

## SOLS D'AFGHANISTAN PÉDOGENÈSES ANCIENNES ET ACTUELLES

par J. PIAS \*

**RESUME.** — Les études effectuées ont porté sur des régions différentes par l'altitude, la position géographique et les conditions climatiques. Ces dernières paraissent n'avoir eu qu'un impact faible sur les sols au regard de plus anciennes très accusées remontant à la dernière pulsation glaciaire Würm (35 000 à 10 000 ans B.P.) au cours de laquelle se sont produits d'importants phénomènes d'accumulation calcaire (croûte et encroûtement dans les sols, barrages de travertin, dépôt de calcaire et dolomie lacustres). Les sols qui se sont formés plus récemment ont subi des pédogenèses peu accusées (sols peu évolués) ou à évolution rapide donnant des sols hydromorphes à redistribution du calcaire par action de nappe, des sols à encroûtement gypseux, des sols halomorphes. Aux hautes altitudes se poursuivent encore activement des migrations du calcaire dans les sols sur roches carbonatées et se développent des sols périglaciaires.

**ABSTRACT.** — The studies were runned in regions differentiated by their altitude, geographical position and climate conditions. The latter seems to have had feable impact on the soils in regard to ancient and more accused conditions dated from the last Wurm glacial period (35 000 to 10 000 years B.P.) during which occured some important limestone accumulations (calcareous crusts, crusts formation, travertine dams, lacustrine limestones and dolomites deposits). The soils formed more recently have had less accused pedogenesis (classified as weakly developed soils according to French classification) or a rapid evolution giving hydromorphic soils with redistribution of limestones under water action, soils with gypsum crusts and halomorphie soils. In high altitude calcium carbonate migrations are still active in soils on limestone bed-rock with periglacial soils development.

### INTRODUCTION

Eloigné de plus de 1 500 km de la mer Méditerranée dont il reçoit cependant, mais très atténuées, les influences climatiques, l'Afghanistan occupe une position géographique particulière en Asie du fait de sa situation dans le prolongement de la chaîne himalayenne.

Pays montagnard, la chaîne de l'Hindu Kuch s'y étire NE-SW sur plus de 600 km. Elle élève ses sommets à 7 000 m, à des altitudes décroissantes vers le SW où elle s'incline progressivement jusqu'aux régions désertiques du Régestan (1 200 m) et du Séistan (470 m). Un second axe montagneux orienté EW est marqué par les massifs successifs du Safed Koh (2 262 m), du Kohe Baba (5 143 m), du Feroz Koh (3 593 m) et s'abaisse vers Hérat (950 m) et les déserts de l'Ouest.

Le climat d'Afghanistan conserve à des altitudes moyennes un caractère méditerranéen qu'il doit notamment aux pluies arrivant sous forme de masses nuageuses de la lointaine Méditerranée pendant les mois d'hiver et de printemps. Ces précipitations (200-350 mm) s'effectuent, le plus souvent, à partir de 1 800 - 2 000 m sous forme de neige au cours d'un hiver rude tandis que l'été apporte ses plus fortes chaleurs en juillet et août. A partir de 3 000-3 500 m en même temps que les précipitations neigeuses augmentent pour atteindre 1 000 mm et plus, les températures moyennes mensuelles tombent au-dessous de 0° de la fin de l'automne au début du printemps. Des névés permanents s'observent à partir de 4 000 m. Le climat des régions méridionales, moins élevées en altitude (Regestan, Séistan), est franchement aride avec des pluviométries voisines de 100 mm. A l'inverse celui de la partie Orientale de l'Afghanistan, limitrophe du Pakistan, est caractérisé par des influences

\* ORSTOM, 70/74, Route d'Aulnay, 93-Bondy.

- 4 JUL. 1973  
O. R. S. I. U. M.

Collection de Référence

n° B 6212 Peds



FIGURE 1

Situation des principaux lieux cités dans le texte.

tropicales assez nettes qui se traduisent par des hivers doux et l'arrivée pendant les mois d'été de queues de mousson venant du SW (pluviométrie 500 mm) (N.M. Herman, J. Zillhardt et P. Lalande, 1971).

PLUVIOMETRIE ET TEMPERATURE MOYENNES

		J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Année
KABOUL 1781 m 1959-1970	P	31	55	65	84	28	2	7	2	1	3	18	23	329
	T	-2,6	-0,2	6,4	11,8	16,0	22,3	24,7	24,0	19,5	12,8	5,3	0,2	11,7
SALANG N 3066 m 1969-1970	P	90	168	215	255	139	9	9	2	7	32	76	113	1121
	T	-10,1	-8,9	-5,0	-1,0	2,2	6,9	9,1	8,4	4,4	0,3	-4,6	-7,9	-0,5
KANDAHAR 1010 m 1963-1970	P	38	34	21	18	1	0	tr	0	tr	1	4	24	141
	T	5,1	8,3	14,5	19,3	24,8	23,4	31,8	23,1	23,2	17,4	10,6	6,3	19,3
ZARANJ 478 m 1959-1970	P	13	tr	14	1	0	0	0	0	0	1	3	0	33
	T	6,4	10,4	16,9	22,5	27,7	31,9	33,8	31,9	25,3	20,8	11,5	8,1	20,6
KHOST 1146 m 1962-1970	P	15	39	55	76	40	17	82	52	33	7	10	22	448
	T	4,8	7,5	12,4	16,9	22,2	26,2	27,5	26,5	23,4	17,8	10,6	5,8	17,0

P : pluviométrie exprimée en mm

T : température en degré centigrade

La végétation qui a subi une destruction importante par suite de l'action de l'homme, est caractérisée par des espèces de la flore méditerranéenne se satisfaisant de conditions d'humidité allant de très sèches (armoise en tapis végétal peu fourni) sur les piedmonts des massifs à une altitude relativement basse (2 000 à 2 500 m), à plus humides (cèdres, sapins, épicéas, genévriers... *Acantholimon*, *Cousinia*... plus ou moins clairsemés) sur les sommets.

