

CARACTÉRISTIQUES MORPHOLOGIQUES ET GÉOCHIMIQUES DES MANTEAUX D'ALTÉRATION DÉVELOPPÉS SUR GRANITOÏDES DANS LA RÉGION DE L'ADAMAOUA (CAMEROUN)

Souaibou

Département du traitement des matériaux, architecture et habitat,
Institut Supérieur du Sahel, Université de Maroua, Maroua

J. Mvondo Ondo

Département de Sciences de la Terre, Faculté de Sciences,
Université de Yaoundé I, Yaoundé, Cameroun

A. Elimbi

Département de chimie inorganique, Faculté de Sciences,
Université de Yaoundé I, Yaoundé, Cameroun

G.-E. Ekodeck

V.-K.-B. Kamgang

Département de Sciences de la Terre, Faculté de Sciences,
Université de Yaoundé I, Yaoundé, Cameroun

Abstract

Seven samples of rocks, including three parent rock and four weathered rock from Wack (Vina division, Adamawa Region, Cameroon) have been studied. According to chemical analysis and chemical weathering indices calculated, weathering rocks conserve the structure of parent rocks. During weathering and the influence of the steep slope, the chemical elements are completely disorganized. The quantitative determination of the degree of chemical weathering of these rocks based on whole rock chemistry was performed. The slope of the straight regression absolute value is closed to 1. These various chemical weathering indices calculated has shown that they are significantly related.

Keywords: Wack, Cameroon, alteration, chemical elements, Weathering indices

Résumé

Sept échantillons de roches dont trois saines et quatre altérées provenant de Wack (Département de la Vina, Région de l'Adamaoua, Cameroun) ont fait l'objet d'études morphologiques et géochimiques. La détermination quantitative du degré d'altération basée sur l'analyse chimique des roches a été effectuée. D'après leur analyse chimique et de leurs indices d'altération, les roches altérées gardent le faciès des roches saines. Au cours de l'altération météorique et sous l'influence de la forte pente, les éléments chimiques se trouvent entièrement désorganisés. La pente de la droite de régression exprimée en valeur absolue est proche de 1. Les différents indices d'altération chimique ainsi calculés ont permis de montrer qu'ils sont liés de façon significative.

Mots clés : Wack, Cameroun, Altération, Eléments chimiques, Indices d'altération

1. Introduction

Les sols latéritiques occupent 33 % de la zone intertropicale (Tardy, 1997) et se développent essentiellement sous un climat tropical sec très contrasté ou humide équatorial (Bilong et *al.*, 1992 ; Aleva, 1994 ; Temgoua et *al.*, 2002 ; Bitom et *al.*, 2003; 2004). En Afrique centrale, plusieurs auteurs ont étudié ces types de sols (Beauvais and Colin, 1993 ; Beauvais and Tardy, 1993 ; Bitom et *al.*, 2004 ; Beauvais, 2009) et au Cameroun particulièrement, ces études se sont concentrées pour la plupart des cas dans la partie équatoriale (Temgoua et *al.*, 2002; Bitom et *al.*, 2003; 2004; Ndjigui et *al.*, 2008 ; 2012 ; Nguetnkam et *al.*, 2008 ; Kamgang, 2009 ; Tsozué 2012). Ces sols se caractérisent généralement par des profils ABC comprenant de bas en haut, un niveau inférieur rouge à altérites et allotérites, un niveau médian globuleux ou horizon d'accumulation et un niveau supérieur argileux ou horizon meuble. La kaolinite, l'hématite, la goéthite et le quartz constituent les minéraux les plus abondants de ces sols (Tardy, 1997). La plupart des caractéristiques des sols latéritiques étudiés concerne en général le gneiss, la syénite, le granite, le schiste et les chloritoschistes dans le plateau Sud Camerounais.

Bien que la zone de Ngaoundéré et ses environs aient fait l'objet de nombreux et variés travaux géologiques (Lasserre, 1958 ; Humbel, 1966 ; Le Maréchal et Vincent, 1971 ; Déruelle et *al.*, 1987 ; Dumont et *al.*, 1987 ; Mosser et *al.*, 1990 ; Nono et *al.*, 1994 ; Ézangono et *al.*, 1995 ; Temdjim et *al.*, 2004 ; Tchameni et *al.*, 2007 ; Nkouandou et *al.*, 2008), aucune étude morphologique du sol de Wack n'a été effectuée. La présente étude est une contribution à la détermination des caractéristiques morphologiques et géochimiques de deux profils d'altération développés sur granitoïdes à

Wack, localité situ e à environ 40 Km au Nord de Ngaoundéré (Cameroun). Cette étude permet d'investiguer sur certains problèmes liés à l'utilisation des altérites, matière première utilis e dans cette localité pour l'élaboration de briques et tuiles dans le domaine de la construction.

2. Objet et méthodes

L'analyse des deux profils d'altération sur granitoïdes a été effectu e dans la localité de Wack qui se trouve 7°19,389' et 7°21,254' de latitude Nord et 13°33,40' et 13°35,51' de longitude Est. Cette localité est situ e au flanc Nord du plateau de l'Adamaoua, à environ 40 Km au Nord de la ville de Ngaoundéré (Fig. 1). Le plateau de l'Adamaoua dont fait partie Wack, est un vaste ensemble avec des altitudes variant entre 1000 et 1500 m avec un fort dénivelé vers le Nord. La géomorphologie d'ensemble est constitu e de formes molles à peine accentu es et des vallées marécageuses, parsem es de monts ou *Ngao* et de cônes volcaniques. Le soubassement est entièrement cristallin et constitué de granites variés, associés aux migmatites.

La végétation qui recouvre l'ensemble des surfaces est une savane arbor e   *Lophira dota* et *Daniella oliveri* avec une strate herbac e régulièrement détruite en raison de la grande abondance des troupeaux de bovins (Brey et Mapongmetsem, 2005). Les sols sont de types ferralitiques, hydromorphes et peu évolués (Segalen, 1967 ; Segalen, 1994). L'hydrographie est marqu e par des portions rectilignes, signe d'un contrôle structural et par de nombreux lacs tels que Tison, Mbalang, Bini et des chutes tels que Vina, Tello, etc. Les trois plus grands collecteurs de la région sont la Vina Sud qui est tributaire de la Sanaga, la Vina Nord qui est tributaire du Logone et la Bénoué. Le climat est de type tropical humide soudano-sahélien d'altitude, avec une pluviométrie moyenne annuelle de 1550 mm par an. La température moyenne annuelle oscille autour de 25  C.

