

CRISTALLOCHIMIE DES CHLORITES DES SCHISTES DE PAGALA (TOGO) : ESSAI DE CARACTÉRISATION PHYSICO-CHIMIQUE DES PROTOLITES

Kodjo Adika TOGBE* et Ampah Kodjo C. JOHNSON

Laboratoire des Sciences de la Terre, Faculté des Sciences, Université de Lomé ;
B.P. 1515 Lomé - TOGO

(Reçu le 18 Novembre 2009, accepté le 21 Mars 2010)

* Correspondance et tirés à part, e-mail : ktogbe@tg.refer.org

RÉSUMÉ

Des analyses ponctuelles réalisées, à la microsonde électronique, sur les chlorites des formations géologiques du secteur de Pagala (unité structurale de l'Atacora), ont montré des différences de composition chimique selon la nature de la roche hôte. Les chlorites des schistes cristallins sont riches en fer et en magnésium avec un rapport (Fe / Fe + Mg) en nombre d'atomes compris entre 0,44 et 0,72. Celles des schistes calcaro-dolomitiques sont très magnésiennes et ont un rapport (Fe / Fe + Mg) inférieur ou égal à 0,23. Les premières se révèlent être des ripidolites et des brunsvigites dérivées de smectite alors que les secondes issues d'un matériel plus magnésien sont de type clinochlore et talc chlorite, toutes développées dans des conditions thermobarométriques particulières.

Mots-clés : *Chlorite, composition chimique, rapport (Fe / Fe + Mg), ripidolite, brunsvigite, clinochlore.*

ABSTRACT

Chlorite of Pagala schist's Crystallochemistry: Physical and chemical characterization of protolites

Microprobe analyses carried out on chlorite from Pagala Region schist have shown differences in chemical composition depending on host rock. Chlorite from crystalline schist contain more iron and magnesium with a (Fe / Fe + Mg) ratio range between 0,44 and 0,72. Those, from calcareous schists, are

rich in magnesium and have (Fe / Fe + Mg) ratio lower or equal to 0,23. The former is revealed as ripidolite and brunsvigite derived from smectites, while the latter from more magnesium rich material are clinochlore and talc-chlorite types.

Keywords: *Chlorite, chemical composition, (Fe / Fe + Mg) ratio, ripidolite, brunsvigite, clinochlore.*

I - INTRODUCTION.

Les chlorites sont des phyllosilicates trioctaédriques formés de feuillets structuraux $Y_6(\text{SiAl})_8\text{O}_{20}(\text{OH})_4$ de type talc intercalés de couche de structure brucite $\text{Mg}_6(\text{OH})_{12}$. Leur composition chimique est essentiellement dominée par les éléments silicium (Si), aluminium (Al), magnésium (Mg) et fer ferreux (Fe^{2+}). Des substitutions peuvent cependant se produire dans les divers sites du feuillet talc et de la couche brucite. Ces substitutions induisent des intermédiaires entre les principales espèces pures comme le talc-chlorite et le clinochlore de même formule structurale $(\text{Mg}_{10}\text{Al}_2(\text{Al}_2\text{Si}_6)\text{O}_{20}(\text{OH})_{16})$ d'une part et le clinochlore et la corundophyllite $(\text{Mg}_8\text{Al}_4(\text{Al}_4\text{Si}_4)\text{O}_{20}(\text{OH})_{16})$ d'autre part [1].

Ce sont des minéraux silicatés communs des environnements géologiques sujets à des conditions thermobarométriques modérées avec des températures allant de 150°C à 450 °C voire plus, pour des pressions faibles [2]. A part l'origine de cristallisation primaire dans les schistes du métamorphisme régional à partir de la montmorillonite ou de l'illite par aggradation [3], elles sont rencontrées dans les produits d'altération hydrothermale de roches basiques riches en pyroxène, amphibole et biotite [2 ; 4 ; 5]. Elles existent aussi sous forme détritique ou authigène dans les roches sédimentaires argileuses [4 ; 6]. Ces minéraux de diverses origines se distinguent les uns des autres par leur polytypisme, la distribution des ions Al – Fe – Mg dans l'octaèdre et leur rapport (Fe / Fe + Mg) [7]. Ainsi, les chlorites issues du métamorphisme de smectite, ont un rapport (Fe / Fe + Mg) compris entre 0,4 et 0,7 ; ce rapport est supérieur à celui des chlorites détritiques ou authigènes [8].

La composition non stoechiométrique dans lesquelles se produisent de nombreuses substitutions fait d'elles de potentiels géothermomètres intéressants. Ces substitutions semblent dépendantes des conditions externes surtout la température. En effet, des auteurs [9 - 11] ont mis en évidence une relation linéaire entre Al^{IV} et la température d'une part et entre Al^{IV} et le rapport (Fe / Fe + Mg) d'autre part. Ces géothermomètres sont applicables à tous les environnements géologiques, (diagenétique, hydrothermaux et

métamorphiques) et surtout aux milieux saturés en alumine où la chlorite se trouve en présence d'autres minéraux alumineux.

Les chlorites ont été étudiés dans les principales roches de la série de Pagala, portion méridionale de l'unité structurale de l'Atacora de la chaîne des Dahomeyides (*Figure 1*). Les principaux termes lithologiques sont essentiellement des quartzites, des schistes, des micaschistes avec des intercalations de cipolins et de volcanites. Il s'agit d'anciennes roches sédimentaires et volcaniques métamorphisées au cours de l'orogénèse panafricaine autour de 600 Ma, responsable de l'édification de la chaîne des Dahomeyides [12]. Les 16 échantillons de roches étudiés appartiennent à deux faciès pétrographiques (*Tableau 1*) : - les schistes pélitiques ; - et les schistes calcaireux ou calcschistes.

