

UNE APPROCHE POUR LA CARTOGRAPHIE GÉOCHIMIQUE DES MINÉRAUX ARGILEUX DES TERRAINS TERTIAIRES DE L'ATLAS SAHARIEN CENTRAL (RÉGION D'AFLOU). ESSAI DE RECONSTITUTION PALÉOGÉOGRAPHIQUE.

Abdelmansour NADJI* et Rachid AIT-OUALI**

RÉSUMÉ

Les terrains cénozoïques de l'Atlas saharien central s'organisent en dépocentres ovales ou allongés en formes de gouttières qui s'intercalent entre les chaînons atlasiques. Les reliefs mésozoïques de cette région fournissent à la fois les minéraux des roches mères (jurassiques et crétacés) et des minéraux néoformés par l'altération pédogénétique. La cartographie thématique des cortèges minéralogiques (argileux et non argileux) a permis de reconstituer la répartition spatiale des différents minéraux et d'en déduire les paléo-environnements tertiaires correspondant à chaque cycle sédimentaire. Par ailleurs, l'utilisation des méthodes statistiques notamment celle de l'analyse factorielle des correspondances (A.F.C) appliquées aux résultats d'analyse géochimiques du log-lithostratigraphique synthétique de la région a permis de définir une paragenèse minéralogique argileuse propre aux terrains tertiaires atlasiques. Cette suite minéralogique est constituée à la base par la prédominance de l'illite, indice du détritisme, qui s'accorde parfaitement avec les caractéristiques d'un milieu de sédimentation proximal du cycle paléogène. Quant au second cycle Néogène, le détritisme est marqué par la prédominance de la kaolinite ainsi que par l'apparition des minéraux néoformés tels que la montmorillonite et les interstratifiés d'illite-montmorillonite qui caractérisent les milieux à sédimentation plus ou moins distale.

Mots clés: Cortèges minéralogiques argileux - Analyse géochimique - Paragenèse - Détritisme - Cartographie thématique - Classification automatique - A.F.C et paléo-environnements.

THE GEOCHEMICAL APPROCH FOR MAPPING THE TERTIARY CLAY MINERALS FROM CENTRAL SAHARAN ATLAS (AFLOU- AREA). PALEO GEOGRAPHIC RECONSTRUCTION.

ABSTRACT

The Tertiary formations of Central Saharan Atlas are arranged, like gutter, in oval or long-shaped depocenters which constitutes dispersal areas located between Atlasic links. In this region, the Mesozoic reliefs provide both minerals originated from the source rocks (Jurassic and Cretaceous) and others generated by the pedogenetic weathering. The thematic mapping

*Laboratoire de Paléontologie Stratigraphique et Paléoenvironnement, Cité ex. IAP, Bloc D. Département des Sciences de la Terre, Université d'Oran Es Sénia. BP 1524, El-M'Naouer, 31.000 Oran-Algérie

**Faculté des Sciences de la Terre, Département des Sciences de la Terre Université d'USTHB, BP 32, El Alia, 16.111 Bab-Ezzouar-Alger

- Manuscrit déposé le 22 Novembre 2000, accepté après révision le 02 Juillet 2005.

of Tertiary mineralogic assemblages (clay and not) allows to reconstruct their areal distribution in one hand and to infer paleoenvironments correspond to every sedimentary cycle in the other hand. Moreover, the use of statistical synthesis methods, particularly the factorial analysis (A.F.C) applied to the geochemical analysis results suggests for the Tertiary Atlasic formations their own clay mineralogic paragenesis. The mineralogic succession seems to be characterized here by the prevalence of illite (at the bottom), index of the detrital sediments, which indicates a proximal sedimentary environment for the Paleogene cycle. On the other hand, the Neogene cycle is marked by a detrital sediment where prevail the kaolinite with the appearance of others neoformed minerals (crystallized after setting) like "montmorillonite" and interstratified ones "illite-montmorillonite", which will indicate the presence of distal sedimentary environments.

Key words - Mineralogical associations - Geochemical analysis - Paragenesis - Silico-clastic sediment-thematic mapping - Automatic classification - A.F.C analysis and paleoenvironments.

INTRODUCTION

Pour établir une synthèse régionale sur la répartition des environnements sédimentaires des formations tertiaires de l'Atlas saharien central (région d'Aflou), nous avons utilisé l'outil géochimique pour la caractérisation et la cartographie des milieux sédimentaires. Cette approche s'est avérée possible grâce à la révolution de l'outil informatique d'une part et d'autre part, au développement des algorithmes dérivant du domaine des probabilités statistiques. Ces méthodes mathématiques utilisent les calculs d'ajustement de l'algèbre linéaire permettant la représentation graphique des données sous forme de plans factoriels qui présument la thématique étudiée. En associant à ces méthodes de synthèse d'autres algorithmes de classification et d'agencement des individus avec leurs variables, une cartographie thématique est devenue possible pour l'établissement de cartes potentielles de faciès géochimiques des minéraux argileux de la région étudiée. L'association des ces cortèges minéralogiques dépend des conditions physico-chimiques et paléogéographiques identifiés par leur paragenèse (série référentielle d'association minéralogique). Cette dernière est obtenue grâce à l'analyse factorielle des correspondances, qui a permis de résoudre la filiation séquentielle des faciès géochimiques argileux ainsi que leur cartographie. En effet, l'application des méthodes

statistiques notamment celle de l'analyse hiérarchique ascendante (C.A.H) et celle de l'analyse factorielle des correspondances (A.F.C), se sont avérées déterminantes pour l'interprétation géodynamique des séries géologiques tertiaires et l'établissement de cartes thématiques potentielles des faciès géochimiques argileux. Pour atteindre cet objectif, deux approches sont envisagées:

- L'approche statistique; Elle consiste à effectuer d'abord un classement des individus (échantillons de la fraction fine) en fonction des variables (paragenèse minéralogique), puis d'établir au sein d'un espace orthonormé, formé par les principaux axes factoriels, un regroupement optimal des individus et de leurs variables. L'emplacement de ces dernières dans un plan factoriel exprime un gradient évolutif des minéraux argileux qui traduit généralement un paléo-environnement spécifique à la formation étudiée.

- L'approche géochimique; Elle est basée sur le mode de la distribution spatiale des teneurs en minéraux argileux et leur association. La configuration cartographique des minéraux argileux et non argileux montre que le tracé thématique des plans factoriels des minéraux argileux épouse généralement la forme des piedmonts des reliefs du Secondaire de Djebel Amour, avec des variations latérales géochimiques au sein des dépocén-

UNE APPROCHE POUR LA CARTOGRAPHIE GÉOCHIMIQUE DES MINÉRAUX ARGILEUX DES TERRAINS TERTIAIRES DE L'ATLAS SAHARIEN CENTRAL (RÉGION D'AFLOU). ESSAI DE RECONSTITUTION PALÉOGÉOGRAPHIQUE.

tres atlasiques de la région d'Aflou. La superposition des cartes de teneurs géochimiques et celles du plan factoriel synthétique nous a permis d'arrêter des paléogéographies potentielles propre aux faciès minéralogiques argileux des terrains tertiaires de la région étudiée.

1) - CADRE GÉOLOGIQUE

Durant le Paléogène, les formations secondaires des reliefs atlasiques ont été énergiquement plissées, puis ont subi une érosion intense. Cette action s'est traduite par un début de pénalisation générant ainsi d'importantes accumulations détritiques occupant les gouttières atlasiques et les dépressions endoreïques (chott et sebkha) qui constituent des dépocentres.

Les formations étudiées reposent en discordance sur les formations anté-Turonien et se trouvent le plus souvent surmontées par des recouvrements quaternaires. Vu le manque de données Biostratigraphiques, l'âge de ces formations tertiaires reste encore mal défini. La limite des terrains étudiés se trouve entre la partie septentrionale de Djebel Amour et la région méridionale de "Kasr-Echellala", située à 80 km par rapport à Aflou, où le Miocène inférieur marin (Burdigalien) est bien identifié (Caratini-1971). Les principaux niveaux argileux et marneux ont été échantillonnés au niveau de 26 localités distinctes sur un fond topographique regroupant deux coupures de cartes topographiques régulières au 1/50.000. Ces dernières sont celles de *Sidi-Bouزيد* (Carte N°395) et celle de *Mohasseur* (Carte N°396), fig.01.

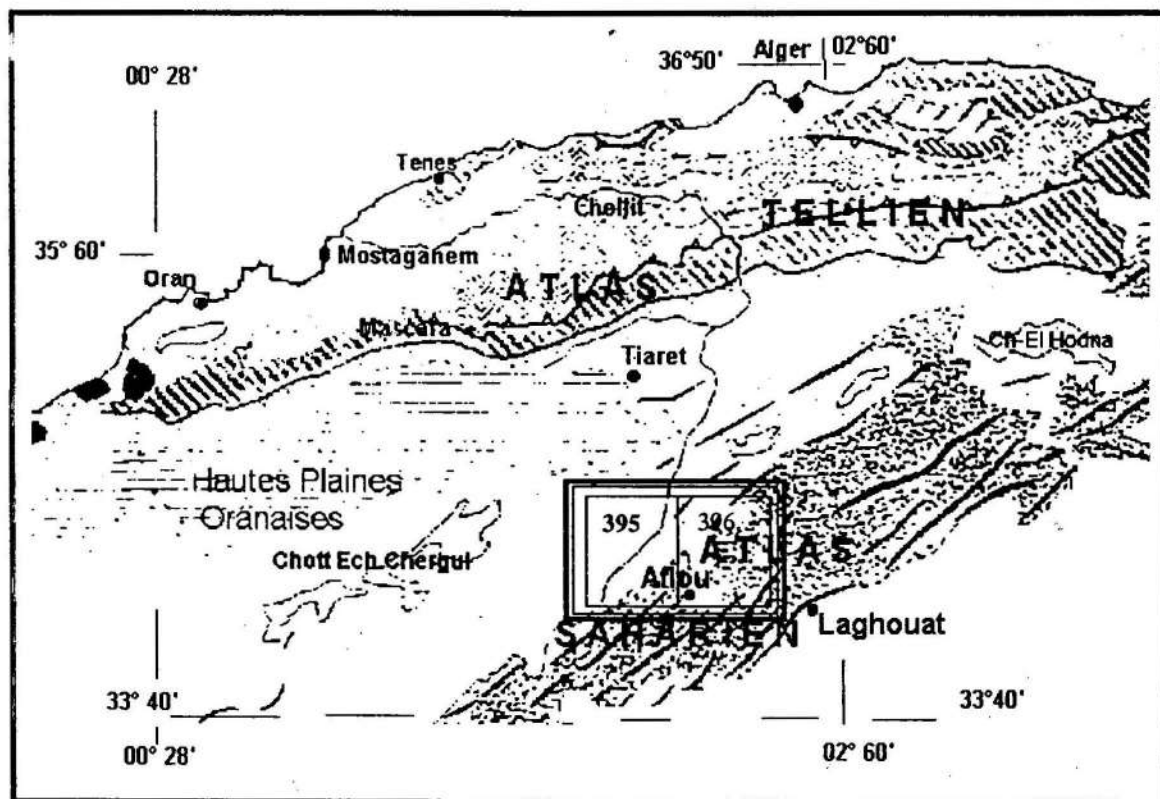


Fig. 1 - Carte de localisation des terrains étudiés (secteur encadré). Extrait et modifié d'après la carte morphostructurale de Birot (1970).

