

## MORPHOGENÈSE « DUNAIRE » ET PÉDOGENÈSE DANS LE BASSIN INTRAMONTAGNEUX DE BAMIAN (AFGHANISTAN CENTRAL)

par J. LANG\* et J. PIAS\*\*

**RESUME.** — Cette étude effectuée dans le bassin intramontagneux néogène de Bamian a mis en évidence une morphologie « dunaire » très particulière. Celle-ci est la conséquence de dépôts loessiques venus se plaquer sur les versants au vent de « dunes » formant des alignements; ces derniers résultent du démantèlement par l'érosion de conglomérats fluvio-glaciaires quaternaires, recouvrant eux-mêmes des formations molassiques néogènes. Ces mêmes dépôts loessiques ont pu s'étendre plus largement sur des surfaces plus ou moins horizontales, notamment les terrasses.

Dans le type « dunaire », la pédogénèse a donné naissance à des sols marrons, lessivés obliquement en argile et en calcaire, qui s'accumulent en profondeur sous forme de nodules; dans le type « terrasse », le lessivage du calcaire a abouti à un encroûtement continu généralisé.

La relative ancienneté d'une telle pédogénèse nous est fournie par la datation au carbone 14 de l'encroûtement calcaire de la haute terrasse : âge 15 350 ans BP  $\pm$  230.

**ABSTRACT.** — This research effected in the intramontane neogene basin of Bamian has shown off a morphology with the form of a dune which is very special. This one is the result of loess deposits which have come to lie flat on the dune versants turned towards the wind making an alinement.

Because of erosion, these latest result from the dismantling of fluvio glacial quaternary conglomerates which themselves overlay molassic neogene formations. These same deposits may have spread more largely over these surfaces more or less horizontal, especially terraces of the dune type. Pedogenesis has given birth to maroon soils obliquely leached in clay and in limestone which increase in depth with the form of nodules. In the type of terrace the leaching of limestone has ended at continuous and generalized encrusting. The relative oldness of such a Pedogenesis is given by the date of the Carbon 14 of the encrusting of limestone of the high terrace : age 15.350 years BP  $\pm$  230.

### I. — INTRODUCTION

Le bassin intramontagneux de Bamian (fig. 1), situé à une altitude de 2 500 à 3 000 m<sup>1</sup>, à 130 km

1. Le climat de cette région continentale aride est de type méditerranéen avec de fortes pluies au printemps suivies d'une très longue saison sèche. En été, la moyenne des températures s'élève au dessus de 15°, en hiver, elle s'abaisse au dessous de -5°. Il faut enfin signaler que, dans une même journée, il y a de grandes variations de température entre la nuit où le thermomètre peut descendre au dessous de 0° en Juillet-Août et le jour où pendant la même période il dépasse fréquemment 20°. La pluviométrie annuelle à la station Ghazni située à 150 km plus au Sud (altitude 2 150 m) est de 394,9 mm (105,7 mm en Avril) (P. Lalande, 1966).

environ au NW de Kaboul, entre les massifs du Kohe Baba au S et celui de l'Hindou Kouch au N, s'étend sur une longueur de 50 km avec une largeur moyenne de 10 km. Il est comblé par différentes formations sédimentaires allant du Miocène au Quaternaire (J. Lang, 1968).

Cette série de Bamian a une extension considérable : vers l'Est, elle s'observe en plusieurs bassins notamment dans la vallée de Ghorband et vers l'Ouest à Yakawlang, à Penjao et jusqu'à Herat (fig. 1). Cette disposition Est-Ouest correspond probablement à un accident tectonique à l'échelle de l'Afghanistan.

Une étude sédimentologique en cours viendra compléter d'une part la stratigraphie, d'autre part

\* Laboratoire de Géologie Historique, Tour 15, 9, Quai St Bernard, Paris-V.

\*\* O.R.S.T.O.M. 70-74, Route d'Aulnay, 93 - Bondy.

1. R.C.P. 44 - C.N.R.S. « Mission géologique française en Afghanistan et Sciences Connexes ».

4 FEV. 1972

O. R. S. T. O. M.

Collection de Référence

n° B5204 Peds.

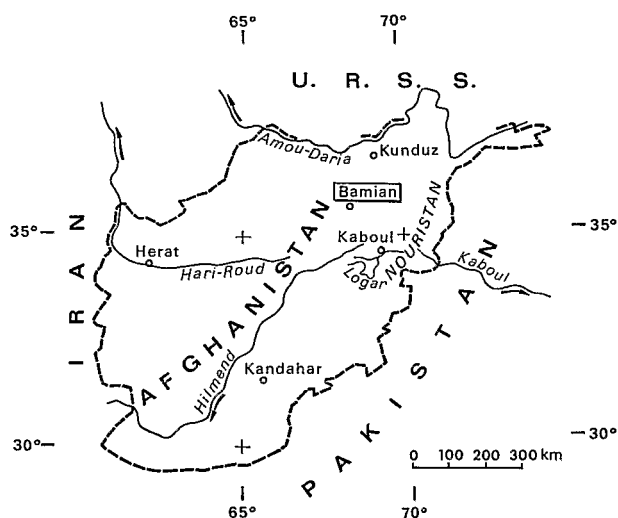


FIGURE 1  
Carte de position.