Les vallées portant des cultures irriguées de blé, de riz, de maïs, de coton (Regestan) et de nombreux arbres fruitiers (pommiers, abricotiers, cerisiers, noyers... vigne) contrastent avec les étendues quasi-désertiques des « dacht » de piedmont. Désertiques sont également les grandes surfaces caillouteuses ou dunaires du Regestan et du Séistan où

les cultures se limitent autour de quelques points d'eau. Dans les régions frontalières du Pakistan, à l'inverse, les versants orientaux des vallées du Nouristan portent de superbes forêts de résineux entre 3 500 et 2 500 m au-dessus desquelles se situe la prairie alpine tandis qu'entre 2 500 et 800 m s'étage une flore d'abord méditerranéenne (*Olea cuspidata*, *Quercus baloot*) puis à tendance tropicale (*Acacia modesta*, orangers, palmiers...). P. Lalande, 1968).

Nous étudierons successivement 4 toposéquences prises en plusieurs régions d'Afghanistan central, oriental et méridional, dont les sols appartiennent à plusieurs classes principales (Aubert, 1965; Travaux C.P.C.S. 1963-1967) qui se répartissent souvent dans un même paysage en fonction de l'altitude (M.Z. Salem et F.D. Hole, 1969). Mais l'impact des climats actuels est souvent masqué par des influences climatiques anciennes, très accusées au Quaternaire récent, période au cours de laquelle les dernières pulsations de la glaciation Würm ont marqué de leur forte empreinte les régions de moyenne et de basse altitude, tandis que plusieurs dépôts loessiques successifs recouvraient de vastes territoires.

1. VALLÉE DU LOGAR

Sud de Kaboul. Climat méditerranéen d'altitude moyenne (1 800 à 2 500 m) (Cf. Kaboul, tableau climatique et fig. 2).

Les sols de cette région se développent sur des matériaux divers, marnes, argiles sableuses « miopliocènes » interstratifiées de sédiments plus sableux, mises à jour par l'érosion et formant souvent des buttes témoins, conglomérats fluvioglaciers épandus largement sur les piedmonts et constituant des cônes de déjection au débouché des torrents, loess en place ou colluvionnés dans les vallées fertiles.

Tous les sols se distinguent de la façon schématique suivante dans le paysage. Les hautes surfaces constituées par des affleurements de roches diverses (G. Mennessier, 1968) très dénudées sont le domaine des sols minéraux bruts<sup>1</sup>. Les piedmonts de ces massifs (2 500 à 2 000 - 1 800 m) sont occupés

1. Il n'a pas été observé en ces régions de sols formés sur ces roches comme nous avons pu en voir ailleurs, ceci peut être dû soit à une recherche insuffisante dans un paysage accidenté d'accès difficile, soit au fait que l'érosion a été particulièrement importante sur ces massifs.

par des *sols minéraux bruts formés sur conglomérats fluvio-glaciaires*, constitués de roches diverses plus ou moins roulées, aux faces souvent striées dont les dimensions atteignent 4 à 5 cm et parfois plus. Ils sont très fortement cimentés en surface par le calcaire qui donne un ensemble très durci pouvant atteindre 2 à 3 m tandis qu'en profondeur ce même conglomérat, parfois plus fin, peu consolidé par  $\text{CaCO}_3$ , est relativement friable. Le ciment calcaire est à forte dominance calcitique avec cependant parfois de faible quantité de dolomie. Deux niveaux de ces conglomérats se superposant sont parfois visibles, le plus ancien accuse un âge de  $22\,200 \pm 1\,050$  ans B.P., alors que le plus récent indique  $15\,740 \pm 230$  ans B.P. (Isotopes Teledyne). Ces conglomérats qui constituent une succession de cônes de déjection emboîtés les uns dans les autres sont marqués par des étagements peu accusés de terrasses (on en compte parfois 4 ou 5) qui paraissent en relation avec l'enfoncement des cours d'eau dans les conglomérats en même temps que se façonnait le profil général actuel d'équilibre.

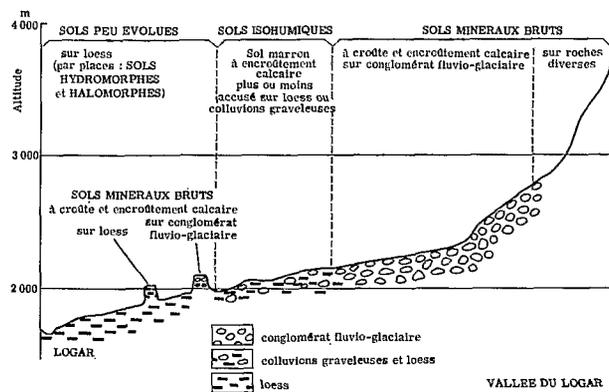


FIGURE 2  
Sols de la vallée du Logar.

Ces conglomérats dominent, en contrebas, un ensemble caillouteux diversement grossier, interstratifié de passages graveleux plus fin. Superficiellement plus limoneux ces dépôts donnent des *sols isohumiques marrons*, diversement évolués à profil  $A B_{Ca} C^2$ .

