

ÉTUDE DU QUATERNAIRE MOYEN ET RÉCENT DE KHNEG TLAÏA (MONTS D'OUGARTA, SAHARA ALGÉRIEN). ANALYSE DES DÉPÔTS ET ENSEIGNEMENTS CLIMATIQUES.

Souhila BAGDI*, Nesma KRIM* et Ahmed NEDJARI*

RÉSUMÉ

Notre Planète connaît une phase de perturbations climatiques qui inquiètent et interpellent les scientifiques. De tels changements sont-ils connus dans le passé proche? Quelles en sont les raisons? Les réponses pourraient provenir d'un décodage des événements enregistrés par les sédiments du Quaternaire. Nous avons voulu contribuer au débat en analysant les dépôts quaternaires et les variations climatiques enregistrées dans une cuvette endoréique en contexte tectonique stable; celle de Khneg Tlaïa dans le Djebel Bou Khbeisset, située dans les Monts d'Ougarta, dans le Sahara Nord-occidental algérien.

Dans cette cuvette, la sédimentation détritique est ponctuée de périodes de stabilité plus ou moins longues au cours desquelles se développent des sols. Ils sont de type hydromorphe et conséquents d'évolutions pédologiques plus ou moins complexes, intimement liées au climat.

Les sols constituent des discontinuités subordonnées à l'ordre des séquences qu'elles limitent (ordre 2, 3, 4 au sens de Nedjari, 1991). Dans cette conception de séquences, nous empruntons à la stratigraphie séquentielle, la méthode de calcul des durées des séquences. Ainsi, une corrélation avec les cycles de Milankovic sera proposée en intégrant les données des travaux antérieurs sur le climat de la région (phases humides ou arides, chaudes ou froides).]

Ainsi, des cycles de 400 000 ans, 100 000 et 41 000 ans auraient régi la nature et l'organisation des séquences reconnues dans le Quaternaire moyen et récent du Khneg Tlaïa.

Mots-clés - Ougarta - Khneg Tlaïa - Quaternaire - Pédogenèse - Analyse séquentielle - Séquences de dépôt - Changements climatiques - Cycles de Milankovic.

MIDDLE AND RECENT QUARTENARY OF KHNEG TLAÏA STUDY (OUGARTA MOUNTS, ALGERIAN SAHARA) DEPOSITS ANALYSIS AND CLIMATIC LESSONS

ABSTRACT

Earth is going through period of climatic disorders that worry. Were such changes known in the recent past? What are the reasons? The answers may come from a decoding of such events recorded in Quaternary sediments. We wanted to contribute to this debate by analyzing the Quaternary deposits and climatic variations recorded in an endorheic basin in a stable tectonic context; Khneg Tlaïa in Djebel Bou Khbeisset. It is located in the Ougarta Mountains in the North-Western Algerian Sahara. In this basin, detrital sedimentation punctuated by relatively long periods of stability during which soils are formed. They are hydromorphic ground, consequence of pedogenesis processes more or less complex, closely related to climate. They represent discontinuities on various scales which de-

*Laboratoire de Géodynamique des Bassins Sédimentaires et des Orogènes, FSTGAT- U.S.T.H.B. B.P. 32, El Alia, Bab Ezzouar Alger.

- Manuscrit déposé le 07 Février 2013, accepté après révision le 13 Avril 2014.

fine different depositional sequences orders (order 2, 3 and 4 as defined in Nedjari, 1991). It thus becomes possible to assess the duration of these sequences. The correlation with Milankovic Cycles (eccentricity, obliquity and precession) is so plausible according to succession of phases wet or dry, hot or cold. So, cycles of 400 000 years, 100 000 years and 41 000 years have influenced the nature and the organization of sequences known in the Middle and Recent Quaternary of Khneg Tlaïa.

Keywords - Ougarta - Khneg Tlaïa - Quaternary - Pedogenesis - Sequence analysis - Depositional sequences - Climate changes - Milankovic Cycles.

I. KHNEG TLAÏA : ÉVOLUTION D'UN PAYSAGE QUATÉRIEN DANS UNE CUVETTE ENDORÉIQUE AU CŒUR DE LA CHAÎNE DE L'OUGARTA

La chaîne de l'Ougarta (Sahara algérien) est structurée en anticlinaux et synclinaux dans un style appalachien (Chikhaoui, 1974). Le Djebel Bou Khbeisset (NW-SE) est un anticlinal dont les flancs sont constitués de combes argilo-silteuses et de barres gréseuses/quartzitiques cambro-ordoviciennes. Son cœur est représenté par des rhyolites précambriennes (Nedjari et al., 2007).

L'érosion qui profite d'un décrochement NE-SW sur le flanc nord de cette structure a incisé un couloir étroit; le Khneg Tlaïa, seul accès vers les roches volcaniques. Ce Khneg fait environ 7 km de long et 500m de large et s'évase en une cuvette (fig. 1).

Cette cuvette a servi de réceptacle à la sédimentation du Quaternaire, alimentée par l'érosion des

reliefs bordiers des grès cambro-ordoviciens et des rhyolites du Précambrien. Ces sédiments sont actuellement acheminés et distribués par de petits oueds : El Abiod, Labca, Farès et Quese (fig. 2).

Le remplissage est d'abord conglomératique, issu d'un système de cônes alluviaux indépendants ou interconnectés puis éolien, sableux de plus en plus fréquent avec une aridité croissante.

Ces dépôts quaternaires ont été étudiés par Alimen et al. (1952) et Chavaillon (1964) qui les ont répartis dans des cycles climato-sédimentaires. Ces auteurs évoquent par ailleurs, un petit erg occupant le piémont d'Ougarta et qui fermait le Khneg Tlaïa vers le nord pendant l'Ougartien. Il fournira sporadiquement du sable à la dynamique fluviale. Au cours du Saourien, la cuvette envahie par l'erg est le siège d'une sédimentation franchement éolienne. Sa réouverture par la suite coïncidera avec le vrai creusement de l'Oued El Abiod postérieur au Guirien.

Nous avons repris l'étude du Quaternaire de cette région avec les concepts nouveaux qu'offre



Fig. 1 - Photo satellite de Djebel Bou Khbeisset (3D), Google Earth.

Satellite image of Djebel Bou Khbeisset (3D), Google Earth.