Les deux profils d'altération ont été explorés suivant une toposéquence longue de 500 m, sur une altitude de 719 m le long du talweg afin de prendre en compte la variété des matériaux observés. Sept échantillons ont été prélevés dont trois sur roches sainesaffleurantes et quatre sur fractions meubles argileuses dans deux sites différents situés l'un au Sud-Ouest et l'autre au Sud-Est de Wack, le long de "*Mayo Dadi*". Les fractions meubles argileuses ont été choisies selon leur couleur et leur disposition dans le profil d'altération. La description du profil s'est faite verticalement, du sommet vers le bas. Elle a consisté en l'identification de tous les niveaux du profil et ses différentes composantes, à savoir la texture, la couleur, la structure, l'épaisseur, les limites entre les niveaux. La couleur des matériaux a été d termin e à l'aide d'une charte de teintes Munsell. Les échantillons ainsi prélevés sont séchés dans l'air atmosphérique pendant 72 heures, puis broyés. Les rochesaffleurantes  chantillonn es en vue de l'étude

pétrographique ont été prélevées le long du cours d'eau et des sentiers affectant la partie Sud de Wack.

L'analyse chimique des échantillons de roches prélevés a été déterminée à l'aide d'un spectrophotomètre à fluorescence X, de marque Axios.

Les indices d'altération chimique ont été calculés à l'aide des résultats d'analyse spectrophotométrique qui donnent le pourcentage massique des oxydes basé sur les équations arithmétiques selon les relations (1) à (4).

- Indice de Ruxton (Ruxton Ratio : Ruxton, 1968) :

$$RR = \frac{SiO_2}{Al_2O_3} \quad (1)$$

- Indice d'altération de Parker (Weathering Index of Parker : Parker, 1970):

$$WIP = 100 \times \left(\frac{2Na_2O}{0,35} + \frac{MgO}{0,90} + \frac{2K_2O}{0,25} + \frac{CaO}{0,70} \right) \quad (2)$$

- Indice d'altération chimique (Chemical Index of Alteration : Nesbitt et Young, 1982) :

$$CIA = \frac{100 \times Al_2O_3}{Al_2O_3 + CaO + Na_2O + K_2O} \quad (3)$$

- Indice potentiel d'altération modifié (Modified Weathering Potential Index : Vogel, 1973) :

$$MWPI = \frac{100 \times (Na_2O + K_2O + CaO + MgO)}{(Na_2O + K_2O + CaO + MgO + SiO_2 + Al_2O_3 + Fe_2O_3)} \quad (4)$$

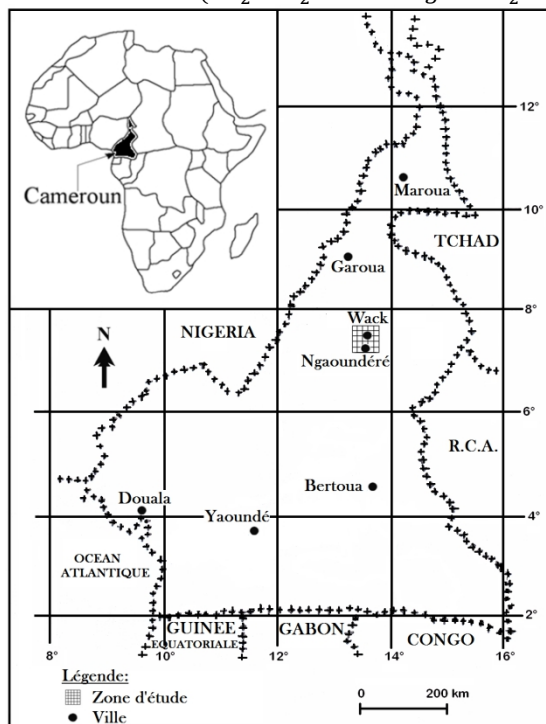


Figure 1. Carte du Cameroun localisant la zone d'étude.

3. Résultats

3.1. Etude des roches

Les roches affleurantes étudiées sont essentiellement constituées de granites, de migmatites et d'enclaves de pegmatites aplitiques ribanées et finement litées avec une foliation N055E 68SE, regroupées sous l'appellation de granitoïdes. Les migmatites sont plus sombres et présentent une trame basique (Fig.2). Cette zone se caractérise par un fond géologique assez particulier, constitué par un assemblage migmatite-granitoïde et granite-migmatitique. Ces deux types de roches se trouvent étroitement associées et sont relativement proches l'une de l'autre, tant par leur composition chimique que par leur structure. Cependant, la distinction pétrographique entre l'une ou l'autre est bien souvent arbitraire. Par endroits, la roche montre une alternance de lits clairs et de lits sombres aux épaisseurs variables. Les lits clairs sont essentiellement quartzo-feldspathiques alors que les seconds sont riches en minéraux ferromagnésiens tel que la biotite.

Les lames minces confectionnées au Laboratoire de Traitement des Minerais de Nkolbissong (Yaoundé, Cameroun) ont été observées au microscope polarisant, de marque *Leitz*. Des prises de vue au y ont également été effectuées. Ces roches présentent de phénoblastes de feldspath, de quartz et de micas (Fig. 3). L'orthose prédomine sur le plagioclase et les cristaux présentent des craquelures (Fig. 3a). Le plagioclase apparaît en phénoblastes de taille variable comprise entre 2 et 5 mm, maclé (Fig. 3b). Les micas forment des plages plus ou moins allongées et pouvant atteindre 1 cm. Ils alternent avec des lits quartzitiques. La biotite est abondante, se présente en rubans de couleur brunâtre et est ponctuée d'opagues. Les cristaux de biotites les plus altérés présentent un contour corrodé (Fig. 3c) ainsi que des inclusions d'ilménite et de rutile. La muscovite se présente également en lits sinueux et se rencontre en porphyroclastes avec une bordure fortement altérée et fragmentée (Fig. 3d). Les minéraux accessoires sont essentiellement l'apatite, le zircon, d'ilménite et le rutile. L'apatite se présente en petits cristaux prismatiques alors que le zircon est sub-automorphe allongé et limpide. L'ilménite est sous forme de chapelets dans la biotite et est uniquement présente dans les roches les plus altérées. Elle est localement associée au zircon et à l'apatite. Le rutile se présente sous forme de microcristaux associés aux biotites très altérées.

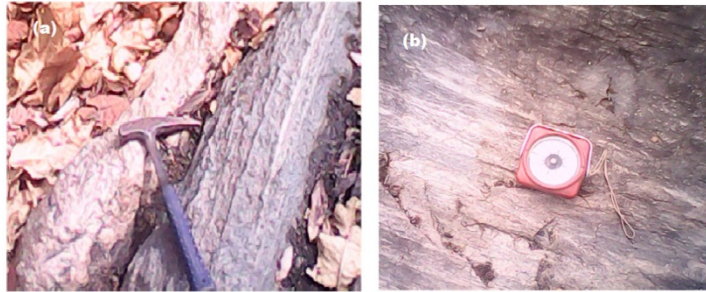


Figure 2. Macrophotographies des différents types des roches étudiées. (a) : Pegmatite ribanée associée au granite (b) : migmatite.

