

GÉOLOGIE DU QUATERNAIRE. PÉDOLOGIE. — *Phénomènes glaciaires et périglaciaires dans la Montagne de Bamyan (Hindu Kuch occidental, Afghanistan).*
 Note (*) de MM. Albert F. de Lapparent, Correspondant de l'Académie,
 Emmanuel Bouyx et Jean Pias.

Inventaire de divers dépôts dont la mise en place a dû s'effectuer en phase de glaciation (dernière pulsation Würm) et description d'un ensemble de phénomènes périglaciaires qui s'observent actuellement à plus de 3 500 m d'altitude, dans la terminaison occidentale de l'Hindu Kuch, en Afghanistan.

Séparée du reste de la chaîne par les gorges de Chekari, l'extrémité occidentale de l'Hindu Kuch se dresse entre Bamyan et Sayghan, à plus de 4 000 m d'altitude. La partie la plus élevée, située entre les vallées de Bamyan et de Ghandak et que nous appelons Montagne de Bamyan, comporte ⁽¹⁾ une lourde masse de terrains anciens, en partie métamorphisés, sur lesquels repose en discordance un Permien grés-conglomératique à sa base, puis constitué par des calcaires à Fusulines. Après une orogénèse anté-crétacée qui a fortement redressé cette série-permienné surtout visible sur le flanc méridional du massif, une nouvelle transgression a recouvert l'ensemble d'une série Crétacé supérieur (conglomérat, puis marnes et calcaires marneux surmontés par des calcaires massifs) qui, du moins sur les sommets, est actuellement sub-horizontale ou très faiblement plissée et souvent décalée par failles. Le tout est traversé et recouvert par un volcanisme andésitique et rhyolitique, d'âge tertiaire.

La Montagne de Bamyan se présente donc comme un vaste plateau bosselé et cassé, qui se tient au-dessus de 4 000 m et qu'entaillent de multiples ravins.

Dans cette région, nous avons observé des phénomènes glaciaires et périglaciaires caractérisés. Il convient de considérer successivement : 1. Les phénomènes anciens, dont les plus visibles remontent à la dernière pulsation Würm ; 2. Les phénomènes actuels, dont les manifestations se perçoivent à partir de 3 500 m d'altitude.

1. LES PHÉNOMÈNES ANCIENS. — A. Bien que la région ne présente pas dans son ensemble une morphologie glaciaire nettement caractérisée, divers indices de glaciation ancienne peuvent être décelés sur le massif.

1. Des blocs erratiques, nombreux mais de petite taille (20 cm en moyenne), se rencontrent sur les crêtes à l'Ouest de la cote 4 040 m. Ces fragments de micaschistes, de roches volcaniques ou de conglomérats, étrangers au contexte local (calcaire crétacé), ont probablement été transportés par des glaciers de plateaux.

2. On rencontre des exemples de roches polies par les glaces, sur les calcaires à Rudistes de la crête 4 150 m, ainsi que plus bas, dans la vallée de Qalachah, vers l'altitude 3 200 m. Rappelons que R. Furon ⁽²⁾ a décrit des polis glaciaires sur les calcaires permien des gorges de Bulola, vers 2 500 m d'altitude, à environ 8 km à l'Est de Chekari.

3. Sur les pentes, et en particulier sur celles du versant méridional, on observe des coulées de matériel crétacé, dont le départ a lieu dans les zones marneuses, et qui entraînent des chaos de blocs calcaires. La mise en place de ces formations peut être expliquée par des phénomènes de solifluxion en phase de déglaciation. Elles sont de morphologie, de taille et de composition diverses : fleuves de boue, dans la haute vallée de Surkhaksar ; masses mouvantes et boursoufflées, de plusieurs kilomètres carrés, composées de blocs calcaires emballés dans des fragments de calcaires marneux et de marnes, comme dans les vallées de Soghdar et de Qalachah sur le versant sud, et dans la haute vallée d'Awpar, au versant nord ; véritables coulées pierreuses, comparables aux « glaciers rocheux », dans la vallée de Soghdar.

On note aussi, en versant sud au pied des falaises sommitales, d'énormes pans de calcaires crétacés basculés par la solifluxion agissant sur les marnes sous-jacentes.

