

Conséquences de l'Altération des Gneiss Arkosiques sur la Topographie Locale, (Massif de l'Edough Annaba, N.E Algérien)

S. HADJ ZOBIR *: A.A. LARABA: K. KHANCHOUL
Université Badji Mokhtar / Faculté des Sciences de la Terre / Dépt de Géologie
BP 12 El-Hadjar Annaba, 23000 Annaba
* e-mail: shadjzobir@yahoo.fr

ملخص :

تقع منطقة الدراسة في الجزء الشرقي لجبال إيدوغ (منطقة عنابة)، تتميز بمناخ البحر الأبيض المتوسط . و هي أحد أكثر المناطق الممطرة في الجزائر (بين 750 و 1200 مم / سنة). تمحورت الدراسة حول المقطع الطولي لصخر الناييس الأركوزي الواقع في منحدر تل صغير بين 550 م و 450 م . تتألف هذه الصخور من تركيب معدني متجانس. المعادن السائدة هي الكوارتز ، الفلدسبات و الميكا . يتكون الإنكسار الطيني الموجود بكثرة في القاعدة من الأيالات و المونت موريلونيت . مقابل المعدنة ، كيمياوية هذه الصخور غير متجانسة . تبين التحاليل الكيميائية المعاينة من قمة إلى قاعدة صخر الناييس تقدم تدرجي في التركيب الكيميائي من ناحية المكاسب و الخسائر في Ca, Na, K, Fe و Mg تشير قيم (الدليل الكيميائي للتغير) CIA بأن صخر الناييس الأركوزي قد مر بتغير كيميائي هام. ظهور المراحل الطينية في الصخرة أثر في تعديل علم الطبوغرافيا المحلي و شكل تموجات مرتفعة التردد في قاعدة صخر الناييس الغني بالمعادن الطينية .

Résumé : La zone d'étude, située sur le flanc NE du massif de l'Edough (région de Annaba), se caractérise par un climat de type méditerranéen. Le massif est un des plus arrosés d'Algérie (entre 750 et 1200 mm/an). L'étude s'est portée le long d'un profil sur des gneiss arkosiques à flanc de coteau localisé entre la côte 550m et 450m. Ces roches montrent une composition minéralogique très homogène. Les minéraux dominants sont le quartz, les feldspaths et les micas. La fraction argileuse, plus abondante à la base du banc, est représentée par l'illite et la montmorillonite. A l'opposé de la minéralogie, la chimie de ces gneiss est très hétérogène. Les analyses chimiques du matériel prélevé du sommet vers la base du banc révèlent une évolution progressive dans la composition chimique en terme de gains et de pertes en Ca, Na, K, Fe et Mg . Les valeurs de CIA (Chemical Index of Alteration) suggèrent que les gneiss arkosiques ont subi une importante altération chimique. La présence de phases argileuses dans la roche a eu pour effet de modifier la topographie locale en formant des ondulations dont la fréquence est croissante vers le bas du banc gneissique plus riche en minéraux argileux.

Mots-clés : Altération, Minéraux argileux, CIA, Gneiss arkosiques, Edough.

Abstract : The studied zone, located on the east part of the massif of Edough (region of Annaba, Algeria), is characterized by a Mediterranean climate type. The massif is one of the most watered of Algeria

(between 750 and 1200 mm/year). The study was carried along a profile on arkosic gneiss which are located in a small hill slop between 550m and 450m. These rocks show a very homogeneous mineralogical composition. The dominant minerals are quartz, feldspars and micas. The clay fraction, more abundant at base is represented by illite and montmorillonite. In opposition to mineralogy, the chemistry of this gneiss is very heterogeneous. The chemical analyses of the material, sampled from the summit to the base of the gneissic bank, reveal a progressive evolution in the chemical composition in terms of gains and losses in Ca, Na, K, Fe and Mg . The values of CIA (Chemical Index of Change) suggest that the arkosic gneiss has undergone an important chemical weathering. The presence of clay phases in the rock formation had an effect on the modification of the local topography by developing curlings in which the frequency is increasing toward the base of the clay-rich gneissic beds.

Key words : Weathering, Clay minerals, CIA, Arkosic gneiss, Edough.

1. Introduction

La distribution des éléments chimiques au cours de l'altération dépend de nombreux facteurs tels que la mobilité des éléments chimiques, la composition chimique et minéralogique. Les propriétés physiques de la roche mère ainsi que les conditions climatiques environnantes (intensité de la pluviométrie,

la température). Ce travail se propose d'étudier le comportement des éléments chimiques lors de l'altération chimique des gneiss arkosiques du massif de l'Edough.