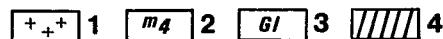
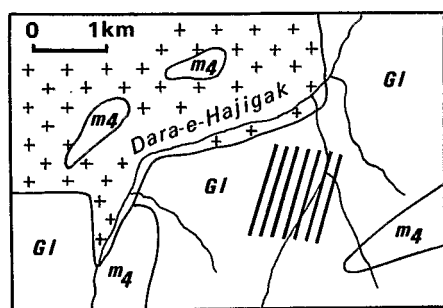
la paléogéographie de ces bassins intramontagneux néogènes en climat semi-aride, en liaison avec les phénomènes tectoniques qui ont affecté cette région.

La région étudiée dans cette note se situe à l'W du bassin de Bamian. Des conglomérats fluvio-glaciaires en provenance du SW recouvrent la formation molassique plus ou moins horizontale de Ghulghola (Miocène supérieur, J. Lang et R. Lavocat, 1966), elle-même en discordance sur le granite de Chaidan (fig. 2). Cet ensemble, que

limite vers le Nord la dépression alluviale de Dara-e-Hajigak, a été démantelé par l'érosion, ce qui a eu pour résultat la formation d'alignements orientés grossièrement S-N. Ces derniers, d'une hauteur de 8 à 15 m, présentent des versants dissymétriques assez fortement redressés vers l'Est, à inclinaison de 25 à 30° à l'W. L'aspect général rappelle un système dunaire, ce qui est surprenant au vu de la nature du matériau grossier. Une observation plus fine permet cependant de voir que cette morphologie « dunaire » est la conséquence de dépôts loessiques venus se plaquer sur les versants au vent (photo I), ce dernier ayant une direction dominante W à NW.



PHOTO I  
Aspect général.



1. Granite de Chaidan
2. Formation de Ghulghola (Miocène sup.)
3. Fluvio-glaciaire (Quaternaire)
4. Système dunaire

FIGURE 2  
Cadre géologique sommaire.

La figure 3 montre schématiquement une de ces « dunes » et la position des différents prélèvements de sols et de sédiments cités dans ce texte, dont nous étudierons successivement les caractéristiques sédimentologiques et pédologiques. Nous comparerons ces données à celles d'un loess observé sur un glacis-terrasse (J. Lang, 1968) du bassin de Bamian et dont l'évolution pédogénétique a donné un sol à encroûtement calcaire.

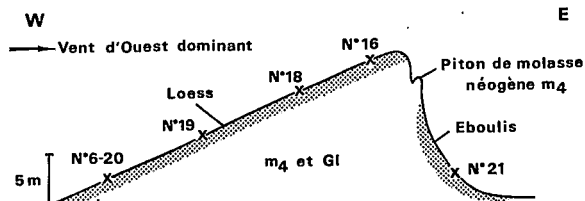


FIGURE 3  
Coupe schématique d'une dune.  
(avec numérotation des profils) m<sub>4</sub> et G<sub>1</sub> : voir Fig. 2.

## II. — CARACTÉRISTIQUES SÉDIMENTOLOGIQUES

1°) *Le conglomérat miocène* (photo II) est constitué de galets plus ou moins régulièrement arrondis de quartzite, quartz, etc..., reproduisant l'environnement du bassin (J. Fabries et J. Lang, 1970); leur mise en place aurait été consécutive à un assez long transport fluvio-torrentiel de compétence variable (présence de lentilles silteuses et même de niveaux lacustres). Notons encore la présence de galets schisteux dont les feuillets se désagrègent facilement. A ces cailloux, s'ajoutent des morceaux cassés anguleux. Le tout est emballé dans un sable grossier. Du point de vue granulométrique, il s'agit de rudites (dimensions des éléments allant jusqu'à 4-5 cm et parfois plus). Dans l'ensemble, l'aplatissement suit approximativement la stratification, plus ou moins horizontale dans cette région. L'ensemble de la gangue est calcaire, mais cependant peu consolidé.



PHOTO II  
Le conglomérat miocène (F. de Ghulghola).

Le conglomérat affleure localement en petits pitons (photo III) sur les versants E. Le plus souvent, il est masqué par ses propres colluvions, ces derniers étant eux-mêmes mélangés aux sédiments fluvio-glaciaires (composition approximativement identique à celle du conglomérat, mais moins de

schistes, galets souvent striés, pas de stratification, disposition quelconque des galets, pourcentage des cailloux cassés et anguleux plus important...).

Les éléments les plus grossiers se retrouvent naturellement au bas de la pente.