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

Collection de Références

85480 Peda

- 2 JUIN 1972

B. Les glaciations ont également joué un rôle dans la mise en place de diverses formations à la périphérie du massif. Nous en citerons trois.

1. *Des conglomérats de type fluvio-glaciaire.* — Il n'existe pas dans cette région, à notre connaissance, de moraines anciennes en place (celles que l'on aperçoit sur le versant nord du Koh-e-Baba étant très récentes). On peut penser cependant qu'elles ont dû être importantes dans l'Hindu Kuch, si on interprète comme produit de leur démantèlement les conglomérats qui abondent, soit en épandages continus sur les piémonts, soit en cones de déjection au débouché des rivières. De fait, vers l'extrémité occidentale de l'Hindu Kuch, J. Lang (3) a décrit d'importants dépôts fluvio-glaciaires dans le Quaternaire du bassin de Bamyan.

2. *Des dépôts de travertins.* — Les matériaux tendres, plus facilement altérables, ont réagi différemment aux actions de la glaciation. En haute altitude, l'action de fusion des glaces a entraîné une véritable « fonte » des calcaires tendres et des marnes crétacés. La décharge en CO₂, par suite de la turbulence des eaux et de leur réchauffement lors de leur descente dans les vallées 1 000 ou 2 000 m plus bas, a provoqué le dépôt de nombreux barrages de travertins. Nous avons décrit (4) à Awpar, au versant nord, deux séries de barrages emboîtés, qui se sont édifiés, l'un durant la préglaciation Würm, l'autre en période de déglaciation. On peut envisager de rapporter à ce même phénomène les travertins situés vers 2 400 m d'altitude, qui barraient anciennement la haute vallée du Ghorband, au pied du col de Chebar.

3. *Les dépôts de lœss.* — Les lœss sont surtout développés dans les plaines du Turkestan, au Nord de l'Hindu Kuch ; on les connaît aussi en Afghanistan central (5). Aux alentours de notre massif, ils se remarquent notamment dans la vallée suspendue qui forme le col de Chebar et sur les croupes entre Bamyan et Bänd-e-Amir. D'épaisseur variable, ils sont fréquemment mêlés, sur pente, à des cailloutis qui indiquent de notables remaniements. Leur âge est seulement connu par les pédogenèses qu'ils ont subies. Aux environs immédiats de la Montagne de Bamyan, une datation au carbone 14 a permis de placer cette pédogenèse durant la déglaciation Würm (6).

2. LES PHÉNOMÈNES ACTUELS. — Dans la région que nous avons examinée, située en grande partie au-dessus de 3 000 m, il est souvent difficile de distinguer les phénomènes anciens et les phénomènes actuels ; certaines coulées de solifluxion, par exemple, sont encore partiellement fonctionnelles. En altitude, il règne actuellement un climat rigoureux, de type méditerranéen, caractérisé par des précipitations d'hiver et de printemps tombant sous forme de neige (7). Cette partie de l'Hindu Kuch, qui s'avance comme un éperon, est particulièrement exposée aux vents dominants du Nord et de l'Ouest. Il en résulte des phénomènes de gélifraction intenses, intéressant surtout les calcaires crétacés et les roches volcaniques du plateau sommital. Ils produisent un débit en plaquettes anguleuses, que l'on retrouve en surface plane, sous forme de champs de pierre ou de « dallages de pierre » et, sur pentes, en éboulis dispersés et « coulées de blocailles ». Lorsqu'on s'élève en altitude, on passe progressivement du domaine des sols des climats tempérés à celui des sols périglaciaires [(8), (9)].

1. *Sols des climats tempérés.* — Dans la Montagne de Bamyan, entre 3 000 et 4 000 m, on peut observer :

— des sols calcomagnésiques sur marnes et calcaires marneux en plaquettes ; des sols bruns acides, de la classe des sols brunifiés, sur schistes et micaschistes ; des sols tourbeux, abondants le long des sources : les plus étendus se développent sur 2 km, dans la haute vallée de Chahargunbad, suspendue à 3 400 m, à l'Est de Fatmasti.

