

# **ETABLISSEMENT DES SERIES REFERENTIELLES DU TERTIAIRE CONTINENTAL ANCIEN DE L'ALGERIE A PARTIR DE L'ANALYSE MARKOVIENNE -ESSAI D'INTERPRETATION GÉODYNAMIQUE-**

**Abdelmansour NADJI\*, Mahammed MAHBOUBI\*\*, Mustapha BENSALAH\*\*\*,  
Kacem MOUSSA\*\* et Fateh MEBROUK\*\*\*\***

---

## **RÉSUMÉ-**

L'analyse markovienne des séries sédimentaires du Tertiaire continental ancien (éocène *s.l.*) de l'Algérie nous a permis de mettre l'accent sur les principales matrices de transition de faciès. En s'appuyant sur les travaux réalisés sur ces terrains, cette étude a révélé l'existence de trois types de séquences basées sur la nature lithologique des faciès. Le recours à des modèles sédimentologiques en terme de séquence génétique régionale, nous a conduit à considérer trois grandes provinces sédimentaires :

- la province intramontagneuse de l'Atlas saharien,
- la province des Hautes Plaines et des Hauts Plateaux,
- la province des Hammadas (Sud-Ouest algérien).

La particularité géodynamique de chacune de ces provinces géographiques est le reflet du type d'évolution de ces séries. Les coupes de terrain étudiées indiqueraient au Nord de l'Atlas saharien l'effet de processus sédimentaire de type allocyclique. En revanche, au Sud de cette province, la sédimentation est essentiellement autocyclique. Quant à la zone atlasique, ses dépôts se caractériseraient par un processus de sédimentation mixte (allocyclique et autocyclique) traduisant la complexité des phénomènes géodynamiques propre à cette région.

**Mots clés** - Tertiaire continental - Analyse markovienne - Série référentielle - Géodynamique - Modèles de dépôts - Processus allocyclique et autocyclique.

---

\* Centre de Recherche en Astronomie Astrophysique et de Géophysique *E.S.S. d'Oran CRAAG; B.P. 1505, Haï El. M'Naouer USTO 31 000, Algérie.*

\*\* Laboratoire de Paléontologie stratigraphique et Environnement, Faculté des Sciences de la Terre, de Géographie et d'Aménagement de Territoire, *Université d'Oran, B.P. 1524, Algérie.*

\*\*\* Département de Géologie, Université de Tlemcen, *B.P. 119 Tlemcen, Algérie.*

\*\*\*\* Centre Universitaire de Jijel *18 000, Algérie.*

- *Manuscrit déposé le 30 Octobre 1999, accepté après révision le 10 Octobre 2000*

## ESTABLISHMENT OF THE MAIN REFERENTIAL SERIES OF ALGERIAN LOWER TERTIARY CONTINENTAL WITH MARKOVIAN METHOD - GÉODYNAMIC INTERPRETATION -

### ABSTRACT -

The Markov analysis of the lower Tertiary non-marine sediments of the sedimentary sets in Algeria has allowed us to put forward several important facts. While consulting some earlier works, we have been able to define several transitions matrices resulting of markovian analysis. This method has confirmed the existence of three types of facies that are corresponding to the main series references of the lower Tertiary continental (non-marine of sedimentary) lithofacies in Algeria. In fact the conception of sedimentologic patterns in terms of genetic sequences specific to each studied region suggests three vast environmental provinces:

- Intramontainous province of the saharan Atlas,
- High "Plaines" province and High "Plateaux" province,
- Hammadas province (South-Western of Algeria).

The specific geodynamics of each geographical province of Algeria shows a real compatibility with the type of series evolutions. The study of some geological outcrops in the Northern fields of the Saharian Atlas shows that sedimentary processes are controlled by the allocyclic parametrs. To the South of the Saharan Atlas, the sedimentation becomes autocyclic. Regarding the atlasic belt, the sedimentation develops in a simultaneous mixed process (allocyclic and autocyclic), showing a complex geodynamics in the region.

**Key-words** - Tertiary continental - Markovian analysis - Referential series - Geodynamics - Depositional model - Allocyclic process and autocyclic process.

### INTRODUCTION

La présente note a pour but de résoudre l'ordre naturel des successions de faciès sédimentaires ainsi que leur évolution géodynamique. A cet effet, 29 coupes levées par différents auteurs (Laffitte 1939, Flandrin 1948, Bassoullet 1973, Mahboubi 1983-1995, Bensalah 1987-1989 et Nadji 1997) dans les terrains continentaux du territoire algérien, d'âge éocène *s.l.* ont été analysées selon la méthode de Markov. Dans l'état actuel des connaissances, 7 coupes seulement ont fait l'objet de publications. Précisons que les repères biostratigraphiques y sont généralement rares et mal répartis (13 coupes seulement se sont révélées fossilifères).

L'utilisation des chaînes de Markov en sédimentologie est souvent pratique pour *décrire les processus de sédimentation* ou bien pour *comparer l'évolution des faciès sédimentaires* entre les différentes séries (Guillaume, 1977). Depuis, d'autres auteurs ont apporté leur contribution dans la reconnaissance des processus cycliques de la sédimentation des terrains d'âge indifférencié. Dans la présente étude nous adoptons la démarche analytique de Miall (1976) relative aux séries sédimentaires. Cet auteur démontra l'importance de l'analyse markovienne dans la reconstitution de l'ordre naturel des successions des faciès. En outre, Jourani et Delfaud (1987) ont montré

-6°

-3°

0°

3°

6°

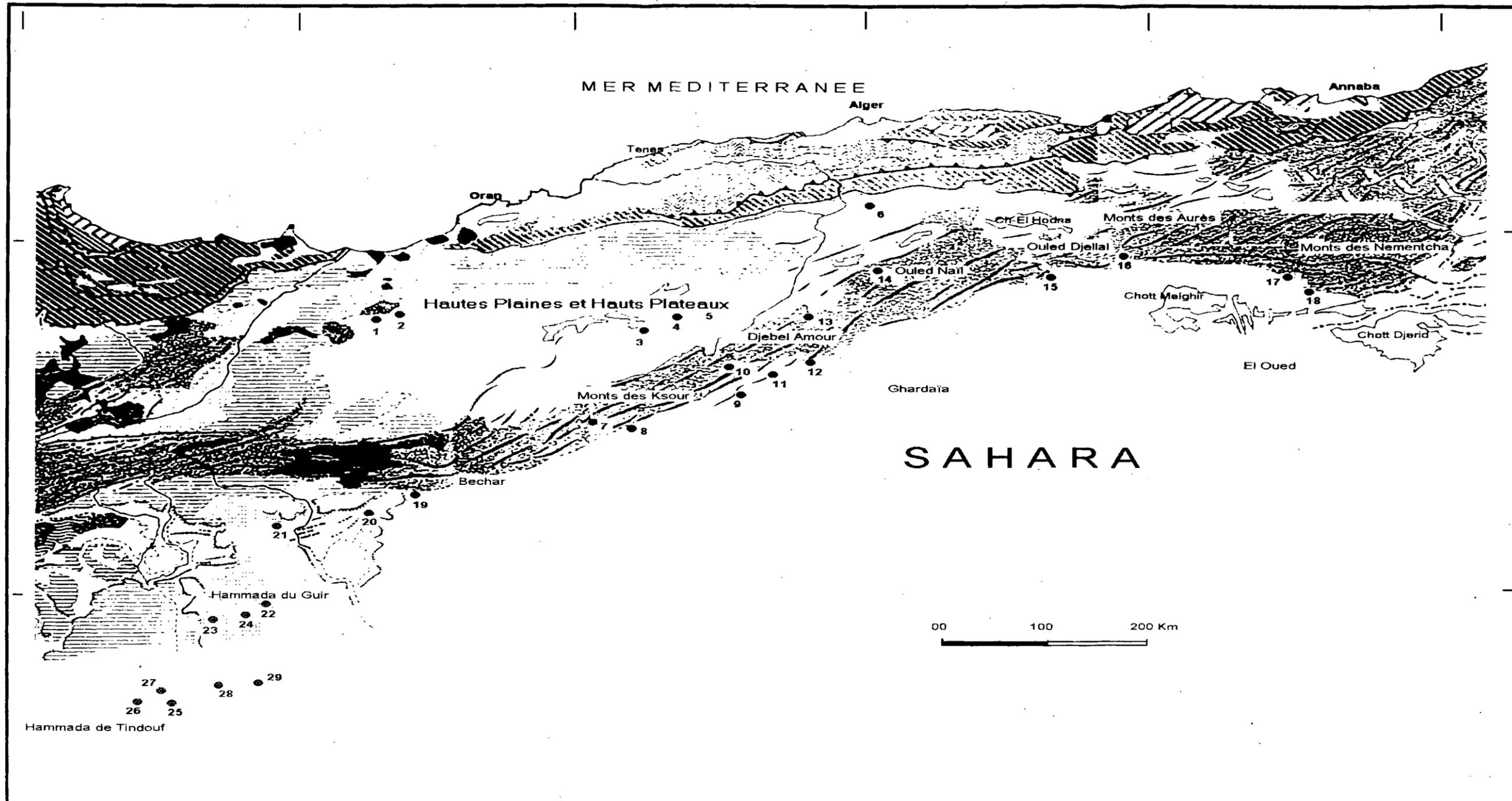
9°

35°

35°

30°

30°



**LEGENDE**

- **Domaine des Hautes Plaines et des Hauts Plateaux** : 1- Djebel de Mékaidou, 2- Djebel Ouazzène, 3- Kerdada, 4- Chebiket Aïcha, 5- Hadjrat Zennad, 6- Ksar El Boukhari.

- **Domaine atlasique** : 7- Teniet Amara, 8- Teniet Arzina, 9- El Kohol, 10- El Arouia, 11- Oued Meguerchi, 12- El-Maïa, 13- Nord-Est d'Aflou, 14- Nord-Est de Djelfa, 15- El Faïdja, 16- El Kantara, 17- Djebel Abiod-Aïn M'dila, 18- Zerif El Ouar-Négrine.

- **Domaine saharien**: 19- Messaouer El Atchan, 20- Djorf Torba, 21- Nord-Est de Méridja, 22- Djebel Ben Sour, 23- Djebel Berehil, 24- Gour Rouiden, 25- Glib Zegdou, 26- Gour Lazib (1), 27- Gour Lazib (2), 28- Gour Tizi N'daguin, 29- Gour Mohani.

Fig. 1 - Carte de localisation des principales coupes référentielles du Tertiaire continental d'Algérie (extrait de la carte morphostructurale du Maghreb, Birot, 1970; modifié)

*Location map of main referential outcrops of Algerian Tertiary continental (Extracted from the Maghreb morphostructural map, in Birot, 1970; modified)*

l'importance des chaînes de Markov dans l'établissement de modèles de successions de faciès dans les assises phosphatées des bassins marocains.

