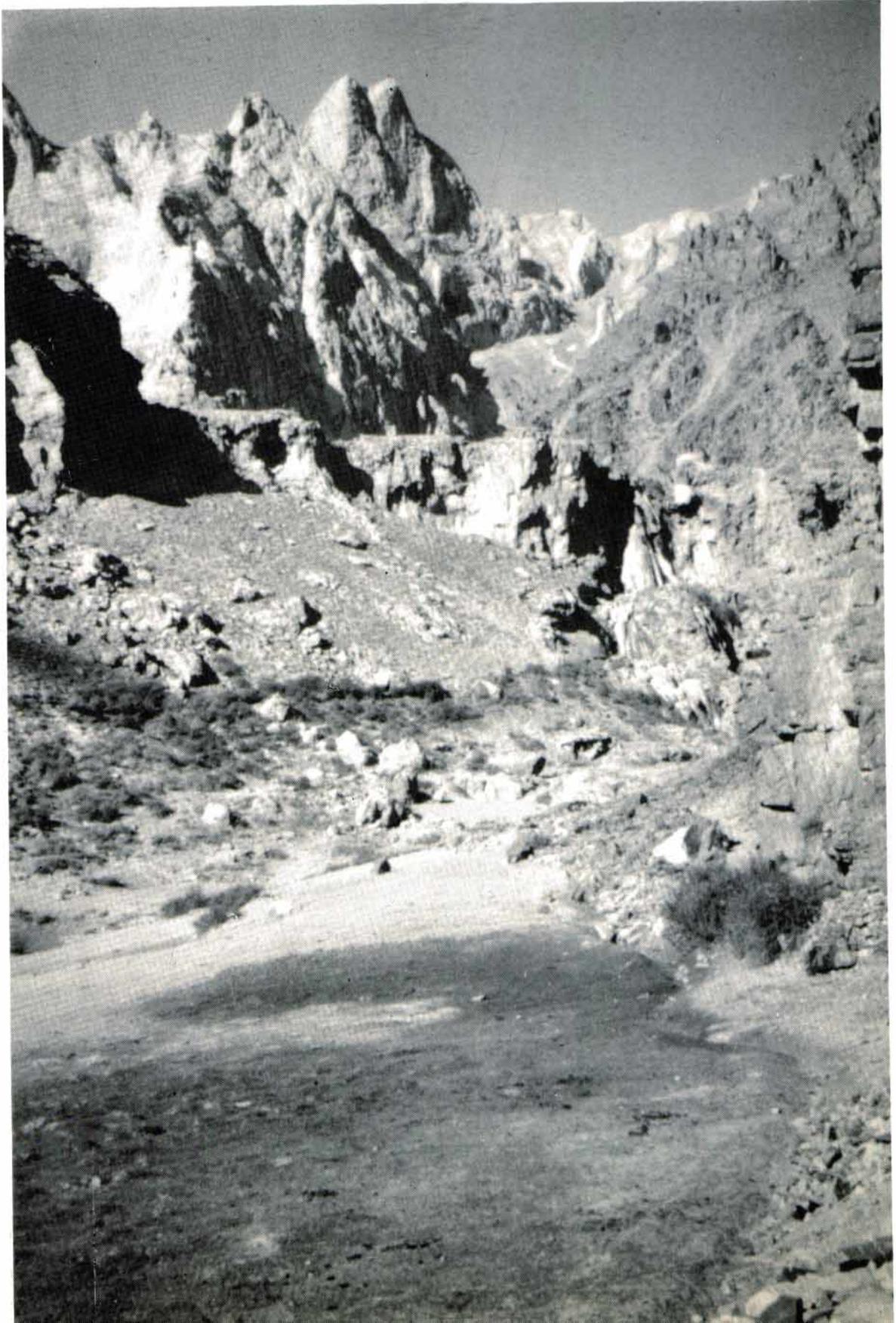


FORMATIONS SUPERFICIELLES ET SOLS D'AFGHANISTAN

J. PIAS



**FORMATIONS SUPERFICIELLES
ET SOLS D'AFGHANISTAN**

.....
La loi du 11 mars 1957 n'autorisant, aux termes des alinéas 2 et 3 de l'article 41, d'une part, que les «copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective» et, d'autre part, que les analyses et les courtes citations dans un but d'exemple et d'illustration, «toute représentation ou reproduction intégrale, ou partielle, faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause, est illicite» (alinéa 1er de l'article 40).

Cette représentation ou reproduction, par quelque procédé que ce soit, constituerait donc une contrefaçon sanctionnée par les articles 425 et suivants du Code Pénal.

.....

© ORSTOM et CNRS 1976
ISBN 2 - 222 - 02009 - 3 CNRS
ISBN 2 - 7099 - 0415 - 2 ORSTOM

**TRAVAUX ET DOCUMENTS DE L'O.R.S.T.O.M.
N° 55**

FORMATIONS SUPERFICIELLES ET SOLS D'AFGHANISTAN

J. PIAS

Directeur de recherches
de l'ORSTOM

**O.R.S.T.O.M. - C.N.R.S.
PARIS
1976**

S O M M A I R E

	Page
INTRODUCTION GENERALE	11
PREMIERE PARTIE – REGIONS ETUDIEES	15
– LES VALLEES DU LOGAR ET DU KABUL DANS SON COURS SUPERIEUR	17
1 - Relief - Topographie - Modelé	17
2 - Climatologie	19
3 - Végétation	24
4 - Le réseau hydrographique	25
5 - Géologie	30
6 - Les sols	50
– LA REGION CENTRALE	73
A - LA MONTAGNE DE BAMYAN	74
1 - Géologie	74
2 - Le réseau hydrographique	76
3 - Les eaux	78
4 - Le climat	79
5 - La végétation	83
6 - Les sols	84
B - COL DE SEBAR	91
C - ITINERAIRE BAMYAN - BAND I AMIR	92
D - COL DE SALANG	96
E - PISTE DU CENTRE	97
– L'AFGHANISTAN MERIDIONALE - LA REGION DE KANDAHAR - LA DEPRESSION REGESTAN-SEISTAN-MARGO	107
1 - Climatologie	109
2 - Le réseau hydrographique	115
3 - Etude géomorphologique de la dépression Régestan-Séistan-Margo	119
4 - Etudes sédimentologiques et minéralogiques des formations superficielles observées	132
5 - Les sols	140
– LES REGIONS ORIENTALES	159
A - LA CUVETTE DE JALALABAD	160
1 - Le climat	160
2 - La végétation	164
3 - Le réseau hydrographique	165
4 - Géologie - Sédimentologie	168
5 - Les sols	174

	Page
B - LE NURISTAN	183
1 - Végétation	184
2 - Etudes géomorphologique et pédologique	185
C - LA VALLEE D'AZRAO	197
D - LE PAKTIA	199
— LES REGIONS SEPTENTRIONALES	205
BASSIN DES FLEUVES KUNDUZ ET KHANABAD	205
1 - Climatologie	206
2 - Végétation	209
3 - Sédimentologie	213
4 - Réseau hydrographique - Les fleuves Kunduz et Khanabad	215
5 - Les sols	217
DEUXIEME PARTIE	229
— PROCESSUS DE PEDOGENESE EN MILIEUX CALCAIRE ET SALIN	230
LA MIGRATION DU CALCAIRE	230
1 - Les formes d'accumulations	230
2 - Examens minéralogique et micromorphologique sur lames minces de croûtes et encroûtements calcaires	232
3 - Localisation des accumulations calcaires en Afghanistan et position dans les paysages	235
4 - Datations isotopiques	239
5 - Essai de classement de ces différentes datations	241
6 - Essais d'interprétations de ces différentes datations - Variations climatiques et pédogenèses successives	242
7 - Phénomènes actuels de migration du calcaire	246
LES TRAVERTINS	247
1 - Deux types de barrages de travertin	247
2 - Les eaux	249
3 - Composition des travertins	251
4 - Datations isotopiques	252
5 - Interprétations des datations et des résultats analytiques	253
PALYNOLOGIE	255
1 - Observations palynologiques	255
2 - Interprétations	257
3 - Analyses polliniques de travertins	258

	Page
SALINISATION - ALCALISATION - DOLOMITISATION	260
1 - Localisation des principaux milieux salins	260
2 - Les processus de salinisation	268
3 - L'alcalisation	270
4 - Le problème de l'ion Mg dans l'alcalisation	272
5 - La dolomitisation	274
6 - L'origine des sels	275
7 - Le bore	276
LES MINERAUX ARGILEUX DU SOL	279
— HISTOIRE GEOLOGIQUE ET PEDOGENESES AU QUATERNAIRE RECENT	287
1 - Essais d'interprétations des variations climatiques	287
2 - Données antérieures à 40.000 ans BP	290
3 - Variations des niveaux marins et lacustres continentaux au cours de la dernière pulsation glaciaire	291
4 - Périodes de dépôts et de pédogenèses des loess	294
5 - Comparaison avec des données paléoclimatiques, stratigraphiques, pédologiques d'autres pays	296
6 - Etude comparative de l'évolution des lacs de la dépression Régestan-Séistan-Margo et des étendues lacustres de la cuvette Tchadienne au Quaternaire récent	302
— CONCLUSIONS	306
— BIBLIOGRAPHIE	309

A la mémoire de l'Abbé Albert F. de LAPPARENT

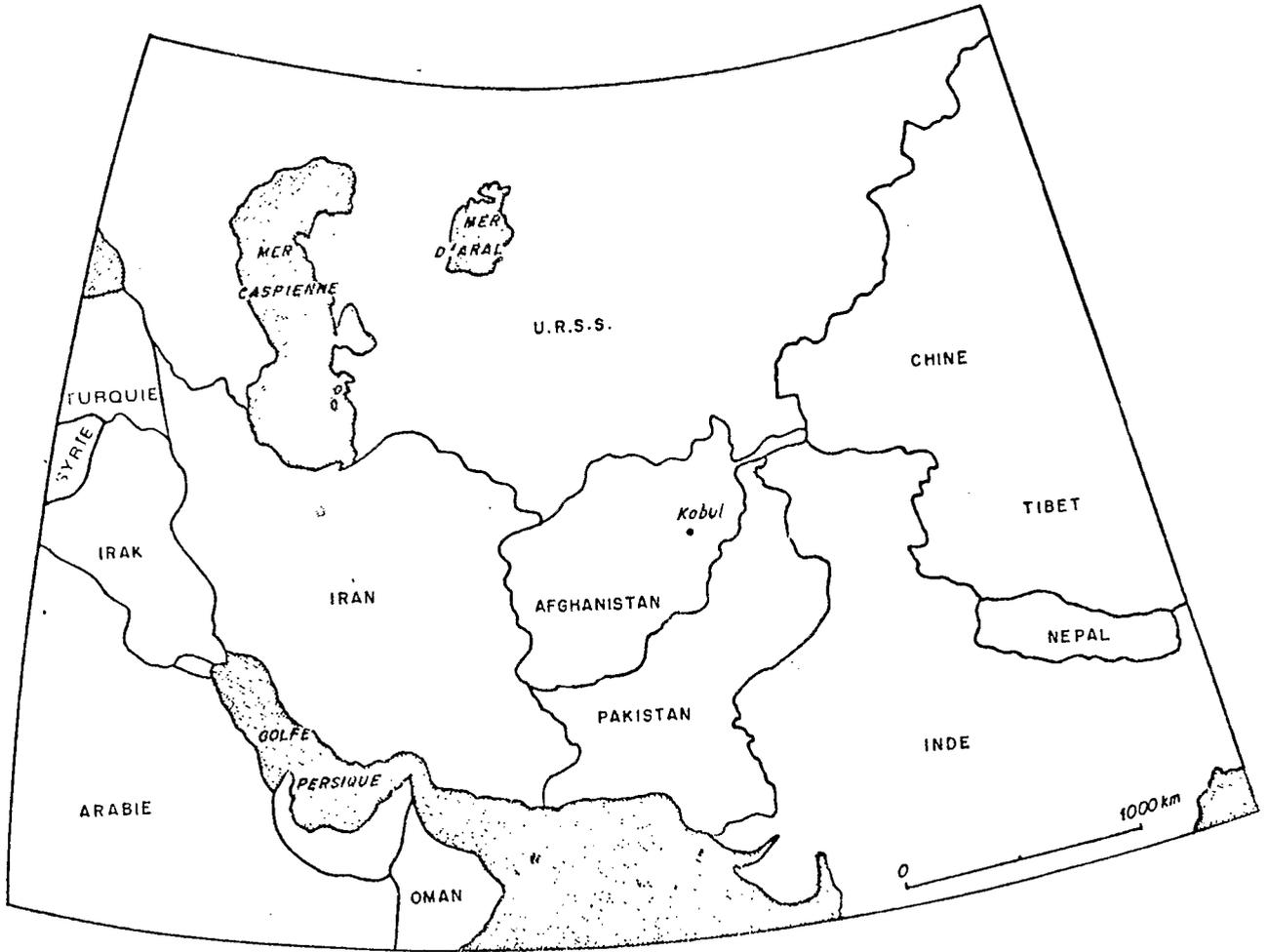
Cette étude a été faite sous l'égide du CNRS et de l'ORSTOM, dans le cadre de la RCP 44 du CNRS devenue RCP 274 en 1972 puis Mission Scientifique Française en Afghanistan à partir de 1974. Ces différentes missions ont été dirigées par l'Abbé de LAPPARENT et le Professeur MENNESSIER auxquels je dois la réalisation de ces travaux.

Je tiens à remercier également ici pour leur aide efficace et leur précieux concours les Ministres et Vice-Ministres de l'Agriculture et des Mines ainsi que les différents Présidents de ces mêmes ministères, et particulièrement M. ANAM, les Gouverneurs de Province, les collaborateurs afghans qui m'ont accompagné au cours de ces missions, les membres de l'Ambassade de France ainsi que M. LALANDE pour ses judicieux conseils et son aimable hospitalité à Kabul.

Je suis reconnaissant à MM. COMBEAU, DABIN, PARROT, PINTA respectivement chefs de services de la physique et de la chimie des sols, de la géologie et de la spectrographie aux Services Scientifiques Centraux de l'ORSTOM à Bondy ainsi qu'à leurs collaborateurs directs Mme DELAUNE, Melle FUSIL, MM. BRION, KOUKOU, PELLOUX, VERDONI et aux divers techniciens et techniciennes qui ont participé aux différentes analyses incluses dans ce rapport.

L'élaboration des cartes et figures illustrant cet ouvrage est due à M. COMBROUX et à ses collaborateurs, tout particulièrement M. SEGUIN, du Service de Cartographie de l'ORSTOM. MM. AUBERT, BONNET-DUPEYRON, BOULAIN et HIERNAUX ont contribué à sa publication. Mme MASSONI et Melle PERROT m'ont aidé dans les recherches bibliographiques. A tous je dois une particulière reconnaissance.

Enfin je ne voudrais pas oublier la collaboration apportée au cours de ces années par mes camarades et amis de cette mission en Afghanistan : Mme BALLAND, MM. BALLAND, BLAISE, BORDET, BOULIN, BOUYX, CARBONNEL, DESPARMET, LANG, MONTENAS.



Place de l'Afghanistan en Asie centrale

INTRODUCTION GENERALE

Pays continental par excellence puisque situé à plus de 2000 km du rivage le plus proche de la lointaine Méditerranée vers l'O, à 500 km environ de la mer d'Arabie vers le S, l'Afghanistan est aux portes de l'Asie Centrale.

Ce pays un peu plus grand que la France couvre 650.000 km² entre les 29° 5 et 38° 5 de latitude N et 60° 5 et 75° de longitude E. Il a pour voisins immédiats :

- à l'O l'Iran,
- au N l'URSS,
- à l'E et au S le Pakistan,

tandis qu'un étroit couloir, séparant l'URSS du Pakistan et de l'Inde, le relie vers l'E à la Chine.

Ce vaste territoire est constitué par trois unités géographiques naturelles :

- la partie N, les plaines de l'Amu Daria, l'ancienne Bactriane, qui se rattache géographiquement à la dépression Aralo-Caspienne dont la majeure partie est en URSS,
- les parties O et S qui se poursuivent en Iran et au Pakistan pour constituer la vaste dépression du Régistan-Séistan-Margo, principalement située en Afghanistan,
- les parties centrale et E du pays où se situent les hauts reliefs qui font de ce pays un bastion avancé de l'Himalaya vers l'O. La chaîne de l'Hindu Kuch s'y étire NE - SO sur plus de 600 km. Elle élève ses sommets à plus de 7000 m dans le Pamir, à des altitudes décroissantes vers le SO où elle s'incline progressivement jusqu'aux régions désertiques du Régistan (1200m) et du Séistan (470m) où s'observent des lacs résiduels, vestiges d'étendues lacustres plus importantes. Un second axe montagneux orienté E O est marqué par les massifs successifs du Safed Koh (2262m), du Kohé Baba (5143m), du Feroz Koh (3593m) et s'abaisse vers Hérat (950m) et les déserts de l'O.

Si le climat d'Afghanistan est à caractères continental et montagnard assez marqués du fait de son éloignement dans l'intérieur du Continent Asiatique et de hautes altitudes fréquentes, il conserve pour des altitudes moyennes un caractère méditerranéen qu'il doit notamment aux pluies arrivant de la lointaine Méditerranée sous forme de masses nuageuses pendant les mois d'hiver et de printemps. Ces précipitations (200-350mm) s'effectuent, le plus souvent, à partir de 1800 - 2000 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 l'hiver très froid succède un printemps florissant qui transforme le paysage tandis qu'avec Octobre, au sortir de l'été, apparaissent les fraîcheurs précoces marquées par les premières gelées blanches. A partir de 3000 - 3500 m en même temps que les précipitations neigeuses augmentent pour atteindre 1000 mm et plus, les températures moyennes mensuelles tombent en dessous de 0° de la fin de l'automne au début du printemps. Des névés permanents s'observent à partir de 4500 m. Le climat des régions méridionales, moins élevées en altitude (Régistan, Séistan), est franchement aride avec des pluviométries voisines de 100 mm. Celui des

régions septentrionales, très continentales, l'est un peu moins cependant. A l'inverse le climat de la partie orientale de l'Afghanistan, limitrophe du Pakistan, est caractérisé par des influences tropicales assez nettes qui se traduisent par des hivers doux et l'arrivée pendant les mois d'été de queues de mousson venant du SO (pluviométrie 500 mm).

La végétation est caractérisée, dans la partie centrale du pays, par des espèces de la flore méditerranéenne se satisfaisant de conditions d'humidité allant de très sèches (armoise en taïfs végétal peu fourni) sur les piedmonts des massifs à une altitude relativement basse (2000 à 2500m), à plus humides sur les sommets où apparaissent quelques arbres ou arbustes (cèdres, pins, sapins, épicéas, genévriers....). Cette steppe contraste avec les vallées en cultures irriguées de blé, de maïs, de riz.... très verdoyantes où poussent de nombreux arbres fruitiers (pommiers, cerisiers, noyers, abricotiers vigne). Vers l'E la végétation arborée devient progressivement plus dense. Les versants orientaux des vallées du Nuristan portent de superbes forêts de résineux entre 3500 et 2500 m au-dessus desquelles se situe la prairie alpine tandis qu'entre 2500 et 800 m s'étage une flore d'abord méditerranéenne (*Olea cuspidata*, *Quercus baloot*) puis à tendance tropicale (*Acacia modesta*, orangers, palmiers). C'est également la steppe qui occupe les régions septentrionales du N de l'Hindu Kuch à l'Amu Daria avec sur les versants des massifs quelques peuplements plus ou moins clairsemés de genévriers. Désertiques sont par contre les grandes surfaces caillouteuses ou dunaires du Régistan et du Séistan où les cultures se limitent autour de quelques points d'eau. Elles poussent là sur des alluvions lacustres diversement salées. D'une façon générale les superficies cultivées occupent dans l'ensemble du pays des étendues modestes qui sont estimées à environ 10 à 15% de la superficie totale.

Le réseau hydrographique est presque essentiellement endoréique mis à part celui du fleuve Kabul et de ses affluents qui rejoint l'océan par l'intermédiaire de l'Indus. Au N c'est l'Amu Daria qui va se jeter dans la mer d'Aral, tandis qu'à l'E et au S de très importants cours d'eau vont alimenter les lacs résiduels du Séistan. Parmi ceux-ci l'Helmand Rod, la plus longue des rivières d'Afghanistan, le Khash Rod, le Farah Rod aux débits permanents ou seulement limités à la période pluvieuse ou à celle de fonte des neiges, l'Hari Rod qui passe à Hérat avant d'aller se perdre dans les déserts de l'O. Tous ces cours d'eau ont leurs crues en mars - avril et l'étiage en période d'été, mis à part le Kunar, affluent du Kabul, dont les crues se poursuivent en Juillet et Août à la suite de l'arrivée de pluies de mousson sur son bassin versant. La fonte des neiges au printemps, les pluies violentes qui peuvent s'abattre en automne sur un terrain nu abondamment paturé ont pour conséquences des écoulements torrentiels et des érosions importantes.

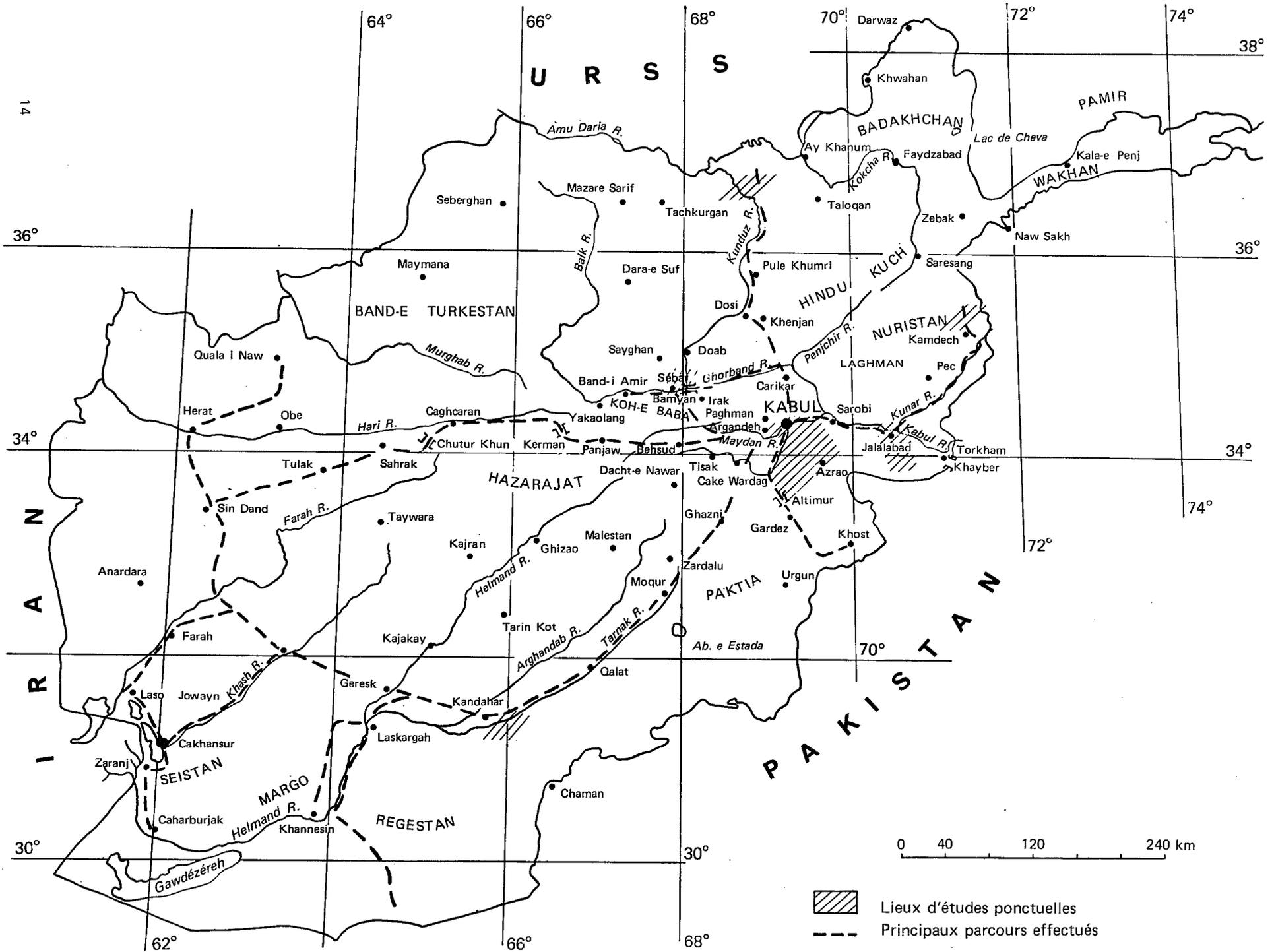
Les sols d'Afghanistan appartiennent à plusieurs grandes classes qui sont, en prenant la classification française pour référence :

- sols minéraux bruts,
- sols brunifiés,
- sols peu évolués,
- sols à différenciation calcaire, (1)
- sols calcimagnésiques,
- sols podzolisés,
- sols hydromorphes,
- sols sodiques.

Mis à part les sols minéraux bruts et les sols peu évolués très représentés en Afghanistan, c'est la classe des sols à différenciation calcaire que l'on observe le plus souvent. Ceux-ci envahissent les piedmonts des massifs se développant sur des loess, des couvertures conglomératiques ou diversement grossières. Ils ne cèdent le pas que dans les vallées et alors souvent à des sols peu évolués, hydromorphes ou sodiques sur matériaux identiques. En altitude la différenciation est plus grande et l'on trouve toute une gamme de sols des domaines tempéré et froid en fonction de la roche mère (Sols brunifiés. Sols calcimagnésiques. Sols podzolisés) tandis qu'à partir de 3000 m apparaissent des sols périglaciaires.

(1) Cette classe a pour équivalent dans la classification française celle des sols isohumiques subdivisée en sous-classes en fonction du climat et des teneurs en matière organique.

C'est pour caractériser un tel éventail de sols que nous avons été amenés à choisir des lieux d'étude représentatifs, en fonction des climats, de la géomorphologie, de la végétation, des roches mères, des différentes pédogenèses. Notre premier contact avec les sols d'Afghanistan s'est fait dans la vallée du Logar bien connue des géologues, botanistes et géographes de la RCP 44. Ensuite nous avons étendu nos études à la partie méridionale, puis aux régions septentrionales et orientales de l'Afghanistan en même temps que nous poursuivions nos recherches en compagnie des géologues dans la région de Bamyan où devaient surtout être observés des sols d'altitude. Très rapidement nous sommes arrivés à la conclusion que l'impact des climats actuels sur les sols de toutes ces régions est souvent masqué par des influences climatiques anciennes très accusées au Quaternaire récent, période au cours de laquelle les dernières pulsations de la glaciation Wurm ont marqué de leur forte empreinte les régions de moyenne et de basse altitudes tandis que plusieurs dépôts loessiques successifs recouvraient de vastes territoires.



Carte générale de situation

PREMIERE PARTIE

REGIONS ETUDIEES

LES VALLEES DU LOGAR ET DU KABUL DANS SON COURS SUPERIEUR

INTRODUCTION (1)

La plaine du Logar, qui fait l'objet de cette étude, débute au sortir des massifs au S - O de Carkh et s'étire en direction S - N en une succession de plusieurs bassins séparés les uns des autres par des seuils rocheux :

- bassin S (Carkh-Baraki Barak-Pule Alam-Kolangar) se terminant au N par la passe rocheuse de Dehe Naw. Il peut être subdivisé en 2 bassins secondaires séparés l'un de l'autre par le seuil de Pule Alam constitué par des ophiolites et des affleurements de marnes néogènes orientées E - O,
- bassin central de Mohd Agha limité au N par le seuil de Gomaran,
- bassin N où vont confluer le Kabul et le Logar. Ce bassin est fragmenté, dans sa partie S, en plusieurs bassins secondaires par des ensembles montagneux.

Le Logar est un des principaux affluents de la rivière Kabul. Tous deux drainent l'essentiel des eaux descendant des massifs entourant la vaste dépression du Logar.

1 - RELIEF - TOPOGRAPHIE - MODELE

– Le bassin de Carkh-Baraki Barak-Pule Alam-Kolangar est entouré par d'imposants massifs dont les sommets atteignent en certains endroits 3500 à 4000 m, principalement au S et à l'E :

- 3558 m au S de Carkh (Kafar Kot Ghar),
- 3527 m - 3124 m à l'O de cette même localité (Talar Ghar - Zera Lakay),
- 3457 m au S d'Altamur (Khwaja Ghumbar),
- 3958 m au NE de Khosi (Ahengar Ghar),
- 4340 m à l'E de Mazgin (Kohe Sultan Saheb).

Les massifs sont d'altitude moindre vers l'O (2500 à 3000 m), 2694 m (Aghar), 2617 m (Alagay).

Ces massifs poussent des avancées de moindre importance sur le pourtour de la vallée qu'ils comparimentent en petites dépressions de plus faible dimension. Au N du bassin, ils ferment pratiquement celui-ci en des altitudes plus basses :

- 2305 - 2368 m (Kohe Saydmahmude Ghazi),
- 2251 - 2309 m (Coka Mastan - Bini Cela).

(1) L'orthographe des noms de lieux, des villes, des villages, des cours d'eau, des montagnes a été empruntée soit aux cartes au 1/50.000 et au 1/250.000, soit à celle de l'Afghanistan au 1/1.300.000.

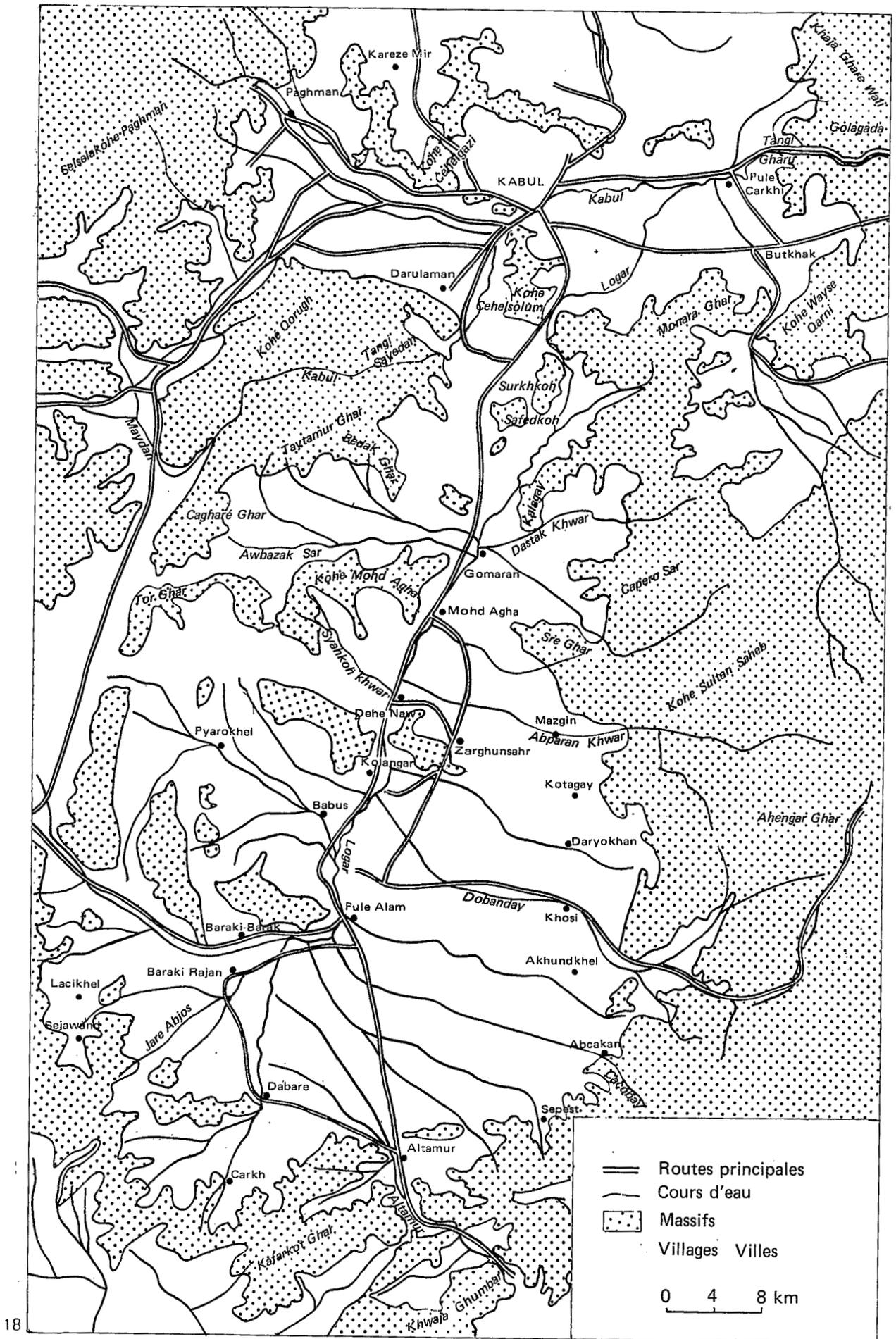


Figure 2 - Carte schématique de situation des vallées du Logar et du Kabul dans son cours supérieur

- **Le bassin de Mohd Agha** est limité :
- à l'E par : le Sre Ghar (2560 m),
le Capero Sar (2771 m),
l'Abdurrahman Petaw (2250 m),
le Spin Wersek (2445 m),
le Tane Ghar (2090 m),
 - au N par : le Kalagay (2577 m),
le Kohe Safedsang,
 - à l'O par : le Tor Ghar (2926 m),
le Kohe Mohd Agha (2404 m),
le Caghoré Ghar (2645 m),
le Taytamur Ghar (2735 m),
le Bedak Ghar (2500 m).

— **Le bassin N**, très compartimenté par de multiples massifs dans sa partie S (Safed Koh 2262 m - Surkhkoh 2458 m), est coupé dans la région de Kabul en 2 parties par une ligne de massifs orientés S - N puis SE - NO (Sakhe Barantay 2734 m, Kohe Cehelsotun 2296 m, Kohe Takkhte Sah 2322 m, Kohe Cehelgazi 2220 m . . .). Il est limité au S et à l'O par des massifs d'altitude voisine ou plus élevée : Kohe Qorgh 3227 m, Selselakohe Paghman 4275 m, Monara 2732 m ; à l'E par le Kohe Wayse Qarni Baba 3391 m, Golagada 3128 m, Khoja Ghare Wali 2991 m....

Toutes ces montagnes se présentent en des massifs bien découpés aux formes vives. Ils constituent une partie de l'ensemble montagneux qui se raccorde vers l'E et le NE à la chaîne himalayenne.

La jonction entre les massifs et la vallée du Logar se fait par l'intermédiaire de glacis de piedmont, généralement constitués par des conglomérats, descendant en pente douce vers cette dernière. Ces piedmonts ont des altitudes comprises entre 2000 et 2500 m et sont entaillés par d'importantes vallées de rivières intermittentes rejoignant le Logar qui coule au fond de la dépression. Celle-ci s'échelonne à des altitudes variant de 2000 - 2100 m au S de Carkh, à 1800 m environ au N dans la région de Kabul. Le fleuve serpente par de nombreux méandres au travers de dépôts limoneux qu'il entaille plus ou moins profondément. Les parties comprises entre le glacis de piedmont et la basse terrasse du fleuve ont été aménagées très anciennement en multiples terrasses de largeur variable, fonction de la pente locale, divisées en d'innombrables parcelles de culture que desservent les canaux d'irrigation.

Dans un paysage qui ne manque pas d'une certaine grandeur le contraste est frappant entre : les massifs escarpés bien dessinés, enneigés une grande partie de l'année, qui se découpent le plus souvent sur un ciel toujours bleu ; les glacis de piedmont stériles, désertiques, sans végétation ; la plaine cultivée, fertile, verdoyante ou dorée suivant la saison, au milieu de laquelle serpentent les canaux d'irrigation bordés d'une frange de frêles peupliers.

2 - CLIMATOLOGIE

Les données météorologiques de la vallée du Logar sont connues par celles de 2 stations situées dans un voisinage plus ou moins immédiat :

- Kabul - Altitude 1791 m - Latitude 34° 33 N - Longitude 69° 13 E - Moyennes : 1959 - 1970,
- Ghazni - Altitude 2183 m - Latitude 33° 32 N - Longitude 68° 25 - Moyennes : 1959 - 1970,
- Salang S - Altitude 3172 m - Latitude 35° 18 N - Longitude 69° 04 E - Moyennes : 1962 - 1970.

Nous avons adjoint les données de cette dernière station aux deux premières parce que située à haute altitude elle fournit une idée des conditions climatiques régnant sur les sommets.