Le but de ce travail est de définir les paramètres chimiques de ces chlorites afin de mieux caractériser la nature du protolite métamorphisé et ainsi mieux appréhender les conditions physiques thermométriques (T) ayant prévalu lors de cette transformation.

II - MÉTHODOLOGIE

II-1. Méthodes de travail

Des analyses ponctuelles ont été faites sur minéraux en lames minces au moyen d'une microsonde automatisée CAMEBAX à l'Université Henri Poincaré de Nancy (France). Les conditions analytiques sont les suivantes : voltage d'accélération 15 Kv ; temps de comptage 6s ; erreur analytique 3 % ; programme de correction ZAF Cor. 2 ; courant d'excitation 6 nA.

Les formules structurales ont été calculées à l'aide du Logiciel FS Guiraud sur la base de 28 oxygènes par maille sans prendre en compte les éléments en traces Ca, Mn, K et Ni. Par ailleurs des analyses chimiques multi élémentaires ont été menées par ICP sur quelques unes des roches à chlorite à l'Institut de Géologie de Strasbourg (France).

II-2. Données pétrographiques

Les études pétrographiques et minéralogiques ont porté sur la détermination au microscope polarisant, complétées par la diffraction des rayons X. La constitution minéralogique des différentes roches est résumée dans le tableau I. Les schistes sont composés essentiellement de muscovite, de chlorite et de quartz, avec parfois des feldspaths de type albite. Les minéraux accessoires sont l'apatite, le sphène, l'ilménite. Du rutile, de la paragonite et du grenat ont été observés dans deux échantillons (E124 et E147). La chlorite est très

abondante dans l'échantillon O12, ce qui lui confère la dénomination de chloritoschiste. Les schistes calcaireux, outre la muscovite et la chlorite, renferment de la dolomite et parfois de la calcite avec des traces de quartz. Les minéraux accessoires sont le sphène et l'apatite.

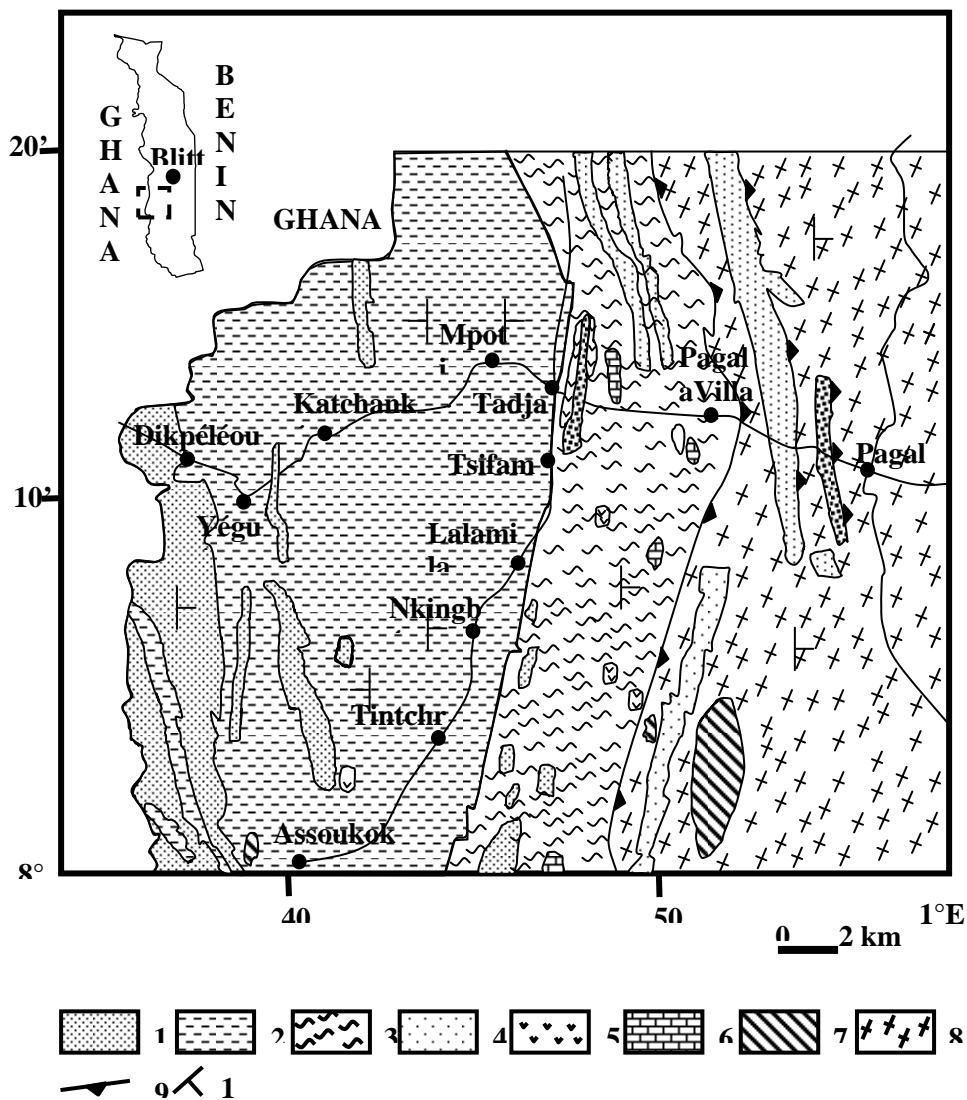


Figure 1: Schéma de la géologie de la partie sud ouest du District de Blitta .