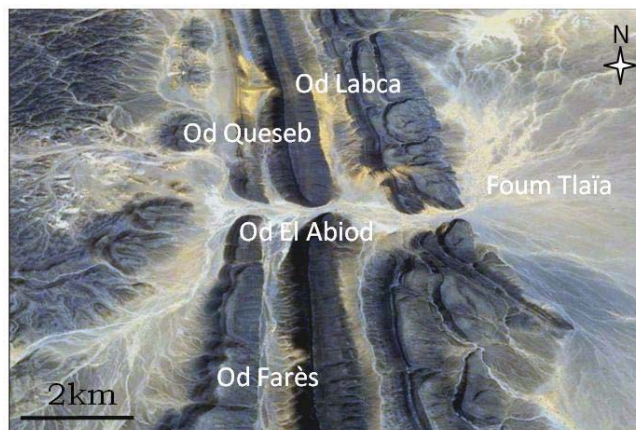


Fig. 2 - Les principaux cours d'eau _ Khneg Tlaïa
The main rivers _ Khneg Tlaïa

ÉTUDE DU QUATERNAIRE MOYEN ET RÉCENT DE KHNEG TLAÏA (MONTS D'OUGARTA, SAHARA ALGÉRIEN).
ANALYSE DES DÉPÔTS ET ENSEIGNEMENTS CLIMATIQUES.

la sédimentologie, en particulier l'analyse séquentielle scalarisée. Celle-ci nous a permis de déduire la logique de mise en place de ces dépôts ainsi que les empreintes du climat avec ses fluctuations en relation avec les paramètres astronomiques (cycles de Milankovic).

II. ANALYSE DES DÉPÔTS QUATERNAIRES

Nous avons analysé les dépôts quaternaires de Khneg Tlaïa en termes de séquences d'environnement et, leur organisation en utilisant les discontinuités que sont les paléopédogénèses plus ou moins intenses développées à leurs sommets. Cette intensité en déterminait l'ordre (Nedjari, 1991; Nedjari et Delfaud, 2002).

II.1. Expressions de la pédogénèse

Les paléopédogénèses développées aux sommets des séquences du Quaternaire de la cuvette de Khneg Tlaïa sont de type hydromorphe générées par les fluctuations de la nappe phréatique (Campy et Macaire, 1989). Leur nature et ampleur sont régies essentiellement par la nature du sédiment et la durée d'exposition aux facteurs pédogénétiques, et porte également l'empreinte du climat et de son évolution. Les expressions induites sont ainsi variées avec, en particulier :

- des remobilisations et redistributions de carbonates à l'origine de croûtes calcaires avec tepees et des nodules (fig. 3);
- une remobilisation et redistribution du fer sous forme de marmorisations;
- des traces de racines, des perforations, des accumulations de matière organique et de la dessiccation.

Le microscope polarisant complète ce tableau et montre des cristaux de quartz éclatés ou corrodés, des structures simples ou complexes au sein des croûtes et des nodules, des figures de dessiccation, des dissolutions, des marmorisations et des encroûtements stromatolithiques.

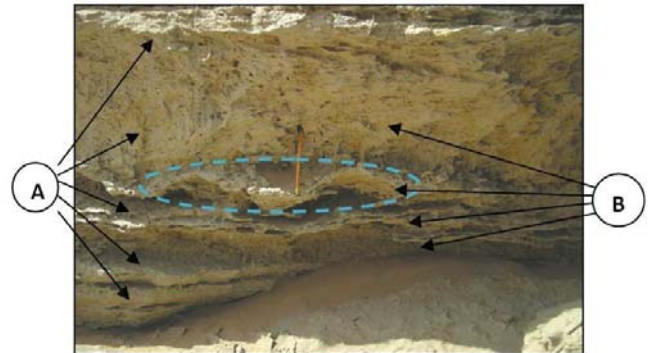


Fig. 3 - Expressions de la pédogénèse - Khneg Tlaïa

Expressions of pedogenesis - Khneg Tlaïa

- A** : plusieurs niveaux à traces de racines (**Several levels of root marks**);
B : plusieurs niveaux à croûtes (= calcrètes) avec tepee (**Calcareous crusts**).

II.2. Typologie des discontinuités

Pour cette analyse, nous avons adopté la typologie établie et utilisée par Nedjari (1991) en milieu continental.

En fonction de l'importance (expressions et ampleur) de la paléopédogénèse décrite dans le Quaternaire de Khneg Tlaïa, différentes échelles de discontinuités sont distinguées (tabl. I).

- *Des discontinuités majeures* qui marquent la base et le sommet de cette formation.

* La base représente le début de la sédimentation où le contact dépôts quaternaires-substratum (cambro-ordovicien ou précambrien) est marqué par une discordance angulaire masquée par les alluvions des oueds.

* La discontinuité sommitale est matérialisée par trois (03) croûtes qui se télescopent dans un sable éolien à tepees et autres traces de dessiccation.

- *Des discontinuités moyennes* qui soulignent les séquences du troisième ordre (membres) et affectent une tranche de sédiments d'épaisseur variable (cm à dm). Elles se traduisent par l'apparition d'encroûtements calcaires ou gypseux, des nodules pédogénétiques, des marmorisations, des perforations, des tepees, des dessiccations et des traces de racines.

ÉTUDE DU QUATERNAIRE MOYEN ET RÉCENT DE KHNEG TLAÏA (MONTS D'OUGARTA, SAHARA ALGÉRIEN).
ANALYSE DES DÉPÔTS ET ENSEIGNEMENTS CLIMATIQUES.