Précipitations

Kabul

	Janv.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Année
Pluv. en mm	31	55	65	94	28	2	7	2	1	3	18	23	329
J. pluie	2	4	11	12,4	9	1,7	2,7	0,5	0,8	1,8	4,7	3,4	54
J. neige	5	6	2	0,1	0	0	0	0	0	0	0,4	3	16,5
h. max. neige	44	45	20	0	0	0	0	0	0	0	4	16	45

Ghazni

Pluv. en mm	41	45	67	60	24	2	14	1	Tr	1	11	26	292
j. pluie	1,2	2,1	8	12	5,9	1,3	3,6	0,6	0,2	1	3	1,8	40,7
j. neige	5	6	3,5	1	1	0	0	0	0	0	1	4,7	22,2
h. max. neige	62	60	45	5	0	0	0	0	0	0	22	34	62

Salang Sud

Pluv. en mm	109	183	229	287	85	5	5	1	3	20	73	115	1115
j. pluie	0	0	1	3	6	2	2	0,4	1	1	0	0,3	16,7
j. neige	10	13	16	15	8	0	0	0	0	6	7	11	86
h. max. neige	338	396	456	415	347	0	0	0	0	50	190	166	456

Température

Kabul

	Janv.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Année
t. moy. T.	- 2,6	- 0,2	6,4	11,8	16,6	22,3	24,7	24,0	19,5	12,8	5,3	0,2	11,7
t. max. abs.	23,0	18,4	23,3	28,3	33,3	36,3	36,9	36,7	35,1	31,6	24,4	20,4	36,9
t. min. abs.	- 25,5	- 21,7	- 11,2	- 2,1	0,5	3,1	8,0	6,0	0,3	- 3,0	- 9,3	- 18,9	- 25,5

Ghazni

t. moy. T.	- 6,1	- 3,9	4,3	10,4	15,9	21,1	22,9	21,9	16,4	9,9	3,8	- 2,3	9,5
t. max. abs.	12,5	17,8	22,1	26,4	31,5	36,0	36,7	35,5	32,5	28,0	21,2	13,6	36,7
t. min. abs.	- 31,1	- 29,2	- 11,5	- 5,8	0,0	5,3	7,7	6,9	- 3,5	- 5,5	- 13,8	- 21,7	- 31,1

Salang Sud

t. moy. T.	- 7,7	- 6,5	- 2,7	1,5	5,0	10,3	12,3	12,3	8,9	4,3	- 1,6	- 5,9	2,5
t. max. abs.	5,0	6,7	12,0	14,7	18,9	21,1	22,3	23,0	19,5	18,5	11,5	8,1	23,0
t. min. abs.	- 23,8	- 19,6	- 22,8	- 11,6	- 5,2	0,3	3,7	1,4	- 7,7	- 8,4	- 18,0	- 19,3	- 23,8

Humidité relative

Kabul

	Janv.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Année
Humid. %	71	71	69	65	51	38	40	40	43	48	61	68	55

Ghazni

Humid. %	74	78	66	59	47	39	47	42	39	48	61	65	55
----------	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

Salang Sud

Humid. %	58	60	58	64	52	46	47	39	39	47	46	48	50
----------	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

Insolation (en heures)

Kabul	178	181	199	223	309	351	356	345	299	285	239	194	3159
Ghazni	178	191	243	256	296	349	357	352	328	282	253	214	3299
Salang Sud	153	135	169	187	269	328	338	330	287	238	192	149	2755

Evaporation potentielle – Evapotranspiration potentielle

Kabul

	Janv.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Année
Evap. Pot.	26	32	55	85	153	250	267	259	203	134	64	37	1565
ETP	—	—	22,4	45,8	86,3	130,7	152,5	140,2	92,7	51,1	12,9	—	734,6

Ghazni

Evap. Pot.	17	18	53	77	160	233	219	230	188	114	58	32	1399
ETP	—	—	16,0	45,8	88,5	122,4	143,7	129,5	74,2	42,1	10,4	—	672,6

Salang Sud

Evap. Pot.	24	27	41	49	84	130	143	164	135	88	57	37	979
ETP	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Evaporation potentielle - ETP en mm.

Graphiques ombro-thermiques de Bagnouls - Gausson (Figure 3)

Les mois sont définis comme secs lorsque la valeur de la précipitation P exprimée en mm est inférieure à 2 T (température exprimée en degré centigrade).

A Kabul et Ghazni les mois secs vont de Mai à Octobre, de Juin à Septembre pour Salang Sud où les très fortes précipitations ont lieu surtout de Novembre à Mai.

Indices climatiques

Indice d'aridité de de Martonne

$$I = \frac{P}{T + 10}$$

P : pluviométrie moyenne annuelle exprimée en mm,
T : température moyenne annuelle en degré centigrade.

Kabul : 15,2,
Ghazni : 15,0,
Salang Sud : 89,2.

Indice d'EMBERGER (1955)

$$Q = \frac{1000 P}{\frac{M + m}{2} (M - m)}$$

P : pluviométrie en mm.
M : moyenne des maxima du mois le plus chaud.
m : moyenne des minima du mois le plus frais. } en degré KELVIN 273° 2

Kabul : P 329 mm, M 32° 2 (Juillet), m -7° 4 (Janvier). Q = 29,1
Ghazni : P 292 mm, M 30° 8 (Juillet), m -10° 7 (Janvier). Q = 24,8
Salang Sud : P 1115 mm, M 15° 9 (Juillet), m -10° 3 (Janvier). Q = 154,2

Le climatogramme pluviothermique indique que les stations de Kabul et Ghazni se situent dans l'étage bioclimatique semi-aride à hiver froid, tandis que la station Salang Sud est dans l'étage humide à hiver froid.

Indice de drainage de Hénin-Aubert (1945)

$$D = \frac{\gamma' p^3}{1 + \gamma' p^2} \quad \gamma' = \alpha \gamma \quad \gamma = \frac{1}{0,15 T - 0,13}$$

α : 1 limon, 1/2 argile, 2 sable,
P : pluviométrie moyenne annuelle exprimée en m,
T : température moyenne annuelle en degré centigrade.

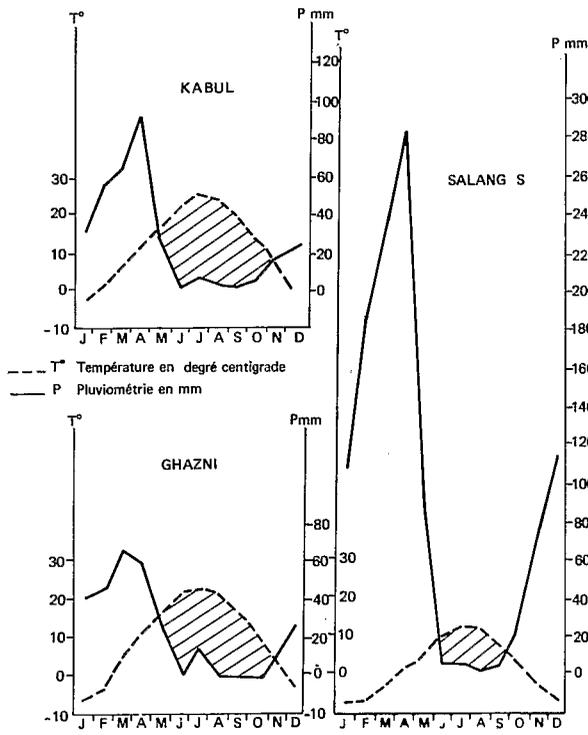


Figure 3 - Graphiques ombro thermiques

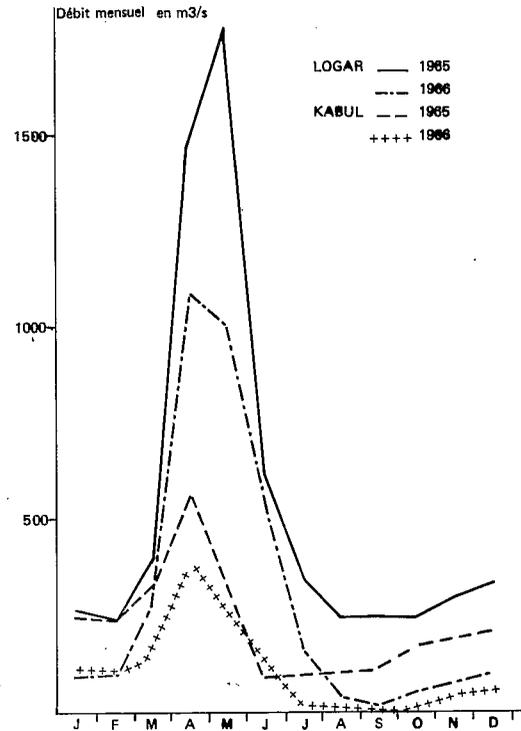


Figure 4 - Courbes de débit du Logar et du Kabul

	Soils sableux	Soils argileux	Soils limoneux
	D exprimé en mm.		
Kabul	39,1	10,8	20,5
Ghazni	33,9	9,3	18,0
Salang Sud	1015,0	798,6	931,6

Cet indice permet la connaissance théorique des quantités d'eau de pluie migrant en profondeur en lessivant le sol et étant susceptible d'aller alimenter une nappe et de constituer une réserve utile aux plantes pérennes pour passer la période sèche. Les indices de drainage inférieurs à 30 mm pour $\alpha = 1$ (limon) correspondent à la formation de sols désertiques ou subdésertiques dans les régions où ils sont enregistrés. Les très forts indices de drainage comme ceux trouvés à Salang en haute montagne où le sol est gelé pendant les mois à très fortes précipitations neigeuses, n'ont pas de significations véritables sur la formation du sol, du fait :

- de la nature rocheuse du substrat,
- des écoulements qui ne se produisent seulement qu'à la fonte des neiges, écoulements intenses amenant des apports d'eau puissants aux rivières, des phénomènes d'érosion qui se développent d'autant plus intensément que les très faibles températures enregistrées aux hautes altitudes auront pour effet une désagrégation physique intense des roches, une altération chimique souvent faible.

Au voisinage des vallées aux hautes altitudes les tourbières sont fréquentes, elles reposent souvent sur des horizons graveleux très fragmentés. A partir de 3000 à 3500 m peuvent apparaître en certains endroits des sols polygonaux communs dans les régions arctiques du globe.

Ces accumulations de neige sur les hauts sommets sont importantes cependant, non pas par les pédogenèses auxquelles elles donnent lieu en ces régions, mais par celles dont elles sont indirectement

responsables, c'est à dire le transport sous forme soluble de grandes quantités de Ca CO₃ prélevées aux massifs calcaires, solubilisées sous forme de bicarbonates que vont transporter les eaux de fonte de neige au printemps. C'est ce calcaire qui en reprécipitant va envahir les glacis de piedmont donnant naissance aux encroûtements calcaires si fréquents sur la bordure du bassin du Logar et en bien d'autres régions.

Les sols de piedmont de ces massifs seront donc la résultante de 2 actions différentes :

- une pédogenèse propre liée aux conditions climatiques locales auxquelles ils sont soumis et de caractères subdésertiques,
- des apports illuviaux provenant des régions en altitude où les conditions climatiques sont très différentes. Ces apports peuvent simplement se trouver là en transit passager ou bien peuvent se fixer d'une façon définitive.

3 - VEGETATION

Elle est caractérisée par des espèces de la flore méditerranéenne se satisfaisant de conditions d'humidité diverses, allant de très sèche (armoïse) sur les piedmonts des massifs à une altitude relativement basse (2000-2500m), à humide (cèdre, pin, sapin, épicéas... en formations très clairsemées) sur les sommets.

Cette végétation a subi une destruction importante par suite de l'action de l'homme dont la densité de population est grande dans le bassin du Logar. Cette déforestation est due à la proximité de la capitale que les forêts ont alimenté en combustibles et en bois de charpente.

La végétation de cette région a été présentée par LALANDE (1962) dans son étude sur le bassin du Logar. Cet auteur définit d'E en O en allant du versant occidental du Safed Koh au bassin de Gerdiz (ou Gardez), différents changements avec l'altitude dans la répartition des espèces.

a) Sur le versant Sud du Safed Koh aux confins du Logar, on observe en remontant les pentes :

- un étage à cèdre (*Cedrus deodara*),
- un étage à sapin (*Abies webbiana*),
- un étage à épicéa (*Picea morinda*),
- un étage à pin (*Pinus excelsa*),

L'épicéa prend plus d'importance ici avec l'altitude.

b) Vers l'O (Mont Matungay) l'étagement est différent, plus complexe. On observe de bas en haut :

- un étage à *Quercus baloot*,
- un étage à *Pinus gerardiana*,
- un étage à cèdre,
- un étage à épicéa dans la partie la plus élevée avec quelques sapins, et vers le sommet,
- un étage à épineux en coussinets,
- un étage à genévrier nain (*Juniperus nana*),

Il semble y avoir vers l'O disparition de l'étage à épicéa.

c) Au voisinage du Logar s'observe la succession suivante en s'élevant en altitude :

- un étage à *Quercus baloot* jusqu'à 2250 m,
- un étage à *Pinus gerardiana*,
- un étage à cèdre,
- un étage à genévrier (*Juniperus excelsa*),
- un étage à épineux en coussinets, { vers 3250 - 3500 m
- un étage à genévrier nain.

L'étage à genévrier nain se tient principalement sur les pentes plus ou moins rocheuses faisant place sur les pentes terreuses à :

- un étage à *Acantholimon* en exposition S,
- un étage à armoïse en exposition N et ceci jusqu'à 3500 m. Lui succède plus haut un étage à *Cousinia*.

On observe au N du bassin de Gerdiz la disparition progressive de *Pinus gerardiana*, du cèdre,

du genévrier. La disparition de ce dernier semble liée dans cette partie à l'altitude plus faible des massifs.

Les variations de végétation d'E en O seraient dûes d'après LALANDE à l'allongement de la saison sèche qui se traduit par le passage de la forêt dense, très à l'E au voisinage de la frontière pakistanaise à la forêt claire, voire même à la steppe, vers l'O, où les espèces arborées signalées ne s'observent plus qu'à l'état d'individus isolés.

Sur le haut plateau de Kabul, HAYON et al (1968) indiquent l'existence d'une steppe iranotouranienne caractérisée par les principaux genres ou espèces suivants : *Acantholimon*, *Acanthophyllon*, *Alhaghi* (*A. sparsifolium*), *Aristida* (*A. cyanantha*), *Artemisia* (*A. cina*, *A. maritima*), *Arthrophytum*, *Astragalus*, *Cousinia*, *Lactusa* (*L. orientalis*), *Statice* (*S. cabulica*), *Stipa* (*S. barbata*), *Zygophyllum*. Cette steppe est peu différente de celle trouvée sur les hauts plateaux iraniens. C'est elle que l'on observe dans le bassin du Logar sur les piedmonts secs alors que dans les parties basses où serpentent les canaux d'irrigation se perçoivent quelques arbres spontanés ou plantés par l'homme : peuplier, aulne, frêne, saule, noyer

4 - LE RESEAU HYDROGRAPHIQUE

Il est constitué par le Logar et ses affluents dans la plus grande partie du bassin et, dans la partie N, par la rivière Kabul qui coule d'O en E après avoir traversé la capitale.

4.1 LE LOGAR

Il prend sa source dans la région de Behsud. C'est un important cours d'eau permanent dont les débits maximaux se situent au printemps. Il coule au sortir des massifs dans des dépôts limoneux qu'il a plus ou moins profondément entaillés.

Son cours se subdivise en une succession de bassins précédemment définis.

Dans le bassin de *Carkh-Baraki Barak-Pule Alam-Kolangar*, le Logar reçoit sur sa rive droite une rivière importante venue du S de Carkh avec laquelle il conflue à l'O de Pule Alam.

La plupart des affluents de ces deux rivières ont des écoulements limités à la période printanière. Aux autres saisons ils sont à secs ou un mince filet d'eau va alimenter les cultures irriguées des multiples oasis qui jalonnent leurs cours. Signalons ainsi sur la rive droite : la rivière Dobanday qui passe à Khosi, l'Altamur Khwar (Altamur), le Syahkoh Khwar (Sepst), le Cacobay (Abcakan), la rivière arrosant Mazgin. Ces oasis se tiennent principalement au voisinage des massifs. En s'éloignant de ceux-ci, les écoulements sont inexistantes ou non utilisables du fait des très faibles débits pendant la période d'irrigation. Ce sont là les principaux cours d'eau de la rive droite. Une multitude d'autres, moins importants, provenant de massifs plus proches, à bassin versant moindre, parcourent les piedmonts des massifs. Ils coulent généralement dans des conglomérats très cimentés par le calcaire dans lesquels se distinguent plusieurs paliers d'encroûtements qui correspondent à des profils d'équilibre successifs de ces rivières au cours de leur enfoncement. Toutes vont rejoindre par des cheminements complexes et anastomosés la dépression limoneuse du Logar qui descend jusqu'au fleuve par une succession de terrasses aménagées par l'homme.

Sur la rive gauche du Logar, à l'O de Kolangar et Babus, les multiples cours d'eau (1) descendant des massifs convergent vers Pyarokhel où s'observent en plein été quelques mares ou sources qui servent à l'irrigation. Le paysage de conglomérats encroûtés est ici le même que sur l'autre rive. Au S-O et à l'O de

(1) Dewolgay, Alagi, Spine Kala Sele....

Baraki Barak on retrouve ces mêmes conglomérats mais alors en buttes témoins isolées, tandis que des cours d'eau multiples (1) ont entaillé leurs lits dans une terrasse limoneuse ancienne. Ici encore les «oasis» (Lacikhel, Sejawand, Zarsang.....) se tiennent à proximité des massifs.

Dans le *bassin de Mohd Agha*, le Logar reçoit de nombreux apports de rivières. Sur la rive gauche, la plus importante d'entre elles, Awbazak Sar conflue avec le Logar au S de Gomaran. Le Syahkoh Khwar arrosant Sekargal'a et le Naw Khwar, non négligeables, voient leurs cours, surtout ce dernier, jalonnés de nombreuses parcelles d'irrigation. Sur la rive droite, non moins importants sont les Khwar Abparan, Pustay, Dastak, qui courent sur des "dasht" (désert) caillouteux par des lits peu profonds, à peine marqués, ou bien à l'inverse, au sortir des massifs, s'enfoncent profondément dans de vieux conglomérats plus ou moins démantelés et cimentés par le calcaire. Ces cours d'eau et leurs multiples affluents sont particulièrement ramifiés dès que le matériau devient tendre. Ici ce sont souvent des marnes anciennes, de coloration diverse, brune, jaune, rouge, verdâtre, que l'érosion a mis à jour.

Dans le *bassin inférieur du Logar*, dans la région de Kabul, le fleuve reçoit dans sa partie S (région de Khayrabad) des rivières affluentes de moindre importance du fait de l'étroitesse des vallées encaissées dans lesquelles elles serpentent.

Plus au N dans la dépression à l'E de la capitale, avant de rejoindre le Kabul, le Logar ne recevra plus que les apports modestes de multiples rivières descendues de massifs voisins.

4.2 LE KABUL

Le Kabul naît de la jonction de plusieurs rivières dont la principale prend sa source au N - E de Behsud et porte le nom de rivière de Maydan.

Son cours supérieur peut être subdivisé en 2 parties.

— dans la première il coule dans l'intérieur des massifs par des gorges encaissées et reçoit sur ses deux rives les apports de nombreux petits cours d'eau à régime torrentiel et à bassin versant peu étendu (Gerd Qol, Dr. Qodeld, Dr. Kolol, Awdara, Wall Naw, Dr. Karez, Sabi Khwar...).

— dans la seconde qui commence au S de la capitale après la passe de Tangi Sayedan, à l'O de Khayrabad, il pénètre dans la vaste dépression alluviale de Kabul où il recevra sur sa rive droite les eaux du Logar et celles du Butkhak Khwar (Rodjan) qui prend sa source très à l'E de Mohd Agha ainsi que celles de rivières de moindre importance. Sur sa rive gauche, peu avant son entrée dans les gorges à l'E de Kabul (Tangi Gharu) il reçoit les apports de 2 petits cours d'eau et de leurs affluents (Dwa Khwara et Loy Khwar) descendus du Khojo Ghare Wali (2991-3021m).

La dépression de Kabul voit une partie de ses eaux drainer en direction N où elles vont rejoindre le Pandjchir par un cours primitivement emprunté par le Kabul et le Logar (G. MENNESSIER 1968).

4.3 REGIMES ET DEBITS (2)

Nous ne possédons qu'assez peu de renseignements sur les débits du Logar et du Kabul. La figure 4 montre les débits moyens mensuels de ces 2 rivières, en 1965 (année de forte hydraulité) et en 1966 (année de faible hydraulité). Le maximum de l'écoulement se situe à la période printanière et au début de l'été, il correspond en même temps au maximum des précipitations et à la fonte des neiges. Au cœur de l'été, ces débits sont relativement faibles, quelle que soit l'année considérée. Ils ne reprendront de l'importance qu'à partir d'Octobre - Novembre.

(1) Jare Sejawand, Zarsang, Katasang, Jare Abjos,

(2) Renseignements fournis par le Service Hydrologique d'Afghanistan.

Le tableau suivant donne les débits maximaux et minimaux, en m³/s pour ces deux fleuves de 1965 à 1968.

	Débits							
	Maximaux				Minimaux			
	1965	1966	1967	1968	1965	1966	1967	1968
Logar à	97,1 (1)	30,6	101,6	46,9	3,28	1,75	2,58	2,45
Shek Abad	23/4 (2)	28/4	28/4	30/4	21/10	17/6	1/6	15/8
Kabul à	53,3	22,4	57,98	59,4	0,09	0,00	0,00	0,20
Tangi Sayedan	23/4	1/5	27/4	30/4	3/10	22/8	23/7	9/8

Tous ces chiffres ne tiennent pas compte des prélèvements faits à ces cours d'eau par de nombreux canaux de dérivation pour les besoins de l'irrigation.

Ces deux rivières à écoulement quasi permanent constituent une exception, la plupart de leurs affluents ou des cours d'eau secondaires sont à secs une grande partie de l'année.

4.4 LES EAUX

Généralités

Des prélèvements d'eau effectués en différents points de cet immense bassin ont permis l'étude de leur composition chimique, composition intéressante, tant du point de vue agronomique puisque ces eaux servent pour l'irrigation, que du point de vue pédologique puisqu'elles peuvent être une des sources des carbonates de calcium et de magnésium trouvés dans les sols ou les sédiments. Elles sont aussi responsables de phénomènes locaux de salure.

La qualité d'une eau dépend de plusieurs facteurs :

- la concentration en sels totaux;
- la composition ionique (anions-cations).

a) Concentration en sels totaux (3)

Les normes américaines (US SALINITY 1 954) que nous avons retenues pour classer ces eaux sont rappelées sommairement ici.

(1) Débit.

(2) Date de la mesure.

(3) D'après la composition en sels totaux, quatre classes sont distinguées :

C1 Classe 1 : Salure < à 0,15 gr/l (conductivité < à 0,25 mmho/cm). Eau peu salée, sans danger.

C2 Classe 2 : Salure entre 0,15 et 0,5 gr/l (conductivité entre 0,25 et 0,75 mmho/cm). Eaux moyennement salées demandant certaines précautions telle le lessivage, pouvant diminuer le rendement des plantes sensibles et provoquer une salinisation lente du sol.

C3 Classe 3 : Salure entre 0,5 et 1,5 gr/l (conductivité entre 0,75 et 2,25 mmhos/cm). Eaux fortement salées provoquant une salinisation rapide du sol et limitant la culture des plantes sensibles (agrumes, haricots...) et la germination des plantes plus résistantes (coton, betterave, luzerne...).

C4 Classe 4 : Salure > à 1,5 gr/l (conductivité > à 2,25 mmhos/cm). Eaux très fortement salées conduisant à une salinisation très rapide, ne pouvant être utilisées que pour l'irrigation de plantes très résistantes.

b) Composition ionique (1)

Elle est régie par le rapport suivant :

$$\text{S.A.R.} = \frac{\text{Na}}{\sqrt{\frac{\text{Ca} + \text{Mg}}{2}}}$$

(Sodium Adsorption Ratio).

Na, Ca, Mg, sont exprimés en me/l.

Ce rapport attribue au magnésium une action identique à celle du calcium sur la stabilité structurale du sol et caractérise l'action alcalisante des eaux sur le sol. A l'inverse la classification des sols du CPCS (1967) donne à l'ion magnésium une action identique à celle de Na. Ces deux actions sont alors considérées comme facteurs de l'alcalisation des sols. Ces deux positions quant à l'action du magnésium sont donc inverses. Nous essaierons de trancher plus avant sur le rôle de ce dernier.

Composition des eaux (*)

Les eaux que nous avons analysées ont été prélevées en Juin - Juillet 1969. Si nous nous reportons aux figures représentant les courbes de débit du Logar et du Kabul, nous constatons que la période de prélèvement correspond à celle d'étiage de ces fleuves, période où la charge des eaux, variant en cours d'année, est à son maximum, pour un minimum qui se situe entre le début de l'hiver et celui du printemps.

En fonction de la concentration en sels totaux (conductivité exprimée en millimhos/cm à 25°) et de la composition ionique (S.A.R.) la majorité des eaux analysées se trouve placée dans la classe C2 S1 (C2 Eaux moyennement salées pouvant provoquer une salinisation lente du sol. S1 Eaux ne pouvant amener plus de 12% de Na sur le complexe absorbant du sol. Action alcalisante faible). Quelques eaux entrent dans la classe C3 S1 (N° 1-2-3-21-27-28-29). Ce sont des eaux fortement salées pouvant amener une salinisation rapide. Une eau (N° 25) se place dans la classe C4 S1 (C4 Eau très fortement salée conduisant à une salinisation rapide). Exception faite des eaux N° 1-2-3 prises à l'Abparan Khwar à l'E de Mohd Agha, les autres ont été prélevées en des marécages permanents ou semi-permanents de la dépression de Kabul ou au S de cette ville (N° 21-25). Les échantillons 27-28-29 sont ceux de la nappe de la ferme de Binihésar.

(1) 4 classes sont définies d'après la composition ionique :

S1 Classe 1 SAR < à 10 pour les eaux peu salées, < à 2,5 pour les eaux très salées. Eaux ne pouvant amener plus de 12% de Na sur le complexe absorbant du sol.

S2 Classe 2 SAR entre 10 et 18 pour les eaux peu salées, entre 2,5 et 7 pour les eaux très salées. Eaux moyennement alcalisantes pouvant amener jusqu'à 20% de Na sur le complexe absorbant du sol.

S3 Classe 3 SAR entre 18 et 26 pour les eaux peu salées, entre 7 et 11 pour les eaux très salées. Eaux très alcalisantes pouvant amener jusqu'à 27% de Na sur le complexe absorbant du sol.

S4 Classe 4 SAR > à 26 pour les eaux peu salées, > à 11 pour les eaux très salées. Eaux fortement alcalisantes pouvant amener plus de 27% de Na sur le complexe absorbant du sol.

Les anions jouent de même un rôle dans la qualité des eaux :

- l'ion chlore en grande quantité est toxique;
- l'ion sulfate en association au calcium est favorable à la désalcalisation du sol;
- les ions carbonates et bicarbonates en s'associant au Ca et Mg donnent des sels qui précipitent, augmentant ainsi la concentration en ion Na des solutions. Les américains définissent ainsi «le carbonate de sodium résiduel» (CO₃ + CO₃H - Ca - Mg). Une eau contenant plus de 1,25 me/l de carbonate de sodium résiduel est dangereuse pour l'irrigation, inutilisable si elle contient plus de 2,5 me/l.

(*) Voir Annexes 1 et 2.

Cations

- l'ion Ca représente 13,5 à 52,2% de la somme des cations,
- l'ion Mg de 22,7 à 65,8%;
- l'ion K de 0,98 à 15,2%, (le plus souvent entre 1,5 et 3%);
- l'ion Na de 4,2 à 45,4% est très variable.

On notera surtout les pourcentages de magnésium souvent élevés et supérieurs à ceux du calcium et du sodium.

Anions

- bicarbonates et carbonates sont dominants représentant souvent 60 à 90-95% de la somme des anions,
- sulfates et chlorures sont plus variables (SO₄ : 2,6 à 15,5% ; Cl : 1,05 à 35,3%).

Aucune des eaux analysées ne contient de « carbonate de sodium résiduel » en quantité comprise entre 1,25 me/l et 2,5 me/l (eau dangereuse pour l'irrigation). Une seule la plus fortement salée (N° 25) en contient plus de 2,5 me/l (eau inutilisable).

Parmi les autres éléments majeurs les teneurs en Si O₂ sont comprises entre 5 et 29 mg/l (le plus souvent 15 à 25 mg/l), les teneurs en Al et Fe sont souvent inférieures à 0,050 mg/l.

Les eaux du bassin du Logar sont donc principalement des *eaux carbonatées calciques et magnésiennes* susceptibles d'amener le dépôt de ces sels dans le milieu sédimentaire ou pédologique.

En effet, si les quantités de gaz carbonique engagées dans ces eaux à l'état de bicarbonates sont faibles à moyennes (2 à 6 me/l), la charge alcaline de ces eaux est quasi-saturée du fait de leur pH le plus souvent voisin de 8 - 8,2. Il suffit donc d'une faible perte de CO₂ provoquée soit par élévation de température, soit par la photo-synthèse d'organismes végétaux supérieurs ou de phytoplancton, pour amener le dépôt de calcite, calcite magnésienne ou même de dolomie.

Ces dépôts qui paraissent se produire d'une façon très modérée de nos jours se sont effectués de manière accélérée à certaines périodes du Quaternaire récent si l'on en juge par les multiples encroûtements calcaires qui façonnent les piedmonts des massifs.

Les éléments traces (*)

Quelques unes des eaux précédemment analysées ont fait l'objet de recherche d'éléments traces dont le tableau en annexe donne les résultats.

On notera les teneurs relativement élevées en strontium, teneurs qui n'ont cependant rien d'anormal pour des eaux chargées en calcium et magnésium (1).

(*) Voir Annexe 3.

(1) Le bore n'a pu être analysé dans ces eaux et dans celles d'autres régions par suite de prélèvements insuffisants. On le trouvera en quantité parfois importante dans les sols salés où il sera la cause de la non venue des plantes cultivées. (Cf. Chapitre Salinisation).

5 - GEOLOGIE

5.1 CONTEXTE GENERAL DU BASSIN DU LOGAR

La nature des massifs de la périphérie du bassin du Logar nous est donnée par deux cartes schématiques empruntées à G. MENNESSIER (1968-1972) que nous reproduisons ci-après.

— La première (figure 5) couvre la partie S (région de Carkh (1), chaîne d'Altimur....) et vers l'E englobe la vallée d'Azrao.

L'auteur distingue :

- la succession stratigraphique de la dorsale calcaire (série d'Altimur) qui va du Permien au Crétacé et comprend les termes suivants :
 - calcaires de Sangaé (600m), de couleur noire,
 - quartzites roux et calcaires ferrugineux (10 à 500m),
 - calcaires d'Abcakan (plusieurs centaines de mètres à 1 km),
 - calcaires noduleux rouges et blancs du Trias (quelques mètres),
 - calcaires du Watch Sakh (100 à 800m),
 - calcaires et dolomies de Karakaé.
- la succession stratigraphique des unités de Dobanday et Zoundikhel avec les unités suivantes :
 - série de Rokian,
 - calcaires noirs et schistes gris à la base (Trias),
 - schistes gris et lentilles calcaires à Orbitolines (Albo-Aptien), à Rudistes (Turonien),
 - radiolarites,
 - calcaires noirs (Santano-Campanien),
 - conglomérats versicolores en discordance sur la série de Rokian, d'âge Cuisien (1 km d'épaisseur),
 - flysch gris de Dobanday en discordance sur l'une ou l'autre série précédente (2 km Lutétien),
 - calcaires à Nummulites de l'unité de Zoundikhel (400m),
 - formation de Ghar Azara en discordance sur les termes précédents :
 - marnes saumons et jaunes plus ou moins sableuses,
 - grès grossiers, conglomérats oranges . Post-Lutétien mais antérieur à la série du Lataband,
 - formation du Lataband (Mio-Pliocène) . Sables grossiers « poivre et sel » marnes grises et conglomérats.
- La seconde carte (figure 6) couvre une vaste superficie au N de la région précédente. Elle déborde largement le cadre de notre étude dans sa partie septentrionale. G. MENNESSIER y distingue principalement cinq grands ensembles stratigraphiques :
 - des séries métamorphiques très plissées et érodées, traversées de roches basiques. Ce sont celles de Kabul et de Déhé-Sabz. Anté-carbonifères supérieur ou anté-dévoniennes, elles sont constituées de la base vers le sommet de :
 - gneiss avec des bancs d'amphibolites, de cipolins, de marbres ... observés surtout à l'O et au S de Kabul,
 - quartzites de Korogh et micaschistes de Wilayati au S des ensembles de gneiss,
 - marbres de Gosfand-Dara et de Gol Dara très abondants au S et à l'E du Logar,
 - des calcaires marins du Carbonifère supérieur au Sénonien (série de Khinguil) rappelant ceux de la série d'Altimur :
 - calcaires ouralo-permiens à Fusilinidés,
 - calcaires du Trias inférieur à *Ceratitoides* et *Monotis*,
 - calcaires du Trias supérieur et du Crétacé....Cette série occupe ici des surfaces plus restreintes ;

(1) Tchar sur la carte géologique. L'orthographe des noms de lieux cités dans ce paragraphe a été empruntée à G.MENNESSIER

- des schistes auxquels s'associent des calcaires (calcaires à pâte fine, calcaires cristallins noirs, calcaires à Nummulites) et des roches vertes. Il s'agit de la série de Kotagaé qui appartient au Crétacé supérieur, au Nummulitique et peut être à l'Oligocène. Elle se situe principalement dans la partie E de la zone cartographiée,
- des grès, argiles, marnes sableuses, calcaires lacustres à Planorbes et Limnées intercalés de conglomérats plus ou moins grossiers (série du Lataband. Néogène). Ces dépôts occupent généralement des dépressions et sont très fréquents dans toute la région,
- des alluvions fluviales, des cônes de déjection, d'anciennes terrasses particulièrement bien représentées dans la vallée même du Logar (Quaternaire).

Ce sont principalement les formations de la série du Lataband et celles du Quaternaire que nous avons étudiées. Nous distinguerons successivement différentes formations par ordre d'ancienneté, encore qu'il soit souvent difficile de définir en fonction de la couleur, de la nature ou de la texture du sédiment l'ordre des différentes superpositions.

5.2 LES FORMATIONS SEDIMENTAIRES SUPERFICIELLES (Figures 15)

5.2.1 Les formations rubéfiées (Figure 7) (*)

Elles sont relativement peu abondantes. Souvent masquées sous d'autres sédiments, elles affleurent grâce à l'érosion qui a creusé de profondes ravines. On les observe cependant sur les piedmonts, plus ou moins accolées aux massifs.

Les micro-brèches

Elles sont principalement observées sur la rive gauche du Logar dans la région de Mohd Agha où elles constituent sur les piedmonts des lambeaux d'orientation NW - SE, très déchiquetés par l'érosion. Elles font la transition entre le massif dénudé et la plaine alluviale en culture.

De couleur brun-rouge diversement foncé (7,5R 3/4 - 10R 3,5/3 - 2,5YR 4,5/4), parfois plus clair, gris-rouge pâle (10R 5,5/2), elles se présentent en affleurements chaotiques, peu cohérents, fragmentés souvent en multiples polyèdres très durcis de 1 à 5 cm. Macroscopiquement on a à faire à une pâte fine relativement homogène dans laquelle se distinguent des éléments plus grossiers de roches diverses (quartz, schiste, péridolite...) dont les altérations prennent parfois des couleurs verdâtres. On observe sur les polyèdres des cristallisations irrégulières et blanches de calcite mais celle-ci est généralement peu abondante, à l'état de traces à l'analyse. L'analyse totale aux triacides révèle assez peu de quartz (6,5 à 16,5%) mais une forte proportion de silice (37,6 à 44,2%) et de Mg O (24,2 à 30,0%). Les teneurs en Al₂O₃ sont faibles (0,9 à 1,3%), celles de Fe₂O₃ moyennes (6,5 à 10,0%). L'examen aux RX de 2 de ces échantillons (No 154-320) montre la dominance de silicates magnésiens (pyroxène, serpentine, talc) avec de la chlorite dans l'échantillon 154. La recherche de minéraux lourds dans l'échantillon 320 et leur examen aux RX confirme bien la dominance de pyroxène enstatite auquel s'ajoute du pyroxène clinoenstatite. L'extraction des produits amorphes sur ces 2 échantillons révèle en outre des quantités très importantes de silice amorphe (31,5 et 11,3%) pour des teneurs en fer et alumine amorphes plus modestes, respectivement : fer 8 et 2,4% ; alumine 0,31 et 0,02%.

Ces micro-brèches apparaissent constituées essentiellement de silicates magnésiens très altérés ou en voie d'altération, plus ou moins cimentées par de la silice, par du fer amorphe ou des hydroxydes de fer. Ces différents matériaux ont été empruntés aux péridolites qui forment les massifs du voisinage.

(*) Voir Annexes 4-5-6.

