

LES REMBLAIEMENTS DE TYPE EL HAOUTA REVISITÉS (QUATERNAIRE RÉCENT, ATLAS SAHARIEN CENTRAL) : ORGANISATION SÉQUENTIELLE, MÉCANISMES DE MISES EN PLACE, SIGNIFICATION CLIMATIQUE, CORRÉLATIONS AVEC LES CYCLES DE MILANKOVITCH

Ahmed NEDJARI¹, Samia MERABET² et Mohamed CHETTIH³

RÉSUMÉ

Les remblaiements de type El Haouita, du Quaternaire récent, sont des ensablements dunaires d'origine climato-sédimentaire, liés aux suintements des sources qui créent ainsi des secteurs propices au développement de la végétation, fonctionnant comme piège à sable.

Décrits par les géomorphologues, nous les avons revisités sur le site d'El Haouita (Laghouat, Atlas saharien central), par un travail de terrain et une analyse en termes de séquences de dépôt.

Ces remblaiements, déposés sur un substratum d'âge crétacé inférieur, montrent une seule formation subdivisée en deux membres. Chaque membre comporte plusieurs séquences d'environnement. Les paléosols rythment ce découpage.

Le remblaiement traduit les conséquences d'une certaine humidité dans une séquence climatique à tendance aride.

L'application de la théorie astronomique de Milankovitch, bien que délicate sur les sédiments anciens, montre une évolution rythmée des remblaiements d'El Haouita selon des cycles de 100 000 ans (formation) et de 50 000 ans approximativement (membre). Ils semblent pouvoir être corrélés avec les cycles d'excentricité et d'obliquité qui, tous deux influent respectivement sur la durée et l'ampleur des saisons.

Mots-clés - Atlas saharien - Quaternaire récent - Remblaiements sableux - El Haouita - Cycle Milankovitch.

¹Comité de Stratigraphie de l'Algérie (CSA) et Agence du Service Géologique de l'Algérie (ASGA). E-mail : nedjaria@gmail.com

²Structure : Engineering geologist/Project Manager Ground investigation department at concept engineering consultant, Ground Investigation Department. E-mail : samia.m.merabet@gmail.com

³Laboratoire des Ressources en Eau, Sols et Environnement, Faculté de Génie Civil et d'Architecture, Université Amar Telidji, Laghouat. E-mail : m_chettih@yahoo.fr

EL HAOUITA TYPE EMBANKMENTS REVISITED (RECENT QUATERNARY, CENTRAL SAHARAN ATLAS): SEQUENTIAL ORGANIZATION, DEPOSITIONAL MECHANISM, CLIMATIC INTERPRETATION, CORRELATION WITH THE ASTRONOMICAL CYCLES OF MILANKOVITCH

ABSTRACT

The El Haouita type embankments of late Quaternary are climato-sedimentary wind-blown sand dunes, related to springs seepage that form a suitable environment for the development of vegetation, working as a sand trap.

Previously described by geomorphologists, we reviewed them at El Haouita site (Laghouat, Saharan Atlas) through a fieldwork in term of deposition sequences at all scales.

These embankments that are deposited on the top of a cretaceous substratum, show when analysed, one single formation subdivided into two members. The paleosols punctuate this division.

Each member is divided into multiple environment sequences. The embankment reflects the consequences of humid environment in a climate with an aride tendency.

The application of Milankovitch astronomical theory, although being difficult to apply on ancient sediments because of datation problems, shows a rhythmic evolution of El Haouita type embankment according to cycles of 100 000 years (formation), and approximately 50 000 years (membre). This seems to be in correlation with the excentricity and obliquity cycles which influence respectively the length and extent of seasons.

Keywords - Saharan Atlas - Late Quaternary - Sandy embankments - El Haouita - Milankovitch cycle.

I- PROBLÉMATIQUE

La région d'El Haouita, au SE du Djebel Amour (Atlas saharien central), est dominée par un synclinal à flancs redressés et fond plat, perché à plus de 1000 m, celui de Dakhlet El Haouita (fig. 1).

Cette structure orientée SO-NE (Herkat, 1982), d'âge crétacé inférieur, correspond à un petit bassin versant de 19,5 km de long et 7,5 km de large (~150 km² de surface).

Il est drainé par de petits talwegs, confluant dans l'Oued El Haouita au niveau de l'ouverture de ce synclinal, une cluse sur un décrochement, d'où il s'est frayé un chemin relativement étroit. Méandrique, il poursuit son cours sur 18 km dans un lit de 10

à 20 m de large. Il est relativement modeste, en raison de l'aridité, ne charriant que peu de matériel issu des reliefs bordiers à dominance détritique.

Son exutoire est l'Oued Messaad, un affluent du M'Zi, le cours d'eau majeur de la région.

L'Oued El Haouita est au Quaternaire récent, le siège de dépôts sableux éoliens pour l'essentiel, peu épais (une dizaine de mètres) et assez particuliers : les remblaiements de type El Haouita ainsi qualifiés par Estorges *et al.* (1969).

Nous avons revisité ces dépôts par un travail de terrain (levés de coupes) et de laboratoire (lames minces) en :

LES REMBLAIEMENTS DE TYPE EL HAOUITA REVISITÉS (QUATÉNAIRE RÉCENT, ATLAS SAHARIEN CENTRAL) : ORGANISATION SÉQUENTIELLE, MÉCANISMES DE MISES EN PLACE, SIGNIFICATION CLIMATIQUE, CORRÉLATIONS AVEC LES CYCLES DE MILANKOVITCH

- décryptant les organisations séquentielles à diverses échelles, les séquences de 2^{ème} ordre étant des séquences d'environnement, celles de 3^{ème} ordre des

membres et les formations des séquences de 4^{ème} ordre;

- définissant leur logique de mise en place et les empreintes du climat.

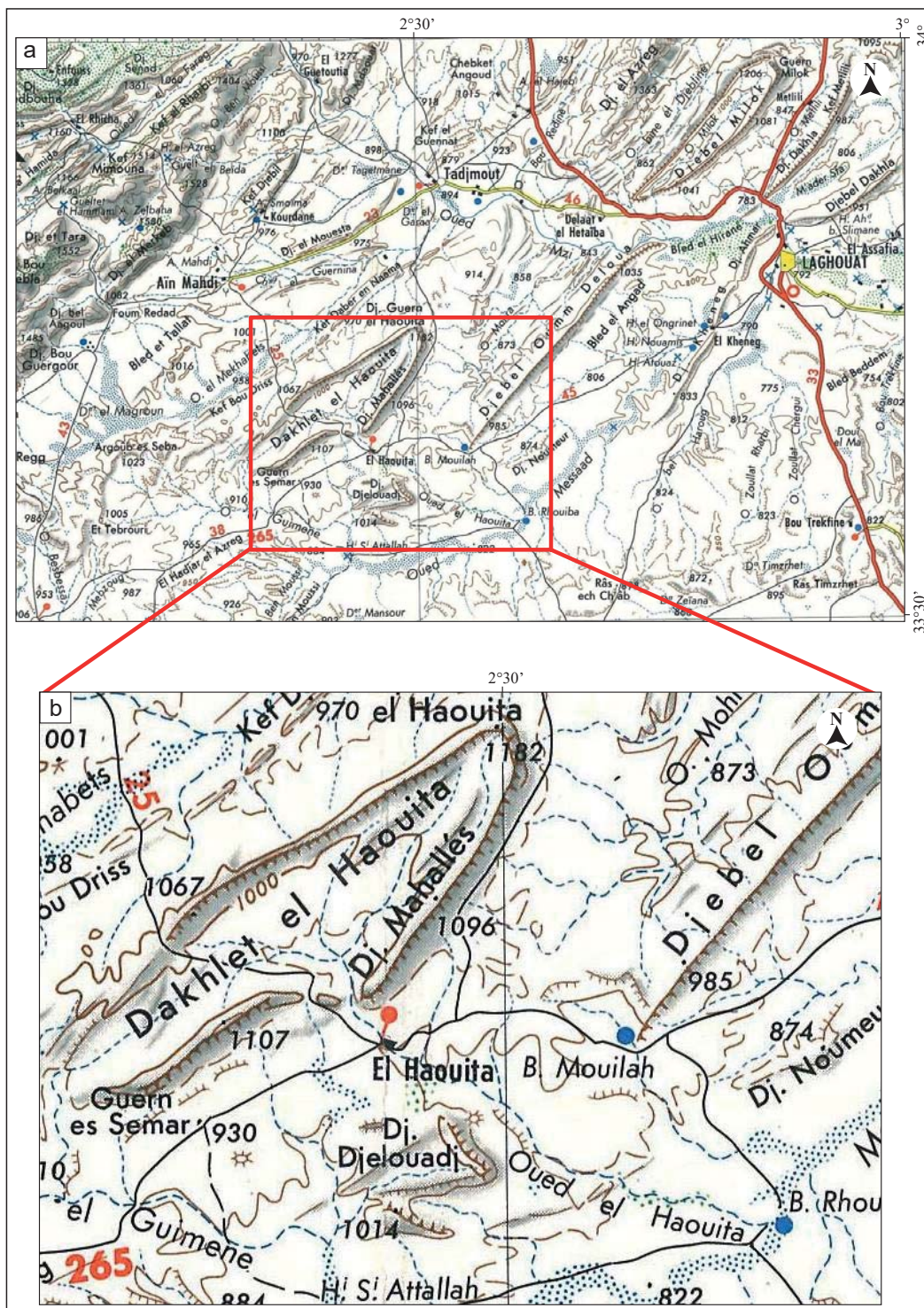


Fig. 1 - Localisation de la région d'El Haouita. a- Excerpt from Laghouat topographic map at 1/500 000. b- Agrandissement de a montrant la région d'El Haouita.

El Haouita site location. a- Excerpt from Laghouat topographic map, scale 1/500 000. b- Zoom on El Haouita region.

À l'heure où les questions sur les changements climatiques se posent avec acuité (Chaline, 1985; Parmesan et Yohe, 2003), il est intéressant de vérifier si les évolutions dans les remblaiements de ce type peuvent trouver une explication dans les cycles de Milankovitch. Quels seraient dans ce cas les paramètres astronomiques qui les contrôlraient aux différentes échelles (Bagdi *et al.*, 2014) ?

Dans ce système encore fonctionnel, il était intéressant de le décrire et d'en cerner les mécanismes.