- 1 = quartzites avec séricite et/ou muscovite;
- 2 = schistes sériciteux et chloriteux;
- 3 = micaschistes, schistes graphiteux; 4 = quartzites feldspathiques;
- 5 = metavolcanites; 6 = roches dolomitiques; 7 = serpentinite;
- 8 = gneiss amphibolitiques; 9 = chevauchement; 10 = pendage

Tableau 1 : Constitution minéralogique des différents échantillons étudiés

| | <u>Musc</u> | <u>Chl</u> | <u>Qtz</u> | <u>Feld</u> | <u>Dol</u> | <u>Calc</u> | <u>Minéraux accessoires</u> |
|----------------------------|-------------|------------|------------|-------------|------------|-------------|---------------------------------|
| Schistes pélitiques | | | | | | | |
| E9 | a | b | b | - | | | Sph. Ap. oxy.Fe. |
| E15 | - | b | a | - | | | Ap. pyr. Mt. |
| E16 | a | b | b | - | | | Ilm. Ap. pyr. |
| N5 | a | b | b | b | | T | Ap. sph. |
| N10 | a | b | b | b | | | Ilm. |
| E85 | a | b | b | b | | | Ilm. oxy.Fe. |
| O12 | a | a | b | b | | | Ilm. Mt. |
| X5 | a | b | b | b | | | Ilm. |
| E124 | a | b | b | - | | T | Parag. Ilm. ru, grt. |
| E147 | a | b | b | - | | | Par. Gr. |
| TOG37 | a | b | b | b | | | Ru. Zir. oxy.Fe. zir. |
| Schistes calcaireux | | | | | | | |
| TOG29 | b | b | tr | tr | a | | Sph. oxy.Fe. |
| TOG34 | b | b | | | a | | Sph. oxy.Fe. |
| TOG36 | b | b | T | | a | T | Ap. oxy.Fe. |
| AB869 | b | b | T | | a | T | Ap. oxy.Fe. |

Légende : a = abondant; b = peu abondant; T = traces ; ap = apatite ; sph = sphène ; oxy.Fe = oxydes de fer ; mt = magnétite ; pyr = pyrite ; ilm = ilménite ; parag = paragonite ; ru = rutilite ; zir = zircon ; grt = grenat.

II-3. Données chimiques

II-3-1. Composition chimique des chlorites

Quatre éléments chimiques (silicium, aluminium, fer et magnésium) constituent les principaux composants chimiques des chlorites de Pagala (**Tableau 2**). Des traces de potassium, de calcium et de manganèse ont été également détectées. On remarque que les teneurs des quatre composants chimiques varient différemment d'un échantillon à l'autre et d'un lot à l'autre.

Les chlorites des schistes pélitiques présentent une composition chimique comprise dans des fourchettes allant de : - 25 à 30 % SiO₂ pour la silice ; - 20 à 24 % Al₂O₃ pour l'aluminium ; - 9 à 20 % MgO pour le magnésium ; - et

27 à 41 % FeO pour le fer. Ces minéraux paraissent donc beaucoup plus riches en fer qu'en magnésium. L'échantillon, TOG 37, un schiste pélitique, présente une signature chimique particulière traduite par des teneurs élevées * en silice (32 à 42 % SiO₂) et en magnésium (25 à 35 % MgO). Leurs teneurs en fer sont relativement basses et comprises entre 6 et 15 % MgO. Les teneurs en alumine, sauf dans l'échantillon TOG36, sont du même ordre de grandeur quelle que soit la nature des roches.

Tableau 2 : Composition des chlorites des schistes de Pagala (moyenne par roche)

| | SiO ₂ | Al ₂ O ₃ | MgO | FeO | MnO | CaO | K ₂ O | NiO | Total |
|-----------------------------------|------------------|--------------------------------|------|------|------|------|------------------|------|-------|
| Chlorites des Schistes pélitiques | | | | | | | | | |
| E9 | 26,8 | 20,6 | 13,3 | 37,9 | 0,57 | - | 0,15 | 0,07 | 99,4 |
| E15 | 26 | 20,1 | 12,9 | 36,4 | 0,4 | - | - | 2,24 | 98,1 |
| E16 | 29,4 | 21,5 | 11,8 | 34,9 | 0,26 | - | 1,27 | - | 99,1 |
| N5 | 28,8 | 21,8 | 13,6 | 33,7 | 0,4 | - | 0,7 | - | 98,7 |
| N10 | 28,2 | 21,8 | 14,4 | 40,7 | - | - | 2,38 | - | 100 |
| E85 | 25,7 | 22,8 | 9 | 40,8 | - | - | 0,33 | - | 98,6 |
| O12 | 29,4 | 22,8 | 18,1 | 27,6 | 0,82 | - | 0,3 | - | 99 |
| X5 | 26,6 | 20,5 | 12,3 | 36,3 | - | - | - | - | 95,7 |
| E134 | 28,9 | 23,6 | 15,9 | 30,5 | - | - | - | - | 98,9 |
| E124 | 29,5 | 22,9 | 19,5 | 27,1 | - | - | - | - | 99 |
| E147 | 29,3 | 23,2 | 18 | 28 | - | - | - | - | 98,5 |
| TOG37 | 40,2 | 23,1 | 24,6 | 10 | - | 0,4 | - | - | 98,2 |
| Chlorites des schistes calcaireux | | | | | | | | | |
| AB869 | 35,9 | 22,3 | 35 | 5,9 | - | - | - | - | 99,1 |
| TOG36 | 41,5 | 11,8 | 25,4 | 9,1 | - | 1,18 | 3,54 | - | 93,5 |
| TOG29 | 32,5 | 23 | 28,2 | 15,3 | - | - | - | - | 99 |
| TOG34 | 33,3 | 23,7 | 30,2 | 12,1 | - | - | 0,23 | - | 99,5 |

Légende : - = non déterminé

II-3-2. Composition structurale des chlorites

Les paramètres chimiques structuraux calculés (**Tableau 3**) illustrent bien les compositions chimiques des minéraux analysés. Cependant, les remarques suivantes peuvent être faites :