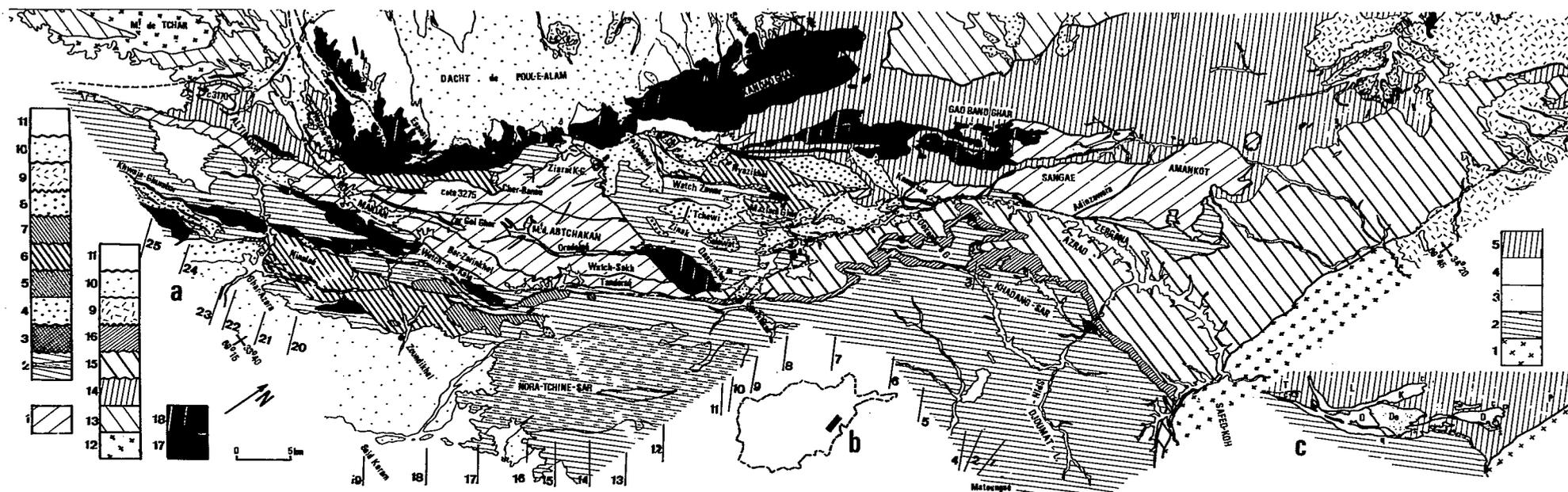


Figure 5 - (MENESSIER 1 972)

a) Schéma de la chaîne d'Altimur — 1. Série d'Altimur (Permien supérieur - Crétacé inférieur) ; 2. Série de Rokian (Crétacé) (avec niveau à radiolarite, ophiolite et lentilles calcaires) ; 3. Calcaires à Nummulites cuisien sous les conglomérats versicolores ; 4. Conglomérats versicolores cuisien ; 5. Calcaires à Nummulites cuisien sur les conglomérats ; 6. Flysch gris de Dobandi Cuisien-Lutétien ; 7. Calcaires à Nummulites Lutétiens ; 8. Formation de Ghar-Azara (Paléogène supérieur ?) ; 9. Série du Lataband (Mio-Pliocène) ; 10. Quaternaire ancien ; 11. Quaternaire récent ; 12. Cristalophyllien ; 13. Série de Kotagaé (Crétacé terminal - Paléocène basal) ; 15. Série d'Azrao (Paléocène supérieur - Cuisien) ; 16. Calcaires à Nummulites (Cuisien-Lutétien) ; 17. Diorites et roches affinis ; 18. Péridotites et serpentinites.

b) Localisation géographique de la région étudiée en Afghanistan.

c) Schéma structural de la chaîne d'Altimur — 1. Cristalophyllien du Safed-Koh ; 2. Unité de Zoundikhel ; 3. Unité de Dobandi ; 4. Dorsale calcaire ; 5. Zone de Kabul et d'Azrao — T. Région de Tchar ; I. Synclinal du Logar ; P. Synclinorium du Bas-Pandjchir ; D. Dorsale calcaire ; K. Ecaille de Kandao-Ghar ; DO. Unité de Dobandi ; Z. Unité de Zoundikhel ; C. Chevauchement frontal ; S. Accident du Sourkh-Ab ; Q. Accident de Qassimkhel.

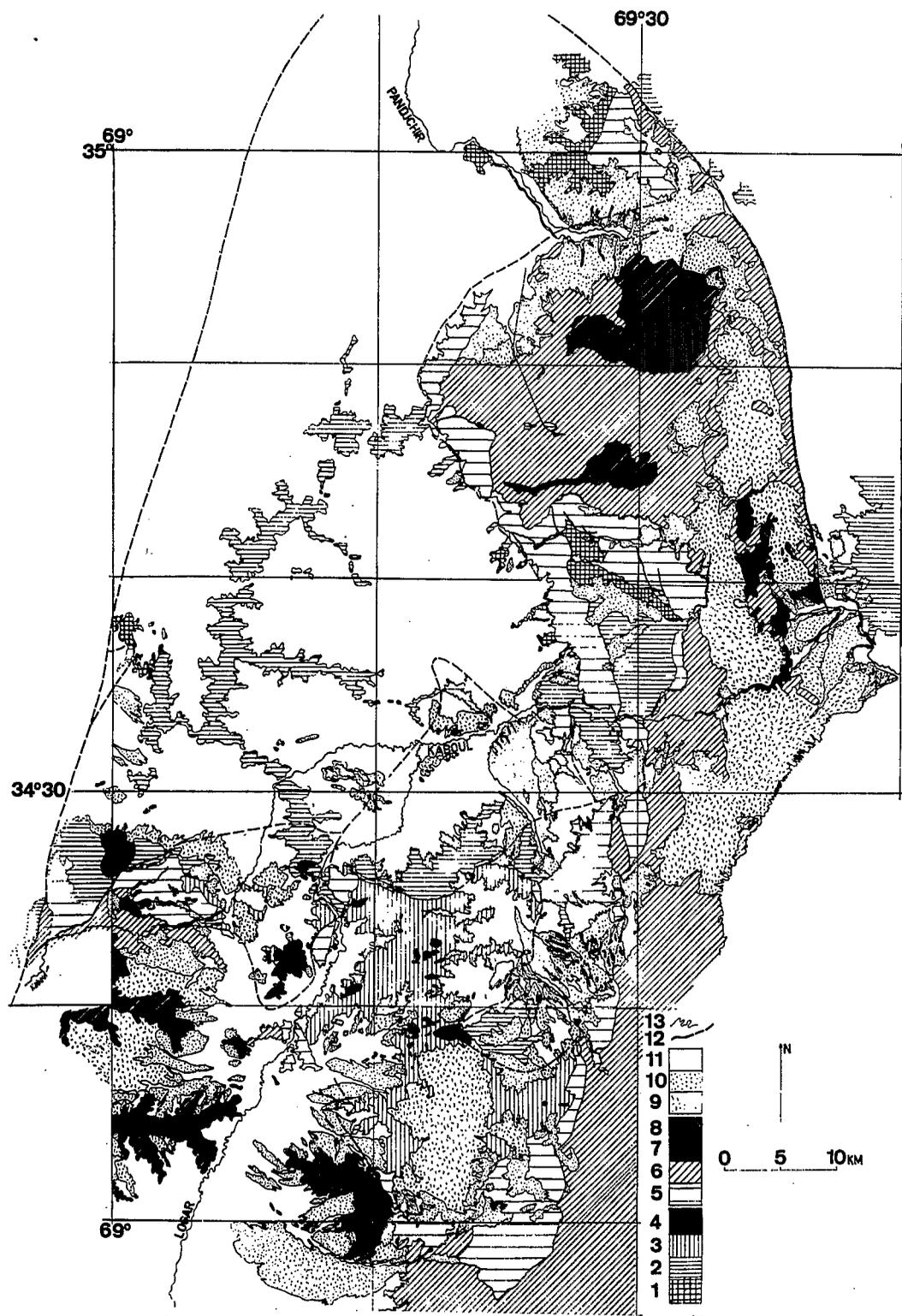


Figure 6 (MENNESSIER 1 968)

Schéma géologique de la région de Kabul, établi à partir des cartes géologiques au 50.000é. — Légende : 1. Série de Deh-é-Sabz ; 2. Série de Kabul (partie inférieure : gneiss de Cher-Darwaza, quartzites de Korogh, micaschistes de Wilayati) ; 3. Série de Kabul (partie supérieure : marbres de Gosfand-Dara, formation de Kapeur-Cala, formation de Gol-Dara) ; 4. Diorite ; 5. Série de Khinguil (Permien, Trias, Crétacé supérieur) ; 6. Série de Kotagaé (Crétacé supérieur, Nummulitique, Oligocène ?) ; 7. Péridotites et roches associées ; 8. Serpentinites et roches associées ; 9. Série du Lataband (Néogène) ; 10. Quaternaire ancien ; 11. Quaternaire récent ; 12. Contacts anormaux visibles et cachés ; 13. Contours géologiques.

Les sédiments argileux dolomitiques

Dans la même région que celle où l'on observe les micro-brèches se trouvent des argiles dolomitiques. Elles se voient en bas des pentes, dans le fond de la dépression, où elles sont recouvertes par d'autres sédiments, notamment des brèches de piedmont ou des conglomérats très grossiers cimentés par le calcaire. Dans certains puits on les trouve sur une épaisseur de 7-8... 10 m. Elles prennent au contact de la nappe une couleur brune tandis que lorsqu'elles affleurent en surface elles donnent des sols de couleur rouge à profil calcaire et caractères vertiques. Elles sont elles-mêmes rose saumoné (10R 5/4 - 2,5YR 6/4), marquées de taches ou veinules blanches, olive pâle (5Y 6/4), jaune pâle (5Y 7,5/3), ocre (5YR 7/8) ou noirâtre. Massives, compactes, elles se débitent en larges plaques ou en polyèdres grossiers. Leur analyse totale aux triacides alliée à d'autres examens (RX, calcimétrie....) indique des teneurs variables en quartz mais souvent faibles (1,4 à 12,4%), pauvres en alumine (0,3 à 4%), faibles à moyennes en fer (3,5 à 11,5%), riches en Mg O (14 à 20,8%). Ces deux derniers éléments pouvant entrer dans le réseau de la montmorillonite ou de la nontronite, argiles qui sont très abondantes dans ces sédiments. Le magnésium entre également dans la composition de minéraux silicatés (serpentine, talc...) et aussi dans celle de la dolomie diversement abondante. On note également la présence de gypse dans l'échantillon No 344. La silice bien représentée (16 à 38,8%) peut déterminer des rapports Si O₂/A | 2 O₃ très élevés. Une partie de celle-ci apparaît sous forme amorphe (No 344 14,5% pour 38,8% de Si O₂ total (1)). Il s'agit là de l'échantillon le plus proche des micro-brèches, de par sa composition, sa faible teneur en dolomie, malgré sa très grande richesse en montmorillonite. Son examen sédimentologique montre une courbe cumulative très étalée sur l'axe des abscisses (Hétérométrie : 2,30 . Q d φ : 1,30 . Médiane : 30,0 μ). Sa fraction minéraux lourds est faible (0,42%), à dominance de spinelles (82%), minéral particulièrement résistant au transport et à l'altération provenant de roches ultra-basiques (péridotite ou serpentine en dérivant). Nous avons déjà signalé précédemment que les péridotites dominaient dans cette partie du bassin.

Ces argiles rose saumonées peuvent passer localement en bas de pente, par suite d'enrichissement par des apports latéraux, ainsi qu'il a été observé au Nord de Déhé Naw, à un faciès rouge (10R 4/6) à veinules blanches plus riche en Fe₂ O₃ (23,5%) et non carbonaté. L'examen aux RX révèle la présence d'argiles du type 2/1, d'un peu d'hématite, de traces de goethite et de talc. Les raies d'hématite, faibles, sont sans commune mesure avec le pourcentage de fer indiqué plus haut, ce qui confirme bien la présence de nontronite (échantillon No 450) et de fer amorphe.

Ces argiles riches en dolomie apparaissent comme les produits de décantation en cours de transport des sédiments provenant de l'altération des micro-brèches et des péridotites. Cette sédimentation paraît s'être effectuée en condition lacustre. L'âge du dépôt de ces argiles dolomitiques déterminé sur le carbone 14 des carbonates serait de 27.670 ± 780 ans B.P. (No 441). Cette date est à rapprocher de celles obtenues pour des dolomies du Sud de l'Afghanistan elles-mêmes déposées en milieu lacustre (Épaisseur du banc de dolomie : 2m. Partie inférieure : 34.300 ± 1080 ans B.P. Partie supérieure : 26.270 ± 880 ans B.P.).

Les marnes, argiles, argiles sableuses

On les observe en différents endroits dans la partie centrale du bassin du Logar :

— sur la rive gauche du fleuve :

- au N de Bédak où une piste conduit à la vallée du Kabul surplombée en cet endroit par un massif sédimentaire très démantelé s'élevant de 200 à 300 m environ au-dessus de la vallée. On peut y voir successivement de haut en bas, dans la partie supérieure :
 - un limon à cailloutis roulés présentant de faible recristallisation de calcite,

(1) L'extraction des produits amorphes sur cet échantillon s'est traduite aussi par une forte diminution des raies de la montmorillonite ainsi que de celles de la dolomie, du gypse, l'apparition de l'illite jusqu'alors masquée, l'accroissement des raies de la serpentine.

- plusieurs niveaux de grès horizontaux cimentés par le calcaire avec des bancs conglomératiques intercalaires,
- des marnes rouges passant à jaunâtres par suite d'hydromorphie en profondeur.

Ce sont ces séries sédimentaires de marnes rouges souvent très démantelées par l'érosion que l'on observe à l'O et au N-O de Gomaran dans plusieurs bassins versants. On retrouve là des stratifications marneuses alternativement rouges et vertes qui forment souvent des buttes témoins où viennent s'intercaler des dépôts caillouteux plus ou moins grossiers.

– *sur la rive droite du Logar :*

- le long de la rivière passant à Mazgin, très en amont de ce village et au débouché des massifs,
- un peu plus au S sous forme de buttes témoins (Hayatklan Kalay, Burg, Kotgay) s'appuyant aux massifs,
- plus au S encore, le long de la piste Zarghunshar-Dobanday, dans une vallée ouverte dans un piedmont conglomératique encroûté s'inclinant en pente douce vers le N-O. Les marnes forment, là aussi, des buttes témoins de différentes hauteurs par rapport au fond de la vallée. Ces dépôts stratifiés sont de couleur alternativement rouge (10 R 5/6) et vert olive pâle (5Y 6/3). Ils sont surmontés par un cailloutis conglomératique de 4 à 5 m d'épaisseur, très encroûté par le calcaire dans sa partie supérieure ou bien sont couronnés de dépôts limoneux bruns dont la surface blanchâtre tend à donner un encroûtement calcaire. Ce paysage est celui qui s'observe légèrement en amont de l'endroit où la piste suivant la vallée coupe en oblique l'alignement des marnes.

Plus en amont, au pied des massifs à Khosi où la rivière Dobanday s'est ouverte des gorges impressionnantes d'une centaine de mètres dans des conglomérats très grossiers l'entaillement de ceux-ci est marqué par deux terrasses consolidées par le calcaire qui a envahi leur partie supérieure. Des marnes vertes, recouvertes de cailloutis, sont visibles en contrebas. Elles donnent souvent un sol de couleur brun, superficiellement blanchâtre et calcaire. En profondeur, on passe à des marnes brunes hydromorphes, litées, pouvant présenter des accumulations calcaires importantes par places,

- à Akhundkhel, au S de Khosi, dans un vaste piedmont caillouteux, encroûté, s'observent, en buttes témoins, des conglomérats très grossiers cimentés par le calcaire à la base desquels nous retrouvons des marnes brun-rougeâtre (5 YR 6/4), litées de grès calcaires de couleur identique, (1).

L'analyse sédimentologique de ces différentes marnes ou argiles plus ou moins sableuses révèle un sédiment fin (médiane 3,3 à 25,5 μ), mal trié, à courbe cumulative très étalée sur l'axe des abscisses (hét. : 1,7 à 1,85 - Q d φ : 0,82 à 2,2).

La fraction minéraux lourds apparaît très variable en fonction de l'origine des matériaux et est liée à la dimension et à l'hétérogénéité des bassins versants ainsi qu'à des phénomènes de remaniements. Les échantillons d'Akhunkhel (No 761-762) ont des teneurs pondérales élevées (24,1 et 37,6%) avec dominance de hornblende (66 à 75%) et grenat (11 à 19%), ceux de Burg et de Bédak ont des teneurs pondérales plus faibles (1,55 et 0,85%) le premier est surtout à base d'épidote et de grenat (72 et 16%), le second plus varié (augite 26%, épidote 22%, grenat 19%, staurotide 11%). Échantillons No 243 et 410. L'analyse totale aux triacides de l'échantillon No 410, prélevé sur la rive gauche du Logar à Bédak indique de fortes teneurs en Mg O (17,3%), et en silice (42,1%), pour des teneurs moyennes en fer (10,5%). Ces chiffres sont à rapprocher de ceux trouvés à l'analyse des micro-brèches. On note également du gypse en quantité peu importante et des traces de Ca CO₃. Dans les échantillons observés les teneurs en carbonates sont faibles (traces à 10,2%).

L'examen aux RX, indique la dominance d'une fraction argileuse à dominance de minéraux 2/1 (montmorillonite ou nontronite) à laquelle s'ajoutent de l'illite, de la chlorite en quantité variable suivant les échantillons. L'observation morphoscopique des sables montre des quartz anguleux à subanguleux, picotés, luisants indiquant un matériau ayant subi un faible transport. On trouve aussi quelques feldspaths.

(1) Ca CO₃ : 46%. Sédiment sableux fin, mal trié, (Médiane 110 μ . Hét. 1,15. Q d φ 3,20) N^o 760.

A l'inverse des argiles dolomitiques précédentes qui tiraient leur origine de la décomposition de péridotites formant un ensemble de massifs homogènes dans la région O et E de Mohd Agha, les marnes, argiles et argiles sableuses rubéfiées décrites ici ont une origine variée : ophiolites et schistes à ophiolites pour celles de la rive droite du Logar ; péridotites, roches diverses des séries de Kotagaé et de Khinguil pour celles de la rive gauche à la hauteur de Gomaran. Elles paraissent aussi le résultat du déblaiement d'un ancien manteau d'altération qui recouvrait ces roches. Elles donnent naissance, lorsque leur position topographique n'entraîne pas une forte érosion, à des sols de couleur rouge à caractères vertiques.

5.2.2 Les formations claires (*)

Par ces termes nous distinguerons des formations non rubéfiées de couleur très variable allant d'un brun plus ou moins foncé à des tons beiges ou blanchâtres. On observe ces sédiments en différentes parties du bassin du Logar et du Kabul que nous avons regroupées pour faciliter la présentation en deux régions distinctes :

- la partie centrale du bassin du Logar,
- la dépression de Kabul.

La partie centrale du bassin du Logar (Figure 8)

En s'éloignant des massifs les formations rubéfiées précédentes font place à des séries de couleur souvent claire et stratifiées qui paraissent se superposer aux précédentes et les prolongent fréquemment dans le piedmont.

Ainsi au S et S-E de Zarghunshar et des massifs montagneux de Coka i Mastan et Bini Cela, les marnes rouges et verdâtres se continuent par un alignement de bombements surplombant de 10 à 20 m le piedmont caillouteux encroûté. Ce sont superficiellement des dépôts brun-clair qui recouvrent des marnes plus ou moins sableuses et micacées, feuilletées, gris vert pâle, dans lesquelles s'observent des amas gypseux (No 130). (1).

A l'O de Khosi un alignement de marnes identiques se poursuit presque jusqu'à Pule Alam où il vient butter sur le massif ophiolitique surplombant la route Kabul-Gerdiz (No 910).

A Dastak, au N-E de Gomaran, des marnes grises en polyèdres très durcis, constituent des bombements pouvant atteindre une dizaine de mètres de hauteur et plus.

Sur la rive gauche du Logar, des sédiments identiques s'observent à l'O de Babus et à Mirwal, au N-O de Kolangar. Ces marnes très litées, à débit en plaquettes ou en polyèdres lorsque très argileuses sont souvent fortement consolidées par le calcaire dans leur partie supérieure et aussi surmontées par un conglomérat épais de plusieurs mètres lui-même encroûté. Ainsi à Mirwal on distingue sous le conglomérat des marnes présentant une croûte calcaire d'une quarantaine de centimètres vers 4 m et plus bas un niveau d'encroûtement calcaire relativement moins consolidé. L'ensemble de la butte témoin de Mirwal fait une dizaine de mètres de hauteur. Ces sédiments plus ou moins argileux sont intercalés de dépôts finement sableux souvent cimentés par le calcite (No 220-930).

Tous ces dépôts sont de couleur assez claire, gris vert pâle (5 Y 5,5/2), blanc grisâtre (5 Y 7/1,5), brun clair (10 YR 5,5/4), jaune olive pâle (5 Y 6,5/4) avec des marbrures plus foncées, brun-jaune (10 YR 6,5/6) suivant les lignes de stratifications. Superficiellement, ainsi que nous l'avons déjà signalé, ils ont pu subir des phénomènes d'encroûtement par le calcaire. Ceux-ci souvent peu épais (20 à 40 cm) leur confèrent alors une teinte blanchâtre.

(*) Voir Annexes 7 et 8.

(1) Le terme de marne utilisé ici a un sens très général. Emprunté aux géologues, il désigne des formations de texture diversément argileuse, ne contenant pas toujours d'importantes quantités de Ca CO₃.

Ces sédiments ont des courbes à faciès hyperbolique ou bi-modal qui indiquent le plus souvent des dépôts en cours de transports faibles. Ils sont fins pour les moins sableux (médiane : 8,5 à 35 μ), mal triés (hétérométrie : 0,90 à 1,90, Q d φ : 0,60 à 1,60). La fraction minéraux lourds (0,04 à 6,02%) est constituée surtout d'épidote (42 à 66%), de hornblende (1 à 35%), de grenat (2 à 24%). Les sédiments sableux, lités, intercalés dans les dépôts précédents, sont diversement fins (médiane : 80 à 130 μ) et triés (hétérométrie : 0,41 à 2,45, Q d φ : 0,40 à 1,55). L'examen morphoscopique des sables montre dans presque tous les cas une forte proportion de micas, quelques débris de roches, des quartz anguleux picotés, quelques feldspaths, donc dans l'ensemble des minéraux ayant subi une faible altération et un transport peu important.

La fraction argileuse est composée dans deux de ces échantillons (No 275 et 910) de montmorillonite très dominante associée à de l'illite et de la chlorite. Dans un troisième échantillon l'examen aux rayons X révèle une forte quantité de dolomie, un peu de calcite, associées à de l'illite dominante, de la chlorite et de l'attapulgite (No 40).

La dépression de Kabul (Figure 9)

Dans la dépression de Kabul, constituée essentiellement de dépôts limoneux récents, ceinturée par de hauts massifs montagneux, affleurent en buttes témoins des marnes litées de couleur identique aux précédentes, souvent interstratifiées de sables différemment grossiers, parfois cimentées par le calcaire et couronnées par des conglomérats très encroûtés qui les ont protégées de l'érosion. Des loess s'intercalent dans la partie supérieure des affleurements entre marnes, stratifications sableuses plus ou moins grossières, et le conglomérat. Leur surface se présente sous forme de croûte et d'encroûtement calcaire épais de 60 à 100 cm qui se superpose au loess pulvérulent. Les marnes sous-jacentes prennent une grande extension dans la partie E de la dépression de Kabul au voisinage des massifs situés au S de Tangi Gharu :

MENNESSIER (1968) a décrit ces successions de marnes, sables, conglomérats notamment à la colline de Bébé Marrho sur la route de l'aérodrome près de Kabul et a ainsi montré la complexité de l'alluvionnement que plusieurs de ses prédécesseurs dont FURON (1926) avaient déjà signalée. Les échantillons que nous avons examinés présentent des caractéristiques voisines des sédiments observés dans la partie centrale du bassin du Logar, par la couleur, la taille (médiane : 9,9 à 37 μ), le mauvais triage des sédiments (hétérométrie : 0,91 à 1,25, Q d φ : 0,62 à 1,00), la composition de la fraction minéraux lourds (0,40 à 1,16%) où dominent principalement de l'épidote (61 à 73%), de la hornblende (11 à 30%). Ici encore le faciès des courbes cumulatives, la morphoscopie des sables indiquent des sédiments déposés après un faible transport. Deux échantillons de sables cimentés par le calcaire ont des caractéristiques proches, mise à part la taille (médiane 100 à 110 μ). Ils ne peuvent cependant être considérés comme représentatifs de l'ensemble des sédiments sableux dont la grossièreté est très diverse suivant la couche considérée et le lieu.

Sur quatre échantillons d'argile examinés, deux sont à dominance de montmorillonite (No 870 et 880) à laquelle s'ajoutent par ordre d'importance de l'illite, de la chlorite. L'argile de l'échantillon No 800 est constituée par de la montmorillonite, de l'illite, de la chlorite et de la calcite. Dans l'échantillon No 860 l'illite domine suivie par la chlorite, on y observe aussi des traces de montmorillonite, de la sépiolite, de la dolomie et de la calcite. On voit donc que si la dominance revient souvent à la montmorillonite, les variations peuvent être cependant grandes d'un échantillon à un autre.

Les dépôts sableux qui s'intercalent aux marnes ne prendront jamais ici la grande extension qu'ils ont dans la vallée du Kabul, dans la dépression de Sarobi et plus en aval dans celle de Jalalabad, où une étude a été faite. Au S de Kabul on observe cependant des formations gréseuses et sableuses assez importantes localisées au débouché des gorges du Kabul (Tangi Sayedan), dans la région de Gulbagh. Il s'agit là de formations gréseuses « poivre et sel » comme au voisinage du Kohé QI Fatuh et du Kohé Qorugh formés de gneiss-micaschistes dont ils semblent résulter. Leur composition quartzo-feldspathique dominante à laquelle s'ajoutent de la biotite, de la muscovite, des grenats (BARTHOUX 1933) est peu différente des produits actuels d'érosion que l'on observe dans les plaines de piedmont de ces massifs. Les sables lités sont plus ou moins

cimentés par le calcaire, en plusieurs bancs. Ils donnent sur pente des sols à abondant pseudo-mycélium calcaire. Des niveaux de marnes brunes en polyèdres durcis s'y intercalent. L'ensemble de ces formations a subi une très forte érosion qui les a découpées en multiples buttes dont certaines sont encore recouvertes par un conglomérat encroûté par le calcaire.

En conclusion, nous voyons que ces formations de marnes claires à intercalations sableuses ou graveleuses plus ou moins importantes et bien triées s'observent en plusieurs bassins bien délimités (bassins de Baraki Barak, de Babus-Mirwal, de Khosi-Pule Alam, de Dastak, de Kabul....) tandis que les formations les plus graveleuses et importantes se situent à la sortie des gorges de Sayédan dans le bassin du Kabul, à son débouché des massifs.

Ces sédiments paraissent le résultat de la mise en place en des cuvettes fermées plus ou moins endoréiques, de sédiments provenant de l'érosion des massifs voisins après que le précédent manteau rubéfié d'altération, particulièrement important sur les péridotites et les schistes, eut été dégagé. Ce dépôt aurait précédé le percement et le dégagement des seuils rocheux séparant les bassins les uns des autres amenant le démantèlement de ces mêmes formations. La mise en place de ces sédiments se serait produite en milieu lacustre ou marécageux ainsi que l'indique la présence de Planorbes, Limnées (MENNESSIER 1968).

L'importance des dépôts fins (marnes, argiles) pose cependant le problème de leur origine. Vu la proximité des massifs elle implique une sédimentation en eaux calmes de matériaux préalablement triés et sans doute très altérés s'ils ont pour origine les roches mères constituant les massifs. L'hypothèse d'anciens dépôts loessiques mis en place en domaine glaciaire ou périglaciaire dans de vastes paysages incluant aussi bien les dépressions marécageuses que les massifs eux-mêmes n'est pas à exclure. Aux loess déposés initialement dans les cuvettes seraient venus s'ajouter ceux plaqués primitivement sur les massifs puis colluvionnés vers les dépressions lors de changements climatiques. Ce colluvionnement qui implique en même temps un mélange de sédiments expliquerait notamment la grande variabilité de texture des dépôts. Une telle hypothèse, que paraît confirmer la comparaison des données sédimentologiques entre certaines marnes, argiles.. et les formations de loess, aurait donc pour effet de rajeunir considérablement l'âge des dépôts supérieurs de la série du Lataband jusqu'alors considérés Mio-Pliocène et qui seraient alors Quaternaire ancien ou moyen. Ceci expliquerait en partie le hiatus existant jusqu'alors entre formations tertiaires et Quaternaire récent.

COURBES CUMULATIVES

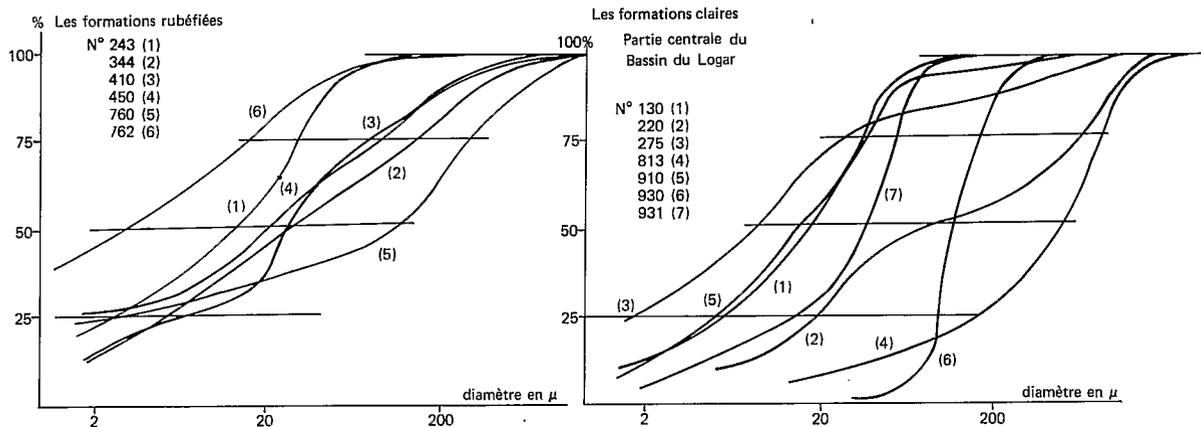


Figure 7

Figure 8

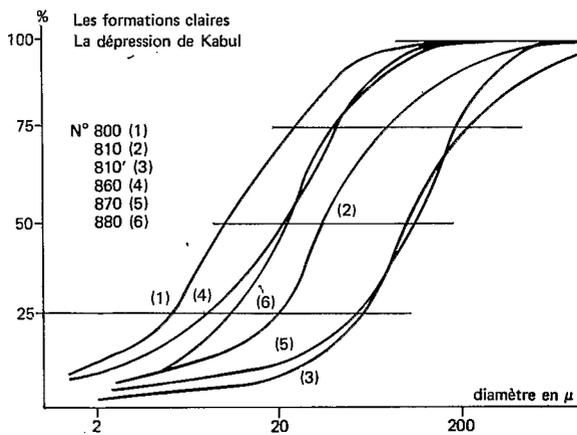


Figure 9

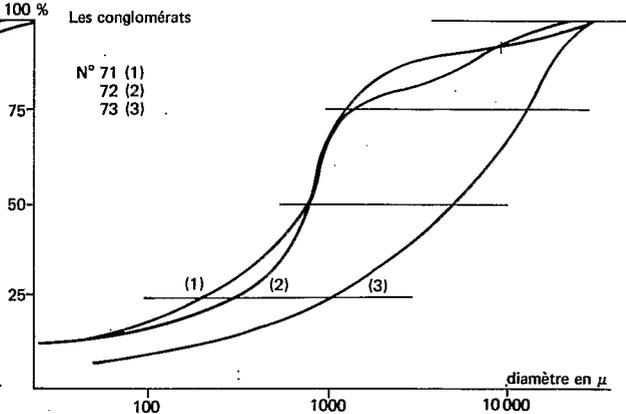


Figure 10

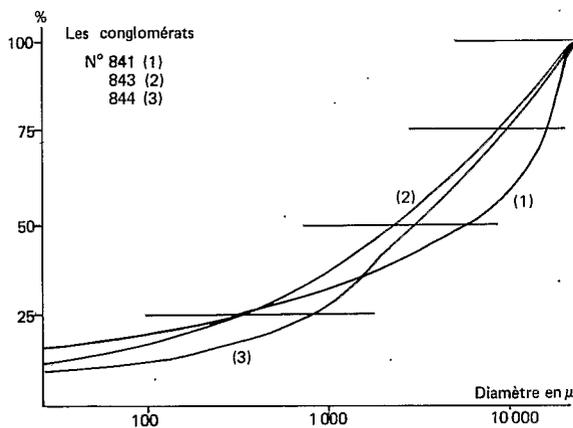


Figure 11

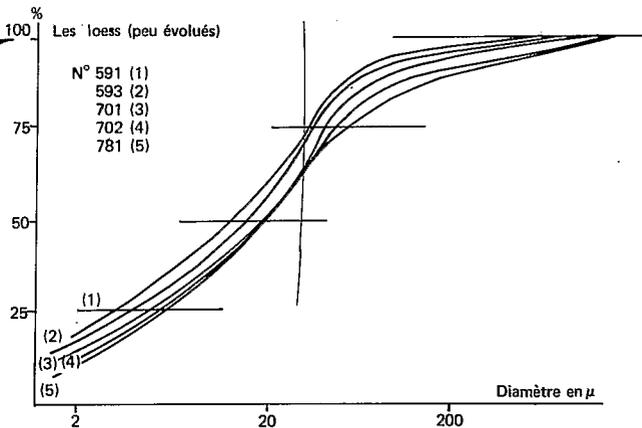


Figure 12

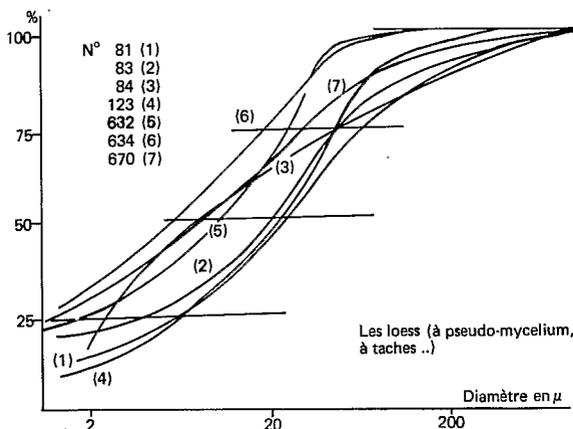


Figure 13

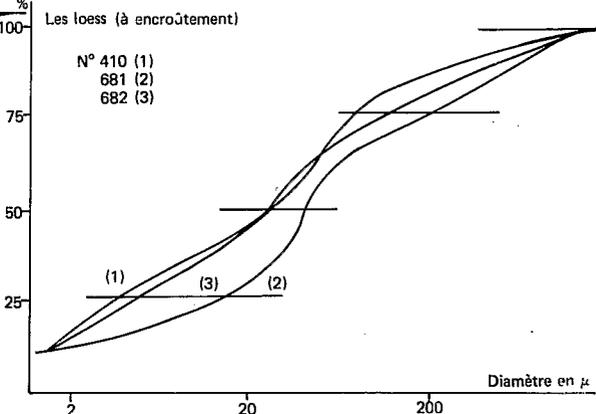


Figure 14

5.2.3 Les conglomérats fluvio-glaciaires (Figures 10 et 11) (*)

Ils se superposent aux précédents dépôts (marnes, grès...) encore que des niveaux très graveleux se trouvent inclus dans ceux-ci.

Dans le bassin du Moyen Logar, ces conglomérats sont visibles principalement sur le piedmont E au débouché des principaux cours d'eau dont ils constituent les cônes de déjection : Altamur Khwar, Synkhoh Khwar, Cacobay, Dobanday Siso Khwar à l'E de Gomaran.

Moins nombreux sur la rive droite du Logar, ils sont cependant très étendus à l'O de Babus et de Mirwal où de multiples rivières convergeant vers la passe de Pyarokhel sont à l'origine ancienne de leur dépôt.

On observe de même dans l'E de la dépression de Kabul, au N et au S des gorges du Kabul (Tangi Gh. u), et vers l'O dans la région de Paghman, d'importants piedmonts conglomératiques tandis que les dépôts marneux, sableux précédents interstratifiés formant des buttes témoins dans cette dépression sont eux-mêmes coiffés de lambeaux de conglomérats.

La grande importance de ces coulées conglomératiques dans les régions situées à l'E de la route Altamur - Kolangar - Mohd Agha paraît en liaison directe avec l'altitude des massifs de l'arrière pays. On peut admettre en effet que les actions glaciaires anciennes ont été d'autant plus fortes que les massifs étaient plus élevés. Ceux-ci atteignent fréquemment dans cette partie 3500 à 4000 m, alors qu'à l'O de cette même route ils culminent plus rarement vers 3000 m. Les conglomérats sont alors absents ou rares sur le piedmont et d'épaisseur souvent moindre tandis qu'à l'E les cônes de déjection qui se rejoignent entre eux occupent des surfaces considérables. Leur superficie peut être estimée ici à 120 km². Ils s'appuient vers l'E aux massifs, atteignent les abords de Pule Alam vers l'O, d'Altamur au S. Au contact des massifs ils épousent les formes du relief, dans un paysage chaotique. Les vallées qui s'y enfoncent montrent une épaisseur de galets de 8 à 10 m, encroûtée par le calcaire dans la partie supérieure.

L'épaisseur des conglomérats est surtout visible le long des cours d'eau qui y ont creusé leur lit ou bien dans les coupes de buttes témoins résiduelles qui surplombent la surface actuelle. A l'O de Daryakan (N de Khosi) ces conglomérats, hauts de 5 m, forment une falaise au-dessus du cours d'eau dont le lit se situe dans les marnes vertes entaillées sur 3 m.