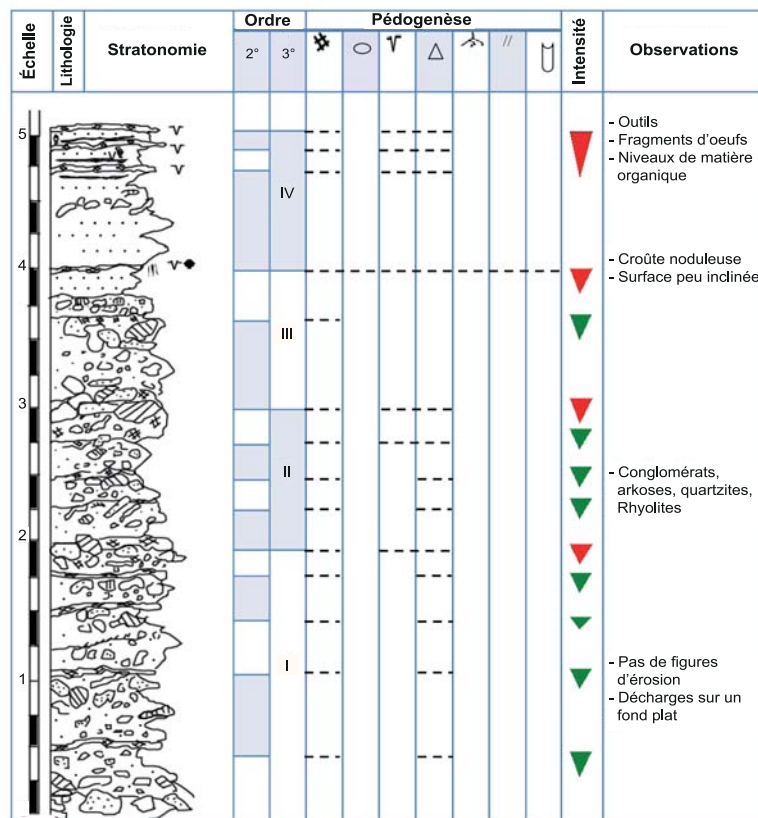
Chaque membre comporte plusieurs séquences d'environnement (2^{ème} ordre).

Les décharges conglomératiques sont séparées des sables par un paléosol signalé également par Chavaillon (1964). La pédogenèse y est intense avec un encroûtement calcaire important, des nodules pédologiques et une dessiccation.

II.4. Modèles séquentiels, environnements de dépôt et organisation spatio-temporelle

La coupe type montre deux parties bien distinctes du point de vue modèle séquentiel et environnement de dépôt :

La première partie, sur environ quatre mètres d'épaisseur, comporte des conglomérats issus de glaciais et cônes alluviaux (Chamley, 1988), s'organisant autour des reliefs cambro-ordoviciens et précambriens. Ces dépôts seraient du Quaternaire moyen (voir attribution stratigraphique). La seconde partie, réduite (1,5 m) correspond aux sables éoliens riches en matière organique et faune d'eau douce témoignant d'un milieu marécageux. Ces sables comportent parfois des horizons à travertins déposés dans des chenaux et cuvettes. Ces sédiments se concentrent au Foug Tlaïa et en amont de l'oued. Ils sont attribués au Quaternaire récent (fig. 5).



Légende : la légende est commune à toutes les coupes

Encroûtement calcaire	Tepées	Marmorisations
Nodules pédogénétiques	Traces de racines	Matière organique
Dessiccations	Perforations	2 ^{ème}
		3 ^{ème}

Fig. 4 - Analyse séquentielle des sédiments quaternaire de Khneg Tlaïa (coupe type)
Sequential analysis of the Quaternary sediments in Khneg Tlaïa (main log)

II.5. Taux de sédimentation

Dans cette cuvette, il s'est déposé en moyenne 6m de sédiments en 55 000 ans (voir attribution stratigraphique). Sachant que le phénomène de compaction est négligeable (sédiments quaternaires en milieu continental), un simple calcul montre un taux de sédimentation dans la «cuvette» de Khneg Tlaïa au cours du Quaternaire moyen et récent de l'ordre de 1m/100 000 ans, soit un 1cm/ 1000 ans.

II.6. Comparaison-Équivalences

Nous avons comparé les différents niveaux quaternaires sur les diverses coupes levées à Khneg Tlaïa. Deux comparaisons ont été faites; la première selon un axe NE-SW ou, amont-aval de l'oued El Abiod (du Foum Tlaïa vers les rhyolithes précambriennes), la seconde selon un axe NW-SE parallèle à l'allongement de l'affleurement précambrien (de la rive gauche vers la rive droite de l'oued El Abiod) (fig. 6).

La comparaison amont-aval (axe NE-SW) montre :

- un ravinement affectant la surface topographique résultant des nombreux petits talwegs à flancs raides dévalant les reliefs immédiats et en-



Fig. 5 - Sédiments quaternaires de Khneg Tlaïa
Quaternary sediments of Khneg Tlaïa

taillant les matériaux meubles des sédiments quaternaires;

- des niveaux conglomératiques d'épaisseurs relativement identiques;

- des sédiments grossiers plus hétérogènes en aval, en raison des emboîtements des différents cônes alluviaux (fig. 7);

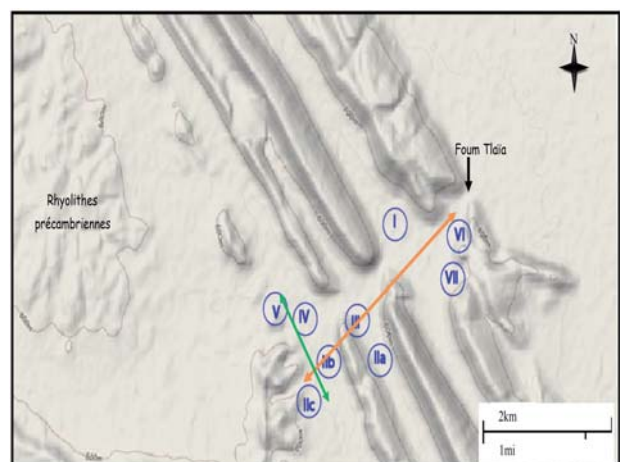
- un 4^{ème} membre augmentant d'épaisseur de l'aval vers l'amont indiquant la nature dissymétrique de la forme du dépôt dunaire et son évolution vers l'aval à l'inverse de la dynamique fluviale.

La comparaison latérale (rive gauche - rive droite) montre que:

- le membre sableux (4^{ème} membre) est plus épais en rive droite;

- la matière organique est plus abondante en rive droite;

- les niveaux à travertins sont plus fréquents en rive droite (fig. 8).



↔ Corrélations rive gauche-rive droite.
↔ Corrélations amont-aval.

Fig. 6 - Positions des coupes et axes des corrélations
Position of stratigraphic logs and correlations axes

ÉTUDE DU QUATERNAIRE MOYEN ET RÉCENT DE KHNEG TLAÏA (MONTS D'OUGARTA, SAHARA ALGÉRIEN).
ANALYSE DES DÉPÔTS ET ENSEIGNEMENTS CLIMATIQUES.