2. *Sols périglaciaires.* — C'est à partir de 3 500 m que commencent à apparaître les sols du domaine périglaciaire, représentés par des sols peu évolués à permagel, de type polygonaux ou réticulés.

— Les *sols polygonaux* occupent des surfaces planes, de faible étendue, souvent autour de pointements rocheux très ventés.

Les polygones, de 10 à 20 cm d'ouverture, sont soulignés par des fentes de retrait superficielles profondes de 4 à 5 cm. Ces sols de texture fine en surface, à structure cubico-polyédrique, à porosité tubulaire très développée sur quelques centimètres, présentent ensuite un horizon limono-caillouteux peu compact, à terre interstitielle particulaire ou polyédrique fine. Les cailloux (plus de 50 % en volume) sont anguleux à sub-anguleux (5 à 10 cm), souvent arrondis par dissolution, lorsqu'ils sont calcaires. L'ensemble du profil est peu calcaire dans le cas de sols sur roches trachy-andésitiques, très calcaires au contraire dans l'horizon de décomposition des marnes. Dans ce dernier cas, on observe un important gradient calcaire (CaCO_3 : 1 % entre 0 et 3 cm à 47,6 % à 60 cm). On a affaire ici à un sol brun calcaire, subissant superficiellement les actions du gel.

— Ces sols polygonaux passent, sur pente faible, à des *sols réticulés* avec polygones étirés de 30 à 40 cm de long sur 10 de large. Un cailloutis anguleux avec pierres parfois redressées, de 1 à 2 cm de diamètre, souligne les fentes de retrait ou les masque entièrement sur les pentes plus fortes. Les polygones étirés de ces sols sont souvent striés de fines raies perpendiculaires à la pente. Sur pentes plus fortes, les sols réticulés font place à des sols d'érosion très caillouteux dès la surface.

— Des *sols striés*, avec coulées de pierres parallèles, sont également fréquents au-dessus de 4 100 m ; on les voit en particulier sur les pentes sud-est et sud-ouest du sommet 4 341 et au versant nord du sommet 4 280 m.

On peut noter que tous ces sols ont été observés au mois d'août, durant la période la plus chaude ; bien que non gelés, ils étaient encore très froids dès 30-40 cm de profondeur.

A la présence assez générale de ces sols, il faut ajouter quelques manifestations d'autres phénomènes de type périglaciaire, observés dans des secteurs limités du massif.

— En versant nord et assez près de la ligne de crête, se développent des *niches de nivation* sur des marnes et calcaires marneux, à l'aplomb que constituent les calcaires massifs de la crête ; on y trouve des sols bruns calciques, fortement décarbonatés. On y note des fentes de retrait descendant jusqu'à 15 à 20 cm, profondeur au-dessous de laquelle le sol noir est humide et massif. Il devient plus sec et mieux structuré à partir de 45 cm, tandis que vers 70 cm s'observent de nombreux cailloutis calcaires. En bordure de ces niches de nivation noirâtres, les éboulis calcaires sont abondants. Ces niches sapent la base de l'aplomb et sont responsables du basculement ou du glissement d'énormes blocs, qui contribuent à donner au paysage un aspect chaotique.

— En versant sud, nous avons remarqué, à l'Ouest de la vallée de Qalachah, une curieuse *dépression fermée*, de 200 à 300 m de diamètre.

Ceinturée de coulées pierreuses, elle présente en son centre des sols craquelés argilo-limoneux, à structure polyédrique grossière, assez fortement décarbonatés en surface, et très proches de ceux observés dans les niches de nivation. A partir de 60 cm de profondeur, on y trouve d'abondants fragments de calcaire blanc, plus ou moins arrondis et altérés. La dépression débouche sur une vallée sèche très caillouteuse. Une source y jaillit à mi-parcours, peu avant la rupture de pente. Un cône de déjection argilo-limoneux, de 200 à 300 m², s'est constitué là ; il en surplombe un second. Tous deux portent un sol brun calcaire cultivé, finement polyédrique et bien structuré. Une indication sur l'origine de leur matériau est fournie par la présence d'abondants

petits agrégats polyédriques de terre dans la vasque caillouteuse où tombe la source après sa résurgence. Ce fait paraît indiquer un soutirage intense des sédiments de la dépression, lors de la fonte des neiges, en liaison avec la fissuration des calcaires. A la dissolution des carbonates, s'ajouterait donc ici le transport de sédiments sous forme de fins agrégats. Ce type de dépression, qui présente une ressemblance frappante avec les dolines de karst et paraît actuellement très fonctionnel, s'apparenterait à la catégorie des « cuvettes cryohydriques ».