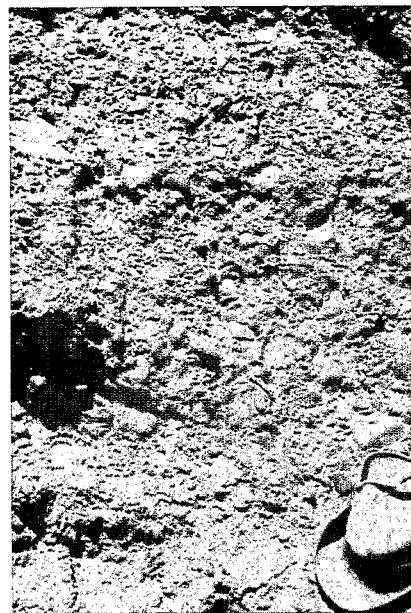


PHOTO III  
Conglomérat miocène affleurant en piton sur le versant est.

2°) *Sur les versants W* (fig. 3) s'observent des sédiments dans lesquels le pourcentage d'éléments grossiers supérieurs à 2 mm va en croissant du bas vers le sommet (tableau I). Dans chaque profil de sol, ce pourcentage d'éléments augmente avec la profondeur. Les courbes cumulatives de la fraction inférieure à 2 mm sont très étalées sur l'axe des abscisses (fig. 4). Les indices — hétérométrie,  $Q d \varphi$  — sont en général élevés :

— hétérométrie. 1,2 à 2,15 sur échantillons à calcaire non détruit ;

—  $Q d \varphi$ . 2,28 à 3,8 sur échantillons à calcaire non détruit.

Les médianes sont comprises entre 6,9 et 42  $\mu$  pour les échantillons à calcaire non détruit. Nous retrouvons là des valeurs de médianes analogues à celles d'échantillons de loess prélevés en d'autres régions d'Afghanistan mais ne contenant pas ou très peu d'éléments grossiers (J. Pias, 1971). Les courbes et les indices indiquent des sédiments très mal classés et plus exactement, dans le cas présent, le mélange de stocks sédimentaires différents (loess, colluvions de conglomérat, conglomérat en

TABLEAU 1  
Caractéristiques granulométriques \*

Déterminations Echantillons	Médiane en $\mu$	Hétérométrie	Q d phi	% éléments gros > 2 mm	% CaCO <sup>3</sup>
<u>Versant Ouest</u>					
6.1 ( 0 – 15 cm)	15,0	1,6	2,40	22,0	2,2
6.2 ( 30 – 50 cm)	6,9	1,8	2,28	18,8	14,0
6.4 (110 – 120 cm)	26,5	1,2	2,57	50,8	12,5
20.1 ( 0 – 20 cm)	15,0	1,25	2,35	24,1	1,7
20.2 ( 30 – 50 cm)	20,0	2,0	2,72	48,0	13,3
20.3 ( 80 – 100 cm)	20,0	1,6	3,0	53,2	14,4
18.1 ( 0 – 10 cm)	7,0	1,55	3,72	38,9	9,9
18.2 ( 60 – 80 cm)	42,0	2,15	3,3	53,6	20,9
16.1 ( 0 – 20 cm)	28,0	1,7	2,95	65,6	9,2
16.2 ( 40 – 60 cm)	27,0	1,58	3,8	76,9	10,9
<u>Versant Est</u>					
		Colluvions de conglomérat			
21.1 ( 0 – 20 cm)	36,0	2,27	3,6	38,7	10,1
21.2 ( 60 – 80 cm)	23,0	2,40	3,3	41,7	8,0
<u>Glacis-Terrasse</u>					
15.1 ( 0 – 15 cm)	35,0	2,25	2,92	35,0	29,2
15.2 ( 15 – 25 cm)	15,0	2,1	2,55	11,4	49,2
15.3 ( 40 – 60 cm)	8,4	3,45	3,6	traces	75,4

\* Pour la situation des échantillons, voir texte et figure 3.

place ou sédiment fluvioglaciale). Tous ces échantillons contiennent du calcaire en quantité variable (1,7 à 20,9 %) avec une augmentation de celui-ci en profondeur dans certains profils où il s'accumule souvent sous forme de nodules plus ou moins friables.

La recherche des minéraux lourds dans ces différents échantillons apporte peu de renseignements malgré des teneurs pondérables assez élevées (3,4 à 5,4 % de la fraction du sédiment comprise entre 50 et 500  $\mu$ ). Ils sont le plus souvent très altérés et indéterminables. Il y a très peu de minéraux transparents. Ce sont alors : de l'épidote,

de la hornblende, quelques grenats, de rares zircons et tourmalines. Les échantillons où ils sont le moins nombreux ou totalement absents sont, soit des échantillons de profondeur, soit des échantillons prélevés sur le versant E ou sur le versant W et alors en haut de pente (Horizons N° 21.1-21.2, 16.1-16.2, 18.1-18.2, 20.3, 6.4). L'analyse, par les rayons X, de la fraction des minéraux lourds opaques révèle la dominance de goéthite et de séricite. À titre de remarque, signalons que cette même fraction est riche en éléments traces de manganèse, de plomb, d'étain, de vanadium, de cuivre, de titane, de zirconium, de nickel (tableau 2).