- les proportions atomiques de Mg^{VI} demeurent aussi relativement élevées que celles de Fe^{VI} dans les chlorites de la majorité des schistes pélitiques ;
- l'échantillon TOG37 garde toujours sa singularité soulignée par Mg^{VI} de l'ordre de 3,08 contre 0,71 Fe^{VI} ;
- pour les chlorites des schistes calcaireux, les proportions atomiques de Mg^{VI} sont très élevées (3,27 – 4,34) alors celles de Fe^{VI} sont basses (0,41 – 1,12) ;
- le déficit cationique est systématique avec une valeur comprise entre 0,1 et 0,68 ;
- les rapports Fe/Mg et $Fe/(Fe+Mg)$ évoluent de façon identique que celle de Mg^{VI} et Fe^{VI} ;
- le ratio Mg^* est moins élevé dans le groupe 1 (28 – 56%) et plus élevé dans le groupe 2 (76 – 91%) (**Figure 2**)

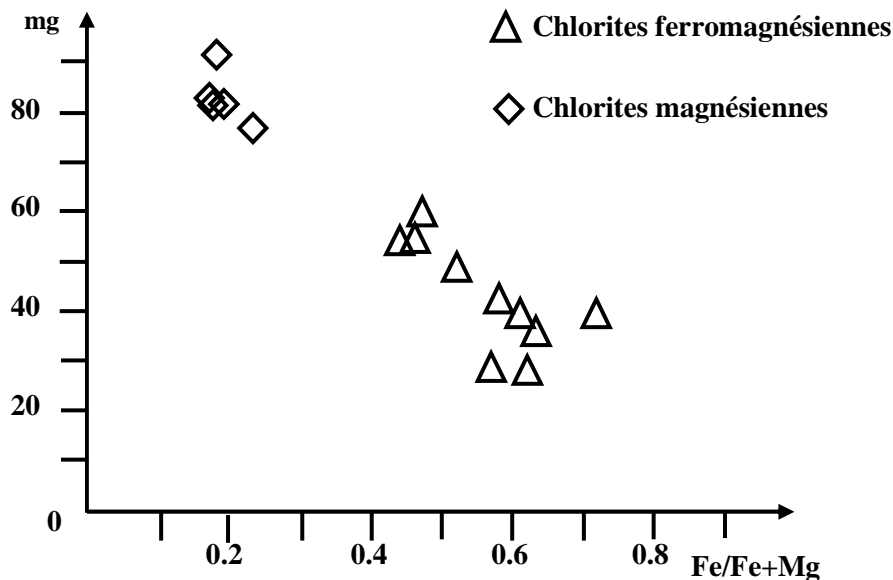


Figure 2 : Diagramme $mg - Fe/Fe+Mg$ montrant les deux familles de chlorites.

Tableau 3 : Formule structurale des chlorites (par demi-maille)

| | Si ^{IV} | Al ^{IV} | Al ^{VI} | Mg ^{VI} | Fe ^{VI} | Σ ^{VI} | F/M | F/ (F+M) | Mg* | 'Al chl' | 'Fe chl' | 'Mg chl' |
|--|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|-----------------|------|-------------|-------|-------------|-------------|-------------|
| Chlorites des schistes pélitiques | | | | | | | | | | | | |
| E9 | 2,64 | 1,36 | 1,05 | 1,96 | 3,12 | 6,13 | 1,60 | 0,62 | 38,49 | 0,17 | 0,51 | 0,32 |
| E15 | 2,65 | 1,35 | 1,06 | 1,96 | 3,1 | 6,12 | 1,58 | 0,61 | 38,72 | 0,17 | 0,51 | 0,33 |
| E16 | 2,84 | 1,16 | 1,29 | 1,71 | 2,93 | 5,93 | 1,66 | 0,62 | 37,61 | 0,22 | 0,49 | 0,29 |
| N5 | 2,78 | 1,22 | 1,25 | 1,95 | 2,71 | 5,91 | 1,39 | 0,58 | 41,84 | 0,21 | 0,46 | 0,33 |
| N10 | 2,7 | 1,3 | 1,16 | 2,06 | 2,7 | 5,92 | 1,59 | 0,61 | 38,68 | 0,20 | 0,46 | 0,35 |
| E85 | 2,58 | 1,42 | 1,28 | 1,34 | 3,42 | 6,04 | 2,54 | 0,72 | 28,23 | 0,21 | 0,57 | 0,22 |
| O12 | 2,75 | 1,25 | 1,26 | 2,52 | 2,16 | 5,94 | 0,86 | 0,46 | 53,9 | 0,21 | 0,36 | 0,42 |
| X5 | 2,69 | 1,31 | 1,14 | 1,86 | 3,08 | 6,08 | 1,66 | 0,62 | 37,66 | 0,19 | 0,1 | 0,31 |
| E134 | 2,72 | 1,28 | 1,34 | 2,22 | 2,4 | 5,96 | 1,08 | 0,52 | 48,17 | 0,22 | 0,40 | 0,37 |
| E124 | 2,73 | 1,27 | 1,29 | 2,51 | 2,2 | 6,00 | 0,78 | 0,44 | 56,2 | 0,22 | 0,37 | 0,42 |
| E147 | 2,73 | 1,27 | 1,23 | 2,7 | 2,1 | 6,03 | 0,87 | 0,47 | 53,4 | 0,20 | 0,37 | 0,45 |
| TOG 37 | 3,38 | 0,62 | 1,68 | 3,08 | 0,71 | 5,47 | 0,23 | 0,19 | 81,43 | 0,31 | 0,13 | 0,56 |
| Chlorites des schistes calcaireux | | | | | | | | | | | | |
| AB8 69 TOG 36 TOG 29 TOG 34 | 2,98 | 1,02 | 1,17 | 4,34 | 0,41 | 5,92 | 0,09 | 0,09 | 91,36 | 0,19 | 0,07 | 0,73 |
| | 3,58 | 0,42 | 1,39 | 3,27 | 0,66 | 5,32 | 0,20 | 0,17 | 83,27 | 0,19 | 0,12 | 0,62 |
| | 2,84 | 1,16 | 1,2 | 3,67 | 1,12 | 5,99 | 0,30 | 0,23 | 76,67 | 0,20 | 0,19 | 0,61 |
| | 2,85 | 1,15 | 1,24 | 3,85 | 0,86 | 5,95 | 0,22 | 0,18 | 81,65 | 0,20 | 0,14 | 0,65 |

$$F/M = Fe/Mg = (FeO/71)/(MgO/40.3);$$

$$Fe/(Fe+Mg) = [(FeO/71.85)/((Fe/71.85)+MgO/40.3)];$$

$$Mg^* = \text{ratio mg} = [Mg/(Fe+Mg)] * 100;$$

'Al chl' = pôle alumineux de la chlorite; 'Fe chl' = pôle ferreux de la chlorite ;

Mg chl' = pôle magnésien de la chlorite.