CONCLUSION. — Dans le détail, la diversité de leur constitution géologique, la répartition différente de leur réseau hydrographique (torrents permanents en versant nord, à écoulement temporaire en versant sud), et la distribution différente des phénomènes périglaciaires que l'on peut y observer, contribuent à donner à chacun des deux versants de la Montagne de Bamyan une physionomie particulière.

Sur le versant méridional, la formation de coulées de solifluxion est favorisée à la fois par le développement des affleurements de Crétacé marno-calcaire et un dégel plus rapide qu'en exposition nord, où subsistent encore pendant les mois les plus chauds des névés dans les niches de nivation. Sur ce versant nord, où se perçoivent les barrages anciens de travertins, les phénomènes actuels de « fonte » des marnes et des calcaires se localisent dans ces mêmes niches de nivation, tandis que des boues calcaires (*) se déposent sur les rives du torrent d'Awpar. Ces mêmes phénomènes se traduisent en versant sud par la doline, située très en contrebas, dans laquelle les eaux de fusion des neiges viennent s'accumuler lors du dégel annuel.

Au-delà de ces différences de détail, la netteté de certains phénomènes, ainsi que les conditions climatiques et géomorphologiques, permettent de comparer le sommet de la Montagne de Bamyan à un milieu sub-arctique. Les phénomènes qui s'y produisent sont classiques dans le domaine périglaciaire montagnard, où ils apparaissent à partir d'une altitude (ici vers 3 500 m) qui va croissant d'Ouest en Est dans les massifs de l'Eurasie méridionale, des Alpes à l'Himalaya.

Ils rappellent également ceux que l'on peut observer au Spitzberg, où l'on est également frappé (observation de l'un de nous A. L.) par le développement des phénomènes périglaciaires actuels qui se manifestent au milieu des témoins d'une époque glaciaire antérieure.

(*) Séance du 27 mars 1972.

(1) P. BORDET, E. BOUYX et A. F. DE LAPPARENT, *Comptes rendus*, 272, Série D, 1971, p. 783 (avec une carte de situation).

(2) R. FURON, *Thèse*, Paris, 1926.

(3) J. LANG, *Comptes rendus*, 266, Série D, 1968, p. 2383.

(4) E. BOUYX et J. PIAS, *Comptes rendus*, 273, Série D, 1971, p. 2468.

(5) J. PIAS, *Comptes rendus*, 272, Série D, 1971, p. 1602.

(6) J. LANG et J. PIAS, *Rev. Géogr. Phys. et Géol. Dynam.*, 13, fasc. 4, 1971, p. 359.

(7) P. LALANDE, *Travaux labor. Forestier Toulouse*, 5, 3, 1968, 17 pages. La station météorologique la plus proche (Salang Nord) fournit les données suivantes : altitude 3 350 m ; pluviométrie 1 250,8 mm dont 931,1 mm de février à mai ; température moyenne mensuelle inférieure à 0° de novembre à avril, avec minimums en décembre (— 8°2) et janvier (— 9°3), maximums en juin (6°7), juillet (8°9), août (7°8).

(8) G. AUBERT, *Cahiers ORSTOM*, série pédologique, 3, fasc. 3, 1965, p. 269.

(9) Travaux CPCS 1963-1967, Classification des sols, 1967, 87 pages.

« Mission Géologique en Afghanistan et Etude Connexes »,

RCP n° 44 du CNRS ;

A. L., Institut de Géologie, IGAL, 21, rue d'Assas, 75-Paris, 6° ;

E. B., Laboratoire de Géologie Historique de l'Université Paris-VI,

Bâtiment 15-25, 9, quai Saint-Bernard, 75-Paris, 5° ;

J. P., ORSTOM-SSC,

70-74, route d'Aulnay, 93-Bondy, Seine-Saint-Denis.