II- LES REMBLAIEMENTS DE TYPE EL HAOUITA DANS LA LITTÉRATURE

Les remblaiements de type El Haouita furent reconnus en 1965 par Estorges au site éponyme, puis décrits dans un travail collectif (Estorges *et al.*, 1969) comme des ensablements dunaires d'origine climato-sédimentaire empâtant les fous d'oueds.

À El Haouita (figs. 2a et b), ils se développent dans une cluse qui draine un synclinal perché de la bordure méridionale de l'Atlas saharien. Ils occupent la partie la plus basse de la cuvette et se poursuivent au-delà du fous sur 2 km.

Bien qu'ils encadrent l'oued actuel, ils ne peuvent être assimilés à une terrasse : ils se terminent brusquement par un talus raide d'une dizaine de mètres de hauteur, coiffé par un banc de grès.

Ce remblaiement, tel que décrit par Estorges *et al.* (1969) associe :

- une lentille de cailloutis peu épaisse (40 à 50 cm);
- trois bancs gréseux entre lesquels s'intercalaient des niveaux de sable fin;

- localement, une lentille de calcaire lacustre alvéolaire (1 m d'épaisseur) apparaît à mi-hauteur du remplissage.

Des horizons gypseux (30 à 80 cm) s'insèrent parfois de façon discontinue dans les sables.

Une pièce atérienne a été découverte dans un cône de cailloutis à la base du remblaiement.

L'analyse granulométrique et morphoscopique montre que le remblaiement est essentiellement lié à l'action du vent. Il s'agit d'une redistribution d'un matériel prélevé sur place ou à proximité.

Des formations analogues ont été reconnues par la suite, dans d'autres régions de l'Algérie : Bou Saada, les Monts du Zab, les Ouled Naïl, les Nementcha, etc. (Meghraoui *et al.*, 2021; Amara *et al.*, 2002, Haddouche, 2001; Amara et Ferhat, 1986; Aumassip, 1986; Amara *et al.*, 1979; Amara, 1977; Rognon et Coude-Gaussen, 1987).

Dans la Saoura, c'est à un remblaiement de ce type que l'on peut assimiler les dépôts de la Butte Catherine (Chavaillon, 1964; Conrad, 1969).

Les différents auteurs s'accordent sur un certain nombre de points :

- un diachronisme des remblaiements de type El Haouita et la nécessité de dater chacun d'eux;
- le décryptage des événements.

III- LES CYCLES ASTRONOMIQUES DE MILANKOVITCH, UN RAPPEL

Dans une région donnée, le climat à l'échelle des temps géologiques n'est pas une constante. Il évolue dans une dynamique complexe où interfèrent notamment, les facteurs

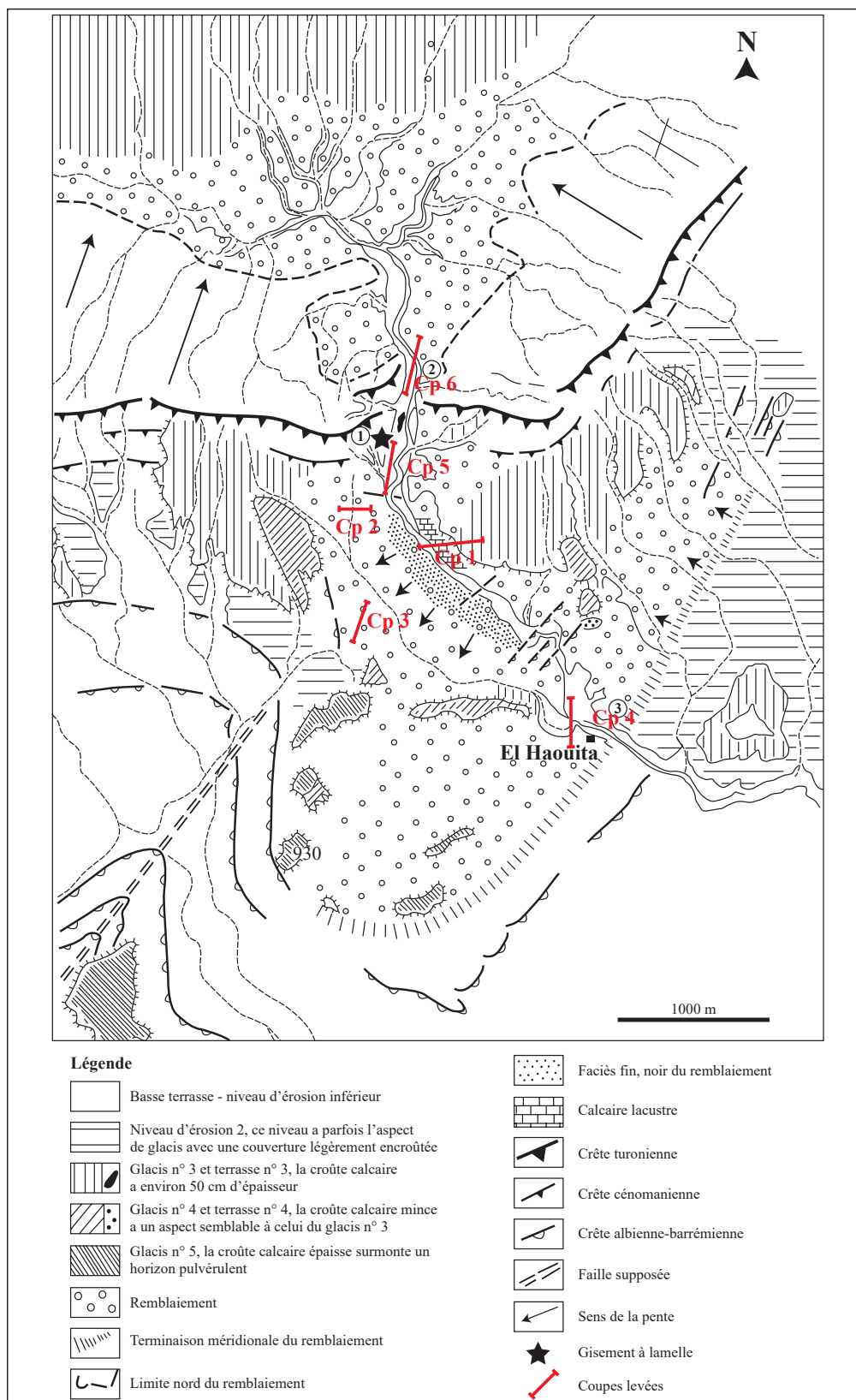


Fig. 2a - Schéma géomorphologique du site d'El Haouita et localisation des coupes levées (In Estorges et al., 1969).

Geomorphologic schema of El Haouita site and cross-sections location (In Estorges et al., 1969).

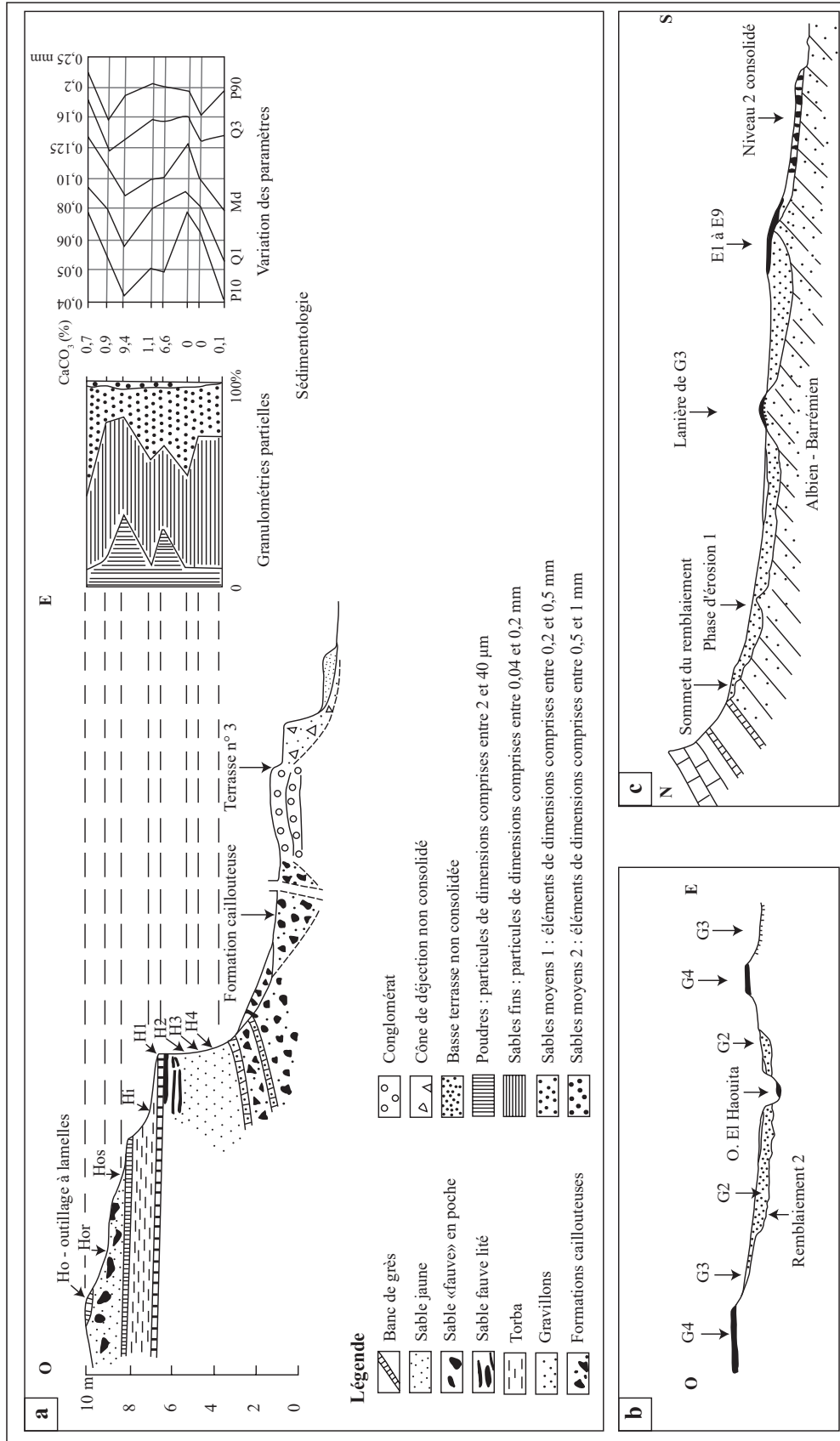


Fig. 2b - Coupes effectuées sur le site d'El Haouita (In Estorges et al., 1969).
a- Coupe n° 1, à la hauteur d'El Haouita. **b**- Coupe n° 2, à la hauteur de la pointe atérienne.
c- Coupe n° 1, à la hauteur de la terminaison du remblaiement d'El Haouita.
Cross-sections carried on El Haouita site (In Estorges et al., 1969).
a-Cross-section n°1 at the top of El Haouita. b- Cross-section n°2 at the aterian point.
c- Cross-section n°1 at the end of El Haouita embankment.

astronomiques. Cette théorie astronomique des climats, développée par Milankovitch (1920 et 1941), se fonde sur l'idée que les variations à long terme (ou séculaires) des paramètres de l'orbite et de la rotation de la Terre engendrent des variations de l'ensoleillement reçu à la surface de la Planète. Ces variations à l'origine des changements climatiques sont susceptibles d'être enregistrées par les sédiments et donc les séquences de dépôts (Berger, 1980).

