

Étude stratigraphique et hydrogéologique de l'extrémité méridionale de la Hamada du Guir

par Georges CONRAD* et Michel-André ROCHE**.

Alain

Sommaire. — Une étude détaillée de la partie méridionale de la Hamada du Guir, qui se termine en biseau au contact des formations paléozoïques des monts d'Ougarta, permet de préciser les rapports entre les formations néogènes de la Hamada du Guir, un cycle sédimentaire plio-villafranchien superposé à la hamada et la première terrasse de l'Oued Saoura d'âge quaternaire ancien.

L'existence d'une nappe aquifère, actuelle, à la base de la série néogène, est prouvée par l'étude hydrogéologique des points d'eau situés en rive droite de l'Oued Saoura. Le problème de l'alimentation de cette nappe est abordé. En rive gauche de l'Oued Saoura, les rapports de la nappe de l'Erg occidental (liée à l'Erg) avec les formations néogènes et plus récentes sont précisés.

INTRODUCTION. — C'est grâce aux études anciennes de G. B. M. Flamand [1911], E. Roch [1933], N. Menchikoff [1946] et G. Choubert [1945] que les grandes lignes stratigraphiques ont été définies.

Une hamada inférieure à *Clavator*, plissée et d'âge oligocène, repose sur des couches à Cératodes éocènes. Une hamada néogène, la Hamada du Guir, repose au Nord en discordance sur la hamada à *Clavator* et au Sud en discordance sur le Paléozoïque. La Hamada du Guir est formée d'un complexe miocène continental surmonté d'une couverture pliocène calcaire qui paraît indépendante.

Parmi les travaux récents, les plus marquants sont ceux des géologues et des géographes du Service géologique du Maroc et de l'Institut scientifique chérifien. Les découvertes faites par R. Lavocat [1945] de Gastéropodes dans l'ensemble calcaire supérieur de la Hamada du Draa viennent confirmer l'attribution au Pliocène de la couverture hamadienne proposée par G. B. M. Flamand [1911]. Dans la Hamada du Draa, il s'agit de *Limnaea bouilleti* MICH. (détermination P. Jodot) comme à Bou-er-Raïb Chergui (dans l'Oued Gharbi) où G. B. M. Flamand a trouvé des Gastéropodes dans les niveaux calcaires supérieurs (détermination Ch. Depéret). Pour des raisons de continuité, que nul ne conteste actuellement, il paraît logique de dater l'ensemble calcaire supérieur du Pliocène et

même du Pliocène inférieur, puisque *Limnaea bouilleti* appartiendrait, d'après P. Jodot, à la partie moyenne du Pliocène inférieur.

Les fossiles se trouvent, d'après R. Lavocat, dans la dalle calcaire silicifiée inférieure et, peut-être, dans la dalle calcaire, supérieure. Il n'y a pas de solution de continuité dans la série et les calcaires plus ou moins gréseux couronnés par une deuxième barre calcaire qui surmontent le niveau à *Limnaea bouilleti*¹, appartiennent à la même unité stratigraphique.

Dans le Nord de la Hamada du Guir, le Néogène continental serait constitué d'un Miocène recouvert par l'unité pliocène légèrement discordante (d'après J. Hindermeier). La Hamada du Guir aurait ensuite subi (d'après R. Lavocat) un mouvement de déformation avec exhaussement de l'extrémité septentrionale, ce que traduit le profil longitudinal de la dalle hamadienne qui s'incurve du Nord vers le Sud.

Dans la partie méridionale de la Hamada du

* Centre de recherches sur les zones arides, Paris.

** Lab. de géologie dynamique, Fac. des sciences de Paris. Note présentée à la séance du 21 juin 1965.

1. H. Alimen [1957] a cité *Limnaea kem-kemensis* JODOT comme étant le fossile trouvé dans ce niveau attribué au Pliocène inférieur par P. Jodot. Il semble qu'il y ait confusion avec un Gastéropode de l'Aquitainien inférieur, *Limnolaria kem-kemensis* JODOT, qui a été trouvé, par R. Lavocat dans une hamada intermédiaire, à l'W de la Hamada du Guir, confirmant le schéma du Nord [Joly, 1954].

Guir, c'est H. Schoeller qui fait la distinction entre les formations hamadiennes mio-pliocènes et un ensemble superposé, « les sables et grès de Mazzer », qu'il date du Pliocène terminal ou du Quaternaire ancien ; il signale aussi l'existence d'une haute terrasse conglomératique à Mazzer, qu'il attribue au Quaternaire ancien. J. Margat [1954], dans le Tafilalet, attribue un âge villafranchien supérieur à la formation conglomératique du Jebel Erfoud qu'il considère comme contemporaine des « sables et grès de Mazzer » (à cette époque, G. Choubert attribuait un âge villafranchien inférieur aux dépôts hamadiens datés depuis par *Limnaea bouilleti*). H. Alimen, puis J. Chavaillon, précisent la stratigraphie du Quaternaire ancien, les « sables et grès de Mazzer » étant attribués au Villafranchien pour H. Alimen et au Villafranchien inférieur ou Aïdien pour J. Chavaillon.

En ce qui concerne la « Petite Hamada » (terme employé par H. Schoeller pour cartographier les formations de type hamadien situées au Sud des affleurements primaires du km 30), J. Dresch [1953] donne quelques précisions sur sa nature et lui attribue un âge quaternaire ancien tout en confondant dans une même unité stratigraphique les formations de Mekitla, dans la Sebkhah el Melah, et les formations d'El Gouira

qui sont en réalité équivalentes respectivement des « sables et grès de Mazzer » et de la « haute terrasse de Mazzer » ainsi que l'ont montré H. Alimen [1957] et J. Chavaillon [1964]. Les formations de la Petite Hamada se développent au Sud du km 30 (voir la carte fig. 1). On peut distinguer un secteur occidental (El Gouira) et un secteur oriental en bordure de l'Oued Saoura qui s'articulent au niveau de l'Erg el Atchane.

La partie occidentale est constituée, d'après H. Alimen, par un ensemble villafranchien, recouvert par des dépôts mazzériens. Quant au secteur oriental, J. Chavaillon lui attribue un âge mio-pliocène sur la carte géologique qui accompagne sa thèse ; le secteur occidental étant cartographié en Quaternaire ancien.

E. F. Gautier [1908], puis H. Schoeller [1945] tracent les grands traits de l'hydrogéologie des formations hamadiennes de la région de Béné-Abbès et Mazzer. E. F. Gautier parle d'une hémipélagie de la Saoura et reconnaît une nappe aquifère uniquement dans le Mio-Pliocène situé sous le Grand Erg. H. Schoeller, bien que moins affirmatif, arrive cependant à la même conclusion. Son étude porte principalement sur la nappe de l'Erg. Aucune étude n'avait été menée sur l'hydrogéologie de la Petite Hamada.

Pour rendre notre exposé plus clair, nous anticipons sur nos conclusions et nous donnons aux formations hamadiennes et quaternaires les équivalences² que nous adoptons à la suite de notre étude sur l'extrémité méridionale de la Hamada du Guir :

- q3 = Quaternaire récent, divisé en q3 a (= cycle saourien) et q3 b (= Guirien, formations d'âge néolithique)
- q1-2 = Villafranchien supérieur à Quaternaire moyen
- q1 = Quaternaire ancien (cycle villafranchien supérieur) « haute terrasse de Mazzer »
- pv = Pliocène supérieur à Villafranchien inférieur (cycle plio-villafranchien inférieur), « sables et grès de Mazzer »
- ng = Miocène-Pliocène inférieur (Néogène continental)
- I = Paléozoïque indifférencié, substratum des formations hamadiennes.

I. COUPES DANS LA HAMADA DU GUIR, DEPUIS L'OASIS DE MAZZER JUSQU' AUX AFFLEUREMENTS DÉVONIENS DU KM 30. — Le long de l'Oued Saoura, en rive droite, les formations hamadiennes néogènes sont entaillées jusqu'à leur base par les érosions quaternaires qui ont mis à nu le

2. Le terme de Villafranchien est utilisé sans que les formations, dites villafranchiennes, aient livré des faunes de Mammifères. L'équivalence de ces dépôts avec les formations villafranchiennes à faunes caractéristiques est cependant une hypothèse acceptable.

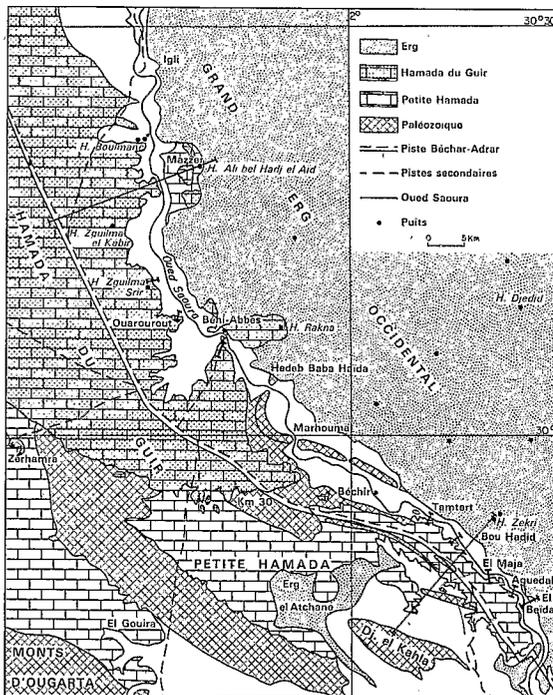


FIG. 1. — Extrémité méridionale de la Hamada du Guir et de la Petite Hamada (situation des coupes).

substratum primaire. Sur une quarantaine de kilomètres, nous avons pu relever une série de coupes, de Mazzer au km 30, que nous décrirons rapidement ; ce sont, du Nord au Sud, les coupes de Mazzer, Zguilma, Ouarourout, Béni-Abbès.

Une coupe E-W, perpendiculaire au profil et normale à l'Oued Saoura, va de la piste de Colomb-Béchar-Adrar au Grand Erg occidental (fig. c du dépliant), au-delà du golfe de Mazzer, en passant par le Ksar. Ce profil permet de saisir les rapports entre les formations hamadiennes mio-pliocènes (ng) et les formations plus récentes, plio-villafranchiennes (pv et q 1).

a) *Coupe de Mazzer* (fig. 2 A). Sur les argiles et calcaires du Viséen supérieur (I) existent deux ensembles sédimentaires. L'ensemble ng inférieur est un grès à ciment argilo-calcaire, peu consolidé en moyenne, avec une passée plus gypseuse vers la base (sans doute en rapport avec la topographie du substratum) et un niveau de grès calcaire, plus massif. L'ensemble ng supérieur est représenté ici par la dalle hamadienne inférieure au sens large, épaisse de 8 m environ et hétérogène. C'est un calcaire gréseux, silicifié. Observée dans le détail, cette dalle se révèle discontinue. De haut en bas la coupe est la suivante :

- 1) dalle hamadienne : calcaire gréseux, à passées plus sableuses, alvéolaires ;
- 2) calcaire silicifié ;
- 3) grès ;
- 4) grès argileux, à nodules calcaréo-gréseux ;
- 5) grès calcaire, à passées silicifiées ;
- 6) grès à altération foliacée, un peu conglomératique (silex et éléments de roches primaires) ;
- 7) grès argilo-calcaire ; une passée de graviers siliceux, roulés ;
- 8) niveau gypseux ;
- 9) Viséen supérieur : argiles et calcaire.

A Mazzer, la hamada est incomplète, le sommet de la dalle de calcaire silicifié (niveau résistant) constitue un palier morphologique auquel viennent se raccorder des glacis quaternaires, établis à l'Ouest et à l'Est dans le golfe de Mazzer.

b) *Coupes dans le golfe de Mazzer* (fig. 2 B). A l'E comme à l'W de l'Oued Saoura, les formations plio-villafranchiennes, pv, sont bien développées. Les dépôts de la haute terrasse mazzérienne, q 1, sont visibles en rive gauche, dans le golfe de Mazzer, où elles sont emboîtées dans les formations plio-villafranchiennes qui sont les « sables et grès de Mazzer » de H. Schoeller (Aïdien de J. Chavaillon) au-dessus du niveau de la dalle hamadienne inférieure, tertiaire (Pliocène inférieur).