MORPHOGENÈSE ET PÉDOGENÈSE DU BASSIN DE BAMIAN

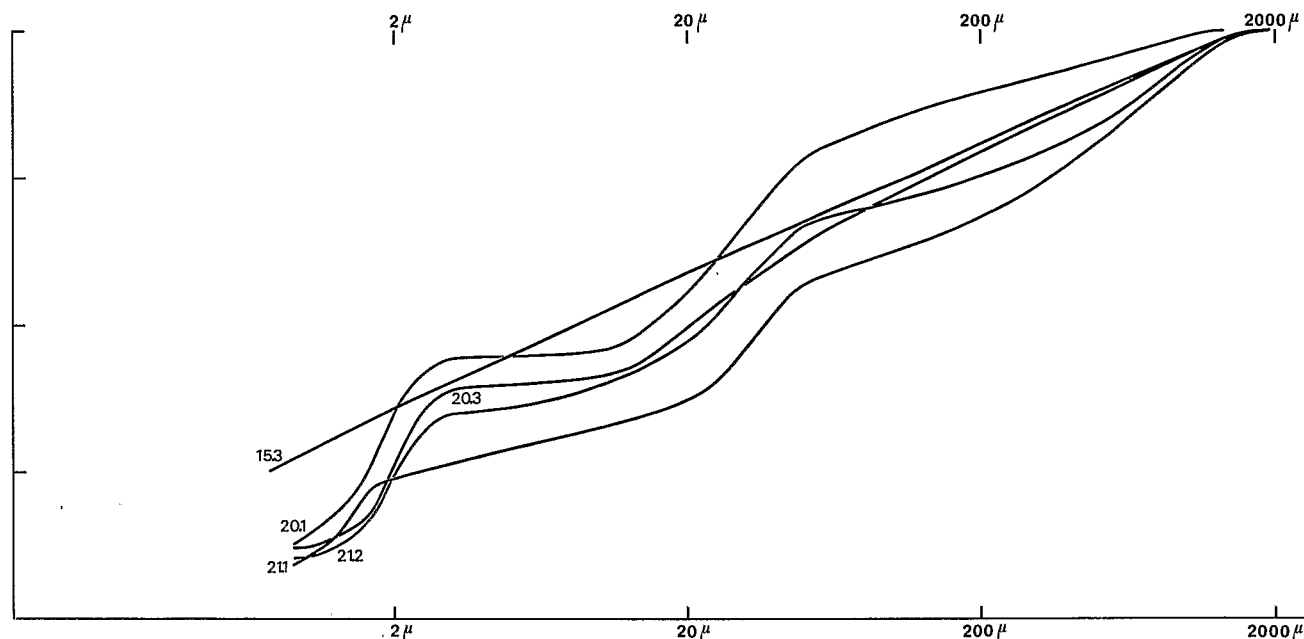


FIGURE 4

Courbes cumulatives (Echantillons calcaires).

Versant est Nos 21.1-21.2 (Profil 21); versant ouest Nos 20.1-20.3 (Profil 20); 5<sup>e</sup> terrasse N° 15.3 (Profil 15).

TABLEAU 2

Eléments-traces dans les sols.

N <sup>os</sup> \ Eléments(1)	Mn	Pb	Ga	Mo	Sn	V	Cu	Zr	Zn	Ni	Co	Cr	Rb	Li	Ba	Sr
18-1	900	< 10	40	< 10	20	45	30	< 100	< 100	30	< 10	80	900	900	900	450
18-2	720	< 10	40	< 10	< 10	30	30	< 100	< 100	30	< 10	80	900	900	900	900
20-1	1300	20	40	< 10	< 10	30	30	< 100	< 100	30	< 10	80	900	900	900	900
20-2	900	10	40	< 10	< 10	30	30	< 100	< 100	30	< 10	80	900	900	900	900
20-3	900	10	40	< 10	< 10	30	30	< 100	< 100	30	< 10	80	900	900	900	900
21-1	900	< 10	40	< 10	< 10	30	30	< 100	< 100	30	< 10	80	900	900	900	900
21-2	950	< 10	40	< 10	< 10	30	30	< 100	< 100	30	< 10	80	950	950	950	950

Eléments-traces dans les minéraux lourds.