2. Ces sols, ainsi que d'autres, ont été classés comme sols isohumiques marrons parce que leurs caractères physico-chimiques les rapprochent le mieux de ceux indiqués sous cette appellation dans les classifications données en référence, ceci malgré notamment la pauvreté des profils en matière organique que leur ancienneté peut fort bien expliquer. Ainsi un sol marron peu évolué, mais enterré, daté de  $2790 \pm 100$  ans B.P., présente un horizon humifère bien marqué (matière organique 2,6 % — 0 à 15 cm).

- $A_{11}$  (0-7 cm) brun-beige, légèrement humifère, limono-argileux, pulvérulent, à cailloutis abondant;
- $A_{12}$  (7-28 cm) couleur et texture identiques, structure polyédrique moyenne à fine bien développée;
- $B_{Ca}$  (28-60 cm) couleur, texture et structure semblables à  $A_{12}$ . Taches calcaires blanchâtres. Les cailloux abondants arrondis présentent des accumulations de calcite sur leur face inférieure;
- C (60 cm...) limon caillouteux précédent sans accumulation calcaire.

Le profil calcaire de ce sol marron à taches, assez peu évolué, est sensiblement constant (14 à 18 % de  $\text{CaCO}_3$ ), le pH de 8,6-8,7, le complexe saturé, les taux de matière organique faibles (1 %). Ce sol fait le passage à des types très encroûtés dont le niveau graveleux sous-jacent est constitué de cailloux présentant des barbes de calcite pouvant atteindre 1 à 2 cm et qui finissent par se souder entre elles. L'épaisseur de ces profils est modeste (50 à 60 cm) et la pédogenèse ne paraît jouer actuellement que dans la partie supérieure du profil où les teneurs en calcaire actif sont les plus importantes pour décroître ensuite. Dans les sols à fort encroûtement, il y a croissance rapide des taux de  $\text{CaCO}_3$  total avec la profondeur où l'on atteint souvent 30-50 % et parfois plus.

Une datation faite sur les amas calcaires d'un profil de ces sols a donné un âge de  $12\,750 \pm 190$  ans B.P.<sup>3</sup>.

Ces sols sur matériaux graveleux alternent avec des *sols marrons sur loess* qui se différencient des précédents par un horizon  $B_{Ca}$  plus développé, à petits nodules calcaires ou pseudo-mycélium, par une structure polyédrique moyenne plus accusée. Dans ces sols où les teneurs en matière organique sont également faibles (1 %) et les pH compris entre 8,5 et 8,8, les teneurs en  $\text{CaCO}_3$  augmentent rapidement dans les premiers cm, très faiblement ensuite. Le calcaire actif a sa teneur maximum vers 60-80 cm pour un profil moyen se développant sur 120 cm. Le complexe absorbant est saturé dans les différents horizons.

Le fond de la vallée du Logar est occupé par des dépôts loessiques épandus originellement sur l'ensemble de la région et colluvionnés par la suite vers la partie basse de la dépression. Les *sols peu évolués* qui se sont formés sur ces sédiments car-

3. Des sols identiques décrits près de Bamyan (J. Lang et J. Pias, 1971) sur un versant de « dune » constitué de loess mêlé d'éléments graveleux nous ont fourni un âge obtenu par comparaison avec celui d'un encroûtement voisin sur loess de  $15\,350 \pm 230$  ans B.P.

bonatés ( $\text{CaCO}_3$  : 15-20 %) ne présentent pas de gradient de calcaire total ou actif. Ils passent latéralement en bas de pente à proximité du fleuve ou de zones marécageuses à des *sols hydromorphes à gley et pseudo-gley*, à des *sols halomorphes à alcalis ou salins à alcalis* assez fréquents dans la dépression de Kaboul. Dans celle-ci ainsi qu'au S de Baraki Barak, des buttes témoins résiduelles de faible étendue s'observent en divers endroits. Constitués de marnes recouvertes par des dépôts loessiques et des conglomérats, ces sédiments ont évolué par suite de pédogenèse ancienne vers des *sols minéraux bruts sur encroûtement calcaire* présentant sur loess un horizon  $B_{Ca}$  constitué d'une dalle rubannée de quelques centimètres qui précède un encroûtement blanc, fin, à débit en larges polyèdres ( $\text{CaCO}_3$  40 à 70 %) épais de 20 à 100 cm et le loess beige-brun sous-jacent, pulvérulent. De tels encroûtements ont fourni un âge de  $25\,850 \pm 850$  et  $21\,700 \pm 420$  ans B.P. (J. Pias, 1971).

## 2. RÉGION DE BAMYAN

Climat montagnard de haute altitude  
(Cf. Salang Nord, tableau climatique et fig. 3).

Les observations ont été faites ici sur la montagne de Bamyan, prolongement occidental de l'Hindu Kuch et se sont limitées à la partie sommitale entre 3 000 et 4 000-4 200 m permettant ainsi l'étude de sols faisant suite en altitude à ceux de la toposéquence observée dans le bassin du Logar. A ces altitudes, les sols à encroûtement calcaire, les sols marrons diversement évolués sont remplacés par des sols du domaine tempéré et des sols périglaciaires (P. Bordet, E. Bouyx et A.F. de Lapparent, 1971; A.F. de Lapparent, E. Bouyx et J. Pias, 1972; E. Bouyx et J. Pias, 1971).