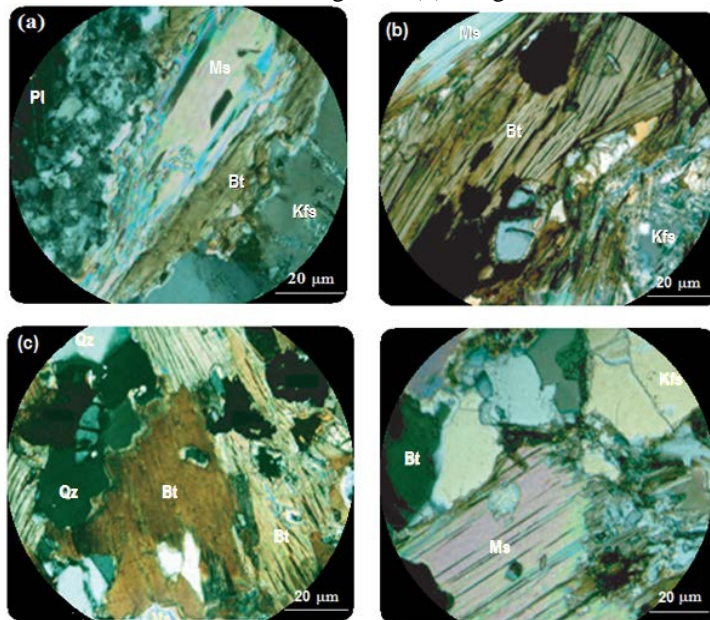


Figure 3 : Microphotographies en lumière polarisée analysée des quelques granitoïdes. (a) : Granitoïdes à porphyroblastes de feldspaths altérés; (b) : Feldspaths potassique présentant une altération très poussée, (c) : Biotite fortement altérée et corrodée, (d) Muscovite altérée.

Bt : biotite, Kfs : feldspath potassique, Ms : muscovite, Qz : quartz, Pl : plagioclase.

3.2. Morphologie

L'étude du cortex d'altération dans la zone de Wack a permis d'identifier deux profils :

- Le premier est formé d'une fraction meuble résiduelle essentiellement argileuse avec une épaisseur d'environ 3 m. Dans ce profil la roche mère n'a pas été atteinte. Son étude détaillée a été effectuée au niveau de la rive gauche de "Mayo Dadi", qui traverse Wack du côté Sud-Ouest et se présente ainsi suit (Fig. 4a) :

- de 0 à 0,1 m, brun-rouge foncé (5 YR 3/2 à 3/3), texture sablo-argileuse, structure grumeleuse faiblement exprimée ; porosité biologique importante ; présence des nombreuses racines et radicelles ;

- de 0,1 à 0,4 m, brun-rouge foncé (5 YR 3/3 à 3/4), texture sablo-argileuse ; structure polyédrique faiblement exprimée ; porosité matricielle importante ; présence des quelques racines et les radicelles ;
 - de 0,4 à 1,3 m, brun-rouge foncé à brun-rouge (5 YR 3/4 à 4/4) ; texture argilo-sableuse ; structure polyédrique bien exprimée ; porosité matricielle importante ; racines rares ; L'échantillon Wa₄ est prélevé sur cet horizon ;
 - de 1,3 à 1,8 m, l'horizon est de teinte identique au précédent, mais des racines extrêmement rares ; la texture est argilo-sableuse ; porosité matricielle importante ;
 - plus de 1,8 m : saprolite gris-foncé à noire, et brillantes (2,5 Y 3/1 à 2/1) ; la porosité est très forte. L'échantillon Wa₅ est prélevé sur cet horizon.
- Le deuxième profil est différent du précédent (Fig. 4b) et présente trois parties distinctes :
- de 0 à 0,2 m : horizon très foncé à noir (2,5 Y 3/1) ; texture sablo-limoneuse ; présence des nombreuses racines et radicelles ;
 - entre 0,2 et 0,8 m horizon gris-foncé à noir (2,5 Y 3/1 à 2/1) ; structure polyédrique faiblement exprimée ; porosité matricielle importante ; présence des quelques racines et les radicelles ; L'échantillon Wa₆ est prélevé à ce niveau ;
 - plus de 0,8 m : saprolite rouge tachetée ; L'échantillon Wa₇ est prélevé dans ce niveau. Cet ensemble saprolitique serait le résultat de transformations structurales, minéralogiques et géochimiques importantes de la roche mère affleurante.

Ces deux profils sont constitués d'argiles latéritiques résiduelles résultant du remaniement des argiles latéritiques qui sont localisées dans la terrasse du cours d'eau *Mayo Dadi*. Selon les récents travaux d'Ekodeck et Kamgang (2001), ces types d'argiles peuvent être utilisées pour tuiles et briques malgré leur composition et origine variées. Il suffit pour cela d'ajouter des produits correctifs et en particulier des dégraissants comme le sable quartzueux, mais la matière première idéale serait une argile composée de :

- minéraux argileux assurant la plasticité et la cohésion de la pâte avant la cuisson. Un mélange illite-kaolinite avec un peu de smectite est plus favorable, la teneur pondérale en smectite devant être inférieure à 10 % ;
- sable quartzueux jouant le rôle de dégraissant et permettant de réduire le retrait de séchage et de la cuisson, avec une teneur pondérale variant entre 30 et 40 % ;
- la calcite fine, favorable à une basse dilatation des produits à l'humidité, sa teneur pondérale est de 15 %. La calcite à gros grain étant à éviter car elle peut provoquer les éclatements après cuisson ;
- éléments colorants, jouant le rôle de fondant et devant également être finement repartis dans la masse argileuse, notamment Fe₂O₃ (5 à 10 %) pour

les tuiles et les briques rouges, Fe_2O_3 (3 à 10 %) pour tuiles et briques jaunes, MnO (0,5 à 4 %) en présence de Fe_2O_3 .

Le rapport molaire de $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ est de 4,27 (Wa_4), 3,90 (Wa_5) 4,70 (Wa_6) et 3,88 (Wa_7) alors que la somme ($\text{SiO}_2+\text{Al}_2\text{O}_3$) est de 74,28 (Wa_4), 73,51 (Wa_5) 75,86 (Wa_6) et 73,34 (Wa_7). Fernandez-Jimenez et *al.* (2005a) suggèrent que pour qu'un matériau aluminosilicate soit aisément utilisé en céramique, son rapport molaire $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ doit être inférieur à 4 alors que De Silva et *al.*, (2007) montre que pour des rapports molaires $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ comprise entre 3,4 et 3,8 ($1,7 \leq \text{Si}/\text{Al} \leq 1,9$), améliore la résistance à la flexion des terres cuites. Ces deux oxydes sont des ingrédients fondamentaux des matériaux pendant la cuisson.