Location map of studied area (Extracted from the morphostructural map, in Birot (1970); modified).

2) - MÉTHODOLOGIE

Dans ce travail, nous proposons une cartographie basée sur la géochimie des minéraux argileux des formations tertiaires de l'Atlas saharien central. L'accent est mis sur le lien existant entre la répartition des minéraux argileux et leur paléogéographie. Pour des raisons d'homogénéisation des données et de disponibilité des affleurements géologiques, les prélèvements des échantillons d'argiles et de marnes ont été choisis selon deux référentiels:

- **un référentiel horizontal** : qui répond au gradient altimétrique, nécessite une collecte systématique de la fraction fine suivant une orientation méridionale (Nord-Sud), depuis les piedmonts de Djebel Amour vers le large des vallées incisées de l'Oued Touil (apex du bassin du chelif) et celles de la vallée de Zénina (Sud-Ouest de la Wilaya d'El-Djelfa).

- **et un second référentiel vertical** : qui dépend de l'ordre chronologique des faciès géochimiques, est préconisé à suivre l'évolution verticale des différentes unités lithostratigraphiques du log-synthétique de la région étudiée (fig.2). La succession des prélèvements suivant ce référentiel admet une orientation préférentielle qui est de l'Ouest vers l'Est. L'analyse de la géochimie de la fraction argileuse n'a pu être réalisée que grâce à la contribution du laboratoire du C.R.D, «SONATRACH/1992». La technique utilisée est en l'occurrence celle de la diffraction aux rayons «X». Les résultats obtenus sont donnés sous forme d'un tableau regroupant les teneurs géochimiques exprimées en pourcentage (%); (tableau-1). La composition minéralogique de la fraction fine ($\phi < 2$ mm) de la coupe synthétique de la région "d'Aflou" a été approchée à partir de 26 échantillons pris à la verticale ascendante du log-synthétique (fig.2), traduisant ainsi l'évolution lithostratigraphique des terrains sédimentaires tertiaires de l'Atlas saharien central. Les principaux minéraux identifiés pour cette étude sont:

1) *Les minéraux argileux*: présentés en pourcentage de leur teneur par rapport au volume total de la roche), concernant respectivement: la kaolinite (KA), l'illite (IL), la montmorillonite (MT), la chlorite (CL) et les interstratifiés argileux: d'illite-montmorillonite (I-MT).

2) *Les minéraux non argileux*: «en "%" de leur teneur par rapport au volume total de la roche» et qui concerne: le quartz, la calcite, la dolomite et les feldspaths (orthose+ plagioclases).

3) - ANALYSE DES DONNÉES

Les résultats des analyses géochimiques (tableau-1) sont interprétés par des méthodes statistiques qui dérivent des mathématiques appliquées du domaine des "*Probabilités Statistiques*" et qui s'intéressent particulièrement à la réduction du nombre de données multidimensionnelles, telles que la classification automatique et l'analyse factorielle des correspondances (Laffite- 1972). Dans le cadre du présent travail, nous avons établi deux analyses statistiques complémentaires à savoir:

a) - une classification automatique, (CAH)

Par définition, la classification hiérarchique ascendante permet de classer les échantillons selon le critère d'agrégation successif des éléments minéralogiques puis des groupes minéralogiques. L'algorithme de calcul du coefficient moyen de similarité de "Spearman", permet la construction de l'arbre hiérarchique par fusion moyenne des clusters. Ce coefficient exprime la similarité moyenne entre deux groupes d'éléments séparés par la distance "euclidienne". Puisque les méthodes hiérarchiques fusionnent les groupes à des degrés décroissants de ressemblance, les résultats de la classification sont présentés au moyen d'une structure arborescente que l'on appelle diagramme arborescent

UNE APPROCHE POUR LA CARTOGRAPHIE GÉOCHIMIQUE DES MINÉRAUX ARGILEUX DES TERRAINS TERTIAIRES DE L'ATLAS SAHARIEN CENTRAL (RÉGION D'AFLOU). ESSAI DE RE-CONSTITUTION PALÉOGÉOGRAPHIQUE.

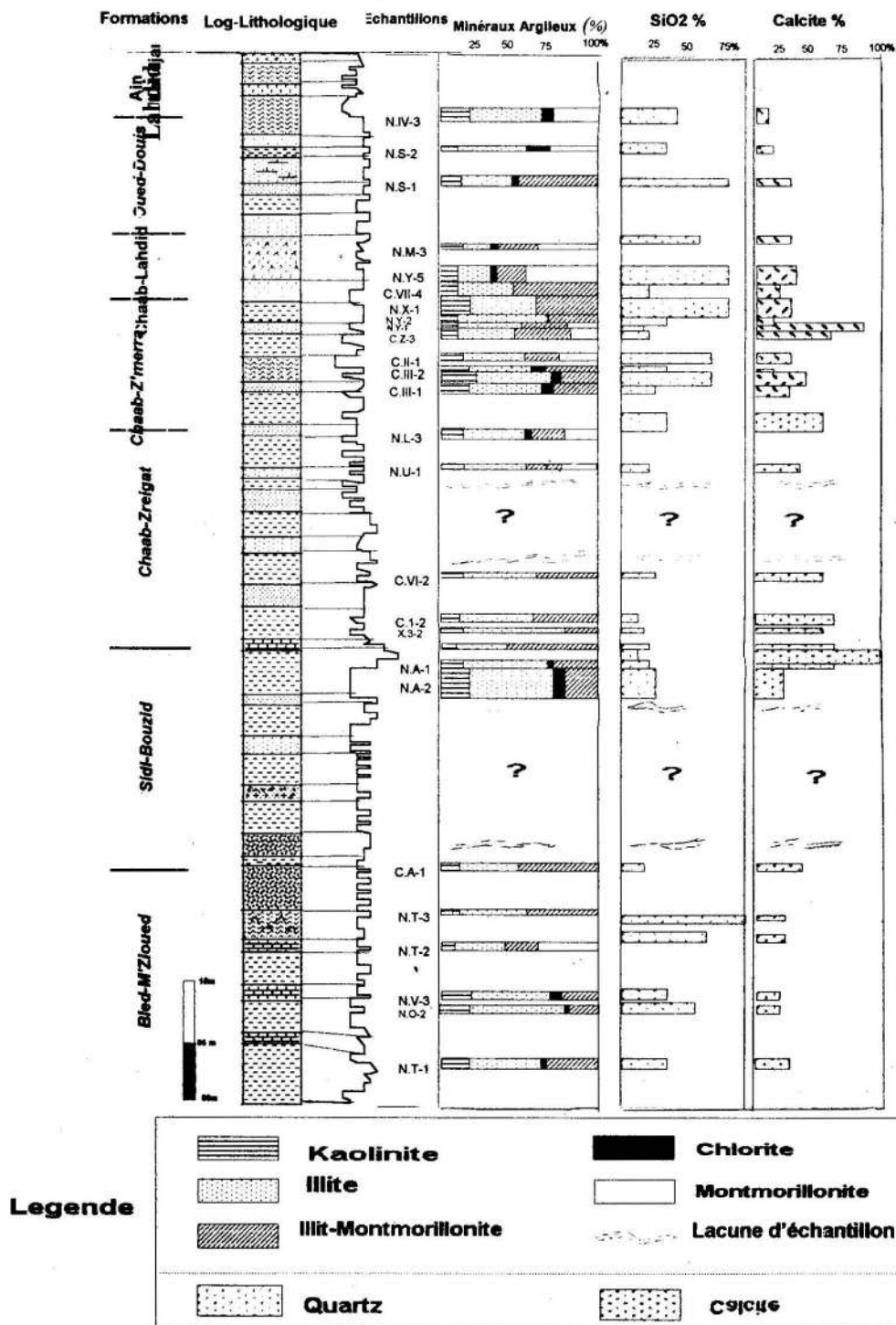


Fig. 2 - Evolution minéralogique des faciès géochimiques de la fraction fine des formations cénozoïques de l'Atlas saharien central (Nadji. A-M (1997)).

Evolution of geochemical facies of tertiary clay minerals from central saharan Atlas; (Nadji. A-M (1997))

ou "dendrogramme". Les opérations de calcul et de représentation sont réalisés par le logiciel "Stat".

b) - Analyse factorielle des correspondances simples, (AFC)

Cette analyse constitue une méthode de synthèse qui permet de visualiser l'information contenue dans un tableau de données quantitatives

sur un plan factoriel. La proximité de deux points (variables) exprime la similarité des observations selon la distance "Khi-2". Le principe de base de l'AFC consiste d'abord à estimer la probabilité d'apparition de couples similaires et de calculer ensuite la distance qui sépare les individus au sein du nuage de points. La représentation des axes principaux ou axes factoriels sur un ou plusieurs plans (factoriels) et le calcul des

Tableau I - Résultats d'analyse géochimique des cortèges minéralogiques argileux des formations étudiées
Geochemical analysis results of clayish mineralogical associations from studied formations.