Les dépôts sédimentaires admettent souvent lors de leur mise en place, des processus complexes pour constituer l'objet-événement ou la variable aléatoire (stochastique) d'une série sédimentaire. Notons que, dans une région donnée, les successions de faciès sont généralement conditionnées soit par les processus hydrodynamiques soit par les facteurs géodynamiques. Dans un environnement sédimentaire, une suite de faciès (séquence) s'effectue de façon aléatoire et sans mémoire du passé entre  $t_0$  (temps présent) et  $t_n$  (temps futur) selon un gradient sédimentologique bien défini par le processus sédimentaire.

Dans l'analyse markovienne, les transitions les plus fortes constituent la série référentielle des faciès sédimentaires ou série naturelle. L'identification de cette dernière est basée essentiellement sur la reconstitution de l'ordre successif naturel de la juxtaposition des lithofaciès. Etant donné la monotonie et la récurrence des faciès étudiés (d'âge éocène), le procédé mathématique va nous permettre de traiter de manière quantitative, l'ordre naturel des processus répétitifs d'un phénomène chronique (au sens statistique) tel que celui de la sédimentation. *L'introduction du calcul matriciel dans la résolution de l'ordre chronologique des lithofaciès nous permettra d'établir les différentes séries référentielles propres à chaque province géographique du territoire algérien* (fig.1). Le caractère descriptif du lithofaciès et la stratonomie des bancs sédimentaires constituent une condition suffisante pour la généralisation des séquences naturelles de faciès. Cette dernière constitue la grille de décodage de l'analyse séquentielle (Kazi-Tani, 1986).

## I- GENERALISATION DES SEQUENCES NATURELLES DE FACIES SEDIMENTAIRES

La sédimentologie des terrains continentaux tertiaires pose souvent aux géologues de grands problèmes dans l'interprétation morpho-structurale, et ce, du fait d'un manque de diversité en matière de lithofaciès et de la rareté des fossiles stratigraphiques. La méthode utilisée pour l'échantillonnage (association de faciès sédimentaires) se base notamment sur le comptage discret des couples de faciès rencontrés sur une même verticale de la série étudiée. La récurrence des faciès et les variations stratonomiques au niveau de chaque coupe locale, constituent les paramètres fondamentaux pour la reconstitution des matrices de Markov. Pour ceci, nous avons sélectionné plusieurs coupes référentielles des terrains continentaux tertiaires (éocènes *s.l.*), respectivement réparties dans les trois domaines géographiques suivants: le domaine des Hautes Plaines et des Hauts Plateaux, le domaine de l'Atlas saharien et le domaine des Hammadas.

Les formations étudiées sont de nature pétro-sédimentaire variée. Elles sont essentiellement silico-clastiques et admettent quelques passées carbonatées et anhydritiques. Les lithofaciès identifiés sont ceux de la classique suite génétique de Lombard (1956) composée fondamentalement de cinq termes classés en fonction d'un gradient granulométrique décroissant des lithofaciès: "A, B, C, D et/ou E".

S.D	surfaces discontinues (de différentes natures)
A	faciès grossier (conglomérats)
B	faciès moyen à fin (grès, silts et grésos-argileux)
C	faciès fin à très fin (argiles et argilo-gréseux)
D	faciès carbonaté (calcaire lacustre et marno-calcaire)
E	faciès anhydritique (gypse et anhydrite)

Légende de la série utilisée pour la présente étude.

**A - Reconstitution des transitions**

**a - Matrice des données (M I)**

La matrice est représentée sous forme d'un tableau à double entrée dont les abscisses et les ordonnées comportent les mêmes index de faciès [A-B- C -D]. Dans les autres cases sont portés le nombre de contacts binaires des lithofaciès (aij); aux extrémités de chaque ligne et de chaque colonne sont enregistrées la sommation des contacts correspondants ainsi que l'effectif de l'ensemble des contacts.

**b - Matrice calculée (M II)**

Cette matrice résulte du calcul du produit de la somme d'une ligne par la somme de la colonne correspondante, le total est divisé par l'effectif des contacts pour chaque cas de M II (Guerrak, 1984).

$$MII = \frac{\sum ai * \sum aj}{\sum aij}$$

$\sum ai$ : somme des transitions par ligne  
 $\sum aj$ : somme des transitions par colonne  
 $\sum aij$ : effectif global des transitions

**c - Matrice des transitions (M III)**

Cette matrice est obtenue en effectuant la différence des deux matrices précédentes.

$$M III = M I - M II$$

**B- Les séries de référence**

Ces séries correspondent aux séries naturelles de faciès obtenues des différentes transitions. Les indications de signes sont importantes. Les valeurs positives sont classées selon une hiérarchie décroissante indiquant des transitions réelles et les valeurs négatives représentent des transitions fictives qui sont écartées selon les principes de la méthode utilisée.

Une série naturelle de faciès commence généralement par les transitions les plus fortes. La représentation du schéma graphique des différentes transitions possibles entre les lithofaciès des terrains continentaux tertiaires étudiés indique la présence d'une ou de plusieurs séries référentielles (SEQ I à IV, fig.2). L'application de cette analyse aux terrains tertiaires et notamment éocènes de l'Atlas saharien central nous a permis de constater l'existence de plusieurs séries naturelles qui sont soit rétrogradantes (transgressives) d'après Lombard (séq-01), soit progradantes (regressives) de type atlasique (séq-02: Nadji, 1997).

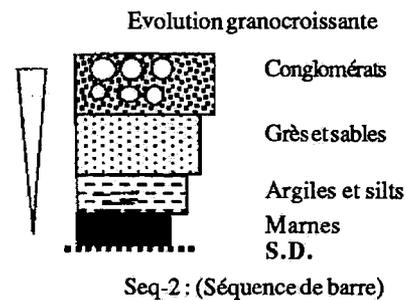
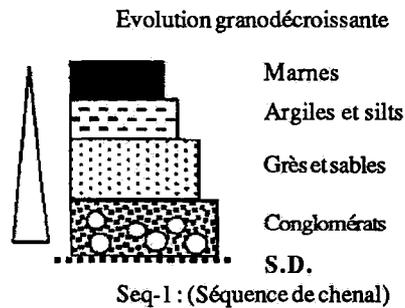
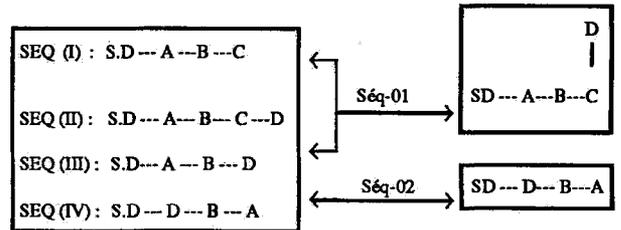


Fig. 2- Exemple d'évolution des séries naturelles des lithofaciès atlasiques (Nadji, 1997).

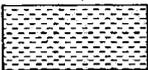
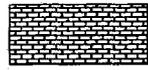
**Example of natural series evolution at Atlasic lithofacies (Nadji, 1997).**

## II - DESCRIPTION LITHOSTRATIGRAPHIQUE ET ANALYSE MARKOVIENNE DES SÉRIES CONTINENTALES TERTIAIRES

Dans ce chapitre, les différentes coupes du Tertiaire continental ancien d'Algérie sont décrites par province géographique pour en déduire la fréquence des transitions de faciès sédimentaires. Celles-ci représentent la matrice des données de l'analyse markovienne.

Afin de faciliter la lecture des figures, nous proposons une légende commune à toutes les coupes de terrain étudiées. La numérotation de la colonne gauche de chaque coupe représente le numéro de banc décrit par son auteur (exemple: coupe de Dj. Mékaïdou: 1 à 13, El Kohol: 1 à 28). L'indexation lithostratigraphique est désignée par un des termes alphabétiques de la suite imposée (A, B, C, D et E). La légende se présente comme suit:

- Fm: niveau fossilifère à mammifères
- Fg: niveau fossilifère à gastéropodes
- Fc: niveau fossilifère à charophytes

Index	Figuré (lithofaciès)	description des lithofaciès
S.D.	---	Surface discontinue (S.D.)
E		Couche d'anhydrite et de gypse
C		Couche argileuse, silteuse, ou marneuse
B		Grès et sables fins à figures sédimentaires (rides de courants d'eaux et lamination)
B		Grès grossier à moyen plus ou moins compact
A		Conglomérats et microconglomérats, essentiellement polygéniques et hétéromorphiques à ciment carbonaté
D		Faciès carbonatés. (calcaires lacustres et marno-calcaires)
D		Dalle carbonatée (calcaires turoniens)

Légende synthétique des différentes coupes référentielles des terrains étudiés

### A- Domaine des Hautes Plaines et des Hauts Plateaux

#### - Les Hautes Plaines oranaises

Dans la région d'El Aricha (au Sud de Tlemcen) les Djebels Mékaïdou et Ouazzène (fig. 1) montrent une série continentale d'âge éocène (coupes 1 et 2, fig.3). La coupe la plus représentative est celle de Djebel Mékaïdou (Bensalah *et al.*, 1987 et Bensalah, 1989). Les terrains se présentent sous forme d'une alternance régulière de bancs de conglomérats et de niveaux silto-gréseux caractérisée par de nombreux encroûtements carbonatés riches en calcite (Benest et Bensalah, 1995). Les conglomérats hétérométriques sont formés essentiellement d'éléments jurassiques et crétacés provenant du démantèlement des reliefs avoisinants. Localement, les couches de silts renferment des moules internes de gastéropodes continentaux appartenant aux genres *Vicentinia* et *Romanella* avec une espèce très proche de *Romanella hopei* (De Serres), bien connue dans le Lutétien et le Bartonien du Sud-ouest de la France et du Nord de l'Espagne (Plaziat, 1973 et 1984).