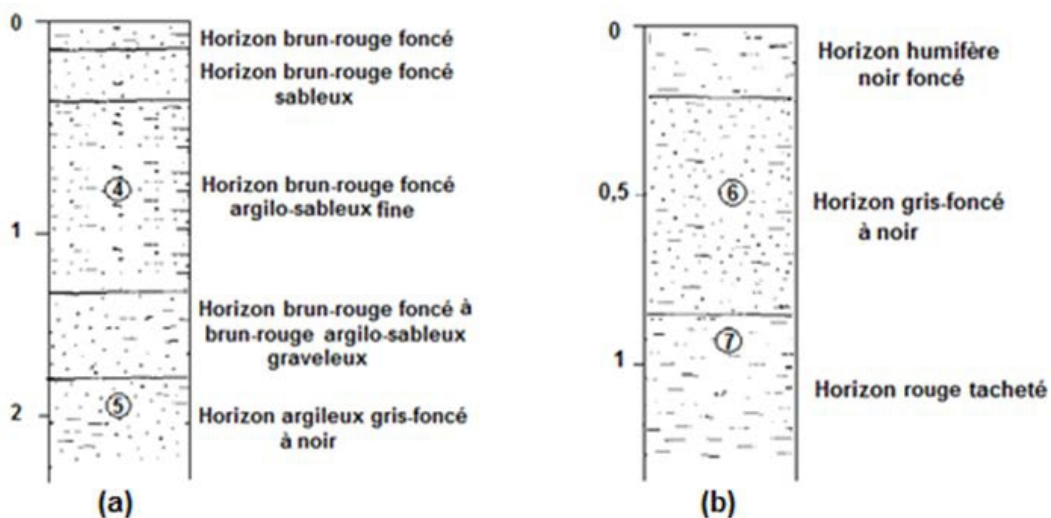


Figure 4. Morphologie des profils étudiés: (a) : Profil 1; (b) : Profil.

Tableau 1 : Analyses chimiques des sols prélevés et leurs indices d'altération.

	Roches saines			Roches altérées			
	Wa_1	Wa_2	Wa_3	Wa_4	Wa_5	Wa_6	Wa_7
Profondeur (m)	-	-	-	0,3	1,9	0,5	0,9
SiO_2	69,82	70,31	70,28	53,14	51,21	55,73	51,00
TiO_2	0,46	0,43	0,38	1,26	1,38	1,03	1,38
Al_2O_2	14,68	14,71	15,41	21,14	22,30	20,13	22,34
Fe_2O_3	2,93	2,54	2,52	8,40	9,45	8,73	8,50
MnO	0,06	0,05	0,03	0,07	0,17	0,11	0,13
MgO	0,63	0,75	0,51	1,04	1,28	1,32	1,51
CaO	1,33	1,17	1,79	1,03	0,98	1,65	1,25
Na_2O	2,52	3,37	3,61	2,28	1,48	1,41	1,54
K_2O	6,63	5,93	4,89	4,20	3,63	3,32	3,54
P_2O_5	0,16	0,15	0,14	< L.D.	< L.D.	< L.D.	< L.D.
H_2O	0,79	0,58	0,46	7,43	8,10	6,63	8,95
$\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ (molaire)	-	-	-	4,27	3,90	4,70	3,88

$\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3$	-	-	-	74,28	73,51	75,86	73,34
Total	100,01	99,99	100,02	99,99	99,98	100,06	100,14
RR	4,8	4,8	4,6	2,5	2,3	2,8	2,2
WIP	7004	6920,2	6287,2	4925,6	4031,9	3844,1	4955,4
CIA	51,61	51,04	67,48	73,21	78,5	69,27	72,08
MWPI	11,3	11,4	11	9,5	8,3	8,5	8,2

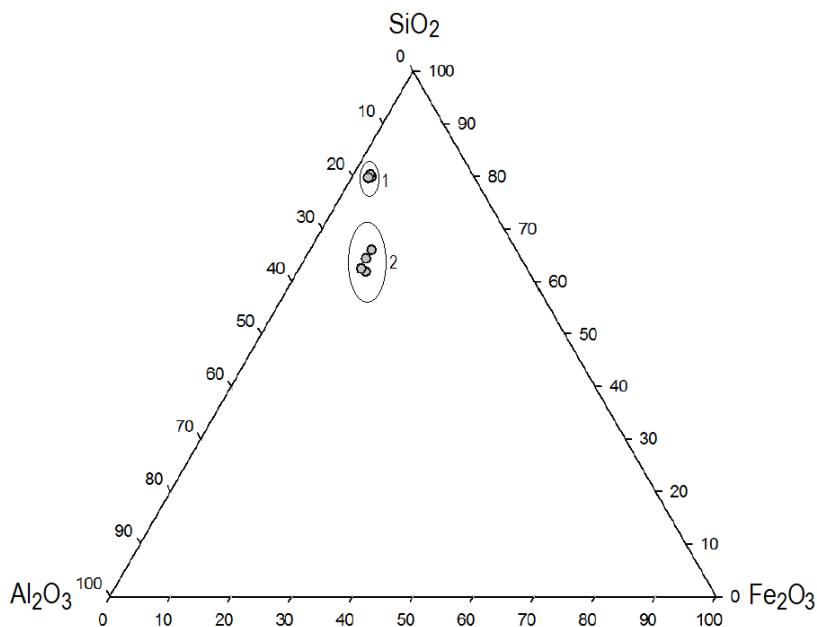


Figure 6. Diagramme ternaire (SiO_2 - Al_2O_3 - Fe_2O_3) de variation des compositions chimiques des principaux types des roches : 1- Roches saines ; 2 - Roches altérées.

3.3. Etude géochimique des sols

Les résultats des analyses chimiques des sols prélevés sont consignés dans le Tableau 1. Ce tableau laisse apparaître entre les roches saines et les roches altérées, une différence en pourcentage massique des constituants chimiques. Ainsi la teneur en silice est très élevée dans les roches saines. Son titre massique avoisine 70 % contre 53 % en moyenne dans les altérites. Il y a une forte augmentation des pourcentages massiques de Al_2O_3 (21 %) et de Fe_2O_3 (9 %) dans les roches altérées comparativement aux roches saines qui est respectivement en moyenne 15 et 2,5 %. La teneur en TiO_2 , MgO et CaO est presque constante dans l'ensemble des roches. Les pourcentages de Na_2O et de K_2O diminuent légèrement dans les altérites comparativement aux roches saines. Le pourcentage massique de P_2O_5 est en deçà de la limite de détection pour la roche altérée. Les roches altérées contiennent beaucoup plus d'eau de constitution (environ 7 % en masse) que les roches saines.