La coupe est la suivante :

- 1) boyaux de dissolution ;
- 2) dalle hamadienne ;
- 3) argile rouge, sableuse, « tachenghit » ;
- 4) grès à nodules argileux ;
- 5) sable ;
- 6) grès à ciment calcaire, peu abondant ;
- 7) sable blanc, un peu grésifié, à nodules gréseux ;
- 8) grès argilo-sableux ;
- 9) sable et grès blancs, à passées graveleuses ;
- 10) sable à nodules gréseux ;
- 11) niveau argilo-gréseux, rouge, inconstant ;
- 12) tuf calcaire ;
- 13) croûte calcaréo-gréseuse ;
- 14) calcaire lacustre, gréseux ;
- 15) emboîtement de la haute terrasse dans les formations plio-villafranchiennes ;
- 16) sable à points de grésification, rouges ;
- 17) argile sableuse, gypseuse et salée ;
- 18) sable grossier, blanc ;
- 19) tuf calcaire ;
- 20) grès calcaire ;
- 21) conglomérat à galets patinés, à ciment calcaire ;
- 22) reg de galets patinés ;
- 23) sommet du puits creusé au fond du golfe (Hassi Ali) ;
- 24) sable vert, un peu grésifié (Quaternaire récent) ;
- 25) niveau piézométrique.

C'est dans le golfe de Mazzer que nous avons la preuve de la grande épaisseur des dépôts du premier cycle pv (Pliocène supérieur à Villafranchien inférieur). Les hautes buttes de Mazzer dominant à une altitude de 554 m l'Oued Saoura de 75 m environ ; la dalle hamadienne est à 512 m d'altitude, soit 35 m au-dessus de l'oued³. Le puits situé au fond du golfe (Hassi Ali bel Hadj el Aid, mal placé d'ailleurs sur la carte au 200 000^e de Béni-Abbès) a 25 m de profondeur et il est creusé entièrement dans les sables, grès et argiles sableuses plio-villafranchiennes. Le niveau piézométrique de la nappe, dans ce puits, est à 516 m d'altitude, soit un peu au-dessus de la dalle hamadienne, dans les argiles sableuses, rouge brique (« tachenghit » de H. Schoeller). En bordure du golfe, au-dessus de l'Oued Saoura, le niveau des exurgences supérieures est à 510 m environ, ce qui donne sur 6 km, distance qui sépare le puits du bord de la hamada, une pente piézométrique de 1‰ (fig. c du dépliant).

Les sources de Mazzer sont alimentées par les eaux de l'erg, situé à l'Est ; le niveau piézométrique des sources supérieures est dans la dalle hamadienne. L'eau du puits d'Hassi Ali appartient à la même nappe de l'erg et il est inconcevable d'en situer le niveau piézométrique à une altitude inférieure à la dalle et à celle des sources situées à l'Ouest, comme le fait J. Chavaillon

3. Ces altitudes ne sont pas déterminées de façon très rigoureuse et les valeurs indiquées sont justes, avec une marge d'erreur de ± 2 à 3 m.

[1964, fig. 6] qui place le sommet du puits d'Hassi Ali dans la torba miocène, ce qui situe la nappe pratiquement au niveau du Paléozoïque, puisque le puits a 25 m de profondeur.

La fig. 2 Ba est la coupe des formations plio-villafranchiennes, relevée dans les buttes de Mazzer et dans le puits d'Hassi Ali. Sur la fig. 2Bb à droite, on voit la coupe des dépôts du Villa-

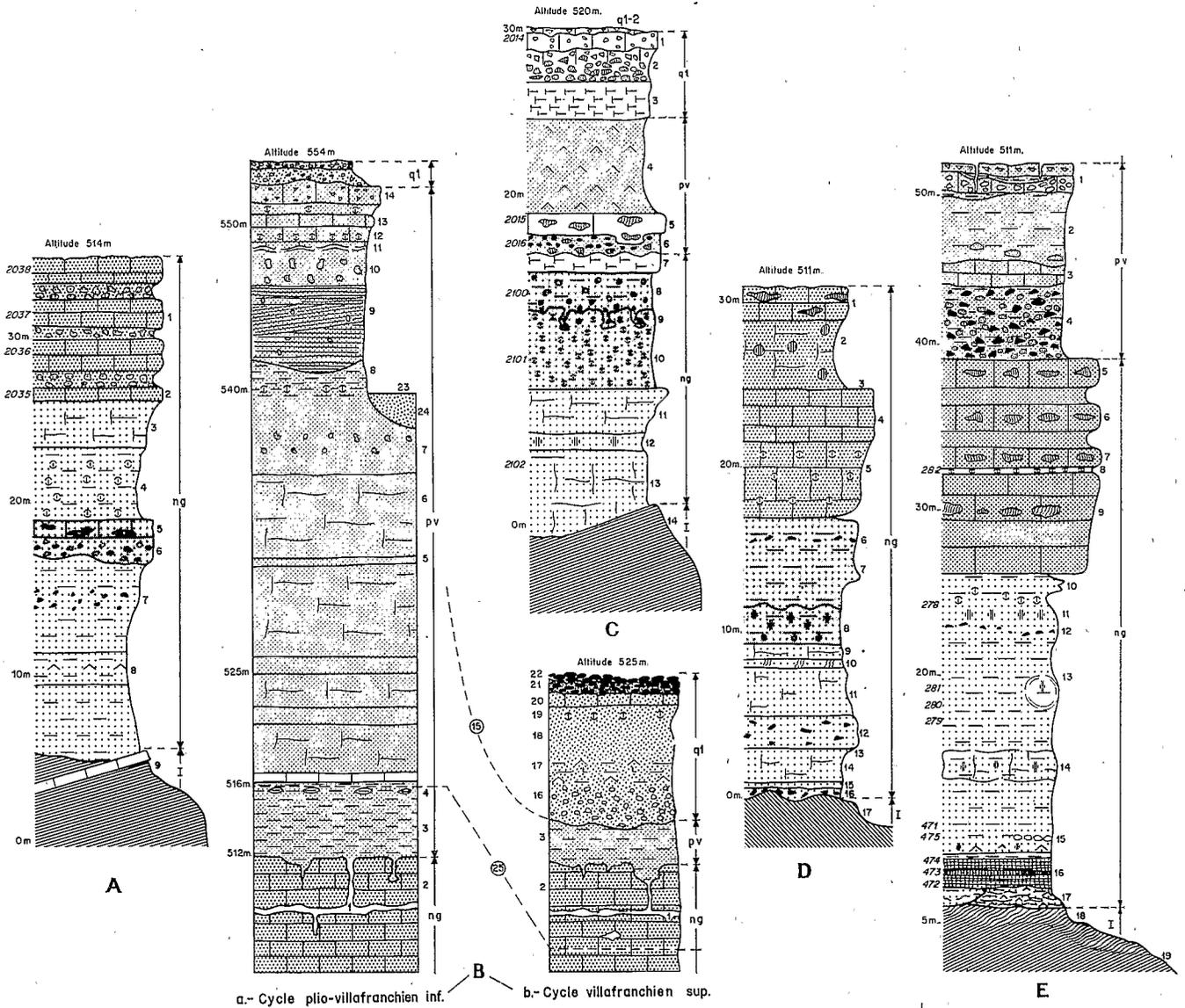


FIG. 2. — Coupes de la Hamada du Guir.

A : Coupe de Mazzer. — B : Coupe du golfe de Mazzer. — C : Coupe à Hassi Zguilma (rive droite).

D : Coupe à Ouarrourout (rive droite). — E : Coupe de Béni-Abbès.

Légende dans le texte.

franchien supérieur (q 1 = Mazzérien) qui, dans le golfe de Mazzer, reposent sur les dépôts plio-villafranchiens, érodés, ou sur la dalle hamadienne. Ces dépôts, formant la haute terrasse, succèdent à un encaissement de la vallée de l'Oued Saoura

dans la Hamada du Guir, constituée par les dépôts néogènes, surmontés des dépôts plio-villafranchiens. Le Mazzérien est donc le premier niveau de terrasse observable le long de l'Oued Saoura.

c) *Coupe de Hassi Zguilma* (fig. 2 C). Sur le Tournaisien (I), l'ensemble ng inférieur est bien développé avec à la base un grès calcaire, blanc, contenant fréquemment des éléments de Paléozoïque.

Dans la torba, sous une dalle calcaire, à plages silicifiées, une grenaille de limonite, de dimension centimétrique, est emballée dans un calcaire gréseux ; cette grenaille passe latéralement à une brèche à éclats de silex patinés. A partir du niveau à grenaille, les dépôts sont à rattacher soit au cycle plio-villafranchien (pv), soit au cycle q 1. Ce sont des dépôts grossiers (sables et poudingues), puis calcaires et gréseux. Le calcaire gréseux du sommet est bréchique ; il appartient au cycle villafranchien supérieur (Mazzérien) et surmonte des sables gypseux, clairs, q 1. Le détail de la coupe est le suivant :

- 1) croûte calcaréo-gréseuse, d'aspect colonnaire ;
- 2) conglomérat à ciment calcaréo-gréseux et éléments siliceux remaniés ;
- 3) tuf calcaréo-sableux ;
- 4) sédiment blanc, pulvérulent, gypseux, verdâtre ;
- 5) calcaire gréseux, à plages silicifiées ;
- 6) grès microconglomératique, mal consolidé, à grenaille de limonite et gravillons de quartz ;
- 7) marno-calcaire gréseux ;
- 8) torba blanc verdâtre, à nodules oxydés ;
- 9) digitations dans la torba ;
- 10) torba à nodules gréseux ;
- 11) calcaire gréseux, blanc, à silicifications (palier morphologique) ;
- 12) sable tacheté, rouille et vert (494 m, niveau d'Hassi Zguilma) ;
- 13) torba calcaréo-gréseuse, blanche ;
- 14) schistes carbonifères.

d) *Coupe d'Ouarourout* (fig. 2 D). Au-dessus du Dévonien érodé, la série hamadienne, néogène, se développe. Un niveau de brèche s'observe à la base de la coupe, au contact du Primaire. Vers le sommet de l'ensemble ng inférieur, des sables marneux, verts, pénètrent dans les sables marneux sous-jacents, à taches d'oxydation. Ce niveau est l'équivalent, en moins spectaculaire, de celui d'Hassi Zguilma. Signalons une passée de graviers siliceux, noirs. Voici le détail de la coupe :

- 1) calcaire à plages silicifiées ;
- 2) calcaire gréseux, à nodules ferrugineux ; structure squameuse à l'altération ;
- 3) palier morphologique, quaternaire ;
- 4) calcaire gréseux, massif ;
- 5) calcaire gréseux, noduleux ;
- 6) passée de graviers ;
- 7) sable marneux, vert ;
- 8) sable marneux, vert, à taches de rouille ;
- 9) grès calcaire, blanc ;
- 10) grès silicifié ;
- 11) grès calcaire, grossier, à mouchetures de calcédoine noire ;

- 12) conglomérat à ciment calcaréo-gréseux ;
- 13) calcaire gréseux ;
- 14 et 15) grès à ciment calcaire, plus gréseux au sommet ;
- 16) brèche à éléments de Paléozoïque ;
- 17) schistes dévoniens.

La dalle hamadienne est bien développée, avec un niveau plus consolidé, constituant un palier. La dalle du sommet est à plages silicifiées.

e) *Coupe de Béni-Abbès* (fig. 2 E). Nous avons à nouveau étudié cette coupe déjà décrite par H. Alimen [1957 a].

Voici le résumé de la coupe donnée par H. Alimen (du sommet à la base) :

- IV. — grès blanc, 0,50 m, Villafranchien,
- III b. — meulière grise, dure, 0,60 à 1 m,
— grès tendre, 5 à 6 m,
— dalle de meulière, en bancs peu épais, passant à des niveaux de silex,
— grès plus ou moins consolidé (1 à plusieurs mètres), passant parfois à de vrais conglomérats,
- III a. — « torba » (argile sableuse, blanche),
L'ensemble III (III a et III b) serait pliocène. Conglomérat de petits galets.
- II. — paléosol brun-rouge (niveau brun-rouge de « torba » durcie),
Le paléosol et le conglomérat appartiendraient à la période de plissements comprise entre le Miocène et le Pliocène.
Torba blanche, sans galets (10 m environ), d'âge miocène.
- I. — lit argileux, de couleur foncée, surmontant directement le Dévonien (faciès de décomposition des schistes dévoniens), relié à l'Oligocène du Nord.