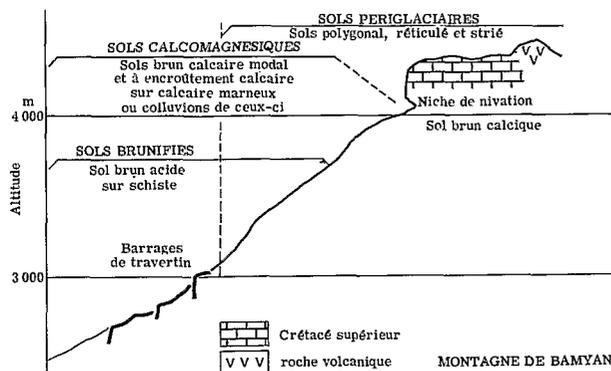


FIGURE 3  
Sols de la région de Bamyan

Dans le domaine tempéré s'observent :

— sur marnes alternant avec des calcaires marneux en plaquettes du Crétacé supérieur ou leurs colluvions :

- *des sols calcimagnésiques*

*Sols bruns calciques* dans des niches de nivation où demeuraient en juillet, collés à la paroi rocheuse, des blocs de glace. Ces sols à pH de surface acide à neutre (6,7), alcalin en profondeur (8,2), riches superficiellement en matière organique (19,5 %) présentent peu de  $\text{CaCO}_3$  (0,5 à 6 %), encore celui-ci se trouvera-t-il sous forme de fins éléments de roches arrondis, en voie de dissolution.

*Sols brun calcaires modaux* à accumulation diffuse de  $\text{CaCO}_3$  ou à *encroûtement calcaire* à horizon  $B_{Ca}$  épais de 30 à 40 cm, sur pentes plus ou moins accusées (10 à 40 %).

- *des sols hydromorphes organiques*, tourbeux sur 30 à 40 cm (matière organique 35 %), argileux à pseudo-gley en profondeur, le long des sources.

— sur des schistes et micaschistes des *sols bruns acides* de la classe des sols brunifiés.

Dans le domaine périglaciaire, à partir de 3 200-3 500 m, commencent à apparaître des *sols peu évolués à permagel, sols polygonaux ou réticulés* sur pente qui se développent sur des matériaux trachy-andésitique ou calcaire. Les sols polygonaux occupent des surfaces planes souvent très ventées autour de pointements rocheux. Ils sont caractérisés par l'apparition d'un réseau de fentes de retrait peu profondes, quelques cm, mais bien marquées, délimitant des polygones réguliers de 10 à 20 cm d'ouverture. Sur les pentes légères, les polygones s'étirent dans le sens de celles-ci prenant des formes allongées de 30 à 40 cm de long sur 5 à 10 cm de large. Un cailloutis anguleux aux pierres parfois redressées souligne les fentes de retrait. Sur pentes plus fortes les sols réticulés font place à des *sols striés* aux coulées de pierres parallèles, puis à des sols d'érosion, très caillouteux dès la surface. Sur roche trachy-andésitique, le profil est de type AC. Bien que carbonaté (20 à 23 % de  $\text{CaCO}_3$ ), il ne présente pas de gradient de calcaire total ou actif. Sur roche calcaire le profil est de type AC sur calcaire dur, de type  $A_{B_{Ca}}C$  sur matériau tendre avec alors un gradient assez fort de calcaire total ( $A_{11}$  1%,  $A_{12}$  19%,  $B_{Ca}$  47%). Dans ce dernier cas, nous sommes en présence de sol brun calcaire subissant superficiellement les actions du gel.

Les teneurs en matière organique dans les deux cas sont très moyennes (1 à 2 %), les pH de 8 à 8,5, le complexe absorbant saturé. Morphologiquement ces sols sont à texture limoneuse, à struc-

ture cubico-polyédrique et porosité tubulaire bien développée sur quelques cm. Ils sont limono-caillouteux en profondeur, à terre interstitielle particulière à polyédrique fine. Les cailloux anguleux à subanguleux dans les profils AC sont souvent très arrondis dans les horizons B<sub>ca</sub> des profils ABC.

Tous ces sols de climat tempéré ou périglaciaire paraissent se développer dans les conditions climatiques actuelles. D'autres observations permettent de voir en ce milieu montagnard l'empreinte de phénomènes glaciaires récents datant des dernières pulsations glaciaires Würm (blocs de roches erratiques étrangers au contexte local, roches polies par les glaces, coulées de solifluxion pouvant jouer encore actuellement). Ces dernières pulsations glaciaires à hautes altitudes ont eu pour effet notamment la « fonte » des calcaires tendres sous l'action des eaux de fusion des neiges enrichies en CO<sub>2</sub>. Les sols bruns calciques que l'on observe actuellement dans les niches de nivation ne donnent qu'une faible idée de ce phénomène de « fonte ».

La reprécipitation des carbonates dissous s'est traduite par la création de barrages de travertin dans la vallée d'Awpar, barrages dont des datations par le carbone 14 confirment bien le façonnement au cours de ces périodes (E. Bouyx et J. Pias, 1971).

### 3. RÉGION DU NOURISTAN

Climat d'altitude à influence tropicale  
(Cf. Khost tableau climatique et fig. 4).

L'étude entreprise dans cette région avait pour objectif la reconnaissance du passage des sols subtropicaux (Jélalabad, Khost) aux sols méditerranéens et tempérés d'altitude, en remontant la vallée du Kunar et celle conduisant à Kamdesch et Barg e Martal, en s'élevant progressivement de 565 m à Jélalabad, à 3 500 m sur le massif dominant Kamdesch. Les variations climatiques sont très bien reflétées par la végétation :

- milieu subtropical : *Dalbergia sissoo*, *Acacia modesta*...;
- milieu méditerranéen : *Olea cuspidata*, *Dodorea viscosa* (850 - 1 000 m). *Quercus baloot* (1 000 - 2 500 m) ;
- milieu sub-méditerranéen et tempéré d'altitude : *Cedrus deodara*, *Abies webbiana*, *Picea morinda*, s'étageant avec l'altitude pour faire place à la prairie alpine.