2. Cadre Géologique et Climatique

Le massif de l'Edough est constitué de formations métamorphiques diverses formant une structure antiforme de direction NE-SW (Fig.1). Le cœur de l'antiforme, dite "unité inférieure" est composé de gneiss à biotite et de gneiss ocellés à deux micas datés Néoprotérozoïque (Hammor et Lancelot, 1998), avec parfois des bancs de leptynites et de marbres (Hilly,

1962; Gleizes et al., 1988; Ahmed-Said et Leake, 1993). Au-dessus des gneiss vient une unité dite "intermédiaire" composée de micaschistes à grenat, disthène, sillimanite et andalousite avec des bancs métriques de marbres. L'unité supérieure, dite "série des alternances", est composée principalement par des séricitoschistes, chloritoschistes et schistes graphiteux avec des bancs centimétriques à métriques de quartzites. Le complexe métamorphique et la couverture sédimentaire ont été intrudés durant le Miocène par des magmas de composition acide à intermédiaire avec la mise en place de roches volcaniques. Le massif de l'Edough a subi un métamorphisme polycyclique.

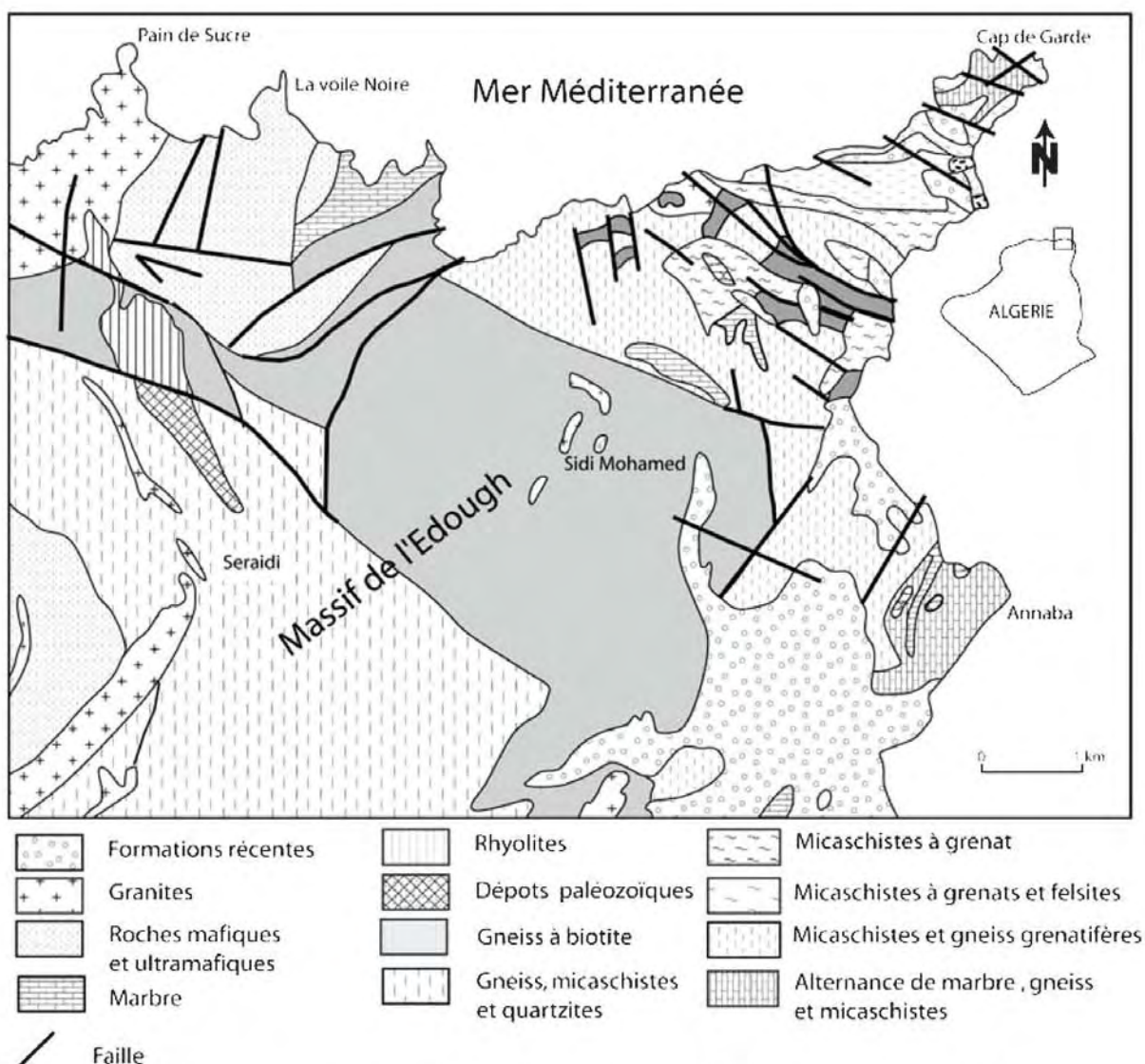


Fig. 1 Carte géologique simplifiée du massif de l'Edough, (modifiée sur la base des travaux de : Ex SONAREM 1980, Ahmed Said 1993, Gleizes et al 1988, Ilavsky.I et al 1987).

Les gneiss étudiés, localisés sur le versant Ouest (à très forte pente de 50%) d'un bassin versant secondaire font partie de l'unité inférieure et sont des gneiss arkosiques à signature magmatique (Hadj Zobir, données non publiées). Le massif de l'Edough se caractérise par un climat