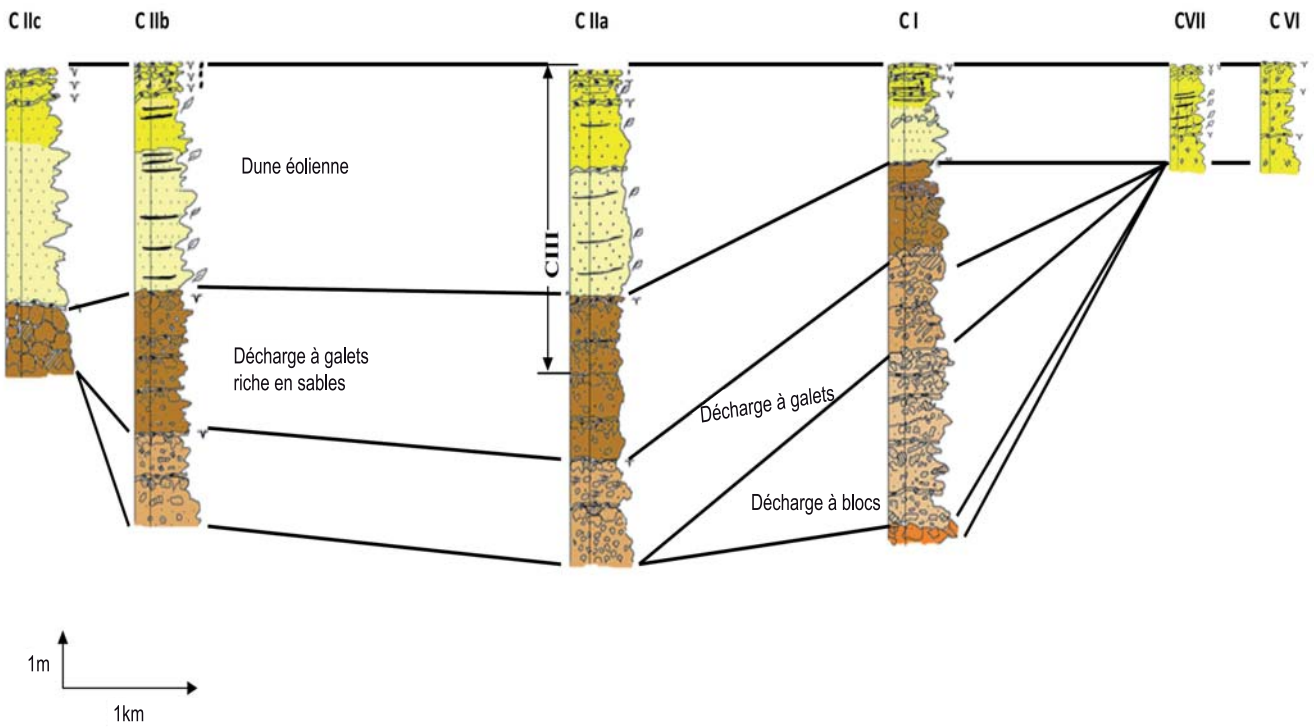


Fig. 7 - Comparaison Amont-Aval
Upstream-Downstream Comparison

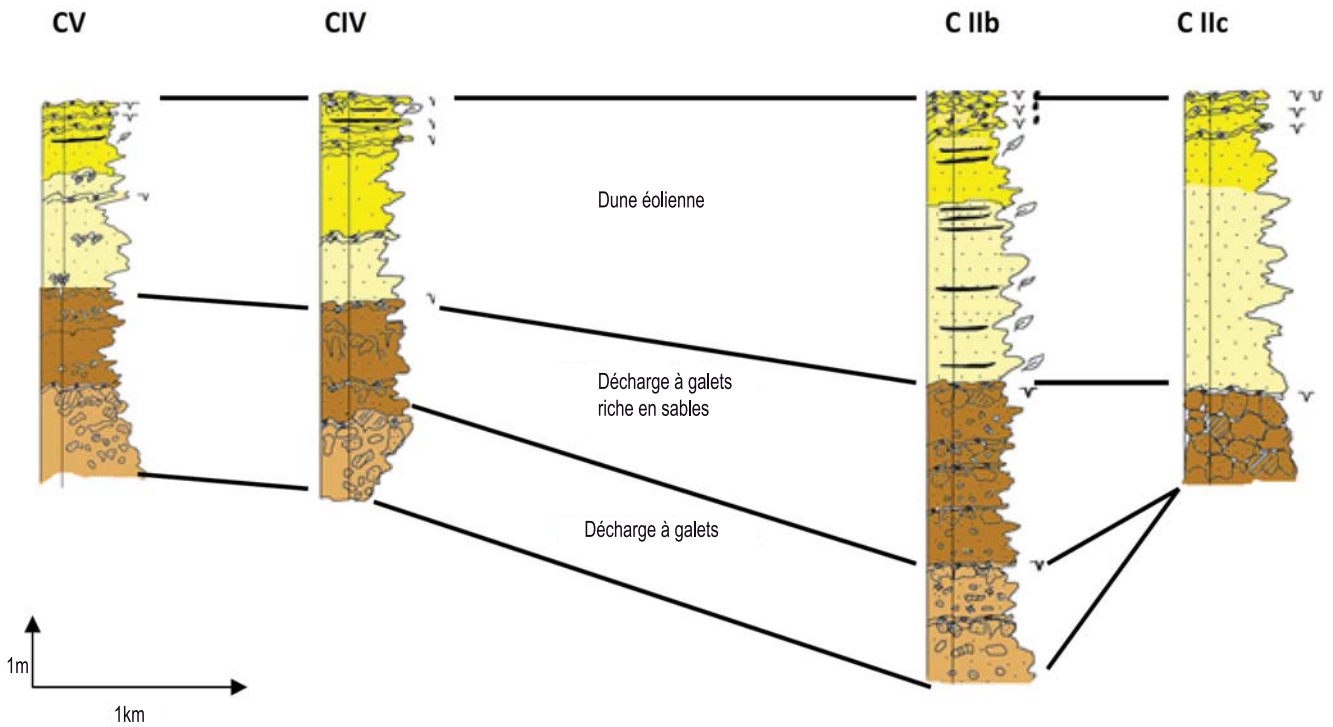


Fig. 8 - Comparaison latérale
Lateral comparison

II.7. Dépôts actuels

L'évolution observée dans le Quaternaire moyen et récent semble se continuer dans l'Actuel mais dans un environnement de plus en plus aride, comme le montre une nette richesse en sable éolien et une dégradation du couvert végétal (fig. 9).