Les sols des milieux méditerranéen et subtropical se différencient assez mal du fait que nous nous

trouvons, par suite d'une très forte érosion que le maigre tapis végétal a difficilement pu endiguer, en face de sols jeunes (*sols minéraux bruts ou peu évolués*). En revanche, le passage des sols méditerranéens aux sols tempérés d'altitude est beaucoup mieux marqué en même temps que le tapis végétal devient plus dense. Dans le massif de Kamdesch les matériaux sur lesquels se développent les sols sont une pegmatite à très abondantes plages de micas blancs qui constitue le massif et des loess venus se plaquer sur les versants. La topographie comporte les termes suivants :

- sommet (3 300 - 3 500 m) : prairie alpine sur *sol brun acide* et *sol hydromorphe* (pegmatite et colluvions de pegmatite) ;
- pente (3 300 - 2 500 m) : forêt de conifères sur *sol lessivé micropodzolique* (loess) et *sol podzolique* (pegmatite) ;
- bas de pente (2 500 - 2 000 m) : *Quercus baloot* en peuplement dense sur *sol marron* à accumulation calcaire sous forme de taches, amas calcaires, nodules et *sol à encroûtement calcaire*. Tous ces sols sont sur loess.

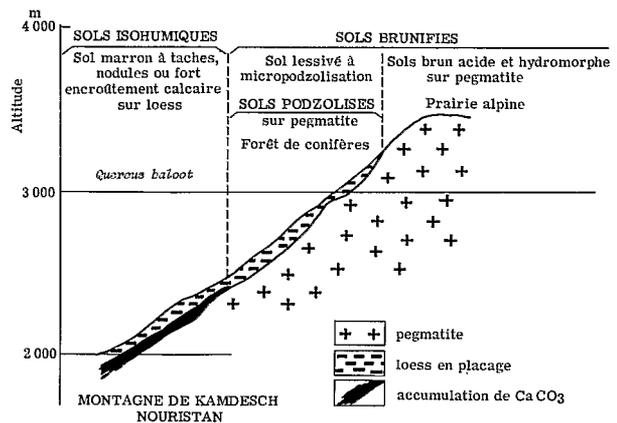


FIGURE 4

Sols de la montagne de Kamdesch (Nouristan).

Sous prairie alpine à tapis graminéen dense et ras et rhododendron, vers le sommet, sur pegmatite s'observent des *sols bruns acides* plus ou moins hydromorphes en profondeur présentant superficiellement un horizon brun-noir (matière organique 5,9 %), limono-argileux à structure grumeleuse qui précède un horizon B devenant progressivement brun, humide à structure polyédrique moyenne, passant lui-même à un horizon C très fragmentaire de décomposition de la pegmatite. Les racines étaient abondantes dans tout le profil et l'eau suintait à la base de celui-ci. Ce sol non carbonaté a un pH acide (5,7 à 6), un degré de saturation (rapport S/T) variant entre 56 et 85 %.

Sous végétation de *Cedrus deodara* sur une pente générale de 15 à 20 % s'observent les *sols lessivés à micropodzolisation de surface* sur loess :

- A<sub>00</sub> litière d'aiguilles.  
 A<sub>0</sub>A<sub>1</sub> (0-2 cm) noir, limoneux, pulvérulent, frais, nombreux débris végétaux.  
 A<sub>21</sub> (2-3 cm) fin liséré blanc, cendreuse, sec.  
 A<sub>22</sub> (3-18 cm) beige-brun, limoneux, structure fondue à tendance polyédrique, assez forte compacité, cohésion faible.  
 B C (18-110 cm) beige-brun, limono-argileux, massif à débit en polyèdres, compacité et cohésion fortes.

Ce sol sur loess outre l'absence de CaCO<sub>3</sub> présente un lessivage marqué en argile (15 à 26 %), un pH acide (6,4 à 5,6), des teneurs en matière organique et des rapports C/N relativement élevés quoique moins forts que dans les processus habituels de podzolisation (matière organique 5,9-2,9-1 %; C/N : 15-12,6), un degré de saturation décroissant (90 à 74 %).

Sous végétation identique de *Cedrus deodara* mais sur pegmatite s'observent des *sols podzoliques* intergrades vers des podzols. Ils présentent un horizon A<sub>2</sub> cendreuse épais d'une vingtaine de cm dans lequel des blocs de pegmatite non altérée montrent sur leur face inférieure des accumulations (B<sub>n</sub>) de matière organique noire mêlée de fragments de roche en voie d'altération. L'horizon B<sub>Fe</sub> assez indistinct, bien que de couleur rouille, se confond avec C (pegmatite altérée) vers 60 cm. La discontinuité de B<sub>n</sub>, la plus ou moins grande netteté de B<sub>Fe</sub> sont le résultat d'un lessivage oblique important dans ces sols à très forte pente. Malgré une morphologie très différente de celle des sols lessivés à micropodzolisation de surface, les sols podzoliques ont cependant des caractéristiques chimiques voisines.