Trois (03) paramètres contrôlent la distribution de l'ensoleillement : l'excentricité, l'obliquité et la précession.

- **L'excentricité** : le mouvement de la Terre en présence du seul Soleil, obéirait aux lois de Kepler, mais l'attraction par la Lune et les autres planètes entraîne une variation de son orbite.

L'excentricité mesure l'écart entre l'orbite terrestre et un cercle parfait, soit l'aplatissement de la forme de l'orbite. Exprimée en %, elle varie de 0 pour une orbite circulaire, à 6 pour la plus elliptique. Ce paramètre contrôle le flux global du rayonnement que la Terre reçoit du Soleil suivant sa répartition dans l'espace et le temps.

Périodicité : au long cycle de 400 000 ans, se surimpose une variation qui suit la quasi-période de 100 000 ans. L'excentricité influe sur la durée des saisons.

- **L'obliquité** : la Terre tourne en une journée sur elle-même autour d'un axe qui n'est pas perpendiculaire à l'écliptique (plan de l'orbite terrestre). L'obliquité est l'inclinaison de l'axe terrestre par rapport au plan de l'orbite.

Lors du dernier million d'années, l'obliquité a varié entre 21,9 et 24,5°. Elle est actuellement de 23°27'.

Périodicité : 41 000 ans. Elle influe sur l'ampleur des saisons.

- **La précession** : deux paramètres orbitaux se conjuguent dans un même temps pour expliquer les variations lors des saisons.

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

Le grand axe de l'ellipse effectue par rapport aux étoiles, une rotation en 135 000 ans. Ce phénomène modifie le mois de l'année à laquelle la Terre est au périhélie (moment de l'année où la Terre est la plus proche du Soleil).

La précession axiale des équinoxes : la forme ellipsoïdale de la Terre liée à sa rotation sur elle-même et à la force centrifuge créent un bourrelet équatorial, qui fait que celle-ci oscille comme une toupie. Son axe de rotation, qui pointe actuellement vers l'étoile polaire, décrit un cône autour de la direction perpendiculaire au plan de l'écliptique.

Ce mouvement, appelé précession axiale, est très lent puisque l'axe reprend la même position tous les 26 000 ans ; ceci est indépendant de l'obliquité qui ne concerne que la valeur de l'angle et non la direction de l'axe dans l'espace.

Cependant, à cause de la rotation simultanée du grand axe de l'ellipse, la position de la Terre sur l'écliptique à chaque saison n'est pas rigoureusement la même tous les 26 000 ans. La combinaison de ces deux phénomènes permet de définir la précession climatique. Elle est définie par l'angle entre le périhélie et l'équinoxe de printemps.

Ainsi, à un moment de l'année, par exemple à l'équinoxe de printemps, la Terre ne se trouve pas toujours au même point de son orbite et sa distance au Soleil varie.

Il y a 11 000 ans, au solstice d'été (pour l'hémisphère Nord), la Terre était presque au

périhélie. Les hivers étaient plus froids mais les étés plus chauds. Cette situation a favorisé la disparition des grands inlandsis édifiés lors de la dernière glaciation. Aujourd'hui, le solstice d'été intervient dans la partie de l'ellipse orbitale la plus éloignée du Soleil, les étés sont plus frais et les hivers plus doux. Cette situation favorise la croissance des inlandsis.

Les variations du paramètre de précession climatique sont par définition modulées en amplitude par les variations d'excentricité de l'orbite terrestre.

Les variations saisonnières d'insolation, associées au cycle de précession, dépassent souvent 10%. Il s'agit du principal forçage climatique à l'échelle des milliers d'années.

Il apparaît clairement que le climat est loin d'être une constante, à l'échelle des temps géologiques, car régi par la variation des paramètres astronomiques.

Ces derniers ne changent pas la quantité de chaleur reçue par la Terre, mais sa distribution sur le globe terrestre, étant contrôlée par trois facteurs combinés : l'excentricité, l'obliquité et la précession.

IV- ANALYSE DES REMBLAIEMENTS À EL HAOUTA

Cette analyse repose sur :

- le levé au 1/100^{ème} de 6 coupes (fig. 2a), dans une logique amont-aval mais aussi rive droite-rive gauche qui, après analyse et corrélation permettraient d'y dégager organisation et évolution spatio-temporelle ;
- une description des faciès à partir des lames minces. L'essentiel provient de la coupe type, la coupe 1.

Le découpage en séquences, les datations et les durées, devraient permettre d'établir un parallèle avec les cycles de Milankovitch. Les remblaiements de type El Haouta trouveraient-ils une explication dans les variations climatiques ? Quelle serait leur place dans les cycles astronomiques, et dans ce cas là, les paramètres qui régiraient ces séquences aux différentes échelles ?

Les coordonnées UTM (Zone 31S) et les localisations de ces coupes figurent sur le tableau I et la figure 2a.

Tableau I - Coordonnées UTM des coupes étudiées.

UTM coordinates of studied sections.

Coupe	Localisation	X (m)	Y (m)	Z (m)
1	Rive gauche en aval de la cluse	447 906	03724 719	744
2	Rive droite	447 684	03724 612	941
3	Rive droite	447 814	03724 974	941
4	A proximité du village, en rive gauche	449 153	03723 331	890
5	Rive gauche à 200 m de la cluse	447 917	03725 323	937
6	A 300 m en amont de la rive gauche	447 807	03726 137	940

Les remblaiements de type El Haouta ont été analysés en termes de séquences au sens Delfaud (1974), un langage où les échelles sont hiérarchisées en ordre d'importance croissant, basé sur la typologie des discontinuités. Ces dernières sont ici les paléopédogénèses plus ou moins intenses développées à leurs sommets. Cette intensité en détermine l'ordre (Nedjari, 1991; Nedjari et Delfaud, 2001).

Les paléopédogénèses observées et décrites sont pour l'essentiel de type hydromorphe, générées par les battements d'une nappe phréatique développée en périodes de stabilité. Les expressions induites sont variées et diverses avec en particulier :

- des remobilisations et redistributions de carbonates à l'origine des croûtes, des nodules ou des tepees;
- 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-analysant, en révèle d'autres aspects : quartz éclatés ou

corrodés par les carbonates, structures simples ou complexes au niveau des croûtes et des nodules, des dessiccations, dissolutions, marmorisations et encroûtements stromatolithiques.

IV.1- Typologie des discontinuités

Nous avons adopté la typologie établie et utilisée par Nedjari (1991) en milieu continental.

Le Quaternaire récent d'El Haouta montre en fonction de l'importance des paléopédogénèses (tabl. II) : des discontinuités majeures, des discontinuités d'échelle moyenne et enfin des discontinuités mineures. Elles correspondent à un arrêt de sédimentation qui, en domaine continental, s'exprime par l'installation d'un sol hydromorphe dans notre cas.

- Les discontinuités majeures

À la base des coupes : c'est une discordance angulaire entre le substratum et les premiers dépôts de remblaiement. Elle est visible sur la plupart des coupes.

Tableau II - Typologie des discontinuités dans le Quaternaire récent d'El Haouta.

Discontinuities typology in recent Quaternary of El Haouta.

	Discontinuités majeures	Discontinuités d'échelles moyennes	Discontinuités mineures
Expressions	Croûte Dessiccation Tepees Perforations Traces de racines Marmorisations	Traces de racines Marmorisation Perforations Dessiccation Nodules à structure polyphasée	Dessiccation Marmorisation Nodules à structure simple
Tranche de sédiment affectée	Métrique	Métrique	Centimétrique à décimétrique
Localisation	Fin de séquence de 4 ^{ème} ordre, ou formation	Fin de séquence de 3 ^{ème} ordre, ou membre	Fin de séquence de 2 ^{ème} ordre, ou environnement

En amont, ce substratum est constitué de calcaires albiens (coupe 3) encroûtés et karstifiés (ph. 1), ou de calcaires turoniens (coupe 6).

En aval, ce sont des grès albiens (coupe 1) et barrémiens (coupes 4 et 5) (figs. 3 et 5).

C'est à ce niveau qu'une pièce atérienne a été récoltée (Estorges *et al.*, 1969). Quelques réserves sont émises toutefois sur sa validité.

Au sommet : une érosion plus ou moins intense affecte le remblaiement. Elle touche le sommet du deuxième membre dans la coupe 1, et celui du premier dans les autres. Cet événement marquerait plutôt le début du remblaiement suivant.

Nous considérerons comme discontinuité, l'évolution pédogénétique finale qui affecte le sommet du remplissage d'El Haouita. Elle s'exprime sur un niveau gréseux de 25 cm d'épaisseur, par des perforations, des traces

de racines, des marmorisations et une croûte à dessiccations et tepees.

Ce niveau a livré une industrie lithique datée de l'Ibéromaurusien, entre 20 000 à 10 000 ans BP. (Estorges *et al.*, 1969).

- Les discontinuités d'échelles moyennes

Elles affectent une tranche de sédiments de 10 à 50 cm d'épaisseur et caractérisent des motifs de 3 m environ. Elles associent :

des traces de racines : fréquentes, elles se présentent en canaux anastomosés, de cavités cylindriques souvent centimétriques et quelquefois décimétriques. Dans ces cas là, les cavités restent creuses (ph. 2). Des marmorisations peuvent souligner leurs contours (ph. 3).

Elles forment un seul niveau où se relaient sur environ 60 cm, associant plusieurs niveaux d'enracinements (ph. 2).



Ph. 1 - Discordance angulaire à la base du remblaiement entre la terrasse quaternaire et le substratum albien.