Nous avons interprété différemment cette coupe et nous en donnons le détail ci-dessous ; les âges que nous attribuons à ces formations sont portés sur le côté de la coupe (fig. 2 E) (Paléozoïque, I ; Néogène, ng ; Plio-Villafranchien inférieur, pv.)

- 1) encroûtement calcaréo-gréseux, bréchoïde, moulant une dalle calcaire, fissurée ; poches de remplissage argilo-sableux, rubéfié ;
- 2) sable poudreux, calcaire, clair, tufacé ; concrétions gréseuses à la base ;
- 3) grès grossier, à ciment calcaire ;
- 4) calcaire argileux, emballant des fragments de meulière et de silex ;
- 5 à 9) dalle hamadienne inférieure ;
- 5) calcaire à silicification diffuse, généralisée ;
- 6) calcaire gréseux, à petits rognons de silex ;
- 7) calcaire à plages d'opale et à passées plus gréseuses ;
- 8) calcaire pulvérulent, sableux ;
- 9) banc de calcaire gréseux, massif, à plages silicifiées ;
- 10) grès argilo-calcaire, caverneux au sommet ;
- 11) zone lie-de-vin, surmontée par des nodules calcaires, blancs ;

- 12) lit de silex noirs, émoussés ;
 13) grès argilo-carbonaté, blanchâtre (torba) ; en surface, altération en boules ;
 14) grès argilo-calcaire ; en surface, structure en boules et coloration lie-de-vin ;
 15) grès en boules rougeâtres, limitées par des cloisons gypseuses (altération superficielle, liée à la morphologie ? paléosol de H. Alimen) ;
 16) sable éolisé, clair, avec un horizon encroûté de type alios ;
 17) schistes remaniés, gypseux, passant latéralement à un grès ;
 18) schistes plissotés ;
 19) Dévonien supérieur : schistes.

L'ensemble ng qui surmonte le Primaire altéré aurait un âge miocène à pliocène inférieur. Il semble délicat de vouloir séparer un Miocène d'un Pliocène sur le critère de l'existence d'un paléosol et d'un conglomérat ; puisque les niveaux de conglomérats existent à différentes hauteurs dans l'ensemble ng et que le paléosol n'est peut-être pas une interruption dans la sédimentation hamadienne, mais une altération superficielle, d'âge quaternaire, de la torba. Dans le Nord et l'Ouest de la Hamada du Guir, l'indépendance de l'unité calcaire supérieure a été signalée. Dans le Sud de la Hamada du Guir, nous préférons, pour l'instant, attribuer globalement l'ensemble ng au Miocène et Pliocène inférieur.

Latéralement, on observe des variations, et un grès contenant des débris schisteux surmonte directement le Dévonien non altéré, notamment au toit de la cave sismique du C. N. R. S., creusée dans la Gara Diba, à Béni-Abbès. Il existe, par contre, un ensemble sableux, non consolidé, de 2 m de puissance, assez constant au-dessus du banc gréseux ou des schistes remaniés. Ce niveau sableux est encroûté par un horizon de type alios ; les sables sont assez grossiers, non calcaires et éolisés surtout au sommet (voir tabl. 1 et fig. 3 pour les échantillons 472, 473, 474). Sur ces sables, on observe des niveaux argileux, puis gypseux et grésogypseux. A la Gara Diba, 1 km au Nord-Est, le grès argilo-calcaire (« torba ») surmonte directement le niveau de sable, signalé sur la coupe ; ce grès, faiblement consolidé, est un dépôt de type lacustre, avec des taches lie-de-vin et vertes. A Hemama, en rive gauche, à 1 km environ en aval de Béni-Abbès, on observe dans les puits un calcaire gréseux, renfermant des galets de Primaire, juste au contact des schistes dévoniens. On ne retrouve ici ni le niveau de sable éolisé de la base, ni le paléosol.

Ces précisions sont données pour montrer à la fois la variabilité de la sédimentation en des points très proches et le fait qu'il existe des sédiments lacustres (Hamama, Gara Diba, au-dessus

des sables éolisés), contemporains de sols compris au sens large (sables éoliens, alios, évaporites) qui se succèdent à la base de la coupe (fig. 2 E).

Le complexe détritique que représente la « torba » des arabes est un grès argilo-carbonaté faiblement consolidé, de couleur claire, avec des taches roses, liées à la présence de fer et de manganèse. La teneur en carbonate de ce grès est d'environ 15 à 25 %, les fractions < 2 μ représentent 15 à 20 % du sédiment.

		472	473	474	282
Q 1	α	3,9	3,8	5,2	5,8
	φ	1,3	1,3	1,7	1,9
	mm	0,41	0,42	0,30	0,26
Md	α	5,5	5,3	6,6	7,7
	φ	1,8	1,8	2,2	2,6
	mm	0,28	0,30	0,22	0,17
Q 3	α	7,6	6,8	7,8	8,4
	φ	2,5	2,3	2,9	2,8
	mm	0,17	0,21	0,17	0,14
Qd	α	1,9	1,5	1,3	1,3
	φ	0,63	0,5	0,43	0,43
He	α	1,4	1,4	0,65	0,75
	φ	0,47	0,47	0,22	0,25
σ	α	2,4	2,3	1,8	2,2
	φ	0,8	0,76	0,6	0,72
So		1,53	1,41	1,35	1,35

TABL. 1.

Dimensions et indices des sables de la Hamada du Guir.

Immédiatement au-dessus de la première dalle calcaire, silicifiée, un niveau de 20 à 30 cm de sable est remarquable par sa richesse en carbonate de calcium pulvérulent (59 %). Le sédiment décalcifié (282) a été tamisé et la courbe granulométrique s'apparente à celle des sables de la base de la coupe (tabl. 1 et fig. 3). Le tamisage de l'échantillon non décalcifié donne une idée de la répartition des carbonates, surtout dans les fins (< 57 μ), mais également tout autour des grains de quartz.

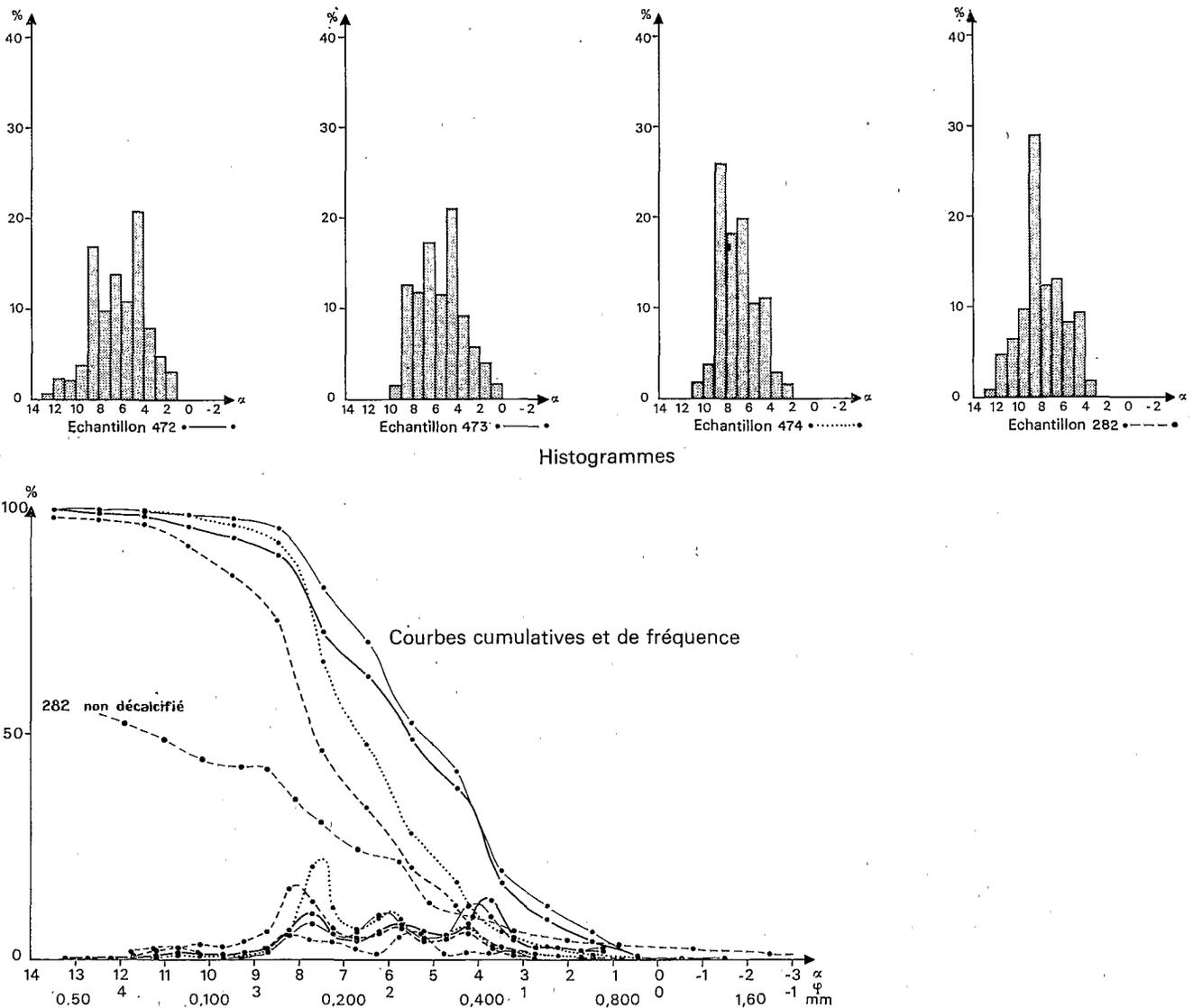


FIG. 3. — Coupes cumulatives et de fréquence des sables de la Hamada du Guir (Béni-Abbès).

Au-dessus des grès et des niveaux de calcaire silicifié, inconstants, de la dalle hamadienne inférieure, les formations appartiennent au cycle plio-villafranchien inférieur (pv). Près de Béni-Abbès, on n'observe que la base de ces formations qui sont gréseuses et localement grossièrement détritiques, mais qui s'épaississent vers l'Ouest. La coupe 2 E est donc interprétative pour les formations superposées à cette dalle hamadienne. Une première étude des daïas de la hamada [Conrad, 1959 b] et des recherches ultérieures sur le remplissage de ces daïas ont montré l'existence de deux niveaux calcaires,

consolidés, d'âge plio-villafranchien. Un encroûtement plus récent, d'âge quaternaire ancien (Villafranchien supérieur = Mazzérien), fossilise les surfaces d'érosion établies aux dépens des dépôts du cycle ancien et se retrouve également dans le remplissage des daïas de la Hamada du Guir.

II. COUPES DANS LA PETITE-HAMADA, DES AFFLEUREMENTS DÉVONIENS DU KM 30 A EL BEIDA. — Une Petite Hamada s'étend au Sud des affleurements primaires du km 30, en direction des monts d'Ougarta (fig. a, b, c du dépliant).

L'Oued Saoura franchit ce relief par la cluse fonctionnelle de Marhouma, mais il existe des cluses fossiles (appelées foug) au Sud-Est ; ce sont les foug El Aribi, foug Béchir, foug Tamtert, qui ont fonctionné à des époques plus anciennes.

a) *Coupe au niveau de Tamtert* (rive droite). C'est à ce niveau, au lieu dit Djebel Moka, que l'on observe dans une intrication assez complexe les derniers témoins de l'ensemble calcaire de la hamada néogène, reposant sur les grès argilo-calcaires qui contiennent de nombreux niveaux de brèches, liées à la proximité des affleurements primaires. Des buttes témoins néogènes (ng) dominent la surface morphologique, d'âge quaternaire ancien (q 1 = Mazzérien), encroûtée par une dalle de calcaire bréchique (q 1-2) rougeâtre. Cette interprétation est résumée sur le profil longitudinal (fig. b du dépliant). Au S de l'oasis d'Éidir, on n'observe plus de buttes témoins néogènes.

b) *Coupe de Bou Hadid* (fig. 5 A). Au-dessus des schistes dévoniens, une série essentiellement calcaréo-gréseuse, de 15 à 20 m d'épaisseur, est ravinée par une série détritique, constituée par des grès, des conglomérats et des sables. Voici le détail de la coupe :

- 1) calcaire gréseux, bréchique, bien cimenté ;
- 2) calcaire à structure colonnaire ;
- 3) grès grumeleux, passant peu à peu à la structure colonnaire ;
- 4) argile grumeleuse, bariolée ;
- 5) restes de termitières ?
- 6) sable à galets d'argile ;
- 7) sable grossier, beige clair, à chenaux de 2 à 10 cm de diamètre (fig. 4) ;
- 8) sables à stratifications entrecroisées et lentilles de conglomérats ;
- 9) conglomérat de base du Villafranchien supérieur (Mazzérien) : galets de Primaire dans un grès grossier ;
- 10) sable gréseux, fin, rosé, à nodules calcaires, blanchâtres, d'environ 5 mm de diamètre ;
- 11) sable fin, à nodules calcaires ;
- 12) schistes dévoniens.