Le diagramme ternaire $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-Fe}_2\text{O}_3$ (Fig. 6) montre un net décalage des différents points vers les pôles siliceux. Les roches saines sont à dominance siliceuse, avec des teneurs massiques en silice de l'ordre de 70 % tandis que les roches altérées sont à dominance alumino-siliceuse, avec une diminution de la silice et une brutale augmentation de l'alumine de 20 à 23 % en masse par rapport à la roche saine. Ce décalage brutal peut traduire une nette rupture géochimique entre ces roches (Price et Velbel, 2003). Dans les roches altérées, il y a une accumulation du fer (sous forme de nodules) et de l'aluminium. Dans la roche saine, les éléments les plus mobiles tels que les alcalins et les alcalino-terreux sont en grande partie lessivés. La figure 7 présente la variation des éléments chimiques majeurs en fonction de du pourcentage massique de Al_2O_3 qui peut être considéré comme entité immobile. Les éléments mobiles combinés à Al_2O_3 sont Na_2O et K_2O et les moins mobiles tels que Fe_2O_3 et TiO_2 . Les éléments Fe_2O_3 , Na_2O et K_2O présentent une corrélation positive avec Al_2O_3 tandis que TiO_2 donne une corrélation négative. L'abondance de ces éléments dans les roches altérées indique leur perte substantielle dans la roche saine durant l'altération. Les analyses chimiques effectuées sur roche totale ont permis de déterminer plusieurs indices d'altération parmi lesquels l'indice de Ruxton (*RR*), l'indice de Parker (*PR*), l'indice d'altération chimique (*CIA*) et l'indice potentiel d'altération modifié (*MWPI*) (Jayawardena and Isawa, 1994). La Figure 8 montre la position des différentes roches étudiées. D'après la Figure 8a, l'altération est restée modérée pour les roches saines qui ont une valeur d'indice d'altération chimique (*CIA*) évaluée à 60 contre 78,5 pour les altérites. L'ensemble des roches tombe dans le domaine des sédiments de marge continentale active (Fig. 8b), ce qui traduit une source de nature essentiellement continentale, impliquant ainsi un mélange des matériaux volcaniques. Les coefficients de corrélation élémentaire (Fig. 9) des différents indices d'altération sont sensiblement proches de 0,9. Cette valeur qui avoisine l'unité signifie que les indices mis en œuvre présentent une forte relation.

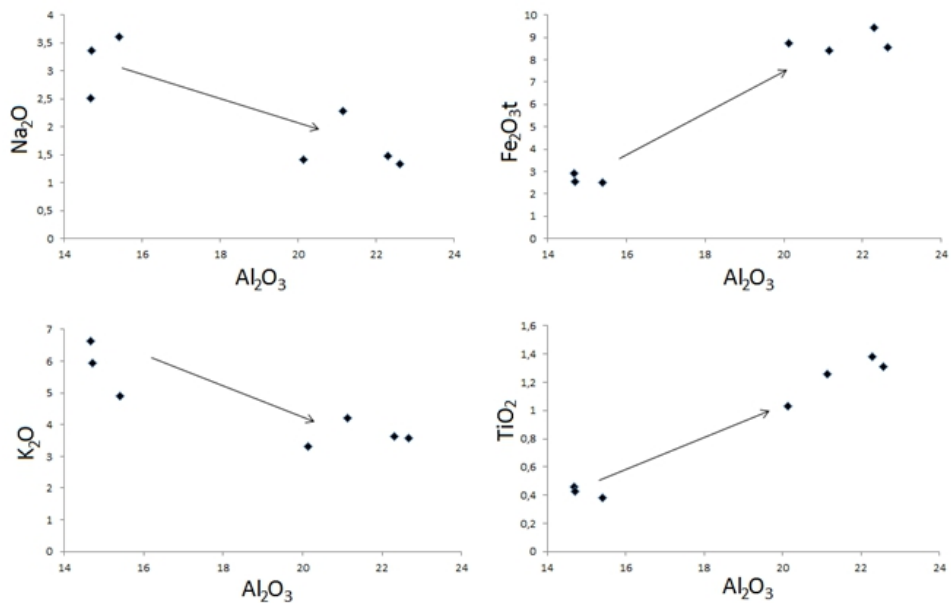


Figure 7 : Digramme binaire illustrant la corrélation entre Al_2O_3 et d'autres oxydes

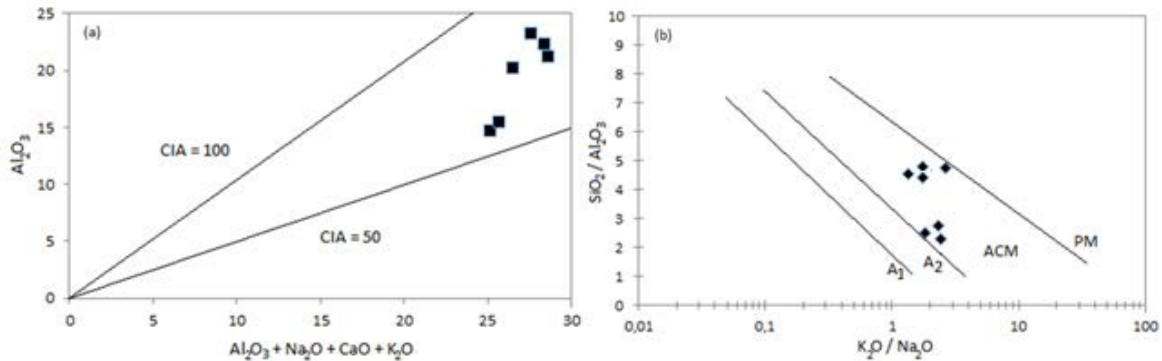


Figure 8. Diagrammes de classification des roches altérées et saines. (a) : Al_2O_3 - $Al_2O_3 + Na_2O + CaO + K_2O$ (d'après Nesbitt and Young, 1987), CIA : Chemical Index of Alteration ; (b) : K_2O / Na_2O - SiO_2 / Al_2O_3 (d'après Roser and Korsch, 1986), PM: Passive Margin, ACM: Active Continental Margin, A_1 : Arc setting (basaltic and andesite detritus), A_2 : Evolved Arc setting (felsic plutonic detritus).