ECHANTILLONS	KAOLINITE	ILLITE	MONTMORILLONITE	CLORITE	ILLIT-MONTMORILLONITE	QUARTZ	CARBONATES	DOLOMITE	FELDSPATH
T-1	10	40	00	00	50	75	16	0.10	00
O-2	15	60	00	05	20	55	10	02	00
V-3	20	60	00	05	15	27	00	00	00
T-2	15	30	40	00	15	55	08	00	0.10
T-3	10	45	00	00	45	80	16	0.10	02
A-1	15	45	00	00	40	10	27	00	00
A-2	10	65	00	05	20	17	18	00	00
N.A-1	10	65	00	0.10	25	06	47	00	0.10
X. 3-2	10	50	10	00	30	05	48	00	00
I-2	10	80	00	00	10	10	42	00	02
VI-2	15	35	00	00	50	33	14	00	0.10
U-1	15	40	30	00	15	12	22	00	00
L-3	15	40	30	0.10	15	33	40	0.10	1.0
C.III-1	15	55	00	00	30	20	15	00	00
C.III-3	15	40	00	05	40	30	04	05	03
C.II-1	15	45	00	05	35	53	03	04	02
C.Z-3	10	40	30	00	20	16	50	00	00
N.Y-1	10	50	00	00	40	05	65	00	00
N.Y-2	10	35	40	0.10	15	15	04	00	00
N.X-1	15	45	00	00	40	70	16	00	12
C.VII-4	10	30	00	00	60	16	08	00	00
N.Y-5	10	20	50	05	15	78	18	00	1.00
N.M-3	10	25	50	0.10	15	50	17	00	0.10
N.S-1	10	30	00	0.10	60	80	07	00	12
N.S-2	10	40	35	00	15	27	04	00	0.50
N.IV-3	15	45	00	05	35	33	0.20	00	26

UNE APPROCHE POUR LA CARTOGRAPHIE GÉOCHIMIQUE DES MINÉRAUX ARGILEUX DES TERRAINS TERTIAIRES DE L'ATLAS SAHARIEN CENTRAL (RÉGION D'AFLOU). ESSAI DE RECONSTITUTION PALÉOGÉOGRAPHIQUE.

valeurs propres de la matrice des probabilités serait donc recommandé pour visualiser le partitionnement vectoriel multidimensionnel correspondant aux différents individus. Dans ce contexte, nous avons entrepris les deux types d'analyses statistiques:

- Une première analyse intéressant la classification automatique réalisée par le programme "Stat" en introduisant les 09 variables indexées: (KA, ILL, MT, CLT, I-MT, QZ, CaCO₃, FLD, et DLM) relatives aux 26 échantillons argileux. Le résultat obtenu par ce programme se traduit

par le dendrogramme de la classification hiérarchique ascendante qui offre une première distribution d'individus sur la base du calcul du plus court chemin des points représentatifs. L'architecture de ce diagramme est basée sur le calcul des fréquences croisées d'associations de variables qui seront transformées en distances suivant la composante horizontale de ce diagramme.

Quant à la composante verticale, elle correspond aux positionnements optimaux des différents échantillons argileux; (fig.3).

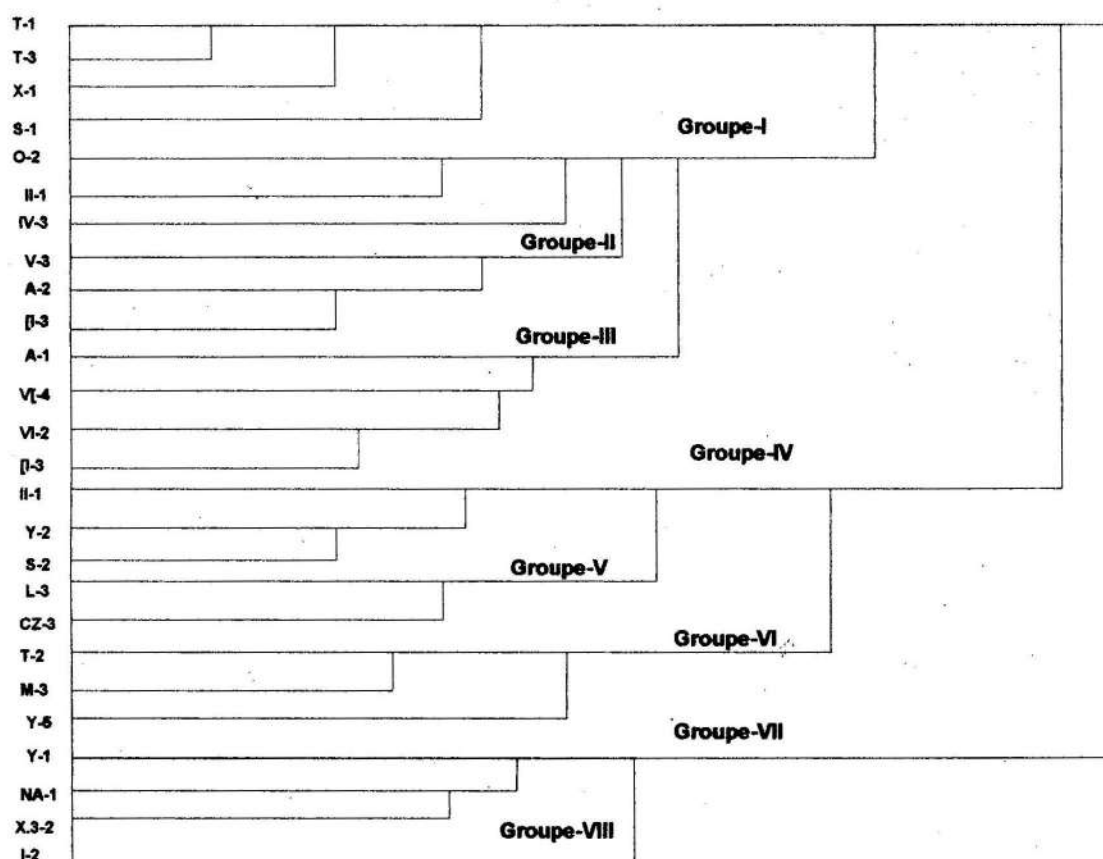


Fig.3: Dendrogramme de la classification hiérarchique ascendante des cortèges minéralogiques argileux des formations atlasiques tertiaires.

Dendrogramme (cluster analysis diagram) of the tertiary clay minerals From the Central saharan Atlas.

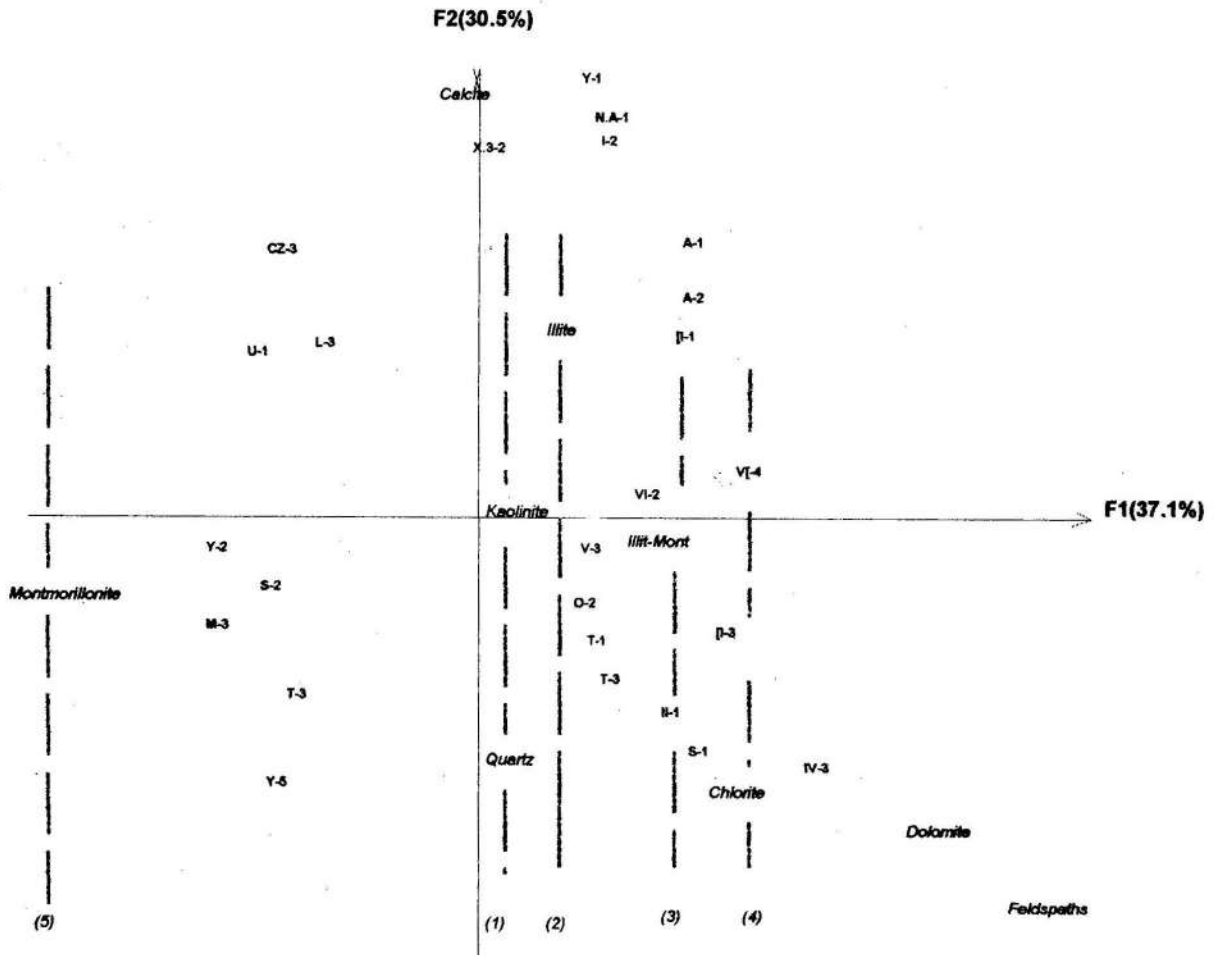
- Une seconde analyse, complémentaire à la première, étudie les correspondances existantes entre les différents groupes ou classes. Ce type d'analyse est entièrement réalisé par le même programme avec l'option "d'analyse factoriel des correspondances simples": AFC.