Très en contrebas, sous végétation de *Quercus baloot* sur pente accusée (15-30 %) et sur loess, se voient des *sols isohumiques marrons à encroûtement calcaire*. Ils présentent sous un horizon A<sub>1</sub> (0-40 cm) brun-beige, limoneux, à calcaire diffus (CaCO<sub>3</sub> 11,2 %), un horizon B<sub>Ca1</sub> (40-80 cm), brun-blanchâtre, limoneux, à taches et amas calcaires abondants (CaCO<sub>3</sub> 25,2 %), précédant un horizon B<sub>Ca2</sub> épais de 150 cm, blanc, très encroûté à débit polyédrique grossier (CaCO<sub>3</sub> 41 %). Ce profil en plus de son gradient calcaire accusé présente des pourcentages relativement constants en argile (20 à 21 %), une faible teneur en matière organique (0,6 %), des pH alcalins (8,5-8,7). Le calcaire de l'horizon à encroûtement très épais provient ici principalement de la partie amont du massif où les mêmes loess en placages ont donné par suite d'un intense lessivage oblique des sols décarbonatés

(sols lessivés à micropodzolisation de surface), de la classe des sols brunifiés. Une datation par le carbone 14 donne un âge de 20 490 ± 400 ans B.P. pour cet encroûtement B<sub>Ca2</sub>.

#### 4. AFGHANISTAN MÉRIDIONAL

(Regestan - Margo - Séistan)

Climat méditerranéen sub-désertique et désertique. (Cf. Kandahar et Zaranj, tableau climatique et fig. 5).

L'Afghanistan méridional est occupé par une vaste cuvette sédimentaire débordant légèrement en Iran dans sa partie occidentale. Cet ancien fond lacustre, endoréique, qui présente de grandes analogies avec la cuvette tchadienne du centre de l'Afrique, atteint la cote 1 000-1 100 m sur sa bordure pour une altitude moyenne de 480-500 m dans sa partie la plus basse où subsistent des lacs résiduels et des étendues marécageuses. L'assèchement de l'étendue lacustre initiale paraît dater d'une période assez récente si l'on s'en tient à diverses datations faites sur les sédiments par le carbone 14. Des formations sableuses deltaïques sont également observées au débouché des massifs sur le pourtour de la cuvette (J. Pias, 1972).

La succession des dépôts sédimentaires observés dans la dépression de Kandahar peut se résumer ainsi en nous limitant aux séries de surface et de faible profondeur et en allant des plus anciennes aux plus récentes :

— sédiment dolomitique de 2 m d'épaisseur environ (34 300 ± 1 050 ans B.P. partie inférieure, 26 270 ± 880 ans B.P. partie supérieure) ;

— formation deltaïque sableuse d'une dizaine de mètres, se superposant aux dolomies, actuellement en cours de remaniement éolien donnant des barkhanes ;

— conglomérat fluvio-glaciaire démantelé, aux formes molles, aux cailloux roulés striés, cassés, à patine noire, à barbe de calcite plus ou moins altérée, caverneuse, le long de l'Arghestan Rod. Ce conglomérat constitue une ancienne terrasse qui surplombe l'actuelle dépression d'une vingtaine de mètres. Il est à rapprocher de celui formant la terrasse moyenne du Tarnak Rod observée plus en amont dans la région de Qalat et dont la cimentation calcaire remonte à 15 970 ± 240 ans B.P. ;

— bancs de marnes litées à intercalations de gros cristaux de gypse fibreux, observés sur 2 à 3 m au voisinage des inselbergs qui parsèment la dépression ;

— cailloutis conglomératique, non cimenté, couvrant assez largement l'ensemble de la dépression et intercalé de sédiments finement sableux ou limoneux;

— large terrasse limono-argileuse le long du Tarnak Rod au SE de Kandahar.

La complexité de cet alluvionnement, compliqué par des phénomènes de remaniement liés à des érosions importantes, dues principalement à l'abaissement du niveau de base du lac au cours de son retrait, explique la grande diversité des sols qui se sont façonnés à des périodes climatiquement différentes s'échelonnant depuis quelques 15 à 20 000 ans jusqu'à nos jours.

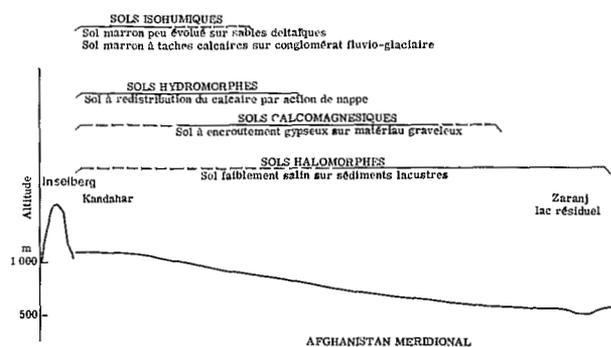


FIGURE 5

## Sols de l'Afghanistan méridional.

— *sol isohumique marron à taches calcaires* sur le vieux conglomérat fluvio-glaciaire dont le cailloutis grossier est parfois plus ou moins fortement encroûté à la base des profils;

— *sol isohumique marron peu évolué* formé sur les sables bien drainants du delta fossile après son exondation et recouvert actuellement par des barkhanes se déplaçant d'Ouest en Est;

— *sol à redistribution du calcaire par action de nappe ancienne ou actuelle* sur le cailloutis conglomératique et les sédiments intercalaires (*sols à taches calcaires* et même à *encroûtement calcaire*) assez proches morphologiquement des sols marrons mais dont le gradient de calcaire total ou actif est le plus souvent très faible comparé au gradient de ceux-ci. L'épaisseur de ces sols est très variable d'une vingtaine de centimètres à rarement plus de 80 cm. Dans ceux-ci, l'action d'une nappe riche en sels solubles comme c'est le cas des nappes actuelles (sels de Na largement dominant sous forme de chlorure et sulfate avec carbonate non négligeable), est importante et explique des horizons diversement salins à faible profondeur où les pH atteignent 9-9.5;

— *sol peu évolué* ou *halomorphe faiblement salin* sur la terrasse limono-argileuse du Tarnak Rod.