A l'E de Zarghunshar, en bordure des massifs (Lakay Ghar, Spin Wersek), les buttes témoins nombreuses sont souvent couronnées par des conglomérats reposant sur des marnes vertes ou rouges. Le conglomérat sommital très consolidé par le calcaire fait place sur pente à un cailloutis qui donne à ces buttes des formes arrondies.

A Mazgin, le village est implanté sur le conglomérat encroûté.

A Akhundkhel, au S de Khosi, des conglomérats très grossiers se superposent aux marnes rouges, litées par places de grès de couleur analogue qui affleurent sur les pentes. Les buttes d'Akhundkhel surplombent, d'une cinquantaine de mètres, un vaste piedmont conglomératique encroûté.

Ces conglomérats entaillés postérieurement par les cours d'eau après leur mise en place montrent des paliers successifs. Au N d'Altamur, on peut voir sur 5 à 6 m de hauteur 3 à 4 de ces niveaux. Cet échagement paraît en relation avec l'enfoncement de la vallée au cours de période récente en même temps que s'établissait le profil d'équilibre. Il s'agit donc en fait d'anciennes terrasses successives constituées dans les conglomérats et consolidées superficiellement par des dépôts carbonatés apportés par les eaux.

Au N-O d'Altamur l'ancien cône de déjection conglomératique, très démantelé dans sa partie amont, a été recouvert plus en aval par des loess colluvionnés sur une épaisseur de 4 à 5 m et se perçoit là, à la faveur de ravines d'érosion (N de Dabare).

Au S de Dastak, à Mirzakhel, la coupe d'un éperon complexe s'avancant dans la plaine alluviale, montre sur une hauteur d'une douzaine de mètres, la coupe suivante :

- loess non encroûté avec léger cailloutis très superficiel (2m),
- conglomérat en gros blocs arrondis, encroûté (3m),
- argile dolomitique saumonée présentant par endroits un faciès voisin de celui d'un encroûtement (Épaisseur observée : 7m).

Dans la dépression de Baraki Barak, les conglomérats sont de peu d'importance. Au lieu-dit Laci-khel, on trouve alternativement de grands cônes de déjection très caillouteux passant localement à des

(*) Voir Annexe 9.

conglomérats encroûtés et à des sols à encroûtements calcaires sur marnes ou loess.

A l'O de Baraki Barak, le Logar très encaissé dans la partie où il coule entre les massifs présente de multiples paliers dans les conglomérats.

Plus en aval toujours dans la dépression de Baraki Barak s'observent quelques buttes témoins résiduelles (Baraki Rajan, Kasmiri Bala, Padkhwabe Roghani) où le conglomérat cimenté, épais de 3 à 4 m se superpose à des sédiments fins à encroûtement blanchâtre, sablo-limoneux à la base. Ces buttes atteignent 8 à 10 m de hauteur.

Cette superposition d'un conglomérat cimenté par le calcaire et d'un encroûtement blanc sur sédiment fin (loess ou marne) est très fréquent dans toute la vallée du Logar. On l'observe ainsi dans la dépression de Babus-Mirwal et plus à l'O autour de Pyarokhel dans les multiples ravines et talwegs entaillant le conglomérat.

Au S de Kabul et dans la dépression entourant la ville, les conglomérats occupent des surfaces restreintes, limitées souvent aux buttes témoins. Ils se superposent soit à des marnes, soit à des loess à encroûtement blanc dans leur partie supérieure.

Dans la partie E de la dépression de Kabul, les conglomérats très encroûtés prennent une plus grande extension près de Butkhak et sur le piedmont au N de la passe de Tangi Gharu. Ils sont dans cette région fréquemment recouverts, très superficiellement, par des dépôts loessiques épais de 20 à 30 cm qui se sont enrichis en Ca CO₃, soit au contact du matériau sous-jacent, soit par suite de lessivage oblique et d'une circulation superficielle intense des eaux sur le niveau imperméable que constitue le conglomérat fortement consolidé par le calcaire. Ces dépôts loessiques se présentent en une croûte lamellaire superficielle précédant un encroûtement à débit polyédrique qu'exploitent les autochtones pour la fabrication de la chaux. L'accumulation calcaire dans ces loess n'est pas toujours aussi importante et ne dépasse pas parfois le stade des nodules. Au contact des massifs, les éboulis grossiers, d'épaisseur variable (15, 30 cm..) et très abondants recouvrant le conglomérat présentent sur leur face inférieure d'importante barbe de calcite.

Caractéristiques sédimentologiques et minéralogiques

Macroscopiquement ces conglomérats sont formés de fragments de roches les plus diverses prélevées aux massifs de l'arrière pays. Les galets sont très diversement arrondis et peuvent présenter sur leur faces planes des striations de quelques millimètres de profondeur qui sont la marque de l'empreinte glaciaire. Elles sont souvent estompées par des phénomènes postérieurs d'érosion. Certains de ces galets (quartzite, schiste, ophiolite ...) se débitent facilement en lamelles sous la simple pression des doigts.

La granulométrie de ces conglomérats est très variable. Si aucune analyse n'a été faite sur la partie encroûtée de ceux-ci par suite de la difficulté qu'il y avait à prélever un échantillon assez important et représentatif, la partie sous-jacente a par contre fait l'objet d'analyse sédimentologique, de même que certaines surfaces très caillouteuses en contrebas des conglomérats encroûtés, formant la partie haute du piedmont (profil 84).

Les courbes cumulatives et les caractéristiques sédimentologiques ci-après n'ont pour objet que de donner un aperçu de la grossièreté du sédiment et de son mauvais triage. Ces caractéristiques ne reflètent qu'imparfaitement la réalité, du fait que les prélèvements ont été limités à une fraction inférieure à 3 cm et que certains éléments atteignaient jusqu'à 15 cm. Les valeurs de l'hétérométrie sont souvent faussées parce que prises aux plus grands diamètres où se situent les teneurs pondérales les plus fortes. La grossièreté du sédiment est fonction de la pente générale du piedmont et de la plus ou moins grande proximité des massifs. La majorité des éléments les plus grossiers se localisent en haut de piedmont, les plus fins sur des surfaces relativement planes très éloignées. Ce transport s'est effectué par vagues érosives successives de plus ou moins forte amplitude, ce que témoignent des bandes alternativement grossières ou plus fines. La nature du matériau est à rattacher au contexte géologique du bassin versant si l'érosion est fluviale, à celle d'un plus vaste ensemble si elle est glaciaire. Sa grossièreté est en relation directe avec la nature des roches et leur facilité de fragmentation par les agents atmosphériques.

Des études sur lames minces d'encroûtements conglomératiques apportent des données sur la nature des constituants cimentant les galets du conglomérat entre eux.

L'échantillon No 110, prélevé à la berge d'un cours d'eau est celui d'un conglomérat formé d'éléments de roches de 2 à 20 cm de diamètre (4 à 5 cm de diamètre moyen) représentant 80 à 90% du volume total. Les parties interstitielles entre les galets sont composées d'un sable mal classé, cimenté par le calcaire et constitué de fragments de roches diverses (péridotites, schistes, radiolarites), de quartz, de feldspath, de hornblendeL'étude sur lame mince du ciment montre de la calcite très finement cristallisée englobant des matériaux analogues.

L'échantillon No 140, conglomérat encroûté formant un plateau de piedmont, révèle à l'examen sur lame mince du ciment soudant les éléments de roches, une pâte calcitique plus grossière enrobant des quartz, de la serpentine, des pyroxènes.

L'examen de la face inférieure d'un galet (*No 164*) présentant une « barbe » de calcite de 3 à 4 cm d'épaisseur, révèle une partie externe très festonnée englobant quelques grains de quartz, de feldspath, d'olivine serpentinisée, de serpentine, de pyroxène. Ces éléments détritiques de roches sont à la périphérie comme s'ils avaient été rejetés vers l'extérieur lors de la croissance de la « barbe ».

L'examen de la fraction minéraux lourds apporte également des précisions sur la constitution des roches mères et l'origine présumée des matériaux. Ainsi les échantillons du profil 7 indiquent une dominance d'épidote (58 à 77%), s'accompagnant de hornblende (10 à 14%), d'augite (0 à 13%) de grenat (9 à 10%), de pyroxène enstatite (0 à 4%), de staurotide (0 à 2%), de tourmaline (1%), de zircon (1%).

De tels exemples montrent la complexité du mélange des matériaux malgré l'exigüité de la fraction de bassin choisi, tous ces échantillons (No 110-140-164 . Profils 7 et 84) ayant été prélevés au S de Zarghun-shar dans un périmètre restreint.

L'examen d'encroûtements calcaires de conglomérats ou de loess fera l'objet, plus avant, d'une étude plus détaillée. Les exemples donnés ici ne l'ont été que pour illustrer la complexité du mélange des stocks sédimentaires.

La fraction argileuse de ces conglomérats est constituée :

- dans l'échantillon 541 de montmorillonite et sépiolite dominantes avec de la chlorite et de l'illite,
- dans l'échantillon 77, par ordre d'importance, de chlorite, d'attapulgitite, d'illite.

Origine des conglomérats

Ceux-ci paraissent avoir une origine mixte, à la fois fluviale et glaciaire. Fluviale dans la mesure où leurs produits sont la conséquence d'apports torrentiels de cours d'eau descendant des massifs et accumulant sur les piedmonts sous forme de cônes de déjection des matériaux roulés très grossiers. Glaciaire parce que les actions du gel particulièrement intenses lors des périodes très froides du Quaternaire ont eu pour effet une fragmentation importante des roches entraînées par les glaciers sous forme de moraines. Celles-ci se sont trouvées par la suite démantelées et emportées en contrebas par les torrents lors des différentes phases de déglaciation.

Deux facteurs semblent avoir favorisé la mise en place et la conservation de ces conglomérats :

— l'altitude des massifs sur lesquels se sont développées des moraines lors des dernières pulsations glaciaires Wurm ou antérieurement. Nous avons déjà eu l'occasion d'indiquer que ces massifs sont généralement moins élevés dans la partie occidentale et méridionale (conglomérats peu abondants) que dans la partie orientale où les sommets proches de la vallée dépassant 3 500 - 4 000 m ne sont pas rares;

— leur cimentation par le carbonate de calcium résultant des phénomènes de « fonte » graduels des calcaires des massifs ou des roches basiques aux hautes altitudes lors de la lente déglaciation. L'origine de ce calcaire est en liaison directe avec les massifs de l'arrière pays sur lesquels ces conglomérats s'appuient :

- calcaires permio-triasiques - conglomérats du Moyen Logar à l'E de la route Pule Alam - Altamur,
- péridolite - conglomérat de Mohd Agha,
- série de Khinguil (Permien, Trias, Crétacé supérieur - calcaires marins) - conglomérats de Butkhak et N de Tangi Gharu.

L'âge de dépôt de ces conglomérats ne peut être approché qu'indirectement par la datation par le carbone 14 du calcaire cimentant les galets entre eux. Ces encroûtements se seraient produits en deux périodes principales distinctes :

- une première, la plus ancienne entre 24.000 et 20.000 ans B.P. en préglaciation de la dernière pulsation Wurm,
- une seconde, entre 15.000 et 10.000 ans BP en période de déglaciation.

Parmi les nombreuses datations entrant dans l'une ou l'autre de ces deux périodes, deux intéressent la Vallée du Logar et les conglomérats. La première indique 22.200 ± 1050 ans BP (Echantillon No 541), la seconde 15.740 ± 230 ans BP. Le premier échantillon est situé très en aval sur le piedmont (environ 2300m), le second au contact du massif vers 2800m. Ils ont été prélevés dans la région d'Abcakan et dans celle à l'O de Sepest. Ces datations ainsi que l'examen des photographies aériennes et les observations de terrain suggèrent la superposition de deux cônes de déjection différemment anciens. Les formes du plus récent apparaissent marquées par un plus fort relief tandis que celles du second sont souvent estompées, adoucies, par des actions érosives cumulées. Nous retrouverons en d'autres lieux des datations analogues permettant le regroupement de ces phénomènes d'encroûtements relativement récents en plusieurs périodes distinctes.

5.2.4 Les loess (Figures 12-13-14) (*)

Ces formations occupent des étendues considérables si l'on inclut dans celles-ci les plaines de la vallée du Logar où les loess originellement épandus dans un vaste paysage, dont les massifs environnants, ont été par la suite colluvionnés sur des épaisseurs importantes dans le fond de la vallée. Les loess se présentent sous divers faciès en fonction de phénomènes postérieurs de colluvionnement ou de pédogenèses plus ou moins anciennes. Il existe peu de loess «*sensu stricto*», loess tel qu'il était lors de son épandage éolien initial. Par suite d'érosions pluviales, les montagnes n'ont pas conservé comme dans la partie N de l'Afghanistan, au Turkestan, cette couverture originelle. Les phénomènes de colluvionnement ont parfois, dans certains cas, été très limités dans l'espace. Ainsi des cols comme ceux situés à la sortie de Kabul sur la route conduisant à Kandahar présentent des accumulations importantes de loess qui ennoient presque complètement les massifs. L'érosion régressive qui entaille progressivement ces surfaces n'a pas encore réussi à les dégager totalement et le contraste est frappant entre le piedmont très érodé en aval et le col au relief adouci et aux formes molles. Un autre exemple d'ennoisement de ce type nous est donné dans la dépression de Tandan, située vers 3 000 m dans le massif d'Altamur, à l'extrémité opposée du bassin du Logar. Des accumulations de loess s'observent là encore ainsi que d'importants conglomérats.

Tous ces loess se voient en des positions variables. Dans la vallée du Logar à l'E de Mohd Agha, l'éperon que constitue près de Mirzakhel un important conglomérat, présente une coupe déjà décrite précédemment qui se termine au sommet par 2 m de loess peu évolué avec, superficiellement, quelques rares cailloux (1 à 3 cm) et quelques débris d'encroûtement calcaire blanc.

Plus au S, au S-E de Pule Alam, se superposant à un conglomérat encroûté, s'observe un profil à encroûtement calcaire sur matériau fin loessique recouvert superficiellement par un cailloutis plus ou moins abondant consolidé par places sur la crête, par le calcaire. De telles coupes sont très fréquentes dans la vallée du Logar autour de Baraki Barak ainsi que sur les buttes témoins de la dépression de Kabul ou du S de cette ville, où l'encroûtement sur loess est fréquemment recouvert par un conglomérat cimenté par le calcaire qui, par endroits, a été dégagé par l'érosion. Le dépôt loessique apparaît dans ce dernier cas comme une stratification plus ou moins importante, intercalée entre deux niveaux conglomératiques. L'observation, près de Sarobi sur la route de Jalalabad, de sédiments déposés à la sortie des gorges du Kabul (Tangi Gharu), montre de telles alternances et l'intercalation de dépôts limoneux finement feuilletés s'apparentant aux loess de par leurs caractéristiques sédimentologiques mais n'ayant subi aucune pédogenèse calcaire. Leur dépôt semble s'être effectué ici en conditions lacustres ou marécageuses ce que laisse supposer leur aspect feuilleté sans que soit pour cela remise en question leur origine éolienne.

(*) Voir Annexes 10 et 11.

Caractéristiques sédimentologiques et minéralogiques

Tous ces loess présentent des caractéristiques voisines bien que des différences puissent exister. Elles sont dues, soit à des remaniements que les loess ont pu subir (colluvionnement vers les dépressions avec apports grossiers, apports de provenance plus ou moins lointaine dans le cas de cendres volcaniques...), soit aux pédogenèses qui se sont développées après leur mise en place.

Leur analyse sédimentologique, sans destruction du calcaire, indique des sédiments assez mal triés, à courbe assez étalée sur l'axe des abscisses. Un classement a été fait parmi ces loess en fonction du degré de leur évolution après leur dépôt. Nous avons distingué successivement :

- des loess peu évolués (sols peu évolués),
- des loess ayant subi une pédogenèse moyennement accusée (sols à accumulation calcaire, à pseudo-mycélium, à taches...),
- des loess ayant subi une pédogenèse très accusée (sols à encroûtement calcaire).

Loess peu évolués ne présentant pas de phénomènes d'accumulation, de migration, de ségrégation du calcaire. Echantillons :

- No 41 : couverture loessique de 15 cm d'épaisseur se superposant à un conglomérat fluvio-glaciaire encroûté. Peut-être d'apport récent.
- No 153-154 : loess colluvionné ayant subi une faible pédogenèse se marquant par quelques taches calcaires blanchâtres vers 70-80 cm.
- No 591-593-781-782 : loess colluvionné sans évolution apparente.
- No 701-702 : loess ancien (?) représentant peut-être la partie inférieure d'un profil dont les horizons supérieurs encroûtés ont disparu par érosion mais dont on retrouve superficiellement quelques débris.

Caractéristiques :

- Hétérométrie : 1,35 à 2,02,
Q d φ : 1,00 à 1,68,
Médiane en μ : 10,8 à 32,0,
Ca CO₃ % : 7,4 à 19,7 (le plus souvent 17 à 18%),
Refus > à 2 mm % : 0,1 à 13,4 (le plus souvent 0,1 à 5,3%),

Minéraux lourds :

- teneurs pondérables moyennes à élevées (0,22 à 5,14%), très variables parfois à l'intérieur d'un même profil,
- dominance souvent d'épidote (31 à 95%), parfois de hornblende (28 à 62%). S'ajoutent à ces deux minéraux : pyroxène enstatite, augite, grenat, et rares zircon, tourmaline, rutile, spinelle, chloritoïde.

Fraction argileuse :

- argiles souvent en mélange avec dominance de montmorillonite et illite auxquelles s'ajoute en quantité variable de la chlorite.

Loess ayant subi une pédogenèse moyennement accusée se traduisant par l'apparition dans le profil de pseudo-mycélium, de taches calcaires...

Echantillons :

- No 81-83 : apparition d'un pseudo-mycélium peu accusé entre 40 et 90 cm. Léger cailloutis superficiel,
- No 121-123 : superficiellement pulvérulent et calcaire (No 121). Apparition de petits amas calcaires abondants dès 10 cm,
- No 611-614 : amas calcaires débutant à partir de 15 cm, surtout abondants entre 40 et 80 cm,
- No 632-634 : moins évolué que le précédent. Pseudo-mycélium et taches calcaires surtout entre 40 et 70 cm:
- No 670 : base d'une coupe de 5 m. Dans la partie supérieure sur 140 cm, profil identique au No 61 ci-dessus.

No 84 : horizon profond d'un profil sur pente à pseudo-mycélium très abondant entre 25-65 cm et 90-110 cm résultant vraisemblablement de deux pédogenèses successives, la partie inférieure représentant un profil tronqué par érosion.

Caractéristiques :

Hétérométrie : 1,31 à 2,35,
Q d φ : 0,85 à 1,85,
Médiane en μ : 7,8 à 29,9 (le plus souvent 20 à 25 μ),
Ca CO₃ % : 11,7 à 29,0 (accumulation fréquente surtout importante entre 40 et 80 cm)
Refus > 2mm % : 0,1 à 33,7 (1).

Minéraux lourds : (0,014 à 6,02%)

— prédominance principalement d'épidote (42 à 75%) et de hornblende (12 à 38%), grenat souvent non négligeable (1 à 18%). Egalement en faible quantité pyroxène enstatite, augite, olivine, zircon, tourmaline, rutile.

Fraction argileuse :

— comme dans le cas précédent, argiles en mélange. Illite dominante, montmorillonite, chlorite. La complexité peut être en fait beaucoup plus grande à l'intérieur d'un même profil avec l'apparition d'attapulgite ou de sépiolite dans les horizons d'accumulation calcaire.

Loess ayant subi une pédogenèse accusée se marquant généralement par une croûte rubannée de quelques cm d'épaisseur précédant un encroûtement blanc à débit polyédrique. Le loess sous-jacent non ou peu évolué apparaît à des profondeurs variables 80 à 100 cm, parfois plus.

Echantillons :

No 410-411-412 : encroûtement blanc à débit polyédrique moyennement développé avec nodules très durcis, assez abondants et éléments friables, se développant sur 70 cm (No 410-411) Loess brun-beige, lité, tassé (No 412),

No 681-682 : encroûtement blanc, polyédrique, à petits nodules dans la partie supérieure (No 681) se développant sur 100 cm avec par places poches importantes de loess brun-beige,

No 811-812 : croûte calcaire très dure sur 5 - 10 cm (No 811) sur encroûtement blanc à débit polyédrique (2m environ) reposant sur un sable limoneux légèrement cimenté par le calcaire (No 813). L'ensemble est surmonté par des éboulis de conglomérat. Celui-ci atteint 3 à 4 m d'épaisseur et est très encroûté.

Caractéristiques (2) :

Hétérométrie : 1,96 à 2,60,
Q d φ : 1,0 à 2,20,
Médiane en μ : 13,0 à 41,0,
Ca CO₃ % : 47,5 à 70,8,
Refus > 2mm % : 0,1 à 15,7,

Minéraux lourds : (0,11 à 11%)

— dominance d'épidote (47 à 71%) avec de la hornblende (6 à 23%), du grenat (1 à 25%) et de l'enstatite abondante dans l'échantillon No 410.

Fraction argileuse :

— aux argiles des échantillons précédents, observées en mélange (illite, montmorillonite, chlorite) s'ajoutent ou deviennent souvent dominantes sépiolite et attapulgite.

(1) Dans la partie grossière > à 2mm peuvent se trouver soit des éléments grossiers apportés lors du colluvionnement du loess, soit des amas calcaires résultant de la pédogenèse comme c'est souvent le cas ici.

(2) Les caractéristiques ci-dessus sont celles d'échantillons à calcaire non détruit. Du fait de l'importance de celui-ci, elles ont une valeur toute relative et sont données seulement à titre indicatif.

Origine des loess et problèmes divers

La comparaison des 3 grands groupes de loess définis de par leur évolution pédogénétique montre des caractères sédimentologiques assez voisins : de triage (hétérométrie, $Q_d \varphi$), de grossièreté (médiane). Il en est de même de la fraction minéraux lourds où dominent principalement épidote et hornblende. Avec ce dernier minéral sont comptées des hornblendes d'origine volcanique en proportion plus ou moins importante suivant les échantillons. Dans certains cas, ce pourcentage peut dépasser plus de 50% (Lataban, No 611-681-682....). Dans les sables des mêmes échantillons se distinguent par ailleurs des verres volcaniques, jamais cependant en très grande abondance. Le fait que ces produits se retrouvent parfois sur plusieurs mètres dans l'ensemble d'un même profil paraît indiquer qu'au cours d'une période de dépôt des loess existait un centre d'émission volcanique plus ou moins lointain que l'on peut peut-être localiser dans le Dasht I Nawar où un volcanisme récent a été découvert et étudié par P. BORDET (1972). Les loess observés sur le plateau de Moqur, dans le voisinage direct de l'épicentre, présentent des produits volcaniques identiques mais en plus grande abondance encore. On notera pour la fraction minéraux lourds la grande variabilité des teneurs pondérales (11 à 0,014%) qui peut s'expliquer par des «vannages» successifs de ces loess faisant suite à leur dépôt. Ces «vannages» sous l'action de forts vents auraient permis un enrichissement en éléments lourds du matériau soumis à leur action. Cette variabilité peut aussi s'expliquer par des régimes de vents d'intensité variable, au cours du dépôt, amenant le transport de particules différemment «lourdes», ou encore par des phénomènes de piègeages (marécages, lacs) amenant une concentration en minéraux lourds lors du dépôt alors que les particules plus fines dérivées par de faibles courants allaient s'accumuler en d'autres lieux.

Les argiles de ces dépôts montrent une relative constance malgré la complexité des mélanges où dominant souvent illite, montmorillonite avec en moindre quantité chlorite. L'apparition de sépiolite et d'attapulgitite ne se marque que dans les sédiments les plus évolués à croûte et encroûtement calcaire à très fort pourcentage en carbonates.

Les âges de dépôt des loess sont inconnus. Celui de leur pédogenèse a fait l'objet de datation par le carbone 14 sur le carbonate constituant les encroûtements. Les âges trouvés pour cette région, indiquent 29.040 ± 1150 , 25.850 ± 830 et 21.700 ± 420 ans BP.

Les loess colluvionnés de la vallée du Logar, sur lesquels se développent une très grande majorité de sols peu évolués, apparaissent comme beaucoup plus récents, sans qu'actuellement on puisse dire leur âge en cette région. Ils sont sans doute contemporains de ceux colonisant de vastes paysages au N de l'Hindu Kuch, dans le Turkestan où ils ont subi une pédogenèse toute récente amenant la formation de faible encroûtement dès que l'on s'élève en altitude pour atteindre 2 500 m, alors que dans les plaines du Turkestan une évolution très limitée les a conduits à des sierozems.

Nous voyons ici encore la grande difficulté qu'il y a à définir une stratigraphie fine parmi les dépôts sédimentaires du Quaternaire récent puisqu'après la mise en place de ceux-ci sont venus interférer des phénomènes de colluvionnement, de pédogenèse.... en liaison plus ou moins directe avec la dernière pulsation glaciaire et aussi avec un mouvement de subsidence généralisé de l'ensemble de la dépression du Logar et plus particulièrement de celle de Kabul. Le volcanisme récent cité plus haut, est également indicateur de mouvements tectoniques plus ou moins lointains et importants.

5.2.5 Les sédiments récents

Ils occupent des surfaces souvent très réduites, principalement le long des cours d'eau et les matériaux qui les constituent sont les produits soit du démantèlement des séries sédimentaires anciennes, soit de l'érosion des massifs.

Les vastes piedmonts caillouteux du bassin moyen du Logar qui font suite en contrebas aux conglomérats fluvio-glaciaires encroûtés et qui ont été traités avec ces derniers, tant il est souvent difficile de les dissocier, sont les produits plus ou moins anciens de l'action glaciaire sur les massifs. L'érosion post-glaciaire les a mis en place par la suite en leur faisant subir un certain triage.

L'érosion actuelle se manifeste sur les roches surtout grâce aux actions thermiques particulièrement intenses aux hautes altitudes où gel et dégel printanier et automnal amènent une désagrégation physique intense des roches dont les produits sont entraînés lors de la fonte des neiges d'avril à juin-juillet vers les vallées circulant sur le piedmont. Ces produits restent très localisés sans jamais ou rarement constituer de vastes cônes de déjection analogues à ceux des périodes post-glaciaires précédentes. Ces sédiments contribuent donc, semble-t-il pour une très faible part à l'alimentation du piedmont en matériau grossier. Ils sont par contre très abondants, bien que localisés, sur les pentes où en bas de pente de certains massifs lorsque la texture de la roche favorise la désagrégation intense comme c'est le cas par exemple des gneiss et mica-schistes de la région de Kabul. Aux pieds de ces massifs (Monara Ghar) au S-E de la capitale, les matériaux détritiques sont relativement fins, encore que subsistent de petits cônes de déjection très graveleux au débouché des torrents montagnards.

L'exemple des échantillons prélevés sur le piedmont en cet endroit (No 761-763) montre un sédiment assez mal trié, à courbe étalée sur l'axe des abscisses, avec peu de matériau grossier.

No	761	763
Hétérométrie	1,8	1,6
Q d φ	1,35	1,18
Médiane en μ	245	165
Refus > 2mm	5,9	3,3

L'examen morphoscopique des sables fait voir une très grande abondance de muscovite, de quartz non usés, quelques feldspaths et de la hornblende.

La fraction minéraux lourds, assez élevée en teneur pondérale (3,6 et 3,9%), est composée essentiellement de hornblende (80 et 72%) à laquelle s'ajoutent : de l'épidote (7 et 13%), du grenat (7 et 9%), de la staurotite (3 et 2%) et un peu de rutile, de zircon, de tourmaline, de sillimanite, de disthène.

L'érosion des marnes anciennes, matériau friable par excellence lorsque non encroûté, contribue également à l'alimentation de certains piedmonts par l'intermédiaire d'un réseau hydrographique très dense marqué par de multiples ravines d'érosion. Ces marnes intercalées de matériaux sableux ou graveleux différemment grossiers sont à l'origine des épandages de sédiments très variables en texture que l'on trouve dans les dépressions de Mirwal-Babus et de l'O de Gomaran.

D'une façon très générale, il convient donc de distinguer comme lieux d'accumulations actuelles en fonction de la nature des roches :

1 - *Les flancs de massifs* au relief suffisamment adouci pour que subsistent des débris ou éléments de roches en voie d'altération. La structure grenue ou microgrenue des roches métamorphiques ou éruptives macrocristallines est particulièrement favorable à la fragmentation fine sous l'action des agents atmosphériques. Les roches à structure massive à l'inverse (péridotite, ophiolithe, radiolarite... dolomie, calcaire cristallisé ou non) si elles en subissent les effets présentent un débit plus grossier. Mais certaines de ces dernières paraissent plus sensibles à l'inverse aux actions chimiques qui peuvent résulter des fontes des neiges de printemps,

2 - *Les cours d'eau* où se rassemblent les matériaux plus ou moins grossiers prélevés aux massifs précédents. Ils ne semblent avoir eu que rarement une importance exceptionnelle, sauf dans quelques cas dont 2 intéressants :

— au débouché des gorges d'Altamur, les cours d'eau descendant de ce massif se sont ouverts une vallée dans un vaste piedmont conglomératique encroûté. Ils l'ont démantelé, déposant ça et là des sédiments plus ou moins finement grossiers disposés en un vaste éventail, où ils alternent avec des lambeaux de conglomérat, des sols anciens à accumulation calcaire nodulaire sur loess.

— à l'E de Kabul, à Butkhak, au débouché des massifs, le Butkhak Khwar a mis en place, après avoir entaillé le conglomérat fluvio-glaciaire encroûté qui formait primitivement le piedmont des massifs en cet

endroit, une auréole de sédiments limono-sableux d'une très vaste étendue. Ceux-ci sont tout à fait différents de par leur texture des limons loessiques de la dépression du Logar et du Kabul,

3 - Les ensembles de marnes et de séries à dominance sableuse, formant des reliefs très érodés en contrebas desquels sont venus échouer en un vaste piedmont des matériaux très divers souvent à dominance fine, les éléments les plus grossiers étant demeurés beaucoup plus en amont. Les ensembles à dominance sableuse, quoique que très ravinés paraissent peu contribuer à l'alimentation en sédiments des régions en aval. Ils se mêlent alors en fait à des sédiments détritiques plus fins ou bien sont exportés plus au loin par les cours d'eau lors des crues.

4 - Les dépressions plus ou moins fermées et bien drainées, inondées une grande partie de l'année, où viennent s'accumuler des sédiments fins. Au N de la passe formée par les massifs de Kalagay et du Kohé Safed-sang un vaste marécage présente sous un horizon de gley argilo-limoneux de 25 à 30 cm, un niveau tourbeux épais de 55 à 70 cm dont la datation par le carbone 14 a révélé un âge de 1875 ± 90 ans BP. Cette tourbe est évocatrice d'un très mauvais drainage, beaucoup plus mauvais que l'actuel, pouvant résulter de conditions climatiques générales se traduisant par un affaiblissement de l'écoulement lié à une période plus froide au cours de laquelle une grande partie des précipitations se trouvait bloquée sous forme de neige sur les massifs. Ceci nous montre la relative complexité que peuvent présenter les derniers alluvionnements en liaison avec de faibles variations climatiques.

Le passé sédimentaire très récent de toute cette région apparaît moins important que celui des périodes glaciaires et interglaciaires précédentes. La modicité des dépôts fins que l'on peut avoir sur les piedmonts, dépôts résultant du démantèlement de vieilles formations fluvio-glaciaires et des massifs, milite en faveur d'une exportation importante de matériaux fins par les principaux cours d'eau : le Logar et le Kabul et leurs nombreux affluents. Un fait non négligeable contribuant à l'enrichissement relatif des piedmonts en matériau grossier est l'action érosive des pluies d'automne, d'hiver et même de printemps, action favorisée par l'absence presque totale de végétation à l'apparition des premières pluies automnales. Des précipitations exceptionnelles sur un tel terrain peuvent aboutir à de microcataclysmes localisés analogues à ceux observés en Tunisie ces dernières années (PIAS 1970), à des phénomènes importants d'érosion et à des transports de sédiments sur des milliers d'hectares. L'exemple cité plus haut de l'épandage du Butkhak Khwar est peut-être à mettre au compte de tel phénomène ou à celui d'un mouvement de subsidence très localisé en cette partie. L'enrichissement de tous ces piedmonts en matériau grossier n'est pas non plus sans rapport avec la déflation éolienne qui sévit pendant tout l'été et qui se manifeste aux yeux du voyageur par d'immenses colonnes tourbillonnantes de poussières qui s'élèvent des « dasht ».

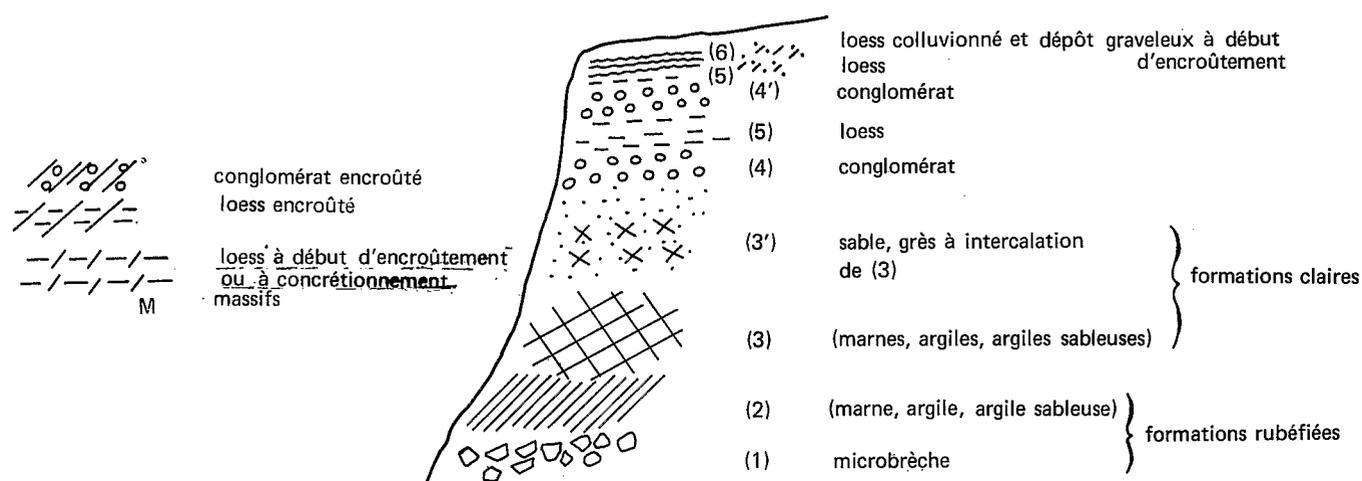


Figure 15 - a) Coupe schématique montrant l'ordre stratigraphique supposé des derniers alluvionnements.

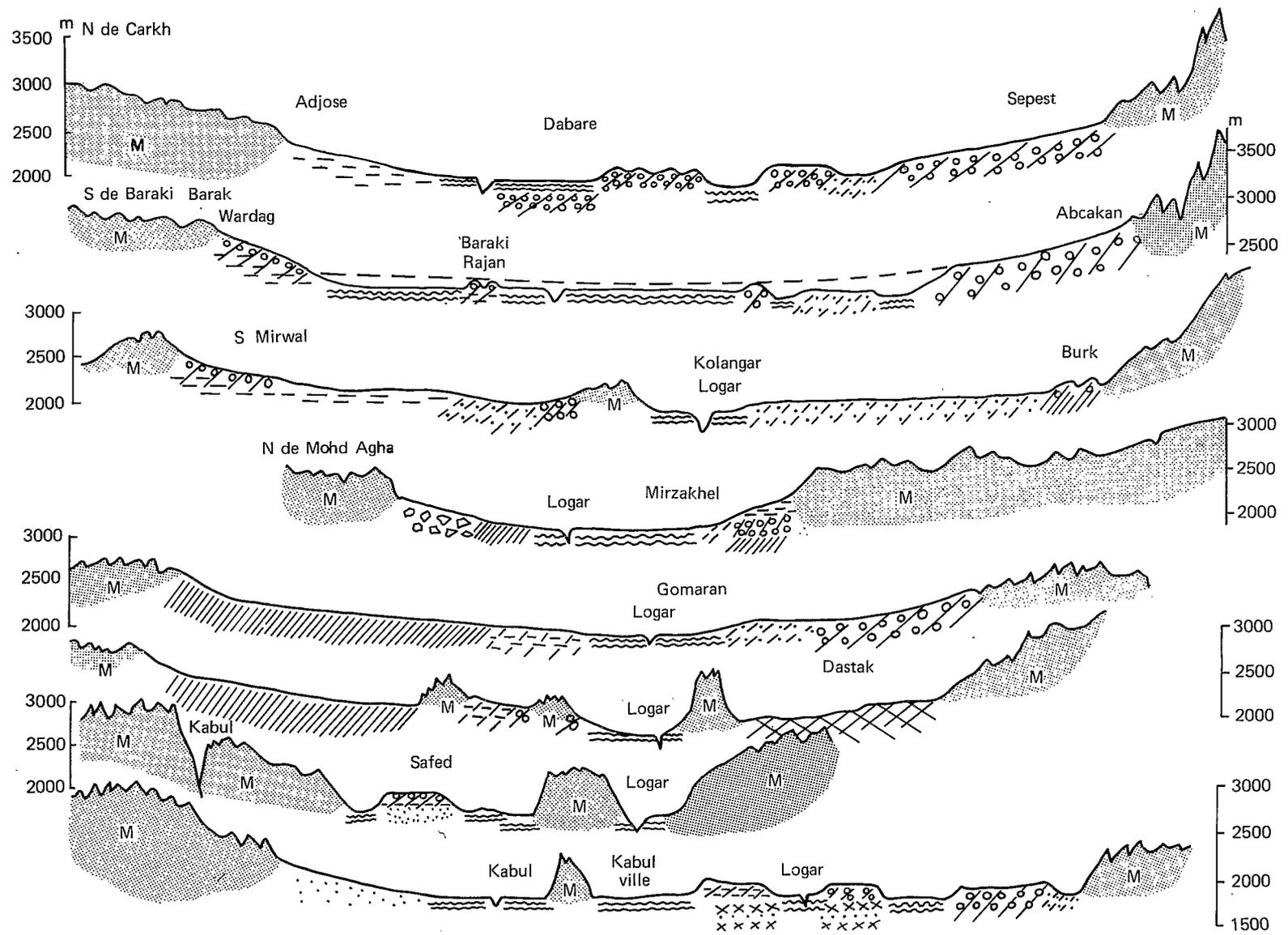


Figure 15 - b) Coupes schématiques Ouest-Est dans les vallées du Logar et du Kabul du Nord de Carkh à Kabul.