#### - Les Hauts Plateaux centraux et la bordure sud tellienne

Au Nord d'El Bayadh et au Sud de Ksar El Boukhari (fig.1) les terrains continentaux tertiaires affleurent largement dans les secteurs de Kerdada, Chebket Aïcha, Hadjerat Zennad (Mahboubi, 1995) et Oum El Adame (Guillomot, 1952 et Bensalah *et al.*, 1988). Dans cette région, les couches de base sont souvent en contact normal avec les calcaires turoniens (coupes 3, 4, 5 et 6, fig. 3). La coupe la plus complète est celle de Hadjerat Zennad. Elle débute par des argiles sableuses, des sables roses, puis vers le sommet apparaissent trois bancs de calcaire lacustre. Le premier banc a fourni des oogones de characées d'âge éocène inférieur (Mebrouk *et al.*, 1997), des gastéropodes, des ostracodes et de rares restes de poissons. Au microscope,

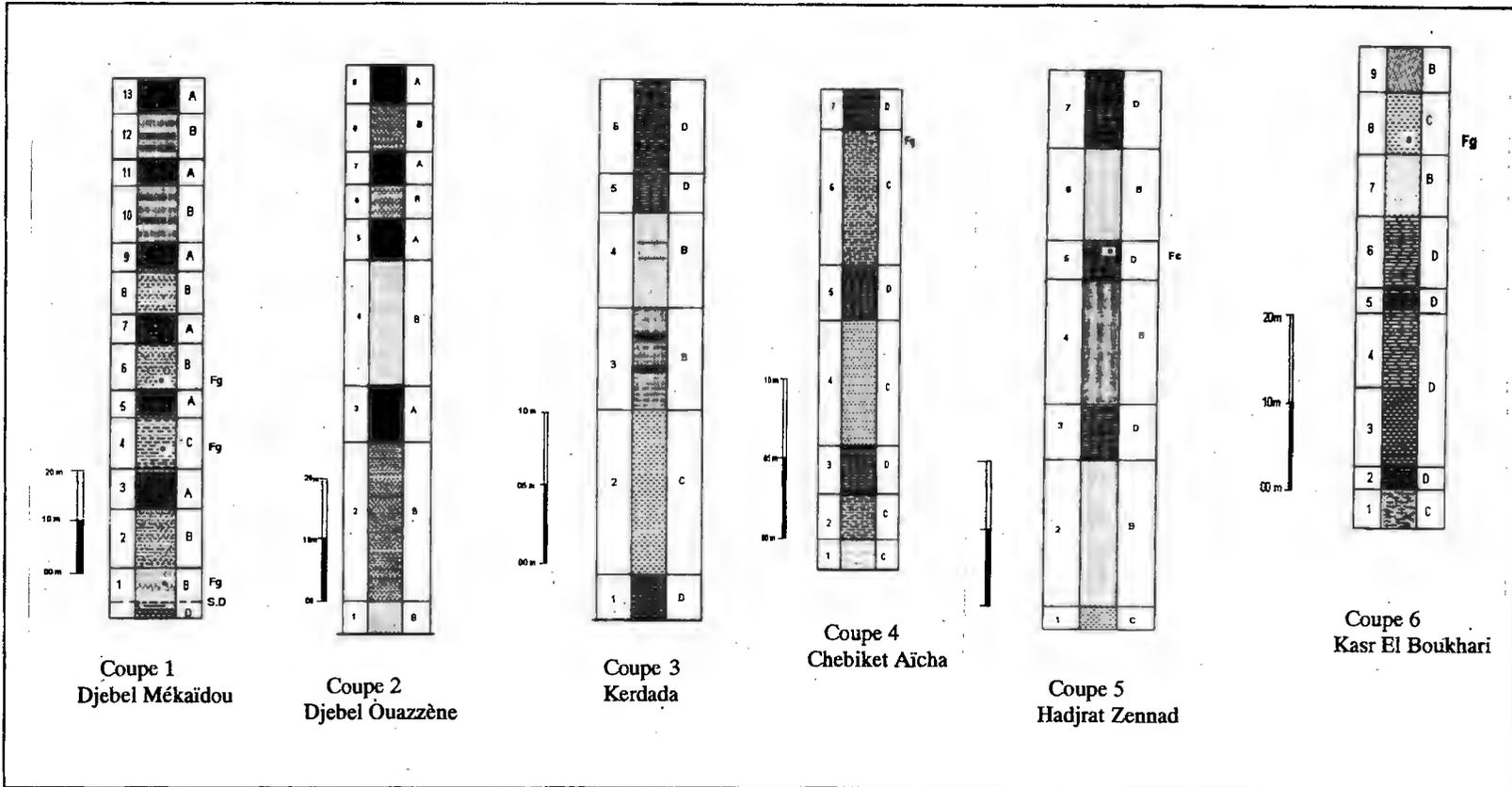


Fig. 3 - Coupes référentielles du Tertiaire continental des Hautes Plaines, des Hauts Plateaux et la bordure sud-tellienne  
*Referential outcrops of the Tertiary continental of the High "Plaines" and "Plateaux" and south tellain belt*

ce calcaire est crypto-cristallin (mudstone) et équigranulaire. Il est constitué de grains de quartz et de débris de coquilles d'ostracodes calcifiés.

Le résultat de l'analyse statistique de ces terrains montre que l'évolution des lithofaciès de ce domaine est typiquement grano-décroissante (fining upward). Le schéma de transition déduit des matrices de Markov est comme suit: A-B-D/C-S.D

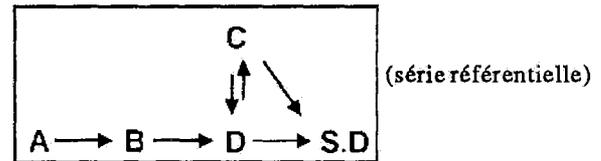


Schéma représentatif des transitions des faciès des Hautes Plaines.

	S-D	A	B	C	D	Σ
SD	0	0	1	1	0	2
A	0	0	7	1	0	8
B	0	9	3	0	4	16
C	0	1	2	1	3	7
D	2	0	2	2	1	7
Σ	2	10	15	5	8	40

MI : Matrice des données

	S-D	A	B	C	D
SD	0.10	0.40	0.75	0.25	0.40
A	0.40	2	3	1	1.60
B	0.80	4	6	2	3.20
C	0.35	1.75	2.62	0.87	1.40
D	0.35	1.75	2.62	0.87	1.40

MII : Matrice calculée

	S-D	A	B	C	D
SD	-0.10	-0.40	0.25	0.75	-0.40
A	-0.40	-2	4	0	-1.60
B	-0.80	5	-3	-2	0.80
C	-0.35	-0.75	-0.62	0.13	1.60
D	1.65	-1.75	-0.62	1.13	-0.40

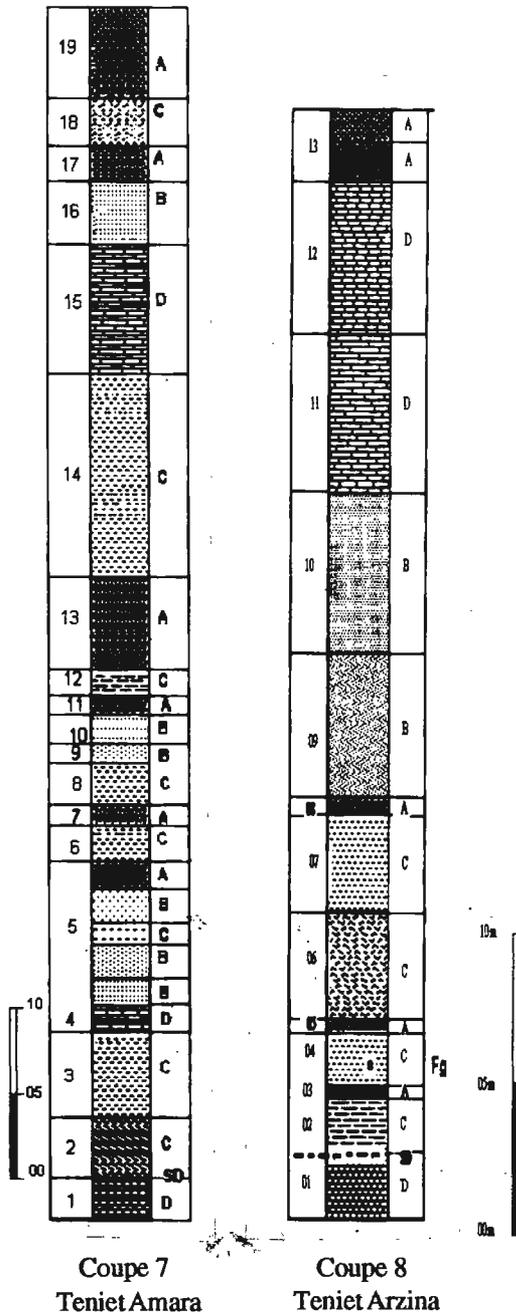
MIII : Matrice des transitions

## B - Domaine de l'Atlas saharien

### - Les Monts des Ksour

Sur le versant sud des Monts des Ksour (fig.1), les seules coupes effectuées sur le Tertiaire continental se localisent à Teniet Amara (Mahboubi, 1995) et Teniet Arzina (Bassoulet, 1973). Le découpage lithostratigraphique nous a permis de mettre en évidence l'existence d'une variation latérale de faciès de ces terrains (coupes 7 et 8, fig. 4). La coupe référentielle est celle de Teniet Amara. La succession montre que sur les calcaires dolomitiques turoniens (Bassoulet, 1973), et en concordance, repose une formation continentale débutant par des marnes, des calcaires lacustres à *Romanella* et *Ampullaria* et oogones de characées (Bassoulet, 1973 et Bassoulet *et al.*, 1993) d'âge éocène, des argiles sableuses et se terminant par des grès rouges et des conglomérats (Mahboubi, 1983 et 1995).

Le résultat de l'analyse statistique des lithofaciès montre une évolution mixte. La première série des transitions est essentiellement grano-décroissante. La deuxième série montre des transitions inversées avec grano-classement.



Le schéma de transition déduit des matrices de Markov est comme suit:

**A-C-D/S.D** (1<sup>ère</sup> série référentielle)

et

**C-D-B/S.D-A** (2<sup>ème</sup> série référentielle)

	S-D	A	B	C	D	Σ
SD	0	1	0	2	0	3
A	0	1	1	7	0	9
B	0	3	3	1	1	8
C	0	6	2	2	2	12
D	3	0	2	0	1	6
Σ	3	11	8	12	4	38

MI : Matrice des données

	S-D	A	B	C	D
SD	0.24	0.87	0.63	0.95	0.31
A	0.71	2.60	1.89	2.85	0.95
B	0.63	2.31	1.68	2.53	0.84
C	0.95	3.47	2.53	3.79	1.26
D	0.47	1.74	1.26	1.89	0.63

MII : Matrice calculée

	S-D	A	B	C	D
SD	-0.24	0.13	-0.63	1.05	-0.31
A	-0.71	-1.60	-0.89	4.16	-0.95
B	-0.63	0.69	1.32	-1.53	0.16
C	-0.95	2.53	-0.53	-1.79	0.74
D	2.53	-1.74	0.74	-1.89	0.37

MIII : Matrice des transitions

Fig. 4 - Coupes référentielles du Tertiaire continental de l'Atlas saharien occidental (Monts des Ksour)  
*Referential outcrops of the Tertiary continental of the western Atlasic saharian (Ksour mountains)*

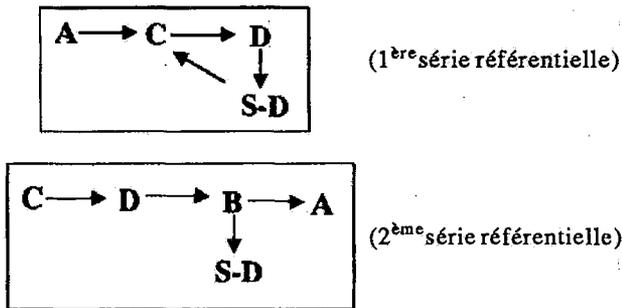


Schéma représentatif des transitions des faciès des Monts des Ksour.