de type méditerranéen. La température moyenne annuelle est de 16°C et les précipitations sont abondantes avec un total moyen annuel de 1184 mm (mesurées à la station de Séraïdi entre 1988 et 2004). Le réseau hydrographique est très dense et de type dendritique (Fig.2).

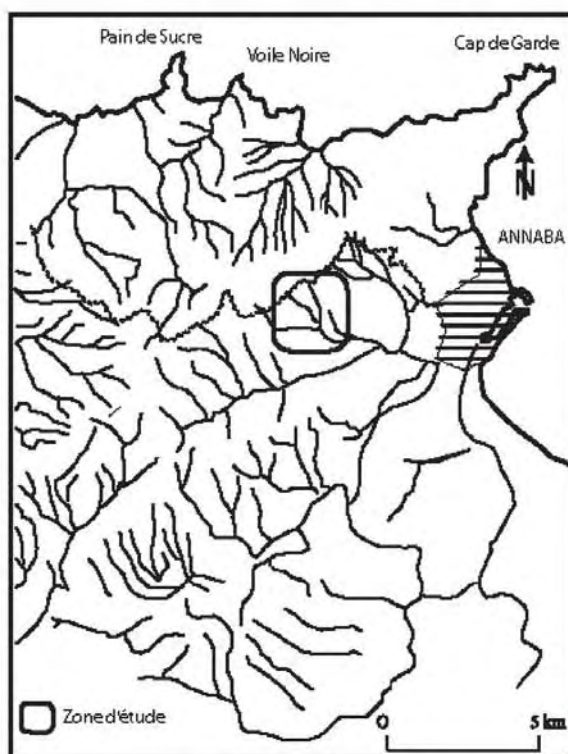


Fig. 2 Réseau hydrographique du massif de l'Edough.

3. Méthodes

Cinq échantillons ont été prélevés le long d'un profil à flanc de coteau localisé entre la côte 550 m et 450 m (Fig.3). Ces échantillons ont fait l'objet d'une étude pétrographique détaillée. Les analyses des éléments majeurs des gneiss ont été exécutées par XRF au GFZ (GeoForschungs Zentrum Potsdam) et à l'Institut des Sciences de l'Université de Potsdam, Allemagne. Les analyses radiocristallographiques ont été effectuées au laboratoire RX du CRD de la SONATRACH, Boumerdès, Algérie.

4. Résultats et discussion

4.1 Pétrographie

L'aspect macroscopique des gneiss est folié avec parfois des faciès ocellés à grains grossiers feld-

spathiques (Fig.4a). Vers la base du banc gneissique le grain est généralement fin (< 1mm), les yeux quartzo-feldspathiques sont beaucoup plus petits, ce qui confère à la roche un aspect finement lité. La couleur de la roche varie du brun clair au brun foncé vers la base (Fig.4b). Les échantillons montrent une composition minéralogique relativement homogène et semblable. Au microscope ces gneiss sont essentiellement constitués de phénoblastes (1 à 4mm) de feldspaths (plagioclases et orthose), de quartz et de micas (biotite et muscovite).