Le diagramme obtenu représente une double projection regroupant conjointement les points d'individus (1,2,...,26) et des variables (KA, ILL, MT, CLT, I-MT, QZ, CaCO₃, FLD, et DLM) contribuant ainsi favorablement d'une

part à la définition des populations minéralogiques (d'argiles et de marnes) et d'autre part à la reconstitution des différents environnements en fonction de leur localisation géographique et/ou de leur ordre génétique; (fig. 4).

4) - SYNTHÈSE GÉOCHIMIQUE

L'évolution quantitative des teneurs en minéraux argileux et non argileux dans les terrains tertiaires de Djebel Amour caractérise les changements dans les conditions sédimentolo-



Série référentielle des cortèges argileux: Kaolinite-Illite-(Illit-Mont)-Chlorite-Montmorillonite)

Fig. 4 - Plan factoriel (F1-F2) relatif aux cortèges minéralogiques argileux et leur série référentielle.

Factorial plan (F1-F2) of studied clay minerals and their referential succession.

UNE APPROCHE POUR LA CARTOGRAPHIE GÉOCHIMIQUE DES MINÉRAUX ARGILEUX DES TERRAINS TERTIAIRES DE L'ATLAS SAHARIEN CENTRAL (RÉGION D'AFLOU). ESSAI DE RECONSTITUTION PALÉOGÉOGRAPHIQUE.

giques et tectoniques régnantes dans cette province de l'Atlas saharien central durant le Cénozoïque. En effet, les variations notables en pourcentage des minéraux argileux tels que l'illite, la kaolinite, les smectites (montmorillonite) et les interstratifiés (illite-montmorillonite) montrent qu'ils sont en parfait accord avec les variations latérales des faciès géochimiques. Ces changements suggèrent des variations importantes des flux sédimentaires, provenant des zones sources, qui sont liées à leur tour aux facteurs géodynamiques qui ont édifié les différentes paléogéographies tertiaires. Dans ce contexte, nous soulignons l'importance des méthodes géostatistiques, appliquées dans le domaine de la géochimie, pour résoudre la configuration cartographique des paléogéographies tertiaires. Cette approche thématique est basée sur le zonage des faciès géochimiques par l'apparition ou la disparition des minéraux indexés au sein des séquences lithostratigraphiques d'ordre supérieur à 4. L'analyse du spectre minéralogique relatif aux smectites (montmorillonite) montre une compatibilité évidente entre la courbe enveloppe de ce minéral et le découpage des mégaséquences des unités lithostratigraphiques de cette région étudiée. Notons que l'organisation des séquences d'ordre 5 permet l'identification des séries sédimentaires qui sont compatibles avec l'individualisation des bassins sédimentaires et l'interprétation des paléogéographies anciennes. Quant aux minéraux non argileux, les variations des teneurs en quartz, feldspath potassique et dolomite caractérisent les changements notables dans la sédimentation des terrains silicoclastiques (molasses) déposées dans les dépo-centres et/ou les gouttières atlasiques de la région (d'Aflou-Laghout). L'étude géochimique de ces minéraux argileux et non argileux des différentes unités lithostratigraphiques tertiaires, réputées azoïques, nous a permis d'identifier les principaux paléoenvironnements de la région et d'apporter quelques précisions sur l'évolution sédimentologique. Enfin, nous devons souligner les

principaux faits dynamiques caractérisant ces terrains:

- 1) La localisation des zones nourricières.
- 2) La détermination des directions de transport.
- 3) L'identification de la géomorphologie globale des terrains étudiés.

Au cours du premier cycle sédimentaire "Paléogène", d'importants dépôts molassiques se sont accumulés à la faveur d'épandages détritiques, résultants de la glyptogenèse atlasique, aux endroits des piedmonts des reliefs du Secondaire atlasique. Cette phase "tectono-sédimentaire" est marquée par l'abondance des minéraux silico-clastiques tels que l'illite, la chlorite, la kaolinite et le feldspath potassique.

Quant au second cycle "Néogène", la sédimentation est de nature essentiellement "marno-clastique" caractérisant un environnement de type "playas". Le minéral ubiquiste de ce milieu d'environnement est en l'occurrence la montmorillonite "smectites" et ses interstratifiés "d'illite-montmorillonite".

a) - Localisation des zones nourricières

L'association minéralogique observée dans les niveaux argileux et marneux est constituée de kaolinite, d'illite, d'interstratifiés (illite-montmorillonite), de chlorite et de montmorillonite. Le détritisme est attesté notamment par la répartition de la kaolinite de l'illite et du quartz (Levert et Ferry-1988). La cartographie des isoteneurs de ces minéraux souligne l'existence d'une relation évidente entre la morphologie des dépo-centres tertiaires et les teneurs élevées de la kaolinite. En effet, les fortes teneurs de ces minéraux (kaolinite et illite) sont focalisées sur la bordure des reliefs du Mésozoïque de la région, qui constitue la zone nourricière du détritisme.

- Répartition de la kaolinite: (fig. 5)

La distribution des isoteneurs relatives à la kaolinite montre la trace d'un environnement «fluvio-lacustre», dont l'écoulement fluvial est très corrélé avec celui du détritisme matérialisé par le taux élevé de silice ($\text{SiO}_2 > 50\%$). La trace de cet environnement est observée au niveau des vallées septentrionales d'Aflou, où de grandes étendues de sédiments rouges "latéritiques" s'alternent avec la fraction grossière chenalante qui contourne vraisemblablement les piedmonts des reliefs secondaires. Par ailleurs, la présence de la kaolinite dans ces terrains continentaux tertiaires confirme l'existence d'un climat fortement hydrolysant (Milot-1964) caractérisant le processus d'épandage détritique dans les bassins sédimentaires tertiaires de cette région médiane de l'Atlas saharien.

- Répartition de l'illite: (fig. 6)

Ce minéral est abondant dans tous les niveaux échantillonnés, d'argiles et de marnes tertiaires, et reste souvent associé à la chlorite et à la kaolinite marquant une phase importante d'érosion des roches mères atlasiques (Jurassiques et Crétacées). La cartographie de ce minéral (d'illite) hérité des reliefs secondaires montre la trace d'un courant d'écoulement en masse qui concoure les gouttières et les dépressions topographiques des localités suivantes:

- à l'aval de *Djebel El-Aouidja*
- à l'Est de *Djebel Sidi-Bouزيد*
- et au Nord de *Djebel Mohasseur*

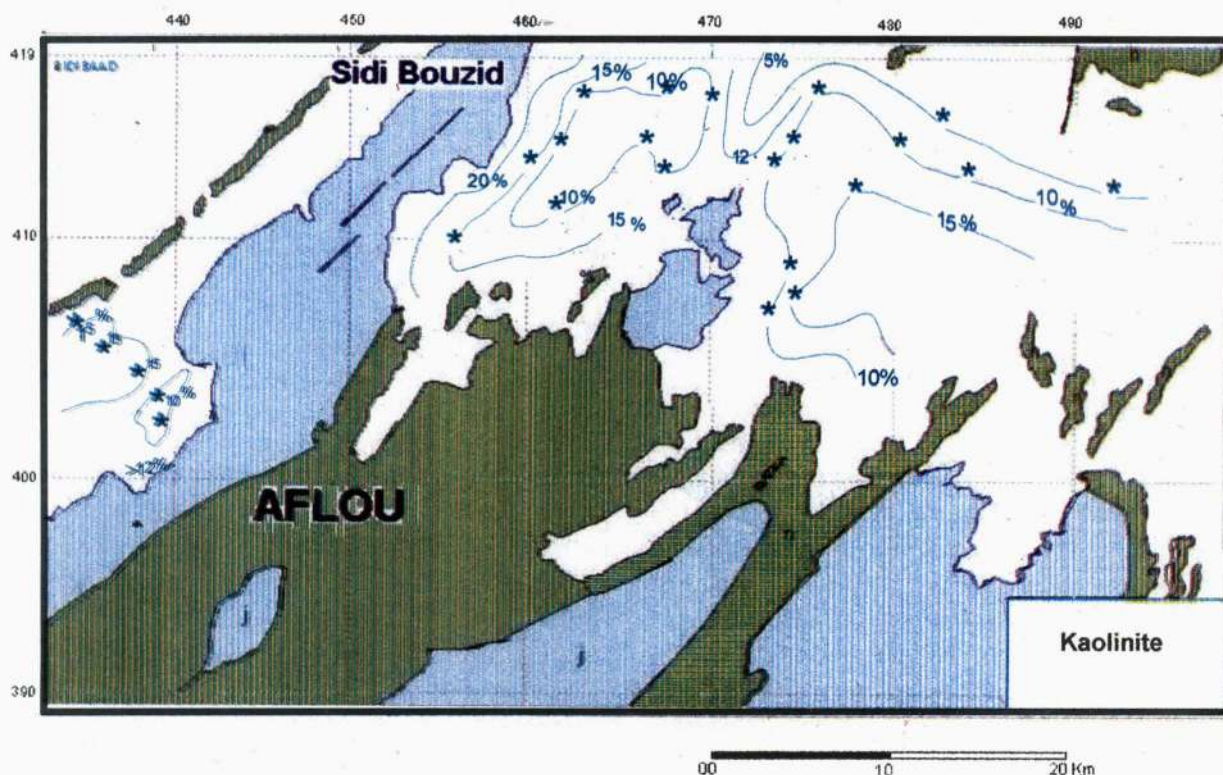


Fig. 5 - Carte de la répartition des isoteneurs de "kaolinite" relative aux formations tertiaires de l'Atlas saharien central (région d'Aflou).

Map of the distribution of "kaolinite" minerals from Tertiary formations in the central saharan Atlas (Aflou-area).