Les quatre mètres de sables grossiers, à stratifications entrecroisées, présentent de très nombreux boyaux de dissolution, de dimension centimétrique à décimétrique. Les parois de ces boyaux sont revêtues d'un enduit carbonaté (voir la photo représentant ces boyaux, fig. 4). L'existence de ces conduits, dans des sédiments possédant une perméabilité « en petit » importante, doit être interprétée comme une preuve de l'abondance des circulations hydriques au Quaternaire ancien, reflet de l'activité karstique du plateau.

Au-dessus de la dalle calcaire, on observe l'encroûtement bréchique, rougeâtre, discontinu, q 1-2. L'existence d'une dalle calcaire, ondulante, parfois dédoublée, est assez constante de Bou Hadid à Aguedal, vers la base du niveau calcaire.



FIG. 4. — Boyaux de dissolution dans les sables à stratification entrecroisée de la Petite Hamada à Bou Hadid.

c) *Coupe à El Maja* (fig. 5 B). Le substratum primaire n'apparaît plus à la base des coupes, car l'érosion anténéogène a dû creuser plus profondément les niveaux tendres du Dévonien supérieur. Au-dessus de l'ensemble pv, gréseux et argileux, la sédimentation conserve son caractère fluvial, avec des épisodes torrentiels (passées conglomératiques, en lentilles). La coupe est la suivante :

- 1) dalle calcaréo-gréseuse, bréchique, couronnée par un encroûtement colonnaire, bréchique ;
- 2) calcaire gréseux, blanc, sableux à la base, noduleux et caverneux au sommet ;
- 3) argiles sableuses grises, à stratification entrecroisée et nodules d'argile rouge ; lentilles de gypse et de conglomérats ;
- 4) grès grossier, à lentilles conglomératiques ;
- 5) conglomérat à stratification entrecroisée ;
- 6) argile ;
- 7) marno-calcaire ;
- 8) calcaire gréseux ;
- 9) argile rouge brique (termitières ?) ;
- 10) grès grossier ;
- 11) grès clair, dur ;
- 12) argiles rouges et grises, à réticule de gypse ;
- 13) grès clair, dur ;
- 14) argile bigarrée, rouge brique et bleutée, à réticule de gypse ;
- 15) lentille de conglomérat à galets de roches primaires ;
- 16) grès clairs, à nodules calcaires, blancs ;
- 17) niveau de l'Oued Saoura.

Au sommet, sur la Petite Hamada, en bordure de la falaise, nous avons trouvé, non loin de là (au SW d'El Ouata), des galets fluviaux,

extrêmement bien roulés, souvent fossilifères, dont la composition pétrographique et faunistique témoigne d'apports lointains.

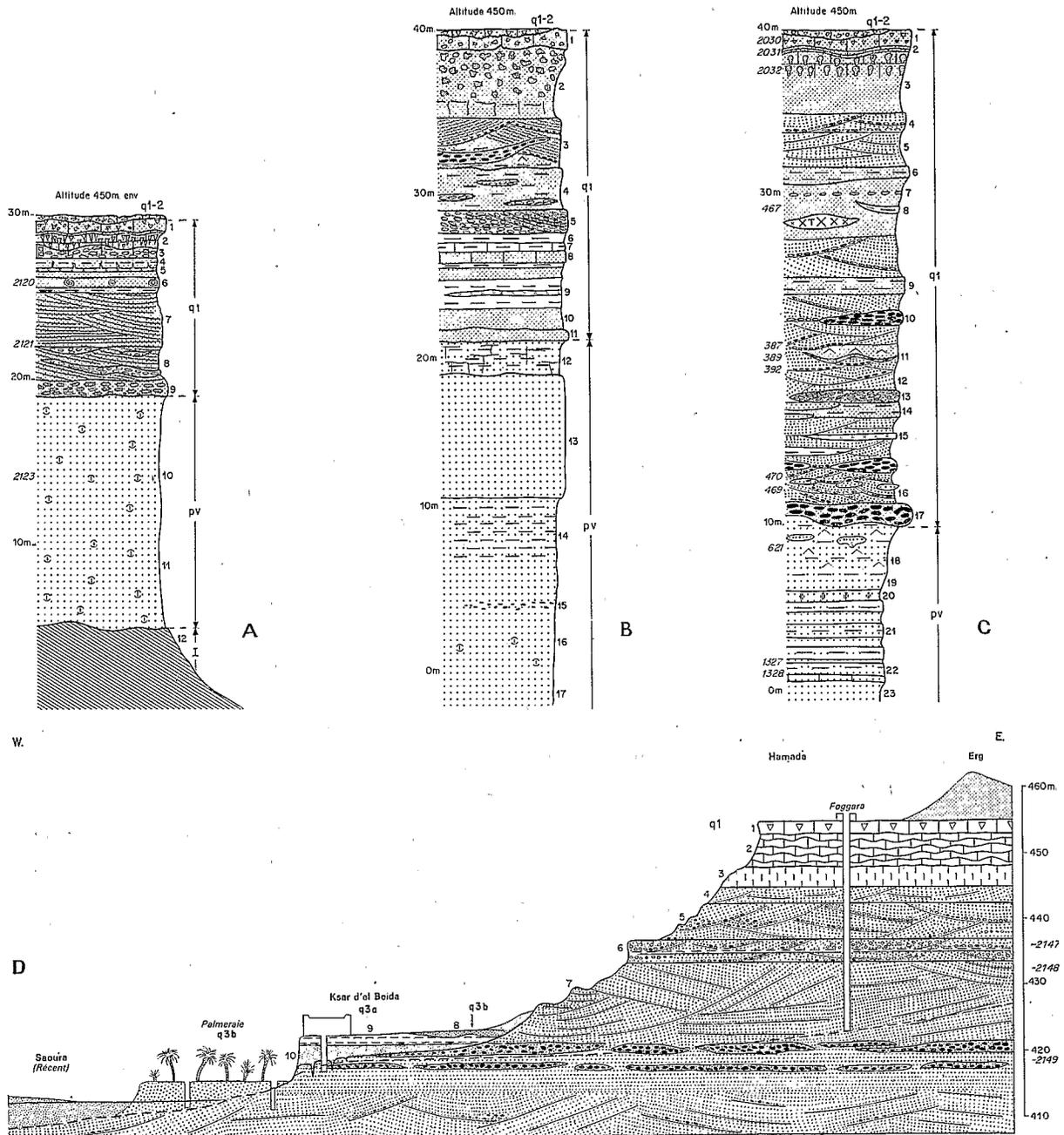


FIG. 5. — Coupes dans la Petite Hamada.

A : Coupe à Bou Hadid. — B : Coupe à El Maja (rive droite). — C : Coupe à Aguedal (rive droite).
 D : Coupe de la Petite Hamada et des terrasses de la Saoura à El Beida (rive gauche)

Légende dans le texte.

d) *Coupe à Aguedal* (fig. 5 C). Un coude de la Saoura vient entailler la falaise de la Petite Hamada et l'on observe une très belle coupe dont le détail est le suivant :

- 1) calcaire gréseux, à structure colonnaire ;
- 2) calcaire gréseux, en plaquettes, ondulant ;
- 3) grès clair, alvéolaire, passant à un sable farineux, calcaire, peu consolidé à la base ;
- 4) sable grossier et graviers roulés, à stratification entrecroisée ;
- 5) sable légèrement grésifié ;
- 6) argile gréseuse, rouge, à débit prismatique ;
- 7) sable à passées de galets ;
- 8) lentilles d'argiles avec nombreuses traces de termitières ;
- 9) banc d'argile gréseuse, à débit prismatique ;
- 10) lentille conglomératique ;
- 11) lentille argilo-sableuse, avec évaporites, surmontant un niveau à galets cariés ;
- 12) sable grossier ;
- 13) conglomérat ;
- 14) argile gréseuse, prismatique, passant latéralement à des grès ;
- 15) lentille argileuse, à nombreuses tubulures (termitières) ;
- 16) sable grossier et grès ;
- 17) conglomérat de base du Villafranchien supérieur (Mazzérien) : éléments de Primaire, Crétacé, Éocène, Mio-Pliocène ;
- 18) argile gréseuse, très gypseuse ;
- 19) argile sableuse, gypseuse ;
- 20) sable clair, à traînées d'oxydation ocres et pastilles d'argile ;
- 21) sable homogène, ocré, un peu argileux ;
- 22) argile gréseuse, plastique, rouge ;
- 23) sable isométrique, un peu ocré.

Cette coupe peut être interprétée de la façon suivante :

— 8 à 10 m au-dessus de l'oued, un niveau conglomératique ravine une série argilo-gypseuse qui semble être le terme d'une séquence argilo-sableuse que nous rattachons au Plio-Villafranchien inférieur (pv).

— les 30 m de la coupe appartiennent au cycle villafranchien supérieur, q1, représenté par un ensemble de sables et de grès grossiers à stratification entrecroisée, de conglomérats et de bancs d'argile, lenticulaires.

Un niveau argileux en lentille (marqué T sur la coupe) est parcouru de nombreuses tubulures qui sont probablement les tiges et racines de végétaux colonisés par les termites. Cette explication, qui nous paraît la meilleure, permet d'interpréter de la même manière des niveaux analogues, bien que plus énigmatiques, qui existent notamment à Bou Hadid et El Maja.

Le conglomérat de base du Villafranchien supérieur a livré une faune de Lamellibranches, déterminée par S. Freneix. Malgré les apparences, les fossiles (des Nucules et des moules internes de *Cardium*) ne sont pas en place et sont issus

des galets. Cette faune marine, d'âge éocène (?), nous renseigne quant à l'origine lointaine des galets inclus dans ce poudingue et traduit l'existence d'un ancien fleuve quaternaire qui prenait sa source dans le Nord.

Au point de vue sédimentologique, les courbes cumulatives et de fréquence des sables de l'ensemble q1 de la Petite Hamada traduisent la diversité des conditions de dépôt (tabl. 2 et fig. 6).

		469	470	392	389	387	467
Q 1	α	7,1	2,8	1,0	5,6	4,4	4,1
	φ	2,4	0,9	0,33	1,9	1,5	1,4
	mm	0,20	0,53	0,80	0,28	0,36	0,39
Md	α	7,9	3,7	2,8	6,7	5,6	5,0
	φ	2,6	1,2	0,9	2,2	1,9	1,7
	mm	0,16	0,47	0,53	0,21	0,28	0,32
Q 3	α	8,3	4,6	4,4	7,6	6,4	6,2
	φ	2,8	1,5	1,46	2,5	2,1	2,1
	mm	0,15	0,35	0,36	0,17	0,23	0,24
Qd	α	0,6	0,9	1,7	1,0	1	1,05
	φ	0,2	0,3	0,56	0,33	0,33	0,35
He	α	0,35	0,50	1,6	0,8	0,8	0,7
	φ	0,12	0,17	0,53	0,23	0,26	0,23
σ	α	1,2	1,8	2,4	1,7	1,6	1,4
	φ	0,4	0,6	0,8	0,6	0,53	0,5
So		1,15	1,23	1,48	1,26	1,26	1,27

TABL. 2.

Dimensions et indices des sables de la Petite Hamada.

Au-dessus du conglomérat, un sable (469) a des caractères éoliens accusés, ce qui, avec les stratifications obliques, observables sur le terrain, peut être interprété comme une ancienne formation dunaire. L'échantillon 470 est un sable ocre, à stratifications entrecroisées, beaucoup plus grossier. La fraction sableuse de l'échantillon 392 (36 % de sable dans le niveau) reflète bien l'origine fluviatile du sédiment. Les sables 389, 387, 467 sont des sables d'origine mixte, fluvio-éolienne.