Angular unconformity situated at the base of the embankment, between the Quaternary terrace and the Albian substratum.



Ph. 2 - Paléosol à racines avec trois niveaux d'enracinement.
Rooted paleosol showing three consecutive levels of rooting.



Ph. 3 - Paléosol à marmorisations et traces de racines.
 (la flèche rouge indique les marmorisations alors que la flèche noire montre la surface S1).
Paleosol with mottled facies and roots prints.
 (the red arrow indicates the mottled facies and the black one shows the surface S1).

des marmorisations : ce sont des expressions colorées, ocre, orange ou brunâtres, en taches rondes millimétriques ou centimétriques en flammèches.

Les marmorisations sont essentiellement liées à la dynamique du fer, en relation avec les fluctuations de la nappe aquifère.

de la dessiccation : ce phénomène est assez important en raison de l'aridité du climat. Les fentes de dessiccation forment en surface des polygones de quelques centimètres de côté et sont souvent associées à des croûtes dont la croissance engendre des tepees.

des perforations : centimétriques et cylindriques, elles recourent le niveau induré.

Les observations en lames minces complètent ces aspects de terrain avec en particulier, des quartzs éclatés, des nodules à structure simple et/ou polyphasée, des encroûtements par des stromatolithes, des cristaux de gypse, des géodes de dissolution et une bréchification de croûtes.

- Les discontinuités mineures

Elles affectent une tranche de sédiment d'une épaisseur variant entre 10 et 30 cm et caractérisent des motifs métriques.

Elles associent des traces de racines centimétriques, des marmorisations, des nodules pédogénétiques millimétriques à structure simple et de la dessiccation.

Il est à signaler des niveaux décimétriques noirs, à matière organique, liés à la décomposition de la végétation dans de petites mares. Ils renferment parfois des gastéropodes (Turitelles) de petite taille et à test fragile témoin d'un milieu plutôt confiné.

Au microscope polarisant, on observe des nodules à structure simple et des quartz éclatés.

La coupe de référence (coupe 1)

La coupe 1 (figs. 3 et 4; ph. 4), située en aval de la cluse en rive gauche, est la plus complète, offrant les meilleures conditions d'observation. Elle servira de référence.

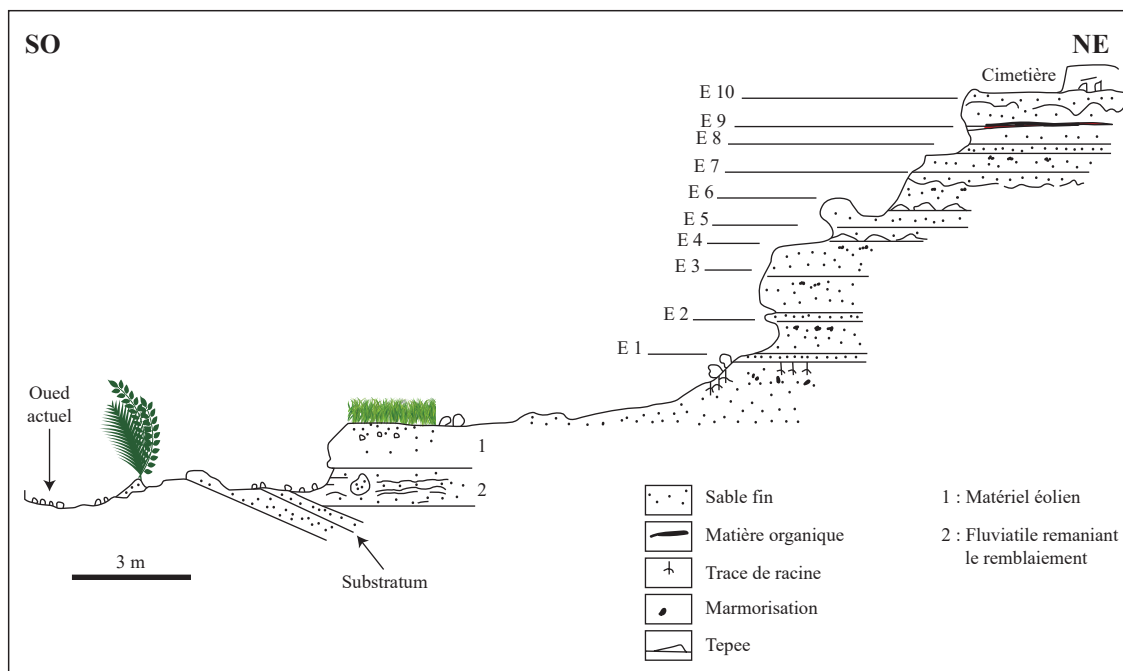


Fig. 3 - Coupe de référence du remblaiement d'El Haouita.

The embankments of El Haouita reference cross-section.

LES REMBLAIEMENTS DE TYPE EL HAOUITA REVISITÉS (QUATÉNAIRE RÉCENT, ATLAS SAHARIEN CENTRAL) : ORGANISATION SÉQUENTIELLE, MÉCANISMES DE MISES EN PLACE, SIGNIFICATION CLIMATIQUE, CORRÉLATIONS AVEC LES CYCLES DE MILANKOVITCH

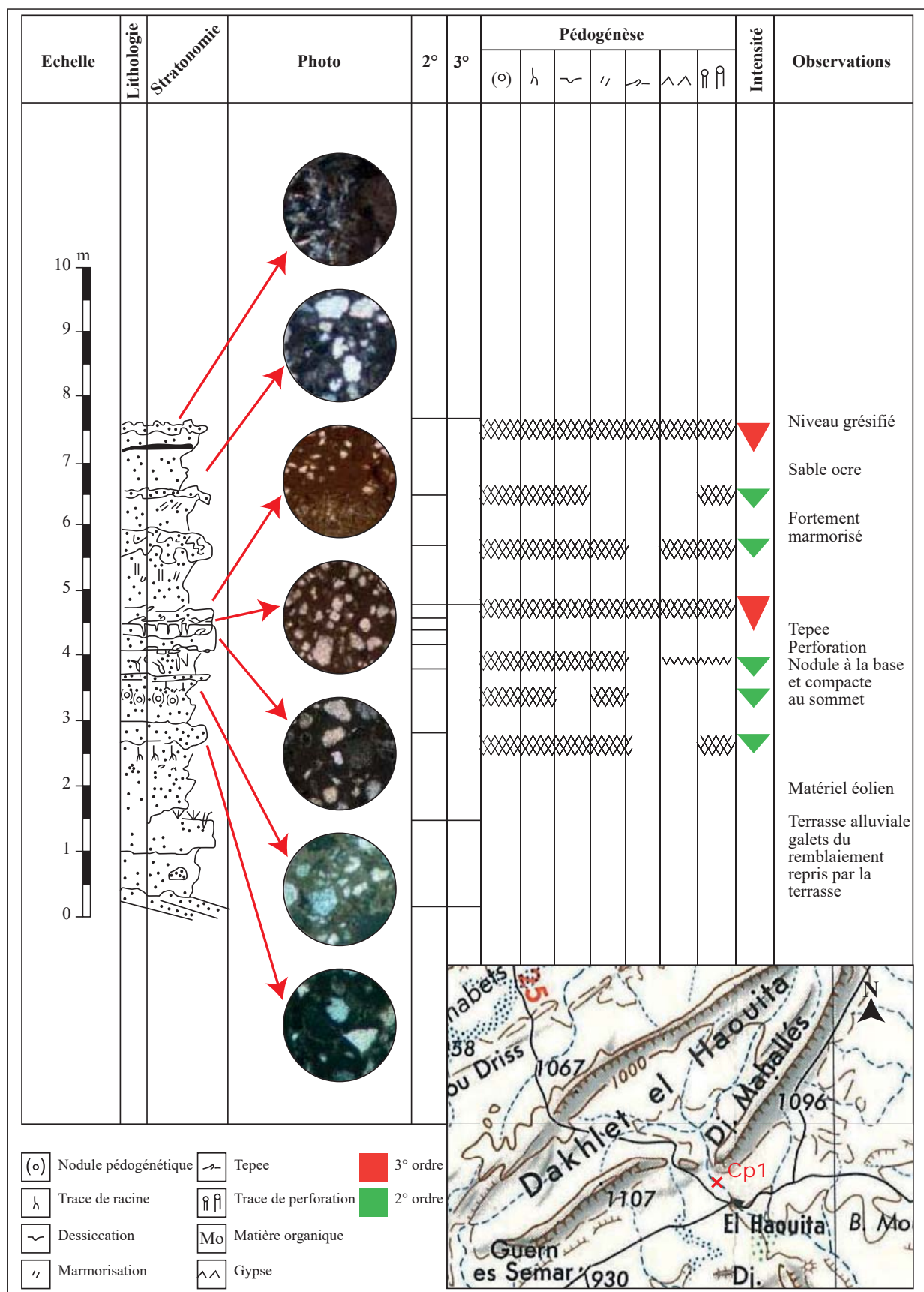
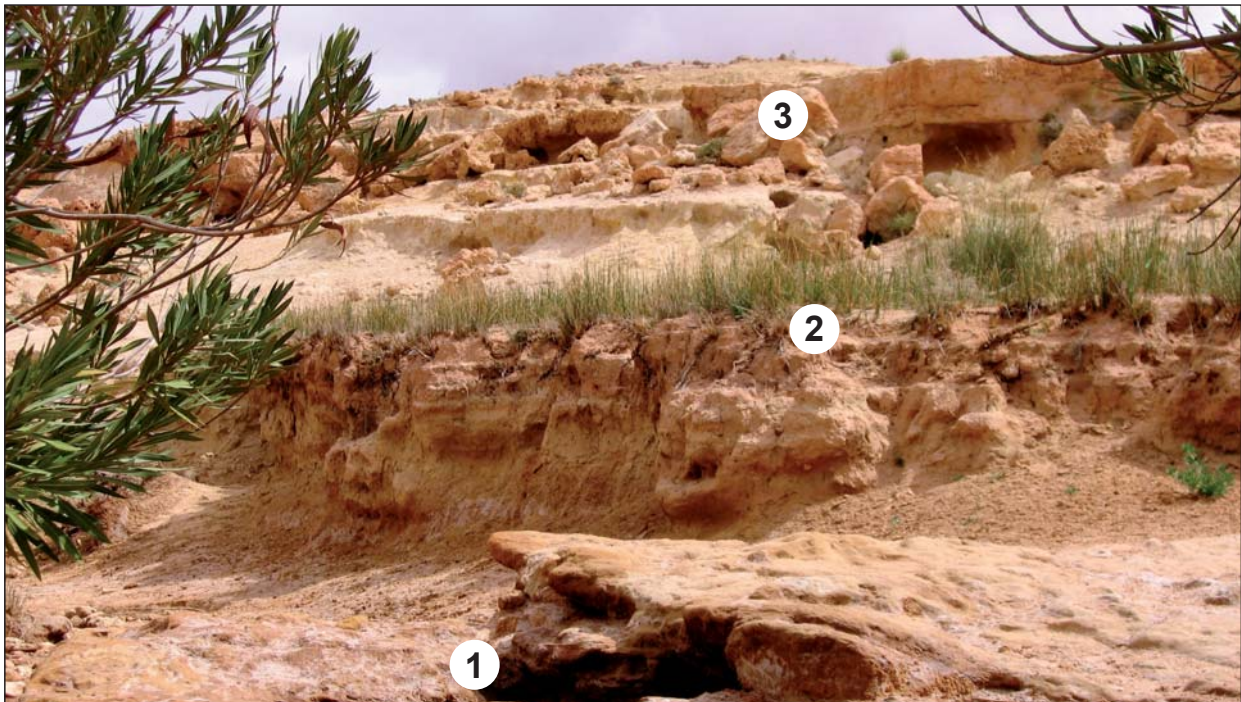


Fig. 4 - Log lithostratigraphique de la coupe-type (coupe 1).
Lithostratigraphic log of the reference cross-section (n°1).