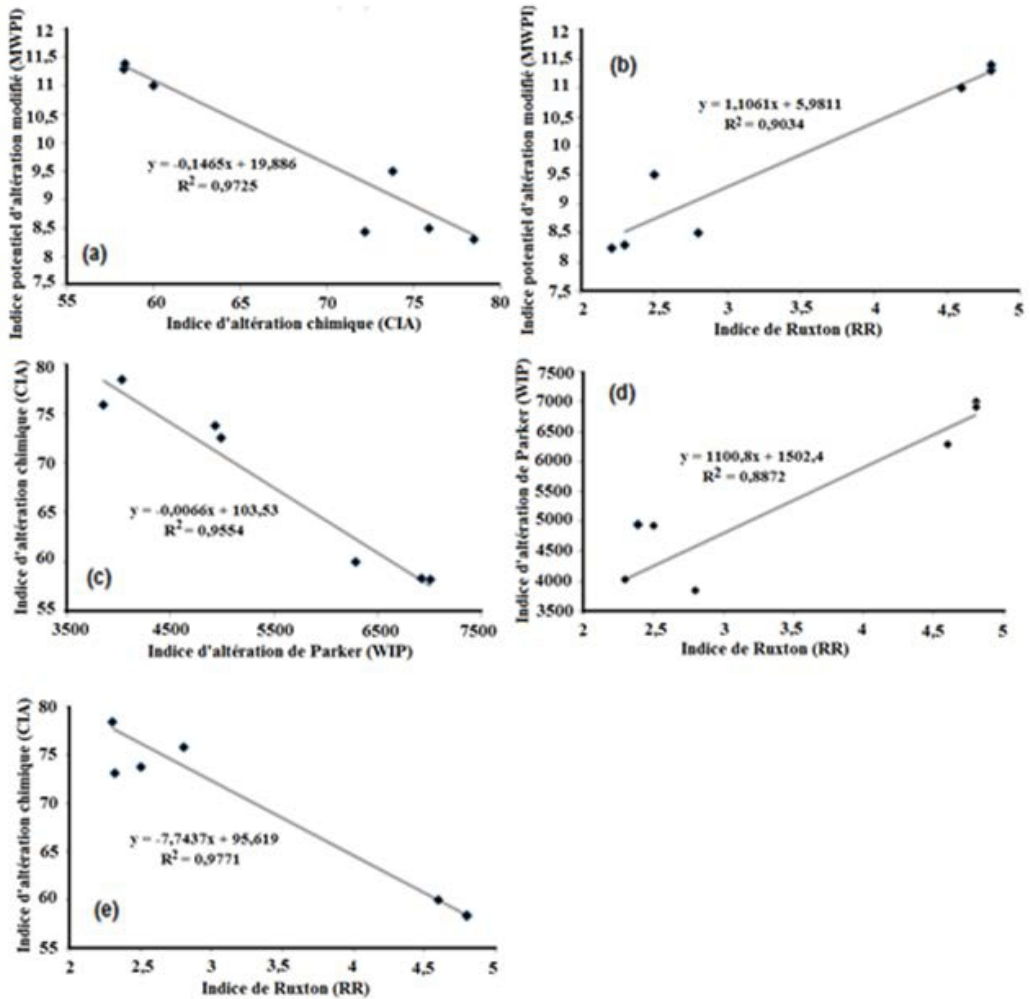


Figure 9. Corrélations élémentaires des différents indices.

4. Discussion

Le phénomène d'altération supergène a déjà été étudié par des nombreux auteurs (Trescases, 1975 ; Edou-Minko,1988 ; Ouangrawa *et al.*, 1996 ; Ndjigui, 2000 ; Ndjigui *et al.*,2002 ; Ekodeck, 1984 ; Ndjigui *et al.*, 2008 ; Kamgang, 2009).Une approche commune à cette étude est l'utilisation de différents indices d'altération pour apprécier l'importance de l'altération le long d'un profil donné (Ndjigui *et al.*, 2002). L'indice de Ruxton (1968) exprime la perte de la silice dans une roche au cours de son altération en considérant l'alumine et d'autres sesquioxydes comme des entités immobiles. Cet indice est de 4,8 pour Wa₁ et Wa₂ dans les roches saines contre 2,2 pour Wa₇ dans les altérites. L'indice d'altération chimique (CIA) évalue la mobilité des cations tels que Ca²⁺, Na⁺ et K⁺ par rapport à l'Al³⁺ qui est considéré comme élément immobile dans la roche. Au regard de ce

qui précède, les roches mères sont non altérées car elles présentent un faible *CIA* (60 pour Wa_3) alors que pour les roches altérées, le *CIA* est un peu plus élevé (78,5 pour Wa_5). L'altération est donc globalement modérée pour l'ensemble des roches. L'indice d'altération de Parker (1970) prend en compte la mobilité des cations tels que Mg^{2+} , Ca^{2+} , Na^+ et K^+ de manière individuelle dans la roche en fonction de la force de liaison avec les atomes d'oxygène. Ce paramètre, estimé à 7004 pour la roche la plus saine (Wa_1) diminue et atteint 3844 pour la roche la plus altérée (Wa_6). En effet, à la différence du *CIA*, il ne fait pas une hypothèse sur l'immobilité de l'aluminium au cours de l'altération. Les différentes valeurs d'indices ainsi obtenues sont conformes aux travaux de Price et Velbel (2003) pour un profil développé sur une roche mère felsique. La mobilisation et la distribution des éléments chimiques au cours de l'altération dépendent au préalable de la composition minéralogique de la roche saine. D'après Arikian et al. (2007), les pourcentages des éléments mobiles tels que Na_2O , MgO , K_2O , et CaO diminuent avec l'augmentation de l'intensité de l'altération. Au cours de cette dernière, les taux de Na_2O et de K_2O diminuent tandis que ceux de Fe_2O_3 et de TiO_2 subissent une augmentation (Fig. 6). Les travaux de Wronkiewicz et Condie, (1987) ont montré que le lessivage et la mobilité des éléments tels que le calcium, le sodium ou le potassium sont proportionnels au taux d'altération. D'après Nesbitt et Young, (1982), ces éléments sont préférentiellement lessivés. L'aluminium et le titane sont souvent considérés comme éléments inertes dans les systèmes d'altération (Gresens 1967 ; Grant, 1986 ; Potdevin et Caron 1986 ; Potdevin et Marquer, 1987). Cependant Gardner (1980) et Baldeyrou et al. (2003) ont montré que l'aluminium peut être mobilisé pour certains types d'altérations, particulièrement pour les systèmes hydrothermaux. L'aluminium devenant alors mobile s'associe aux éléments alcalins, ce qui permet la formation de phyllosilicates alumineux (Baldeyrou et al., 2003). Le titane est aussi considéré comme élément immobile et a été choisi comme entité de référence pour la quantification des pertes et gains en éléments chimiques au cours de l'altération. L'aluminium est lessivé progressivement de la roche saine, ce qui conduit à une augmentation de son pourcentage dans les altérites. Cette augmentation traduit un accroissement du taux d'altération supergène ainsi qu'une concentration plus élevée de minéraux argileux alumineux dans l'altérite, la mobilité du titane n'étant pas conditionnée par l'importance de l'altération. La variation du titre de ce dernier élément ne peut donc pas être attribuée à l'effet du taux d'altération, mais semble être contrôlée par la phase titanifère (ilménite, rutile) et ferromagnésienne plus abondante à la base de l'altérite et/ou est le résultat d'un remaniement mécanique contrôlé par la topographie. L'évolution géochimique de tous les produits d'altération par rapport à la roche mère affleurante est similaire à

celle observée sur schiste de Ngoumou (Ekodeck, 1984), celle sur chloritoschiste de série de Mbalmayo-Bengbis (Kamgang et *al.*, 2009) ou celle développée sur serpentinites du complexe ultramafique de Lomié (Ndjigui et *al.*, 2008).