N <sup>os</sup> \ Eléments(1)	B	Mn	Pb	Ga	Cr	Mo	Sn	V	Cu	Ti	Zr	Ni
16.2	< 10	3000	1050	100	100	< 10	1000	1000	1000	> 3000	2000	1000
21.2	< 10	3000	300	100	100	< 10	< 10	1000	1000	> 3000	2000	1000

1. Eléments traces exprimés en p.p.m.

3°) *Si nous comparons les analyses sédimentologiques de ces échantillons à ceux de loess* (Profil 15, Horizons N° 15.1-15.2-15.3) à fort encroûtement calcaire prélevés sur un glacis-terrasse relativement plan du SW de Bamian, nous constatons que les différents indices et la médiane sont assez comparables. Les éléments grossiers supérieurs à 2 mm sont en plus faible quantité (traces à 35 %), tandis que les teneurs en calcaire s'élèvent très rapidement avec la profondeur (29,2 à 75,4 %). Dans ces échantillons, parmi les minéraux lourds, il y a relativement peu d'opacités (12 à 18 %) pour des teneurs pondérables de 3,2 %. La dominance revient ici à la hornblende verte (85 à 89 %) à laquelle s'ajoutent l'épidote (7 à 5 %), le zircon (5 et 5,4 %), le grenat, le rutile.

### III. — CARACTÉRISTIQUES PÉDOLOGIQUES

#### 1°) *Description des profils.*

Nous ne décrivons en détail que 3 profils parmi les plus caractéristiques (fig. 3).

*Profil 20* prélevé en bas de pente sur le versant W au vent (Horizons 20.1-20.2-20.3).

0-20 cm : limoneux, brun (10 YR 5,5/3), fondu à polyédrique fin avec une légère tendance lamellaire sur les 15 premiers centimètres. Compacité et cohésion faibles. Porosité vésiculaire superficielle assez bien développée. Présence de cailloux inférieurs à 1 cm, arrondis ou anguleux.

20-50 cm : limoneux, de même coloration avec cailloux identiques de plus en plus abondants en profondeur et présentant sur leur face inférieure une fine pellicule de calcite de 1 à quelques mm. Structure polyédrique fine à moyenne. Cohésion faible, assez compacte. Enracinement abondant jusqu'à 50 cm.

50-130 cm : limoneux, brun très pâle (10 YR 6,5/3), plus compact. Structure polyédrique fine à moyenne bien développée. Petits nodules calcaires de 1 à 2 cm., assez friables, ou masses calcaires blanchâtres. Cailloux toujours identiques, mais plus abondants avec quelques gros galets arrondis et striés pouvant atteindre 15 à 20 cm de diamètre, mais très altérés et se brisant facilement. A partir de 100 cm, la compacité diminue fortement et le limon interstitiel tend à devenir pulvérulent.

Le *profil 19* (Horizons 19.2-19.3), prélevé un peu plus haut se présente de façon sensiblement identique avec un horizon B Ca moins développé. Cet horizon n'est plus observé dans les *profils 18* (Horizons 18.1-18.2) et *16* (Horizons 16.1-16.2) bien que les cailloux abondants dans ces profils possèdent encore une fine pellicule de calcite à leur base.

Le *profil 21* (Horizons 21.1-21.2) pris sur le versant E est différent.

En surface, abondant cailloutis superficiel anguleux de 1 à 5 cm.

0-5 cm : limoneux, brun très clair (10 YR 7/3), à fin et abondant cailloutis anguleux. Structure fondue à légèrement lamellaire. Compact. Sec.

5-40 cm : identique, très légèrement humide. Structure fondue plus compacte, avec une ligne de cailloux de 1 à 2 cm vers 30 cm.

40-80 cm : identique, très légèrement humide, massif à débit polyédrique. Cohésion faible. Porosité vésiculaire très développée.

Les profils 19 et 20 sont ceux de *sols marrons à horizon B Ca plus ou moins bien développé* (G. Aubert, 1965).

Les profils 16, 18, 21 s'apparentent à des *sols peu évolués*.

Le *profil 15* (Horizons 15.1-15.2-15.3) qui ne fait pas partie de cette toposéquence (glacis-terrasse au SW de Bamian) mérite cependant d'être cité, car il montre l'évolution pédologique des loess épandus sur une surface plane.

Il a été prélevé à une altitude de 3 000 m environ. Il est marqué par une très forte accumulation calcaire.

0-15 cm : brun clair (10 YR 6/3), limoneux, structure fondue à tendance polyédrique. Compacité et cohésion faibles. Fins petits cailloux et amas calcaires plus ou moins arrondis provenant de la destruction d'anciens dépôts de calcite que l'on observe à la base de certains galets.

15-25 cm : brun très clair (10 YR 6,5/3), limoneux, plus compact avec taches blanches calcaires à faible cohésion.  
25-40 cm : sans transition, encroûtement blanc à brun très pâle (10 YR 8/3), légèrement lamellaire se débitant en polyèdres moyens à fins (de 1 cm à moins de 1 cm). Compacité moyenne. Cohésion faible. Chevelu racinaire relativement abondant.

40-90 cm : identique, mais massif avec débit en polyèdres plus grossiers. Compact. Cohésion assez faible.