### Le Djebel Amour

Les terrains continentaux du Tertiaire ancien de cette partie de l'Atlas (fig.1), affleurent en concordance avec les calcaires dolomitiques turoniens dans les localités suivantes: El Kohol, El Arouia, Oued Meguerchi, El Maïa et enfin au Nord-Est d'Aflou.

Dans les quatre premières localités (coupes 9, 10, 11 et 12, fig.5) la série complète représentant le Tertiaire continental ancien (éocène *s. l.*) affleure à El Kohol où a été définie la formation d'El Kohol (Mahboubi *et al.*, 1986). La succession verticale des faciès nous a permis de mettre en évidence quatre membres qui sont de bas en haut:

- un membre de transition gypso-marneux formé par des intercalations de gypses et de marnes,
- un membre détritique inférieur constitué par alternance des argiles et de grès,
- un membre calcaro-marneux intermédiaire formé par une alternance de calcaires lacustres et de marnes. Un niveau marneux a livré une faune composée de mammifères terrestres et une flore de charophytes d'âge éocène,
- et enfin un membre détritique supérieur composé de grès grossiers.

Au Nord-Est d'Aflou (fig. 1) la série tertiaire présente des lacunes stratigraphiques importantes (Nadji, 1997). Elle est constituée à la base par un matériel silico-clastique grossier et se termine par des alternances argilo-gréseuses (coupe 13, fig. 5).

	S-D	A	B	C	D	E	Σ
SD	0	3	0	0	0	3	6
A	1	2	11	2	1	0	17
B	1	11	13	5	1	0	31
C	0	3	6	2	4	3	16
D	4	0	0	6	2	0	12
E	1	0	3	2	0	0	6
Σ	7	19	33	17	8	6	90

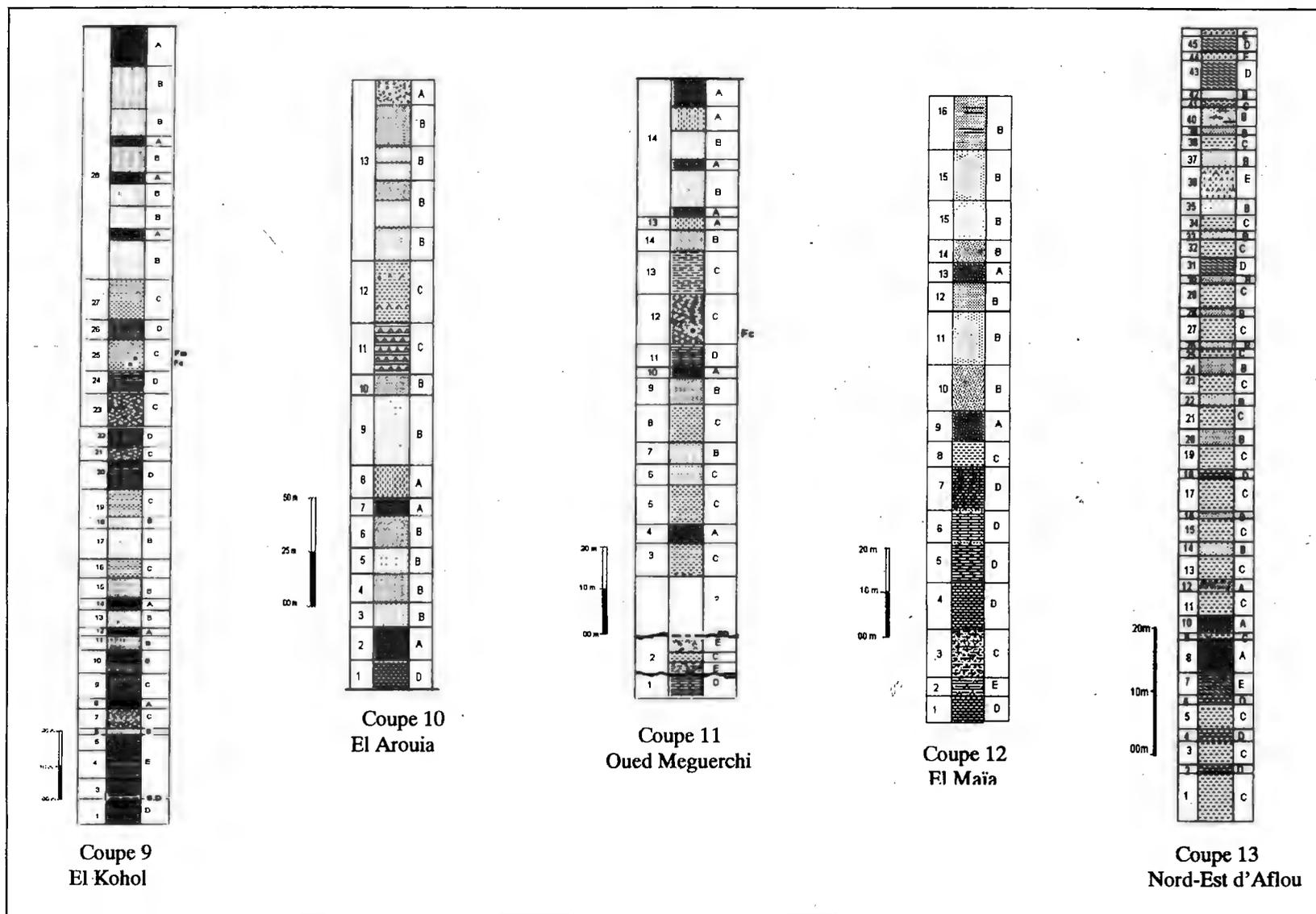
MI : Matrice des données

	S-D	A	B	C	D	E
SD	0.46	1.27	2.20	1.13	0.53	0.40
A	1.32	3.59	6.23	3.21	1.51	1.13
B	2.41	6.54	11.36	5.85	2.75	2.06
C	1.40	3.80	6.60	3.40	1.60	1.20
D	0.93	2.53	4.40	2.26	1.07	0.80
E	0.46	1.26	2.20	1.13	0.53	0.40

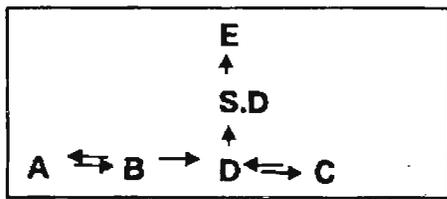
MII : Matrice calculée

	S-D	A	B	C	D	E
SD	-0.46	1.73	-2.20	-1.13	-0.53	2.60
A	-0.32	-1.59	4.77	-1.21	-0.51	-1.13
B	-1.41	4.46	1.64	-0.85	-1.75	-2.06
C	-1.40	-0.80	-0.60	-1.40	2.40	1.80
D	3.07	-2.53	-4.40	3.74	0.93	-0.80
E	0.54	-1.26	0.80	0.87	-0.53	-0.40

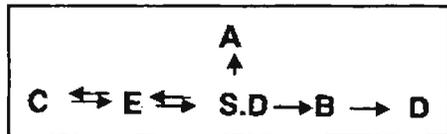
MIII : Matrice des transistions



**Fig. 5 - Coupes référentielles du Tertiaire continental de l'Atlas saharien central (Djebel Amour)**  
**Referential outcrops of the tertiary continental of the central Atlas saharien (Djebel Amour)**



(1<sup>ère</sup> série référentielle)



(2<sup>ème</sup> série référentielle)

Schéma représentatif des transitions des faciès du Djebel Amour.

Le résultat de l'analyse statistique des lithofaciès de ces terrains montre que le type d'évolution est également mixte dans ce domaine. On reconnaît une première série composée de faciès granodécroissants à la base et une seconde série formée de faciès granocroissants au sommet. Le schéma des transitions déduit des matrices de Markov est le suivant: A - B - D/S.D - E (1<sup>ère</sup> série référentielle) et C - E - S.D/A - B - D (2<sup>ème</sup> série référentielle).

**- Les Monts des Ouled Naïl et des Ouled Djellal**

Dans la région de Djelfa (fig.1), le Tertiaire continental est représenté par une formation continentale détritique composée d'une alternance d'argiles gréseuses rouges et de conglomérats hétérogènes à éléments le plus souvent arrondis. La succession verticale de ces faciès est irrégulière. L'épaisseur des minéraux argileux est plus importante que celle des bancs conglomératiques qui ne dépasse guère le mètre (coupe 14, fig. 6).

Dans les Ouled Djellal (fig.1), la coupe d'El Faïdja (coupe 15, fig.6), montre une succession marine allant du Danien au Lutétien (Flandrin, 1948) où apparaît vers la base un niveau continental représenté par des calcaires lacustres à *Pseudoceratodes* (Jodot, 1953).

Le résultat de l'analyse statistique des lithofaciès des Ouled Naïl montre que leur évolution est mixte. Nous constatons que malgré la réduction du nombre de contacts, la série garde toujours les deux types d'évolution granodécroissante et granocroissante.