UNE APPROCHE POUR LA CARTOGRAPHIE GÉOCHIMIQUE DES MINÉRAUX ARGILEUX DES TERRAINS TERTIAIRES DE L'ATLAS SAHARIEN CENTRAL (RÉGION D'AFLOU). ESSAI DE RECONSTITUTION PALÉOGÉOGRAPHIQUE.

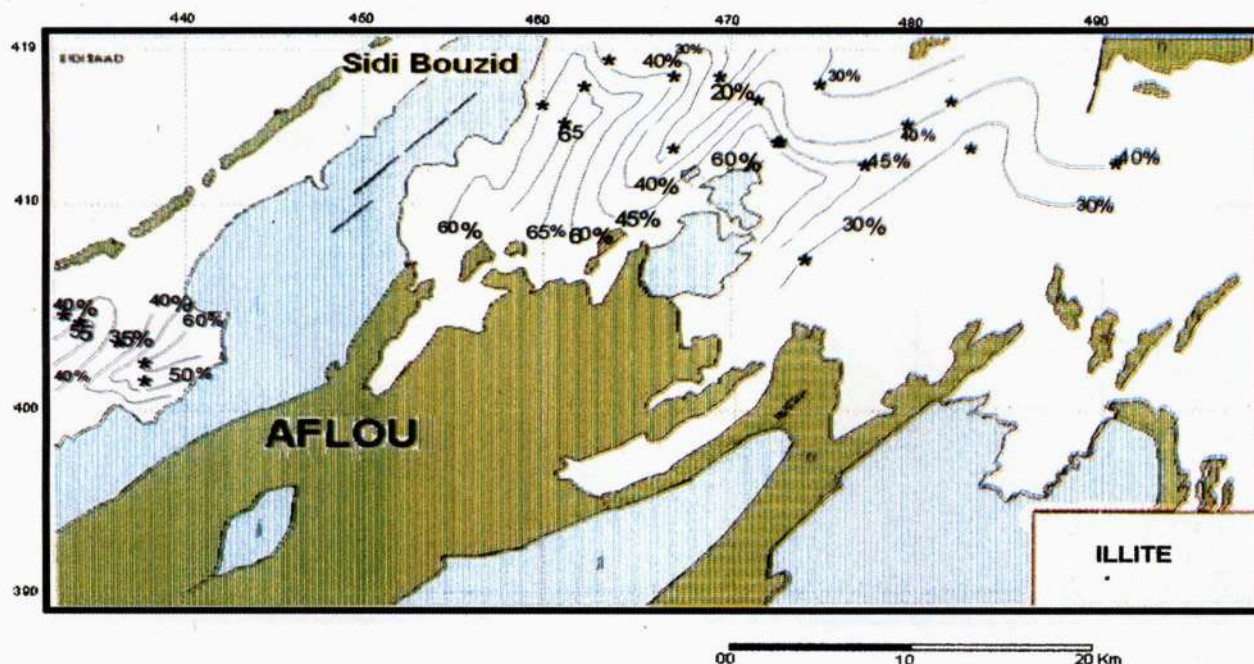


Fig. 6 - Carte de la répartition des isoteneurs d' "illite" relative aux formations tertiaires de l'Atlas saharien central (région d'Aflou).

Map of the distribution of 'illite' minerals from Tertiary formations in the central saharan Atlas (Aflou-area).

La distribution de l'illite montre une évolution décroissante depuis les piedmonts atlasiques vers les dépocentres plus ou moins internes (Nord d'Aflou). Ce fait semble être étroitement lié aux processus turbiditiques affectant la fraction granulométrique moyenne (Nadji-1995), qui occupe généralement les fonds des gouttières atlasiques selon une direction moyenne Nord-Est Sud-Ouest. La répartition géométrique de l'illite montre que la région septentrionale d'Aflou a subi d'importants remaniements molassiques témoignant la fin du cycle Paléogène.

Etant donné que les minéraux étudiés sont hérités des formations mésozoïques de l'Atlas saharien central et que la nature lithologique des formations tertiaires étudiées varie entre un pôle "silico-clastique" marginal et un pôle "marno-clastique" plus ou moins profond nous pouvons considérer que les bassins versants n'exercent que peu d'influence sur la diversité des associa-

tions minéralogiques d'argiles. Ces dernières resteront donc sous la contrainte de leur propre environnement sédimentaire.

- Une distribution à prédominance de la montmorillonite: (fig. 7)

L'évolution du spectre géochimique de ce minéral montre une inversion évidente par rapport aux minéraux d'illite et de kaolinite. Cette variation dans les teneurs en montmorillonite se traduit par des changements de milieu de sédimentation. En effet, les fortes teneurs en smectites (montmorillonite) se focalisent notamment au niveau des dépocentres et des vallées méridionales de "Zénina" et aux fonds des gouttières atlasiques des zones septentrionales "d'Aflou". Généralement, la genèse de la montmorillonite s'effectue dans des milieux confinés d'une marge continentale peu profonde, où les eaux sont tempérées à chauds (Odin-1981). La répar-

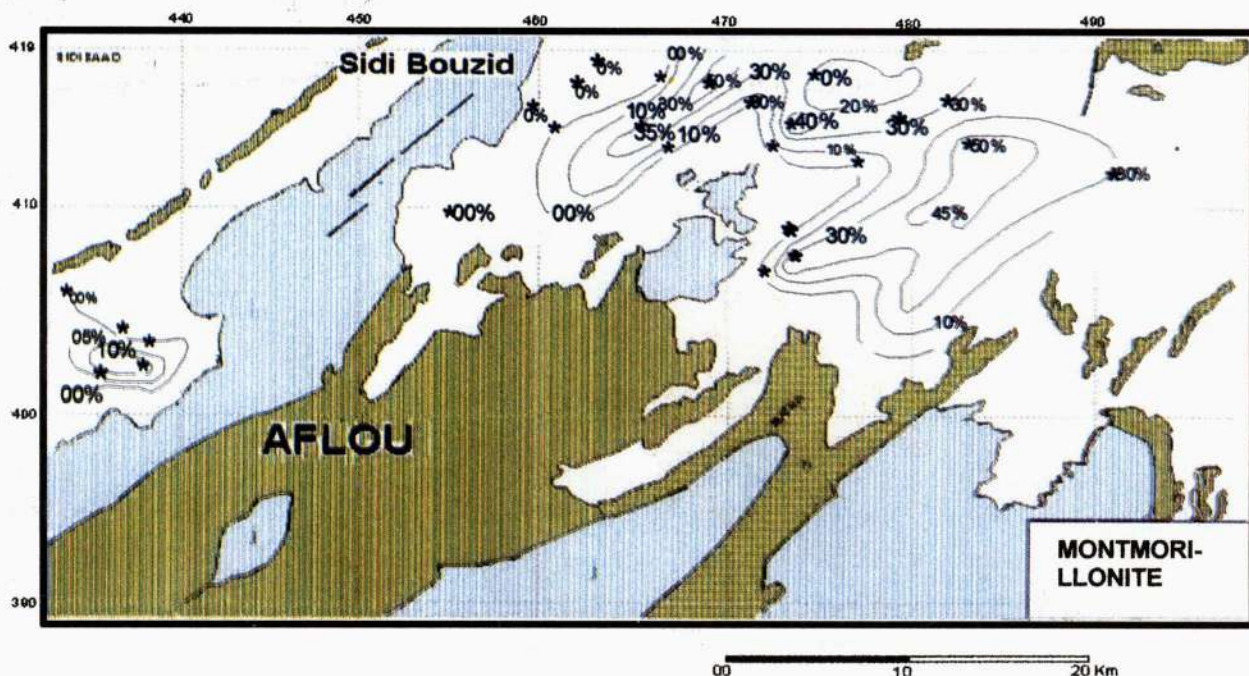


Fig. 7 - Carte de la répartition des isoteneurs de 'montmorillonite' relative aux formations tertiaires de l'Atlas saharien central.

Map of the distribution of 'montmorillonite' minerals from Tertiary formations in the central saharan Atlas (Aflou-area).

tition cartographique de ce minéral (fig.7) semble traduire la paléogéographie des dépocentres néogènes de cette région.

- Une distribution à prédominance d'interstratifiés "illite-montmorillonite": (fig. 8)

La distribution des interstratifiés montre un décalage important dans la géométrie des faciès. Les teneurs élevées en illite-montmorillonite se localisent au niveau des rides limitrophes aux dépressions de la montmorillonite. La configuration cartographique des smectites confirme que les interstratifiés ont un caractère spécifique à un milieu de sédimentation peu profond, plus ou moins distal, relativement riche en carbonates de calcium. Enfin, nous déduisons que la distribution minéralogique des argiles sous le contrôle des phénomènes géodynamiques (subsidence et eustatisme) ne peut être interprétée qu'à partir

des séquences d'ordre supérieur "mégaséquences", où l'individualisation des aires paléogéographiques sera possible. L'interprétation des différentes cartes thématiques établies montre que les formations étudiées correspondent à des milieux de sédimentation qui varient entre des dépôts marginaux et des dépôts plus ou moins distaux qui se distinguent selon le découpage mégaséquentiel (fig.9). Ce dernier nous a permis d'identifier plusieurs unités lithostratigraphiques (séquences de 5^{ème} ordre) permettant la cartographie thématique des paléogéographies tertiaires de cette région atlasique de l'Algérie.

b) - Les directions de transport

Le gradient décroissant des isoteneurs d'illite marque une double direction d'apport: une première direction à tendance atlasique "NE-SW" et une autre direction opposée à la première dérivant depuis les reliefs de Djebel Amour vers

UNE APPROCHE POUR LA CARTOGRAPHIE GÉOCHIMIQUE DES MINÉRAUX ARGILEUX DES TERRAINS TERTIAIRES DE L'ATLAS SAHARIEN CENTRAL (RÉGION D'AFLOU). ESSAI DE RECONSTITUTION PALÉOGÉOGRAPHIQUE.