5. Conclusion

La zone d'étude qui appartient à un climat soudano-sahélien de type tropical d'altitude présente un sol constitués d'argiles latéritiques résiduelles qui se caractérise par une perte en éléments majeurs tels que CaO, Na₂O et K₂O et une accumulation de Al₂O₃ favorisant ainsi la formation des minéraux argileux de type kaolinite et halloysite.

Les valeurs calculées de RR, CIA, WIP et MWPI montrent que les roches ont subi une altération chimique modérée. Le lessivage continu, sur un laps de temps, a conduit à une évolution progressive dans la composition chimique des minéraux néoformés. Dans ce secteur, la kaolinite s'est formée dans la partie médiane du profil d'altération qui se caractérise par une forte fissuration. Les autres minéraux argileux ne sont abondants que dans la partie basse du profil.

References:

- Aleva G.J.J.**, (1994): Laterites. Concepts, geology, morphology and chemistry. Wageningen: ISRIC, 169p.
- Arikan, F., Ulusay, R. and Aydin, N.** (2007): Characterization of weathered acidic volcanic rocks and a weathering classification based on a rating system. *Bull Eng Geol Environ*, 66, 415-430.
- Baldeyrou, A.; Vidal O. et Fritz B.** (2003): Etude expérimentale des transformations de phases dans un gradient thermique: application au granite de Soultz-sous-Forêts, France. *Comptes Rendus Géoscience*, 335(4): 371-380.
- Beauvais, A. and Colin, F.**, (1993): Formation and transformation processes of iron duricrust systems in tropical humid environment. *Chemical Geology*, 106, 77–101.
- Beauvais, A. and Tardy, Y.**, (1993): Degradation and dismantling of iron crusts under climatic changes in tropical humid environment. *Chemical Geology*, 107, 277–280.
- Beauvais, A.**, (2009): Ferricrete biochemical degradation on the rainforestsavannas boundary of Central African Republic. *Geoderma*, 150, 379–388.
- Bilong, P., Eno Belinga, S.M. et Volkoff, B.**, (1992): Séquence d'évolution des paysages cuirassés et des sols ferrallitiques en zone forestière tropicale d'Afrique Centrale. Place des sols à horizon d'argile tachetée. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences*, Paris, France, 314, 2, 109–115.

- Bitom, D., Volkoff, B. and Abossolo-Angue, M.,** (2003) : Evolution and alteration *in situ* of a massive iron duricrust in Central Africa. *Journal of African Earth Sciences*, 37, 89–101.
- Bitom, D., Volkoff, B., Beauvais, A., Seyler, F. et Ndjigui, P.D.,** (2004) : Rôle des héritages latéritiques et du niveau des nappes dans l'évolution des modelés et des sols en zone intertropicale forestière humide. *Comptes Rendus Géoscience*, 336, 1161–1170.
- Brey I. et Mapongmetsem J.M.,** (2005): Systématique des espèces végétales de l'Adamaoua. *Rapport de stage de terrain*, Université de Ngaoundéré, 27 p.
- De Silva P., Crenstel K.S., Sirvisatnanon V.,** (2007) : Kinetics of geopolymerisation : Role of Al_2O_3 and SiO_2 . *Cement and Concrete Research* 37, 512-518.
- Deruelle B., Ezangono J., Lissom J., Loule E., Ngnotue N., Ngounouno I., Nkoumbou C.,** (1987a). Mio-Pliocene basaltic lava flows and phonolitic and trachytic plugs north and east of Ngaoundéré (Adamawa, Cameroon), In: C., Matheis A., Schandelmeier (Eds), *Current Research in African Earth Sciences*, Balkema, Rotterdam, 261-264.
- Dumont J-F.,** (1987) : Étude structurale des bordures nord et sud du plateau de l'Adamaoua: influence du contexte atlantique, *Géodynamique* 2 (1) 55-48.
- Edou-Minko, A.,** (1988) : Pétrologie et géochimie des latérites à "stone-line" du gîte d'or d'Ovala - Application à la prospection en zone équatoriale humide (Gabon). Th. Doc., Univ. de Poitiers, 147 p.
- Ekodeck G.-E.,** (1984) : L'altération des roches métamorphiques du sud Cameroun et ses aspects géotechniques. Th. Doct. Etat es sci. Nat., IRGM, Univ. Scientif. Et Médic. De Grenoble I - France, 368 p.
- Ekodeck G.E., et Kamgang K.B.,** (2002): L'altérologie normative et ses application : une expression particulière des roches alumino-silicatées du point de vue de leur évolution supergène. Press. Univ. De Yaoundé (Cameroun), Collect. Connaissances, 231 p.
- Ezangono J., Deruelle B., Menard J.-J.,** (1995). Benmoreites from Tchabal Djinga volcano (Adamawa, Cameroon), products of kaersutite + plagioclase assimilation by a trachytic magma. *Terra. Abst. Suppl. Terra Nova*, 7, 161.
- Fernandez-Jimenez A., Palomo A.** (2005a) : Characterisation of fly ash. Potential reactivity as alkaline cements. *Fuel* 82, 2259-2265.
- Gardner, L.R.** (1980). Mobilization of Al and Ti during rock weathering isovolumetric geochemical evidence. *Chemical Geology*, 30: 151-165.
- Gresens, R.L.** (1967) : Composition-volume relationships of metasomatism. *Chemical Geology*, 2: 47-65.
- Humbel, F.X.,** (1966), Contribution pédologique à l'étude géomorphologique de l'Adamaoua. IRCAM, pp. 1-27.