Ph. 4 - Vue générale de la coupe-type (coupe 1).

1 : substratum de grès albiens; 2 : terrasse quaternaire; 3 : remblaiement.

General overview of the reference cross-section (n°1).

1: Albian sandstone substratum; 2: Quaternary terrace; 3: Embankment.

Sa base, masquée par une terrasse alluviale actuelle, correspond latéralement à une discordance angulaire sur les grès de l'Albien inférieur.

Elle montre sur les 9 mètres qui la constituent, un matériel uniforme, de l'éolien fin jaune ocre.

Cette sédimentation est ponctuée de périodes de stabilité au cours desquelles se sont développés des sols. Les paléopédogénèses, en fonction de ses expressions, sont simples ou complexes.

La typologie des discontinuités adoptée précédemment montre que :

- l'ensemble du remplissage correspond à une séquence de 4^{ème} ordre, une formation ;
- deux discontinuités d'échelle moyenne, une paléopédogénèse à expressions com-

plexes associant des tepees, des dessiccations, des marmorisations, des perforations et plusieurs niveaux d'enracinement discriminant deux membres;

- des membres associant des séquences de 2^{ème} ordre, à paléopédogénèse simple.

Le membre 1, d'une épaisseur de 5 m, est initié par des sables fins légèrement remaniés par le vent. Au sommet, sa limite est un niveau induré d'une cinquantaine de centimètres avec 2 à 3 paléosols à traces de racines et marmorisations ocre-jaune qui s'y relaient (figs. 3 et 4).

Ce membre associe des séquences de 2^{ème} ordre, coiffées par un niveau sableux induré et une pédogénèse de type simple. L'épaisseur des séquences évolue de 50 cm à 1,30 m. Ces séquences strato-décroissantes traduisent une stabilité progressive et de plus en plus longue. Ceci s'exprime en fin de membre par un télescopage des paléosols.

La fin du membre montre des tepees, des perforations et des polygones de dessiccation. Ces caractéristiques sont celles d'une discontinuité (notée S1) limitant la fin de la séquence de 3^{ème} ordre.

Le membre 2, moins épais (3 m), réplique le précédent dans un même matériel. La fin est un niveau induré difforme d'une vingtaine de centimètres à tepees, dessiccation et perforations entre autres. Trois séquences de 2^{ème} ordre le composent.

La troisième se singularise par un lit centimétrique noir à matière organique sous le niveau induré.

La coupe 3

La coupe 3 est située en rive droite de l'Oued El Haouita. Son épaisseur avoisine les 7 m, car elle est incomplète et ne comporte que le premier membre (fig. 5).

Elle repose en discordance angulaire sur des calcaires de l'Albien supérieur, encroûtés et karstifiés.

À la base, une intercalation de cailloutis décimétrique précède les sables éoliens. Les séquences de 2^{ème} ordre sont limitées par des niveaux sableux indurés, affectés par les expressions pédogénétiques. Cette pédogénèse est simple avec des traces de racines, des nodules et des marmorisations (fig. 5).

Le dernier niveau induré clôture la coupe et semble avoir une plus grande importance. C'est probablement la discontinuité d'échelle moyenne, limitant la fin de la séquence de 3^{ème} ordre autrement dit la surface S1.

D'autres discontinuités de moindre importance clôturent les séquences de 2^{ème} ordre.

La coupe 4

Cette coupe est levée au niveau du village d'El Haouita (fig. 6).

Avec ses 7 m, seul le premier membre n'a pas été érodé. Il débute par un niveau à cailloutis décimétrique, discordant sur des grès du Barrémien.

On note la présence de deux niveaux noirs à matière organique. Le second renferme une faune naine à gastéropodes.

Les sables indurés, présents dans les autres coupes, sont ici remplacés par des niveaux riches en nodules pédogénétiques.

Le matériel et les expressions paléo-pédogénétiques restent inchangés.

La fin de la coupe est une croûte à tepees; la surface S1.

La coupe 5

Épaisse d'une dizaine de mètres, elle provient de la rive gauche, à environ 200 m de la cluse (fig. 7; ph. 5).

Le substratum affleure très mal et ne peut être décrit.

Dans son ensemble, cette coupe est identique à la coupe 4, avec quelques niveaux à cailloutis et une même organisation séquentielle.

Les paléopédogénèses s'y expriment beaucoup mieux. La surface S1 est bien représentée.

La coupe se termine par un petit niveau induré.

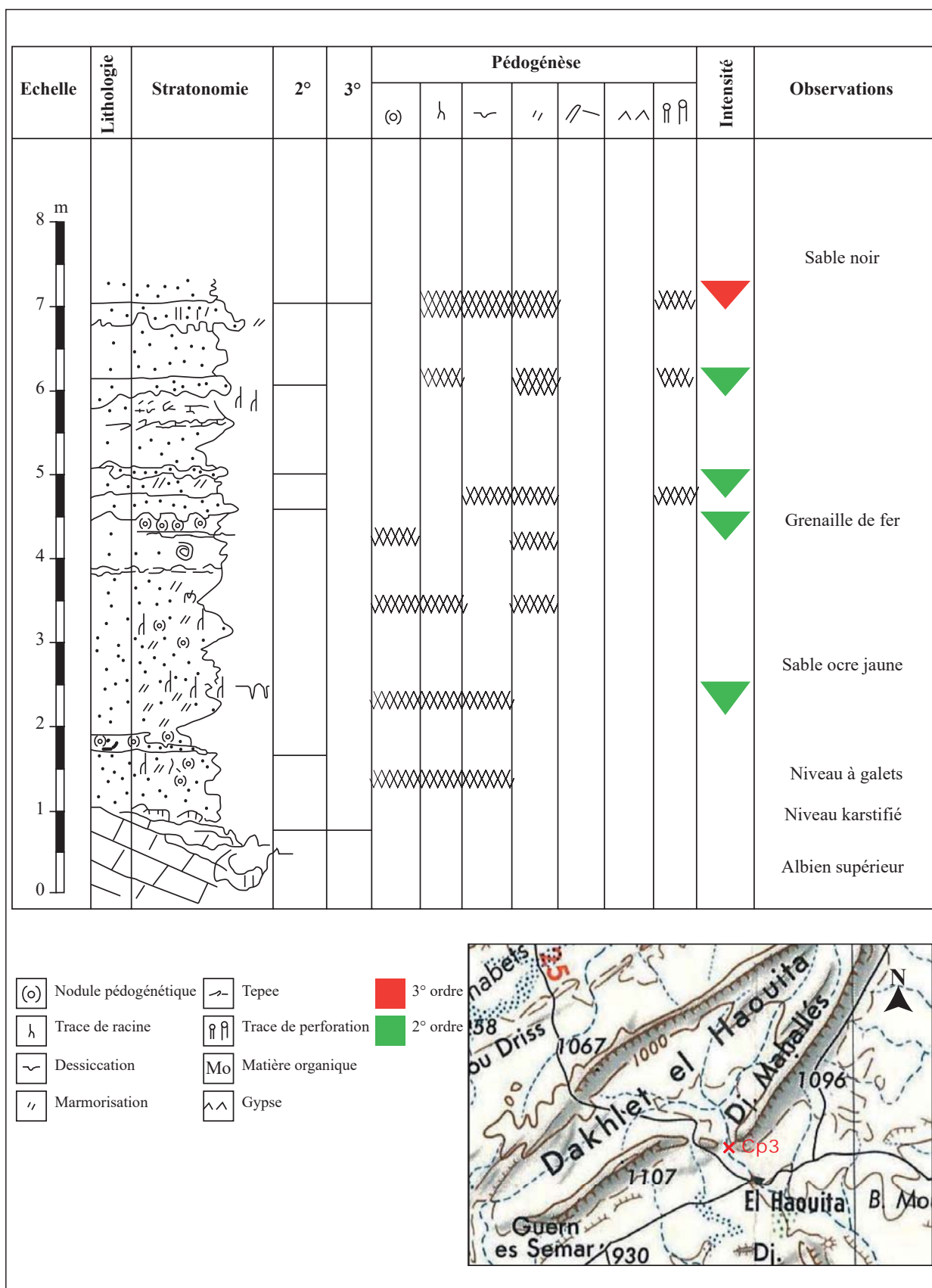


Fig. 5 - Log lithostratigraphique de la coupe 3 (rive gauche en aval de la cluse).
Lithostratigraphic log of the cross-section n°3 (left bank downstream of the gorge).