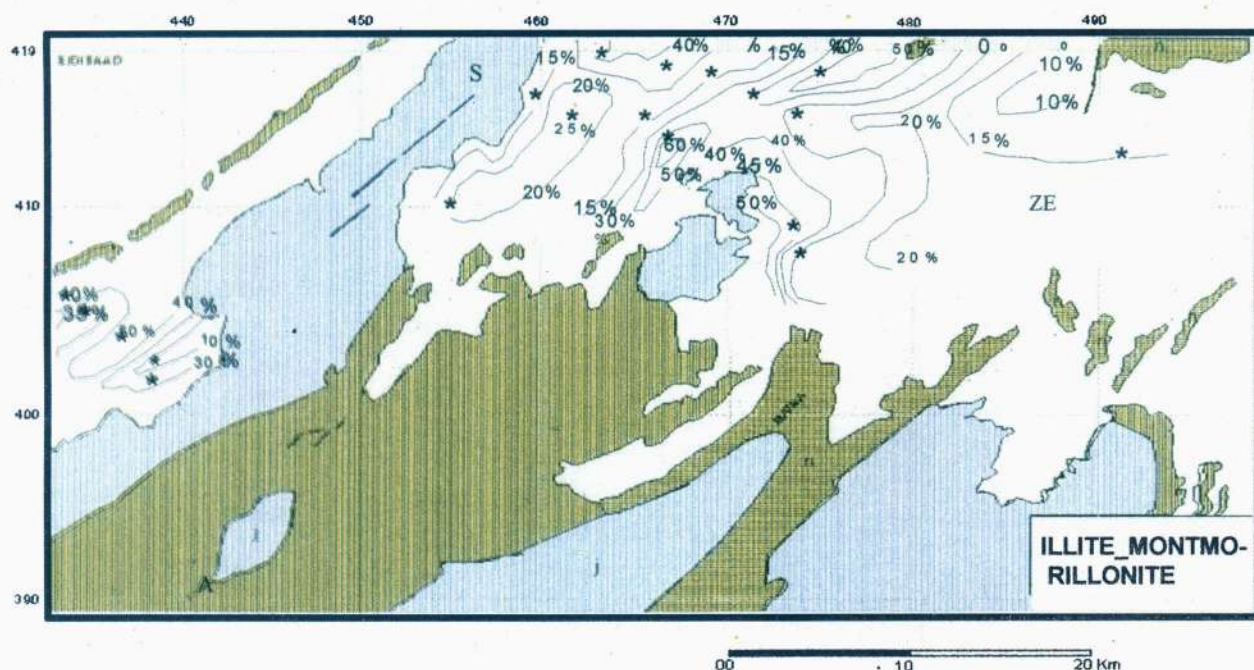


Fig. 8 - Carte de la répartition des isoteneurs "d'illite-montmorillonite" relative aux formations tertiaires de l'Atlas saharien central (Aflou).

Map of the distribution of interstratified "illite-montmorillonite" Tertiary clay minerals from central saharan Atlas (Aflou-area).

les piedmonts atlasiques. En ce qui concerne la kaolinite signalons la même remarque que la précédente sauf que l'origine des apports de cette dernière est typiquement allochtone, d'origine méridionale lointaine et continentale.

La configuration cartographique de cet hydrodynamisme se matérialise par des directions d'écoulement bien individualisées pour chaque faciès minéralogique (fig.5); et on peut distinguer deux types d'écoulement:

- *Un écoulement "turbiditique"*, vérifié par le biais des diagrammes représentatifs des milieux riches en illite, qui suit généralement la direction atlasique. Cet écoulement semble correspondre au cycle "Paléogène". La sédimentation de ce dernier a connu d'importantes phases tectoniques, avec notamment la phase "lutétienne", générant ainsi des processus de sédimentation de type allocyclique. La composante "Tectono-

Eustatique" constitue un facteur géodynamique prédominant dans la région étudiée.

- *Un écoulement "fluvio-lacustre"*, du cycle Néogène, riche en kaolinite, qui chevauche les premiers écoulements suivant une direction principale Sud Est-Nord Ouest à Est-Ouest. La sédimentation résultante admet alors des processus de type autocyclique qui restent propres à leur environnement sédimentaire.

c) - Implication paléogéographique sur les formations tertiaires atlasiques

L'analyse cartographique des minéraux, argileux et non argileux, de cette région de l'Atlas nous a permis de retenir deux faits importants.

Les minéraux argileux indices du détritisme tels que l'illite et la kaolinite sont en parfait accord avec la répartition des fractions gros-

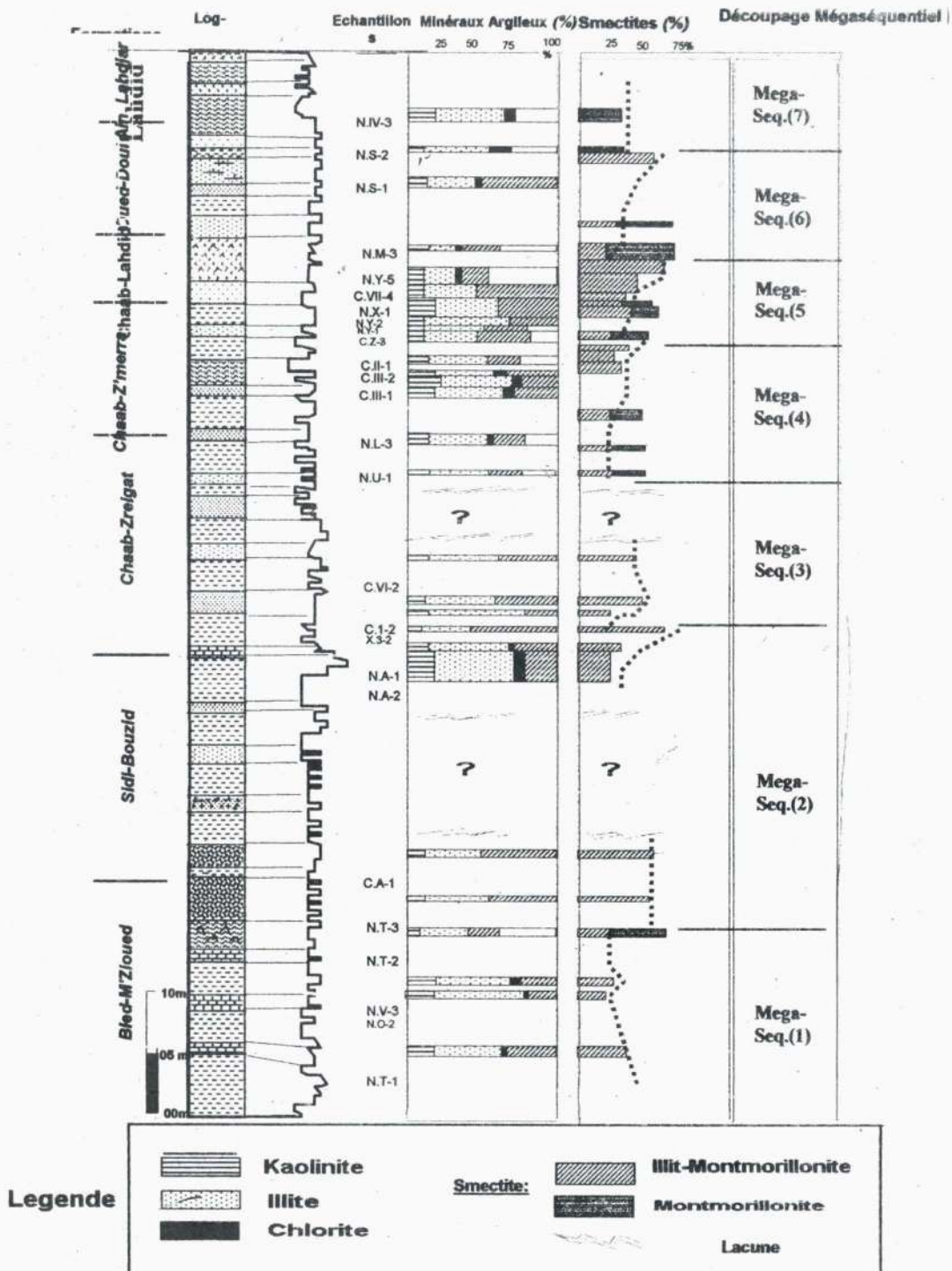


Fig. 9 - Evolution du spectre minéralogique des smectites et découpage mégaséquentiel des unités lithostratigraphiques tertiaires de la région d'Aflou (Nadji-1997).

Evolution of the smectite mineral's curve and their megasequential cutting of the tertiary formations in the Aflou-region (Nadji-1997).

UNE APPROCHE POUR LA CARTOGRAPHIE GÉOCHIMIQUE DES MINÉRAUX ARGILEUX DES TERRAINS TERTIAIRES DE L'ATLAS SAHARIEN CENTRAL (RÉGION D'AFLOU). ESSAI DE RECONSTITUTION PALÉOGÉOGRAPHIQUE.

sières et moyennes des terrains silicoclastiques à prédominance de conglomérats et des grès rouges (Nadji-1995). Alors que la montmorillonite, (fig. 7) et les interstratifiés d'illite-montmorillonite, (fig. 8) restent liés au paysage d'une paléogéographie endoreïque ancienne qui occupait les fonds déprimés des grandes surfaces de la région. L'évolution des teneurs relatives en carbonates de calcium (CaCO_3), souligne une distribution hétérogène répartie en plusieurs dépocentres, au moins quatre, de teneurs supérieures à 20 %. La localisation géographique de ces dépocentres est la suivante:

- Dépression de l'aval du Djebel Aouidja
- « de Oulad-Mimoun Cheraga
- « du secteur oriental de Sidi-Bouزيد
- « du Draa-Roueila
- « de Zennina
- « de Ounset El-Hamra.