II-3-3. Données géothermométriques

Les résultats de calcul de températures d'après trois géothermomètres sont donnés dans le **Tableau 4** qui interpelle aux constats suivants :

- les températures calculées d'après les géothermomètres Cathelineau [10] et Jowett [11] sont plus élevées que celles obtenues avec le géothermomètre de Kranidiotis et Maclean [9] ;
- les températures obtenues sur les chlorites ferromagnésiennes (groupe 1) sont dans l'ensemble plus élevées quel que soit le géothermomètre utilisé ($312 \leq T \leq 410$) alors qu'elles sont basses dans le groupe 2 ($73 \leq T \leq 312$) ;
- les plus basses températures ont été obtenues sur les chlorites de deux échantillons TOG37 (schiste pélitique) et TOG36 (schiste calcaireux) dont les proportions atomiques de Al^{IV} sont les plus basses (0,62 et 0,42) avec des valeurs de Si^{IV} élevées (3,38 et 3,58).

Tableau 5 : Résultats géothermométriques obtenus sur les chlorites

| | Al^{IV} | Fe/(Fe+Mg) | Cathelineau (1988) | Kranidiotis & Maclean (1987) | Jowett (1991) |
|-----------------------------------|-----------|------------|--------------------|------------------------------|---------------|
| Chlorites des schistes pélitiques | | | | | |
| E9 | 1,36 | 0,66 | 376 | 208 | 386 |
| E15 | 1,35 | 0,66 | 373 | 216 | 385 |
| E16 | 1,16 | 0,67 | 312 | 197 | 325 |
| N5 | 1,22 | 0,69 | 331 | 200 | 343 |
| N10 | 1,3 | 0,69 | 357 | 211 | 369 |
| E85 | 1,42 | 0,64 | 395 | 229 | 410 |
| O12 | 1,25 | 0,73 | 341 | 195 | 349 |
| X5 | 1,31 | 0,66 | 360 | 213 | 373 |
| E134 | 1,28 | 0,71 | 350 | 203 | 360 |
| E124 | 1,27 | 0,73 | 347 | 196 | 355 |
| E147 | 1,27 | 0,74 | 347 | 198 | 356 |
| TOG37 | 0,62 | 0,89 | 138 | 105 | 138 |
| Chlorites des schistes calcaireux | | | | | |
| AB869 | 1,02 | 0,14 | 266 | 137 | 261 |
| TOG36 | 0,42 | 0,26 | 73 | 82 | 73 |
| TOG29 | 1,16 | 0,35 | 312 | 167 | 312 |

Cathelineau (1988) : $T = - 61.92 + 321.98. Al^{IV}_c$, Kranidiotis et Maclean (1987) : $T = 106 Al^{IV}_c + 18$ avec $Al^{IV}_c = Al^{IV} + 0.7 (Fe/(Fe+Mg))$ Jowett (1991) : $T = 319 Al^{IV}_c - 69$; avec $Al^{IV}_c = Al^{IV} + 0.1 (Fe/(Fe+Mg))$

Un tel constat conforte la dépendance de la température vis-à-vis de Al^{IV} ; aux fortes valeurs de températures, correspondent les teneurs élevées de Al^{IV} . Les valeurs obtenues avec les géothermomètres de Cathelineau [10] et Jowett [11] demeurent les plus vraisemblables d'après les différentes paragenèses minérales ci-dessus décrites.

II-3-4. Composition chimique des roches porteuses de chlorite

Le **Tableau 5** présente les résultats d'analyses chimiques de cinq schistes pélitiques et deux schistes calcaireux en pourcentages pondéraux d'oxydes d'une dizaine d'éléments majeurs et les paramètres chimiques calculés. Les schistes pélitiques se caractérisent par :

- des teneurs élevées en SiO_2 , Al_2O_3 , et Fe_2O_3 ;
- des teneurs basses en MgO ;
- la non détection de CaO dans les analyses ;
- le ratio Mg^* aussi faible que comme dans les schistes pélitiques.

Les schistes calcaireux se distinguent par :

- le dosage de CaO , qui présente avec MgO , des teneurs notoires ($CaO = 14\%$; $MgO = 10,5\%$) ;
- la teneur moindre en silice ($37\% SiO_2$) ;
- le ratio Mg^* aussi élevé comme dans les chlorites magnésiennes.