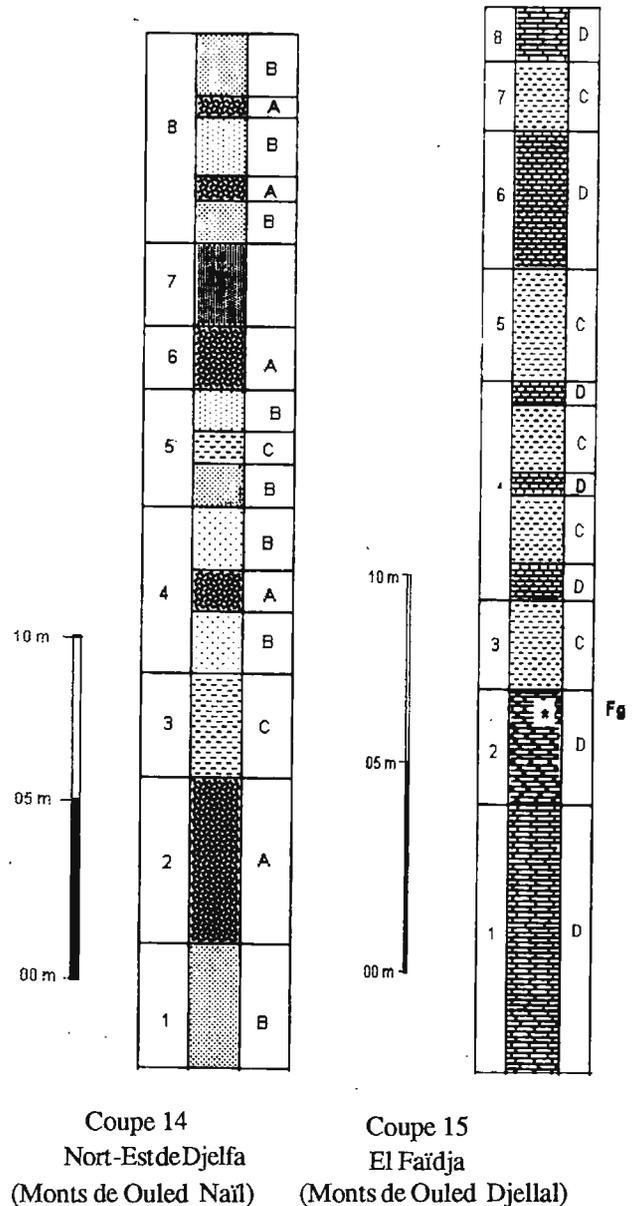


Fig. 6 - Coupes référentielles du Tertiaire des Monts des Ouled Naïl et des Ouled Djellal

**Referential outcrops of the Tertiary continental of the Atlasic Ouled Naïl and Ouled Djellal Mountains**

Le schéma représentatif des transitions déduit des matrices de Markov est le suivant : B - A (1<sup>ère</sup> série référentielle) et A - B (2<sup>ème</sup> série référentielle).

	S-D	A	B	C	D	Σ
SD	0	0	0	0	0	0
A	0	0	4	1	0	5
B	0	5	2	1	0	8
C	0	0	2		5	7
D	0	0	0	5	1	6
Σ	0	5	8	7	6	26

MI : Matrice des données

	S-D	A	B	C	D
SD	0	0	0	0	0
A	0	0.96	1.54	1.35	1.15
B	0	1.54	2.46	2.15	1.85
C	0	1.35	2.15	1.38	1.61
D	0	1.15	1.85	1.61	0.38

MII : Matrice calculée

	S-D	A	B	C	D
SD	0	0	0	0	0
A	0	-0.96	2.46	-0.35	-1.15
B	0	3.46	-0.46	-1.15	-1.85
C	0	-1.35	-0.15	-1.88	3.39
D	0	-1.15	-1.85	3.39	-0.38

MIII : Matrice des transitions

**B → A** (1<sup>ère</sup> série référentielle)

**C → D** (2<sup>ème</sup> série référentielle)

Schéma des transitions des faciès desz Monts des Ouled Naïl.

### Les Monts des Aurès et des Nementcha

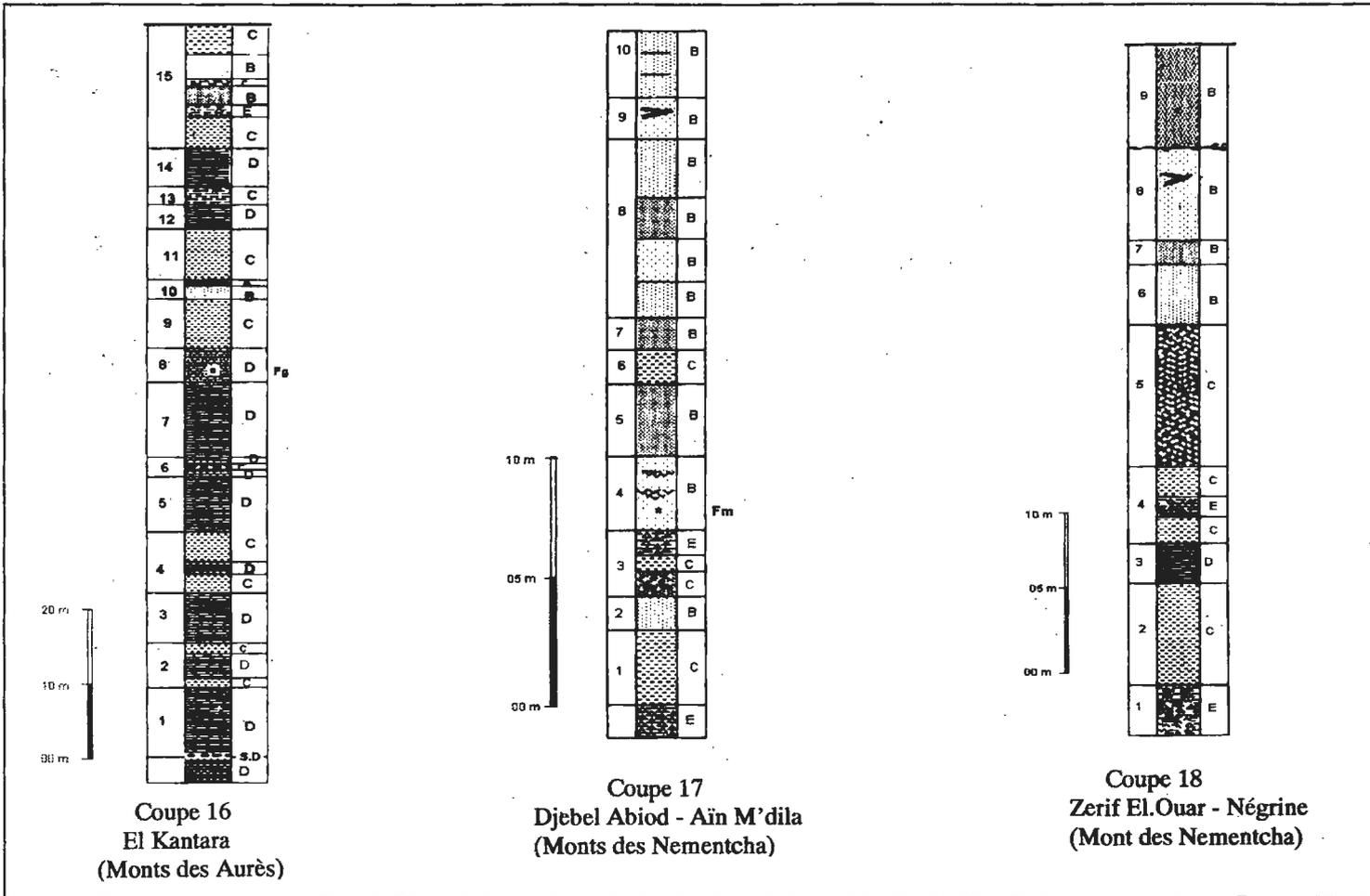
Près de la localité d'El Kantara (fig.1), nous avons noté deux intercalations continentales paléogènes dans une épaisse série marine (Laffitte, 1939 et Mahboubi, 1983). L'intercalation de base est formée par un banc de calcaire lacustre à *Pseudoceratodes laffittei* (Jodot, 1953) et celle du sommet est représentée par un complexe de grès et de marnes (coupe 16, fig. 7).

Sur le versant sud des Monts de Nementcha (fig. 1), les deux coupes levées à Aïn M'dila et Négrine (coupes 17 et 18, fig.7) montrent l'existence d'une formation continentale d'âge éocène supérieur (Coiffait *et al.*, 1984 et Mahboubi, 1995). Localement, au Nord de Aïn M'dila (au Sud de Djebel Abiod) et au dessus de l'Eocène moyen, affleure une série sablo-gréseuse fluvio-deltaïque reposant en discordance plus ou moins nette sur les marnes gypsifères lutétiennes. Cette formation continentale disparaît latéralement et rapidement vers l'Ouest et vers l'Est où elle est soit ravinée, soit recouverte par une autre formation continentale transgressive plus récente. Dans la coupe de Zarif el Ouar, près de Négrine, les terrains continentaux du Tertiaire ancien sont moins typiques que dans la localité précédente et sont représentés par des marnes vertes, des sables et des grès.

Le résultat de l'analyse statistique des lithofaciès du Tertiaire continental des Monts des Aurès et des Nementcha présente également les deux types d'évolution:

- une première série granodécroissante tronquée par une discontinuité sédimentaire, avec des niveaux carbonatés et des bancs marno-gypsifères,

- une seconde série granocroissante, également tronquée par une discontinuité supposée sédimentaire et située au sommet de la série.



**Fig. 7 - Coupes référentielles du Tertiaire continental des Monts des Aurès et de Nementcha**  
**Referential outcrops of the Tertiary continental of the Atlasic Aures and Nementcha mountains**

Le schéma représentatif des transitions entre faciès, déduit des matrices de Markov, est comme suit:  $B - E = D/C - S.D$  (1<sup>ère</sup> série référentielle) et  $D - S.D = B - A - C$  (2<sup>ème</sup> série référentielle).

	S-D	A	B	C	D	E	$\Sigma$
SD	0	0	1	1	1	0	3
A	0	0	0	1	0	0	1
B	1	1	7	3	0	1	13
C	0	0	4	1	8	3	16
D	4	0	0	8	2	0	12
E	0	0	3	3	0	0	6
$\Sigma$	7	1	15	17	11	4	51

MI : Matrice des données

	S-D	A	B	C	D	E
SD	0.17	0.06	0.88	1	0.65	0.23
A	0.06	0.02	0.29	0.33	0.21	0.08
B	0.76	0.25	3.82	4.33	2.8	1.02
C	0.94	0.31	4.7	5.33	3.45	1.25
D	0.70	0.23	3.53	4	2.59	0.94
E	0.35	0.11	1.76	2	1.29	0.47

MII : Matrice calculée

	S-D	A	B	C	D	E
SD	-0.17	-0.06	0.12	0	0.35	-0.23
A	-0.06	-0.02	-0.29	0.67	-0.21	-0.08
B	0.24	0.75	3.18	-1.33	-2.80	-0.02
C	-0.94	-0.31	-0.70	-4.33	4.55	1.75
D	1.3	-0.23	-3.53	4	-0.59	-0.94
E	-0.35	-0.11	1.24	1	-1.29	-0.47

MIII : Matrice des transitions

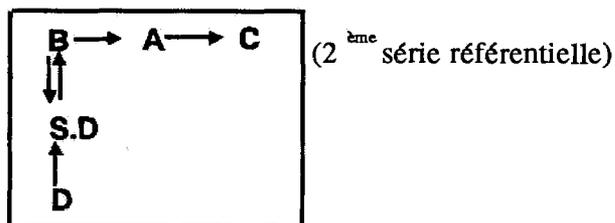
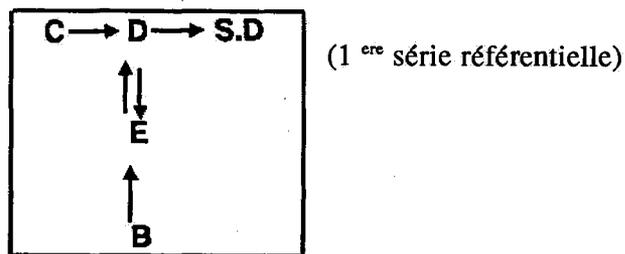


Schéma des transitions des faciès du Tetiaire continental des Monts des Aurès et des Nementcha

### C- Domaine saharien

#### *Le Sahara nord-occidental algérien*

##### *Région de Béchar*

Les trois coupes levées sur le flanc Sud du synclinal qui correspond à la Hammada de Oum Es Sebaa (fig. 1) montrent la présence d'un faciès détritique rouge dans toute la partie médiane de la formation. Cette dernière est coiffée, dans cette région, par une corniche de calcaire lacustre (Mahboubi, 1995). On note aussi l'importance et le grand développement de gypse et d'anhydrite à la base de la série détritique, et ce, depuis Kenadza jusqu'à Djorf Torba (coupes 19 et 20, fig. 8). L'épaisseur de ce faciès évaporitique s'amincit au fur et à mesure qu'on se dirige vers l'Ouest (coupe 21, fig. 8).