CONCLUSIONS

Il ressort de l'examen géomorphologique des différentes dépressions des vallées du Logar et du Kabul, de l'analyse des formations superficielles et de la datation par le carbone 14 de calcaires lacustres de croûtes et encroûtements, que l'ensemble de ces dépressions semble avoir subi des phénomènes de subsidence importants au cours du Quaternaire et particulièrement pendant les 30 derniers millénaires.

Ces phénomènes paraissent le résultat de mouvements néotectoniques plus ou moins accusés qui ont affecté les massifs du pourtour de ces bassins amenant par contrecoup l'enfoncement des cuvettes, le dépôt de puissantes séries sédimentaires, l'érosion de formations lacustres et de sols formés antérieurement soit dans les dépressions, soit sur les massifs, le percement de seuils rocheux séparant les bassins les uns des autres. Dans la dépression de Kabul ces phénomènes ont amené notamment le détournement du fleuve Kabul qui a alors emprunté la passe de Tangi Gharu pour se diriger vers Sarobi. Primitivement il poursuivait son cours vers le N pour rejoindre le Penjchir.

Les coupes schématiques des figures 15 semblent mettre en évidence ces phénomènes de surrection des massifs et de subsidence des cuvettes qui paraissent d'autant plus importants au fur et à mesure que l'on remonte vers le N pour atteindre le prolongement occidental de l'Hindu Kuch.

Cette néotectonique paraît avoir procédé :

- soit en lents mouvements qu'indique notamment l'enfoncement des vallées par petits paliers successifs dans les conglomérats encroûtés (S du bassin du Logar : Région d'Altamur, de Dabare, de Carkh....). Le profil d'équilibre du Logar paraît ainsi en continuels réajustement;
- soit en mouvements plus accusés se traduisant par des phases d'érosion intense amenant : la découpe de séries sédimentaires récentes laissant en surplomb des buttes témoins (dépression de Kabul) ; le dépôt au sortir des massifs d'alluvions différemment grossières dispersées en éventail (série «poivre et sel» au débouché du Kabul à la passe de Tangi Sayedan. Rivière de Butkhak à Butkhak à l'E de Kabul). Ces grands mouvements de sédimentation peuvent être à la fois liés à la néotectonique et à des variations climatiques qui en ont alors accusé les effets.

6 - LES SOLS

Les sols de la vallée du Logar appartiennent à cinq grandes classes de sols :

- sols minéraux bruts,
- sols peu évolués,
- sols à différenciation calcaire,
- sols hydromorphes,
- sols sodiques.

Les trois premières de ces classes sont particulièrement bien représentées. A l'inverse les sols hydromorphes se localisent étroitement à la vallée elle-même, tandis que les sols sodiques, peu abondants dans la partie S de celle-ci, prennent une plus grande extension plus au N, principalement dans la cuvette de Kabul.

6.1 LES SOLS MINÉRAUX BRUTS

Ils s'observent sur le pourtour de la vallée du Logar où les massifs sont particulièrement nombreux. Ces sols se développent sur les multiples roches énumérées précédemment :

- gneiss et micaschistes des régions de Carkh et de Kabul,
- péridotites,
- calcaires métamorphiques ou sédimentaires très abondants,
- ophiolites,
- schistes,

.....

Toutes ces roches subissent une érosion intense du fait de forte déclivité et de l'absence presque totale de couvert végétal. A la faveur de replats peuvent s'observer, par taches, des sols à accumulation calcaire ou des sols brunifiés sur un substratum non calcaire. Aux hautes altitudes apparaissent des sols périglaciaires, sols polygonaux ou réticulés, en même temps que se développent le long des sources ou des cours d'eau des sols hydromorphes tourbeux. Ces sols d'altitude ont été particulièrement bien étudiés dans le massif de Bamyan qui fera l'objet d'un chapitre suivant.

A ces sols minéraux bruts sur roches diverses s'ajoutent des sols identiques sur des croûtes ou encroûtements calcaires de conglomérats fluvio-glaciaires, de marnes ou de loess. Les sols minéraux bruts de ce type occupent de grandes surfaces principalement sur les piedmonts des massifs.

6.2 LES SOLS PEU EVOLUES

6.2.1 D'érosion sur matériaux divers (graveleux, conglomératique, marneux, limono-argileux)

Matériau graveleux ou conglomératique

Ils se localisent sur le pourtour des massifs lorsqu'une pente assez forte a permis le dégagement des loess ou de sédiments divers qui ennoyaient primitivement la roche. Ils apparaissent généralement très graveleux avec d'abondants cailloux diversement grossiers aux arêtes vives lorsqu'ils dérivent directement de la roche en place éclatée sous l'action des agents atmosphériques, ou inversement roulés, plus ou moins aplatis s'ils ont pour origine de vieux conglomérats démantelés. Ces sols possèdent peu de terre interstitielle, la circulation intense des eaux lors de la fonte des neiges entraînant facilement celle-ci en contrebas par suite de pentes importantes.

Ces sols ont un profil peu différencié de type A C où A est difficilement discernable du fait de la pauvreté en matière organique liée à l'absence presque totale de couverture végétale et de phénomènes d'érosion.

Matériaux tendres : marne ou limon-argileux (loess colluvionné)

Ils se limitent pour les premiers au voisinage des affleurements de ces sédiments. Si le relief est ici moins accusé, la fragilité du matériau favorise une érosion en multiples ravines dès que le conglomérat superficiel qui les recouvre fréquemment, ou encore l'encroûtement calcaire qui s'y est développé, a été dégagé. Il y a sur marne, le plus souvent, juxtaposition de sols minéraux bruts et de sols peu évolués d'érosion à horizon A très peu développé reposant alors sur la roche mère débitée en multiples polyèdres ou en cubes durcis.

Les seconds (loess colluvionnés) s'observent en de rares places comme au S de Baraki Barak où, sur la rive droite du principal affluent du Logar (rivière venant de Carakh), la berge a subi un important démantèlement lié au creusement du cours du fleuve consécutif à l'établissement d'un profil d'équilibre en continue évolution.

Tous ces sols d'une façon générale sont inutilisés. Certains comme ceux sur limon-argileux témoignent d'anciennes cultures mais rien ne paraît avoir été fait pour endiguer les phénomènes d'érosion, certes importants, mais très localisés.

6.2.2 D'apport sur matériau graveleux, ou plus ou moins finement sableux, sablo-limoneux (*)

Ils s'observent en toute région et sont localisés dans la partie basse du piedmont où ils peuvent constituer des cônes de déjection très graveleux ou des berges de cours d'eau différemment grossières en fonction de la localisation et aux dépôts souvent stratifiés. Ils peuvent également former des épandages alternativement sableux et limoneux comme ceux observés à la sortie des massifs au N de Butkhak (E de Kabul). Il s'agit cependant le plus souvent de matériaux diversement grossiers comportant une fraction fine plus ou moins importante pouvant provenir de colluvions de loess.

(*) Voir Annexe 12.

Profil synthétique

Il est de type A/C.

- A : gris, gris-beige, brun-beige (10 YR 6/1-6/2-6/3) à color. Un peu accusée par rapport à C et se dégradant progressivement. Structure fondue parfois à tendance polyédrique peu accusée. Compacité et cohésion faibles. Epaisseur variable : 20 à 40 cm. Enracinement très accusé dans la partie supérieure, sur 5 à 10 cm, se développant sur 40 à 50 cm.
- C : brun-beige à beige (10 YR 6/3-7/3). Texture variable. Structure, compacité et cohésion identiques à celles de A lorsque le matériau est relativement fin, particulière quand il est plus grossier.

Des profils intergrades vers les sols à différenciation calcaire sont souvent visibles. Ils peuvent être caractérisés par un horizon B Ca très peu marqué dans lequel la structure polyédrique est légèrement plus accusée, la compacité et la cohésion un peu plus fortes et où apparaît un début de pseudo-mycélium calcaire ou bien de fines cristallisations de calcite localisée sur la face inférieure des cailloux. Cet horizon ne présente cependant pas de taches ou amas calcaires bien individualisés, il fait une transition rapide vers C.

Caractéristiques physiques et chimiques

Ces sols ne présentent pas ou alors de façon très peu accusée de gradient de calcaire total ou actif mais les teneurs en Ca CO₃ total sont cependant élevées (8 à 15-20%).

Les taux de carbone et azote dans les horizons de surface sont bas (4-5 ‰ et 0,4-5 ‰) et les rapports C/N voisins de 10. Le complexe absorbant est saturé par les ions Ca. Les valeurs de K échangeable variables et bien que souvent décroissantes avec la profondeur atteignent de 0,3 à 1 me% et parfois plus. Si les pH sont couramment de 8,5 (surface) à 9 (profondeur), (1) il y a peu de sodium, souvent 0,1 me%, parfois mais rarement 0,3-0,5 me%. Les teneurs en P₂₀₅ total sont supérieures à 1 ‰ (2).

(1) Des pH supérieurs à 8,5, souvent voisins de 9 sont très fréquents dans les sols d'Afghanistan. Ils peuvent être dus à la présence de carbonates de Mg, de Na en faible quantité ou à l'état de traces.

(2) Les teneurs en P₂₀₅ total exprimées ici représentent de l'acide phosphorique sous différentes formes dont de nombreuses peu ou non assimilables par les plantes cultivées :

- phosphate de calcium (le plus abondant dans ces sols),
- phosphate d'alumine,
- phosphate de fer.

La forme soluble à l'eau, la plus récupérable par les plantes, a souvent des valeurs faibles, représentant alors environ 10% de la forme assimilable. Un minimum de 70 à 100 ppm paraît indispensable sous cette dernière forme. (Annexe 19).

Dans ce domaine de la fertilité, nous retiendrons les données suivantes généralement admises pour les éléments N et K :

- Azote : des valeurs de 0,4 ‰ représentent une limite inférieure. Pour celle-ci il y aura une réaction fortement favorable aux engrais azotés. Pour des pH de 8,5-9 des teneurs de 1 ‰ donnent le chiffre moyen nécessaire,
- Potassium : il doit représenter 2% de la somme des ions échangeables ou de la capacité d'échange. Le rapport Mg/K ne doit pas être inférieur à 3, sinon il y aura carence en Mg qui se traduira par un effet physiologique néfaste par suite du blocage de Mg par K. Le rapport Mg/K ne doit pas être non plus supérieur à 20 car il y aurait alors carence en K.

Nous verrons donc que dans de nombreux échantillons de sols les teneurs en P₂₀₅ assimilable, en N et K (du fait de Mg souvent important) sont insuffisantes et que des apports d'engrais en ces différents éléments sont indispensables.

Utilisation

Localisés dans le voisinage des arrivées d'eau, à la sortie des massifs, ces sols sont souvent cultivés en irrigation (blé, maïs, riz...) lorsque non très graveleux. La présence, par ailleurs, d'interstratifications finement limoneuses ou sablo-limoneuses dans le profil en limite la perméabilité qui serait excessive dans un matériau uniformément très grossier.

Classification

++ Sols peu évolués

+ d'origine non climatique

xx d'apport alluvial ou colluvial

x modaux

- . sur matériau très graveleux (lits de cours d'eau, cônes de déjection...)
- . sur matériau différemment graveleux,
- . sur limon sableux ou interstratifications limon-sable

6.2.3 D'apport sur matériau fin, limon-argileux (loess colluvionné) (*)

Ces sols occupent les terrasses aménagées des vallées du Logar et du Kabul et sont actuellement utilisés intensivement pour les cultures irriguées. Ils sont formés par des dépôts fins limoneux, limono-argileux ou argilo-limoneux profonds où les éléments grossiers sont peu nombreux ou absents.

Ces dépôts occupent deux dépressions principales :

- au S celle de Baraki Barak-Pule Alam,
- au N celle de Kabul.

Au gré d'élargissements locaux de la vallée du Logar existent des dépressions de moindre importance souvent coupées par des défilés. Parmi celles-ci, signalons celles de Kolangar, Mohd Agha....

Profil synthétique

Il est de type A C ou A (B) C (1) épais de 100 à 120-150 cm.

A : gris-beige, brun-beige (10 YR 6/1-6/2-6/3) à coloration se dégradant légèrement avec la profondeur. Limono-argileux à argilo-limoneux. Structure fondue plus ou moins massive à débit en polyèdres moyens ou à tendance polyédrique. Assez compact. Cohésion moyenne à faible. Porosité vésiculaire bien développée sur 10 à 20 cm. Calcaire diffus. Epaisseur variable : 80 à 100 cm dans un profil A C ; 20 à 40 cm pour un profil A (B) C.

(B) : coloration légèrement plus claire (10 YR 7/2). Texture identique ou indifféremment moins ou plus argileuse. Structure polyédrique ou prismatico-polyédrique grossière ou moyenne. Compact. Forte cohésion des éléments structuraux. Fentes de retrait assez bien marquées. Porosité vésiculaire faible à nulle. Epaisseur variable 40 à 60 cm.

C : coloration et texture identiques à (B) ou A mais structure massive à débit polyédrique. Cohésion faible des éléments du débit qui sont friables.

Enracinement se développant sur les 30 à 50 cm supérieurs, plus faiblement ensuite.

Le profil A C est très peu différencié, à l'inverse de A (B) C à (B) structural. Sur le terrain, il y a juxtaposition des 2 types en fonction du microrelief ou de différence texturale.

(*) Voir Annexe 13.

(1) Ces sols à profil A (B) C sont souvent intergrades vers des sols brunifiés.

Ces sols qui passent latéralement en bas de pente à des sols hydromorphes ou halomorphes sont parfois intergrades vers les sols hydromorphes avec l'apparition en profondeur de légères taches rouille. Ceci est principalement visible sur les basses terrasses aménagées, à proximité du Logar ou du Kabul.

Dans la dépression de Baraki Barak - Pule Alam, ces intergrades sont moins fréquents que dans celle de Kabul où par ailleurs s'observeront des cuvettes hydromorphes ou salines.

Cette hydromorphie paraît également en liaison avec l'irrigation qui favorise, pendant une partie de l'année, l'entretien d'horizons d'engorgement.

On peut voir également, même dans la dépression de Baraki Barak - Pule Alam la mieux drainée, apparaître en surface dans de micro-dépressions ou en bordure du fleuve, des efflorescences salines. L'apparition, en profondeur, d'un léger pseudo-mycélium calcaire est un phénomène également courant qui marque le passage de ces sols à ceux à différenciation calcaire.

Caractéristiques physiques et chimiques

Ces sols présentent des variations texturales importantes d'un point à un autre, et souvent aussi à l'intérieur d'un même profil. Ces variations portent principalement sur les teneurs en argile (10 à 30%) alors que celles en limon fin et limon grossier sont moins marquées. Si certaines variations texturales dans un même profil et dans le paysage peuvent s'interpréter comme le résultat d'entraînement oblique des éléments colloïdaux, dans de nombreux cas elles sont à mettre au compte de l'hétérogénéité de la sédimentation ou bien sont en rapport avec l'aménagement par l'homme, des terrasses et des parcelles d'irrigation. Les teneurs en carbone % et azote ‰ sont faibles dès la surface (0,4 à 0,7) et les rapports C/N généralement un peu inférieurs à 10, souvent compris entre 8 et 10.

Les pH voisins de 8,5, 8,8 en surface, s'élèvent légèrement en profondeur pour atteindre 8,9, 9 et sont parfois supérieurs à 9 lorsque des sels solubles apparaissent en faible quantité mais d'une façon générale Na ne prend jamais de valeurs exagérées. Le complexe absorbant de ces sols est saturé par les ions Ca. Les taux de calcaire total sont de l'ordre de 15 à 20% et celui-ci apparaît assez bien uniformément réparti dans le profil. Il s'agit d'un calcaire diffus ne se présentant sous aucune autre forme d'accumulation. Les teneurs en calcaire actif varient peu à l'intérieur d'un même profil et représentent 30 à 60% des premières.

Les teneurs en Mg échangeable à pH 7, comme celles de Ca, sont très élevées. L'analyse aux RX révèle la présence de dolomie dans de nombreux échantillons en plus de la calcite dominante ou non. Cet ion comme Ca contribue à la saturation du complexe. C'est ce que montrent certaines analyses de bases échangeables dans lesquelles les ions Ca et Mg ont été extraits à pH 8,2 (Acétate de Na). A ce pH, on assiste à une solubilisation faible à nulle des carbonates de Ca et Mg. La somme des ions échangeables tend alors sensiblement vers la capacité d'échange à pH 8,2. Ces fortes teneurs en Mg sont surtout observées dans la dépression de Kabul (profil F I).

Le potassium échangeable a des valeurs en surface comprises entre 0,4 et 0,8 me%. Certaines atteignent cependant 1 à 1,5 me%. Elles décroissent fortement en profondeur.

Les teneurs en P₂₀₅ total vont de 1 à 1,5 ‰, celles d'assimilable représentent 5 à 10% de ces chiffres.

Utilisation

Ces sols portent les cultures les plus diverses : blé, maïs, riz, cultures fourragères. Leur potentiel de fertilité est élevé malgré les cultures irriguées intensives d'une population très dense qui se regroupe en ces régions. Mais comme les autres sols déjà étudiés, ceux-ci présentent surtout une très nette carence en réserves azotées et carbonées.

Classification

- ++ Sols peu évolués,
 - + d'origine non climatique,
 - xx d'apport alluvial et colluvial,
 - x modal
 - x intergrade vers des sols brunifiés,
 - x intergrade vers des sols hydromorphes à pseudo-gley de profondeur,
 - . sur limons argileux (loess colluvionné ou repris par les eaux).

6.3 LES SOLS A DIFFERENCIATION CALCAIRE

6.3.1 Sur matériau graveleux (*)

A pédogenèse moyennement accusée

Ils sont assez voisins des sols peu évolués d'apport sur matériau grossier avec lesquels ils font souvent la transition, mais s'en distinguent par des accumulations calcaires de faible profondeur souvent mieux marquées dans des horizons très graveleux.

On les observe en toutes régions, principalement dans le Moyen Logar où ils constituent les piedmonts des massifs sur la rive droite de ce fleuve en association le plus souvent avec des sols minéraux bruts sur conglomérats fluvio-glaciaires encroûtés et d'autres sols à profil calcaire mais à horizon B Ca très marqué.

Profil synthétique

- Epaisseur totale généralement inférieure à 80 cm.
- A11 : brun-beige (10 YR 6/3 à 10 YR 7/2). Structure fondue ou pulvérulente. Limono-argileux avec nombreux cailloux. Calcaire diffus. Epaisseur variable, très faible, quelques cm, rarement 10 cm.
 - A12 : brun-beige clair à beige (10 YR 7/2-7/3). Structure polyédrique moyenne à fine bien développée. Cet horizon est très structuré bien que souvent tassé. Il est à compacité moyenne et à cohésion moyenne à faible. Limono-argileux avec nombreux cailloux. Calcaire diffus. Epaisseur 20 à 30 cm.
 - B1 Ca : identique au précédent avec apparition de pseudo-mycélium ou de taches calcaires blanchâtres. Les cailloux présentent souvent de légères accumulations de calcite sur leur face inférieure. La compacité est parfois plus grande sans jamais atteindre celle de l'encroûtement. Epaisseur : 20 à 30 cm.
 - B2 Ca : diminution progressive mais rapide de l'accumulation calcaire. Epaisseur : 10 à 20 cm.
 - C Cailloux bien individualisés avec terre interstitielle souvent particulière ou très meuble suivant la texture.

Variantes

- texturales : très nombreuses en fonction de l'importance de la fraction grossière et des stratifications de matériaux différemment graveleux. Ceux-ci ont un diamètre moyen de 4 à 5 cm mais peuvent atteindre 10 - 20 cm,
- de l'horizon B Ca. Les variantes portent sur la forme d'accumulation calcaire qui se fait :
 - par fins pseudo-mycélium ou par taches lorsque le matériau est finement grossier,
 - par de fines pellicules blanchâtres épousant les lignes de la stratification, à la base des cailloux, lorsque le matériau est légèrement plus grossier et ceci d'une façon homogène,
 - par de fines barbes de calcite dans un matériau très graveleux et grossier alors sans stratifications apparentes tandis que la fraction entre les cailloux présente pseudo-mycélium et taches.

(*) Voir Annexe 14.

Caractéristiques physiques et chimiques

Texture . Elle est très variable d'un profil à un autre et dans l'intérieur d'un même profil par suite des stratifications. La fraction supérieure à 2 mm est généralement très élevée, rarement inférieure à 15-20%. Elle peut atteindre 70-80%. La fraction fine est limono-argileuse à argilo-limoneuse. Certains profils paraissent lessivés avec des horizons d'accumulation d'argile à faible profondeur (30-50 cm), dans d'autres, au contraire, règne la plus grande anarchie.

Profil calcaire . D'une façon générale on note un gradient de calcaire total qui peut être faible (Profil 30 : 14,4 à 17,9%) ou légèrement plus élevé pour des quantités de calcaire très variables d'un profil à un autre (Profil 10 : 3 à 10,6% - Profil 5 : 19,1 à 34,7%). Le gradient de calcaire actif suit une croissance analogue cependant limitée à la partie supérieure du profil. En général en-dessous de 50 à 60 cm il y a diminution de ce gradient.

Profil	301	302	303	304	51	52	53	54
Profil en cm	0-7	7-28	35-45	45-60	0-7	7-20	30-50	50-60
Ca CO3 total ‰	14,4	15,8	17,9	15,2	19,1	25,2	34,7	20,2
Ca CO3 actif ‰	10	15	35	20	50	90	100	75

pH . Il est compris entre 8,5 et 9 sans que pour cela on note de fortes valeurs en sodium laissant supposer la présence de sels solubles.

Matière organique . Les taux sont faibles avec une décroissance marquée en profondeur (carbone entre 0-5 cm et 0-15 cm : 0,26 à 0,57%. Azote : 0,26 à 0,64 ‰). Les rapports C/N sont faibles en général inférieurs à 10 (7 à 11,3).

Complexe absorbant . Il est saturé par les ions Ca.

- Mg a des valeurs comprises entre 3 et 5 me%, exceptionnellement entre 8 et 10 me%.
- K est bien représenté avec une fréquente diminution en profondeur (1 à 0,3 me% souvent supérieur à 0,5 me% en surface).
- Na est faible, le plus souvent inférieur à 0,2 - 0,3 me%.

P205 . Les teneurs en P205 total ‰ dans l'horizon de surface sont comprises entre 2,42 et 0,65 mais le plus souvent supérieures à 1,1 - 1,2 (P205 assimilable 237 à 47 ppm). Dès 20 cm, il y a une baisse sensible de ces différentes valeurs.

Utilisation

Ces sols ne sont utilisés que lorsque des arrivées d'eau abondante permettent des irrigations. Ce qui est le cas principalement au voisinage des massifs. Les sols moins graveleux leur sont préférés mais ceux-ci sont souvent peu abondants sur le piedmont.

Ils peuvent porter : blé, maïs, cultures fourragères... Leur valeur est relativement bonne malgré la faiblesse des teneurs en carbone et azote. Leur aptitude à l'irrigation est très moyenne du fait de leur texture diversement graveleuse. Cette tendance à une grande perméabilité est cependant limitée par l'horizon B Ca déjà plus massif.

Classification

- ++ Sols à différenciation calcaire (1),
- + moyennement à bien différenciés,
- xx à pseudo-mycélium et taches calcaires,
- x à horizon pallide,
- . sur matériau graveleux.

A pédogenèse accusée

Ces sols sont observés en association avec les précédents. Il est souvent difficile de les en dissocier de façon précise sur un même piedmont.

Profil synthétique : A B Ca C

- A11- : identiques en couleur, texture, structure à ceux des sols précédents. Ils sont caractérisés principalement par leur structure fondue ou pulvérulente (A11), polyédrique bien développée (A12). A11 peut faire défaut. Tous deux à calcaires diffus.
- A12
- B1 Ca : — Terre interstitielle entre les cailloux : brun-beige, marron clair, parfois légèrement brun-rouge à taches calcaires différemment accusées, donnant dans le cas extrême un panachage marron et blanc. Les taches deviennent de plus en plus nombreuses vers le bas. Structure polyédrique moyenne à fine. Assez compact. Cohésion moyenne avec débit en petits polyèdres très durcis.
— Cailloux : ils présentent le plus souvent une « barbe » de calcite plus ou moins importante sur leur face inférieure. Elle atteint plusieurs cm et peut être supérieure à l'épaisseur du caillou lui-même.
- B2 Ca : encroûtement pouvant se présenter sous 2 faciès en fonction de la nature du matériau :
- 1 - matériau très graveleux. La cimentation entre elle des « barbes » de calcite des nombreux cailloux donne un encroûtement calcaire très dur et continu identique à celui du matériau fluvio-glaciaire en affleurement (Cf. Sols minéraux bruts). L'épaisseur est difficile à préciser du fait de la résistance du matériau à la perforation. Elle doit se limiter, comme nous l'avons vu dans des coupes naturelles, à une cinquantaine de cm, atteignant rarement le mètre. La coloration des « barbes » est blanche, gris-blanchâtre du fait des nombreuses inclusions qu'elles peuvent renfermer,
 - 2 - matériau peu graveleux. L'encroûtement est blanc, compact mais à débit polyédrique moyen à grossier assez aisé. Les cailloux peu nombreux présentent ou non des « barbes » de calcite mais celles-ci n'ont pas l'importance qu'elles avaient dans le cas précédent. En profondeur peuvent s'observer des niveaux différemment graveleux du 1er type.
- C : constitué comme dans le cas des sols précédents.
- L'épaisseur des horizons A11 - A12 - B1 Ca est de 50 à 70 cm. Sur le terrain, il y a fréquemment juxtaposition de ces 2 types d'horizon B2 Ca en fonction de l'hétérogénéité du matériau. Un profil de tranchée, faite par les militaires, à Sekarqal'a, tranchée longue de plusieurs centaines de mètres montre ce type d'hétérogénéité. L'ensemble du matériau est à dominance graveleuse. Dans les parties très caillouteuses apparaissent suivant la stratification des lignes blanches à la base des cailloux. Elles sont formées ici de fines « barbes » non ou très légèrement cimentées entre elles. L'ensemble est alors relativement friable alors que des poches à texture limono-argileuse donnent un encroûtement blanc plus cimenté et compact, à débit polyédrique.

(1) Nous distinguerons dans cette classe, au niveau du sous-groupe, deux types faisant intervenir la coloration de l'horizon superficiel (0-20 cm) liée à la teneur en matière organique :

- sous-groupe à horizon pallide, de couleur claire,
- sous-groupe ombrique, à coloration foncée (carbone % supérieur à 1), sans donner au terme d'ombrique une signification de saturation ou de désaturation en éléments échangeables.

Le premier type d'encroûtement, apparaît surtout comme un faciès très particulier affectant principalement des horizons très graveleux. Ainsi sur le versant d'un même piedmont de massif (Abdurrehunzi Ghar), observé à l'E de Gomaran près d'Esaré Tangi on passe successivement d'aval en amont, d'un sol à encroûtement faiblement développé à taches très abondantes, présentant superficiellement des cailloux de 3 à 5 cm de diamètre à très fine pellicule de calcite à leur base, à un conglomérat de type fluvio-glaciaire très grossier (blocs de 10 à 30 cm), très encroûté à « barbes » très importantes, cimentées entre elles au contact des massifs, formant alors un encroûtement calcaire continu. La complexité est encore plus grande si nous observons le profil le plus en aval de cette toposéquence. Il présente deux horizons B Ca superposés, séparés par un horizon à accumulation calcaire diffuse, ancienne partie d'horizon A d'un profil enterré tronqué. Une remarque identique avait été faite par places dans le profil de tranchée de Sekarqal'a.

Caractéristiques physiques et chimiques

Elles sont voisines de celles des sols précédents pour les horizons supérieurs, très différentes notamment pour ce qui est de la texture et de la composition en calcaire pour l'horizon B2 Ca.

Les teneurs en calcaire total peuvent être élevées dans tout le profil avec un gradient relativement faible (Profil 65 : 33,3 à 50%), ou au contraire être superficiellement moyennes pour devenir élevées en profondeur, avec alors un fort gradient (Profil 7 : 12,2 à 44,8%). Dans ces profils le gradient en calcaire actif est fortement croissant (Profil 65 : 90 à 185^{°/°°} - Profil 7 : 50 à 175^{°/°°}).

Les valeurs obtenus pour le pH, les bases échangeables, le carbone, l'azote, les rapports C/N, le P205 total, sont le plus souvent voisines de celles des sols à pseudo-mycélium et à taches. Certains profils présentent cependant de faibles teneurs en Mg, voisines ou très inférieures à 1 me%. Les valeurs en Na sont faibles.

Utilisation

Comme dans le cas des sols précédents, ils sont assez rarement cultivés.

Classification

- ++ Sols à différenciation calcaire,
 - + bien différenciés,
 - xx à encroûtement calcaire,
 - x à horizon pallide,
 - sur matériau graveleux.

Lorsque l'horizon B2 Ca est directement en surface, souvent par suite d'érosion, on a alors à faire à des sols minéraux bruts sur croûte ou encroûtement calcaire.

6.3.2 Sur limon argileux (loess colluvionné)

Nous distinguerons : d'une part les sols ayant subi une pédogenèse relativement peu accusée qui a conduit à la formation de pseudo-mycélium, taches et petits nodules calcaires ; d'autre part les sols où la pédogenèse s'est marquée par un fort encroûtement.

A pédogenèse moyennement accusée (*)

Ces sols s'observent en différentes régions :

- dans la dépression située au S de Baraki Barak où ils occupent les piedmonts s'appuyant vers l'O et le S aux massifs. Au contact de ceux-ci, leur surface s'amenuise rongée par l'érosion. Elle est alors découpée par de multiples cours d'eau ou bien ensevelie sous des alluvions ou colluvions graveleuses,
- à l'E de Kabul où nous retrouvons ce type très érodé, associé à des sols peu évolués d'érosion ou d'apport en piedmont de massif,

(*) Voir Annexe 15.

— à l'O de Kabul, sur la route de Kandahar où ils ennoient les cols. Ils s'observent dans une position géomorphologiquement semblable, dans le S de la vallée du Logar, dans le massif d'Altamur où ils occupent la dépression de Tandan.

Deux vastes surfaces hétérogènes de ces sols sont identifiables également dans les dépressions de Babus-Mirwal et O de Gomaran.

Ces deux régions s'inclinent en pente douce vers la dépression du Logar et résultent d'un comblement effectué par les produits d'érosion de marnes à intercalations diversement graveleuses : marnes rouges dans la dépression de Gomaran qui vont conférer aux sols colluviaux une couleur parfois légèrement ocrée, marnes brunes dans la dépression de Babus-Mirwal.

Des buttes témoins de ces marnes, parfois à encroûtement calcaire, parfois surmontées d'un conglomérat encroûté, s'avancent en éperons dans les dépressions elles-mêmes. Elles contribuent à la complexité pédologique puisque s'observent également des sols peu évolués d'érosion ou d'apport diversement graveleux.

Les sols à pseudo-mycélium, taches et nodules calcaires se développent principalement sur la rive gauche du Logar, région où les massifs de l'arrière pays, d'altitude moindre, n'ont pas favorisé l'érosion intense que l'on voit sur la rive droite, où seuls n'ont été conservés, parmi les sols sur ce matériau, que ceux protégés superficiellement par un fort encroûtement calcaire. Le piedmont de la rive droite du Logar reste, par ailleurs surtout, le domaine des sols minéraux bruts sur conglomérat fluvio-glaciaire encroûté.

Profil synthétique

L'épaisseur totale du profil est difficile à établir du fait de celle de la sédimentation qui atteint plusieurs mètres (souvent 4 à 5 m). Elle nous sera donnée cependant par la disparition progressive (sur quelques décimètres le plus souvent), plus rarement brutale de l'horizon B Ca, mais très fréquemment aussi le pseudo-mycélium où les petits nodules calcaires pourront se poursuivre très diminués au-delà de cette limite.

Épaisseur moyenne : 120 cm.

A11 : brun à brun-beige (10 YR 5,5/3-6/3). Limono-argileux (1). Structure souvent fondue à débit polyédrique moyen à fin. Parfois structure polyédrique. Compacité le plus souvent faible, moyenne dans le cas d'horizon tassé. Porosité tubulaire moyennement développée. Enracinement abondant. Épaisseur 5 à 20 cm. Calcaire diffus.

A12 : brun-beige. Limono-argileux. Structure polyédrique moyenne à cohésion forte des éléments structuraux. Compacité moyenne. Enracinement bien développé. Calcaire diffus. Épaisseur 20 à 30 cm.

B1 Ca : identique en couleur, texture et structure à l'horizon précédent avec apparition d'un pseudo-mycélium blanc ou de taches et amas plus ou moins friables. On peut observer également de petits nodules calcaires. Le maximum de leur concentration qui n'est jamais très élevée, apparaît entre 60 et 100 cm, souvent 60 - 80 cm. Compacité plus grande que dans l'horizon A12, mais la cohésion des éléments structuraux est plus faible. Enracinement souvent limité à la partie supérieure de cet horizon.

B2 Ca : identique au précédent, mais plus massif avec diminution progressive ou rapide de la ségrégation calcaire, qui ne disparaît jamais totalement même à grande profondeur.

Il paraît difficile de faire sur le terrain une distinction entre sols à pseudo-mycélium, sols à taches, amas et nodules calcaires, la juxtaposition paraissant de règle.

(1) Cette texture est la plus fréquente, exception faite de celle des sols des dépressions de Babus-Mirwal et de l'O de Gomaran, où des apports plus ou moins graveleux peuvent s'ajouter sans jamais atteindre en pourcentage ceux des sols sur matériau graveleux.

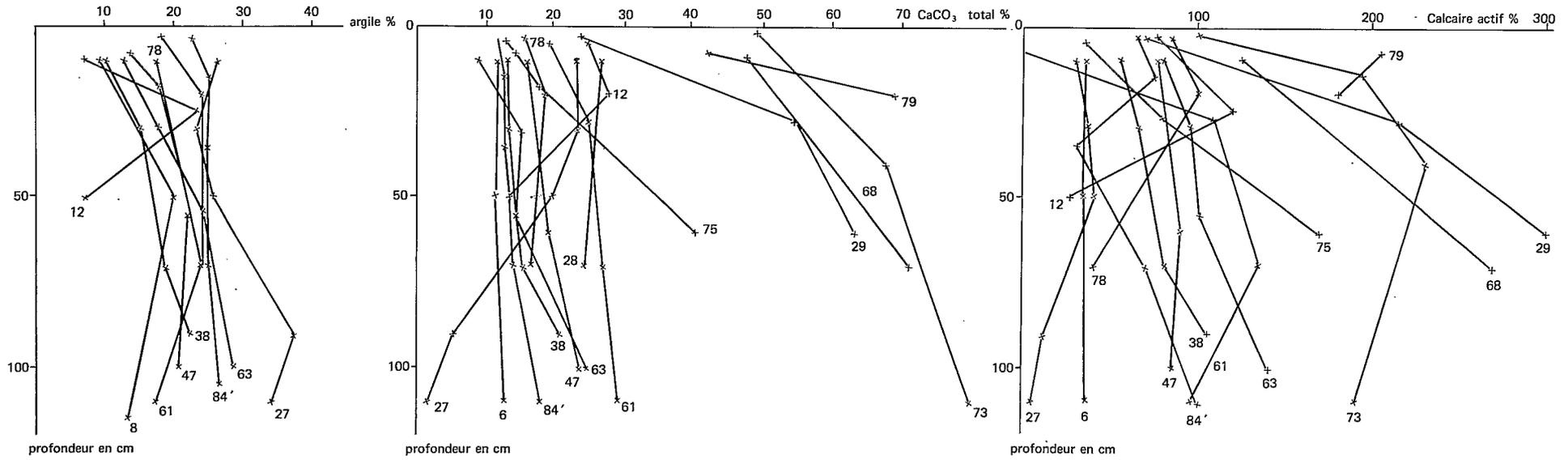


Figure 16 - Répartition des teneurs en argile dans les sols à différenciation calcaire sur loess.