Tableau 5 : *Composition de quelques roches chloriteuses du secteur de schistes de Pagala*

| | SiO ₂ | Al ₂ O ₃ | MgO | CaO | FeO | MnO | TiO ₂ | Na ₂ O | K ₂ O | Pf | F/M | F/ (FM) | Mg* |
|---------------------|------------------|--------------------------------|-------|-------|------|------|------------------|-------------------|------------------|------|------|------------|-------|
| Schistes pélitiques | | | | | | | | | | | | | |
| N5 | 69,6 | 11,9 | 1,8 | 0,8 | 8,6 | 0,14 | 0,57 | 2,46 | 2,25 | 2,4 | 2,68 | 0,73 | 27,18 |
| N10 | 65,5 | 15,6 | 2,21 | 0 | 6,6 | 0,12 | 0,82 | 1,57 | 3,94 | 2,9 | 1,68 | 0,63 | 37,38 |
| O12 | 59,6 | 16,5 | 4,08 | 0 | 8,8 | 0,37 | 0,83 | 1,1 | 3,19 | 3,8 | 1,21 | 0,55 | 45,25 |
| X5 | 66,6 | 13,3 | 3,27 | 0 | 8,2 | 0,06 | 0,6 | 0,62 | 2,52 | 3,2 | 1,41 | 0,58 | 41,55 |
| E124 | 57,6 | 19,15 | 1,73 | 0 | 9,55 | 0,05 | 0,71 | 0,22 | 6,17 | 4,65 | 3,10 | 0,76 | 24,41 |
| Schistes calcaireux | | | | | | | | | | | | | |
| TOG29 | 37,7 | 7,9 | 11,09 | 13,85 | 4,05 | 0,08 | 0,44 | 0,29 | 2,5 | 21,7 | 0,20 | 0,17 | 83,00 |
| TOG34 | 36,8 | 5,9 | 10,51 | 17,4 | 3,3 | 0,06 | 0,31 | 0,29 | 2,09 | 0,24 | 0,18 | 0,15 | 85,03 |

IV - RESULTATS ET DISCUSSION

Loin d'être des espèces pures, les chlorites des schistes de Pagala (Togo) se caractérisent par de nombreuses substitutions. Ces substitutions sont de différents ordres de grandeur. Dans les chlorites ferromagnésiennes, la substitution tétraédrique de Al à Si est plus élevée que dans les chlorites magnésiennes. Le rapport Al^{IV} / Si^{IV} est compris entre 1,16/2,64 et 1,42/2,58 (E9, E85) dans le groupe 1 contre 0,42/3,58 et 1,16/2,84 (TOG36, TOG 29) dans le groupe 2. En position octaédrique, le remplacement de Mg par Al est également beaucoup plus accentué dans les espèces ferromagnésiennes que les espèces magnésiennes. Il est de l'ordre de 2 atomes de Mg contre 4 atomes de (Fe+Al) dans les premières et de 4 Mg contre 2(Fe+Al) dans les secondes.

Les formules structurales ont été établies en vue de mettre en évidence l'ampleur des substitutions dans les divers sites structuraux. Pour la répartition des cations entre les sites, nous avons préféré substituer Fe à Mg dans le feuillet talc, les autres cations Fe et Al compenseront le déficit dans la couche brucite. Ainsi les formules structurales moyennes pourront s'écrire comme suit :

$(Mg_{2,07}Fe_{0,93})[(Al_{1,29}Si_{2,71})O_{10}](OH)_2 [(Fe_{1,79}Al_{1,21})](OH)_6$ pour les chlorites ferromagnésiennes, et

$(Mg_{2,25} Fe_{0,75})[(Al_{1,26}Si_{2,74})O_{10}](OH)_2[(Mg_{1,39}Al_{1,34}X_{0,27})](OH)_6$ pour les chlorites magnésiennes.

On constate, alors, que les substitutions ont lieu dans le site octaédrique et dans la couche brucite quelle que soit la nature du minéral, cependant à divers degré, Dans les chlorites ferromagnésiennes tout le magnésium de la couche brucite a été totalement remplacé par Fe et Al, alors que dans les magnésiennes, Mg est partiellement remplacé dans les deux sites respectivement par Fe et Al. Le déficit cationique (X) a été ici attribué à la couche brucite.

Les chlorites des schistes calcaires se présentent comme des espèces intermédiaires entre le pôle du talc-chlorite et celui du clinochlore. La projection des paramètres dans le diagramme Si^{IV} -Fe/Fe+Mg (*Figure 3*) montre que les chlorites ferromagnésiennes correspondent à des ripidolites et à des brunsvigites, alors que les chlorites magnésiennes se rencontrent dans un domaine plus étendu englobant la pennine, le clinochlore et le talc-chlorite. Curtis et al, [8] montrent que les rapports Fe/Fe+Mg des chlorites ferromagnésiennes sont similaires à ceux calculés pour les chlorites des

schistes et sont de même ordre de grandeur que ceux des chlorites dérivées de smectite.