LES REMBLAIEMENTS DE TYPE EL HAOUTA REVISITÉS (QUATÉNAIRE RÉCENT, ATLAS SAHARIEN CENTRAL) : ORGANISATION SÉQUENTIELLE, MÉCANISMES DE MISES EN PLACE, SIGNIFICATION CLIMATIQUE, CORRÉLATIONS AVEC LES CYCLES DE MILANKOVITCH

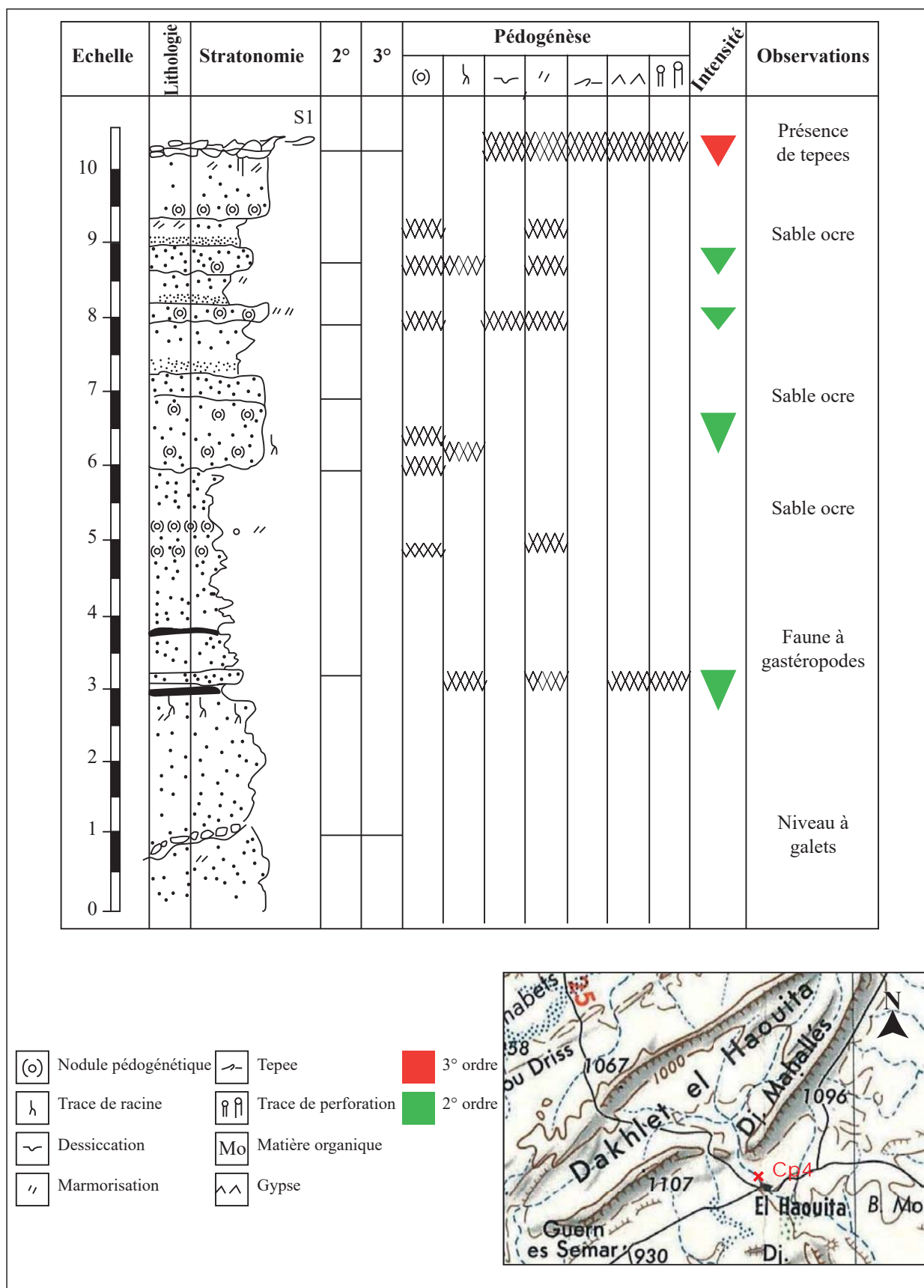


Fig. 6 - Log lithostratigraphique de la coupe 4 (au niveau du village d'El Haouita).
Lithostratigraphic log of the cross-section n°4 (at El Haouita village).

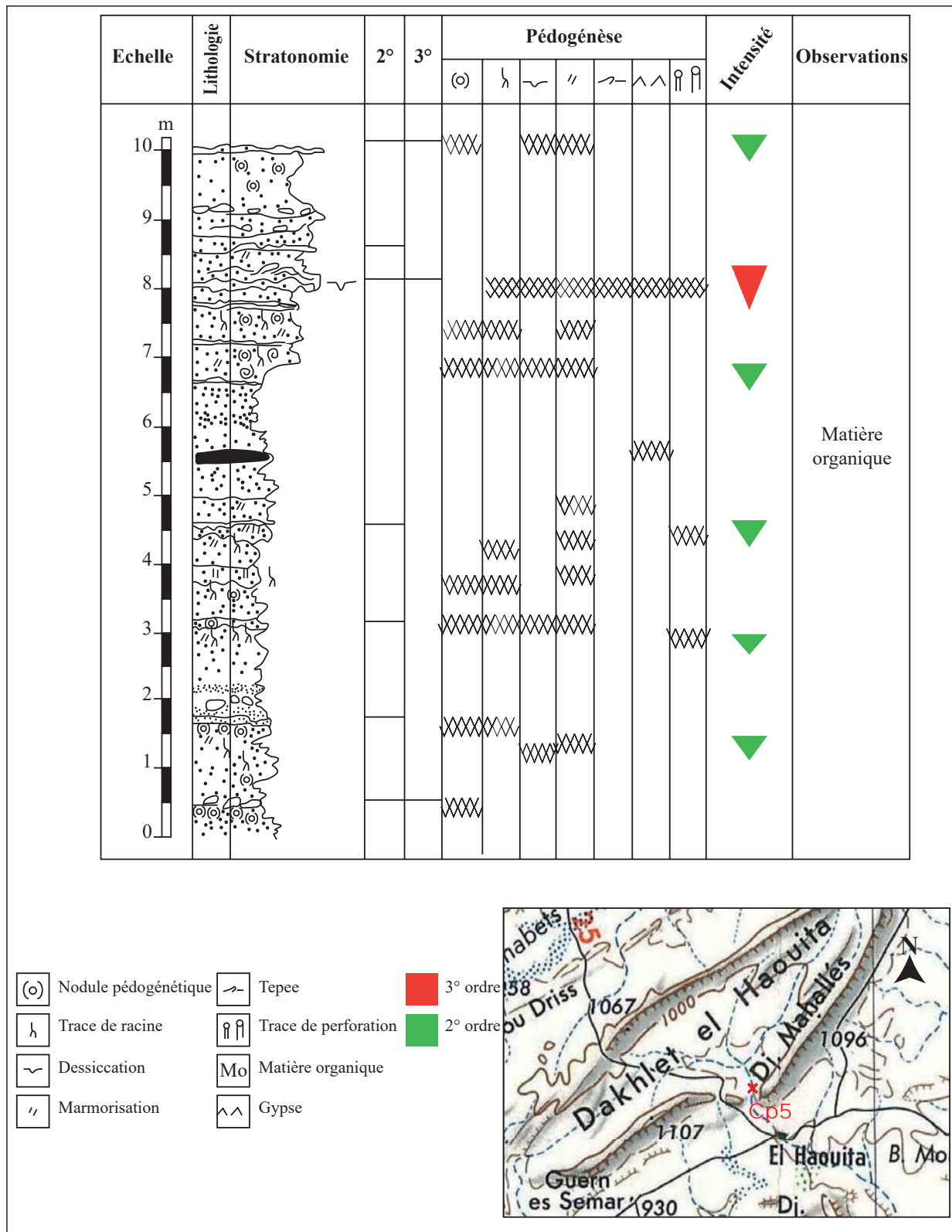


Fig. 7 - Log de la coupe 5 (200 m en aval de la cluse).

Lithostratigraphic column of the cross-section n°5 (200 m downstream of the gorge).



Ph.5 - Vue d'ensemble de la coupe 5.
General overview of the cross-section n°5.

V- CORRÉLATIONS AMONT-AVAL

Nous avons réalisé une corrélation amont-aval des coupes pour dégager une éventuelle évolution (fig. 8). Il en ressort :

- seule la coupe 1 de référence présente un enregistrement continu et complet des événements ;
- les autres sont incomplètes en raison d'une érosion qui atteint le sommet du premier membre. Elle peut être plus importante, et c'est le cas de la coupe 5;
- la présence de niveaux à galets à la base du remplissage. Ils deviennent de plus en plus fréquents à mesure que l'on s'approche de la cluse, en raison probablement de la proximité de la source;
- une augmentation de l'épaisseur du membre 1 et de l'ampleur des pédogénèses dans les coupes 3,4 et 5 à l'approche de la cluse. Les explications possibles sont plurielles. La plus probable serait la

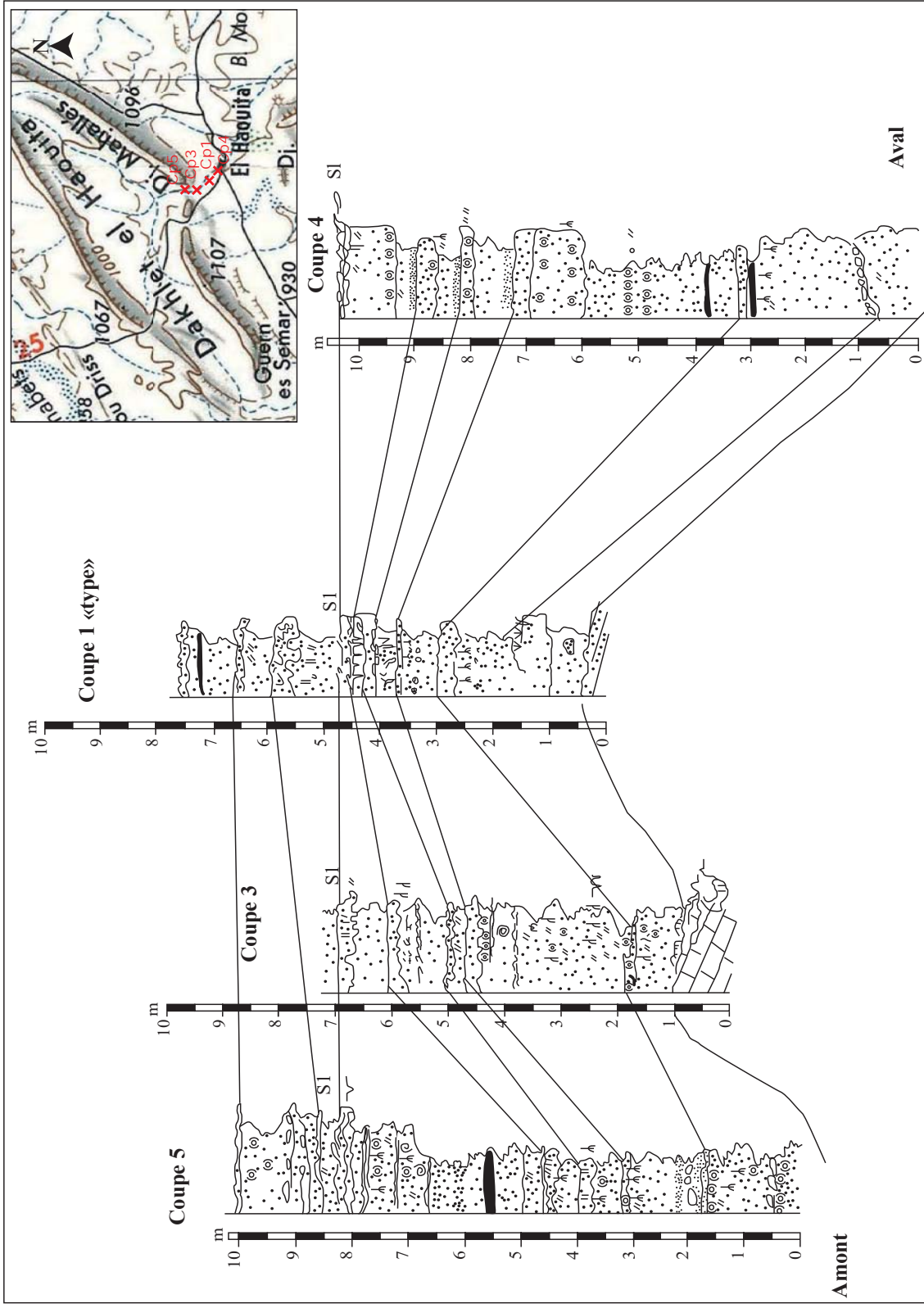
morphologie méandrique de l'Oued El Haouta qui érode en rive concave pour déposer en rive convexe. C'est le cas des coupes 1 et 3.