Il s'agit de sédiments meubles formés essentiellement de fragments de roches environnantes (des quartzites, des arkoses ainsi que des rhyolites) noyées le plus souvent dans le sable éolien (fig. 10).

Le décryptage des sédiments actuels de Khneg Tlaïa et l'analyse du paysage actuel permet de reconstituer le scénario suivant pour la période récente :

- après un important épisode érosif affectant les dépôts de Khneg Tlaïa au cours de l'Humide Néolithique (4500-1000 ans) décrits par Chavaillon (1964), le paysage a été modifié;
- les dépôts actuels (1000 ans-Actuel) sont de plus en plus sableux, les galets grossiers d'érosion se raréfient et le couvert végétal se dégrade. Ces sédiments se mettent en place dans un environnement à aridité croissante;



Fig. 9- Paysage actuel de Khneg Tlaïa
Current landscape of Khneg Tlaïa

- le matériel détritique est un mélange de : fragments de roches locales sous forme d'éboulis ou de dépôts charriés par les oueds, des dépôts quaternaires remaniés (conglomérats, sables et argiles), sables éoliens et gypse;
- les sédiments se concentrent dans les vallées et autour de la végétation (nebkas);
- la pédogénèse en cours dans le Khneg Tlaïa, se caractérise par: son intensité moyenne, représentée par une forte dessiccation et des remobilisations de carbonate, de sulfate et de fer;
- exceptés de brèves phases humides où l'eau est le principal agent de la sédimentation, le Khneg Tlaïa est sous le régime éolien pendant toute l'année; la quantité importante de sable en témoigne.

III. ATTRIBUTION STRATIGRAPHIQUE

Nous avons adopté le découpage en cycles climato-sédimentaires établi par Alimen et *al.* (1952), Alimen et *al.* (1964) et Chavaillon (1964) et nous l'avons comparé aux résultats de l'analyse séquentielle.

Ainsi, et d'après les descriptions de Chavaillon (1964), la base de la coupe type appartiendrait au Taourirtien.

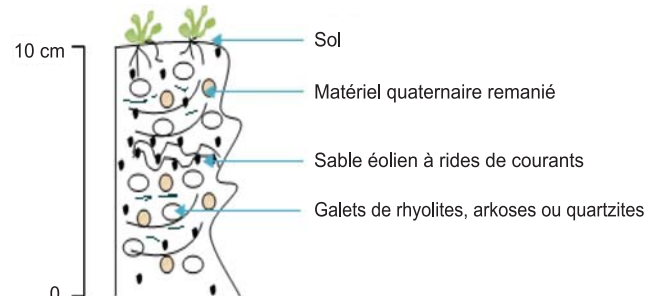


Fig. 10 - Séquence d'environnement
(Sédimentation actuelle)

Environmental sequence
(Current sedimentation)

ÉTUDE DU QUATERNAIRE MOYEN ET RÉCENT DE KHNEG TLAÏA (MONTS D'OUGARTA, SAHARA ALGÉRIEN).
ANALYSE DES DÉPÔTS ET ENSEIGNEMENTS CLIMATIQUES.

L'Ougartien est constitué de dépôts conglo-mératiques organisés en trois (03) membres strato-décroissants et granocroissants.

Le Saourien correspond aux sables éoliens li-mités par le paléosol ougartien à la base et le der-nier niveau à travertin au sommet (Alimen et *al.*, 1964).

Le Guirien correspond aux sables éoliens entre le second niveau à travertins et les dépôts meu-bles actuels. C'est le sommet de la coupe (Alimen et *al.*, 1964).

En se basant sur les tableaux de corrélations d'Alimen et *al.* (1952) (tabl. III) et Riser (1999) (tabl. IV), nous avons admis que les dépôts qua-ternaires de Khneg Tlaïa ont commencé à se met-tre en place, il y a un peu plus de 550 000 ans (fin Taourirtien).

Nous avons gardé les corrélations période gla-ciaire- interglaciaire au cycle pluvial-aride définis par Alimen et *al.* (1952) (tabl III) et Riser (1999) (tabl. IV). Les âges sont par la suite extraits du ta-bleau stratigraphique de l'ISC (2008). Par consé-quent, les sédiments quaternaires de Khneg Tlaïa sont subdivisés en unités et les âges de 550 000 ans,

Tableau III - Corrélation entre la stratigraphie du Quaternaire du Sahara Nord Occidental et de la Méditerranée Alimen et *al.* (1952).

Correlation between the Quaternary stratigraphy of North Western Sahara and the Mediterranean region Alimen et al. (1952)

EUROPE OCCIDENTALE		Sahara Nord occidental		
		Alternances climatiques	Industrie préhistorique	
ACTUEL	Guirien	Sédimentation actuelle Érosion actuelle	-Néolithique -Industrie de faciès hémarien	
POST-GLACIAIRE		Sédimentation guirienne Érosion guirienne		
WURM IV INTER-WURM III-IV WURM III WURM II WURM I	Saourien	Sédimentation saourienne I-V Érosion saourienne	- Atérien	
Inter-Riss-Wurm	Ougartien	Sédimentation ougartienne VI-VII Érosion inter-ougartienne V et VI	- Acheuléen final	
RISS II Inter RISS I-II RISS I		Sédimentation ougartienne III-V Érosion inter-ougartienne II et III	- Acheuléen supérieur	
Inter-Mindel-Riss		Sédimentation ougartienne I et II Érosion ougartienne	- Acheuléen moyen	
MINDEL II Inter MINDEL I-II MINDEL I		Taourirtien	Sédimentation taourirtienne I-IV Érosion taourirtienne	- Acheuléen ancien ? - Chelléen; « Pebble culture » évoluée
INTER-GUNZ-MINDEL			Sédimentation mazzérienne I-IV et A-C Érosion aidienne	-« Pebble culture »
GUNZ II GUNZ I	Mazzérien	Sédimentation aidienne I et II Érosion aidienne		
Inter-Donau-Gunz		Sédimentation pliocène		
DONAU	Aidien			
BIBER ?				
PLIOCÈNE				