Le résultat de l'analyse statistique des lithofaciès des Hammadas de la région de Béchar, révèle une autre évolution de type cyclique. La série débute par un matériel grossier qui devient fin dans la partie médiane, avant de redevenir grossier. Ce cycle s'achève par un faciès carbonaté (corniche calcaire).

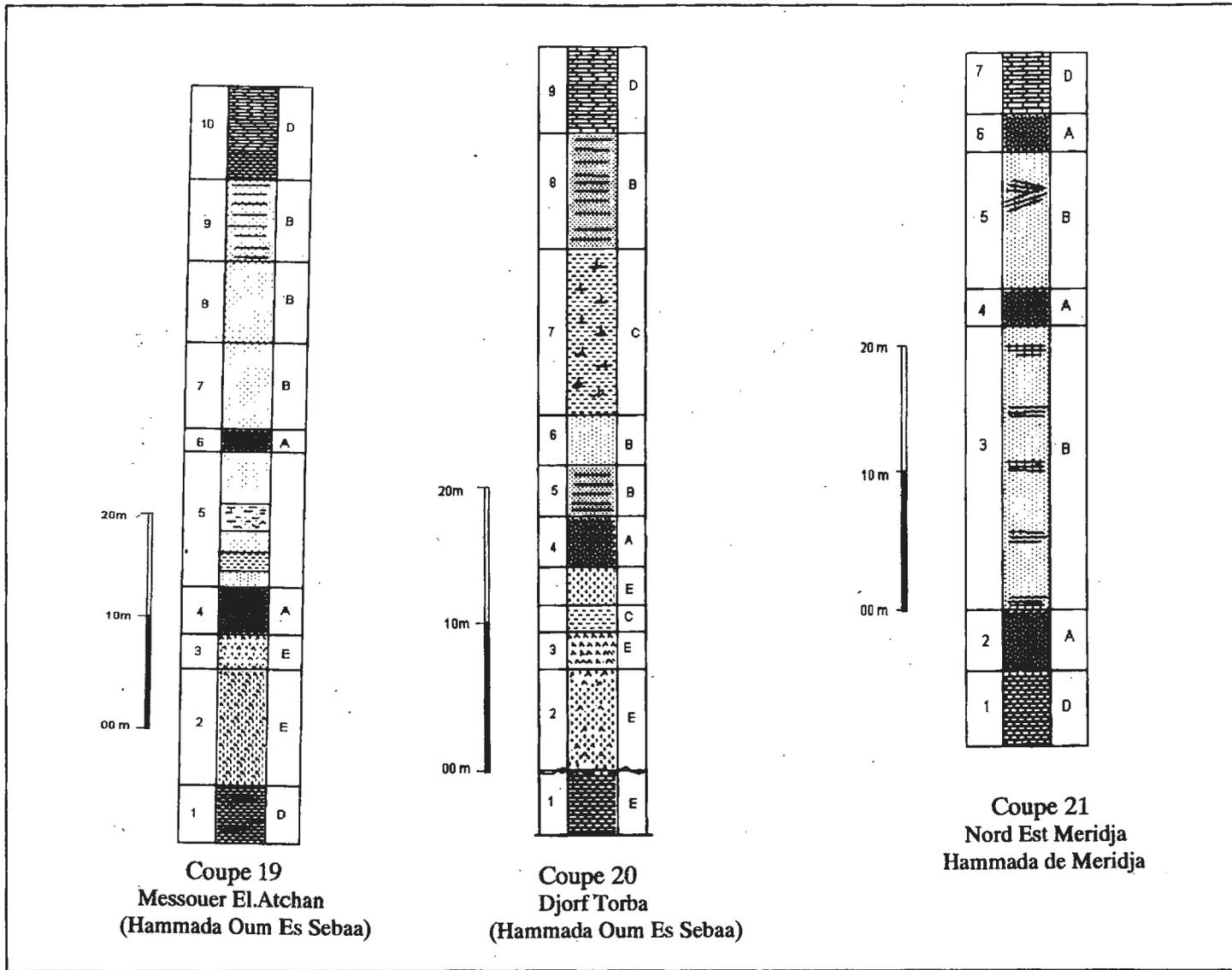


Fig. 8 - Coupes référentielles des Hammadas de la région de Béchar  
*Referential outcrops of the Hammadas region of Bechar*

Le schéma représentatif des transitions déduit des matrices de Markov est le suivant:  
A - B/C - D - S.D/E - A (série)

	S-D	A	B	C	D	E	$\Sigma$
SD	0	0	0	0	0	2	2
A	0	0	5	0	1	0	6
B	0	3	2	1	2	0	8
C	0	0	1	0	0	1	2
D	2	1	0	0	0	0	3
E	0	2	0	1	0	2	5
$\Sigma$	2	6	8	2	3	5	26

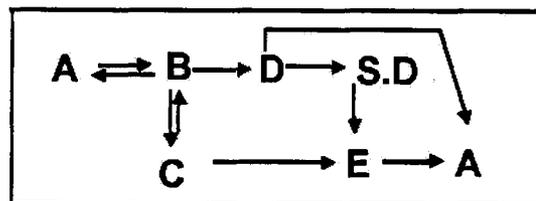
MI : Matrice des données

	S-D	A	B	C	D	E
SD	0.15	0.46	0.61	0.15	0.23	0.38
A	0.46	1.38	1.85	0.46	0.69	1.15
B	0.61	1.85	2.46	0.61	0.92	1.54
C	0.15	0.46	0.61	0.15	0.23	0.38
D	0.23	0.69	0.92	0.23	0.34	0.57
E	0.38	1.15	1.54	0.38	0.57	0.96

MII : Matrice calculée

	S-D	A	B	C	D	E
SD	-0.15	-0.46	-0.61	-0.15	-0.23	1.62
A	-0.46	-1.38	3.15	-0.46	0.31	-1.15
B	-0.61	1.15	-0.46	0.39	1.08	-1.54
C	-0.15	-0.46	0.39	-0.15	-0.23	0.62
D	1.77	0.31	-0.92	-0.23	-0.34	-0.57
E	-0.38	0.85	-1.54	0.62	-0.57	1.04

MIII : Matrice des transistions



série référentielle

Schéma des transitions des faciès du Tertiaire continental ancien des Hammadas de la région de Béchar

#### *La ceinture méridionale de la Hammada du Guir (moyenne Daoura)*

Dans le secteur de Ben Sour et Berhil et de Gour Rouidane (fig.1) les terrains du Tertiaire continental ancien reposent en contact plus ou moins apparent sur le Crétacé marin (coupes 22, 23 et 24, fig. 9). Ils peuvent être subdivisés en deux membres distincts (Mahboubi, 1995):

- Un membre gypso-marneux inférieur formé de marnes rosâtres à gypse se terminant par un mince niveau de calcaire. Latéralement, dans la partie occidentale, ce membre passe à une alternance de gypse fibreux blanc et de silts rouges ou roses.
- Un membre détritique supérieur représenté par une succession de sables et de graviers. La formation se termine par des argiles bariolées, disséquées et très ravinées.

#### *La bordure septentrionale de la Hammada de Tindouf*

Dans cette région les terrains continentaux tertiaires (fig.1) affleurent en discontinuité, et le plus souvent, ils sont représentés par la succession de trois membres lithologiquement différents (Lavocat, 1954 et Mahboubi, 1995):

- Un membre marno-gypseux inférieur formé par une succession de silts et de marnes à gypse, de couleur rouge ou blanche, qui forme le soubassement de l'ensemble des Gour. Au pied

du Glib Zegdou et des Gour Lazib (fig.1), on note deux petites intercalations dans des silts gypsifères. La première correspond à un grès silicifié, et la seconde à un calcaire fortement silicifié. Vers le sommet de ce membre, d'autres niveaux fossilifères ont été mis en évidence au Glib et dans trois points différents de la terminaison sud-orientale des Gour Lazib (coupes 25, 26, 27, 28 et 29, fig. 9).

-Un membre détritique intermédiaire essentiellement détritique dans son ensemble, mais il est très variable d'un point à l'autre, car on assiste fréquemment à des passages latéraux de faciès. Il montre une alternance de grès rouges ou roses, grossiers ou fins (Gevin *et al.*, 1974 et Mahboubi, 1995 et Mebrouk *et al.*, 1997) et de silts gréseux rouges. Les niveaux gréseux ont fourni une flore de charopytes, d'âge éocène inférieur à moyen et une faune de mammifères. Le degré évolutif de ces derniers confirme bien cet âge. Ces dépôts forment le corps principal des Gour Lazib, Gour Mohani et Glib Zegdou. Cette dernière localité offre la coupe la plus complète de ces terrains dans toute la région (coupe 25, fig. 9).

- Un membre carbonaté supérieur constitué par un calcaire lacustre silicifié, à silex. Dans la partie sud-orientale des Gour Lazib cette barre de calcaires est dédoublée et la partie médiane est formée par un calcaire à aspect crayeux.

Le résultat de l'analyse statistique des lithofaciès des Hammadas de Guir et de Tindouf confirme également une évolution cyclique. Les suites de faciès étudiés débutent par des séquences granodécroissantes avec à la base des niveaux gypsifères. Ces derniers passent progressivement à des séquences granocroissantes qui se terminent par des bancs de calcaires lacustres.

Le schéma représentatif des transitions déduit des matrices de Markov est le suivant: E - C - B/ S.D - A - B - D (série référentielle).