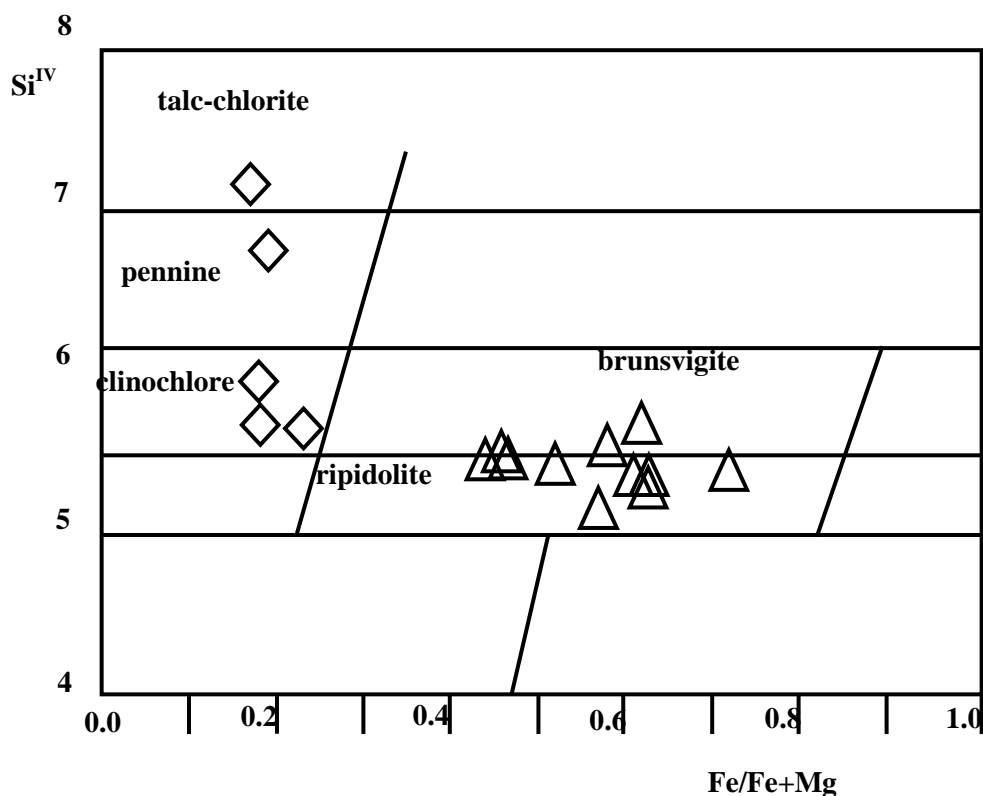


Figure 3 : Place des chlorites de Pagala dans le diagramme de Hey.
(Voir figure 1 pour légende).

La distribution des points figuratifs des minéraux étudiés dans le diagramme ternaire légèrement modifié de Caritat et al, [13] (**Figure 4**) illustre, quoique moins nettement, les deux groupes précédemment définis. Les deux groupes de chlorites se répartissent dans le domaine des smectites, avec cependant les espèces magnésiennes plus proches du pôle de Mg-chlorite. Une telle distribution montre que le chimisme des chlorites étudiées dépend du chimisme de la roche mère.

Parallèlement, la projection dans le diagramme ACF-A'KF (**Figure 5**), à partir des résultats d'analyses chimiques (**Tableau 5**) a permis de préciser

ainsi la nature primaire de ces roches mères. Le premier lot d'échantillons (N5, N10, O12, X5, E124 et TOG37) se répartit sur le côté AF du diagramme correspondant au domaine des argiles et des argiles schisteuses riches en alumine avec ou sans carbonate (triangle ACF) ou distinctement à celui des argiles (triangle A'KF). Le second lot (TOG29 et TOG34) se situe à proximité de l'axe CF correspondant à la zone des roches calco-magnésiennes (dolomies et basaltes).

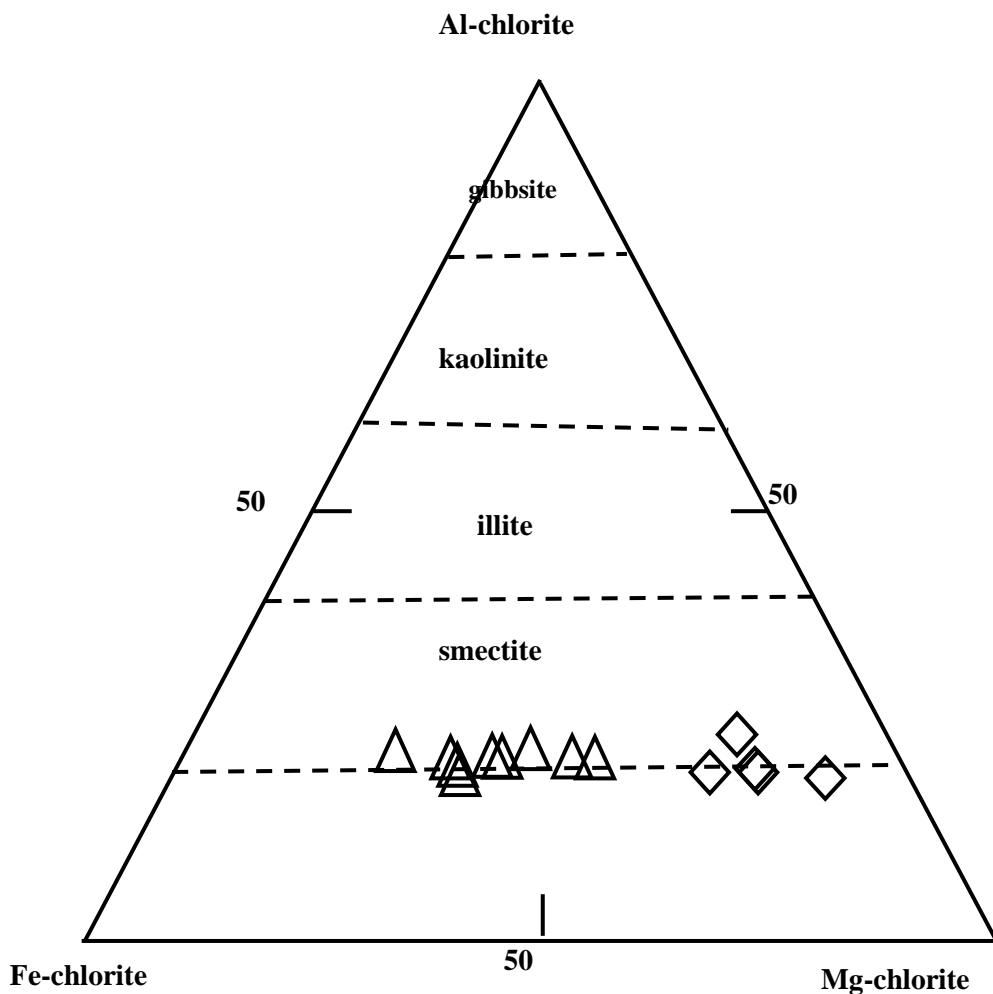


Figure 5 : Projection des chlorites dans le diagramme ternaire “ Al chlorite ” “ Fe chlorite ” - “ Mg chlorite ” d’après Caritat et al, [13] légèrement modifié.