Figure 17 - a) Répartition des teneurs en calcaire total dans des sols à différenciation calcaire sur loess.

Figure 17 - b) Répartition des teneurs en calcaire actif dans les sols à différenciation calcaire sur loess.

Caractéristiques physiques et chimiques

Texture : certaines variations texturales, à l'intérieur d'un même profil peuvent faire penser au lessivage vertical de l'argile (figure 16 - Profils 8-47-61), d'autres au contraire impliqueraient un entrainement oblique de cette fraction, entrainement très vraisemblable sur les pentes du piedmont (Profils 38-63). Enfin des variations importantes de pourcentage d'argile sont à mettre au compte de stratifications sédimentaires différentes (Profils 12-27). D'une façon générale les pourcentages d'argile sont souvent compris entre 20 et 30%, ceux de limon fin et de limon grossier entre 30 et 40% et entre 20 et 30%. Sables fins et grossiers sont souvent peu importants. Le refus (matériau supérieur à 2mm) est généralement faible, inférieur à 5%. Dans quelques cas où celui-ci est important, une forte fraction peut se trouver sous forme d'amas calcaires consolidés ou de petits nodules.

Profil calcaire (figures 17a et 17b) : si la différenciation morphologique des différents horizons est particulièrement nette, il n'en est pas toujours de même à l'analyse du contenu en Ca CO₃ total ou actif.

Les accumulations visibles ne se traduisent pas forcément par des élévations importantes des teneurs. Ceci est dû, d'une façon générale, souvent au fait qu'une fraction importante du Ca CO₃ se trouve bloquée sous forme de nodules ou amas non friables retenus dans la partie grossière lors du tamisage.

Si le gradient calcaire des profils 78 et 12 reflète l'accumulation visible, à l'inverse le profil 6 à faible gradient croissant ne montre pas l'accumulation morphologiquement apparente. Il semble alors s'agir ici, plus d'une individualisation du Ca CO₃ entre 40 et 80 cm que d'une concentration en ce minéral puisque le calcaire est encore plus important à l'état diffus dans ce profil en profondeur.

Dans des cas particuliers on note de très fortes élévations en Ca CO₃ avec la profondeur (Profil 75. Sol à taches et amas calcaires reposant sur le conglomérat encroûté à faible profondeur).

Le gradient de calcaire actif montre des courbes similaires assez souvent décroissantes en profondeur, même pour des pourcentages de calcaire total plus élevés ce qui semble indiquer dans ce cas que l'évolution pédologique actuelle se limite à la partie supérieure des profils.

Les pH : sont analogues à ceux de profils identiques sur matériau graveleux (8,5-9).

Le complexe absorbant : ici aussi, est saturé par l'ion Ca. Les valeurs de Mg, K, Na échangeables sont voisines de celles des sols sur matériau graveleux. Il en est de même pour les teneurs en carbone et azote qui sont faibles et des rapports C/N. Les taux de P₂₀₅ total sont le plus souvent supérieurs à 1‰ pour s'abaisser fortement en profondeur. Ceux d'assimilable sont de l'ordre de 80 à 100 ppm.

Utilisation

Par suite de leur position topographique haute sur des piedmonts souvent secs, ces sols sont rarement utilisés en culture irriguée. En culture sèche, les aléas d'années diversement pluvieuses ont plus d'importance que la valeur intrinsèque du sol qui est bonne malgré la pauvreté en matière organique et azote. Les cultures irriguées, sur ces sols se limitent au voisinage des massifs où l'eau est moins rare ou près de canaux d'irrigation descendant vers la dépression du Logar, mais souvent aucun aménagement n'a été fait dans un pays où l'eau est réservée aux seuls sols de cette dépression où se concentre une très forte densité de population.

Classification

- ++ Sols à différenciation calcaire,
- + peu à moyennement différenciés,
- xx à pseudo-mycélium, taches, amas et petits nodules calcaires,
- x à horizon pallide,
- . sur limon argileux (loess colluvionné).

A pédogenèse très accusée (*)

Ils ne s'observent jamais en grandes étendues mais en surfaces résiduelles très limitées, souvent très découpées par l'érosion et en voie de démantèlement. Ils sont par ailleurs très fréquemment recouverts par des lambeaux de conglomérat fluvio-glaciaire eux-mêmes très encroûtés.

On les trouve :

- sur la rive gauche du Logar :
 - assez abondamment dans la dépression de Babus-Mirwal et à l'O de Pyarokhel, sur tout le piedmont où ils disparaissent sous un conglomérat plus ou moins épais pour réapparaître dans les talwegs ouverts par l'érosion,
 - plus au N, dans les dépressions de Tor Werzek et de Bédak où ils s'observent dans une position analogue à la précédente,
 - par taches à la sortie des gorges du Kabul (Tangi Sayedan),
- sur la rive droite du Logar :
 - dans la dépression de Baraki Barak où ils voisinent parfois sur le piedmont avec les sols précédents. Vers l'E et le N-E ils sont moins répandus et leur extension se limite aux affleurements des marnes miopliocènes des géologues (alignements de Khosi-Pule Alam, d'Azizay-Zarghunshar, de Smac, de Mazgin, de Dastak...).

Dans la dépression de Kabul ils sont bien représentés sur les multiples buttes (Tapa I Maranja, Tapa I Bibomahra, Maydane, Buzkasi...), ainsi que dans l'E au contact des massifs (E de Butkakh). On les trouve également dans la partie O du bassin de Kabul où ils forment de nombreux alignements orientés NO-SE, alignements prenant naissance dans la région de Paghman.

Enfin on les observe au N-O de Kabul, passé le col qu'emprunte la route Kabul-Kunduz (Kotale Khayikhana), dans la dépression conduisant à Kareze Mir.

Les sédiments sur lesquels se sont formés ces sols, de texture fine, sont des loess colluvionnés dans la partie N, tandis qu'au S il s'agirait de marnes mio-pliocènes. Nous avons dit précédemment que nombre de ces marnes nous apparaissent beaucoup plus jeunes et étaient aussi vraisemblablement des produits de remaniements des loess déposés dans toutes ces régions au cours du Quaternaire et colluvionnés vers les dépressions à des périodes plus ou moins anciennes.

Profil synthétique

- Epaisseur variable, supérieure à 1 m. Observé en général sur 120 à 150 cm.
- A : gris-brun clair, brun-beige (10 YR 6/2-6/3). Limoneux. Structure fondue souvent à tendance polyédrique. Compacité et cohésion faibles. Fort enracinement. Calcaire diffus. Epaisseur quelques cm, généralement moins de 10 cm.
 - B1 Ca : blanc-beige (10 YR 8/2-8/3). Limoneux. Structure très développée polyédrique moyenne avec cohésion assez forte des éléments structuraux. Compact. Quelques racines. Calcaire diffus ou par taches, ou petits amas plus ou moins friables, ou petits nodules. Epaisseur 10 à 30 cm.
 - B2 Ca : blanc-beige à blanc (10 YR 8/1). Structure massive à débit polyédrique mais à cohésion relativement faible des éléments résultant du débit. Peu compact. Pas ou peu de racines. Très calcaire. Epaisseur 30 à 50 cm.
 - B3 Ca : blanc panaché de beige ou à poches limoneuses importantes, brun-beige. Structure fondue. Peu compact. Cohésion faible. Calcaire diffus avec quelques éléments granulaires durcis. Fait le passage au limon brun-beige, fondu à cohésion et compacité faibles.

Le passage à la roche mère limoneuse (loess colluvionné initial) a été assez rarement observé car l'encroûtement B2 Ca se développe fréquemment dans l'épaisseur totale du sédiment.

On passe aussi parfois en profondeur à une strate finement caillouteuse ou à un conglomérat encroûté.

(*) Voir Annexe 16.

Lorsque B2 Ca apparaît en surface, cas très fréquent, il s'accompagne dans sa partie supérieure sur quelques cm d'une croûte rubannée, festonnée, très finement recristallisée, très dure, se débitant très difficilement au marteau. Il s'agit alors de *sols minéraux bruts sur encroûtement calcaire*.

Caractères physiques et chimiques

Ces sols sont généralement caractérisés par une variation structurale importante : fondue (A1), polyédrique très structurée (B1 Ca), massive (B2 Ca), fondue à pulvérulente (B3 Ca C). Ils présentent un profil calcaire très accusé dans lequel les variations de Ca CO₃ total peuvent passer de 20 à 50% en surface, à plus de 70% en profondeur. Les variations en calcaire actif sont d'une égale importance et souvent très fortement accusées avec la profondeur (très peu différentes de 100‰ en surface pour plus de 200‰ en profondeur). Cette augmentation graduelle en Ca CO₃ total se marque jusque dans l'horizon B3 Ca C (Profil 73) où le calcaire actif diminue cependant. Dans cet horizon la distribution du calcaire est très différente de celle observée en B2 Ca. Des taches calcaires blanches pulvérulentes alternent avec des parties brun-beige moins riches en Ca CO₃ et des poches importantes de limon peu carbonaté, vestiges d'anciens terriers comblés ultérieurement.

Nous retrouvons pour ces sols les mêmes caractéristiques chimiques que pour les sols précédents :

- pH atteignant fréquemment 8,5-9,
- pauvreté en carbone et azote,
- complexe absorbant saturé par l'ion Ca,
- ion Mg en valeur de 2 à 3 me%,
- ion K compris entre 0,4 et 1 me% en surface, décroissant fortement en profondeur,
- valeurs de Na peu importantes, inférieures à 1 me% avec des très faibles quantités de sels solubles (Profil 73 : conductivité calculée de l'extrait de saturation en mmhos/cm 0,8 à 1,9),
- taux de P205 total supérieur à 1‰ dans l'horizon de surface, décroissant rapidement avec la profondeur. P205 assimilable représentant 5 à 10% du P205 total.

Utilisation

D'une façon générale tous ces sols sont incultes et très souvent fortement érodés.

Classification

<p>++ Sols à différenciation calcaire, + bien différencié, xx à encroûtement calcaire, x à horizon pallide, . sur limon argileux (loess colluvionné),</p>	}	Sols normaux
<p>++ Sols minéraux bruts, + d'origine non climatique, xx d'érosion, x sur croûte et encroûtement calcaire, . sur limon argileux (loess colluvionné).</p>	}	Sols érodés

6.3.3 Sur matériau argileux et dolomitique dérivant des péridotites (*). A caractères vertiques

Ce sol n'a été observé que sur la rive gauche du Logar entre Mohd Agha et Gomaran où il se développe sur un matériau décrit précédemment (cf. 5.2.1. . Les sédiments argileux dolomitiques), de couleur rouge saumoné, résultant de l'accumulation de produits d'altération des péridotites. Le matériau est constitué de minéraux 2/1 (nontronite vraisemblable), de dolomie en quantité variable suivant les échantillons,

(*) Voir Annexe 16.

d'un peu d'hématite.

Ce sol n'occupe jamais de grandes surfaces mais des buttes témoins résiduelles.

Profil 34

localisation : 0 de Gomaran - SO de Mohd Agha.

Le sol constitue en cet endroit de petites buttes résiduelles de faible étendue, hautes de quelques mètres. Sur le piedmont, ou sur pente érodée de massif en sol colluvial très hétérogène, graveleux et limoneux, la roche mère saumonée affleure par endroits, très altérée, débitée en multiples polyèdres ou cubes.

Ancien champ de culture sur légère butte surplombant un complexe de sols à profil calcaire et de sols peu évolués.

- 0-5 cm : brun-rouge (2,5 YR 4,5/4), grumeleux, très bien structuré, cohésion forte des éléments structuraux, très faible compacité. Argilo-limoneux.
A11
- 5-45 cm : brun-rouge légèrement plus jaune (5 YR 5,5/6), à texture identique, prismatico-polyédrique grossier, fortes cohésion et compacité, porosité tubulaire faible. Légèrement humide. Fentes de retrait descendant jusqu'à 25 cm.
A12
- 45-65 cm : plus ocre (5 YR 5/6), moins argileux et moins compact, structure à tendance polyédrique moyenne, peu structuré, cohésion moyenne à faible. Pseudo-mycélium abondant.
B Ca
- 65-100 cm : saumon (2,5 YR 6/8), limono-argileux se présentant en polyèdres de 3 à 4 cm. Compacité et cohésion moyennes. Sec.
C

Caractéristiques physiques et chimiques

Les pourcentages élevés d'argile en surface (argile 55,5% pour 4,6% de sable fin) font penser à des phénomènes superficiels intenses d'argilisation au détriment du matériau plus finement sableux de la roche mère (argile 21,5% pour 23,4% de sable fin).

Dans ces sols les taux de Ca CO₃ obtenus par calcimétrie, ne représentent qu'une partie des carbonates puisqu'une fraction sous forme de dolomie n'a pas été attaquée. A titre de comparaison nous indiquons ci-dessous les différentes valeurs obtenues par calcimétrie et par mesure du carbone au Coulomètre (carbone total - carbone organique). Ces valeurs sont exprimées en Ca CO₃ %.

Echantillon	Calcimètre	Coulomètre
341	7,7	9,3
342	7,3	9,0
343	3,0	5,0
344	3,4	6,6

La roche mère examinée là est une des plus pauvres en dolomie de toutes celles observées, la plus riche atteignant 46,1% (échantillon 154').

Les pourcentages de calcaire actif varient peu à l'intérieur de ce profil avec les chiffres les plus élevés cependant dans les horizons A (35 ‰). L'horizon B Ca à pseudo-mycélium, apparaît plus comme le lieu d'individualisation du Ca CO₃ que celui de sa concentration (25 ‰).

Les taux de carbone et d'azote sont faibles (carbone : 2,84 à 1,44 ‰ - azote : 0,346 à 0,146 ‰) et les rapports C/N voisins ou légèrement inférieurs à 10.

Les pH sont décroissants de la surface vers la profondeur (8,4 à 7,9).

Le complexe absorbant est saturé ici par des ions Ca et Mg (1). L'ion K varie entre 0,90 et 0,50 me%, l'ion Na entre 0,20 et 0,70 me%. La capacité d'échange est élevée 47 à 72 me%.

Dans les extraits à l'eau (extraits au 1/2 et au 1/10), Ca et Mg sont peu représentés dans les horizons A. A l'inverse ils sont trouvés plus abondamment en B Ca et presque uniquement sous forme de sulfate. L'examen aux RX confirme la présence de gypse associé à de la dolomie et de la calcite.

Les teneurs en P205 total sont dans les horizons A de 0,760 et 0,650‰ pour 60 et 48 ppm d'assimilable.

Utilisation

Du fait de leur position topographique, ces sols ne sont utilisés qu'en culture sèche. Ils sont d'autre part soumis à une forte érosion.

Classification

- ++ Sols à différenciation calcaire,
- + peu à moyennement différenciés,
- xx à pseudo-mycélium,
- x à horizon pallide,
- sur matériau argileux et dolomitique.

La présence abondante d'argile de type 2/1 confère à ces sols des caractères vertiques marqués par une structure grossière de type prismatique.

6.4 LES SOLS HYDROMORPHES (*)

Assez peu observés dans le S de la vallée du Logar où ils se limitent aux dépressions proches du fleuve et de ses affluents, les sols hydromorphes occupent au N du défilé formé par le Kohe Safedsang et le Kalogay (N de Gomaran) des surfaces de plus en plus importantes tout d'abord dans les vallées enserées entre les massifs, puis dans la dépression de Kabul. Ils s'associent fréquemment aux sols sodiques.

Il s'agit souvent de sols à gley de profondeur. On trouve cependant toute une gamme variée de sols hydromorphes en fonction de leur position topographique dans chacune des dépressions. Ainsi à la ferme de Binihesar (S de Kabul), la distribution des sols sur colluvions ou alluvions fines de loess s'effectue de la façon suivante en allant de la partie amont située en bordure de la route Kabul-Gerdiz au « camane » (dépression diversement salée, inondée périodiquement par la crue du Logar) :

- sol peu évolué,
- sol hydromorphe à pseudo-gley,
- sol hydromorphe à gley (éventuellement superficiellement salé),
- sol sodique.

Profil synthétique

Le profil est de type A (B) g C ou A (B) G C
A11 brun-beige plus ou moins foncé (10 YR 5/2-5/3-6/3). Limono-argileux à argilo-limoneux. Structure fondue à polyédrique moyenne à fine. Porosité tubulaire bien développée dans le premier cas (structure fondue) et d'agrégats dans le second. Compacité et cohésion moyennes. Calcaire diffus. Epaisseur 20 à 30 cm.

(1) Il est difficile de dire en présence de calcite et de dolomie, dans quelle mesure les ions Ca et Mg participent à la saturation du complexe. A l'extraction des bases échangeables par l'acétate de NH₄ à pH7, les résultats obtenus donnent des rapports Ca/Mg = 2 (40 me% de Ca pour 20 à 25 me% de Mg).

(*) Voir Annexe 17.

- A12 : de transition. Brun-beige légèrement plus clair. Identique en texture. Structure massive parfois à tendance polyédrique. Porosité faible à nulle. Compacité et cohésion plus élevées. Calcaire diffus. Epaisseur 10 à 20 cm.
- (B) g : identique à l'horizon précédent en texture et structure mais à la coloration brun-beige s'ajoutent des marbrures d'hydromorphie brunâtres, brun-rouille ou rouille.
- C : l'horizon précédent se poursuit en profondeur. C non discernable se confond souvent avec (B)g. Ce profil est celui d'un *sol hydromorphe minéral, peu humifère, à pseudo-gley*. L'horizon (B) g peut passer à faible profondeur à (B) G ou être remplacé sous l'horizon de transition A12 par (B) G (*Sols hydromorphe à gley*).
- (B) G à une coloration le plus souvent gris-blanc, plus ou moins légèrement verdâtre ou bleuté (5 GY 6/1-7/1, 5 G 6/1, 5 BG 6/1....). Il présente des trainées noires correspondant à la décomposition d'anciennes racines et à des phénomènes de réduction à leur contact. Il est le plus souvent très humide et plastique.

L'enracinement est surtout accusé dans les horizons A, moindre en (B) g, faible à nul en (B) G.

Dans la plupart des profils s'observe une nappe phréatique et l'hydromorphie constatée est liée au battement plus ou moins prononcé de celle-ci.

Il y a le plus souvent passage, en fonction de la topographie, d'un sol à pseudo-gley à un sol à gley peu profond ou profond par disparition progressive de l'horizon (B) g.

L'horizon (B) G est fréquemment salé. Ces profils portent alors une végétation graminéenne rase de *Cynodon, Atriplex*.

On observe également, en bordure de marécage inondé en permanence et couvert d'une végétation dense de roseaux, des *sols hydromorphes moyennement organiques* (sols humiques à gley à anmoor calcique). Ce type de sol peut éventuellement se superposer à un niveau tourbeux ancien.

Propriétés physiques et chimiques

Bien que de texture variable, les teneurs en argile, limon, sables fin et grossier présentent une certaine constance :

- argile 20 à 30%,
- limon fin 30 à 50%,
- limon grossier 15 à 20%,
- sable fin 5 à 10%,
- sable grossier 0 à 3%.

Les teneurs en carbone et azote sont, dans ces sols, plus élevées que celles observées dans les sols peu évolués formés sur un matériau identique. Elles peuvent atteindre 1,5 à 2,5% et ‰ en surface (0 - 20 cm) pour tomber en dessous de 1 en profondeur (en général 40 - 60 cm). Les rapports C/N, très variables, 10 à 12 en surface, peuvent décroître rapidement en profondeur et devenir inférieurs à 8. Dans un sol humique à gley observé ce rapport atteint 13,4 (carbone 5,45%, azote 4,07‰) et 19,1 dans la tourbe sous-jacente (carbone 40,7%, azote 21,3 ‰) altérée et eutrophe (pH 6,7).

Les teneurs en Ca CO₃ sont toujours élevées, en général de l'ordre de 15 à 20%. Le calcaire se présente à l'état diffus et il n'a pas été observé dans ces sols hydromorphes d'individualisations caractérisées sous forme de pseudo-mycélium, d'amas, de nodules, d'encroûtement calcaire. L'horizon du sol humique à gley, cité plus haut, présente cependant des teneurs importantes en Ca CO₃ (54,5% pour 270‰ de calcaire actif) dans l'horizon supérieur humifère se superposant à la tourbe qui, elle, ne contient que 1% de Ca CO₃ total. On note également des augmentations importantes des teneurs en Ca CO₃ dans certains horizons salés (cf. sols sodiques).

Les teneurs en calcaire actif dans ces sols hydromorphes sont de l'ordre de 40 à 60% du Ca CO₃ total et tendent à croître en profondeur.

Les pH sont compris entre 8 et 9.

Les taux de P₂O₅ total varient entre 1 et 1,5‰ en surface tandis que ceux d'assimilable très variables représentent 3 à 10% de ces chiffres.

Le complexe absorbant est saturé par les ions Ca et également Mg. Ces cations peuvent se présenter sous forme échangeable et soluble (SO₄, CO₃H, CO₃, Cl) dans des sols intergrades vers les sols sodiques.

L'ion K a des valeurs entre 0,5 et 1,5 me% en surface mais qui tendent à décroître en profondeur.

L'ion Na est assez variable en fonction de la position topographique du profil et de l'horizon observé. Des débuts de salinités peuvent être notés, soit dès la surface si la frange capillaire est haute, soit à des profondeurs variables, fonction de la hauteur de celle-ci. Il y a difficulté à séparer ici sols hydromorphes et sols sodiques, le passage continu de l'un à l'autre étant fréquent. L'apparition du «camane» à herbe rase est souvent progressive ainsi qu'on peut le constater à la ferme de Binihésar située dans le voisinage d'une dépression périodiquement inondée. Ou bien ce sont les influences de nappes salées d'origine plus ou moins lointaine qui déterminent, comme à la ferme de Bagrami, l'apparition de sols hydromorphes et sodiques de profondeur.

Utilisation

Ces sols portent les mêmes cultures que les sols peu évolués sur matériau identique mais leur valeur agronomique et la bonne venue des cultures sont déterminées ici principalement par la profondeur de la nappe phréatique et celle de sa frange capillaire où se concentrent, par suite des phénomènes de remontée, les sels solubles.

Les deux fermes de Bagrami et Binihésar sont deux exemples différents de ces milieux hydromorphes et salins donnant du point de vue agricole de très médiocres résultats malgré les nombreux efforts faits. Ces résultats ne pourront être améliorés sans une mise en valeur rationnelle de tout l'ensemble de la cuvette de Kabul dont le bon drainage s'avère indispensable pour la récupération des nombreux «camane» du S, de l'E et du N de la ville.

Dans de nombreux cas la toxicité observée est à mettre au compte non de la salinité, elle-même souvent faible, mais du bore dont ces sols comme les sols sodiques sont assez abondamment pourvus (Cf. Le bore).

Classification

- ++ Sols hydromorphes,
 - + minéraux ou peu humifères,
 - xx à gley plus ou moins profond éventuellement salé,
 - xx à pseudo-gley,
 - x à battement de nappe,
 - sur limon argileux (loess colluvionné).

6.5 LES SOLS SODIQUES (*)

Ces sols sont observés dans les mêmes régions où ont été décrits les sols hydromorphes. Très limités en superficie dans la vallée du Moyen Logar où on ne les trouve que par petites taches sur la basse terrasse du fleuve où bien encore dans certaines parcelles irriguées, ils prennent une grande extension dans la cuvette de Kabul ainsi qu'au S de cette ville, dans des dépressions mal drainées, enserrées entre des défilés. Il est souvent difficile de les séparer des sols hydromorphes auxquels ils passent latéralement (Cf. Sols hydromorphes). Ils s'en distinguent cependant par une végétation rase, très contractée de *Cynodon*, d'*Atriplex*... et parfois l'apparition d'efflorescences salines.

Ces sols diffèrent assez peu morphologiquement des sols hydromorphes. Ils présentent un profil A (B) C et comme eux sont souvent caractérisés par un horizon (B) g à pseudo-gley, ou (B) G à gley. Cet horizon est dû au battement d'une nappe phréatique de faible profondeur (1 à 1,5m) qui a pour conséquence d'entretenir des remontées de sels solubles. Ces nappes peuvent être diversement salées (Cf. Chapitre des eaux). Dans le cas d'une nappe relativement haute, la salinité est généralement maximum dans les horizons supérieurs du sol où elle peut déterminer des efflorescences superficielles. Dans ce cas, la salinité

(*) Voir Annexe 18.

décroit de la surface vers la profondeur. Mais aussi l'horizon le plus salé peut se trouver en profondeur, lorsque la frange capillaire de la nappe n'atteint pas la surface du sol. On se trouve alors en présence, soit d'un sol présentant les caractéristiques d'un sol hydromorphe à pseudo-gleu ou gley, soit d'un sol apparemment peu évolué à profil AC.

Certaines salinités ont aussi été observées sans qu'elles paraissent en rapport avec des actions de nappe. Ce sont celles qui affectent des sols se développant sur des sédiments plus anciens, fréquemment des marnes, au sens géologique du terme. Le profil, dans ce cas, peut être de type AC ou celui d'un sol à différenciation calcaire marqué par une faible nodulation dans les horizons profonds. Il s'agit alors de salinité résiduelle, héritée de la roche mère.

Propriétés physiques et chimiques

Ces sols sodiques sont formés le plus souvent sur des sédiments fins (loess colluvionné ou repris par les cours d'eau) qui sont le plus répandus dans la vallée du Logar et ne diffèrent pas de par leur texture des sols hydromorphes ou peu évolués formés sur un matériau identique. Leur structure est le plus souvent fondue ou de type polyédrique moyenne à fine dans les horizons supérieurs, elle devient rapidement plus massive en profondeur, sans que pour cela il se détecte à l'analyse un complexe absorbant fortement enrichi en ion Na, bien que la compacité, la cohésion des éléments du débit, relativement friables, ne soient pas sans évoquer les sols à alcalis d'autres régions.

Les teneurs en carbone et azote sont voisines de celles des sols hydromorphes, ainsi que les valeurs de C/N, donc plus élevées que celles des sols peu évolués.

On note dans ces sols, bien que ce ne soit pas une règle générale, une augmentation fréquente et importante des taux de Ca CO₃, notamment lorsque ces sols se situent au voisinage de marécages permanents, alors que dans les sols marqués uniquement par des actions de nappe, les chiffres ne soient que légèrement plus élevés par rapport à la normale (Ca CO₃ total : 15 à 20%).

Les teneurs en calcaire actif n'évoluent pas parallèlement et sont sensiblement constantes dans les deux cas, se situant souvent entre 100 et 120 ‰.

Ech.	541	542	F 52	F 53	F 54	F 41	F 42	F 43
Prof. cm	0-20	40-60	8-18	20-40	60-80	0-20	30-50	80-100
Ca CO ₃ Total ‰	28	39,5	33,4	44,8	34,2	20,3	22,8	16,3
Calc. actif ‰	85	110	110	110	125	90	120	130

Profils 54 et F 5 marécages ou
bordure de marécage

Profil F 4 Partie très
exondée en bordure de marécage
sol à gley

Le pH de ces sols se tient entre 8,5 et 9,5-10.

Le complexe absorbant est fortement saturé en ions Ca et Mg. Les teneurs trouvées en magnésium sont très variables d'un profil à un autre. Ceci peut s'expliquer par la présence de dolomie que révèle l'analyse aux RX et celle d'ion Mg entrant parfois pour une forte proportion dans la composition des sels solubles et aidant alors avec l'ion Ca à la saturation du complexe.

L'ion K, bien qu'ayant des valeurs moindres est aussi bien représenté pouvant atteindre des valeurs très supérieures à 1 me%. Il entre aussi, mais pour une moindre part, dans la composition des sels solubles. L'approche de ces derniers sera faite ici par l'examen d'une exsudation saline d'une part et, d'autre part, par celui de sels solubles provenant d'horizons salés de profils les mieux représentatifs.

Dans le tableau ci-après se trouvent :

- la conductivité de l'extrait de saturation calculée à partir de la conductivité de l'extrait au 1/2 (1),
- la composition en anions et cations,
- la nature des sels reconstitués par la méthode de BAZILEVICH (1968),
- la toxicité d'après la nature des anions, calculée par cette même méthode (2). Cette toxicité n'a été calculée ici que sur l'extrait au 1/2 alors qu'elle devrait porter sur la totalité des sels solubles (Extrait au 1/2 + Extrait au 1/10+ Cl ou S04 résiduel dans les bases échangeables).

Ech.	920	712	530	941	772	891	F 51	F 41	F 82	F 83
Prof. cm	0-2	40-60	0-5	0-20	15,35	0-20	0-8	0-20	40-60	95-115
EXTR. 1/2										
- Ca	0,09	1,32	0,14	0,35	0,06	0,10	0,23	0,13	0,24	0,76
- Mg	17,40	2,40	0,89	0,69	0,16	1,06	5,38	1,37	3,69	15,50
- K	6,79	0,05	0,30	0,06	0,19	0,26	0,41	0,28	0,08	0,11
- Na	110,00	1,48	3,22	2,30	4,75	4,98	3,03	1,65	2,29	14,20
S +	128,28	5,25	4,55	3,40	5,16	6,40	9,05	3,43	6,30	30,57
S -	133,10	5,20	4,93	3,45	5,27	6,35	8,92	3,63	6,41	31,9
- Cl	33,10	4,19	1,35	0,38	2,05	1,00	4,00	0,59	5,00	21,00
- S04	91,10	0,86	2,04	0,70	2,32	3,50	3,20	0,74	1,16	10,08
- C03 H	7,16	0,25	1,44	1,27	0,80	1,35	1,55	1,95	0,25	0,09
- C03	1,76	0,0	0,10	0,10	0,10	0,50	0,17	0,35	0,0	0,0
C mmhos/cm	178,0	12,0	7,93	8,15	8,33	9,98	18,65	7,80	15,0	63,9

(1) x 200 / % eau pate saturée. La limite supérieure pour qu'un sol entre dans la classe des sols sodiques a été fixée à 7 mmhos/cm (CPCS 1967).

(2) Chaque anion est affecté d'un indice d'autant plus élevé que sa toxicité est grande :

- 1 me % S04 = 0,2 (S04 de S04 Ca, non compté).
- 1 me % C03 H = 0,4 (C03 H de (C03 H) 2 Ca, non compté),
- 1 me % Cl = 1,0,
- 1 me % C03 = 10.

La somme totale des anions de l'échantillon de sol considéré conduit à sa classification suivant les normes ci-après :

- échantillon : non salé $\leq 0,3$,
- faiblement salé 0,3 à 1,0 - 1,5,
- moyennement salé 1,0 - 1,5 à 3,0 - 3,5,
- fortement salé 3,0 - 3,5 à 7,0 - 7,5,
- très fortement salé $> 7,0-7,5$.

Composition reconstituée d'après la méthode BAZILEVICH en me%

N° 920	Exsudation saline							
	C03	Na2	1,75				Dominance des sels	
	(C03H) 2	Ca	0,09					
	(C03H) 2	Mg	2,1	xx	S04	Na2	S04	Mg
	C03H	Na	4,95	x	Cl	Na	Cl 2	Mg
	S04		91,1					
	Cl		33,1				Toxicité	71,65
N° 712	(C03H) 2	Ca	0,25				Dominance des sels	
	S04	Ca	0,86			Cl 2	Mg	
	Cl 2	Ca	0,21			Cl	Na	
	Cl	Na	3,98					
	Cl 2	Mg						
						Toxicité	4,19	
N° 530	C03	Na2	0,10				Dominance des sels	
	(C03H) 2	Ca	0,14	xx	S04	Na2	S04	Mg
		Mg	0,39	x	Cl	Na	Cl 2	Mg
	C03H	Na	0,91					
	S04		2,04					
	Cl		1,35				Toxicité	3,28
N° 941	C03	Na2	0,10				Dominance des sels	
	(C03H) 2	Ca	0,35	xx	S04	Na2	Cl	Na
		Mg	0,28	x	S04	Mg	Cl 2	Mg
	C03H	Na	0,64				Toxicité	
	S04		0,70					1,89
	Cl		0,38					
N° 772	C03	Na2	0,10				Dominance des sels	
	(C03H) 2	Ca	0,06	xx	S04	Na2		
		Mg	0,22	xx	Cl	Na		
	C03H	Na	0,52					
	S04		2,32				Toxicité	
	Cl		2,05					3,81
N° F51	C03H	Na2	0,17				Dominance des sels	
	(C03H) 2	Ca	0,23	xx	Cl	Na	x	S04 Na2
		Mg	0,40	xx	Cl 2	Mg	S04	Mg
	C03H	Na	0,92					
	S04		3,20				Toxicité	
	Cl		4,00					6,87
N° F83	(C03H) 2	Ca	0,09	xx	Cl 2	Mg	x	S04 Mg
	S04	Ca	0,67	xx	Cl	Na	x	S04 Na2
	S04		9,41				Toxicité	
	Cl		21,00					2,88

xx Très dominant,

x Plus faiblement dominant.

L'exsudation saline (No 920) révèle naturellement un extrait de saturation à conductivité élevée et une toxicité très grande. Sa composition est à dominance de SO_4Na_2 et Cl Na , avec Mg (SO_4 et Cl) et en plus faible quantité CO_3Na_2 , $(\text{CO}_3\text{H})_2\text{Mg}$, CO_3HNa .

On retrouve pour les autres échantillons des compositions voisines ou légèrement différentes où peut apparaître du gypse, tandis que $(\text{CO}_3\text{H})_2\text{Ca}$ est toujours faible. Dans certains les ions Mg l'emportent (F 51, F 83) ou sont fortement représentés par rapport à Na (F 41).

Les échantillons F sont ceux des fermes de Binihésar et de Bagrami. Nous retrouvons dans les eaux de la nappe de la première de ces deux fermes, seules analysées, une prédominance des ions Mg (Mg/S compris entre 40 et 50% pour Na/S et Ca/S compris chacun entre 20 et 30 %). Ces eaux (Cf. chapitre des nappes. Echantillons No 27-28-29) entrent dans la classe C3S1, c'est à dire des eaux à action salinisante forte, alcalisante faible, si l'action de l'ion Mg fixé sur le complexe est admise comme identique à celle de l'ion Ca quant à ses répercussions sur la structure du sol. L'action de Mg à l'état soluble, quoique mal connue est considérée généralement comme toxique. La toxicité calculée à partir des anions par la méthode BAZILEVICH est élevée.

L'analyse de tels échantillons s'avère particulièrement difficile puisque ceux-ci sont susceptibles de renfermer à la fois : de la dolomie, de la calcite ou de la calcite dolomitique qui explique les chiffres élevés d'ions Ca et Mg échangeables ; des sels solubles de Mg et Na sous forme de chlorures et sulfates, mais aussi de carbonates et bicarbonates, ainsi que de silicates comme permet de le supposer la teneur en silice des eaux. Nous verrons également plus loin que les sols sodiques contiennent très souvent du bore. (Cf. chapitre Salinisation. Deuxième partie).

Utilisation

Dans le cas de ces deux fermes, les sols se sont révélés, pour une grande partie d'entre eux, impropres aux cultures traditionnelles (riz, blé, maïs...) et aux cultures fourragères. Il semble en être de même pour les différents « camane » de la dépression de Kabul, dont la mise en valeur, ainsi que nous l'avons signalé précédemment (Cf. Sols hydromorphes), ne pourra se développer qu'après l'implantation d'un important réseau de drainage couvrant l'ensemble de la dépression.

Pour les autres profils de sols salés observés principalement dans la vallée moyenne du Logar, la salinité n'affecte bien souvent qu'un seul horizon, soit de surface et diminue fortement ensuite ou même disparaît en profondeur, soit de profondeur. La répercussion de cette salinité sur le développement des cultures pratiquées en irrigation, se trouve alors souvent limitée en de nombreux cas, car les irrigations auront pour effet, pour des horizons salés de surface, de redistribuer cette salure dans l'ensemble du profil cultural permettant un développement quasi normal des plantes cultivées. Dans le cas d'horizon salé profond, la salinité affectera beaucoup moins les rendements, soit que l'enracinement ne se développera que faiblement dans cet horizon (salinité de profondeur moyenne à grande : 60 à 120 cm), soit que l'irrigation aura un effet bénéfique comme dans le cas d'horizon salé de surface (horizon salé de faible à moyenne profondeur).

Classification

Ces sols se répartissent dans les deux sous classes encore qu'il soit difficile sur le terrain de les départager.

Si Na est en quantité parfois importante sous forme soluble, peu de cet ion semble fixé sur le complexe absorbant du sol et les teneurs en Na échangeable sont généralement très inférieures à 1 me% après extraction des sels solubles.

A l'inverse, dans certains cas, l'ion Mg trouvé également sous forme soluble (Cl , SO_4 ...) ou peu soluble (dolomie, dolomie calcitique) semble entrer pour une grande part avec Ca dans la saturation du complexe de certains sols. Nous essaierons de voir plus avant l'influence de cet ion sur l'alcalisation.

- ++ Sols sodiques,
 - + à structure non dégradée,
 - xx sols salins (Solontchak),
 - x à efflorescences salines,
 - x à encroûtement salin superficiel
 - . sur limon argileux (loess colluvionné).
 - + à structure dégradée,
 - xx sols salins à alcalins,
 - x salins à alcalins. Structure poudreuse en surface,
 - x moyennement ou peu salins à alcalins. Structure diffuse à massive en surface.
 - . sur limon argileux (loess colluvionné).