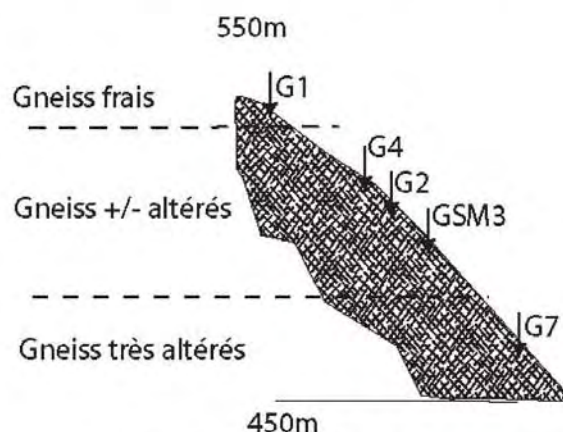


Fig. 3 Position des échantillons sur le profil (échelle non respectée).

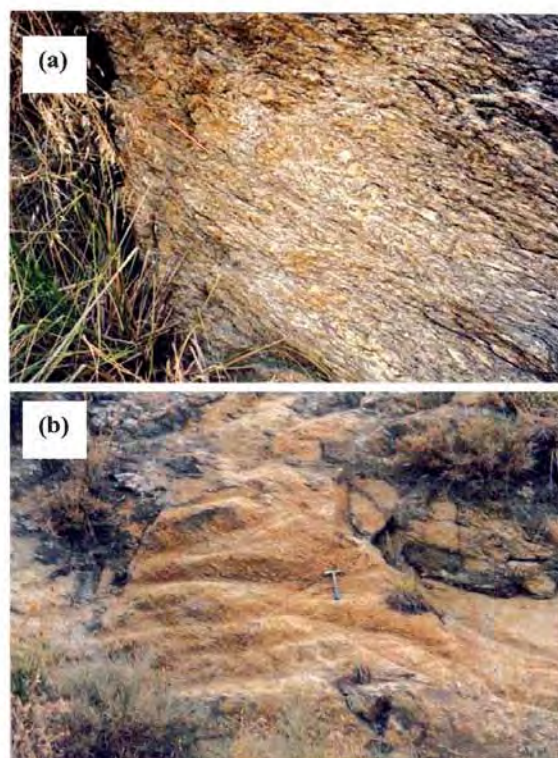


Fig. 4 a- Gneiss arkosiques frais à gros yeux quartzo-feldspathiques.
b- Vue de la base très altérée du banc des gneiss arkosiques.

Les minéraux accessoires sont représentés par l'apatite et le zircon. La composition modale de ces gneiss en plagioclase, quartz, feldspath et biotite nous permet de le considérer comme étant granitique. Les minéraux d'altération sont représentés par de la kaolinite, présente sous forme de traces uniquement dans l'échantillon le moins altéré (G1) qui a été prélevé dans la partie supérieure du banc gneissique, de l'illite et de la montmorillonite. Les échantillons (G2, G3 et GSM3) et G7 prélevés respectivement dans la partie intermédiaire et inférieure du banc de gneiss montrent une évolution du degré d'altération et se caractérisent par l'absence de la kaolinite et l'abondance de l'illite et de la montmorillonite.

4.2 Composition Minéralogique

De point de vue minéralogique on remarque une diminution en feldspaths et en micas et une

augmentation de la concentration modale en minéraux argileux. Les effets de l'altération se traduisent dans nos échantillons par l'apparition de minéraux néoformés tels que la kaolinite, l'illite et la montmorillonite. L'échantillon (G1) qui est le moins altéré a montré des traces de la kaolinite en plus de l'illite et de la montmorillonite. La présence de la kaolinite confirme la nature granitique de la roche mère ainsi que le bon drainage de celle-ci. Dans cet échantillon, les plagioclases ont probablement été transformés dans un premier temps en gibbsite qui s'est transformée à son tour en kaolinite. L'illite et la montmorillonite qui sont très présents dans la zone intermédiaire et basse des gneiss arkosiques traduisent respectivement une altération dans des conditions de mauvais et de très mauvais drainage. La concentration en minéraux néoformés est progressive de l'échantillon le moins altéré (G1) à celui le plus altéré (G7) (tableau1).

Tableau 1. Concentration en minéraux argileux des gneiss arkosiques (K- Kaolinite, I- Illite, M- Montmorillonite).