90-120 cm : arène brun-clair (10 YR 6,5/3), assez grossière bien consolidée, passant à partir de 110-115 cm à une arène plus fine. Compact. Cohésion moyenne à faible. Structure fondue à tendance particulière.

On remarquera la *faible épaisseur des dépôts loessiques* (90 cm environ) auxquels sont venus se mêler dans la partie supérieure des produits grossiers colluvionnés. L'arène sous-jacente précède le conglomérat fluvio-glaciaire que l'on voit affleurer par places. Celui-ci est *très encroûté par le calcaire* sur 1 m environ. Il peut être surmonté parfois d'une *dalle calcaire rubanée*.

La terrasse où se situe ce profil est elle-même parsemée de nombreux galets portant sur leur face inférieure des dépôts de calcite se présentant en stalagmites et constituant des sortes de barbes très fortement consolidées, épaisses de 1 à plusieurs centimètres.

TABLEAU 3  
Caractéristiques pédologiques.

N° Echantillon	6.1	6.2	6.3	6.4	20.1	20.2	20.3	19.2	19.3	18.1	18.2	16.1	16.2	21.1	21.2	15.1	15.2	15.3
Profondeur minimale en cm	0	30	50	110	0	30	80	30	70	0	60	0	40	0	60	0	15	40
Profondeur maximale en cm	15	50	70	130	20	20	100	50	90	10	80	20	60	20	80	15	25	60
Refus %	22.0	18.8	54.8	50.8	24.1	48.0	53.2	56.9	56.8	38.9	53.6	65.6	76.9	38.7	41.7	35.0	11.4	Tr
Carb. calc %	2.2	14.0	18.4	12.5	1.7	13.3	14.4	8.5	10.8	9.9	20.9	9.2	10.9	10.1	8.0	29.2	49.2	75.4
Argile %	25.0	35.0		21.0	34.5	28.5	23.0			34.5	16.0	24.5	25.0	24.0	24.5	20.0	22.0	36.0
Limon fin 2 à 20 μ%	26.0	33.0		22.0	20.0	22.0	26.5			29.5	21.5	18.0	21.0	13.5	23.0	19.0	31.0	23.0
Limon gros 20 à 50 μ%	26.5	15.0		26.0	23.5	19.0	14.5			1.5	8.5	23.0	14.0	19.5	19.5	19.0	20.0	8.0
Sable fin 50 à 200 μ%	9.5	9.0		12.0	11.0	13.5	15.5			11.0	22.0	12.5	9.0	11.0	8.0	14.0	11.0	13.0
Sabl. gros.	13.0	9.0		19.0	11.0	17.0	20.5			27.5	22.0	22.0	31.0	32.0	25.0	28.0	16.0	20.0
Carbone ‰	13.9	10.8			11.4	10.3		7.0	3.0	3.6	0.9	7.69	3.38	2.8	1.1	5.19	7.79	
Azote ‰	1.38	1.04			1.40	1.32		0.96	0.66	0.687	0.460	0.960	0.593	0.647	0.527	0.706	0.820	
Acides humiques ‰	1.03	0.41			0.64			0.26		⊙	⊙	0.54		⊙	⊙	0.22		
Acides fulviques ‰	0.52	0.70			0.54			0.38		⊙	⊙	0.63		⊙	⊙	0.64		
pH eau 1/2,5	8.4	8.5	8.5	9.0	8.3	8.4	9.0	8.5	9.0	9.1	8.8	8.5	7.9	8.9	9.8	8.5	8.4	8.6
pH chlorure de potassium	7.6	7.8	7.8	8.2	7.4	7.8	8.0	7.7	7.9	8.1	8.0	7.6	7.4	8.2	8.5	7.9	7.9	8.1
Calcium Ca <sup>++</sup>	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Magnesium Mg <sup>++</sup>	1.15	1.40	2.10	3.65	1.01	1.17	2.33	1.40	2.00	0.70	0.62	0.50	2.25	0.15	1.00	1.07	0.98	1.39
Potassium me % K <sup>+</sup>	0.80	0.43	0.30	0.10	0.70		0.07	0.20	0.10	0.17	0.07	0.23	0.13	0.40	0.10	0.80	0.27	0.07
Sodium Na <sup>+</sup>	0.07	0.13	0.20	0.34	0.07		0.67	0.13	0.47	0.40	0.20	0.30	0.35	0.20	2.54	0.35	0.67	0.30
Capacité d'échange me %	11.2	12.3	11.2	9.05	11.2	10.7	9.05	12.3	10.7	10.1	9.05	5.95	4.25	4.80	7.45	5.45	8.30	8.25
Phosphore total ‰	1.54	1.03	1.15		1.41	1.26		1.03		1.18	7.20	0.910	1.22	1.48	1.08	0.920		
Phosphore assim. Olsen mod. ‰	0,110	0,048	0,028		0,122	0,043		0,058		0,120	0,015	0,050	0,015	0,140	0,097	0,030		
Conductivité L en m-mho/cm*	1.41	1.16	1.16	3.28	1.17	1.19	1.35	1.18	1.28	1.71	1.66			1.28	2.78			
% H <sup>2</sup> O pâte saturée	37	43	43	36	36	42	34	39	36	28	29			25	23			
L. de l'extrait 1/2	0.26	0.25	0.25	0.59	0.21	0.25	0.23	0.23	0.23	0.24	0.24			0.16	0.32			
me %	Cl <sup>-</sup>	0.05	0.04	0.05	0.65	0.05	0.07	0.06	0.09	0.09	0.05	0.15			0.05	0.09		
	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	0.50	0.04	0.04	0.13	0.07	0.04	0.04	0.04	0.04	0.07	0.09			0.06	0.51		
	H <sup>+</sup> CO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0.55	0.63	0.45	0.45	0.50	0.75	0.70	0.60	0.55	0.50	0.40			0.40	0.75		
	CO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0.05	0.05	0	0.05	0.06	0.08	0.10	0.06	0.05	0.05	0.05			0.05	0.07		
	Somme Anions	1.15	0.76	0.54	1.28	0.68	0.94	0.90	0.79	0.73	0.67	0.69			0.56	1.42		
me %	Ca <sup>++</sup>	0.31	0.17	0.15	0.02	0.32	0.36	0.37	0.38	0.18	0.27	0.26			0.27	0.24		
	Mg <sup>++</sup>	0.63	0.42	0.42	0.52	0.23	0.47	0.42	0.23	0.39	0.21	0.21			0.19	0.46		
	K <sup>+</sup>	0.14	0.03	0.02	0.01	0.06	0.04	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01			0.04	0.01		
	Na <sup>+</sup>	0.04	0.03	0.02	0.63	0.01	0.01	0.14	0.08	0.09	0.13	0.16			0.03	0.73		
	Somme Cations	1.12	0.65	0.61	1.18	0.62	0.82	0.94	0.70	0.67	0.62	0.64			0.53	1.44		
CaCO <sub>3</sub> Actif ‰	0	60	110	40	0	70	60	30	35	15	10	15	15	10	10	95	220	335
C/N	10.1	10.4			8.1	7.8		7.3	4.5	5.2	2.0	8.0	5.7	4.3	2.1	8.2	9.5	