Ces dépressions sont séparées par des rides détritiques "quartz >50 %"; (fig.11) qui semblent

traduire des réactivations tectoniques exercées durant le "Néogène". Ces descriptions minéralogiques font apparaître clairement que les associations argileuses n'ont subi pratiquement que de très faibles transformations diagénétiques. L'existence, en présence de feldspaths potassiques, de quantités appréciables d'interstratifiés riches en smectites confirme que la nature de ces minéraux argileux résulte notamment d'un héritage sédimentaire (Thiébaud-1986). La représentation qualitative de cette géochimie d'argiles se matérialise par la carte factorielle; (fig.12) qui est établie à la base du plan factoriel (F1-F2) dérivant de l'analyse factoriel des correspondances simples. Cette cartographie montre que la répartition des faciès géochimiques argileux et non argileux est très similaire à celle déduite de la carte potentielle; (fig.13) relative aux données quantitatives des teneurs en minéraux argileux. Enfin, nous pouvons retenir que les cortèges argileux et marneux riches en kaolinite sont typiquement d'origine continental dérivant de la dégradation de la

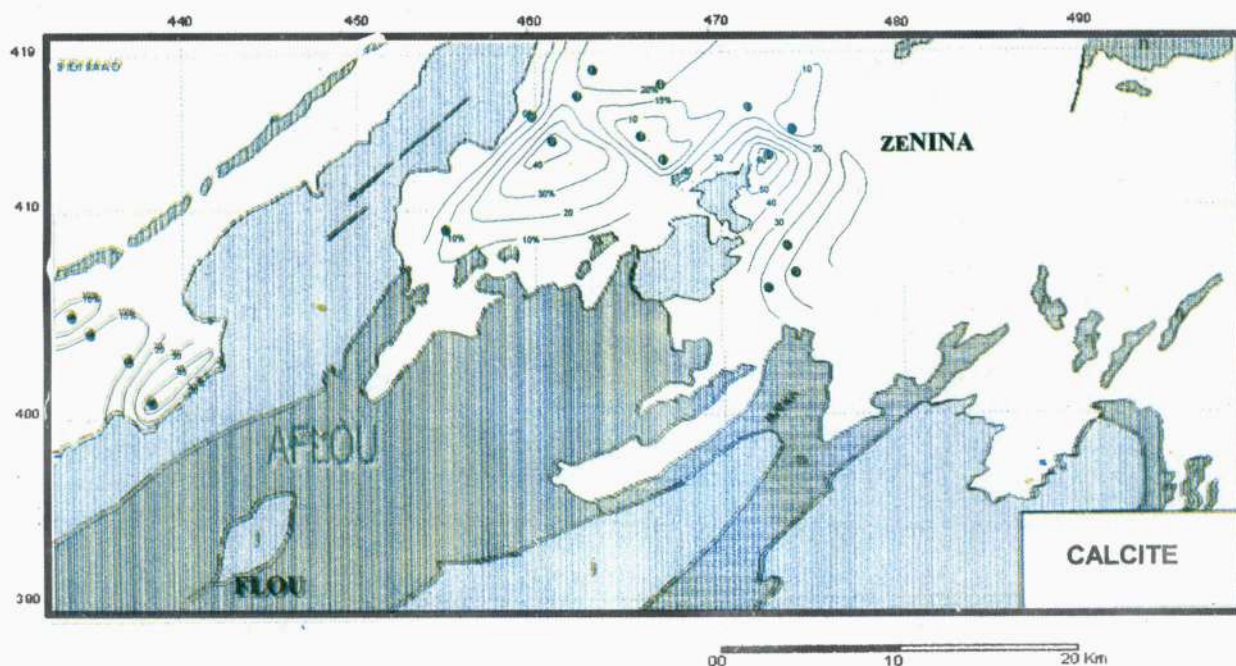


Fig. 10 - Carte de la répartition des isoteneurs relatives à la 'calcite' par rapport à la roche totale.

Map of the distribution of 'calcite' Tertiary clay minerals from central saharan Atlas (Aflou-area)

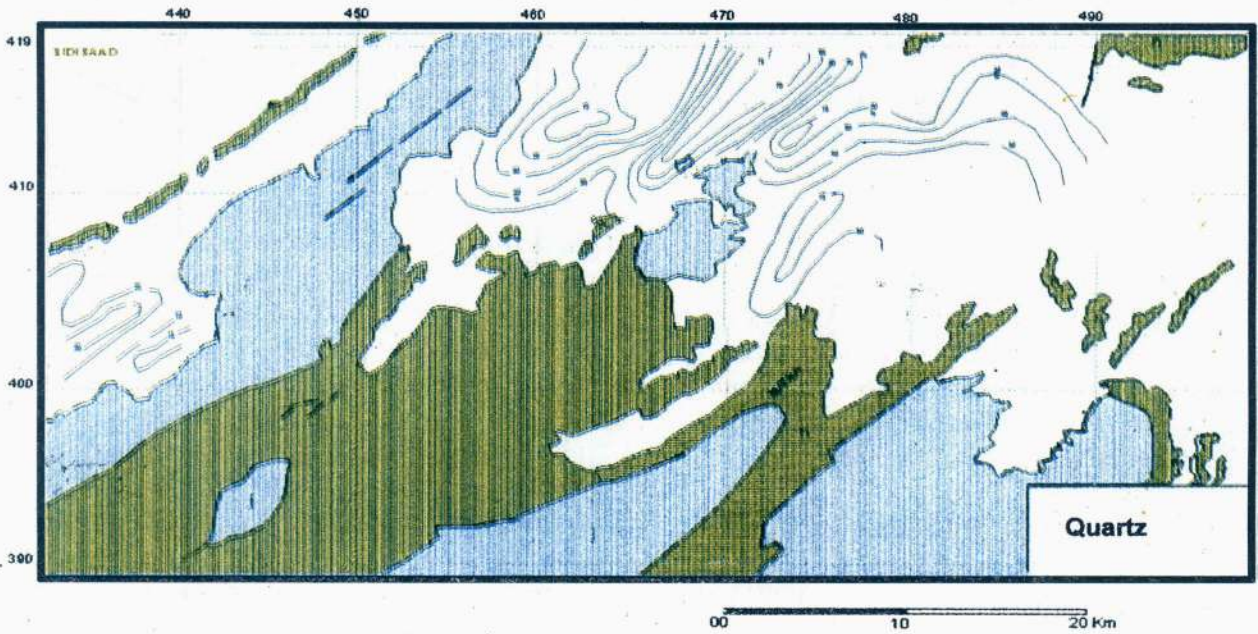


Fig.11: Carte de la répartition des isoteneurs relatives au 'quartz' par rapport à la roche totale.
 Map of the distribution of "quartz" minerals from central saharan Atlas (Aflou-area).

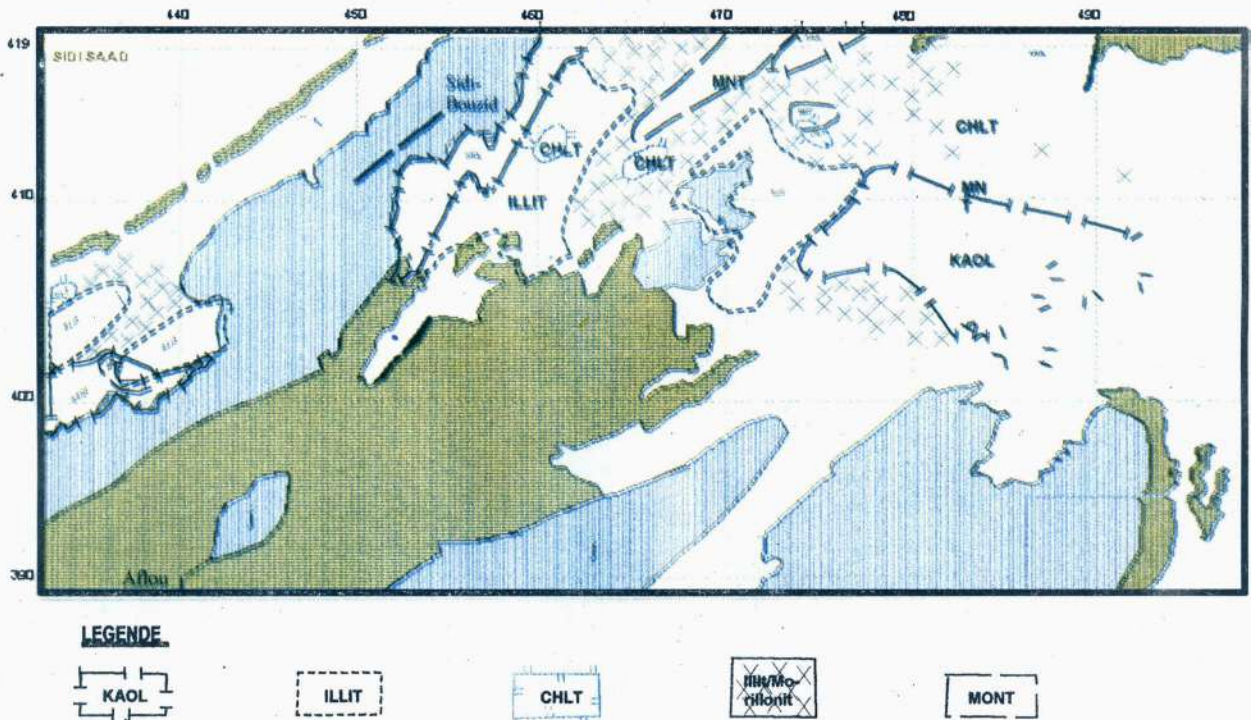


Fig. 12 - Carte factorielle représentative de la répartition des minéraux argileux des formations atlasiques tertiaires de la région d'Aflou.

Factorial distribution map of Tertiary clay minerals from central saharan Atlas Aflou-area)

UNE APPROCHE POUR LA CARTOGRAPHIE GÉOCHIMIQUE DES MINÉRAUX ARGILEUX DES TERRAINS TERTIAIRES DE L'ATLAS SAHARIEN CENTRAL (RÉGION D'AFLOU). ESSAI DE RECONSTITUTION PALÉOGÉOGRAPHIQUE.