Localisation dans la coupe	Caractéristiques	Echantillons	Minéraux argileux (%)		
			K	I	M
Haut	Gneiss arkosiques frais	G1	Traces	100	Traces
Centre	Gneiss arkosiques +/- altérés	G4		90	10
		G2 GSM3		70	30
Bas	Gneiss arkosiques très altérés	G7		45	50

4.3 Distribution des éléments chimiques

Le tableau 2 liste les résultats des analyses chimiques en majeurs et traces des gneiss arkosiques. La distribution des éléments chimiques le long du profil d'altération montre des patrons en zigzag (Fig.5). Cette distribution est en étroite relation avec le degré d'altération de la roche. A titre d'exemple Al_2O_3 varie de 313.69 à 15.2%, TiO_2 de 0.432 à 0.721%, MgO de 0.63 à 1.2%, Fe_{total} de 3.31 à 4.89% et CaO de 1.5 à 1.7%. Les concentrations en Na_2O varient de 3.1 à 2.49% alors que K_2O varie de 3.5 à 3.4 % respectivement dans les gneiss les moins altérés et les plus altérés. Les teneurs en cet élément sont plus élevés au centre du profil 4.6%.

Le diagramme ternaire A-CN-K ($A = Al_2O_3$, $CN = CaO + Na_2O$, K) (Fig.4a) ainsi que celui

CIA versus la profondeur (Fig.6.a) montre que les gneiss arkosiques ont enregistré une importante altération. La position des échantillons dans le diagramme traduit le degré d'altération de chacun d'eux. L'échantillon G7, le plus altéré est proche du sommet A ($A = Al_2O_3$), alors que l'échantillon le moins altéré s'en éloigne. Les études ont montré que le lessivage des éléments tel que Ca, Na est proportionnel au degré d'altération (Wronkiewicz et Condie, 1987). L'index d'altération chimique ($CIA = Al_2O_3 / (Al_2O_3 + CaO + Na_2O + K_2O)$) (Nesbitt et Young, 1984) calculé pour tous les échantillons (CIA varie de 62,78 à 68,32) (tableau 2) traduit l'évolution progressive de l'altération, ainsi que l'introduction progressive de minéraux alumineux, du sommet vers la base du banc des gneiss arkosiques (Fig.6b).

Tableau 2. Analyses des éléments majeurs des gneiss arkosiques du massif de l'Edough, CIA
– Index of Chemical Alteration.

	GNEISS FRAIS	GNEISS +/-ALTERES			GNEISS ALTERES
	G1	G 4	G 2	GSM3	G 7
SiO ₂	71,471	67,923	67,736	69,707	68,031
Al ₂ O ₃	13,690	15,192	15,611	14,537	15,203
Fetot	3,315	4,599	4,077	4,689	4,893
CaO	1,519	1,516	1,440	1,823	1,598
MgO	0,630	1,041	1,048	0,965	1,207
MnO	0,015	0,050	0,044	0,076	0,048
K ₂ O	3,576	4,189	4,641	3,376	3,403
Na ₂ O	3,018	2,305	2,040	2,520	2,049
P ₂ O ₅	0,228	0,230	0,190	0,228	0,232
TiO ₂	0,432	0,678	0,595	0,609	0,721
LOI	2,081	2,067	2,278	1,630	2,695
Total	99,974	99,790	99,700	100,160	100,081
CIA	62,789	65,478	65,782	65,317	68,321

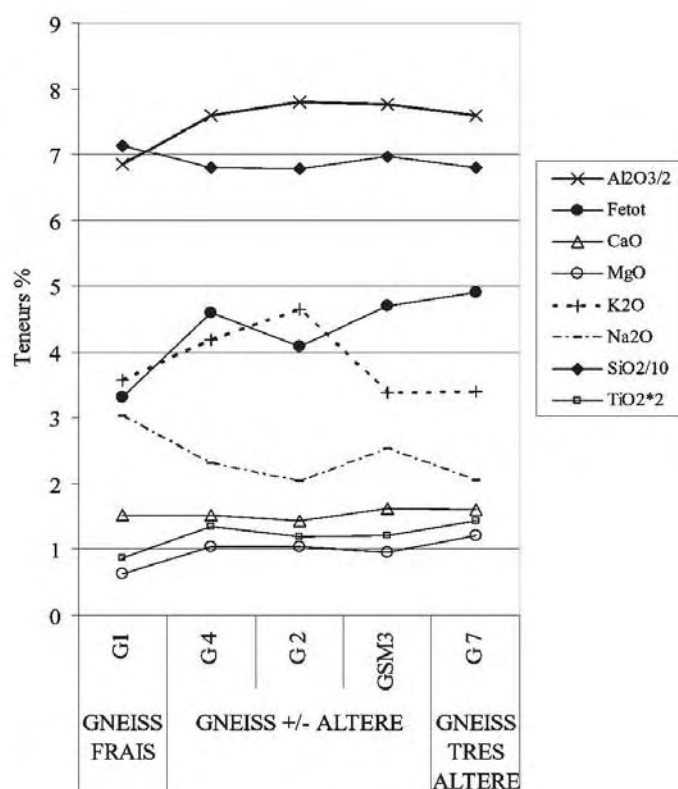


Fig. 5 Profile de distribution des éléments majeurs.