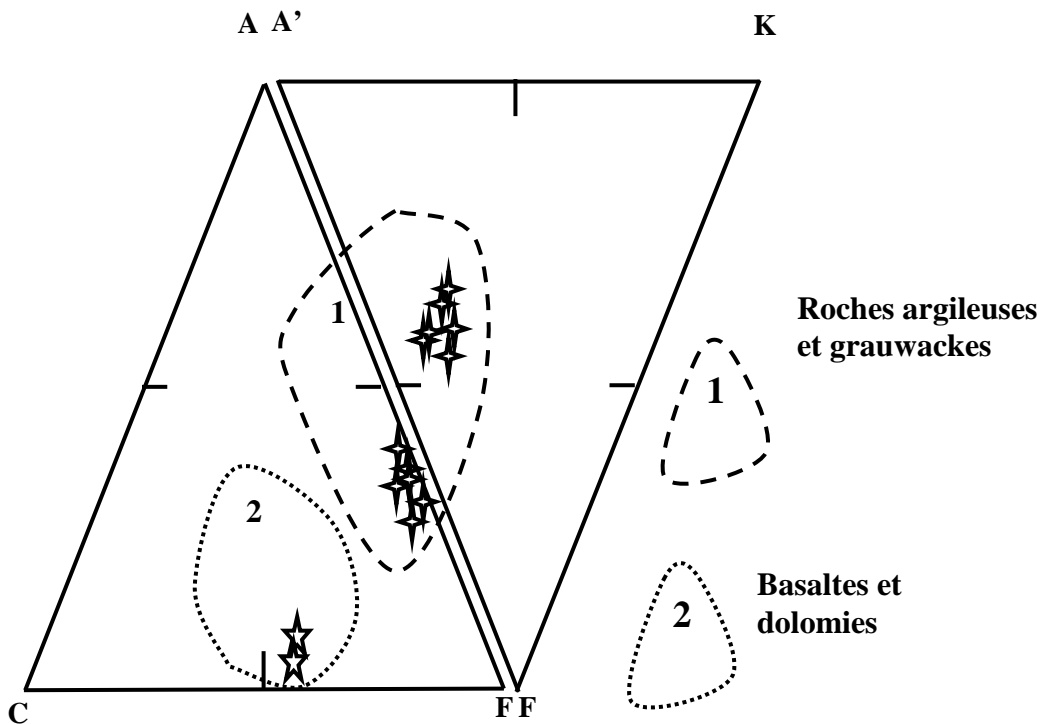


Figure 5 : Projection des points figuratifs des roches hôtes des chlorites dans le diagramme ternaire ACF d'après Winkler, [14], légèrement modifié.

- ✦ = roches argileuses avec ou sans carbonates ;
- ★ = Roches calco-magnésiennes : (dolomies, basaltes).

V - CONCLUSION

En conclusion, les schistes de Pagala sont des produits d'évolution métamorphique d'anciennes roches sédimentaires argileuses à smectite c'est-à-dire de la montmorillonite et de volcanites. De telles formations (sédimentaires à montmorillonite et des volcanites) ont été décrites dans le bassin des Volta dont l'unité structurale de l'Atacora est l'équivalent métamorphique ([15] ; [12]). Le cortège chimique de ces minéraux semble être préservé au cours de l'évolution thermo-tectonique qui a édifié le contexte de Pagala.

La présence d'épidote, de séricite et de muscovite avec la chlorite témoigne de conditions de basses températures auxquelles ont été portées ces roches. De telles associations minéralogiques sont stables dans les gammes de ces températures

obtenues. La muscovite, l'un des principaux constituants avec la chlorite des roches étudiées, a été décrite comme une phengite développée dans des conditions de pressions comprises entre 3,5 et 4 kb [16]. Au cours de l'événement panafricain, les roches initiales auraient été portées à des températures avoisinant les 300 °C pour des pressions de 3,5 kb.

RÉFÉRENCES

- [1] - P. BARIAN, F. CESBRON et J. GEFFROY, in "Les minéraux". Ed. BRGM (1975)
- [2] - M. CATHELINÉAU and D. NIEVA, in "Contributions to mineralogy and petrology" 91 (1985) 235-244
- [3] - G. DUNOYER de Segonzac, Mémoires du Service de la carte géologique d'Alsace et de Lorraine (1969) 29
- [4] - W. A. DEER, R. A. HOWIE and J. ZUSSMAN, Rock forming minerals. Vol III (1962) Ed. Longman
- [5] - A. BARONNET, Minéralogie. Ed. Dunod, (1988)
- [6] - J. LAMEYRE, Doin Editeurs (1975) 128 p
- [7] - Y. NOACK, Thèse Doct. Es Sci. Univ. Aix-Marseille III (1985)
- [8] - [C. D. CURTIS, C. R. HUGES, J. A. WHITEMAN and C. K. WHITTLE, Mineral. Mag. 49 (1985) 375-386
- [9] - P. KRANIDIOTIS and W. H. MACLEAN, Economy Geology 82 (1987) 1898-1911
- [10] - M. CATHELINÉAU, Clay minerals (1988) 23 471-485
- [11] - E. C. JOWETT, GAC MAC SE. Joint annual meeting (1991) 16 A62
- [12] - P. AFFATON, Thèse Doct. Etat Univ. d'Aix-Marseille (1987)
- [13] - P. DE CARITAT, I. HUTCHEON and J. L. WALSHE, CLAYS AND CLAY [15] H. [15] R. Trompette, In "Lexique stratigraphique internationale" n°1 (1983) 75-79
- [14] - HOFFMANN, «Pratiques pastorales et dynamiques du couvert végétal en pays lobi (nord-est de la Cote d'Ivoire) ». Ed ORSTOM, (1985) 355p
- [15] - R. TROMPETTE, In "Lexique stratigraphique internationale" n°1 (1983) 75-79
- [16] - K. A. TOGBE, J. Rech. Sci. Univ. Bénin (Togo) 14 (2) (2000) 251 – 257