LA REGION CENTRALE

MONTAGNE DE BAMYAN

COL DE SEBAR

ITINERAIRE BAMYAN-BAND I AMIR

COL DE SALANG

PISTE DU CENTRE

Les observations qui ont été faites dans les régions centrales de l'Afghanistan ont surtout porté sur la montagne de Bamyan située au N de cette ville ainsi que sur un trajet effectué entre Bamyan et Band I Amir (1). Nous en compléterons l'étude par la description sommaire de différents itinéraires nous ayant conduits sur la piste du Centre (parcours Gardan Dewal - Sin Dand) et aux cols de Sébar et de Salang.

Les observations pédologiques effectuées dans la vallée du Logar ont permis la connaissance des sols de cette vallée et des piedmonts des massifs ceinturant celle-ci entre 1800 et 2500-2800 m. L'étude de la montagne de Bamyan va nous conduire de 3000 à 4000-4200 m.

(1) Le bassin de Bamyan lui-même a fait l'objet d'études géologiques et sédimentologiques par J. LANG (1974).

A/ MONTAGNE DE BAMYAN

Située dans la terminaison occidentale de l'Hindu Kuch dont elle est séparée du reste de la chaîne par les gorges de Chekari, la montagne de Bamyan se localise entre les vallées de Ghandak et de Bamyan.

Haute de plus de 4000 m (4341 - 4151 m), on y accède par deux voies qui ont été empruntées toutes deux :

- voie N par la vallée de Ghandak (à partir du village de Ghandak situé sur la route de Bamyan à Doab) puis par celle d'Awpar,
- voie S qui emprunte la vallée de Qal'acah affluente du Sokhidar.

Ces deux itinéraires d'aspect relativement facile nécessitent cependant un déplacement de plusieurs jours en haute montagne avec l'accompagnement de guides et d'ânes porteurs du matériel. Nous avons effectué ces différents trajets avec E. BOUYX dont les études géologiques en cette région couvrent l'ensemble de ce massif qu'il avait reconnu primitivement avec P. BORDET et A. F. de LAPPARENT les années précédentes (P. BORDET, E. BOUYX et A. F. de LAPPARENT 1971).

1 - GEOLOGIE

La partie la plus élevée du massif qui nous intéresse ici est constituée par des formations anciennes partiellement métamorphisées sur lesquelles reposent en discordance des roches anté-crétacées grésos-conglomératiques à la base, formé ensuite de calcaire à Fusulines. Cette série a subi une orogénèse anté-crétacée qui s'est traduite par un fort redressement des différentes couches. Une transgression crétacée supérieure a amené ensuite le dépôt :

- d'un niveau inférieur discordant, constitué d'un conglomérat de base rouge (3 à 4 m), surmonté par une falaise de calcaire à entroques (5 à 10m),
- d'un niveau médian de marnes ou calcaires marneux (100 à 150m) avec des niveaux saillants de calcaires en plaquettes,
- un ensemble supérieur : à calcaire détritique en bancs (8 à 10m), à calcaire massif à Rudistes (50m) dans la partie supérieure, à calcaires en plaquettes blancs ou roses (8 à 10m),
- un conglomérat à dragées de quartz, quartzite et phtanite.

Ces différentes séries s'observent en affleurements subhorizontaux ou faiblement plissés et souvent décalées par failles. Des épandages volcaniques d'âge Tertiaire (cendres, tufs, brèches andésitiques ou rhyolithiques) couronnent, recouvrent ou même traversent les formations crétacées.

Le sommet de la montagne de Bamyan se présente comme un vaste plateau démantelé qu'entailent de profondes ravines d'érosion de rivières venant y prendre leurs sources et sur lequel s'observent les appareils volcaniques anciens.

Les éléments marquants du paysage sont les appareils volcaniques, la falaise de calcaire massif, formant plateau à proximité des sommets, les pitons de calcaire anté-crétacé jaillissant au milieu des calcaires marneux ou des schistes des formations anciennes qui constituent des reliefs aux formes molles. Enfin dans le cours de la vallée d'Awpar, dans sa partie supérieure, les puissants barrages de travertin qui s'élèvent de 50 à 100 m au-dessus de celui-ci (E. BOUYX et J. PIAS 1971).

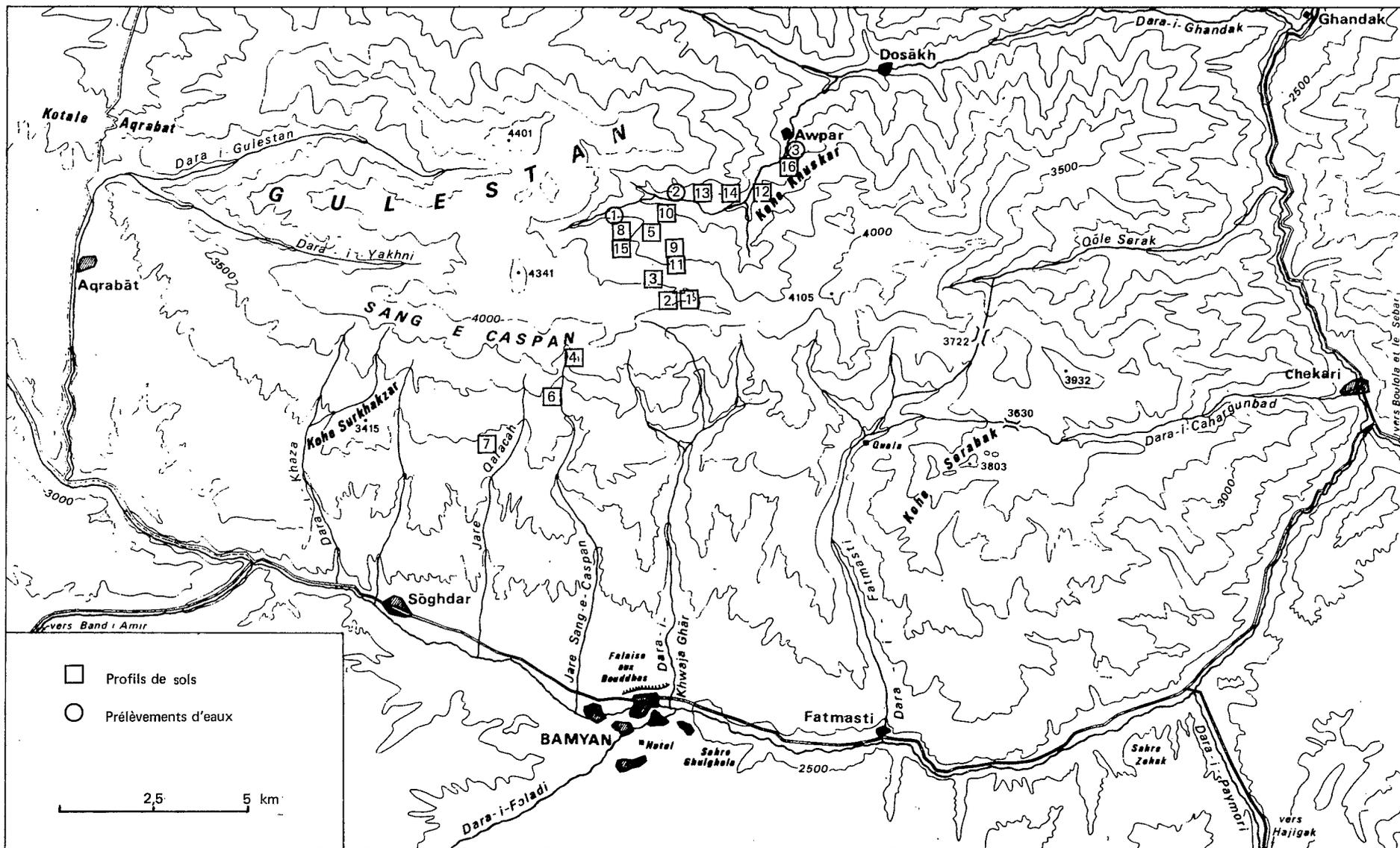


Figure 18 - Carte topographique et de situation des différents prélèvements dans la Montagne de Bamyan.

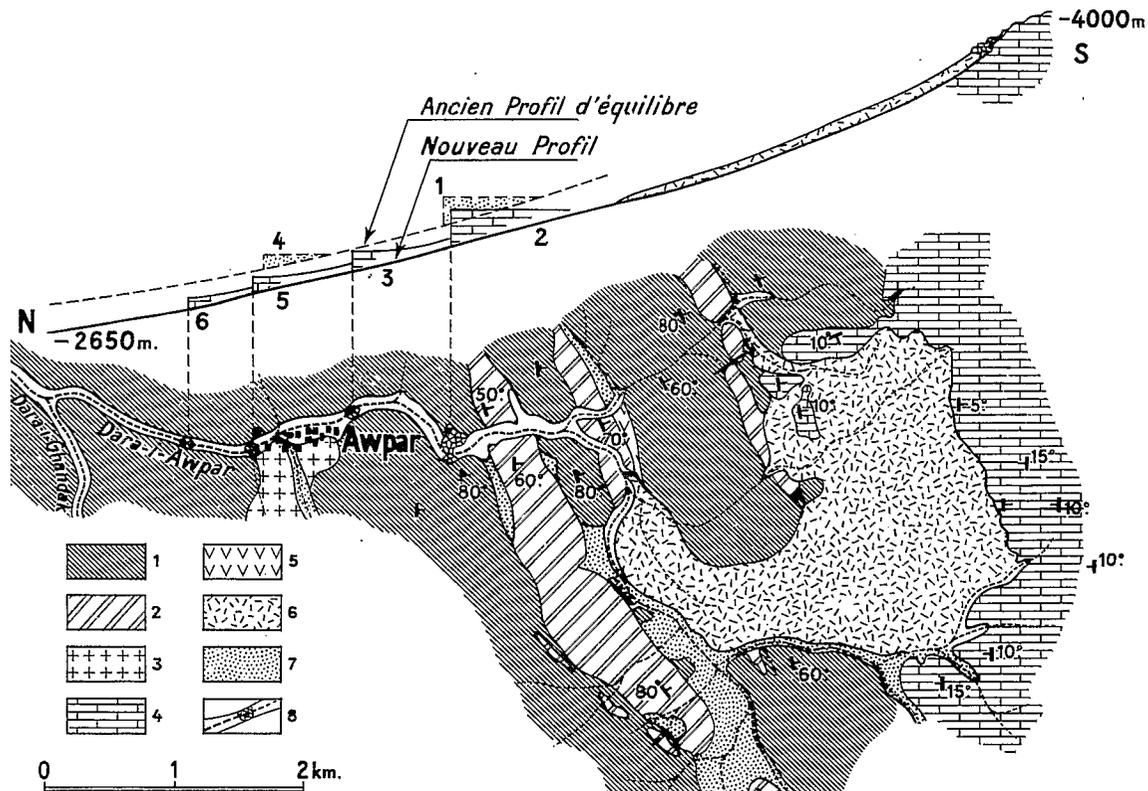


Figure 19 - Carte géologique du versant N de la Montagne de Bamyan.
 Profils d'équilibre de la rivière d'Awpar et position des différents barrages de travertin.
 1 - Formations anciennes ; 2 - Calcaires anté-crétacés compris dans ces formations ; 3 - Granite d' Awpar ;
 4 - Crétacé supérieur ; 5 - Rhyolite ; 6 - Produits de colluvionnement du Crétacé ; 7 - Eboulis ; 8 - La rivière
 d'Awpar, ses alluvions et les barrages de travertins.

2 - LE RESEAU HYDROGRAPHIQUE

C'est près du sommet vers 4000-4200 m d'altitude que prend naissance la rivière Awpar. Elle résulte de la réunion de plusieurs sources qui sourdent non loin de la ligne de crête à la base d'un aplomb d'une dizaine de mètres que constitue celle-ci.

Il y a une dissymétrie climatique très nette entre le versant N où coule de façon permanente cette rivière torrentielle et le versant S formé d'une succession de vallées sèches une grande partie de l'année qui, en se réunissant, vont donner les vallées de Qal'acach, Sange Caspan...

LE VERSANT NORD

Dans la partie sommitale entre 4000 et 3200 m les pentes du massif de calcaire et calcaire marneux crétacés sont composées de nombreux blocs erratiques de roches qui lui donnent un aspect chaotique contrastant avec les éboulis sur schistes voisins et les barres bien découpées de calcaire anté-crétacé. Au pied de la falaise calcaire subsistent toute l'année des névés ou des blocs de glace qui servent à l'alimentation des sources, abondantes sur ce versant.

La rivière d'Awpar, vers l'altitude de 3200 m pénètre dans un étroit défilé qui la conduit en 3 à 4 km, par un cours torrentueux, dans la vallée de Ghandak, à une altitude de 2500 m. En amont, la rivière recoupe des barres calcaires anté-crétacées à fort pendage S, tandis qu'au village d'Awpar, elle coupe à l'E un petit massif granitique. Une succession de barrages en travertin s'observe dans l'étroite vallée entre 3000 et 2600 m. Deux séries de barrages se sont édifiées dans le temps. Les plus anciens qui correspondent à un ancien profil d'équilibre ont été démantelés lors d'un recréusement postérieur de la vallée. Une deuxième série de barrages s'est édifiée sur le nouveau profil d'équilibre établi. Certains sont encore partiellement fonctionnels bien que plus ou moins fracturés dans leur partie supérieure. Les eaux s'infiltrèrent alors dans

la masse du barrage par des chenaux pour ressortir en cascades en contrebas. Nous distinguerons les barrages de l'ancien, puis ceux du nouveau profil d'équilibre.

Ancien profil d'équilibre :

- barrage 1 : situé à l'entrée des gorges, on l'observe en lambeaux sur le versant oriental, sur une hauteur d'une centaine de mètres. Il se présente de la façon suivante dans sa partie supérieure :
 - sur 1 à 2 m : travertin à feuillet horizontaux avec petites stalactites à la base des feuillet légèrement ferrugineux. Il est de couleur rosée, très vésiculaire à aspect scoriacé,
 - sur 3 m : conglomérat encroûté par le calcaire, très grossier à galets roulés de calcaire anté-crétacé et crétacé, de grès permien, de roche volcanique rougeâtre, de schistes et micaschistes. L'ensemble est légèrement stratifié, subhorizontal, relativement fin au sommet (galets de 1 à 2 cm) puis plus grossier (2 à 5 cm). Ce conglomérat peut être interprété comme les vestiges d'une ancienne moraine cimentée ultérieurement par le calcaire,
 - sur plusieurs mètres : à nouveau le travertin qui présente alors des stratifications limoneuses et calcaires (loess?) pouvant atteindre 60 cm d'épaisseur.
- barrage 4 : ses vestiges font une trentaine de mètres de haut. Il surplombe le cours actuel de 40 m. Sa base est marquée par des galets roulés de l'ancien lit, au-dessus desquels s'observent des sables beiges ou gris-noirs cimentés par le calcaire, eux-mêmes recouverts par plusieurs strates de calcite rubannée, précédant le travertin classique qui occupe la plus grande épaisseur. Vers le sommet, il se présente en stratifications à léger pendage s'abaissant vers la vallée.

Nouveau profil d'équilibre :

- barrage 2 : accolé au barrage 1 qui le domine de 20 à 25 m, il atteint, comme celui-ci, une centaine de mètres. C'est le plus important de tous les nouveaux barrages,
- barrage 3 : s'élève à une soixantaine de mètres au-dessus du lit actuel,
- barrage 5 : situé presque à l'aplomb du quatrième barrage, il a une hauteur de 20 à 25 m,
- barrage 6 : sa hauteur est équivalente à celle du précédent.

On remarque en outre, à quelques centaines de mètres de la vallée de Ghandak, les restes d'un septième barrage accolés à la paroi du ravin.

Les travertins sont essentiellement constitués de calcite (Ca CO₃ : 85 à 95%. Fraction colloïdale : illite dominante, chlorite moindre, montmorillonite en plus faible quantité). Ils sont friables, légers, caverneux, de couleur claire, brun très pâle (10 YR 8/3). De très nombreuses empreintes de feuilles correspondant en grande majorité à des feuillages de Salicacées voisins de ceux des espèces qui poussent actuellement en bordure du cours d'eau, sont visibles, ainsi que des empreintes de mousses. Ces travertins sont perforés de canaux de différents calibres, tapissés de recristallisations de calcite.

Entre chacun des barrages, le torrent cascade sur un lit caillouteux parsemé de gros blocs rocheux. Il court dans des travertins épais de 3 à 4 m. Dans les endroits où la vallée s'élargit, des dépôts alluviaux forment terrasse et portent les cultures.

Sur les bords du cours d'eau en eaux calmes se déposent des boues calcaires (Ca CO₃ - calcite - : 71,7%. Fraction colloïdale : illite dominante, chlorite moindre).

Des datations isotopiques au Carbone 14 sur les travertins de trois de ces barrages ont donné les résultats suivants :

- 4^e barrage (ancien profil d'équilibre) : base > 40.000 ans BP, partie médiane > 40.000 ans BP, sommet 24.750 ± 700 ans BP,
- 5^e barrage (nouveau profil d'équilibre) : base 14.230 ± 190 ans BP, sommet : 11.670 ± 165 ans BP,
- 3^e barrage (nouveau profil d'équilibre) : sommet : 11.840 ± 170 ans BP.

Les interprétations de ces datations, ainsi que celles concernant la rupture de la première série de barrages et la présence de vestiges de moraines seront données lors de la reconstitution de l'histoire géologique récente.

LE VERSANT SUD

Sur ce versant s'observent de nombreuses coulées de matériel crétacé dont le départ a lieu dans les zones marneuses. Ces coulées entraînent, comme sur l'autre versant, des chaos de blocs calcaires. Leur mise en place ne peut s'expliquer que par des phénomènes de solifluxion anciens ou actuels. Elles sont de morphologie, de taille et de composition diverses, constituées surtout de blocs calcaires emballés dans des fragments de calcaires marneux et de marnes. On note aussi sur ce versant, au pied des falaises sommitales d'énormes pans de calcaires crétacés basculés par la solifluxion agissant sur les marnes sous-jacentes.

En contrebas de ces coulées de solifluxion, au milieu desquelles affleurent par places des barres de calcaires anté-crétacés, s'observe une dépression fermée de 200 à 300 m de diamètre, couverte d'un tapis graminéen relativement dense par comparaison avec celui très clairsemé des pentes du massif. Ceinturée de coulées pierreuses, elle présente en son centre des sols gris-brun, limono-argileux, craquelés qui paraissent le résultat de phénomènes de dissolution de calcaires blancs que l'on voit en affleurements par taches. Cette cuvette débouche sur une vallée sèche très caillouteuse. Une source jaillit à mi-parcours, peu avant une rupture de pente, vers 3200m. Peu en contrebas, deux cônes de déjection superposés de 200 à 300 m² se sont constitués là. Leur matériau, fait de terre brune argilo-limoneuse finement polyédrique et très structurée, contraste avec les abords en éboulis calcaires grossiers. L'origine de ce matériau nous est fournie par la présence d'abondants petits agrégats polyédriques de terre trouvés dans la vasque caillouteuse où la source fait 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 paraît actuellement très fonctionnel et s'apparenterait à la catégorie des cuvettes cryohydriques (A.F de LAPPARENT, E. BOUYX et J. PIAS 1972).

3 - LES EAUX (*)

Les eaux prélevées dans la montagne de Bamyan sont très peu minéralisées. L'échantillon No 1 qui est celui d'une source située près de la ligne de crête est carbonaté calcique (Ca/S : 94,0%, Mg/S : 4,0 % CO₃/S : 98,6%), les deux autres sont plus riches en magnésium (No 2 : Ca/S : 66,8%, Mg/S : 23,7%, CO₃/S : 86,4% . No 3 Ca/S : 67,6%, Mg/S : 25,4%, CO₃/S : 89,6%).

Malgré leur faible minéralisation (1), ces eaux à pH de 8,2 sont à l'origine des boues calcitiques qui s'observent dans les anses de la rivière en eaux calmes (No 3 prélevé près du village d'Awpar) et des dépôts identiques constituant les profils 13 et 14 (Echantillon No 2).

Les eaux des lacs de Band I Amir et celles de la mare prélevées entre Bamyan et Band I Amir apparaissent plus fortement minéralisées. Elles sont :

— carbonatées magnésiennes et calciques pour l'échantillon No 5 de la mare résiduelle (Ca/S : 33,0%, Mg/S : 40,7%),

— carbonatées sodiques, magnésiennes et calciques No 6 prélevé sur la bordure du lac de Band I Amir près de l'hôtel (Na/S : 43,3%, Mg/S : 28,9%, Ca/S : 25,1%),

— carbonatées calciques magnésiennes et sodiques No 32 (Ca/S : 41,6%, Mg/S : 32,3%, Na/S : 23,6%).

Toutes ces eaux contiennent relativement peu de silice (3,2 à 11,5 mg/l).

La minéralisation de ces eaux n'a rien de comparable à celle des sources qui sourdent dans le Bassin intramontagneux de Bamyan et dans la vallée rouge (Cf. Les travertins).

(*) Voir Annexes 1-2-3.

(1) Il est certain que la minéralisation de ces eaux doit subir des variations importantes en cours d'année.

4 - LE CLIMAT

Nous disposons ici des relevés de la station de Bamyan. Ces données ne portent que sur une période très courte de 2 ans et 3 mois. Située à une altitude de 2550 m par $34^{\circ} 39'$ de latitude N et $67^{\circ} 49'$ de longitude E, la moyenne pluviométrique annuelle (148mm) de cette station est inférieure à celle de Kabul (329mm). Panjaw (Latitude $34^{\circ} 23' N$ - Longitude $67^{\circ} 02' E$), située au S-O de Bamyan à une altitude de 2710 m possède une moyenne sensiblement plus élevée : 298 mm (période 1965-1970).

De par leur situation en des cuvettes ou des vallées très resserrées, il est possible d'admettre pour ces deux villes des microclimats ne reflétant qu'imparfaitement les conditions climatiques générales de la région. C'est pour cette raison que nous ajouterons aux relevés de ces deux stations ceux de Salang N (Altitude 3366 m. Latitude $35^{\circ} 12' N$. Longitude $69^{\circ} 01' E$. Période 1960-1970) et Salang S (Altitude 3172m . Latitude $35^{\circ} 18' N$. Longitude $69^{\circ} 04' E$. Période 1962-1970) puisque nous ne possédons aucun relevé de sommet de massif autre que ceux-ci. Ces deux derniers postes feront par ailleurs ressortir la dissymétrie existante entre les deux versants (N et S).

Pluviométrie

Elle est de : 148 mm à Bamyan,
 298 mm à Panjaw;
 1121 mm à Salang N,
 1115 mm à Salang S.

Cette pluviométrie se répartit principalement pendant les mois d'automne, d'hiver et de printemps avec un maximum en mai à Bamyan (49mm), en avril à Panjaw (83mm), à Salang N et S (255 et 287mm).

Dans ces deux dernières stations les précipitations neigeuses sont importantes et les hauteurs maximales de neige varient entre 50 cm (Octobre) et 455 cm (Avril) pour Salang N. A Bamyan, pour une période différente, la hauteur maximale varie de 2 cm (Novembre) à 12 cm (Décembre-Janvier). A Panjaw, elle est plus forte cependant 3 cm (Novembre) à 95 cm (Janvier-Février). La pluviométrie apparaît donc en très rapide augmentation avec l'altitude. En fait les chiffres relevés à Salang paraissent élevés pour les types de sols observés sur la montagne de Bamyan. Une pluviométrie moyenne de 600 à 700 mm y semble plus probable.

Température

La température moyenne mensuelle et annuelle est très souvent différente d'une station à une autre.

	Moyenne mensuelle	Moyenne annuelle
Bamyan,	$-5^{\circ} 6'$ (Janvier) à $17^{\circ} 4'$ (Juillet)	$6^{\circ} 8'$
Panjaw	$-14^{\circ} 4'$ (Janvier) à $17^{\circ} 6'$ (Juillet)	$3^{\circ} 6'$
Salang N	$-10^{\circ} 1'$ (Janvier) à $9^{\circ} 1'$ (Juillet)	$-0^{\circ} 5'$
Salang S	$-7^{\circ} 7'$ (Janvier) à $12^{\circ} 3'$ (Juillet-Août)	$2^{\circ} 5'$

Les températures minimales et maximales absolues sont également très variables :

	Températures minimales	Températures maximales
Bamyan,	$-24^{\circ} 5'$ (Février)	$31^{\circ}-31^{\circ} 4'$ (Juin-Septembre)
Panjaw,	$-41^{\circ} 6'$ (Janvier)	$31^{\circ} 5'$ (Juillet)
Salang N,	$-27^{\circ} 8'$ (Février)	20° (Juillet)
Salang S,	$-23^{\circ} 8'$ (Janvier)	23° (Août)

Insolation

Elle est peu différente à Salang N et Panjaw, 2218 et 2223 heures avec un minimum en Janvier 49 heures (Panjaw) et Février 108 heures (Salang N), un maximum en Juillet, 352 et 283 heures. Elle est plus forte à Salang S (2755 heures) et non relevée à Bamyan.

Humidité

Elle est sensiblement uniforme à Bamyan dans le courant de l'année, oscillant entre 44 et 59%, plus accusée pendant la période pluvieuse (61 à 76%) contre 42 à 48% à la fin du printemps et en été à Panjaw. A Salang, elle paraît la plus forte en Mars-Avril-Mai (70-74%), période où commencent les plus importantes fontes de neige, tandis que sur le versant méridional le même maximum est moins marqué mais plus étalé (58% Janvier à 64% Avril).

Evaporation potentielle

Elle croît de Janvier à Juillet-Août :

		Total en mm
Bamyan,	33 à 184 mm	1231
Panjaw,	6 à 197 mm	1031
Salang N,	16 à 108 mm	580
Salang S,	24 à 164 mm	979

Evapotranspiration potentielle

		Total en mm
Bamyan,	5,2 (Novembre) à 114,5mm (Juillet)	568
Panjaw,	22,9 (Avril) à 117,2mm (Juillet)	504

Graphiques ombro-thermiques de BAGNOULS et GAUSSEN (Fig. 20)

Bamyan - Panjaw - Salang S - Salang N . Mois secs : Juin à Septembre

Indices climatiques

Indice d'aridité de de MARTONNE

Bamyan,	8,8
Panjaw,	21,9
Salang S,	89,2
Salang N,	118,0

Indice de HENIN et AUBERT

	D en mm		
	Argile	Limon	Sable
Bamyan,	1,8	3,55	7,1
Panjaw	31,8	52,9	89,9
Salang S	799,3	930,65	1015,2
Salang N	850,2	963,8	1036,5

Les sols susceptibles d'être observés en ces différents points vont des sols subdesertiques (Bamyan) à steppiques (Panjaw) ou à des sols marqués par un très fort lessivage (Podzolisation possible pour Salang N et S). Mais pour ces deux stations l'absence de couvert végétal se traduit par une très forte érosion, accentuée par la décomposition physique des roches (arénisation des granites...) sous l'action du gel. Les très basses températures ont aussi pour conséquence la formation de sols périglaciaires et de tourbes dans les parties mal drainées.

Indice d'EMBERGER

			Q	Etage bioclimatique
Bamyan	P	148 mm		
	M	15° 3	31,1	Semi-aride à hiverfroid
	m	-1° 7		
Panjaw	P	298 mm		
	M	12° 5	62,2	Semi-humide à hiver froid
	m	-4° 8		
Salang N	P	1121mm	547,2	} humide à hiver froid
	M	3° 7		
	m	-3° 8		
Salang S	P	1115mm	631,0	}
	M	3° 7		
	m	-0° 3		

— T° Température en degré centigrade
 - - - P Pluviométrie en mm

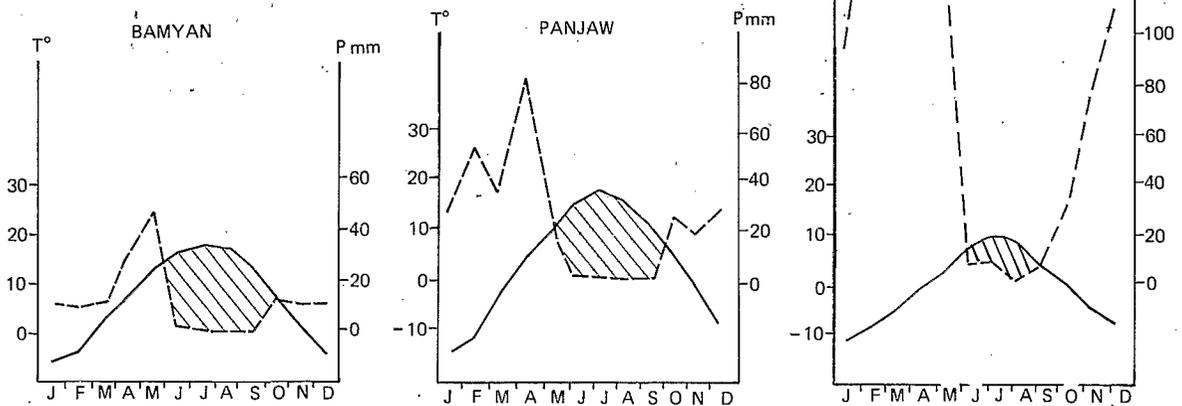


Figure 20 - Graphiques ombro-thermiques

BAMYAN

9/1968-12/1970	Janv.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Année
Pluv. en mm	12	11	12	29	49	2	0,5	0	0	9	11	12	148
j. pluie	0	0	2,5	4,5	7	0,5	1	0	0	2,7	2	0	20
j. neige	3	5	3	1,5	1	0	0	0	0	0,5	2	5	21
h. max. neige	12	12	4	10	10	0	0	0	0	0	2	12	12
t. moy. T	-5,6	-4,2	3,5	8,2	12,4	15,8	17,4	17,3	12,7	7,9	1,1	-4,0	6,8
t. max. abs.	9,5	11,0	17,7	24,8	28,0	31,0	30,7	30,0	31,4	26,0	18,4	11,7	31,0
t. min. abs.	-23,5	-24,5	-14,5	-3,0	-2,0	0,6	6,5	4,9	-2,6	-7,0	-12,5	-24,0	-24,5
Humid. %	55	53	49	54	55	50	52	47	44	52	57	59	52
Evap. Pot.	33	39	80	98	122	161	167	184	154	101	57	35	1231
ETP			25,5	39,2	71,3	98,0	114,5	104,3	64,9	45,1	5,2		568,0
Insolation													

PANJAW

1965 - 1970	Janv.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Année
Pluv. en mm	29	57	35	83	22	1	1	0	0	23	20	27	298
j. pluie	0	0,5	3	6	5	1	0,5	0	0	4	1,5	0	21,5
j. neige	9	13	11	5	0	0	0	0	0	1	4	6	49
h. max. neige	95	95	77	19	0	0	0	0	0	3	12	55	95
t. moy. T	-14,4	-11,2	-2,0	4,4	9,9	15,5	17,6	16,9	11,9	5,6	-2,0	-9,3	3,6
t. max. abs.	7,0	7,9	14,5	23,0	26,2	31,1	31,5	30,9	29,7	26,7	16,5	10,0	31,5
t. min. abs.	-40,4	-41,6	-25,4	-21,4	-7,5	-1,5	1,5	0,9	-5,5	-9,4	-21,0	-36,5	-41,6
Humid. %	73	76	74	73	58	48	45	42	42	56	61	70	60
Evap. Pot.	6	9	27	46	100	165	193	197	153	80	40	15	1031
ETP				22,9	64,4	97,2	117,2	104,3	64,9	33,1			504,0
Insolation	49	144	180	211	286	348	352	346	305	250	186	166	2223

SALANG-NORD

1960 - 1970	Janv.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Année
Pluv. en mm	96	168	215	255	139	9	9	2	7	32	76	113	1121
j. pluie	0,1	0,1	1	3	6	3	3,4	1	1	1	0,4	0	20
j. neige	12	16	18	17	12	1	0	0,2	1	9	9	12	107,2
h. max. neige	353	305	383	455	366	20	0	2	4	50	184	320	455
t. moy. 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
t. max. abs.	4,0	4,9	8,7	10,8	15,5	18,4	20,0	19,8	19,0	16,0	9,5	4,1	20,0
t. min. abs.	-25,7	-27,8	-21,5	-17,8	-11,0	-2,8	0,7	-2,4	-8,9	-12,5	-19,8	-26,8	-27,8
Humid. %	59	68	70	74	72	60	52	55	60	64	61	59	63
Evap. Pot.	18	16	24	30	41	79	108	97	67	45	32	23	580
ETP													
Insolation	119	108	125	145	207	271	283	280	226	183	149	122	2218

SALANG SUD

(Voir Logar)

Evaporation potentielle, ETP en mm - Insolation en heures.

5 - LA VEGETATION

Elle est caractérisée sur les parties hautes ou sur les pentes des massifs qui nous intéressent ici par une steppe désertique représentée par une strate herbacée très clairsemée, de 10 à 20 cm de hauteur, composée de quelques *Cousinia*. Ceux-ci sont parfois plus abondants sur des sols apparemment plus profonds et associés à des graminées du genre *Panicum* qui se développent par touffes denses mais très espacées.

Le long des sources, surtout sur le versant N et de façon moindre dans la doline du versant méridional, le couvert graminéen constitue des tapis ras et denses dont les racines forment un épais feutrage, à l'origine des sols tourbeux, dans les endroits très humides.

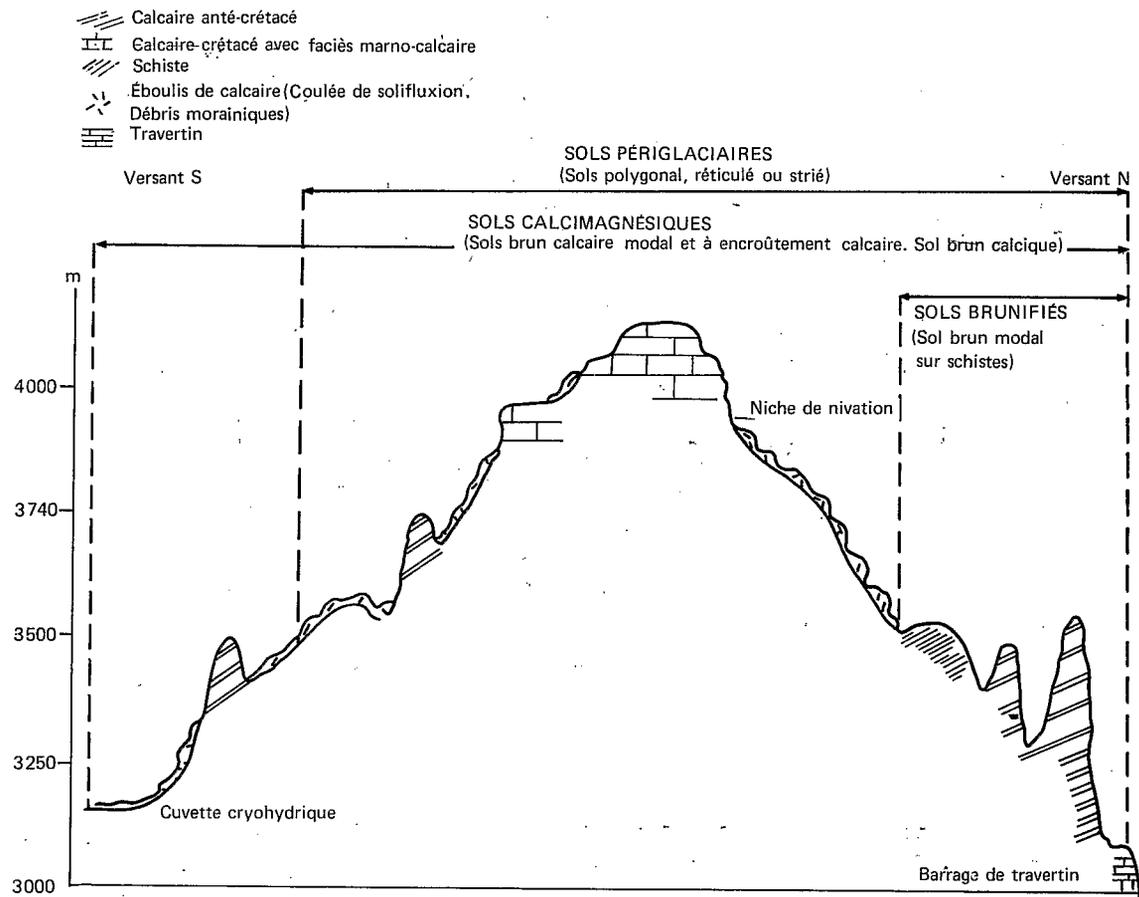


Figure 21 - Coupe schématique de la Montagne de Bamyan et position des grands types de sol.

6 - LES SOLS (*)

On observe en altitude une grande variété de sols qui appartiennent aux classes suivantes :

- sols calcimagnésiques,
- sols brunifiés,
- sols hydromorphes,
- sols peu évolués à permagel,

Toutes ces observations pédologiques se situent souvent au-dessus de la limite des cultures (3200 à 3300m). Elles montrent cependant que la pédogenèse des sols de piedmont est étroitement liée aux processus qui se passent à haute altitude.

