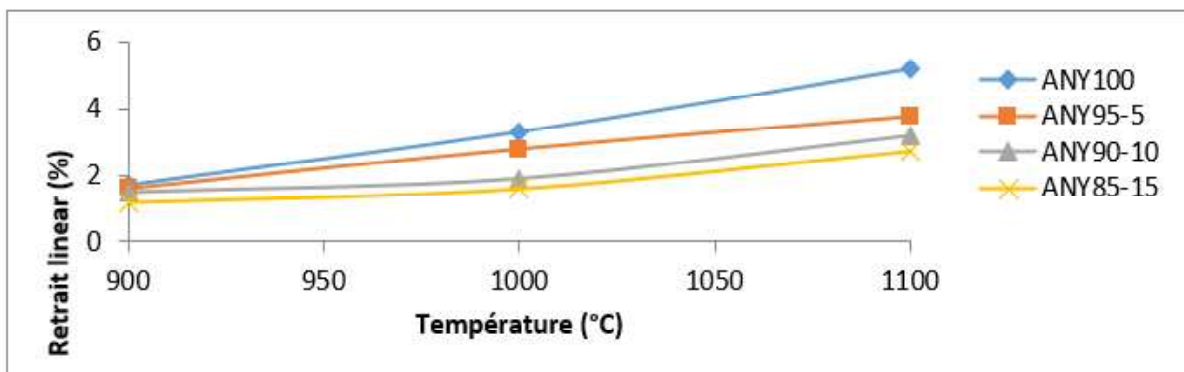


Figure 6 : Evolution moyenne du retrait linéaire en fonction de la température

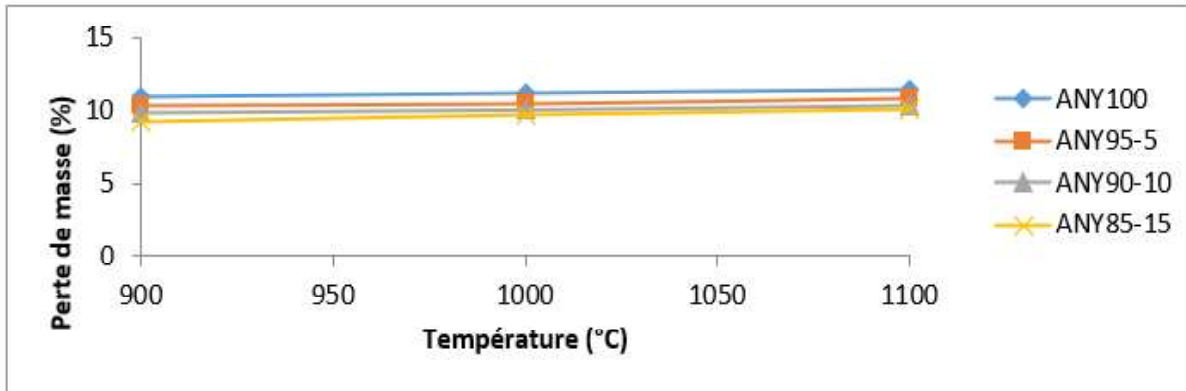


Figure 7 : Evolution moyenne de la perte de masse en fonction de la température

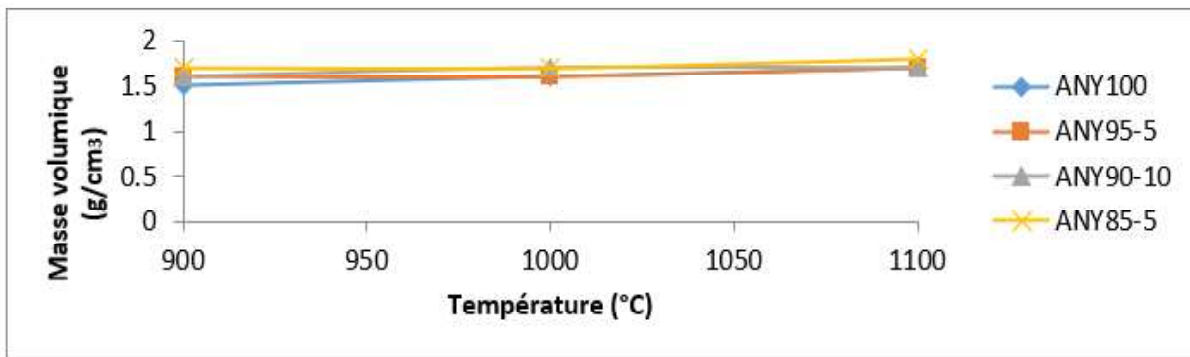


Figure 8 : Evolution moyenne de la masse volumique en fonction de la température

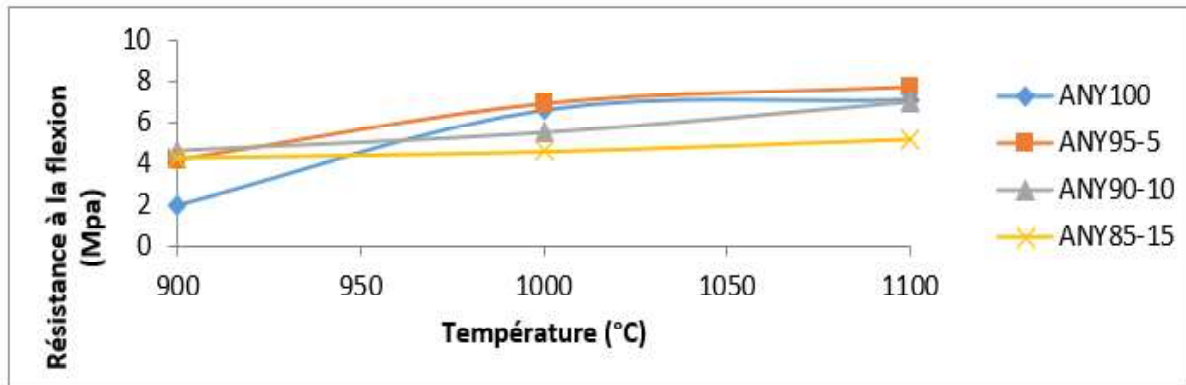


Figure 9 : Evolution de la résistance à la flexion des briques cuites

3.0 CONCLUSION

La présente étude a été basée sur la minéralogie et la géochimie des argiles alluviales de la vallée du Nyong à Akonolinga avec application de la méthode « altérologique normative » dans la pré sélection des matériaux argileux nécessaires à la fabrication des briques cuites. Au terme de cette étude, les principales conclusions sont les suivantes :

- ✓ les argiles alluviales de la vallée du Nyong sont riches en deux éléments chimiques notamment la silice et l'alumine. Ces argiles sont contenues dans un mélange alluvionnaire riche en sable, quartz et dérivés de fer ;
- ✓ la méthode « altérologique normative » a proscrit les argiles alluviales de la vallée du Nyong à l'état naturel, dans la fabrications des briques cuites à cause des teneurs faibles en kandites et des pourcentages élevés en quartz ;
- ✓ la correction des causes de la proscription, en utilisant l'argile saine mélangée avec des faibles pourcentages massiques de sable, a permis de retenir le mélange fait à base de 95 % d'argile + 5%de sable, comme formulation idéale pour la production des briques cuites de bonne qualité mécanique ;
- ✓ la méthode « altérologique normative » est apparue ainsi comme un important outil d'aide à la décision qui renseigne avec précision l'utilisateur des matériaux sur les causes de sélection ou de rejet de ces derniers.

REMERCIEMENTS

Les auteurs de ce travail remercient profondément les Professeurs Georges Emmanuel Ekodeck et Véronique Kamgang Kabeyene Beyala, qui ont mis sur pied la méthode « altérologique normative » ayant été largement utilisée dans cette étude notamment

pour la reconstitution des minéraux virtuels, la caractérisation du milieu et la sélection des matériaux nécessaires à la fabrication des briques cuites.