\* Calculé, à partir de L<sub>1/2</sub> ⊙-Trop faible, indosable.

2°) RÉSULTATS.

a) Les analyses physiques et chimiques des différents échantillons des profils cités révèlent (tableau 3) :

1) Pour les profils 6 et 20 situés en bas de pente :

- un lessivage de l'argile dans le profil 6, tandis que le profil 20, du fait de ces teneurs décroissantes en argile, peut apparaître tronqué d'un horizon supérieur.
- Un gradient de calcaire très accusé augmentant du haut du profil vers le bas :  
2,2 à 18,4, puis 12,5 % (profil 6) ;  
1,7 à 14,4 % (profil 20).
- Les variations en CaCO<sub>3</sub> actif sont identiques :  
0 à 110 %, puis 40 % (profil 6) ;  
0 à 70, puis 60 % (profil 20).
- Des teneurs en carbone et azote moyennes, avec décroissance peu accusée en profondeur :  
C % 11,4-10,3. N % 1,40-1,32 (profil 20),  
C % 13,9-10,8. N % 1,38-1,04 (profil 6).
- Des rapports C/N variant entre 8 et 10.
- Des pH élevés, supérieurs à 8, passant à 9 en profondeur.
- Un complexe absorbant saturé en calcium, avec des valeurs de Mg moyennes à faibles, des teneurs en K correctes dans les horizons supérieurs mais décroissant rapidement en profondeur, des taux de Na peu élevés, à l'exception de l'horizon profond du profil 6 qui n'est cependant pas salé suivant les normes anciennement adoptées (4 millimhos).

2) Pour les autres profils (N° 16, 18, 19, 21) de la même toposéquence :

- des résultats analogues en ce qui concerne les valeurs de pH, bases échangeables, capacité d'échange ;
- des teneurs en carbone et azote faibles ;
- des valeurs de calcaire total et actif variant peu à l'intérieur d'un même profil, si l'on excepte le profil 18 en calcaire total ;
- des pH élevés (8,9 et 9,8) pour le profil 21 qui le doit à des sels solubles observés en partie sous forme de carbonates de sodium. L'horizon 21.2 qui en contient le plus n'est cependant pas salé. On remarquera les très faibles teneurs en carbone et azote de ce profil et des rapports C/N très bas.

3) Pour le profil 15, qui est celui du sol à encroûtement calcaire sur loess, on constate :

- un gradient de calcaire très accusé (29,2 à

75,4 % de calcaire total — 95 à 335 % de calcaire actif) ;

- des pH voisins de 8,5 ;
- un complexe absorbant saturé. Les remarques faites pour chacun des éléments (Mg, K, Na) des profils 6 et 20 sont valables ici.