Tableau IV - Chronologie du Quaternaire-corrélations stratigraphiques Sahara NO -chronologie glaciaire (Riser, 1999)

Quaternary chronology-Correlation between Sahara Northwest Stratigraphy and glacial chronology (Riser, 1999)

		AGE BP	018/016 Paleomag. +/-	Variations Climatiques	Startig. Sahara NO	Chrono. Glaciaire	
QUATERNAIRE RECENT	Holocène	0	[Black bar]	Humide	Guirien	Holocène	
		10 000		Aride	Ogolien	Würm	
	Pléistocène récent	2		Humide	SAOURIEN		
		3		Aride			
		4		Humide	Ougartien		
		5A					
		5B					
		5C					
	5D						
	5E	Riss-Würm					
QUATERNAIRE MOYEN	Pléistocène moyen	6	Brunhes	Semi-aride Sahélien au Sud du Sahara	Ougartien	Riss	
		7					
		8				Mindel-Riss	
		9					
		10					
		11					
		12				Mindel	
		13					
		14					
		15					
16	Gunz-Mindel						
17							
18							
19							
QUATERNAIRE ANCIEN	Pléistocène ancien	20	Matuyama	Humide tropical	TAOURIRTIEN	Gunz	
		21					
		22					
		23					
		Jar		Frais en montagne			
	Villafra	2000	Glissa, Old.	Gauss	Refroidissement en montagne	MAZZERIEN	Donau
			Tropical semi-aride		AIDIEN	Biber	
							2000
							2000
							2000

ÉTUDE DU QUATÉNAIRE MOYEN ET RÉCENT DE KHNEG TLAÏA (MONTS D'OUGARTA, SAHARA ALGÉRIEN).
ANALYSE DES DÉPÔTS ET ENSEIGNEMENTS CLIMATIQUES

117 000 ans, 11 500 ans et 1000 ans représentent des discontinuités importantes (fig.11). Les unités sont comparées dans ce qui suit aux cycles de Milankovic.

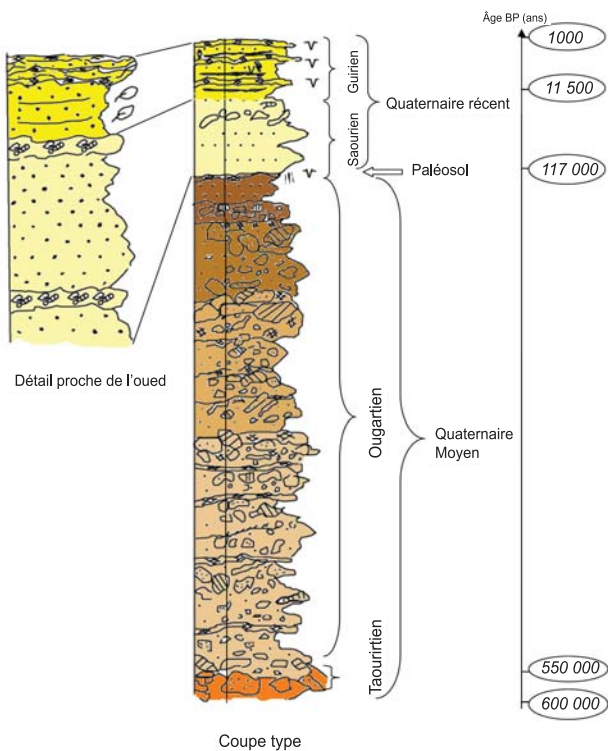


Fig. 11 - Âge des sédiments quaternaires de Khneg Tlaïa
Age of the Khneg Tlaïaa Quaternary sediment

IV. SÉQUENCES ET CYCLES DE MILANKOVIC

IV.1. Périodicité des séquences définies à Khneg Tlaïa

Les séquences d'environnement (2^{ème} ordre), membres (3^{ème} ordre) et formation (4^{ème} ordre) décrits à Khneg Tlaïa, sont des séquences générées par l'environnement et par conséquent, portent l'empreinte du climat à différentes échelles.

Le décryptage des conditions climatiques est basé sur la description des faciès quaternaires (nature, granulométrie et forme des éléments constitutifs et de leur organisation, mais également sur

la nature des phénomènes pédogénétiques et leur intensité.

Les conclusions sur l'évolution du climat à différentes échelles sont appuyées sur les résultats de Conrad (1969) sur les tendances climatiques moyennes au Sahara Nord occidental pendant le Quaternaire.

Ceci nous a permis d'établir un schéma (fig.12) qui montre les différentes évolutions du climat (vers l'humide ou vers l'aride) à différentes échelles.

Sur la base des âges retenus (fig.11), nous avons procédé à un simple calcul arithmétique, afin de déterminer les durées de chaque cycle sédimentaire puis pour chaque unité séquentielle (2^{ème}, 3^{ème} et 4^{ème} ordre).

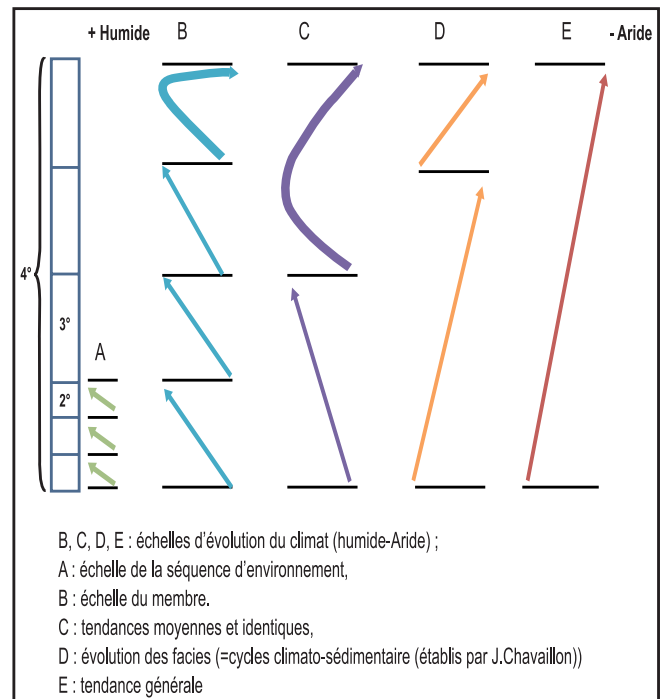


Fig.12 - Schéma montrant les différentes échelles d'évolution du climat que montre le changement de faciès concernant sédiments quaternaires de Khneg Tlaïa