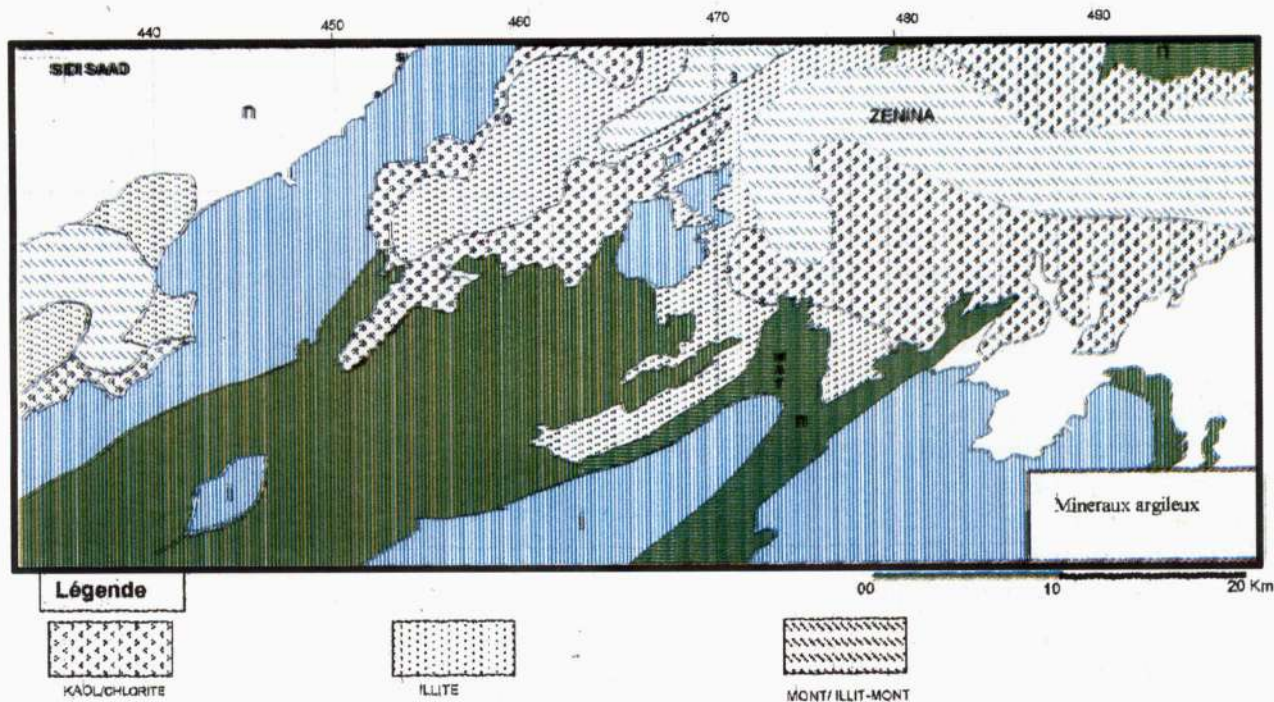


Fig. 13 - Carte potentielle des faciès géochimiques argileux des formations tertiaires de la région d'Aflou.

Potential map of geochemical Tertiary clay minerals from Aflou areas.

chlorite et d'illite au niveau des plaines deltaïque et des milieux fluviatiles (Nedjari *et al.*, 2002), à la faveur d'importants épandages détritiques formants l'essentiel des dépôts tertiaires de cette région.

CONCLUSION

L'analyse géochimique des minéraux argileux étudiés montre que les recouvrements superficiels tertiaires de la région "Aflou-Laghouat" sont essentiellement riches en illite et en kaolinite, caractérisant la fraction fine des cortèges argileux hérités des formations atlasiques tertiaires. L'association de cette phase déritique avec les smectites "montmorillonite" et interstratifiés "d'illite-montmorillonite" suggère les conditions favorables de la formation de faciès de playas dans cette région atlasique marquée par un climat équatorial humide. L'analyse factorielle des correspondances (A.F.C), relative aux minéraux argileux a mis en évidence la

paragenèse des cortèges argileux des formations étudiées dont l'ordre génétique traduit une série minéralogique de type Helvétienne, qui comprend l'enchaînement génétique des faciès géochimiques: [kaolinite-illite-chlorite-illite/montmorillonite- et la montmorillonite].

En effet, à la base de la série sédimentaire on constate la prédominance des minéraux riches en kaolinite et en illite marquant l'importance des écoulements turbiditiques. En seconde phase, le milieu de sédimentation devient plus ou moins intermédiaire avec le développement de la chlorite et des interstratifiés illite-montmorillonite. Enfin, un milieu de sédimentation essentiellement terrigène ou franchement continental, (lacustre à fluvio-lacustre); occupe la plupart des dépressions topographiques riches en montmorillonite. L'organisation sédimentogénétique régionale est typiquement celle d'une séquence inverse de type "coarsening-upward" définissant, au sens de Delfaud (1974), les séries sédimentaires référen-

tielles de cette région de l'Atlas saharien central. Cet enchaînement génétique est particulièrement spécifique aux bassins molassiques tertiaires à caractère compressif dit "foreland-basins".

Dans cette note, nous soulignons qu'au cours du cycle "Paléogène", des dépôts molassiques se sont accumulés à la faveur d'importants épandages détritiques, résultants de la glyptogenèse atlasique, aux endroits des piedmonts des reliefs du Secondaire. Cette phase qui est essentiellement "tectono-sédimentaire" est marquée par l'abondance des minéraux silicoclastiques tels que l'illite, la chlorite, la kaolinite et le feldspath potassique. Quant au second cycle "Néogène", la sédimentation est de nature essentiellement "marnoclastique" caractérisant la sédimentation d'un milieu d'environnement plus ou moins distal, où les sméctites "Montmorillonite" et ces interstratifiés "d'illite-montmorillonite" sont prédominantes.

BIBLIOGRAPHIE

- BENZEKRI, J. P., 1970.** Représentation euclidienne d'un ensemble muni de masses et de distances. Laboratoire de statistique Mathématique. Université de Paris-6, 3^{ème} Edition.
- BIROT, P., 1970.** Les régions naturelles du globe, pp. 226-227 Edition Masson et Campagnie.
- CARATINI, C., 1971.** Etude géologique de la région Chellala-Reibel. *Bul. Serv. Carte. Géol. Algérie* N° 40 p.224 -229.
- CHAMLEY, H., 1975.** Sédimentation argileuse en mer Ionienne au Plio-Pléistocène d'après l'étude des forages 125 DSDP. *Bull. Soc. Géol. France* V.07, t. XVII- N° 06 p. 1131 -1143.
- CUGNY, P, MUSSARD, J.M., BOISSEAU, T. ET PEYBERNES, P., 1994.** Analyse factorielle, classification automatique et séries chronologiques appliquées à la mise en évidence de gradients paléocéologiques et de cyclicités dans le Berriasien supérieur carbonaté de Chartreuse (zone dauphinoise, France). *C. R. Acad. Sci. Paris, t. 319, série II, p. 1101-1108.*
- DAOUDI, L., DECONINCK, J.F. et al., 1995.** Impact des variations du niveau marin sur les argiles: exemple du Crétacé inférieur du bassin d'Essaouira au Maroc. *C. R. Acad. Sci. Paris. T. 320, Série II a, P.707 -711.*
- DEVINE, S.B., FERREL, R.E. AND BILLINGS, G.K., 1973.** Mineral Distribution. Patterns, Deep Gulf of Mexico. *C. R. Athe. American. Association Petroleum Geologist Bulletin. V.57, N° 01, P.28 -41.*
- GEILLER, M., 1997.** Sédimentologie de faciès, minéralogie et stratigraphie génétique des réservoirs silicoclastiques du Lias inférieur de Céré-la-Ronde (Sud-Ouest du Bassin de Paris). *Thèse, Uni. Louis-Pasteur, Strasbourg, 218p., Soc. Géol. France.*
- LAFFITE, P., 1972.** Traité d'Informatique géologique *Masson et Cie, Editeurs, Paris.*
- LEVERT, J. ET FERRY, S., 1988.** Diagenèse argileuse complexe dans le Mésozoïque subalpin révélée par la cartographie des proportions relatives d'argiles selon des niveaux isochrones. *Bul. Soc. Géol. France, (1988), (8), t.IV, n°6, pp. 1029-1038.*
- MILLOT, G., 1964.** Géologie des Argiles. *Masson et Cie, Editeurs, Paris.*
- MILLOT, G., 1967.** Signification des études récentes sur les roches argileuses dans l'interprétation des faciès sédimentaires. *Sédimentology, 8, p. 259 - 280.*
- NADJI, A-M., 1995.** Modèle de dépôt relatif à la fraction moyenne des formations post-turonniennes de l'Atlas saharien central. *10^{ème} Séminaire Nat. des Sci. de la Terre, Alger-mars.*
- NADJI, A-M., 1997.** Etude sédimentologique, cartographique et néotectonique des formations post-turonniennes de l'Atlas saharien central (région d'Aflou-Laghouat). *Mémoire de Magister, Université d'Oran, 302 p.*
- NEDJARI, A. ET DELFAUD, J., 2002.** Les paléosols du Mosco-Permien du Bassin de Bechar (Algérie), témoins des étapes du comblement d'un bassin syntecto-varisque. *Bul. Serv. Géol. Algérie, Vol.13, n° 1, pp.49-79, 6 fig.,3, tabl.,5 pl..*

UNE APPROCHE POUR LA CARTOGRAPHIE GÉOCHIMIQUE DES MINÉRAUX ARGILEUX DES TERRAINS TERTIAIRES DE L'ATLAS SAHARIEN CENTRAL (RÉGION D'AFLOU). ESSAI DE RECONSTITUTION PALÉOGÉOGRAPHIQUE.

- ODIN, G.S. ET MATTER, 1981.** The glauconian origine. *Sédimentology*, 28, P. 611-641)
- SOKAL, R AND SNEATH, P.H., 1963.** Principles of numerical taxonomy. *Freeman, San Francisco.*
- THOMAS, G., 1985.** Geodynamique des bassins intra-montagneux. Le bassin du bas Chellif occidental (Algérie) durant le Mio-Plio-Quaternaire *Thèse. Doct. Etat. Sc. Uni-Pau et Pays de l'Adour, 594p.*
- THIEBAULT, F., WEVER, P. ET RAOULT, J.F., 1986.** Marqueurs minéralogiques et géochimiques au passage Jurassique-Crétacé dans le Pinde du Péloponnèse méridional (Grèce).- Signification géodynamique. *Revue de Géologie Dynamique et de Géographie Physique. Vol.27, Fasc.5, p. 351-362. Paris.*
- WALKER, G., 1990.** Perspective facies modeling and sequence Stratigraphy *Journal of Sedimentary Petrology, Vol. 60, N° 5, P. 777-786.*