L'apparition de gypse dans les sols de la région de Kandahar est fréquente. Elle peut se faire à différentes profondeurs notamment dans les sols à redistribution de calcaire, donnant alors un profil complexe A B<sub>Ca</sub> B<sub>CS</sub> C.

Les *sols à encroûtement gypseux* sont surtout visibles sur les grandes surfaces désertiques du Dacht e Margo conduisant de Delaram à Zaranj. Les sols gypseux se développent ici directement à partir de 10-15 cm sous un horizon A<sub>1</sub> lamellaire ou fondu à tendance polyédrique, sablo-limoneux. L'horizon B<sub>CS</sub> se présente en fins polyèdres souvent mêlé à un abondant cailloutis roulé à patine noire. La partie supérieure de l'encroûtement est lamellaire prise en masse par une fine cristallisation de gypse tandis que ce dernier apparaît plus bas en petits amas friables, dans un sédiment meuble légèrement humide et sous forme de fines barbes sur les faces inférieures des cailloux. L'épaisseur des profils atteint rarement plus de 80 cm.

Vers le centre de la dépression (Zaranj), les *sols halomorphes* salins prennent une extension de plus en plus importante sur des sédiments calcaires, lacustres, limono-argileux, beaucoup plus jeunes (9 030 ± 125 ans B.P.).

## CONCLUSIONS

L'examen des séquences de sols ainsi observées en Afghanistan oriental, central et méridional met en évidence principalement la distribution du carbonate de calcium sous différentes formes, dans des paysages très variés de par l'altitude et les conditions climatiques actuelles.

L'accumulation de ces carbonates dans les parties aval des bassins s'est traduite : par des croûtes et encroûtements de matériaux divers (conglomérats, loess...), par des nodulations, des taches calcaires, dans des sols à texture variable en nous éloignant du lieu d'origine des sources de calcaire. Les âges de telles accumulations datées par le carbone 14 et exprimées en années B.P. s'échelonnent largement dans le temps :

25 850 ± 890 (Logar),  
22 200 ± 1 050 (Logar),  
21 700 ± 420 (Logar),  
20 490 ± 400 (Nouristan),  
18 900 ± 420 (Moqour),  
15 740 ± 230 (Logar),  
15 350 ± 230 (Bamyan),  
12 750 ± 190 (Logar).

Les datations faites sur des dolomies et des sédiments calcitiques d'Afghanistan méridional élargissent cet éventail de valeurs ( $34\,300 \pm 1\,900$ ,  $33\,200 \pm 1\,600$ ,  $30\,300 \pm 1\,050$ ,  $26\,270 \pm 880$  ans B.P.). Les encroûtements de 2 terrasses conglo-mératiques du Tarnak Rod observées près de Qalat au N de Kandahar paraissent indiquer que les phénomènes d'accumulation calcaire se seraient produits en deux périodes distinctes (terrasse supérieure 120 à 150 m au-dessus du lit actuel :  $27\,400 \pm 880$  ans B.P.; terrasse moyenne de 30 m :  $15\,970 \pm 240$  ans B.P.). (J. Pias, 1972). Ceci est confirmé par les 2 conglo-mérats superposés du bassin du Logar ( $22\,200 \pm 1\,050$  et  $15\,740 \pm 230$  ans B.P.), ainsi que par la datation de 2 séries de barrages emboîtés de travertin dans la montagne de Bamyan, vers 3 000 m d'altitude (barrages anciens :  $< 40\,000$  à  $24\,750 \pm 700$  ans B.P.; barrages récents :  $14\,230 \pm 190$  à  $11\,670 \pm 165$  ans B.P.) (E. Bouyx et J. Pias, 1971).

Il est permis de penser que le phénomène général d'accumulation de carbonates se serait produit, en ces régions, si nous prenons les chiffres extrêmes sans tenir compte de l'âge supérieur à 40 000 ans, ni sans faire intervenir l'altitude des dépôts, en deux périodes : entre  $34\,300 \pm 1\,900$  et  $18\,900 \pm 420$  ans B.P. et entre  $15\,750 \pm 190$  et  $11\,670 \pm 165$  ans B.P. Ces âges se situent : pour les premiers pendant la période de préglaciation de la dernière pulsation Würm; pendant la période de déglaciation de la même pulsation pour les seconds. Si l'on ajoute à ceci la présence certaine de témoins de manifestations glaciaires non seulement aux hautes altitudes (A. F. de Lapparent, E. Bouyx et J. Pias, 1972) mais également à de plus basses que R. Furon (1927) fait descendre jusqu'à 1 950 m dans le bassin de Kaboul, on est tenté de voir une liaison entre les phénomènes de carbonation et les conditions climatiques régnant au cours de ces périodes. Celles-ci auraient eu pour effet une « fonte intense » des roches sédimentaires ou des roches basiques des massifs par suite de l'accentuation des précipitations sous forme de neige en préglaciation; par la fusion des neiges et des glaces accumulées sur les sommets pendant la déglaciation. Le phénomène d'accumulation de carbonate opéré par pédogenèse dans les sols (carbonates provenant du lessivage intense des sols en amont et de la « fonte » du calcaire des roches) aurait pour parallèle par voie hydrogéologique : à plus haute altitude, la constitution de barrages de travertin en eaux froides et à forte turbulence (montagne de Bamyan); à plus basse altitude, en des bassins sédimentaires plus ou moins étendus, en eaux calmes, à faible turbidité, le dépôt de dolomies ou de sédiments calcitiques (Regestan-Séistan).