Scheme showing the different levels of climate changes highlighted by facies changes in the Khneg Tlaïa Quaternary sediments

Ainsi :

1. Le Quaternaire récent

- Le Guirien a débuté il y'a 11 500 ans (la durée moyenne d'une période interglaciaire est de 10 000).

$$11\ 500 - 1\ 000 = 10\ 500 \text{ ans}$$

- Le Saourien :

$$117\ 000 - 11\ 500 = 105\ 500 \text{ ans}$$

2. Le Quaternaire moyen; l'Ougartien

L'Ougartien a duré de 550 000 ans à 117 000 ans (tabl. IV et fig.11). Il est constitué de trois (03) séquences de 3^{ème} ordre et onze (11) séquences du 2^{ème} ordre.

$$550\ 000 - 117\ 000 = 433\ 000 \text{ (Ougartien)}$$

$$(550\ 000 - 117\ 000)/3 = 144\ 333 \text{ ans}$$

(séquence du 3^{ème} ordre).

$$(550\ 000 - 117\ 000) / 11 = 39\ 363,63$$

(séquence du 2^{ème} ordre).

Les durées obtenues permettent une corrélation vraisemblable avec les différents cycles de Milankovic en liaison avec les paramètres orbitaux (excentricité, obliquité et précession).

IV.2. Théorie astronomique de Milankovic- Rappel

La théorie astronomique de Milankovic est basée sur l'idée que les variations à long terme des paramètres de l'orbite et de la rotation terrestre engendrent des variations de l'ensoleillement reçu à la surface de la Terre.

Ces variations peuvent générer des changements climatiques dont la trace est parfois enregistrée ou gravée dans certains indicateurs paléoclimatiques et les dépôts (séquences) géologiques.

Trois (03) paramètres contrôlent alors principalement cette distribution d'ensoleillement : l'excentricité, l'obliquité et la précession (Milankovic, 1941).

1. L'excentricité

Elle est exprimée en % et mesure l'aplatissement de la forme de l'orbite. Elle varie de 0% pour une orbite circulaire à 6% quand elle est la plus elliptique.

Périodicité : au long du cycle de 400 000 ans, se surimpose une variation qui suit la quasi-période de 100 000 ans. Ce paramètre influe sur la durée des saisons (longue ou courte).

2. L'obliquité

C'est l'angle entre l'axe de rotation de la Terre et la perpendiculaire au plan de l'orbite terrestre (plan de l'écliptique). Elle varie entre 21,1° et 24,5°.

Périodicité : 41000 ans. Elle influe sur l'ampleur des saisons (été très chaud et hiver très froid).

3. La Précession

La Précession axiale : la Terre oscille sur elle-même comme une toupie car elle est soumise à la Précession.

La Précession de l'orbite : elle est déterminée par la position de l'orbite terrestre elliptique qui effectue une rotation par rapport aux étoiles, (la précession du périhélie).

Périodicité : 19 000 ans et 23 000 ans.

IV.3. Résultats - Explications

Les considérations précédentes nous ont permis de corréler les cycles d'obliquité avec les sé-

ÉTUDE DU QUATERNAIRE MOYEN ET RÉCENT DE KHNEG TLAÏA (MONTS D'OUGARTA, SAHARA ALGÉRIEN).
ANALYSE DES DÉPÔTS ET ENSEIGNEMENTS CLIMATIQUES

quences d'environnement et les cycles d'excentricité avec les membres (tabl. V).

La précession n'influe pas directement sur le climat et ses marques ne se distinguent donc pas dans les dépôts quaternaires étudiés, cependant depuis 550 000 ans, plusieurs cycles se sont succédés : entre 24 et 29 cycles.

Tableau V - Périodicité des séquences de différents ordres

Different orders of sequences periodicity

Découpage Fig. 12	Critère du découpage	Périodicité (ans)	Cycle de Milankovic (ans)	Paramètre de Milankovic
A	Échelle de la séquence d'environnement	39 363,63	41 000	Obliquité
B	Échelle du membre	105 500 144 333	100 000	Excentricité
C	Tendances moyennes et identiques	274 500	?	?
D	Cycles climato-sédimentaires	433 000 116 000 10 500	400 000 100 000 ?	Excentricité
E	Tendance générale		?	

IV. 4. Effets de l'excentricité et de l'obliquité sur les dépôts de la cuvette de Khneg Tlaïa

1. L'excentricité

La variation de l'aplatissement de la forme de l'orbite terrestre se fait nettement sentir dans la nature et l'organisation des sédiments quaternaires.

- *Le Quaternaire moyen : L'Ougartien*

L'Ougartien correspond au cycle de 400 000 ans, auquel se surimpose une variation qui suit une

quasi-périodicité de 100 000 ans (3 cycles et 3 membres).

Chaque membre granocroissant, est témoin de l'évolution vers des conditions plus humides et coïncide avec la variation de l'excentricité sur 100 000 ans.

Cette tendance vers l'humidité se traduisait par la fréquence des pluies qui remplissaient les lits d'oueds ainsi que les cônes alluviaux, arrachaient et charriaient le matériel local (cambro-ordovicien et précambrien) et le déposait sous forme de conglomérats.

La succession de courtes phases pluvieuses et de phases sèches a engendré des fluctuations du niveau de la nappe phréatique. Il en résulte une remobilisation et une redistribution des éléments chimiques notamment, les carbonates.

À cette période humide, succède une période aride (l'orbite tend à devenir plus elliptique) provoquant le dessèchement puis la dessiccation des sédiments (sommet de chaque membre) avant le dépôt du prochain membre dans une même logique.

Le troisième et dernier membre s'est mis en place dans les conditions arides plus rapidement que les précédents comme en témoigne l'enrichissement important en sables au détriment des apports conglomératiques.

- *Le Quaternaire récent*

Le Saourien correspond à un cycle de 100 000 ans alors que le Guirien ne s'étale que sur environ 10 000 ans.

Au Saourien, le climat variait de l'hyperaride (quantité importante d'apports éoliens) au subaride et même à l'humide en 100 000 ans.

Les phases humides se traduisent par l'existence de niveaux riches en matière organique à

petits gastéropodes lacustres et, d'un niveau de galets ainsi que, des niveaux continus de travertins.