REFERENCES

- Adewole, A. (2015) : Mineralogy and Geochemistry of Residual Clay Occurrences in Idi-Ayunre and Akure Areas, Southwestern Nigeria, *Journal of Geography and Geology*, 2015
- Bekoa, E.T. (1994) : Etude pétrologique et géochimique d'une couverture pédologique sur gneiss en zone forestière de l'extrême Sud Cameroun : relation avec la dynamique du fer. Thèse. Doc 3^{ème} cycle Univ. Ydé I, 187 p.
- Bilong, P.A. (1988) : Génèse et développement des sols ferrallitiques sur syénite alcaline potassique en milieu forestier du Centre Sud Cameroun en comparaison avec les sols ferrallitiques développés sur roches basiques. Thèse. Doc ès sciences UnivYdé I 367 p.
- Bineli, E.T. (2009) : Impact de la variabilité climatique sur les ressources en eau du bassin du Nyong. Mém. DEA. FAC. Sc. UYI., 82 P.
- Bitom, D.I. (1998) : Organisation et évolution d'une couverture ferrallitique en zone tropicale humide (Cameroun). Genèse et transformation d'ensemble ferrugineux induré profond. Thèse Univ Poitiers 164 P
- Bukalo,N., Ivo,G.,Ekosse, E., Odiyo,J., Ogola, S.(2018) : Mineralogical characteristics of Cretaceous-Tertiary kaolins of the Douala Sub-Basin, Cameroon. *Journal of African Earth Sciences* Volume 141, May 2018, 130-147 <https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2018.02.010>
- Eddou Minko, A., Trescases, J.J. (1990). Un modèle d'altération météorique en zone équatoriale humide : les profils développés sur le

gneiss d'Ovala (Gabon). Géodynamique, vol.5 n°2, pp.95-110.

Ekodeck, G.E., Kamgang Kabeyene Beyala, V. (2003a) : Intérêt de l'altérolgy normative dans la selection des argiles kaolinitiques pour la production industrielle des caoutchoucs, du papier, des peintures et des plastiques. Journal of the Cameroon Academy of sciences, vol 3, n°3, pp119-136

Ekodeck, G.E. et Kamgang Kabeyene Beyala, V. (2012) : The normative alterology, an efficient and helpful decision making tool for the multiform valorization of weathered rock materials of tropical countries. Journal of the Cameroon Academy of sciences.10 N_O 1(2012)

Ekodeck, G.E., Kamgang, K.B. (2002) : Altérolgy normative et ses applications. Presse universitaire de Yaoundé. 231 P.

Ekodeck, G.E. et Kamgang, K.B. (2011): Normative alterology and advanced applications a particular facet of aluminosilicate-bearing rocks petrology, with regard to their supergene evolution. Press. Univ. de Yaoundé (Cameroun), collect. Connaissances, 225 p.

Ekoumou, A.B. (2004) : Caractérisation géotechnique des argiles latéritiques de Nkolbisson et des argiles hydromorphes de d'ETOA en vue de la fabrication des briques de terre. Mém. DEA. Fac Univ de Ydé I. 79 P

Fadil-Djenatou, S., Ndjigui, P-D., Mbey, J-A. (2015) : Mineralogical and physicochemical characterization of Ngaye alluvial clays (Northern Cameroon) and assessment of its suitability in ceramic production. Journal of Asian Ceramic Societies 3(2015) 50-58 DOI : <http://dx.doi.org/10.1016/j.jascer.2014.10.008>

Kamgang, V. et Ekodeck G-E. (1991) : Altération et bilans géochimiques des biotites des gneiss de Nkolbisson (NW de Yaoundé, Cameroun). Géodynamiques, vol.6 n° 2, pp. 191-199

Kamgang, K.B., Ntoulala, R.F., Onana, V.L., Ndomé, E.P., Ekodeck, G.E. (2012) : Altération supergène des chloritoschistes d'Ayos (Cameroun) et intérêts géotechniques. Rév. CAMES-SérieA, 13(2) :263-269, décembre2012.

Kamgang, K.B. (1987) : L'altération supergène des roches grenatifères de la région de Yaoundé (Cameroun) : Pétrologie-Minéralogie. Th. Doct. 3ème Cycle, Univ. Poitiers-France, 170 P.