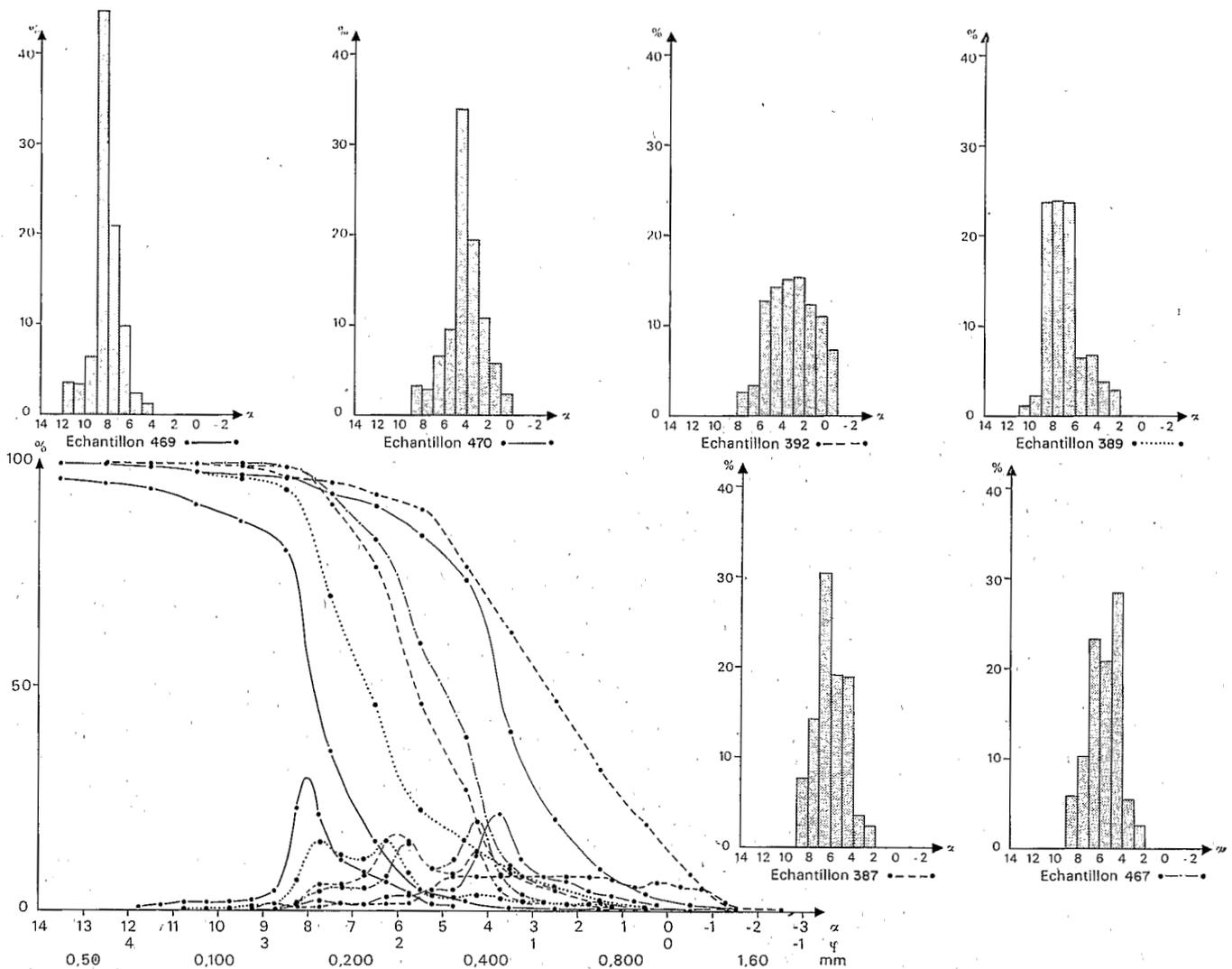


FIG. 6. — Courbes cumulatives et de fréquence des sables de la Petite Hamada (Aguedal).

e) *Coupe à El Beïda* (fig. 5 D). La figure montre une coupe à travers les formations plio-villafanchiennes et les terrasses quaternaires, depuis l'Oued Saoura jusqu'au Grand Erg occidental, en rive gauche.

- 1) croûte calcaréo-gréseuse, bréchique, q 1 ;
- 2) calcaire gréseux, noduleux ;
- 3) calcaire sableux, tufacé, blanc ;
- 4) grès grossier, à stratification entrecroisée ;
- 5) grès et conglomérat à boyaux de dissolution ;
- 6) conglomérat à chenaux et intercalation d'argile ;
- 7) grès grossier ;
- 8) sable noir, q 3 b ;
- 9) calcaire crayeux, blanc, q 3 a ;
- 10) sables verts, q 3 a.

La nappe aquifère de l'erg est établie dans les formations de la Petite Hamada qui sont des sédiments grossiers et perméables à la base, calcaires au sommet, avec une dominance de calcaire tufacé, blanc. Ce calcaire farineux et le niveau de calcaire crayeux, blanc, de la terrasse saourienne sont à l'origine du nom du pays.

Une foggara morte, creusée en direction de l'erg, permet de suivre la pente piézométrique de la nappe qui, en bordure de la Saoura, passe dans les alluvions récentes, guiriennes (q3b). La nappe de l'erg se trouve ici dans des sables grossiers, à stratifications entrecroisées, avec des lentilles conglomératiques.

f) *Coupe hydrogéologique SW-NE à travers la Petite Hamada* (fig. d du dépliant). Cette coupe montre les rapports des diverses formations :

— cônes d'éboulis et brèches de pente q1 sur les flancs du Djebel el Kahla, se raccordant à la dalle calcaire de la Petite Hamada (q 1) qui fossilise toutes les surfaces ; cette dalle est recouverte de manière discontinue par un encroûtement rougeâtre, souvent conglomératique, q 1-2 ;

— dépôts récents du Villafranchien supérieur (Mazzérien), peu épais sur le Paléozoïque, au SW de la Petite Hamada, sauf au niveau des schistes siluriens ;

— formations du Villafranchien supérieur (Mazzérien), reposant sur les dépôts du Plio-Villafranchien inférieur (pv), érodés, et sur les schistes du Dévonien supérieur, au NE de la Petite Hamada.

La nappe de l'erg, située au-dessous des calcaires de la Petite Hamada, en rive gauche, s'abaisse en bordure de la Saoura et passe dans les alluvions récentes.

En rive droite, la Petite Hamada ne recèle pas de nappe.

III. RAPPORTS ENTRE LA HAMADA NÉOGÈNE ET LES FORMATIONS PLIO-VILLAFRANCHIENNES.

a) *Au Nord du km 30* (fig. a, b, c, du dépliant). Les formations néogènes, couronnées par une dalle calcaire, silicifiée, sont érodées et supportent une épaisse série détritique, essentiellement sableuse, dont 40 m sont conservés. Les dépôts hamadiens néogènes ont une puissance régulièrement croissante vers le Nord et, dès Abadla, on observe l'existence de deux dalles de calcaire silicifié, bien séparées. Au N d'Igli, les dépôts plio-villafranchiens sont emboîtés dans l'ensemble hamadien néogène. Il faut signaler la présence de témoins de dalle hamadienne supérieure dans la partie méridionale de la Hamada du Guir. Les deux dalles hamadiennes sont séparées par de la torba.

Pour la partie méridionale de la Hamada du Guir, la dalle calcaire inférieure, plus ou moins érodée, se prolonge vers l'Est sous le Grand Erg occidental ; elle supporte des dépôts épais de 40 m à Mazzer, dont la grande extension a été reconnue par R. Capot-Rey [1941], H. Schoeller [1945 a et b], J. Chavaillon [1964, p. 43-64, chapitre concernant l'Aïdien], sans que des précisions stratigraphiques aient été fournies. Sur la Hamada du Guir, nous avons vu que ces mêmes dépôts existent et sont aussi puissants à l'W qu'à l'E de la Saoura.

Les dépôts plio-villafranchiens sont épais de 40 à 45 m, très continus, mais difficiles à observer

par suite de l'existence de glacis d'érosion qui les retaillent ; ces glacis sont fossilisés par un encroûtement calcaire villafranchien (q 1) qui a protégé ces dépôts des érosions ultérieures et explique l'allure bombée des profils (fig. b du dépliant) là où notre coupe passe entre la piste et l'oued.

Le fait que les dépôts plio-villafranchiens (pv) sont emboîtés dans les formations néogènes au Nord de la Hamada du Guir et superposés à cette dernière dans le Sud nous conduit à placer la phase de déformation principale de cette hamada avant le dépôt des « sables et grès de Mazzer » sans pour autant exclure la possibilité d'une déformation plus récente (villafranchienne). Cette conception s'oppose à celle de J. Chavaillon [1964, p. 312] qui situe la déformation de la hamada au Quaternaire (Villafranchien supérieur) : « au cours de la période dite d'érosion mazzérienne ».

b) *Au Sud du km 30* (fig. a, b, et d du dépliant). Le terme de Petite Hamada a été employé par H. Schoeller, puis par J. Dresch et il nous paraît heureux. Cette hamada se développe au S de la Grande Hamada (Hamada du Guir) à laquelle elle se raccorde par un glacis. La différence d'altitude entre les deux hamadas est de l'ordre de 50 à 60 m.

J. Chavaillon, en s'appuyant sur des arguments stratigraphiques, propose d'abandonner ce terme de Petite Hamada car les formations considérées appartiennent tantôt à son cycle Aïdien, tantôt au Mazzérien et il cite l'exemple de Mazzer où l'Aïdien, à + 65 m par rapport à l'Oued Saoura, et le Mazzérien, à + 45 m, représenteraient deux petites hamadas alors que nous avons montré, après H. Schoeller, qu'il s'agit d'une formation alluviale, haute terrasse de Mazzer, emboîtée dans les formations hamadiennes comprenant le Néogène et le Plio-Villafranchien.

Pour nous, Petite Hamada est un terme morphologique qui, appliqué aux dépôts du Villafranchien supérieur (q 1), déposés au Sud et en contrebas de la Hamada du Guir et dans les monts d'Ougarta, fait image et traduit bien l'impression de terrain. La Petite Hamada quaternaire s'oppose à la Grande Hamada néogène dans laquelle elle est souvent emboîtée.

La Petite Hamada comporte à son sommet une dalle colonnaire de calcaire gréseux, bréchique, qui recouvre à l'Ouest les formations conglomératiques et gypseuses (q 1) d'El Gouira, et à l'Est les formations conglomératiques, à caractère fluviatile (q 1), épaisses de 35 m environ, décrites sur les coupes en bordure de l'Oued Saoura (fig. d du dépliant).

La Petite Hamada, au S du Km 30, comporte donc deux unités stratigraphiques bien distinctes : l'unité plio-villafranchienne (pv), visible à Aguedal, Bou Hadid et El Maja, qui constitue la base des coupes décrites et l'unité du Villafranchien supérieur (q 1). Les dépôts du Villafranchien supérieur (q 1) ravinent ceux du Plio-Villafranchien inférieur (pv).

IV. HYDROGÉOLOGIE DE LA HAMADA DU GUIR. — L'existence d'une nappe aquifère dans la Hamada du Guir n'a pas été admise par H. Schoeller [1945 b]. Bien que l'importance des ressources paraisse extrêmement faible, l'étude des quatre points d'eau en rive droite de l'Oued Saoura nous conduit à affirmer l'existence d'une nappe au N de Ouaraourout.

a) Les *positions hydrogéologiques* de ces points d'eau sont nettes ; ils sont creusés dans le fond d'oueds principaux qui entaillent la hamada sur son bord est, jusqu'à la Saoura. Les eaux d'Hassi Zguilma es-Srir et Hassi Zguilma el Kebir (8 km au N) sont dans les grès calcaires à gros éléments de Primaire, de la base du Mio-Pliocène (fig. 2 C) et n'ont pas circulé dans du Quaternaire récent. Plus au Nord, à Hassi Boulmane (1,5 km à l'W de l'Oued Saoura, fig. 1), l'eau passe dans des limons noirs que surmontent des travertins. Ces dépôts du Quaternaire récent reposent ici sur une assise de calcaire organo-détritique du Viséen supérieur. L'eau d'Aïn Boulmane sourd des travertins qui reposent alors directement sur cette barre primaire.

Ces travertins et limons noirs se retrouvent également aux deux Hassi Zguilma et dans les oueds principaux qui entaillent le bord de la hamada. Les travertins remontent jusqu'à la dalle calcaire pliocène qui devait déterminer un premier niveau de source.