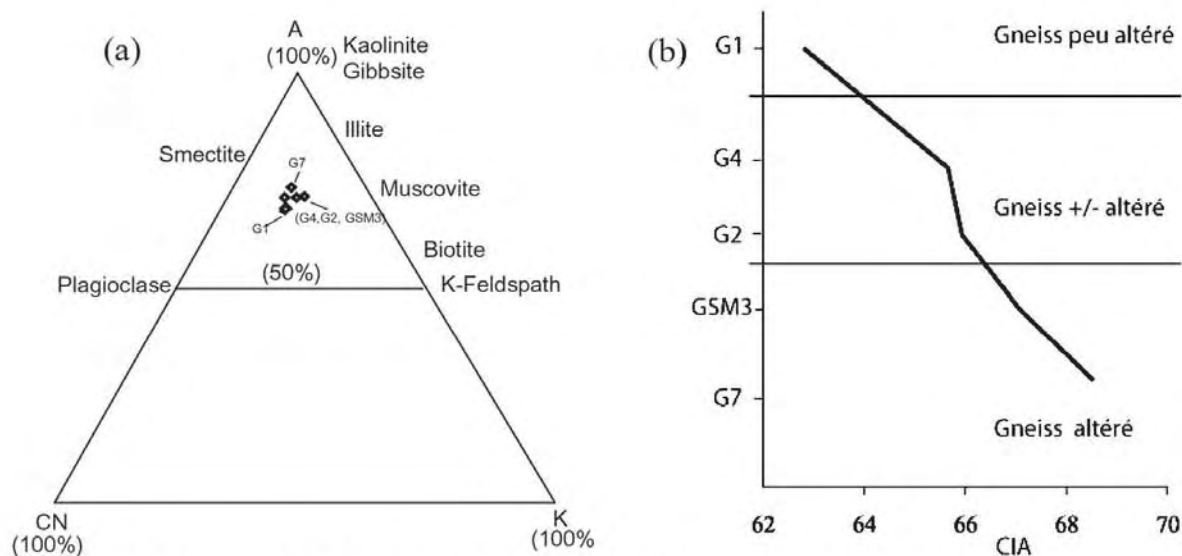


Fig. 6 a- Diagramme A-CN-K, b- évolution de l'altération (CIA) avec la profondeur (La profondeur est représentée par l'ordre de prélèvement des échantillons).

Dans le but d'évaluer le comportement des éléments chimique durant l'altération des gneiss arkosiques en terme de gain et de perte en un élément par rapport à la roche mère, le pourcentage de modification

(% modification = $[(X/Ti)_s - (X/Ti)_p - 1] * 100$) (Nesbitt, 1979) a été calculé (Fig.7). Le Ti considéré comme élément immobile durant l'altération a été pris comme élément de référence.