Khathutshelo Netshiongolwe. (2017) : Mineralogy and Geochemistry of clays at *Vhavenda* in Limpopo Province, South Africa. Thesis.University of Venda, 219p.

Kouayep Lawou, S., Kamgang Kabeyene Beyala, V., Njopwouo, D., Wouatong, A.S.L. (2012) : Mineralogy And Geochemistry Of Weathered Materials Of Bana Complex (West Cameroon): Origin and Evolution. Rev.CAMES-Série A, 13(1):1-8.

Kumar Mishra, A Mishra ,A ; Anshumal.(2021) Geochemical characterization of bricks used in historical monuments of 14-18th century CE of Haryana region of the Indian subcontinent: Reference to raw materials and production technique. Construction and Building Materials (Elsevier) Vol.269, 1, 121802 <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.121802>

Leprun, J.C. (1979) : Les cuirasses ferrugineuses des pays cristallins de l'Afrique Occidentale sèche. Genèse – Transformation – Dégradation. Th. Doct. Fac. Sci. Univ. L. P., Strasbourg – France, et Mém. des Sci. Géol., n° 58, 224 p.

- Mefire Nkalih A., Njoya, A., Fouateu Yongue, R., Nsandamoun, A.I., Nzengang, A.N., Mache, J.R., Chinje, U.M., Pilate, P., Siniapkine, S., Ngono, A., Fagel, N. (2015) : Kaolin occurrence in Koutaba (West Cameroun) : Mineralogical and physicochemical characterization for ceramic products. *clays minerals*, 50,593-606
- Mefire Nkalih A., Pilate, P., Fouateu Yongue, R., Njoya, A., Fagel, N. (2018) : suitability of Fouban clays (West Cameroun) for production of bricks and tiles. *Journal of mineralss and matériaux characterization and engineering*, 6,244-256. <https://doi.org/10.4236/jmmce.2018.62018>
- Monoharan, C., Sutharsan, P., Dhanapandian, S., Venkatachalapathy, R., Mohamed Asanull, R. (2011) : Analysis of temperature effect on ceramic bricks production from alluvial deposit, Tamilnadu, India. *Applied clayScience*, 54,20-25. <https://doi.org/10.1016/j.clay.2011.07.002>
- Ndam, J.L. (1997) : Bilans hydrogéochimiques sous forêt tropical aux réseaux hydrographiques du Nyong et de la Sanaga au Sud Cameroun. Th. Doc. Univ. Pierre et marie Curie, Paris Vi. 214 P.
- Ndjigui, P.D. (2008) : Altération supergène des serpentinites et distribution des éléments du groupe du platine dans les profils latéritiques du complexe ultrabasique de Lomié. Th. Doct./Ph.D, Fac. Sci. Univ. Yaoundé I, 255 p.
- Ndome Effoudou Priso, E., Kamgang Kabeyene Beyala, V., Likibi, B., Onana, V.L., Ekodeck, G.E. (2009) : Altérologie des produits supergènes dérivées des roches sédimentaires (cas de Douala au Cameroun). *Révue CAMES, Série A, Sciences et Médecine*, Vol, 9, pp 91-97.
- Ndome, E.P. (2010) : Minéralogie, géochimie et aspects géotechniques des produits d'altération sur roches sédimentaires de Douala (Littoral camerounais). Th. Doct./Ph. D, Fac. Sci. Univ. Yaoundé I, 220 p.
- Ngon Ngon, G.F. (2007) : Étude morphologique, minéralogique, géochimique et cristallographique des argiles latéritiques et des argiles hydromorphes de la région de Yaoundé en zone tropicale humide. Essais industriels et évaluation de leurs potentialités comme matériaux de constitution. Thèse. Doc. PhD. Univ de Ydé I. 200 p.
- Ngon Ngon, G.F., Yongué, F.R, Bitom, D.I., Bilong, P.A. (2009): A geological study of clayey laterite and hydromorphic material of the region of Yaoundé (Cameroun): a prerequisite for local material promotion. *J. Afr. Earth Sci.*
- Ngun, B.K., Mohamad, H., Sulaiman, S.K., Okada, K., Ahmad, Z.A. (2011) : Some ceramic properties of clays from central Cambodia. *Applied Clay Science* 53,33-41. <https://doi.org/10.1016/j.clay.2011.04.017>.
- Njoya, A. N. (2007) : étude du gisement de Kaolin de Mayouom (Ouest Cameroun): cartographie, minéralogie et géochimie. Thèse. Doc PhD. Fac. Sc. Univ de ydé I 140 p.
- Nyassa Ohandja, H., Ntouala, F, Onana, V-L., Ngo'o Ze, A., Nzie Mvindi, A-T., Ekodeck G-E. (2020) : mineralogy, geochemistry and physico-mechanical characterization of clay mixtures from Sa'a (Center Cameroon) : possibly useas construction material. *SN Applied Science*(2020) 2 :1687 <https://doi.org/10.1007/s42452-020-03365-y>
- Nyeck, B.R. (1989) : Organisation et aptitude culturale des sols de zoétéélé dans la région forestière humide du Sud Cameroun. Exemples