Les dépôts de travertins de Zguilma et Boulmane sont liés à l'existence d'anciennes exurgences, ce qui nous amène à supposer que l'on pourrait trouver l'eau à la base de la hamada, au-dessous des lieux où s'observent ces dépôts travertineux, comme par exemple à Ouaraourout.

Signalons que des forages ont rencontré l'eau dans les terrains néogènes à Hamaguir.

b) *Piezométrie-bathymétrie*. Les niveaux piézométriques ont été estimés, pour Hassi Zguilma es-Srir à 494 m, pour Hassi Zguilma el Kebir à 495 m (soit une trentaine de mètres au-dessus de l'infero-flux de l'Oued Saoura), pour Aïn Boulmane à 488 m et pour Hassi Boulmane à 492 m (soit 9 et 13 m au-dessus de la Saoura).

La profondeur de la surface piézométrique dans les puits est faible : 1 m pour Hassi Zguilma Srir et Boulmane, 2 m pour Hassi Zguilma el Kebir.

c) *Physico-chimie des eaux* (tabl. 3 et fig. 7). Bien que les prélèvements aient été effectués à des dates fort différentes, les analyses physico-chimiques constituent cependant une preuve supplémentaire de l'existence d'une nappe hamadienne. Les analyses des prélèvements de décembre 1963 ont été effectuées par le Centre de recherches géodynamiques de Thonon-les-Bains.

Le diagramme logarithmique montre l'appartenance des eaux au même groupe sulfaté sodique ; celles d'Aïn et Hassi Boulmane évoluant vers un faciès chloruré sodique à cause de leur passage dans le Quaternaire. Leurs faciès chimique est différent de celui des autres eaux de la région, que ce soient celle de l'infero-flux de l'oued, celle de la nappe de l'Erg ou celle du Cambro-Silurien.

Les eaux de Zguilma sont de troisième qualité : « potabilité permanente, eau médiocre, à saveur peu prononcée ». Les eaux de Boulmane sont de quatrième qualité : « potabilité permanente, eau mauvaise à saveur peu désagréable » (classification de H. Schoeller pour les pays arides). Notons que des nomades vivent plusieurs mois consécutifs près de ces puits et utilisent ces eaux dont la potabilité physico-chimique est médiocre ou mauvaise, tandis que la qualité biologique, non évaluée ici, doit être franchement mauvaise vu l'état d'entretien des puits.

d) *Alimentation de la nappe et circulation des eaux*. La pluviométrie moyenne interannuelle sur la Hamada du Guir est comprise entre 100 mm au Nord et 30 mm au Sud, ce qui représente une pluviométrie moyenne interannuelle de 50 mm sur l'ensemble du plateau.

Lors d'averses exceptionnelles, les oueds importants de la surface du plateau coulent. Des pluies moyennes produisent un ruissellement vers les daïas qui peuvent alors rester inondées quelques jours en hiver. La structure profonde des daïas, l'aspect corrodé de leurs encroûtements, l'absence de résidu-salin de leurs sables, la présence de végétation, nous font conclure, comme H. Schoeller [1945], qu'il s'y est produit une infiltration. Cependant, nous pensons que l'infiltration est encore suffisamment importante, compte-tenu de l'immense surface, pour alimenter la modeste nappe de la Hamada du Guir.

L'eau gagne ainsi les sables calcaires du Plio-Villafranchien, puis la dalle mio-pliocène à perméabilité de boyaux et fissures. Mais les eaux

POINT D'EAU	N°	DATE	θ	pH	dH	ρ	RES. SEC 180° (mg/l)	TENEURS EN mg/l						
								Ca	Mg	Na	Cl	SO ₄	CO ₃	NO ₃
H ¹ Zguilma Srir..	227	20-12-63	18°5	7,3	46	508	1 410	99	51	316	196	424	198	—
H ¹ Zguilma Srir.. (H. Schoeller)	227	1941	—	7,4	39	708	(1 202)	75	48	(287)	191	441	191	—
H ¹ Zguilma el K...	226	20-12-63	19°	7,4	53	503	1 390	116	57	256	208	400	64	—
H ¹ Zguilma el K... (S-E-S Alger)	226	4-11-60	—	—	60	—	—	108	77	272	220	437	198	111
H ¹ Boulmane.... (S-E-S Alger)	298	20-01-61	—	—	95	(290)	2 337	194	110	463	561	726	124	310
S. Boulmane..... (S-E-S Alger)	294	20-01-61	—	—	75	(315)	2 112	147	97	488	548	641	94	55
S. Boulmane.....	294	24-10-64	—	—	—	(403)	—	—	—	—	—	—	—	—

POINT D'EAU	FORMULE CARACTÉRISTIQUE	$\frac{rSO_4}{rCl}$	$\frac{rCO_3}{rSO_4}$	$\frac{rMg}{rCa}$	$\frac{rNa}{rMg}$
H ¹ Zguilma Srir..	SO ₄ >CO ₃ >Cl	1,60	0,66	1,16	3,23
H ¹ Zguilma Srir.. (H. Schoeller)..	SO ₄ >CO ₃ >Cl	1,59	0,69	0,94	3,34
H ¹ Zguilma el K...	SO ₄ >Cl>CO ₃	1,42	0,26	1,21	2,34
H ¹ Zguilma el K... (S-E-S Alger)	SO ₄ >CO ₃ >Cl	1,47	0,73	0,84	2,18
H ¹ Boulmane.... (S-E-S Alger)	Cl>SO ₄ >CO ₃	0,96	0,29	0,94	2,19
S. Boulmane..... (S-E-S Alger)	Cl>SO ₄ >CO ₃	0,87	0,24	0,91	2,90
S. Boulmane.....	—	—	—	—	—

TABL. 3. — Analyse des eaux.

peu abondantes s'enfouissent alors à travers les marnes sous-jacentes, localement très sableuses et fissurées, jusqu'aux niveaux de sables et de calcaires sableux de la base du Mio-Pliocène où se rencontre la nappe. Dans Hassi Zguilma es-Srir, l'arrivée d'eau par des boyaux de dissolution montre qu'une perméabilité « en grand » s'ajoute à la perméabilité « en petit ».

Nous pensons que le Dévonien supérieur et le Carbonifère inférieur, qui forment le soubassement de la hamada, jouent un rôle important dans la circulation des eaux. L'érosion anté-hamadienne sur le Primaire, constitué d'alternances de schistes, grès et calcaires à pendages nord-nord-est (Zguilma) et nord (Boulmane), a déterminé un relief de vallées monoclinales perpendiculaires à l'Oued Saouara. Nous voyons un rôle directeur du Paléozoïque dans la circulation des eaux qui doivent emprunter les vallées fossiles à fond schisteux, envoyées par le Néogène et un rôle de drain exercé par les assises gré-

seuses et calcaires primaires jusqu'à l'inferoflux de l'Oued Saoura.

Le banc de calcaire de Boulmane draine la hamada et alimente le puits et la source de Boulmane. L'eau de la source, bien que située en aval du puits, est légèrement moins chargée en sel. Ce phénomène peut s'expliquer par le fait que l'exsurgence est alimentée, pour l'essentiel, directement par le banc de calcaire primaire.

Un autre fait confirme l'existence de la nappe. En 1961, à 15 km au NNW d'Igli, un forage a rencontré l'eau dans les calcaires du Namurien inférieur à la cote 561.

V. HYDROGÉOLOGIE DES FORMATIONS HAMADIENNES SOUS LE GRAND ERG. — Il existe sous l'Erg une nappe aquifère capitale pour la région.

H. Schoeller [1945 b]) montre que l'écoulement de la nappe s'effectue vers le Sud-Ouest depuis le massif d'El Khella dans les terrains hamadiens, puis à travers les terrasses quaternaires de la

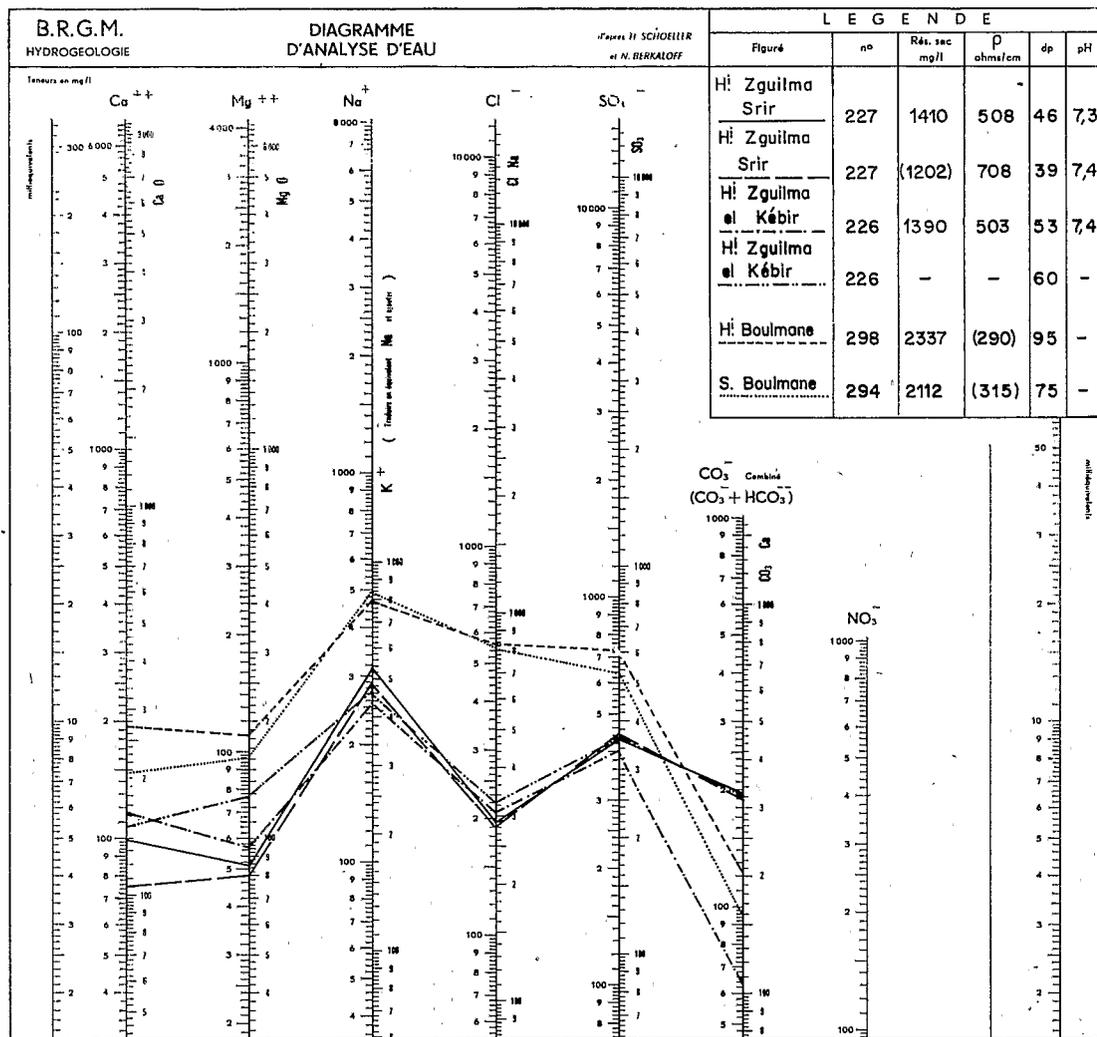


Fig. 7. — Physico-chimie des eaux.

vallée de la Saoura jusqu'à l'infero-flux de l'oued. L'eau circule dans la dalle pliocène qui possède une perméabilité « en grand », mais nous ne croyons pas, comme H. Schoeller, que les terrains néogènes sous-jacents à la dalle constituent un mur imperméable totalement efficace, en particulier sur la bordure de la hamada.

A Mazzer, les sept sources s'observent à tous les niveaux de la falaise jusqu'aux schistes viséens. Il y a donc un enfouissement partiel des eaux jusqu'au Primaire par les boyaux de dissolution très développés ici. Ce sont les vestiges de l'hydrogéologie quaternaire, mais la nappe actuelle les utilise encore en partie (fig. c du dépliant).

A Béni-Abbès, on rencontre également l'eau dans les terrains sous-jacents à la dalle (foggaras et puits d'Hemama), mais l'enfouissement des eaux depuis la dalle est surtout dû, ici, à la dislocation des terrains hamadiens sur leur bordure.