Par ailleurs, en raison du resserrement au niveau de la cluse, la nappe phréatique y serait plus importante. Cela expliquerait l'intensité des paléopédogénèses.

- la surface S1 est typique et se retrouve dans l'ensemble des coupes.

VI- INTERPRÉTATION DES REMBLAIEMENTS DE TYPE EL HAOUTA PAR LES CYCLES DE MILANKOVITCH

Le Quaternaire fut rythmé par de nombreuses glaciations notamment celle du Würm. Elle a été caractérisée par une importante avancée des calottes glaciaires dans l'hémisphère Nord (Hays *et al.*, 1977).



**Fig. 8 - Corrélations amont-aval.
Upstream-downstream correlations.**

La mise en place des remblaiements de type El Haouita coïncide avec la décrue de cette glaciation.

Cette période interglaciaire fut induite par les mouvements des paramètres astronomiques à savoir l'excentricité, l'obliquité et la précession des équinoxes.

Dans ce qui va suivre, nous donnerons d'abord l'âge de ces dépôts ainsi que leur interprétation climatique, puis nous chercherons une explication dans la théorie astronomique des paléoclimats de Milankovitch.

En matière de datation, nous ne disposons pas de données précises et fiables. À El Haouita, la date obtenue est de 8220 ± 820 BP (Haddouche, 2001). Elle semble trop récente pour la fin de l'installation du remblaiement qui correspond à une période de grande aridité.

Chronologiquement (observations de terrain), la mise en place de ces remblaiements s'est effectuée lors du Quaternaire récent, ce qui reste assez imprécis pour quantifier la durée du remplissage et traiter de la périodicité.

De ce fait, nous avons repris le découpage en cycles climato-sédimentaires établi par Alimen *et al.* (1952, 1964) dans la Saoura et l'avons associé à nos résultats.

Le Quaternaire récent de cette région (fig. 8) montre deux ensembles à sable éolien compris entre le paléosol ougartien (à la base) et les dépôts meubles actuels du sommet de la coupe.

En se basant sur les tableaux corrélatifs de Rognon et Coude-Gaussen (1987), Alimen *et al.* (1952), Riser (1999) et Rognon (2001), par une analogie des faciès (sables éoliens, niveaux à gastéropodes et de matière organique), nous admettons que les dépôts qua-

ternaires d'El Haouita ont probablement commencé à se mettre en place il y a 117 000 ans.

Nous avons gardé les équivalences de période glaciaire-interglaciaire au cycle pluvial-aride définies par les auteurs précités, tandis que les âges (ans) sont extraits du tableau stratigraphique de l'ISC (2008). Par conséquent, les sédiments quaternaires d'El Haouita sont soulignés par des discontinuités de 117 000 ans, et 1000 ans (fig. 10).

La durée calculée du remplissage, soit une séquence de 4^{ème} ordre ou formation, est estimée à : $117\ 000 - 1\ 000$, soit 107 000 ans.

Cette formation comporte deux membres ou séquences de 3^{ème} ordre.

La durée de la mise en place de ces membres est estimée à : $107\ 000 \div 2$, soit 52 500 ans.

Nous avons repris les âges (ans) et procédé à un simple calcul, afin de quantifier les durées de chaque cycle sédimentaire et des séquences.

L'analyse séquentielle et les durées obtenues permettent une corrélation vraisemblable:

- de la formation ou séquence de 4^{ème} ordre, avec les cycles d'excentricité, à 100 000 ans. Ce paramètre influe sur la durée des saisons;
- des membres ou séquences de 3^{ème} ordre avec, approximativement, les cycles d'obliquité à 41 000 ans. Ce second paramètre conditionne l'ampleur des saisons.

VII- LE MODÈLE ACTUEL ET SON FONCTIONNEMENT

Le modèle actuel comprend un élément majeur, l'Oued El Haouita, qui débouche vers le sud sur de vastes étendues plates. Cette monotonie est interrompue de quelques ensablements.

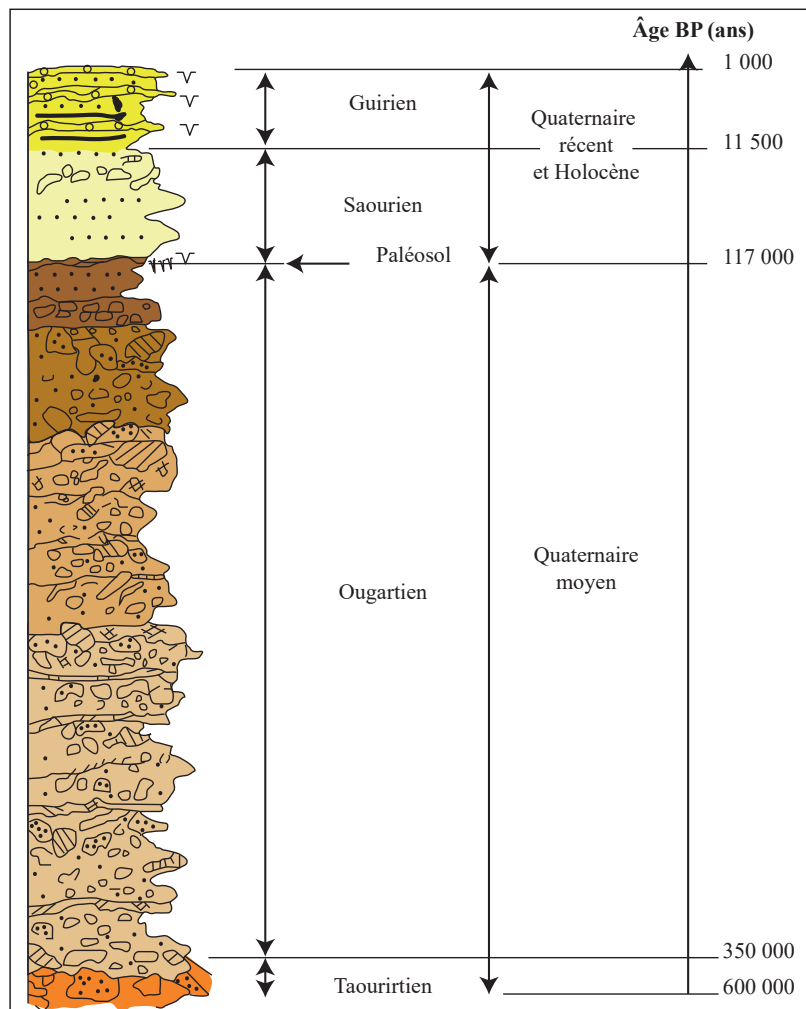


Fig. 9 - Découpage du Quaternaire moyen et récent de la Saoura, basé sur les cycles climato-sédimentaires (Bagdi *et al.*, 2014 In Alimen *et al.*, 1952).

Recent and middle Quaternary stratigraphic division of the Saoura based on climato-sedimentary cycles (Bagdi *et al.*, 2014 In Alimen *et al.*, 1952).

Deux sources émergent dans le lit de l'oued. L'une au niveau de la cluse, alimentée par un écoulement pérenne sur 01 km environ, quelques mares. L'humidité constante entretient dans cette zone une végétation assez dense de lauriers roses et de joncs qui retiennent les sables.

La seconde résurgence prenant naissance à proximité du village, chemine vers une petite retenue.

On relève des zones d'accumulation discontinues de sables à l'écart de l'oued, en particulier sur la rive droite, des buissons de

R'tem (*Retama raetam* (forsskal), Webb et Berthelot) et de Drinn (*Aristida pungens* Defontaines) qui retiennent un amas de sable de 50 cm d'épaisseur.

Le climat de la région est plutôt aride. La végétation dans les environs de l'oued est de type steppique avec de l'alfa et des genévriers.

Le lit de l'oued associe des joncs, des lauriers roses, mais essentiellement des palmiers et le pistachier de l'Atlas, une espèce endémique au niveau du village où les habitants exploitent de petites parcelles de terre irriguées par les écoulements de la source (ph. 6).

Paradoxalement, cette végétation est de type humide, dans une ambiance de climat aride en vigueur dans la région. Elle s'explique par la présence d'une nappe phréatique alimentée par les résurgences. Au delà de la cluse, le décor est aride (ph. 7).

En matière de sédimentation, deux types de dépôts existent dans l'oued:

- des faciès plus ou moins consolidés qui constituent le remblaiement de type El Haouita ;



Ph. 6 - La végétation dense au niveau des résurgences d'El Haouita. Au premier plan, le pistachier de l'Atlas (flèche rouge), une espèce endémique.