	S-D	A	B	C	D	E	Σ
SD	0	3	1	0	0	0	4
A	0	0	4	0	4	0	8
B	2	5	14	7	8	0	36
C	2	0		2	2	1	12
D	0	0	10	0	0	0	10
E	0	0	1	1	0	0	2
Σ	4	8	35	10	14	1	72

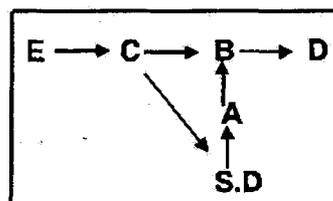
MI : Matrice des données

	S-D	A	B	C	D	E
SD	0.22	0.44	1.94	0.55	0.78	0.05
A	0.44	0.89	3.89	1.11	1.55	0.11
B	2.0	4.0	17.5	5.0	7.0	0.5
C	0.67	1.33	5.83	1.66	2.33	0.16
D	0.55	1.11	4.86	1.39	1.94	0.14
E	0.11	0.22	0.97	0.28	0.39	0.03

MII : Matrice calculée

	S-D	A	B	C	D	E
SD	-0.22	2.56	-0.94	-0.55	-0.78	-0.05
A	-0.44	-0.89	0.11	-1.11	20451	-0.11
B	0	1	-3.5	2	1	-0.5
C	1.33	-1.33	-0.83	0.34	-0.33	-0.84
D	-0.55	-1.11	5.14	-1.39	-1.94	-0.14
E	-0.11	-0.22	0.03	0.61	-0.39	-0.03

MIII : Matrice des transitions



(série référentielle)

Schéma des transitions des faciès continentaux anciens des Hammadas de Guir et de Tindouf.

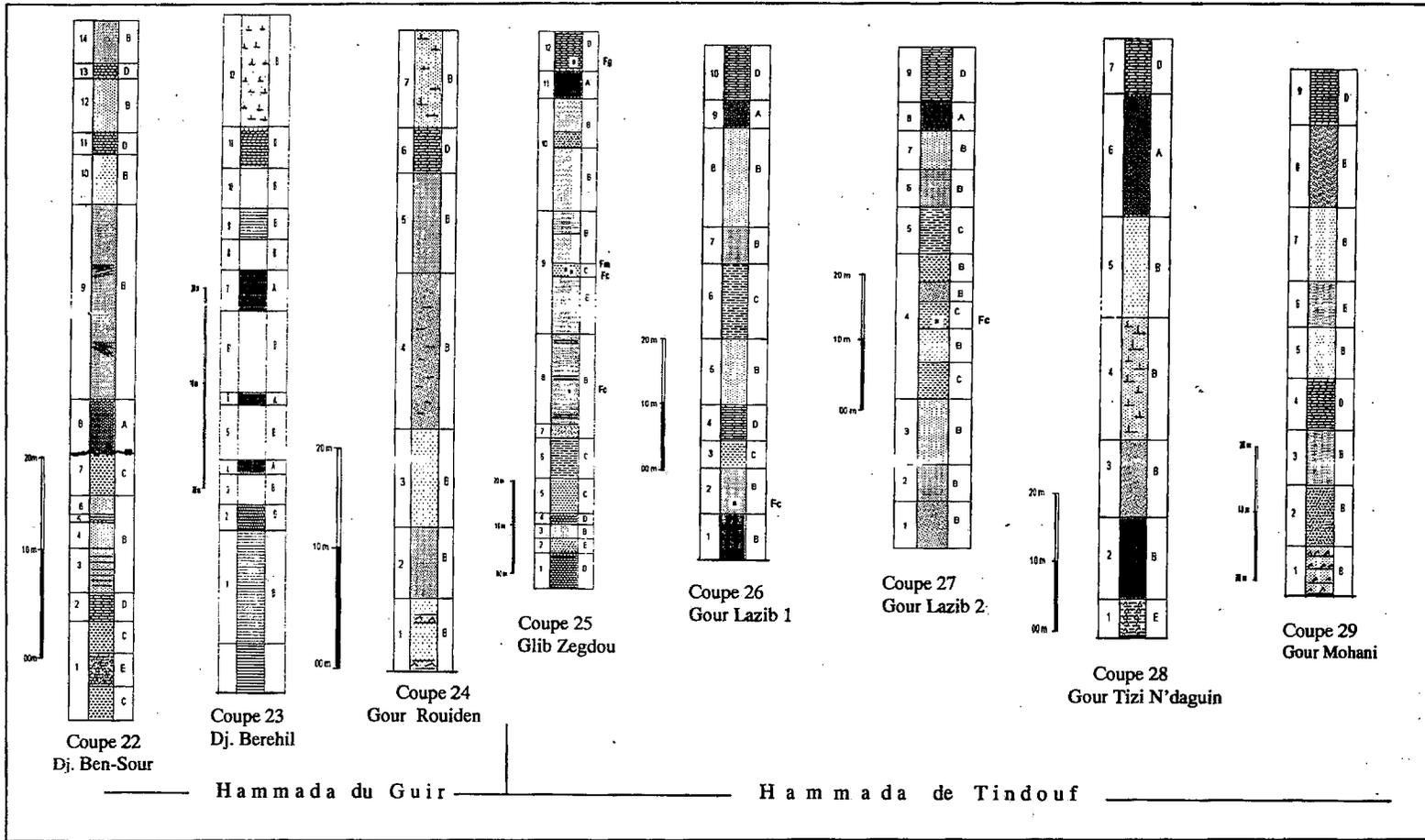


Fig. 9 - Coupes référentielles du Tertiaire continental des Hammadas de Guir et de Béchar  
*Referential outcrops of the Tertiary continental of the Guir Hammadas in Tindouf region*

### *Synthèse régionale*

La confrontation des résultats sédimentologiques et stratigraphiques associés aux calculs matriciels des transitions des lithofaciès étudiés montre des variations notables dans la répartition et la récurrence des faciès sédimentaires ainsi que dans leur stratonomie. L'application de la méthode markovienne aux terrains continentaux tertiaires d'Algérie nous a permis de bien distinguer les principales séries référentielles des terrains étudiés et de confirmer l'ordre chronologique des objets-événements à partir d'un seul paramètre naturel qu'est le lithofaciès. Les principaux résultats déduits de cette étude sont:

- l'existence de plusieurs suites référentielles de faciès sédimentaires majoritairement granodécroissants de type Fining-upward. Ce dernier caractérise généralement les séquences de chenaux souvent rencontrées dans le domaine des Hautes Plaines,
- l'existence d'une autre série référentielle de faciès à évolution mixte de type Fining-upward et Coarsening-upward qui sont respectivement rétrogradantes dans certaines régions et progradantes dans d'autres régions. Ce type d'évolution est caractéristique du domaine atlasique,
- et, enfin, l'existence de suites cycliques rétrogradantes-progradantes attribuées généralement aux séquences fluvio-lacustres et/ou celles des playas. Ces séquences sont présentes souvent dans le domaine des Hammadas.

L'acquisition de cette donnée fondamentale, que représente la série naturelle de faciès, constitue la grille de décodage séquentiel des séries sédimentaires, indispensable à la reconstitution du signal analytique séquentiel. La polarité des séquences reflète alors le type de processus cyclique ou périodique d'un système de dépôts qui est à son tour étroitement lié aux conditions physico-chimiques de l'environnement.

Nous constatons que les terrains continentaux tertiaires étudiés ont connu d'importants changements de régime hydrodynamique et climatique marqués par les alternances des saisons humides et sèches (Benest et Bensalah, 1995; Bensalah *et al.*, 1991). Ces changements sont aussi intimement liés aux facteurs géodynamiques qui se manifestent le long de la bordure septentrionale de la plaque nord-africaine.

Le principal agent responsable de l'architecture de ces terrains résulte de l'effet de la subsidence tectonique dans la région hammadienne. Les contraintes tectoniques qui s'exercent depuis le début du Tertiaire et en particulier pendant l'Eocène (tectogenèse atlasique) ont dû se poursuivre jusqu'au Quaternaire dans chacune des provinces schématisées dans la figure 10. La couverture sédimentaire du Tertiaire continental ancien de l'Algérie semble épouser lors des phases transpressives (postlutétiennes), la morphostructure du substratum secondaire du tronçon Nord-Sud de l'Algérie septentrionale.

En effet, les résultats de l'analyse sédimentologique et leur traitement statistique confirment l'existence de trois domaines sédimentaires distincts:

- Un premier domaine sédimentaire situé au Sud du duplex atlasique (système de rampe-décollement) caractérisé par des transitions de faciès, de type cyclique rétrogradant-progradant constituant ainsi les entablements des Hammadas.
- Un second domaine situé au Nord de la bande atlasique où dominent les transitions de faciès évoluant en suite granodécroissante. Ce type d'évolution des faciès est caractéristique du domaine des Hautes Plaines et des Hauts Plateaux.
- Un troisième domaine (Atlas saharien) intercalé entre les deux précédents, marqué par une évolution mixte de faciès aboutissant ainsi à deux séries référentielles distinctes:

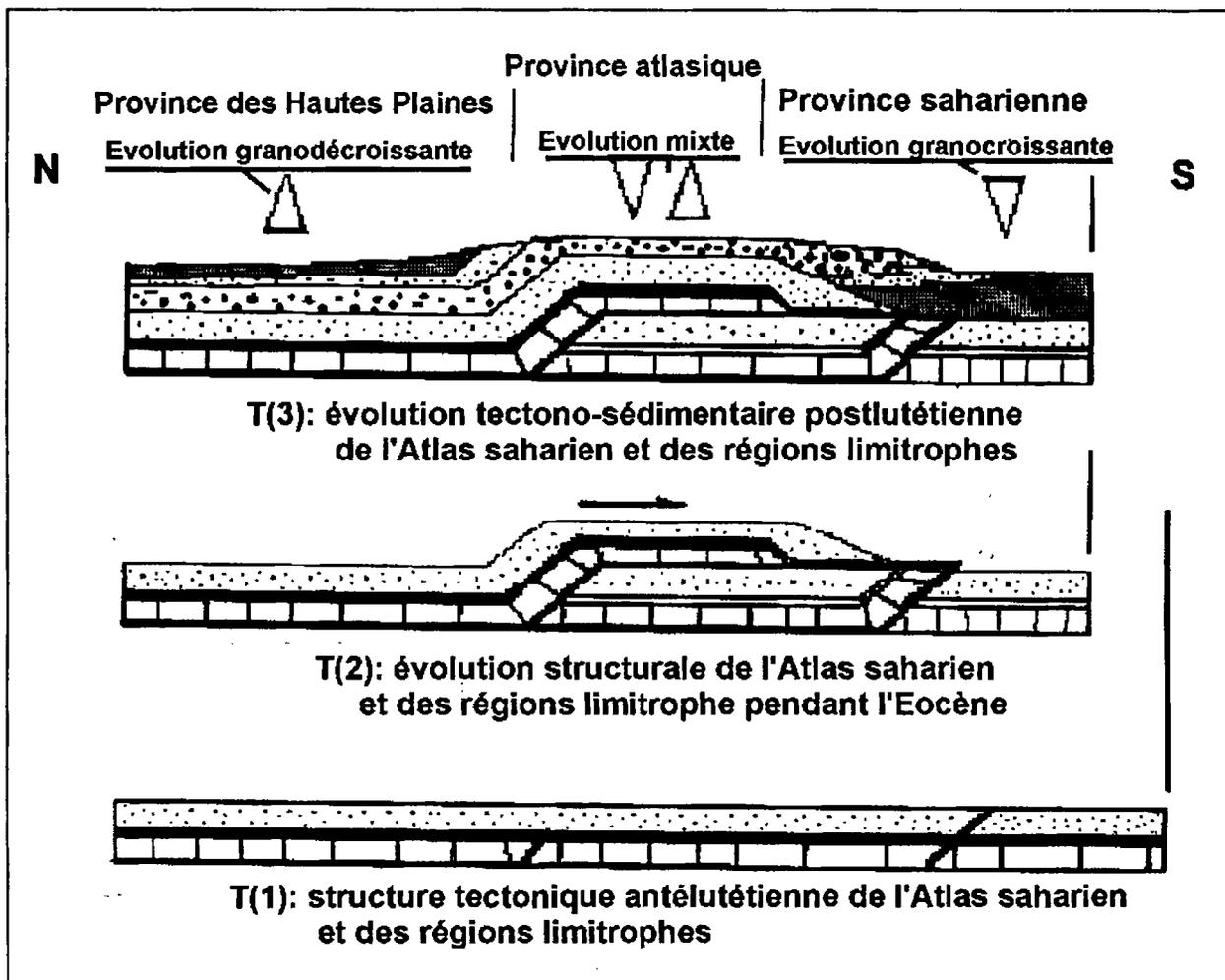


Fig. 10 - Evolution des séries référentielles du Tertiaire continental ancien des différentes provinces étudiées  
*Evolution of referential series of the lower Tertiary continental in different studied provinces*

\* une première série de faciès sédimentaires, granodécroissante, constituant les séquences rétrogradantes de chenaux,

\* et une seconde série de faciès sédimentaires, granocroissante, constituant les séquences progradantes de barres.

En conclusion, les séries continentales tertiaires (éocènes *s.l.*) ont été soumises à des processus de sédimentation mixte qui sont à la fois allocycliques et autocycliques en relation

avec ou sans l'influence des facteurs géodynamiques externes tels que la subsidence et l'apport sédimentaire. Aussi, il faut souligner l'apport de la tectonique compressive polyphasée largement évoquée dans les travaux récents (Benest et Bensalah, 1995). A partir des données paléostratigraphiques, ces travaux mettent nettement l'accent sur une tectogenèse atlasique en trois phases majeures étalées du Crétacé supérieur *s.l.* au Lutétien-Bartonien avec une phase paroxysmale vraisemblablement lutétienne. S'y ajoute la mise en évidence d'une remarquable

épigénie carbonatée polyphasée en milieu continental (alorètes), d'origine climatique (Bensalah, 1987; Bensalah *et al.*, 1991; Benest et Bensalah, 1995). En fin l'apport de l'analyse markovienne nous a permis de définir la nature de ces processus:

- un processus allocyclique, lorsque les suites de faciès sont tributaires des facteurs géodynamiques (à l'échelle régionale) : les apports sédimentaires, l'alternance des climats (période sèche et humide alternées) et/ou la subsidence (facteur structurant des bassins) contrôlent l'architecture des corps sédimentaires.

- un processus autocyclique, lorsque les suites sédimentaires sont indépendantes de toute influence des facteurs géodynamiques externes (exemple érosion-sédimentation).

### BIBLIOGRAPHIQUES

- BASSOULET, J.P., 1973. Contribution à l'étude stratigraphique du Mésozoïque de l'Atlas saharien occidental (Algérie). *Thèse d'Etat*, Paris, 497 p.
- BASSOULET, J.-P., BENEST, M., BENSALAH, M. ET BOUABDALLAH, H., 1993. L'Eocène continental des Monts des Ksour (Sud-Ouest algérien); caractérisation et genèse des dépôts. *14<sup>th</sup> I.A.S. regional Meeting of sedimentology, Marrakech*, pp. 40-41.
- BENEST, M. ET BENSALAH, M., 1995. L'Eocène continental dans l'avant-pays alpin d'Algérie : environnement et importance de la tectogenèse atlasique polyphasée. *Bull. Serv. Géol. Algérie, Alger*, 6(1) : 41-59, 8 fig.
- BENSALAH, M., BENEST M., GAOUAR, A., TRUC, G. ET MOREL, J. L., 1987. Découverte de l'Eocène continental à Bulimes dans les Hautes Plaines Oranaises (Algérie): conséquences paléogéographiques et structurales. *C. R. Acad. Sc. Paris*, 305: 35-38.
- BENSALAH, M., BENEST, M., ET TRUC, G., 1988. Relation entre phase d'émersion et tectonique compressive au Lutétien sur la bordure sud du bassin tellien (Algérie). *C. R. Acad. Sc. Paris*, 307: 785-788.
- BENSALAH, M., BENEST, M., ET TRUC, G., 1991. Continental detrital deposits and calcretes of Eocene age in Algeria (South of Oran and Constantine). *Journ. of African Earth Sciences*, 12 (1-2) : 247-252, 7 fig.
- BENSALAH, M., 1989. L'Eocène continental d'Algérie: importance de la tectogénèse dans la mise en place des sédiments et des processus d'épigénie dans leur transformation. *Dipl. Doc.*, Lyon, 147p.
- BIROT, P., 1970. Les régions Naturelles du globe, pp. 226-227. *Edition Masson et Compagnie*.
- COIFFAIT, P. E., COIFFAIT, B., JAEGER, J.J. ET MAHBOUBI M., 1984. Un nouveau gisement à Mammifères fossiles d'âge Eocène supérieur sur le versant Sud des Nementcha (Algérie orientale): découverte des plus anciens Rongeurs d'Afrique. *C. R. Acad. Sc. Paris*, 299: 893-898.
- FLANDRIN, J., 1948. Contribution à l'étude stratigraphique du Nummulitique algérien. *Bull. Serv. carte Géol., Algérie*, 19: p. 334.
- GEVIN, P., FEIST, M. ET MONGEREAU, N., 1974. Découverte de charophytes d'âge Eocène au Glib Zegdou (Sahara algérien). *Bull. Soc. Hist. Nat. Afrique du Nord*, 65 (1, 2): 371-376.
- GUERRAK, S., 1984. Les minéralisations ferrifères du Bassin de Tindouf: le gisement de fer oolithique dévonien de Mecheri Abdelaziz (Sahara algérien). *Thèse 3<sup>e</sup> cycle*. USTHB, Alger. 309 p., 14 pl.
- GUILLAUME, A., 1977. Introduction à la Géologie quantitative. *Edition Masson et Compagnie*. pp.155-176.

- JODOT, P., 1953.** Les Pseudoceratodes du Nummulitique continental circumsaharien. *Bull. Serv. carte Géol. Algérie*, 17: p. 124 p.
- JOURANI, E. ET DELFAUD, J., 1987.** Etablissement de modèles de successions de faciès dans les assises phosphatées de deux bassins marocains. *Actes du 8ème Congrès Européen de la sédimentation*, I.A.S; Tunisie.
- KAZI-TANI, N., 1986.** Evolution géodynamique de la bordure nord-africaine: le domaine intraplaque nord-algérien. Approche mégaséquentielle. *Thèse d'Etat, Université de Pau*. France.
- LAFFITTE, R., 1939.** Etude géologique de l'Aurès. *Bull. Serv. carte Géol., Algérie*, 15: 484 p.
- LAVOCAT, R., 1954.** Reconnaissance géologique dans les Hammadas des confins algéro-marocains du Sud. *Notes et Mém. Serv. cart. Géol., Maroc*, 116: p. 148.
- LOMBARD, A., 1956.** Géologie sédimentaire. Les séries marines. *Edition Masson et Compagnie. Paris*, 722p, 180 fig, 13 pl.
- MAHBOUBI, M., 1983.** Etude géologique et paléontologique du Crétacé post-Aptien et du Tertiaire continental de la bordure méridionale du Djebel Amour (Atlas Saharien central., Algérie). *Thèse 3<sup>ème</sup> cycle*, Université d'Oran, 116 p.
- MAHBOUBI, M., 1995.** Etude stratigraphique et paléontologique des formations continentales paléocènes et éocènes de l'Algérie. *Thèse d'Etat*, Université d'Oran, 167 pages.
- MAHBOUBI, M., AMEUR, R., CROCHET, J.Y. ET JAEGER, J.J., 1986.** El Kohol (Sahara Atlas, Algeria): A new Eocene mammal locality in North-West Africa. Stratigraphical, phylogenetic and paleobiogeographical data. *Palaeontographica*, Abt. A. 192: 15-49.
- MEBROUK, F., 1993.** Charophytes du Tertiaire continental de l'Algérie. Systématique et biostratigraphie. *Thèse de Magister Université d'Oran*, 173 p.
- MEBROUK, F., MAHBOUBI, M., BESSEDIK, M. ET FEIST, M., 1997.** L'apport des charophytes à la stratigraphie des formations continentales paléogènes de l'Algérie. *Géobios*, p. 170-177.
- MIALL, A.D., 1976.** Markov chain analysis applied to an ancient alluvial plain succession. *Sedimentology*, 20, pp. 347-364.
- NADJI, A-M., 1997.** Etude sédimentologique, cartographique et néotectonique des formations post-turonienues de l'Atlas saharien central (région d'Aflou-Laghouat). *Thèse de Magister*, Université d'Oran, 302 p.
- Plaziat, J.C., 1973.** *Vidaliella gerundensis* (Vidal) et les autres Bulimoïdes de l'Eocène du Nord de l'Espagne et du Sud de la France. Caractérisation paléobiométrique et descriptive de l'espèce et répartition stratigraphique des *Vidaliella* et *Romanella* de ce domaine. *Paléobiologie Continentale*, 4 (3): 1-34
- PLAZIAT, J.C., 1984.** Le domaine pyrénéen de la fin du Crétacé à la de l'Eocène: Stratigraphie, paléoenvironnements et évolution paléogéographique. *Thèse d'Etat*, Paris-Sud, 471 p.