Au fond du golfe de Mazzer, Hassi Ali Bel Hadj el Aid traverse des sables et grès calcaires du Plio-Villafranchien et rencontre la surface piézométrique à 24 m au niveau du « tachenghit » rouge brique à nodules. La dalle mio-pliocène doit se situer juste au-dessous. Au fond du golfe de Béni-Abbès, Hassi Rakna traverse du Quaternaire récent, puis du Plio-Villafranchien et on atteint l'eau à 12 m sans rencontrer la dalle inférieure qui doit se situer plus bas.

Ces observations sont en accord avec celles faites dans l'erg par H. Schoeller qui situe la surface piézométrique dans le « tachenghit » et la dalle située immédiatement au-dessous.

La Petite Hamada s'observe en rive gauche, à El Beïda où elle s'enfonce sous l'erg. L'altitude des puits dans la bordure de l'erg nous amène à penser que cette Petite Hamada forme également le soubassement des dunes à l'E d'Eïdir, El Ouata et Anefid.

L'aquifère n'est donc plus la dalle pliocène. Les dépôts plio-villafranchiens, possédant, comme nous l'avons vu, une bonne perméabilité, le Néogène n'aurait qu'un rôle très secondaire, voire nul, dans la circulation des eaux. Le Plio-Villafranchien aquifère est observable à El Beïda où une foggara le traverse sur 28 m pour y drainer la nappe.

VI. HYDROGÉOLOGIE DE LA PETITE HAMADA.

— Aucun point d'eau ne se rencontre sur la Petite Hamada. Un puits creusé dans ces terrains, au milieu de l'Érg el Atchane, s'est révélé être un échec. La perméabilité « en petit » des sédiments du Villafranchien supérieur (q 1) est cependant élevée; de plus, on observe un très grand développement des boyaux de dissolution, le plus souvent verticaux; ce sont, comme pour la Hamada du Guir, les vestiges de la circulation des eaux durant le Quaternaire. Les dimensions de ces boyaux s'échelonnent de quelques millimètres à plusieurs centimètres; ils sont très souvent tapissés d'une couche de carbonates. Il est curieux de rencontrer un tel développement de boyaux dans des sables fluviaux et des conglomérats à perméabilité « en petit », certainement très suffisante à la circulation des eaux (voir fig. 4).

Le Plio-Villafranchien (pv), mieux cimenté et à granulométrie plus fine dans ce secteur, possède une perméabilité beaucoup plus faible. Nous n'y avons pas observé de boyaux de dissolution, sauf à Aguedal, où de fins canaux existent dans les niveaux de calcaire marneux, à la base de la coupe.

Il n'existe pas de nappe dans la Petite Hamada, ce qui s'explique par la pluviométrie faible (inférieure à 30 mm par an), la faible surface du plateau, l'épaisseur réduite des dépôts et surtout par l'absence d'un substratum imperméable. Le caractère très évolué des daïas de la Petite Hamada (surtout à l'Ouest) qui sont du type doline, avec parfois effondrement de la dalle calcaire supérieure par soutirage, traduit une cir-

culatation active des eaux que facilite la grande perméabilité des grès argilo-calcaires, à structure noduleuse, sous-jacents.

Les facteurs morphologiques et physiques (daïas, dalle fissurée, sédiment perméable) favorisent la concentration des eaux dans cette Petite Hamada et l'absence de nappe peut être expliquée par le drainage qui s'effectue au toit du Primaire, grâce au réseau hydrographique qui est fossilisé sous les dépôts plio-quaternaires et par l'infiltration dans les niveaux calcaires et gréseux du Dévonien.

CONCLUSIONS. — C'est par une série calcaire ou grésocalcaire que s'achève, vraisemblablement au Pliocène inférieur ou moyen, le cycle sédimentaire néogène, daté par *Limnaea bouilleti* MICH. Dans le Sud de la Hamada du Guir, une série détritique, épaisse de 40 m, est superposée à ces dépôts néogènes précédemment érodés; elle a une très vaste extension, de Mazzer jusqu'aux monts d'Ougarta et sous le Grand Erg occidental. Dans le Nord de la Hamada du Guir, les dépôts ou glacis d'érosion correspondants sont en contrebas de la hamada néogène. Ces formations ont un âge compris entre le Pliocène inférieur ou moyen et le Villafranchien supérieur, car elles sont antérieures aux dépôts de la haute terrasse quaternaire de Mazzer, datée du Villafranchien supérieur.

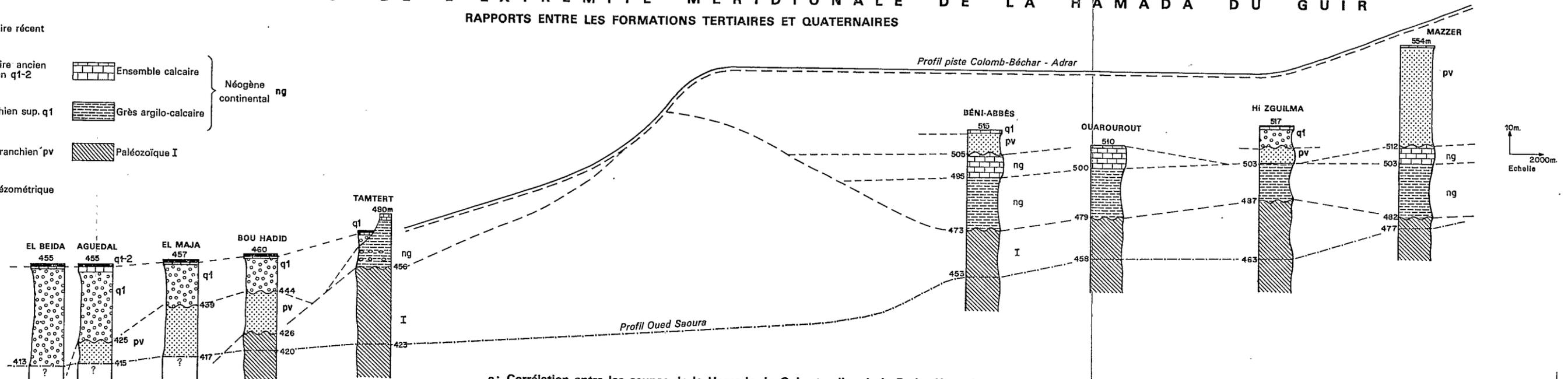
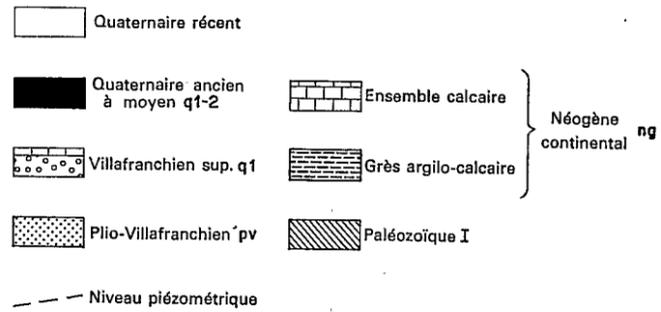
Ces dépôts plio-villafranchiens succèdent sans doute à la phase de déformation qui a soulevé le Nord de la Hamada du Guir pendant le Pliocène. Cette hypothèse rend compte du profil N-S concave de cette hamada et de l'existence d'un Plio-Villafranchien superposé au Néogène, au S du point d'inflexion du profil situé entre Igli et Mazzer.

La Petite Hamada, qui s'étend au S du Km 30 est constituée par des dépôts quaternaires, superposés à des dépôts plio-villafranchiens; morphologiquement, cette hamada est d'âge quaternaire.

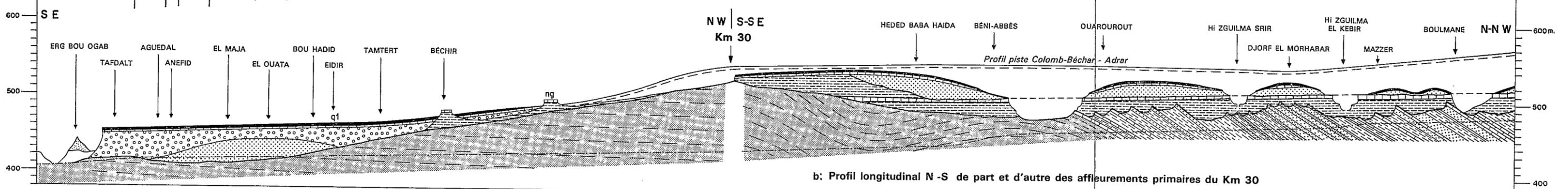
Du point de vue hydrogéologique, l'existence constante d'une nappe aquifère, en rive gauche de l'Oued Saoura, semble bien liée à la présence du Grand Erg occidental. En rive droite, la Hamada du Guir recèle une nappe peu importante qui est le reflet de l'activité karstique qui s'exerce sur la plateau et qui est très faible à l'heure actuelle.

La Petite Hamada, au sein de laquelle s'exerce une activité karstique plus marquée, ne possède pas de nappe.

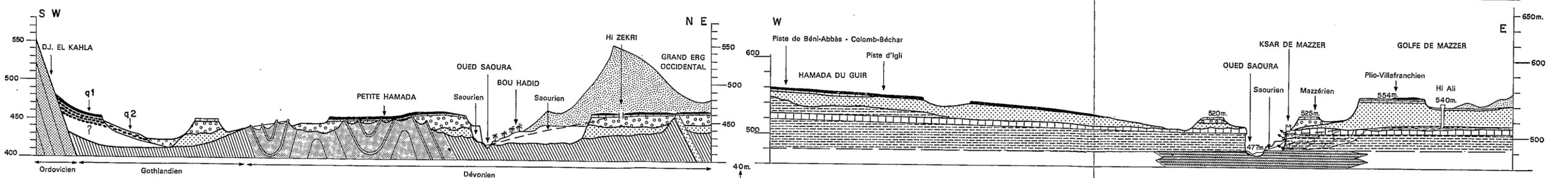
PROFILS N — S DE L'EXTRÉMITÉ MÉRIDIIONALE DE LA HAMADA DU GUIR
RAPPORTS ENTRE LES FORMATIONS TERTIAIRES ET QUATERNAIRES



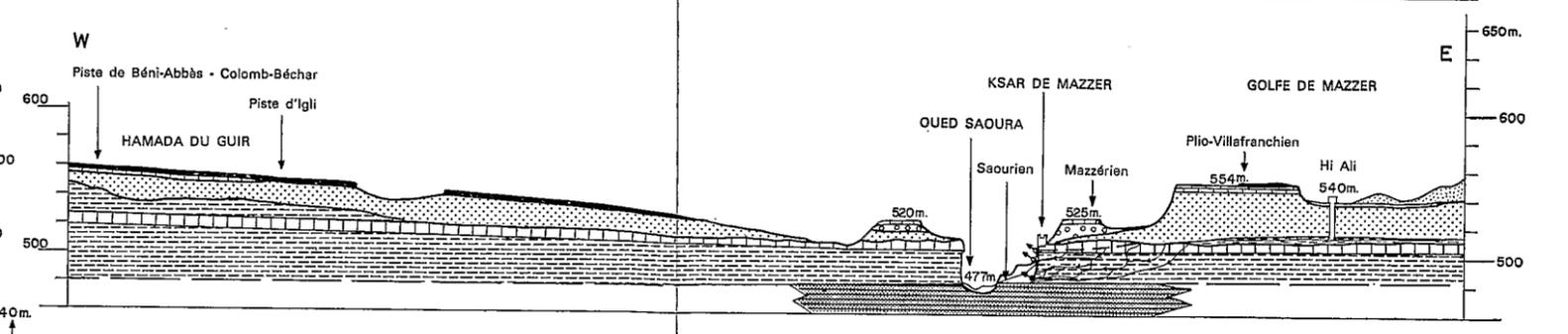
a: Corrélation entre les coupes de la Hamada du Guir et celles de la Petite Hamada



b: Profil longitudinal N-S de part et d'autre des affleurements primaires du Km 30



d: Coupe hydrogéologique N-E - S W au droit de Bou Hadid (Petite Hamada)



c: Coupe hydrogéologique E-W au droit de Mazzer (Hamada du Guir)