de deux toposéquences : sur granite – Th. Doc. 3^Ème cycle Univ. Ydé 324p.

Oikonomopoulos, K.I., Perraki, M., Tougiannidis, N., Perraki, T. (2015) : Clays from Neogene Achlada Lignite in Florida Basin (Western Macedonia, N. Greece) : A prospective Resource for the ceramic Industry. Applied clay Science, 103,1-9. [http : //dx.doi.org/10.1016/j.clay.2014.11.002](http://dx.doi.org/10.1016/j.clay.2014.11.002)

Oluwole Akintola, G., Amponsah-Dacosta, F., Mhlongo, S-E.(2020) : Geotechnical evaluation of clayey materials for quality burnt bricks .Heliyon, 4;6(12):e05626 DOI: 10.1016/j.heliyon.2020.e05626

Onana, V.L. (2010). L'altération supergène des chloritoschistes de la série de Mbalmayo-Bengbis (Sud Cameroun) et ses implications géotechniques. Th. Doct./Ph. D, Fac. Sci. Univ. Yaoundé I, 242 p.

Onana, V.L., Kamgang, K, B., Ndome, E.P., Ekodeck G.E. (2007): Matériaux d'altération sur schistes de la bordure septentrionale de la série de Mbalmayo-Bengbis: Remarques altérologiques et implications géotechniques. In recueil des résumés (Poster) du colloque « Sols et Développement durable en Afrique intertropicale-Sols et ressources minières », Douala-Cameroun, 21-23 novembre 2007, pp. 6.

Samba Assomo, P. (2008) : Caractérisation géotechnique des argiles alluvionnaires de la vallée du Nyong dans la région d'Akonolinga. Amorce de l'étude du mélange argile + ciment. Mém. DEA. Fac. Sc Univ Ydé I 64 P.

Samba, P., Chi, E., Kamgang Kabeyene, B., (2015): An explanation of the black color of river Nyong water and associated alluviums (Cameroon), International Journal of Geoscience,

6, 388-392. <http://dx.doi.org/10.4236/ii.2015.64030>.

Samba Assomo, P. (2017) : Physico-chimie, Fertilité et géotechnique des matériaux alluvionnaires de la vallée du Nyong dans la région d'Akonolinga (Centre –sud Cameroun). Thèse, PhD, Univ Ydé 1, 260p.

Souza, G.P, Sanchez, R., Holanda, J.N. (2002) : Characterization and Physical-Mechanical properties of fired kaolinitic materials. Ceramica 48,102-107. <https://doi.org/10.1590/S0366-69132002000200009>

Xu, Y., Yan, C., Xu, B., Ruan, X., Wei, Z. (2014) : The use of urban sediments as a primary raw material in the production of highly insulating brick. Ceram Int 40:8833-8840

Yongue, R. (1986) : Contribution à l'étude pétrologique de l'altération et des faciès de cuirassement ferrugineux des gneiss migmatiques de la région de Yaoundé. Thèse 3^{ème} Cycle, Univ. Yaoundé ,214P.

Youngue, R. (1995) : Les concentrations métallifères de Nickel et de cobalt à partir de l'altération latéritique des roches ultrabasiques serpentinisées