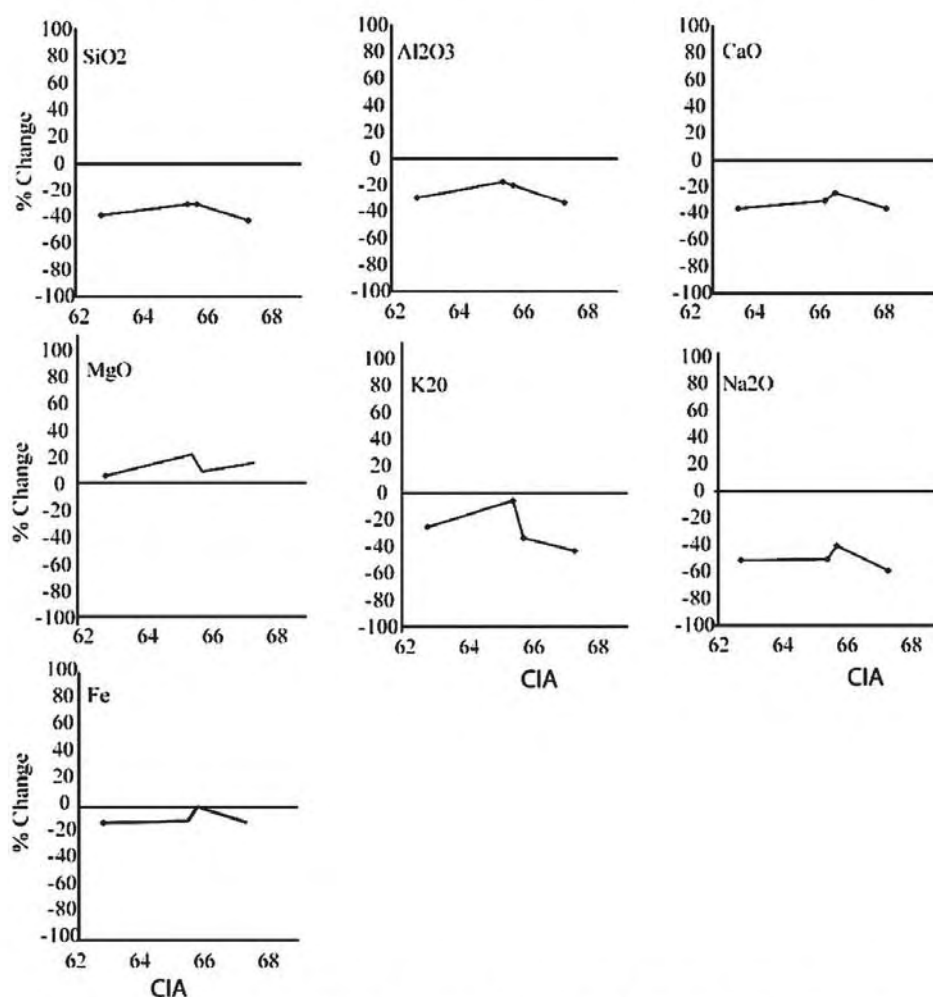


Fig. 7 Pourcentage de modification (% Change) versus le degré d'altération (CIA) des gneiss arkosiques du massif de l'Edough.

Au cours de l'altération la mobilité des éléments chimiques s'exprime en termes de perte ou en gain par rapport à la roche parentale (représenté par l'échantillon G1). Les majeurs SiO_2 , Al_2O_3 , CaO montrent une perte de l'ordre de 40%. La valeur la plus importante (60%) en terme de perte est celle de Na_2O . CaO et Na_2O sont lessivés de la roche parentale ainsi que des minéraux argileux. Le potassium (K) montre une perte variant de 20 à 40%, cette variation est en accord avec l'augmentation de la valeur de l'indice d'altération. Le MgO et le FeO_{tot} ont un comportement différent de celui des autres éléments majeurs, on note pour Mg un gain variant de 0 à 20% et pour Fe des pertes très faibles de l'ordre de 10%. Les faibles variations de ces éléments indiquent une altération sélective avec formation de minéraux secondaires tels que les oxydes et d'hydroxydes, ce qui explique la couleur brunâtre des roches fortement altérés.

4.4 Effets de l'altération

Les modifications chimiques et l'apparition de minéraux argileux ont eu pour conséquence de façonner la topographie locale du banc gneissique. La base des gneiss arkosique qui est riche en minéraux argileux montre localement un nombre important d'ondulations qui sont interprétées comme la conséquence direct de la présence des

minéraux argileux. L'illite et la montmorillonite de part leurs propriétés physiques (les propriétés gonflantes) provoquent des modifications de volume de la roche hôte. Ces modifications de volume ont entraînés des changements dans le système poreux induisant ainsi des variations dans le comportement hydrologiques. L'allure et la fréquence des ondulations sont en relation avec la quantité et la nature des minéraux argileux présents (Fig.8). La partie supérieure du banc gneissique montre de faibles ondulations, ce qui concorde avec la présence de l'illite qui est un minéral caractéristique des zones poreuses et à fort drainage. L'augmentation de la fréquence des ondulations vers la base du banc gneissique indique une évolution dans la minéralogie des minéraux argileux et du système poreux. La présence de la montmorillonite dans ces zones indique un mauvais drainage ainsi qu'une faible porosité de la roche. Dans la montmorillonite, l'incorporation du Fe et Mg dans la structure cristalline par substitution de Al et l'insertion de Ca, Na et H₂O dans l'espace interfoliaire a pour effet d'augmenter l'épaisseur des feuillets qui passe de 14Å° à 17Å°. Le gonflement de la montmorillonite par absorption des éléments chimiques et de l'eau en particulier à pour conséquence une augmentation du volume de la roche.