Bibliographie

- ALIMEN H. (1952). — Terrains néogènes et quaternaires. In Les Chaînes d'Ougarta et la Saoura. XIX^e Congr. géol. intern. Alger 1952, Monogr. région., 1^{re} sér., n° 15, p. 85-112, 9 fig., 2 pl.
- (1957 a). — Tertiaire et Villafranchien au Sahara nord-occidental. *C. R. somm. S. G. F.*, p. 238-240.
- (1957 b). — Sables quaternaires du Sahara nord-occidental (Saoura-Ougarta). Avec la collaboration de D. DOUDOUX-FENET, J. FERRERE, M. PALAU-CADOUX. *Publ. Serv. Carte géol. Algérie*, nouv. sér., Bull. n° 15, 207 p., 89 fig., 11 tabl., 8 pl.
- ALIMEN H., CHAVAILLON J. et CONRAD G. (1959). — Formations arides et paléolsols quaternaires au Sahara nord-occidental. *C. R. somm. S. G. F.*, p. 104-105.
- ALIMEN H. et DEICHA G. (1958). — Observations pétrographiques sur les meulères pliocènes. *B. S. G. F.*, (6), VIII, p. 77-90, 4 fig., 2 pl.
- CAPOT-REY R. (1941). — Observations géologiques à la bordure de l'Erg occidental. *Bull. Soc. Hist. nat. Afr. du Nord*, t. XXXII, p. 47-55.
- (1943). — La morphologie de l'Erg occidental. *Trav. Inst. Rech. sahar.*, t. II, p. 69-103.
- CHAVAILLON J. (1964). — Étude stratigraphique des formations quaternaires du Sahara nord-occidental (de Colomb-Béchar à Reggane). Thèse, 393 p., 111 fig., 32 pl., 16 cartes. *Publ. Centre Rech. Zones arides*. sér. : Géologie, n° 5. Paris, Centre nat. Rech. scient.
- CHOUBERT G. (1945). — Note préliminaire sur le Pontien du Maroc (Essai de synthèse orogénique du Maroc atlasique). *B. S. G. F.*, (5), XV, p. 677-764, 7 fig.
- CONRAD G. (1959 a). — Importance et rôle des Termites dans les formations pédologiques fossiles du Quaternaire de la région de Béni-Abbès. *C. R. Ac. Sc.*, t. 249, p. 2089-2091, 1 fig.
- (1959 b). — Observations préliminaires sur la sédimentation dans les daïas de la Hamada du Guir. *B. S. G. F.*, (7), I, p. 156-162, 2 fig.
- DRESCH J. (1953). — Morphologie de la chaîne d'Ougarta. *Trav. Inst. Rech. sahar.*, t. IX, p. 25-38, carte, photos.
- FLAMAND G. B. M. (1911). — Recherches géologiques et géographiques sur le « Haut pays de l'Oranie et sur le Sahara » (Algérie et Territoires du Sud). Thèse. Lyon, Rey édit., 1 vol. in-4°.
- GAUTIER E. F. (1908). — Mission au Sahara, t. I (Sahara algérien). Paris, A. Colin édit.
- HINDERMEYER J. (1950). — Observations géologiques dans les Hamada au Sud de Bou-Denib. *Notes et Mém. Serv. géol. Maroc*, n° 76, p. 105-139, 8 fig., 1 pl., 1 carte h.-t.
- JODOT P. (1955). — Les subdivisions du Pliocène dans le Nord de l'Afrique (Algérie-Maroc) d'après les faunes de Mollusques continentaux. *Ibid.*, n° 126.
- JOLY F. (1954). — Les terrains de couverture. In Les Hamadas sud-marocaines. *Trav. Inst. scient. chériften*, sér. gén., n° 2, p. 44-71.
- (1962). — Études sur le relief du Sud-Est marocain. Thèse. *Ibid.*, sér. Géol. et Géogr. phys., n° 10, 578 p., 16 pl., 96 fig. et cartes.
- LAVOCAT R. (1954). — Reconnaissance géologique dans les hamadas des confins algéro-marocains du Sud. *Notes et Mém. Serv. géol. Maroc*, n° 116, 148 p., 17 fig., 5 pl. h.-t., 10 pl. et 20 cartes.
- MARGAT J. (1954). — Le Villafranchien dans la vallée du Ziz (SE du Maroc). *Ibid.*, n° 122, p. 11-22.
- MENCHIKOFF N. (1946). — Sur les dépôts post-turonien des confins algéro-marocains du Sud. *C. R. somm. S. G. F.*, p. 53-54.
- ROCH Ed. (1933). — Itinéraire géologique de Bou-Denib à M'Hamid (Sud marocain). *B. S. G. F.*, (5), III, p. 245-258.
- SCHOELLER H. (1945 a). — Le Quaternaire de la Saoura et du Grand Erg occidental. *Trav. Inst. Rech. sahar.*, t. III, p. 57-71, 2 fig.
- (1945 b). — L'hydrogéologie d'une partie de la vallée de la Saoura et du Grand Erg occidental. *B. S. G. F.*, (5), XV, p. 563-585, 5 fig.

Observation et réponse.

M^{lle} H. ALIMEN : M. Conrad remet en question la limite Tertiaire-Quaternaire au Sahara nord-occidental, en proposant de rattacher au Pliocène l'Aidien, Villafranchien inférieur, dans la chronologie adoptée par J. Chavaillon et par moi-même. Je voudrais préciser les raisons qui militent pour l'âge villafranchien de ces formations, dont les « sables et grès de Mazzér » sont le type.

La dalle de meulière qui couronne la Hamada du Guir n'a, en effet, d'autre datation possible que celle que l'on peut inférer de l'âge « Pliocène inférieur » attribué par P. Jodot à la dalle de la Hamada du Draa. Il convient de souligner que cette attribution se situe dans la chronologie ancienne, où le Pliocène était subdivisé en Plai-

sancien, Astien, Villafranchien. Or la formation de l'épaisse dalle de meulière des Hamadas a exigé une période d'émersion, qui peut fort bien correspondre à l'Astien, dans la mesure où on peut définir l'Astien.

Par ailleurs, le Villafranchien du Sahara nord-occidental comprend deux cycles climatiques, l'Aidien et le Mazzérien. La Pebble-Culture n'est vraiment bien représentée que dans le Mazzérien. Or c'est aussi dans le deuxième cycle climatique villafranchien de la région classique de l'Afrique orientale que le Pebble-Culture s'individualise sans conteste.

Les minéraux lourds, déterminés par S. Duplax montrent l'indépendance des dépôts aidien par rapport à ceux de la Hamada du Guir. Dans la province miné-

ralogique de la Saoura, à laquelle appartiennent les formations de Mazzer, le pyroxène monoclinique et l'amphibole disparaissent de même que la staurotite et le disthène, au passage Tertiaire-Aïdien, tandis que l'épidote augmente dans des proportions très notables.

Les pollens ont été étudiés, précisément dans les sables et grès de Mazzer, par F. Beucher. A des essences forestières comme Tilleul, Orme, Charme, Chêne-vert, If, Pin, Olivier, etc., s'ajoutent *Pterocarya* et *Zelkova*, éléments typiquement villafranchiens, que M^{me} Van Campo a signalés par ailleurs dans le Villafranchien du Hoggar. Une telle flore est incontestablement quaternaire.

Les arguments tirés du puits du golfe de Mazzer ne me paraissent pas convaincants : il est très possible que, dans les parties inférieures, le puits ait traversé les couches pliocènes de la Hamada.

M. G. CONRAD répond : Je dois préciser que, si nous remettons bien en question la limite Tertiaire-Quaternaire, telle qu'elle est définie actuellement au Sahara nord-occidental, nous nous gardons de placer les « sables et grès de Mazzer » exclusivement dans le Pliocène comme vous l'indiquez.

Les « sables et grès de Mazzer » ont, dans notre interprétation, une position stratigraphique qui reste à définir, allant du Pliocène inférieur exclu au Villafranchien inférieur inclus ; c'est pourquoi nous utilisons le terme de « cycle plio-villafranchien (pv) ».

Si j'ai bien saisi vos remarques, vous maintenez l'attribution des « sables et grès de Mazzer » au Quaternaire ancien *stricto sensu* pour les cinq raisons énumérées ci-dessous, auxquelles je répondrai successivement.

— Le rattachement de *Limnaea bouilleti* MICR. au Pliocène inférieur par P. Jodot ressort d'une chronologie ancienne.

— Il existe de la « Pebble-Culture » dans l'Aïdien et le Mazzerien.

— L'étude des minéraux lourds introduit une coupure importante entre Tertiaire et Quaternaire.

— L'étude des pollens indiquerait, d'après vous, une flore indiscutablement quaternaire, avec des éléments (*Pterocarya* et *Zelkova*) typiquement villafranchiens.

— Les arguments hydrogéologiques ne vous paraissent pas déterminants.

1) En réalité, le travail de P. Jodot, objet de cette discussion, tient compte des recommandations du Congrès de Londres de 1954 ; le Villafranchien est placé dans le Quaternaire ; les termes de Plaisancien et d'Astien ne sont plus utilisés par l'auteur (P. Jodot, 1955) qui divise le Pliocène en Pliocène inférieur et supérieur,

chaque division comprenant trois zones. P. Jodot précise nettement sa position et il écrit qu'on ne saurait, dans le cadre de la classification moderne, faire remonter au-delà de la zone moyenne du Pliocène inférieur l'âge de la couverture hamadienne de la Hamada du Draa.

2) La découverte de « Pebble-Culture » *in situ* dans l'Aïdien, avancée comme argument pour rattacher les « sables et grès de Mazzer » au Quaternaire ancien¹, ne semble pas retenue par J. Chavaillon qui, dans sa thèse, ne mentionne plus les découvertes de « Pebble-Culture » *in situ* dans les sédiments aïdiens². Les industries lithiques les plus anciennes, trouvées *in situ*, appartiennent pour cet auteur aux dépôts mazzeriens. Il semble sur ce point en contradiction avec vous.

3) La coupure mise en évidence par les minéraux lourds³ n'apporte pas d'argument pour un âge quaternaire des « sables et grès de Mazzer ». La coupure majeure peut être intra-pliocène, car elle est liée à la reprise d'érosion qui fait suite au mouvement de bascule de la Hamada du Guir, précédant le dépôt des « sables et grès de Mazzer ».

4) En ce qui concerne la flore, ne pourrait-il pas s'agir, pour les deux genres cités, de reliques tertiaires ? De toute façon, l'étude palynologique porte sur une coupe de 9 m, dans la partie supérieure des « sables et grès de Mazzer »⁴. Or, l'un des résultats de notre travail est de prouver que ces dépôts ont 40 à 45 m d'épaisseur.

5) Nos arguments hydrogéologiques sont à notre avis irréfutables. Le fond du puits de Mazzer est au-dessus du niveau de la dalle hamadienne ; l'écoulement de la nappe de l'erg se fait de l'Est vers l'Ouest et le niveau piézométrique s'abaisse, du puits d'Hassi Ali aux sources de Mazzer, en bordure de l'Oued Saoura. Les sables, situés au-dessus de la nappe, appartiennent aux dépôts du cycle plio-villafranchien (voir la coupe du puits).

1. ALIMEN H. et CHAVAILLON J. (1959) : Découverte de « Pebble-Culture » *in situ* au Sahara nord occidental. Son âge et son évolution. *C. R. Ac. Sc.*, t. 248, p. 2894-2896, 1 fig. — (1962) : Position stratigraphique et évolution de la « Pebble-Culture », au Sahara nord occidental. *Actes IV^e Congr. panafricain Préhist.* Léopoldville, 1959, section III, p. 3-24, 3 fig., 1 pl.

2. CHAVAILLON J. (1964) : Thèse, p. 306 et 324.

3. ALIMEN H., CHAVAILLON J. et DUPLAIX S. (1964) : Minéraux lourds des sédiments quaternaires du Sahara nord occidental. *Publ. Centre Rech. Zones arides, Géol.*, n° 4, 73 p. 22, fig., 5 pl.

4. BEUCHER F. (1965) : Analyse pollinique de sédiments d'âge villafranchien inférieur au Sahara nord-occidental. *C. R. Ac. Sc.*, t. 260, p. 2559-2562.

1965

G. CONRAD ET M.-A. ROCHE

ÉTUDE STRATIGRAPHIQUE
ET HYDROGÉOLOGIQUE
DE L'EXTRÉMITÉ MÉRIDIIONALE
DE LA HAMADA DU GUIR

EXTRAIT du Bulletin de la Société géologique de France, 7^e série, t. VII, p. 695 à 712, année 1965.

ORSTOM Fonds Documentaire

N° : 32987

Cote : B