The dense vegetation in the spring seepages of El Haouita. The red arrow indicates the Atlas pistachio tree, an endemic species.



Ph. 7 - Un couvert végétal réduit au delà de la cluse.

The reduced vegetation outside the river gorge.

- des sédiments meubles avec :

- des argiles charriées par l'oued, lors de rares crues se produisant en moyenne une fois par an ;
- des éboulis et blocs de grès, détachés du remblaiement ;

- du sable éolien et des galets dans le lit de l'oued.

Les terrasses actuelles remanient les dépôts du remblaiement (ph. 8).

Les mares alimentées par les résurgences montrent de la vase, de la matière organique, des organismes et des voiles algaires (phs. 9 et 10).



Ph. 8 - Terrasse actuelle.
Actual terrace.



Ph. 9 - Dépôts actuels.
Actual deposits.



Ph. 10 - Une mare d'eau située au niveau du village dans laquelle se développe une végétation de joncs. 1 : voile algale.

A small water swamp located in the village in which a vegetation of rushes is developing. 1 : Algal veil.

Les résurgences des sources, créent des secteurs propices au développement de la végétation. Cette dernière agit comme un piège à sable sous forme de nappes de sables mamelonnées.

Ces accumulations peuvent atteindre 1 km de long, 200 m de large et 3 m d'épaisseur comme sur la rive droite au niveau du gisement.

Les résurgences peuvent aussi donner naissance à de petites mares où un petit écosystème prend vie.

Dans ces mares, le manque d'oxygène entraîne une putréfaction de la végétation à l'origine des niveaux noirs juste en dessous d'une légère pellicule de sable.

L'étude du système actuel montre le rôle et l'importance de la nappe phréatique. Elle favorise l'installation d'une végétation caractéristique des climats humides dans un contexte aride. Cette même végétation piège le sable éolien et permet l'édification de sortes de nebka.

Durant les périodes humides, les balancements de la nappe favorisent l'installation de sols hydromorphes.

Le processus actuel offre de précieuses informations sur les conditions de mise en place du remblaiement.

En raison d'une aridité croissante, un tarissement de sources réduit les écoulements des oueds montagnards. De l'humidité se maintient néanmoins au niveau des résurgences, créant des roselières et des pièges à sables. Les orages engendrent des crues responsables des passées caillouteuses. L'augmentation de la température entraîne un dessèchement rapide et la formation de travertins.

Dans ce cas, le remblaiement est ici signe de tarissement. Il traduit les conséquences d'une certaine humidité dans une séquence climatique à tendance aride.

Une reprise de l'humidité responsable de l'encroûtement du sommet des sables et d'une augmentation du débit de la source, produit des écoulements qui incisent le remblaiement. Ce qui coïncide avec l'installation de populations, tel que le témoigne l'abon-

dance du matériel lithique, du silex taillé pour l'essentiel.

Le remblaiement est ici signe de la remise en fonction des griffons. Les remblaiements deviennent dans ces cas des témoins d'humidité.

La fréquence de la présence humaine dans ces remblaiements renforce l'interprétation qui leur est attribuée.

VIII- CONCLUSION

Cette contribution, revisite les remblaiements de type El Haouita du Quaternaire récent, par un travail de terrain et de laboratoire en décryptant les organisations séquentielles, leur logique de mise en place et les empreintes du climat par une corrélation avec les cycles de Milankovitch.

L'analyse de la coupe de référence montre pour l'essentiel une sédimentation éolienne avec des pédogénèses fréquentes, développées au cours des phases humides.

Le remblaiement s'est mis en place dans un environnement à tendance aride, entrecoupé de courts moments d'humidité.

L'application de la théorie astronomique montre une évolution rythmée des remblaiements d'El Haouita, selon des cycles de 100 000 ans (formation) et de 50 000 ans, approximativement (membre). Ils semblent pouvoir être corrélés avec les cycles d'excentricité et d'obliquité de Milankovitch qui tous deux influent respectivement sur la durée et l'ampleur des saisons.

BIBLIOGRAPHIE

- ALIMEN, H., LE MAITRE, D., MENCHIKOFF, N., PETTER, G. ET POUEYTO, A. 1952. Les chaînes d'Ougarta et de la Saoura,

- XIX^{ème} Congrès Géologique International. Monographie régionale, 1^{ère} série : Algérie, n° 15, 118 p.*
- ALIMEN, H., CHAVAILLON, J. ET DUPLAIX, S. 1964.** Minéraux lourds des sédiments du Sahara nord-occidental. *Centre National de la Recherche Scientifique, Paris, 73 p.*
- AMARA, A. 1977.** Le gisement préhistorique d'Es Sayar, Boussaâda. Algérie. *Lybica*, pp. 59-71.
- AMARA, A. ET FERHAT, N. 1986.** Signification climatique des remblaiements type El Haouita. *Colloque Paléoécologie des régions subsahariennes, Béni-Abbès*, pp. 41-51.
- AMARA, A., HADDOUCHE, A.-E.-K. ET ESTORGES, P. 1979.** Existence d'un remblaiement type El Haouita à Boussaâda (Algérie) : évolution géomorphologique de la région. *Libyca*, pp. 25-36.
- AMARA, A., AUMASSIP, G., FERHAT, N. ET HEDDOUCHE, A. 2002.** Les remblaiements type El Haouita, un exemple de sédimentation ponctuelle en zone désertique. 1^{er} séminaire national de stratigraphie. *Mémoire du Service Géologique de l'Algérie, n° 11, pp. 207-214.*
- AUMASSIP, G. 1986.** Les remblaiements de type El Haouita et leur signification climatique. Changements globaux en Afrique durant le Quaternaire : passé, présent, futur. *Travaux et documents de l'ORSTOM, n°197, pp. 11-14.*
- BAGDI, S., KRIM, N. ET NEDJARI, A. 2014.** Étude du Quaternaire moyen et récent de Kheneg Tlaïa (Monts d'Ougarta, Sahara algérien): analyse des dépôts et enseignements climatiques. *Bulletin du Service Géologique de l'Algérie, vol. 25, n°3, pp. 273-287.*
- BERGER, A. 1980.** Milankovitch astronomical theory of climates : a modern review. *Vistas in Astronomy, vol. 24, pp. 103-122.*
- CHALINE, J. 1985.** Histoire de l'homme et des climats au Quaternaire. *Bulletin de l'Association Française pour l'Étude du Quaternaire, Paris, pp. 185-186.*
- CHAVAILLON, J. 1964.** Étude stratigraphique des formations quaternaires du Sahara nord-occidental (Colomb-Béchar à Reggane). *Centre National de Recherche sur les Zones Arides, série : Géologie, Paris, 393 p.*
- CONRAD, G. 1969.** L'évolution continentale-post hercynienne du Sahara algérien (Saoura, Erg Chech-Tanezrouft, Ahnet-Mouydir). *Centre National de Recherche sur les Zones Arides, série : Géologie, Paris, 527 p.*
- DELFAUD, J. 1974.** Typologie scalaire des séquences sédimentaires en fonction du milieu de dépôt. *Bulletin de la Société Géologique de France, (7), 8, pp. 474-478.*
- ESTORGES, P., AUMASSIP, G. ET DAGORNE, A. 1969.** El Haouita, un exemple de remblaiement fini-Wurmien. *Lybica, XVII, pp. 53-92.*
- HADDOUCHE, A.-E.-K. 2001.** Données nouvelles sur les remblaiements type El Haouita. Colloque international : L'homme du Maghreb et son environnement depuis 100 000 ans, Maghnia Algérie, Novembre 1989. *Centre National de Recherche Préhistorique, Anthropologique et Historique, pp. 45-54.*

- HAYS, J.-D., IMBRIE, J. AND SHACKLETON, N.-J. 1977.** Variations in the Earth's Orbit: Pacemaker of the Ice Ages. *Science*, vol. 194, pp. 1121-1132.
- HERKAT, M. 1982.** Lithostratigraphie et sédimentologie des formations carbonatées du Jurassique des Monts des Ouled Naïl et de la terminaison orientale du Djebel Amour, Atlas Saharien. *Thèse de Doctorat, Université de Pau et des Pays de l'Adour, France*, 287 p.
- MEGHRAOUI, M., MAOUCHE, S., CHAID-SAOUDI, Y., BAGDI-ISSAAD, S. ET NEDJARI, A. 2021.** Les caractéristiques du Quaternaire du Nord de l'Algérie : Apport de la tectonique active, géomorphologie, paléontologie, préhistoire, paléo-climatologie et paléomagnétisme. *Mémoire du Service Géologique de l'Algérie*, n° 22, pp. 11-54.
- MILANKOVIĆ, M. 1920.** Théorie mathématique des phénomènes thermiques produits par la radiation solaire. *Academie Yougoslave des Sciences et des Arts de Zagreb*, 338 p.
- MILANKOVIĆ, M. 1941.** Kanon der Erdbestrahlung und seine Anwendung auf das Eiszeitenproblem. Koniglich Serbische Akademic, Spec. publ.132, *Section des Sciences Mathématiques et Naturelles*, tome 33, 633 p.
- NEDJARI, A. 1991.** Dynamique du remplissage littoral et continental moscovo-permien du bassin d'avant fosse de Béchar. Electroséquences, modèles sédimentaires, paléopédogénèses. *Thèse de Doctorat ès Sciences, USTHB, Alger*, 289 p.
- NEDJARI, A. ET DELFAUD, 2001.** Les paléosols du moscovo-permien du bassin de Béchar (Algérie) : témoins des étapes du comblement d'un bassin syntecto-varisque. *Bulletin du Service Géologique de l'Algérie*, vol. 13, n°1, pp. 49-76.
- PARMESAN, C. AND YOHE, G. 2003.** A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems. *Nature*, 421, pp. 37-42.
- RISER, J. 1999.** Quaternaire : Géologie et milieux naturels. *Edition Dunod*.
- ROGNON, P. 1987.** Late Quaternary climatic reconstruction for the Maghreb (North Africa). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 58, pp. 11-34.
- ROGNON, P. 2001.** Les périodes arides au Sahara durant le dernier cycle climatique (125 000 ans BP) à l'actuel. In: *L'Homme Maghrébin et son Environnement depuis 100 000 ans. Actes du Colloque International de Maghnia, 1989, CNRPAH eds.*
- ROGNON, P. ET COUDE-GAUSSEN, G. 1987.** Dépôts quaternaires des déserts chauds de la zone intertropicale. *Géologie de la Préhistoire. Paris, Geopre*, pp. 125-148.