- Jayawardena, U. de S., and Izawa, A.,** (1994) : A new chemical index of weathering for metamorphic silicate rocks in tropical regions : A study from Sri Lanka. *Engineering Geology* 36. 303-310.
- Kamgang Kabeyene Beyala, V., Onana, V.L., Ndome Effoudou Priso, E., Parisot, J.-C., Ekodeck, G.E.,** (2009) : Behaviour of REE and mass balance calculations in a lateritic profile over chlorite schists in South Cameroon. *Chemie der Erde- Geochemistry* 69, 61–73.
- Kornman M.,** (2005): Matériaux de construction en terre cuite. Paris : Septima, 275 p.
- Lasserre, M.,** (1958), Etude géologique de la partie orientale de l'Adamaoua (Cameroun Central). Ph.D. Thesis, Univ. Clermont-Ferrand, 202 pp.
- Le Marechal A., Vincent P.M.,** (1971), Le fossé crétaqué du Sud-Adamaoua (Cameroun), Cahiers ORSTOM, Série Géologie III, 1, 67-83.
- Mosser Ch., Brillanceau A. and Yves Besnus** (1990), Relationship between sediments and their igneous source rocks using clay mineral multi-element chemistry: the Cenozoic lacustrine Anloua basin (Adamaoua, Cameroon), *Chemical Geology*, 90, 319-342.
- Ndjigui P.-D., Bitom D., Bilong P., Colin F., and Ali H.- N.,** (2002) : Correlation between Metallic Oxides (Fe_2O_3 , Cr_2O_3 , NiO) Platinum and Palladium in the Laterites from Southeast Cameroon (Central Africa): Perspectives of Platinoids Survey in Weathering Mantles, 9th international platinum symposium, Abs. Duke university.
- Ndjigui P.-D., Badinane M.F.B., Nyeck B., Nandjip H.P.K., Bilong P.,** (2013) : Mineralogical and geochemical features of the coarse saprolite developed on orthogneiss in the SW of Yaoundé, South Cameroon, *Journal of African Earth Sciences*, 79 125–142
- Ndjigui P.-D., Bilong P., Bitom D., Dia A.,** (2008) : Mobilization and redistribution of major and trace elements in two weathering profiles developed on serpentinites in the Lomie´ ultramafic complex, South-East Cameroon, *Journal of African Earth Sciences* 50, 305–328
- Ndjigui, P.-D.,** (2000) : Métallogénie de la serpentinite de Kondong I et de son manteau d'altération dans le Sud-Est du Cameroun : pétrographie, minéralogie et géochimie. Th. Doc. 3e cycle, Univ. Yaoundé I, 170 p.
- Nesbitt, H.W. and Young, G.M.,** (1982) : Early Proterozoic climates and plate motions inferred from major element chemistry of lutites. *Nature*, 199, 715-717.
- Nesbitt, H.W., and Young, G.M.,** (1989) : Formation and diagenesis of weathering profiles. *Journal of Geology* 97, 129-147.
- Nguetnkam, J.P., Kamga, R., Villiéras, F., Ekodeck, G.E. et Yvon, J.,** (2008) : Altération différentielle du granite en zone tropicale. Exemple de deux séquences étudiées au Cameroun (Afrique Centrale). *Comptes Rendus Géoscience*, 340, 451–461.

- Nkouandou O.F., Ngounouno I., Deruelle B., Ohnenstetter D., Montigny R., Demaiffe D., (2008)**, Petrology of the Mio-Pliocene volcanism to the North and East of Ngaoundéré (Adamawa, Cameroon), *Comptes Rendus Geoscience*, 340, 28-37.
- Nono A., Deruelle B., Demaiffe D., Kambou R., (1994)**, Tchabal Nganha volcano in Adamawa (Cameroon): petrology of a continental alkaline lava series, *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 60, 147-178.
- Ouangrawa, M., Trescases, J.-J., et Ambrosi, J.-P., (1996)** : Evolution des oxydes de fer au cours de l'altération de roches ultrabasiques de Nouvelle-Calédonie : C.R. Acad. Paris, 323, Ila, p. 243-249.
- Parker, A. (1970)** : An index of weathering for silicate rocks. *Geological Magazine* 107, 501-504.
- Potdevin, J.L. et Marquer, D. (1987)** : Méthodes de quantification des transferts de matière fluides dans les roches métamorphiques déformées. *Geodinamica Acta* 1(3): 193-206.
- Potdevin, J.L., et Caron, J.M., (1986)** : Transferts de matière et déformation syn-métamorphique pli. I: Structures et bilans de matière. *Bulletin de Minéralogie*. 109(4): 395-410.
- Price, R.J. and Velbel, A.M. (2003)** : Chemical weathering indices applied to weathered profiles developed on heterogeneous felsic metamorphic parent rock. *Chemical geology*, 202, 379-416.
- Roser, B.P., and Korsch, R.J., (1986)** : Determination of tectonic setting of sandstone–mudstone suites using SiO₂ and K₂O/Na₂O ratio. *J. Geol.* 94, p. 635–650.
- Ruxton, B.P. (1968)** : Measures of the degree of chemical weathering of rocks. *Journal of Geology*, 76, 518-527.
- Tardy, Y., (1997)** : Petrology of laterites and tropical soils. Balkema, Amsterdam, The Netherlands, 459p.
- Tchameni, R., Pouclet, A., Penaye, J., Ganwa, A.A., Toteu, S.F. (2007)** : Petrography and geochemistry of the Ngaoundéré Pan-African granitoids in Central North Cameroon: Implications for sources and geological setting. *Journal of African Earth Sciences* 44: 511-529.
- Temdjim R., Njilah I.K., Kamgang P., Nkoumbou C., (2004)** : Données nouvelles sur les laves felsiques de Ngaoundéré (Adamaoua, Ligne du Cameroun): chronologie K-Ar et pétrologie. *African Journal of Science and Technology*, 5, 113-123.
- Temgoua, E., Bitom, D., Bilong, P., Lucas, Y. et Pfeifer, H.R., (2002)** : Démantèlement des paysages cuirassés anciens en zone forestière tropicale d'Afrique Centrale, formation d'accumulations ferrugineuses actuelles au bas des versants. *Comptes Rendus Géoscience*, 334, 537–543.

Trescases, J.-J., (1975) : L'évolution géochimique supergène des roches ultrabasiques en zone tropicale. Formation des gisements nickelifères de Nouvelle-Calédonie : Mém. ORSTOM, 78, 259 p.

Tsozué D., Bitom D., Yongue-Fouateu R., (2012) : Morphology, mineralogy and geochemistry of a lateritic soil sequence developed on micaschist in the Abong-Mbang region, southeast Cameroon, *south african journal of geology*, vo. 115.1 p. 103-116.

Vogel, D.E., (1973). Precambrian weathering in acid metavolcanic rocks from the Superior Province, Villebon Township, South-Central Quebec. *Canadian Journal of Earth Sciences* 12, 2080-2085.

Wronkiewicz, D.J., and Condie, K.C., (1987) : Geochemistry of Archean shales from the Witwatersrand Supergroup, South Africa: source-area weathering and provenance. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 51: 2401-2416.