Remarque.

La recherche d'éléments-traces dans ces sols indique des teneurs supérieures à la moyenne en cuivre et d'assez fortes teneurs en rubidium, baryum, lithium, strontium. Les valeurs des autres éléments peuvent être considérées comme inférieures à la moyenne ou faibles (tableau 2).

b) L'analyse aux rayons X de la fraction fine inférieure à 2 μ de plusieurs échantillons conduit à la détermination des minéraux suivants :

- N° 20.1 horizon fortement décarbonaté (1,7 % de CaCO<sub>3</sub>),  
Illite dominante,  
Chlorite abondante,  
Montmorillonite en traces.
- N° 6.3 horizon BCa à nodules calcaires friables (18,4 % de CaCO<sub>3</sub>),  
Illite dominante,  
Chlorite,  
Montmorillonite. } abondantes  
Sépiolite.
- N° 15.3 Encroûtement calcaire (75,4 % de CaCO<sub>3</sub>),  
Attapulgite dominante,  
Chlorite,  
Illite.

Nous voyons apparaître le fait déjà signalé (G. Millot, H. Paquet et A. Ruellan, 1969 et J. Pias, 1971) de néosynthèses d'attapulgite ou de sépiolite dès que le milieu tend à s'enrichir fortement en calcaire, alors que le loess, avant toute pédogénèse, apparaît constitué essentiellement d'illite, de chlorite, de montmorillonite en mélange.

Signalons que jusqu'à présent les analyses en cours n'ont pas mis en évidence d'attapulgite ou de sépiolite dans la formation de Ghulghola sous-jacente, ce qui exclut un héritage détritique à partir de celle-ci.

CONCLUSIONS

Nous retiendrons de cette étude préliminaire, effectuée dans le bassin intramontagneux de Bamian, mais qu'il faudra étendre à d'autres bassins analogues, plusieurs faits intéressants :

- Mise en évidence d'une morphologie « du-



naire » très particulière, corollaire de dépôts loessiques qui sont venus se plaquer sur les versants au vent. Ces mêmes dépôts ont pu s'étendre plus largement sur des surfaces plus ou moins horizontales, notamment les terrasses.

— Dans le type « dunaire », la pédogénèse a donné naissance à des *sols marrons*, à lessivage oblique, probable en argile et certain en calcaire, qui s'accumulent en profondeur sous forme de nodules; dans le type « terrasse », le lessivage du calcaire a abouti à un *encroûtement continu* et généralisé. Il s'agit sans doute, dans ce dernier cas, d'un type de lessivage oblique du calcaire, non plus à l'échelle réduite d'un versant de dune, mais à celle d'un paysage plus vaste, comme cela a été signalé par ailleurs dans le Nouristan (J. Pias, 1971) sur des matériaux identiques.

— La relative ancienneté d'une telle pédogénèse nous est fournie par la datation<sup>2</sup> au <sup>14</sup>C de l'encroûtement calcaire de la haute terrasse : âge de 15 350 ans BP ± 230. Ceci placerait cette pédogénèse pendant la période de la dernière déglaciation Würm, si nous prenons la chronologie alpine pour référence.

2. Datation effectuée par Teledyne Isotopes New Jersey U.S.A. ( $\delta^{14}\text{C} = 852 \pm 4$ ).

## BIBLIOGRAPHIE

- AUBERT G. (1965). — Classification des sols. Tableaux des classes, sous-classes, groupes et sous-groupes de sols utilisés par les sections de l'ORSTOM. *Ch. ORSTOM*, sér. Pédol., vol. III, fasc. 3, p. 269-288.
- FABRIES J. et LANG J. (1970). — Quelques remarques sur les formations ante-néogènes de la région de Bamian (Afghanistan central). *Bull. S.G.F.*, 7<sup>e</sup> Série, t. XII, p. 108-113.
- LALANDE P. (1968). — Généralités sur la végétation du bassin de Kaboul en Afghanistan. *Trav. Lab. Forestière de Toulouse*, t. V, la section, vol. III, article III, p. 1-17.
- LANG J. et LAVOCAT R. (1966). — Première découverte d'une faune de Vertébrés dans le Tertiaire d'Afghanistan et datation de la série de Bamian. *C.R. Acad. Sci.*, t. 266, p. 79-82.
- LANG J. (1968). — La série néogène de Bamian (Afghanistan). *C.R. Acad. Sci.*, t. 266, p. 2383-2384.
- MILLOT G., PAQUET H. et RUELLAN A. (1969). — Néof ormation de l'attapulgitite dans les sols à carapaces calcaires de la Basse Moulouya (Maroc occidental). *C.R. Acad. Sci.*, t. 268, p. 2771-2774.
- PIAS J. (1971). — Les loess d'Afghanistan oriental et leurs pédogénèses successives au Quaternaire récent. *C.R. Acad. Sci.*, t. 272, p. 1602-1605.

Manuscrit déposé le 27 avril 1971.