Les processus de « fonte », de transport, de dépôts des carbonates apparaissent principalement

d'ordre physico-chimique : carbonates dissous sous l'action d'eaux de fusion des glaces et des neiges reprécipitant lors du réchauffement de ces eaux au cours de leur descente dans la vallée (travertin), ou reprécipitant par suite de processus biologiques (dolomies...) sous l'action de la photo-synthèse d'organismes supérieurs végétaux ou de phytoplancton opérant en des lacs ou des étendues marécageuses.

Parmi les sols, ceux à croûte et encroûtement calcaire sont les plus anciens que nous connaissons en ces régions. Les sols antérieurs paraissent en effet avoir subi un rabotage intense du fait d'érosions glaciaires répétées ou en liaison avec des phénomènes tectoniques. Si certains sédiments rubéfiés semblent être le résultat de pédogenèses très anciennes, il est difficile d'en définir le sens en l'absence de preuves tangibles.

Comme les précédentes, la dernière pulsation glaciaire paraît avoir eu pour conséquences d'intenses phénomènes d'érosion que nous montrent des buttes conglo-mératiques ou lessiques encroûtées laissées en témoins au milieu de dépressions recreusées puis superficiellement recomblées par des colluvions de loess (dépression de Kaboul, vallée du Logar...).

Depuis la fin de cette phase glaciaire le climat se serait progressivement réchauffé avec une tendance de plus en plus marquée vers l'aridité. Sous l'influence de ce climat, dans les sédiments jeunes de ces régions, à altitude moyenne pour le pays, l'évolution s'est marquée par des pédogenèses faibles ou à évolution rapide donnant des sols peu évolués, hydromorphes ou halomorphes. Ainsi sur le plateau de Moqour (2 300 m), un sol fossile, enterré, marron peu évolué à taches calcaires, a fourni un âge de  $2\,790 \pm 100$  ans B.P. (J. Pias, 1971). Aux hautes altitudes les pédogenèses paraissent avoir conservé une plus intense activité qui se marque par un lessivage assez fort mais localisé du calcaire comme nous avons pu le voir dans la montagne de Bamyan. A ces altitudes se développent en même temps à partir de 3 500 m des sols périglaciaires polygonaux, réticulés, striés et se manifestent encore des actions glaciaires se traduisant notamment par des coulées de solifluxion.

Ce sont aussi des pédogenèses à évolution rapide qui ont affecté l'Afghanistan méridional après le retrait du lac ou l'assèchement progressif des étendues marécageuses. Les sols à redistribution du calcaire par action de nappe, à encroûtement gypseux, halomorphes se sont développés progressivement en même temps que les conditions actuelles d'aridité s'installaient en ces régions soumises de nos jours à une éolisation superficielle qui se manifeste dans les parties sableuses (formations deltaïques) par la présence de formes dunaires (barkhanes).

## 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. *Cah. ORSTOM*, sér. Pédol., vol. III, fasc. 3, p. 269-288.
- BORDET P., BOUYX E. et LAPPARENT A.F. de (1971). — Reconnaissance géologique de la Montagne de Bamyan (Hindou Kouch Occidental, Afghanistan). *C. R. Acad. Sci.*, Paris, t. 272, p. 783-788.
- BOUYX E. et PIAS J. (1971). — Signification géologique, pédologique et paléoclimatique des travertins d'Awpar (Vallée de Ghandak, Afghanistan Central). *C.R. Acad. Sci.*, Paris, t. 273, p. 2468-2471.
- FURON R. (1927). — *L'Hindou Kouch et le Kaboulistan*. Impr. L. Henriot, Paris, 169 p.
- HERMAN N.M., ZILLHARDT J. et LALANDE P. (1971). — Recueil de données des stations météorologiques de l'Afghanistan. *Publ. Inst. Meteorol.*, n° 2, 58 p. Gouvern. Roy. Afghan.
- ISOTOPES TELEDYNE, New Jersey, U.S.A.
- LALANDE P. (1968). — Généralités sur la végétation du bassin de Kaboul en Afghanistan. *Trav. Lab. Forestier de Toulouse*, t. V, I section, vol. III, art III, p. 1-17.
- LANG J. et PIAS J. (1971). — Morphogenèse « dunaire » et pédogenèse dans le bassin intramontagneux de Bamian (Afghanistan Central). *Rev. Géogr. phys. Géol. dynam.*, (2), vol. XIII, fasc. 4, p. 359-368.
- LAPPARENT A.F. de, BOUYX E. et PIAS J. (1972). — Phénomènes glaciaires et périglaciaires dans la Montagne de Bamyan (Hindou Kouch Occidental, Afghanistan). *C.R. Acad. Sci.*, Paris, t. 274, p. 2141-2144.
- MENNESSIER G. (1968). — Etude tectonique de montagnes de la région de Kaboul. *Notes et Mémoires sur le Moyen-Orient*, Tome IX, Muséum National d'Histoire Naturelle, 185 p.
- PIAS J. (1971). — Les loess en Afghanistan Oriental et leurs pédogenèses successives au Quaternaire récent. *C.R. Acad. Sci.*, Paris, t. 272, p. 1602-1605.
- PIAS J. (1972). — Signification géologique, pédologique et paléoclimatique de formations paléolacustres et deltaïques au Séistan (Afghanistan méridional). *C.R. Acad. Sci.*, Paris, t. 274, p. 1143-1146.
- SALEM M.Z. et HOLE F.D. (1969). — Soils geography and factors of soils formation in Afghanistan. *Soil Sci.*, vol. 107, n° 4, p. 289-295.
- TRAVAUX CPCS (1963-1967). — Classification des sols, 1967, 87 p.