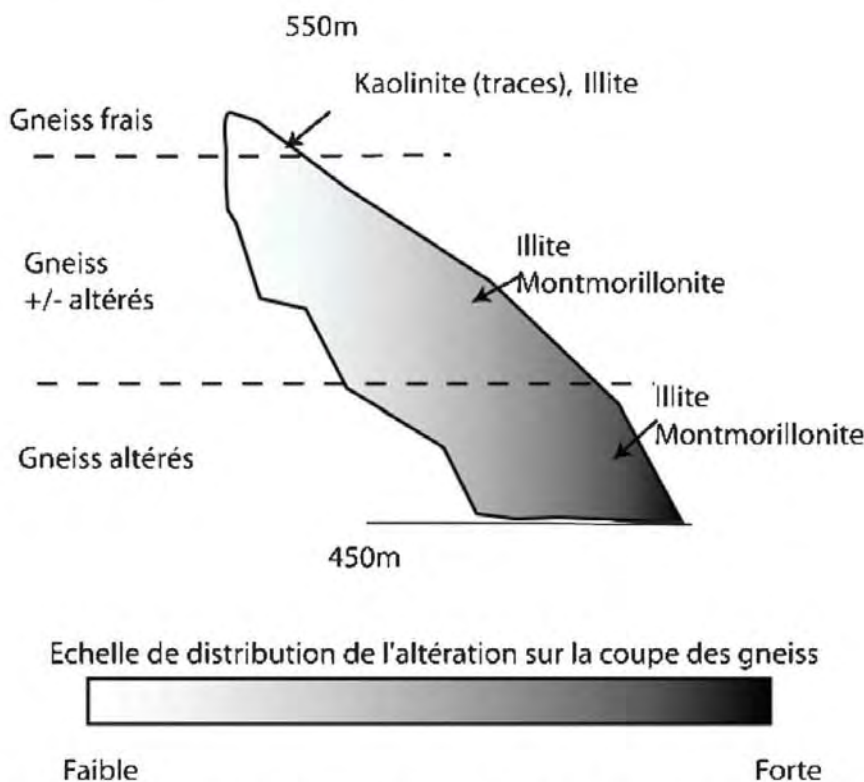


Fig. 8 Distribution spatiale des ondulations en fonction du taux et de la nature des minéraux argileux.

5. Conclusion

Les analyses chimiques, les valeurs de CIA (Chemical Index of Alteration) et le taux de changement suggèrent que les gneiss arkosiques ont subi une importante altération chimique, un important lessivage et une évolution progressive dans la composition chimique des minéraux néoformés. La nature des minéraux argileux indique une évolution progressive de l'altération. La kaolinite se forme dans des terrains à bon drainage alors que la montmorillonite ne se rencontre que dans les roches à très mauvais drainage et parfois dans celles à des conditions de confinement.

Les propriétés absorbantes de la montmorillonite ont eu pour effet d'augmenter le volume du minéral ce qui a eu pour conséquences de modifier le volume de la roche mère. La base du banc gneissique qui est très riche en montmorillonite, a subi d'importantes modifications de volume ce qui a eu pour conséquences une modification mineure de la topographie locale.

Remerciements

Les auteurs remercient le personnel du laboratoire GFZ Potsdam, le personnel des analyses chimiques de l'Institut des Sciences de l'Université de Potsdam (Allemagne). Nos remerciements vont également au personnel du laboratoire RX du CRD Boumerdes.

Références Bibliographiques

- Ahmed Said Y. & Leake B.E. Rogers G. 1993 : The petrology, geochemistry and petrogenesis of the Edough igneous rocks, Annaba, NE Algeria. *Journal of African Earth Science*, 17, 1, 111-123.
- Gleizes G. Bouleton, J. Bossière G. & Collomb, P. 1988 : Données lithologiques et pétrostructurales nouvelles sur le Massif cristallophyllien de l'Edough (Est Algérien). *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences*, Paris, 306 (II), 1001-1008.
- Hammor D. & Lancelot J. 1998 : Métamorphisme miocène de granites panafricains dans le Massif de l'Edough (Nord-Est de l'Algérie). *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences*, Paris, 327, série II, 391-396.
- Hilly J. 1962 : Etude géologique du Massif de l'Edough et du Cap de Fer (Est Constantinois). *Publications du Service de la Carte Géologique de l'Algérie (nouvelle série)* 19, 408.
- Ilavsky J. & Snopkova P. (1987). Découverte d'acritarches paléozoïques dans les terrains métamorphiques de l'Edough (Wilaya d'Annaba, Algérie). *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences*, Paris, 305, 881-884.
- Nessbit H. W & Young C.M. 1984 : Prediction of some weathering trends of plutonic and volcanic rocks based on thermodynamic and kinetic consideration. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 48, 1523-1534.
- Wronkiewicz D. J. & 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.