Une période sèche succède à la phase pluvieuse à l'origine d'une forte dessiccation.

La succession de période sèche et de période humide s'exprime également, par la formation de croûtes calcaires ainsi que, des redistributions du fer (marmorisations).

Les trois croûtes calcaires qui clôturent le Quaternaire (Guirien) se sont formées lors de la dernière phase humide (Humide néolithique, entre 4500 et 1000 ans). Leur signification astronomique n'est pas établie. Il faudrait y rechercher les explications aux perturbations climatiques plus courtes.

2. L'obliquité

La variation de l'inclinaison de l'axe de rotation de la Terre se perçoit à l'échelle de la séquence d'environnement (en particulier à l'Ougartien).

La séquence du 2^{ème} ordre est granocroissante et témoigne d'une évolution vers les conditions humides, qui seraient en relation avec le rétrécissement de l'angle, entre l'axe de rotation de la Terre et la perpendiculaire au plan de l'orbite terrestre.

Chaque séquence coiffée d'une croûte calcaire est souvent «disséquée» à cause de l'aridité du climat qui serait le résultat de l'élargissement de l'angle de l'obliquité.

V. CONCLUSION

Quatre décharges conglomératiques distinctes puis sableuses se sont déposées dans un système fermé, auto-alimenté; la cuvette de Khneg Tlaïa dès le Quaternaire moyen.

L'analyse séquentielle fine de ce remplissage, en particulier des discontinuités paléopédogénétiques, montre une formation composée de trois (03) mem-

bres. Chaque membre comprend plusieurs séquences d'environnement.

La nature des dépôts et leur organisation renseigne parfaitement sur le climat de l'époque. C'est un climat changeant à tendance humide au Quaternaire moyen puis, aride au Quaternaire récent, à l'image de ce que nous connaissons actuellement dans la région. En dépit de l'ampleur des glaciations quaternaires, la sédimentation dans la cuvette de Khneg Tlaïa subissait uniquement le changement de son climat dû aux mêmes raisons du gel ou à une évolution régionale indépendante.

Bien que l'explication des changements climatiques par la théorie astronomique reste controversée et, que son application sur des temps plus anciens reste une tâche délicate, les sédiments quaternaires de Khneg Tlaïa et leur organisation constituent un témoin d'une évolution rythmée selon des cycles de 400 000 ans (Formation), 100 000 ans (Membres) et 41 000 ans (Séquence d'environnement) qui se corrélaient parfaitement avec les cycles d'excentricité et d'obliquité de Milankovic.

Cette étude sédimentologique analytique a permis d'apprécier les aspects géomorphologiques, écologiques, environnementaux mais aussi climatiques et astronomiques du Quaternaire de Khneg Tlaïa. Les résultats se sont révélés intéressants d'autant plus, qu'ils appuient la théorie cyclique des variations climatiques semblables aux conditions actuelles.

Les sédiments continentaux renferment une empreinte climatique précise (nature et vitesse du changement) qu'il faut savoir décrypter afin de tenter de prévenir le futur de notre planète.

BIBLIOGRAPHIE

ALIMEN, H., LE MAITRE, D., MENCHIKOFF, N., PETTER, G. ET POUETO, A. 1952. les chaînes d'Ougarta et de la Saoura. XIX^e C.G.I. Alger 1952, monographie régionale, 1^{ère} série, n° 15, 118p.

ÉTUDE DU QUATERNAIRE MOYEN ET RÉCENT DE KHNEG TLAÏA (MONTS D'OUGARTA, SAHARA ALGÉRIEN).
ANALYSE DES DÉPÔTS ET ENSEIGNEMENTS CLIMATIQUES

- ALIMEN, H., CHAVAILLON, J. ET DUPLAIX, S. 1964.** Minéraux lourds des sédiments du Sahara Nord occidental, *C.N.R.S, Paris, Bulletin : étude des travaux*, vol. 65, n° 4, 73p.
- CAMPY, M. ET MACAIRE, J.-J. 1989.** Géologie des formations superficielles : géodynamique-facies-utilisation. *Ed. Masson*, 433p.
- CHAMLEY, H. 1988.** Les milieux de sédimentation, *B.R.G.M édition*, 168p.
- CHAVAILLON, J. 1964.** Étude stratigraphique des formations quaternaires du Sahara Nord occidental (Colomb-Béchar à Reggane). *C.N.R.Z.A, Paris, série Géologie*, n° 5, 393p.
- CHIKHAOUI, M. 1974.** Les ignimbrites et roches basiques du Précambrien supérieur des monts d'Ougarta (Saoura). *Doctorat 3^{ème} cycle. Faculté des Sciences, Alger*, 114p.
- CONRAD, G. 1969.** L'évolution continentale post hercynienne du Sahara algérien (Saoura, Erg Chech-Tanezrouft, Ahnet-Mouydir). *C.N.R.Z.A, Paris, série Géologie* n°10, 527p.
- INTERNATIONAL COMMISSION ON STRATIGRAPHY (I.C.S.). 2008.** Echelle de février 2008.
- MILANKOVIC, M. 1941.** Canon of Insolation and the Ice Age Problem. : *Zavod za Udžbenike i Nastavna Sredstva, Belgrade*, 636p.
- NEDJARI, A. 1991.** Dynamique de remplissage littoral et continental moscovo-permien du bassin d'avant fosse de Béchar (Algérie) : électroséquence, modèles sédimentaires, paléo-pédogenèse. *Thèse de Doctorat, USTHB*, 254p.
- NEDJARI, A. ET DELFAUD, J. 2002.** Les paléosols du Moscovo-Permien du bassin de Béchar (Algérie), témoins des étapes du complément d'un bassin syntecto-varisque. *Bulletin du Service Géologique de l'Algérie*, vol. 13, n°1,6 fig., 3 tabl., 5pl., pp 49-79.
- NEDJARI, A., AÏT OUALI, R., CHIKHI-AOUMER, F. ET BITAM, L. 2007.** Le bassin de l'Ougarta au Paléozoïque : une mobilité permanente (livret guide du field trip), *2^{ème} Séminaire National de Stratigraphie (Béni abbés) 2003; Mémoire SGA*, n°14, 96p.
- RISER, J. 1999.** Quaternaire : Géologie et milieux naturels, *Édition Dunod*, 163p.