Ces différentes classes se répartissent en fonction de l'altitude (Fig. 21) en même temps qu'elles s'interpénètrent en fonction de la situation topographique et de la nature des roches.

6.1 SOLS CALCIMAGNESIQUES

Ces sols se développent sur les marnes et les calcaires marneux en plaquettes du Crétacé supérieur ou leurs colluvions.

Ils se voient dans les parties les moins ventées, à l'abri des très fortes variations climatiques.

6.1.1 Sols saturés

Sols bruns calciques

Ils s'observent dans des niches de nivation de la face N (altitude 4000m) où demeurent en Juillet, collés à la paroi rocheuse, des blocs de glace. Ces sols occupent au pied de la falaise, haute ici d'une dizaine de mètres, des superficies discontinues de 10 à 20 m², s'étirant sur la pente où ils disparaissent rapidement. Ces surfaces sont séparées les unes des autres par des sols bruns calcaires à nombreux éboulis superficiels de roches calcaires. Elles sont entaillées de rigoles peu profondes (5 à 10 cm) d'écoulement des eaux et couvertes par une herbe rase disposée par petites touffes. En surface se dessine un très vague réseau de fentes de retrait disposé en polygones.

Profil B 3

- 0-15 cm : brun-noir (10 YR 4/1), limoneux, sec, polyédrique fin à tendance pulvérulente. Très abondantes racines,
A
15-45 cm : noir (10 YR 3/1), limoneux, humide, assez massif à débit polyédrique et cohésion faible.
(B) Quelques débris de roches calcaires blanches très arrondies, allant de la grosseur d'une tête d'épingle à 1 cm, rarement plus. Pas de fentes de retrait. Quelques racines,
45-70 cm : identique mais plus sec et alors mieux structuré et polyédrique fin. Nombreux cailloux plus
(B) C grossiers, arrondis ou non. Quelques petites racines.

Ce sol limoneux, faiblement limono-argileux, a un pH de surface peu acide (6,7), alcalin en profondeur (8,2). Il est riche superficiellement en carbone (11,3‰) et azote (6,6‰) et de façon moindre en profondeur : C (14,9-15,8‰), N (1,22-1,26‰).

L'horizon A tend légèrement vers un horizon tourbeux, du fait de la forte humidité, ce qui explique le rapport C/N élevé de cet horizon (18,8).

Ce profil présente peu de Ca CO₃ total (0,5-6%) pour 10 à 20‰ de calcaire actif. Encore ce calcaire se trouve-t-il sous forme de fins éléments de roches arrondis, en voie de dissolution. Le complexe absorbant est saturé par les ions Ca. Les teneurs en magnésium décroissent en profondeur (1,84 à 1,05 me%), celles de K sont plus constantes (0,4-0,23-0,3 me%). Il y a peu de Na échangeable (0,03 à 0,07 me%).

(*) Voir Annexe 9.

P205 total est en quantité supérieure à 1‰ (1,4 à 1,23) pour 28 à 18 ppm d'assimilable.

Le profil B 7 prélevé dans la doline sur le versant méridional se rapproche par sa partie supérieure du profil précédent tandis que les horizons profonds sont ceux d'un sol brun calcaire modal.

Le sol est assez fortement décarbonaté en surface (Ca CO₃ total 9,6% pour 20‰ de calcaire actif. 0-20 cm), avec un pH de 8,2. En profondeur il atteint 24,2% de Ca CO₃ total pour 40‰ de calcaire actif et un pH de 8,4. Les taux de C et N sont ici beaucoup plus faibles (C : 12,5 - 6,3‰, N : 1,07-0,68‰ : C/N : 11,7-9,3).

La comparaison des profils B 3 et 7 marque l'opposition des versants. Chacun de ces profils subit une percolation intense par les eaux de fonte des neiges, percolation très intermittente, limitée au printemps pour le profil B 7 (versant S), pratiquement permanente dans le cas du profil B 3 (face N) où la fonte est particulièrement lente.

6.1.2 Sols carbonatés

Sols bruns calcaires modaux

On les observe sur l'ensemble du massif, principalement sur les calcaires tendres ou marneux et les calcaires en plaquettes où ils sont moins épais mais le plus souvent sur des colluvions de calcaires détritiques.

Les profils observés sont de type A (B) C ou A (B) Ca C et se développent sur des pentes plus ou moins importantes.

- A : coloration plus ou moins foncée, gris-brun, gris-noir (10 YR 4/1 - 7,5 YR 3/1, 4/1, limono-argileux, limono-sableux. Structure finement polyédrique fine ou moyenne mais alors se délitant facilement en petits polyèdres. Cohésion et compacité faibles. Abondant chevelu racinaire. Le calcaire détritique que l'on observe présente parfois de très faibles recristallisations de calcite formant une fine « barbe » sur la face inférieure des cailloux. Epaisseur moyenne : 15 cm,
- (B) : brun à brun-beige (10 YR 5/2-5/3-6/3). Texture variable : limono-sableuse à limono-argileuse.
- (B) Ca : structure polyédrique fine à moyenne mais parfois grossière pour les textures les plus argileuses. Suivant celles-ci, la compacité et la cohésion sont plus ou moins fortes. La ségrégation calcaire lorsqu'elle existe est peu développée et apparaît sous forme de points blancs. Racines peu abondantes. Epaisseur 20 à 60 cm.
- C : — calcaires blancs en plaquettes présentant des recristallisations de calcite entre les feuilletts, — limon-argileux à abondantes masses calcaires blanches, massives ou éclatées en écailles disposées en rosace autour d'un noyau central (marnes et calcaires détritiques).

Le gradient calcaire de ces profils est très variable. Il est relativement faible dans le profil B 6 sur calcaire en plaquettes :

- A : 17,5% Ca CO₃ total : 30‰ calcaire actif,
- (B) : 23,3% Ca CO₃ total : 90‰ calcaire actif,

Ce gradient est à l'inverse très marqué dans le profil B 9 sur colluvions détritiques, particulièrement riches en Ca CO₃ :

- Ca CO₃ total % : A0 42,1. A1 31,8. (B) Ca 64,5. C 69,0,
- Calcaire actif ‰ : A0 40. A1 10. (B) Ca 90. C 80.

Dans le premier profil les pH varient entre 8,5 et 8,7, dans le second entre 8,2 et 8,9.

Les teneurs en C et N sont variables, assez élevées en surface dans le profil B 9 (C : 29,9 et 35,3‰, N : 1,57 et 2,71‰. C/N : 19 et 13), plus faibles dans le profil B 6 (C : 10,5‰ N : 0,87‰ C/N : 12,1). En profondeur ces valeurs de C et N tombent rapidement en dessous de 10 et 1‰.

Le complexe absorbant est saturé en Ca . Mg a des valeurs variables (0,3 à 1,5 me% profil B 9 . 5-6,25 me% profil B 6).

- K décroît en profondeur (1,5 à 0,8 profil B 6 . 1,47 à 0,23 me% profil B 9),
- Na a des valeurs faibles (0,07 à 0,17 me%).

Les teneurs en P205 total et assimilable sont comprises entre 1,35 et 0,62‰ et 48 et 6 ppm (profil B 9) et 1,47 et 1,20‰ et 65 et 35 ppm (profil B 6).

Sols bruns calcaires à encroûtement

Ils s'observent avec les précédents mais plus rarement.

Profil B 8 sur pente (10 à 15%).

- 0-3 cm : gris-noir foncé (7,5 YR 3/1), sablo-argileux, structure polyédrique très fine, cohésion et compacité faibles. Chevelu dense de racines de buissons épineux de 10 à 20 cm de haut du genre *Cousinia*,
A0
3-25 cm : gris-brun (10 YR 4/1), identique, compacité plus grande, structure polyédrique moyenne se débitant en petits polyèdres. Racines abondantes,
A1
25-40 cm : brun-beige, identique, à points blancs calcaires, très compact, structure polyédrique moyenne
B1 Ca à grossière avec également prismes,
40-80 cm : encroûtement calcaire blanc se débitant en fins polyèdres vers le haut, pris en masse assez
B2 Ca compact vers le bas. Peu de racines. Quelques cailloux calcaires,
80-120 cm : gris à taches rouille (5 GY 5/1), texture identique, structure polyédrique moyenne. Cailloux
B3 g C calcaires s'exfoliant en fines pellicules.

Ce profil présente un gradient de calcaire assez marqué :

- Ca C03 total % : A0 61,0 - A1 57,1 - B1 Ca 57,1 - B2 Ca 85,7 - B3 g C 72,4.
– calcaire actif‰ : 60 90 100 100 100

Les cailloux calcaires, très abondants superficiellement, sont pratiquement inexistant dans le profil (2 à 5,8%).

Les pH varient entre 8,5 et 8,9.

Les teneurs en C et N sont relativement élevées et décroissent en profondeur (C : 21,9 (A0) à 3,55 (B2 Ca)‰. N : 1,52 à 0,29‰. C/N : 14,4 à 12,4).

Dans un complexe saturé en ions Ca, Mg est croissant dans les horizons A0, A1, B1 Ca (1,58 à 2,36 me%), faible dans B2 Ca, et la roche mère B3 g C (0,27 me%).

- K décroît régulièrement (1,24 à 0,27 me%),
– Na est faible (0,07 à 0,13 me%).

Les teneurs en P205 total et assimilable sont plus faibles que dans le cas précédent (0,80 à 0,55‰ pour 26 à 10 ppm).

Dans cette classe des sols calcimagnésiques, les profils B 3 (Sol brun calcique) et B 8 (Sol brun calcaire à encroûtement) représentent les termes extrêmes de l'évolution pédogénétique entre lesquels existent de nombreux intermédiaires en fonction de la pente, de l'importance du lessivage oblique du calcaire, de phénomènes de colluvionnement... Dans ces intermédiaires, l'horizon B Ca peut faire défaut (profil B 6) ou être à peine marqué (profil B 9). Dans certains de ceux-ci la décarbonatation, moins accusée que dans le profil B 3 sera limitée à la partie supérieure des profils.

6.2 SOLS BRUNIFIES

Malgré la rigueur du climat montagnard ces sols paraissent devoir être placés dans la sous classe des sols brunifiés à *climat tempéré humide* de par leur morphologie et leurs caractères physiques et chimiques.

Sols bruns

Ils se développent sur les terrains les plus anciens et sur roches non calcaires (schistes et micaschistes) encore que dans certains cas un saupoudrage très superficiel de loess peut modifier, pour les horizons de surface, les caractéristiques chimiques (degré de saturation plus élevé, pH alors voisin de 8.....).

Il s'agit de sols de pente (10 à 30-40%) se formant sous végétation de steppe subdésertique mais souvent plus dense à *Cousinia*, graminées, chardon....

Les schistes de couleur verdâtre forment des collines aux formes molles, au sommet desquelles affleurent les calcaires anté-crétacés.

Les profils sont de type A (B) C.

Profil B 5

0-10 cm : brun (10 YR 5/3), limoneux à limono-argileux à nombreux éléments de schistes. Structure A faiblement polyédrique à tendance pulvérulente. Peu compact. Cohésion faible,
10-30 cm : brun clair (10 YR 5,5/3). Texture identique. Structure polyédrique moyenne à fine un peu (B) mieux développée. Débris de schistes,
30 cm ... : schistes verdâtres, friables, très abondants mais fragmentés avec peu d'éléments fins.

Nombreuses racines dans l'ensemble du profil.

Ce profil a des teneurs assez élevées en C et N, notamment en surface (C : 40,2‰, N : 3,08‰, C/N : 13,1), moindres dans l'horizon (B) (C : 16‰, N : 1,51‰, C/N : 10,6).

Les pH sont neutres à faiblement alcalins (7,6-7,4), ce qui se traduit par un complexe presque saturé (S/T = 97%), principalement par Ca (21,7-9,75 me%). Mg est moins élevé (1,5-2,7 me %). K est fort (2,40-1,91 me %), Na reste toujours également faible (> 0,1 me %).

Il n'a pas été observé dans les profils de la montagne de Bamyan de Ca CO₃. Nous verrons dans d'autres profils de ces sols la grande variabilité des pH et du degré de saturation.

6.3 SOLS HYDROMORPHES

On les trouve dans le domaine des calcaires marneux et de leurs éboulis sur le versant N, le long des sources qui prennent naissance au pied de l'abrupt formé par la falaise calcaire où se voient par taches les sols bruns calciques. Ces sols occupent une place importante dans le paysage par leur surface verdoyante contrastant avec l'allure pelée de l'ensemble de la région.

Il s'agit de *sols hydromorphes organiques à tourbe semi-fibreuse ou altérée eutrophe*.

Profil B 10 prélevé au bord d'un ruisseau large de 1 m, cascasant sur un cailloutis calcaire formant son lit. Les rives sont couvertes d'une herbe rase, dense et verte à abondant chevelu racinaire.

0-30 cm : tourbe noire spongieuse, très humide,

A0

30-60 cm : brun-rouille (10 YR 4/3) par taches abondantes, argilo-limoneux. Sans cailloux calcaire. Humide. Plastique. Les racines peu abondantes contrastent avec le chevelu racinaire de la partie supérieure.

L'horizon Bg C repose sur un cailloutis de calcaire détritique très dense identique à celui formant le lit du cours d'eau.

Ces sols qui sont étroitement localisés aux rives passent latéralement aux sols carbonatés bruns calcaires modaux ou à encroûtement calcaire.

Les analyses physico-chimiques révèlent :

- la texture argilo-limoneuse de l'horizon Bg C (Argile 45%. Limons fin et grossier 33,5%) et le peu de sables fin et grossier (SF : 9,6%. SG : 4,1%),
- la forte teneur en matière organique de l'horizon tourbeux (C 208‰ pour 18,8‰ de N. C/N : 11,1), comparé à l'horizon sous-jacent (C : 23,2‰, N : 2,33‰, C/N : 10).
- le pH alcalin de Bg C (8,1),
- les teneurs en Ca CO₃ relativement élevées comparées à celles de sols carbonatés et surtout calciques (16,3% total pour 50‰ de calcaire actif),
- la saturation du complexe par Ca,

- des teneurs en Mg plus élevées en surface (2,5 me%) qu'en profondeur (0,30 me%),
- des valeurs de K fortes et décroissantes (1,25 à 0,70 me%),
- des taux de Na non excessifs et décroissants (0,40 à 0,17 me%),
- des teneurs de P205 total élevées, mais faibles d'assimilable (2,80 à 1,57 ‰ pour 53 à 20 ppm).

6.4 SOLS PEU EVOLUES

6.4.1 A permagel,

- xx sans ségrégation importante de glace, à réseau organisé,
- x sols polygonaux ou réticulés.

Ils commencent à s'observer dans le domaine périglaciaire à partir de 3200-3500m où ils se développent sur des matériaux trachy-andésitiques ou calcaires. 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 masquant alors celles-ci.

Sur pentes plus fortes, les sols réticulés font place à des sols striés, avec coulées de pierres parallèles, puis à des sols d'érosion très caillouteux dès la surface. Les sols striés sont fréquents au-dessus de 4100m. On les voit en particulier sur les pentes SE et SO du sommet (4341m), et au versant N du sommet 4280m.

En première approximation, les sols polygonaux et réticulés apparaissent plus fréquemment sur la plateforme sommitale, les différents sommets et le versant S plus secs que sur le versant N plus humide, non pas tant par les précipitations plus importantes que par la lente fonte des neiges accumulées pendant le long hiver.

Sur *roche trachy-andésitique*, vraisemblablement en mélange avec des apports colluviaux de calcaire, le profil est de type A C.

Profil B 2. Altitude 4000 m. Sol de pente (5 à 10%).

0-5 cm : gris-beige (10 YR 6/2), limoneux avec abondant petit cailloutis, structure polyédrique moyenne, compacité et cohésion faibles, porosité vésiculaire,
 A11
 5-45 cm : légèrement humide, identique mais structure fondue à tendance particulière avec cailloux plus
 A12 abondants et plus grossiers. De plus en plus humide en profondeur,
 45-70 cm : très humide et froid mais non gelé (nous sommes en Septembre 1970), limono-argileux, rouge
 C (10 R 4/6) provenant de la décomposition de la roche volcanique présente sous forme d'abondants cailloux anguleux.

A la surface de ce profil situé entre deux bancs calcaires ennoyés dans des trachy-andésites et des cendres volcaniques stratifiées, abondant cailloutis anguleux de 1 à 2 cm, parfois 5 cm (calcaire et roche volcanique). Polygones étirés dans le sens de la pente.

Ce profil carbonaté, avec des pH de 8,3 à 8,5, ne présente pas de gradient de calcaire total (20 à 23%) ou actif (20 ‰).

Son complexe est saturé en ion Ca.

Aucune remarque particulière très significative n'est à faire sur les autres cations.

Les teneurs en C dans les horizons A11 et A12 sont légèrement inférieures à 10 ‰ (N : 1,06-1,36 ‰ C/N : 8,8-7,1).

Un profil voisin (B 1), présente superficiellement une maille de polygones analogues, un profil AC non carbonaté (Ca CO3 total 0,1-0,2%) sur roche trachy-andésitique. Les pH sont légèrement moins élevés (7,7-7,9) mais le complexe toujours saturé par Ca.

Sur calcaire dur (profil B 12), en l'occurrence un travertin lamellaire, interstratifié de couches limoneuses épaisses de 20 à 40 cm, observé sur la plateforme du barrage 1 se développe un sol polygonal (mailles de 4 à 5 cm d'ouverture, profondes de 1 à 2 cm, larges de quelques mm à 1/2 cm). Il est limoneux à limono-argileux, peu épais, finement lamellaire et à porosité vésiculaire bien développée en A11 (0-3cm) où peut s'observer quelques petits amas calcaires très difformes. L'horizon A12 (B) (3-20cm), beige, particulière à finement polyédrique, à compacité et cohésion faibles, présente des amas calcaires identiques ou formant des plaquettes de 1 à 10 cm de diamètre. C est constitué d'une dalle calcaire continue, très dure, formée par un travertin consolidé par des recristallisations de calcite.

Un gradient calcaire apparaît ici (Ca CO₃ total : 29,1 à 42,5%. Calcaire actif 50 à 70‰). Il est possible que les amas calcaires observés soient des fragments de travertin ayant subi des dissolutions et recristallisations.

Sur calcaire tendre ou calcaire marneux en place ou colluvionné les profils présentent un degré d'évolution nettement plus élevé et sont alors de type A (B) Ca C.

Profil B 4 en versant S sur plateforme plane vers 3800 m.

En surface, cailloux calcaires anguleux ou subanguleux de 4 à 5 cm de diamètre jusqu'à 20-40 cm. Ils couvrent, suivant les endroits, de 20 à 70% de la surface qui est marquée par des polygones réguliers de 10 à 15 cm de diamètre. Fentes de retrait descendant jusqu'à 3 cm.

0-3 cm : brun-beige (10 YR 6/3), cubico-polyédrique, compacité et cohésion moyennes, porosité vésiculaire très développée, légère structure lamellaire, limoneux avec quelques rares cailloux calcaires de 1 à 2 cm,

3-25 cm : brun clair (10 YR 6,5/3) très caillouteux avec terre interstitielle limoneuse. Structure polyédrique moyenne à fine. Compacité et cohésion faibles. Légèrement humide,

25-60 cm : brun (10 YR 6/3) à panachage blanc dû à la ségrégation calcaire par taches abondantes. Très (B) Ca C caillouteux, les cailloux sont de différentes grosseurs, les petits (inférieurs à 1 cm) souvent très arrondis évoquent des phénomènes de dissolution du calcaire. Ils ressemblent à ceux trouvés dans le sol brun calcique (profil B 3). Structure polyédrique moyenne à fine. Compacité et cohésion faibles.

Le gradient calcaire est ici très fort (Ca CO₃ total 1-19-47,6%. Calcaire actif 10-60-50‰). L'horizon A11 pratiquement décarbonaté a un pH de 8 pour 8,6 en (B) Ca C. La coloration bigarrée ainsi que la forme arrondie du détritique calcaire de ce dernier horizon, indiquent l'importance des phénomènes de dissolution de ce matériau.

En d'autres places ces phénomènes de dissolution du calcaire peuvent être encore plus marqués sans qu'il y ait évacuation du calcaire solubilisé comme dans le sol brun calcique du pied de la falaise. Un de ces profils particuliers a été observé en versant N vers 4 000 m sur un replat au milieu de blocs d'éboulis calcaires abondants et grossiers formant une zone très chaotique. Ce crysol formait un cercle de 3 à 4 m de diamètre, au sol boursouflé et cailloutis calcaire superficiel, mais relativement bien trié par comparaison aux éboulis voisins. Ces cailloux étaient souvent aplatis, de 3 à 5 cm d'épaisseur pour un diamètre de 5 à 10 cm.

En surface, sous le cailloutis, s'observaient des fentes de retrait plus irrégulières que dans les sols polygonaux classiques et masquées par la boursouffure superficielle du sol portant sur quelques cm.

Il n'y avait aucune végétation dans la partie centrale du cercle. Celle-ci apparaissait seulement sur la bordure par petites touffes.

Profil B 15

0-10 cm : gris-brun (10 YR 5/2), limono-argileux à argilo-limoneux. Très superficiellement lamellaire sur 1 cm, polyédrique moyen avec aussi de très petits polyèdres. Cohésion faible des plus gros agrégats. Porosité tubulaire très développée. Ensemble meuble,

10-18 cm : gris-jaunâtre (10 YR 5,5/6), argilo-limoneux. Structure polyédrique légèrement plus grossière. Ensemble massif mais à cohésion assez faible. Frais à froid,

18-60 cm : gris à taches rouille, sensiblement identique en texture avec masses caillouteuses calcaires très altérées. Structure polyédrique de plus en plus grossière. Massif à cohésion moyenne à faible.

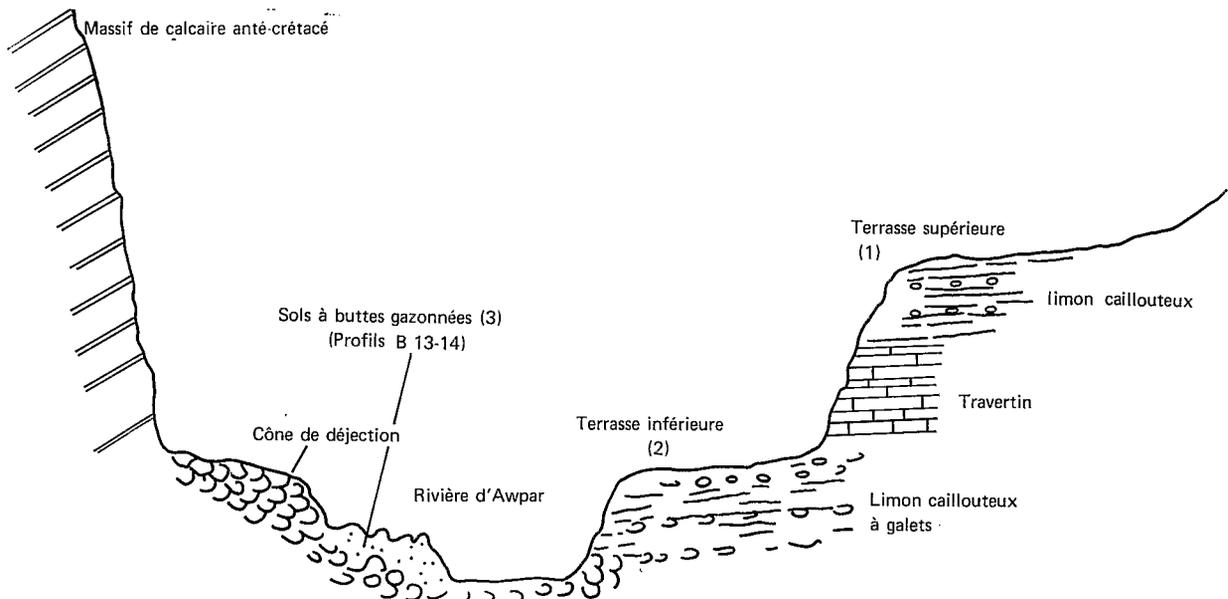
Dans ce profil, l'hydromorphie est visible dès 10 cm. Il contient en outre de fortes teneurs en Ca C03 et celles-ci sont relativement constantes sans qu'il y ait de ségrégation apparente (56,1 - 53,0 - 51,4 - 58,4%). Le gradient de calcaire actif est par contre bien marqué (80 à 165 ‰).

Dans ce profil les pH sont élevés, relativement constants 8,6-8,7. Le complexe absorbant est saturé en Ca. Les teneurs en Mg dans les horizons A11 et A12 sont inférieures à 0,05 me% tandis qu'en profondeur on retrouve des chiffres comparables à ceux déjà notés (0,30 - 2,10 me%). K a des valeurs très correctes. Na est faible.

Sols à buttes gazonnées

Ce calcaire, qui migre avec facilité (sol brun calcique), migre peu ou s'accumule mais sans donner de ségrégation apparente (profil précédent), nous conduit à l'observation de profils dans lesquels une accumulation diffuse et importante est également constatée.

Peu avant son entrée dans les gorges, après la réunion des sources qui lui ont donné naissance, la rivière Awpar traverse un petit bassin encaissé entre les massifs mais de plus faible pente où sont venus s'accumuler des sédiments et où le cours d'eau s'est constitué plusieurs terrasses.



On distingue du N - N-O au S - S-E :

— un cône de déjection en galets de calcaire anté-crétacé provenant du haut massif voisin duquel sort une source (Echantillon d'eau N° 2), qui rejoint la rivière principale. Le cône de déjection est recouvert près de celle-ci de dépôts très fins qui constituent une petite terrasse (3) couverte d'un tapis graminéen jaunâtre et discontinu de *Cynodon*. Sur cette terrasse s'observent des sols à buttes de 10 à 20 cm de hauteur, en dômes de 40 à 50 cm de diamètre. Le profil de ces sols sera décrit plus loin sur le parcours Bamyán-Band I Amir où chacune des dépressions montre des surfaces mamelonnées semblables mais plus étendues et mieux marquées. Sans entrer dans le détail des profils, dans les deux cas (butte et interbutte), sous un chevelu racinaire plus ou moins dense à horizon de couleur gris-noir ou gris blanc s'observe un sol limoneux, pulvérulent, blanc-beige, à faible hydromorphie par taches jaunâtres. Ces deux profils (B 13 et 14) contiennent des quantités importantes de Ca C03 :

Profil B-13 Ca C03 total : 88,6 à 76,2 %. Calcaire actif : 280 - 150 - 320 ‰

Profil B-14 Ca C03 total : 80,6 à 59,1 %, pour 260 à 320 ‰ de calcaire actif.

Les pH vont de 8,2 à 8,6.

- une terrasse inférieure (2), haute de 2 m environ formant la berge de la rivière. Elle est constituée de limon caillouteux interstratifié de lignes de galets roulés (Sol peu évolué d'apport).
- une terrasse supérieure (1) surplombant la rivière de 6 m environ. Elle présente un travertin épais de 2 à 3 m que l'on voit affleurer en coupe. Un sol limono-caillouteux alluvial et colluvial peu évolué, épais de 50 à 100 cm, analogue à celui de la terrasse précédente s'y développe.

Les teneurs en calcaire que nous venons d'indiquer dans les sols à buttes sont à rapprocher de la composition des boues calcaires qui se déposent actuellement sur les bords de la rivière Awpar en eaux calmes et que nous avons prélevées près du village du même nom (Ca CO₃ total 71,7%). On peut donc penser que dans les surfaces planes (profil B 15) ou mieux encore dans de micro-cuvettes ou larges dépressions (entre Bamyan et Band I Amir), les produits de dissolution des carbonates des parties amont viennent s'accumuler sans pouvoir être évacués ou tout au moins ne subissent pas les migrations importantes qui se produisent sur pente par entraînements obliques. Les produits migrés viennent se déposer dans les parties basses, là où de faibles courants ou l'absence de ceux-ci, le permettent (anses de cours d'eau en période de faible débit, terrasses basses.....).

6.4.2 Non climatiques

- xx d'apport,
- x alluvial et colluvial.

Ils constituent les terrasses à l'exemple de celles que nous venons de décrire et portent généralement les cultures jusque vers 3 300 m. Ils se superposent au travertin plus ou moins profond, que l'on voit également de façon discontinue entre les barrages sur le versant N.

Ils présentent un profil AC classique et sont diversement caillouteux avec un pourcentage élevé de limon. Ils sont également riches en Ca CO₃ total (41,5 à 43,8% dans le profil B 16) pour des teneurs en calcaire actif relativement faibles (35 à 80 ‰). Ce calcaire est distribué de façon diffuse.

B/ COL DE SEBAR (*)

Après avoir emprunté en direction de Kabul, le défilé que constituent les gorges de Bulola, la vallée s'élargit progressivement vers son amont en même temps qu'apparaissent des terrasses et les premières pentes qui conduisent au col de Sébar. Elles sont occupées par des épandages de loess recolluvionnés et alors mêlés de plus ou moins abondant cailloutis d'origine détritique.

La montée vers ce col est caractérisée, par le passage progressif de *sols à différenciation calcaire accumulation diffuse* que l'on trouve dans le bas du col, à des *sols à différenciation calcaire superficiellement décarbonatés et à horizon B Ca* blanchâtre, relativement peu profond qui s'observe surtout bien dans la partie sommitale (2 800 - 3 000 m).

En fait dans un relief très vallonné la position de l'horizon B Ca apparaît très variable dans les profils en fonction de la pente plus ou moins forte des versants. L'épaisseur des loess est cependant toujours très importante pour ces régions (150 à 200 cm). Ils sont fréquemment accompagnés d'un cailloutis détritique peu abondant sur le versant O et reposent sur des niveaux graveleux. L'épaisseur des horizons A1 est variable (40 à 100 cm) et ceci sur des distances relativement brèves. Il en est de même pour les horizons B Ca qui se terminent en profondeur par des horizons calcaires où l'hydromorphie apparaît sous forme de taches rouille et indique une circulation des eaux d'infiltration à faible profondeur.

Le profil B 17 cité comme exemple a été prélevé près du sommet. Il a été pris sous culture de blé en sec.

0-18 cm : brun, limoneux. Structure superficiellement lamellaire sur 2 à 3 cm puis polyédrique fine à tendance pulvérulente. Porosité tubulaire assez développée. Compacité et cohésion faibles,

(*) Voir Annexe 10.

18-42 cm : brun, limoneux à limono-argileux. Structure polyédrique moyenne bien développée. Compacité et cohésion moyennes, A12
42-90 cm : brun-beige, légèrement blanchâtre continu ou par taches calcaires. Structure polyédrique moyenne. Plus massif. Compacité et cohésion plus grandes, B1 Ca
90-120 cm : brun-beige, limono-caillouteux, frais. Compacité et cohésion moyennes à faibles. B2 Ca

Cet profil est voisin du B 11 (Prélevé entre Bamyan et Band I Amir). Si ses teneurs en C et N^o/₁₀₀ sont plus faibles (C : 12,0 et 7,69. N : 1,15 et 0,88 en A. C/N : 10,4 et 8,7), sa coloration est encore suffisamment accusée pour qu'il soit classé dans le sous-groupe des ombriques.

Les horizons A11 et A12 présentent un pourcentage relativement élevé d'éléments supérieurs à 2 mm, notamment A11 où ceux-ci peuvent atteindre 4 à 5 cm de diamètre.

Les teneurs en argile sont croissantes de A vers B Ca (6 à 21%), celles de limons, sables fins et grossiers relativement constantes.

Les pH sont alcalins (8 à 8,8).

Le gradient calcaire est fort (Ca CO₃ total : 0,4 - 0,2 % en A, 24,9 et 15,6 % en B Ca et B Ca C pour respectivement -135 - 45 °/100 de calcaire actif.

Le complexe est saturé par les ions Ca. Les horizons A sont calciques.

— Mg croît de A vers B Ca (2,25 à 5,70 me%),

— K décroît (1,18 à 0,19 me%),

— Na est faible (0,06 à 0,10 me%).

Un tel sol apparaît marqué par un lessivage de l'argile et du calcaire résultant d'une composante oblique dominante (forte décarbonatation des horizons A appauvris également en argile) et d'une composante verticale plus faible.

Dans la descente du col, sur le versant E à forte déclivité, s'observent dans la partie sommitale, des sols identiques mais souvent interstratifiés de niveaux plus graveleux. L'hydromorphie sur ce versant se manifeste parfois dès l'horizon A12. Les horizons B Ca apparaissent sous forme de lignes ou bandes blanches intercalées de cailloutis ou de passages plus meubles. L'hydromorphie légère est une règle générale dans les profils. Par places s'observent de très beaux profils à encroûtements sur loess et des colluvions de couleur rouille. Au pied du col de Sébar (2 700 m) débute une petite vallée que longe la route. Sur 6 km environ elle est coupée par une succession d'anciens barrages de travertin démantelés, hauts de 5 à 6 m. On en compte ainsi 5 avant une zone de confluence plus aval où le nouveau cours d'eau emprunté par la route présente lui-même deux barrages identiques successifs.

Le contraste entre les deux versants du Sébar apparaît particulièrement bien net, marqué :

— vers l'O par une dominance de sols à encroûtement calcaire, dans un relief aux formes molles,

— vers l'E par des barrages de travertin de vallée qui résultent de la migration du calcaire des parties hautes sur un versant abrupt.

C/ ITINERAIRE BAMYAN-BAND I AMIR (*)

Une succession de paysages :

Cet itinéraire recoupe les unités géomorphologiques que nous énumérerons succinctement.

Après la traversée du bassin intramontagneux de Bamyan faisant l'objet d'une étude de J. LANG, la route Bamyan - Band I Amir recoupe :

1- Un défilé qui emprunte le cours de la rivière de Bamyan, dans des roches anté-crétacées que couronne parfois la base du Crétacé puis dans des granites et des roches métamorphiques de contact. Sur les versants abrupts dominant des sols minéraux bruts et des éboulis nombreux. Les alluvions récentes formant d'étroites terrasses sont constituées :

(*) Voir Annexe 10.

- dans les rétrécissements, par des sols à buttes gazonnées qui forment une basse terrasse inondable,
- dans les parties élargies, par des sols alluviaux peu évolués sur limon beige, parfois finement stratifiés de matériaux diversement graveleux (en culture de blé). Au pied des massifs granitiques s'observent, par endroits, une terrasse formée sur des colluvions d'arène granitique. A la sortie du défilé, côté Bamyán, se perçoit également une ancienne terrasse limoneuse qui surplombe le cours d'eau, d'une dizaine de mètres. Elle s'abaisse progressivement vers l'aval.

2- Cette vallée s'ouvre en amont sur la dépression de Sahidan qui est cultivée principalement dans sa partie amont et est jalonnée de nombreux villages. Elle débute par des encroûtements calcaires blancs à gastéropodes qui prennent parfois l'aspect d'un travertin. Ils constituent la berge de la rivière sur une dizaine de mètres d'épaisseur et se sont développés dans des alluvions stratifiées où alternent des limons (loess colluviaux) interstratifiés de dépôts arénacés rougeâtres peu abondants et de fines bandes argileuses gris-clair. On les suit ainsi sur plusieurs kms dans un couloir resserré où court la vallée torrentielle. Ils forment en fait, ici encore, une succession de petits barrages de travertin.

La dépression de Sahidan est constituée, dans sa partie la plus basse et la plus en aval, par des sols à buttes gazonnées qui descendent en pente douce vers le lit de la rivière, alors peu marqué. Des résurgences sourdent par places sur de légers monticules et donnent naissance à de petites mares locales. Les eaux prélevées dans l'une de celles-ci ont une composition voisine de celles du lac de Band I Amir et sont carbonatées calciques et magnésiennes (CO₃/S : 86,4%, Ca/S : 33%, Mg/S : 40,7%) Cf. Annexes 1-2-3. Du lit de la rivière vers la bordure de la dépression, vers le N, on observe successivement :

- un microrelief très accusé fait d'une juxtaposition de buttes très marquées de 20 à 40 cm de hauteur et de diamètre, espacées les unes des autres de 15 à 20 cm. Elles portent un tapis graminéen ras, bien vert dans la partie la plus proche de la dépression, jaune dans la partie haute où le bosselage tout en s'estompant prend une amplitude plus grande, légèrement moutonnante. Cet échelonnement s'étend sur des largeurs variables, quelques dizaines de mètres à plusieurs centaines de mètres, en fonction de la topographie locale. On passe sur la bordure de la dépression à des sols peu évolués alluviaux, limoneux, limono-argileux cultivés en blé. La bordure N de la dépression que suit la route, est marquée par une ancienne terrasse la surplombant d'une quinzaine de mètres à l'O. Elle s'abaisse progressivement d'O en E et est conglomératique dans sa partie supérieure (1 à 2 m) et fortement encroûtée par le calcaire.

Les sols à buttes gazonnées présentent les profils caractéristiques suivants :

Profil B 6. Sur butte du microrelief. Tapis graminéen ras et vert.

- 0-5 cm : chevelu racinaire dense à terre interstitielle brun-noir. Limoneux à limono-argileux. Structure pulvérulente à polyédrique fine peu développée. Compacité et cohésion faibles,
- 5-50 cm : identique, brun à racines moins nombreuses mais encore abondantes,
- 50-80 cm : taches rouille d'hydromorphie abondantes au contact de l'horizon précédent. Puis gris de gley avec quelques taches rouille. Limono-argileux. Humide. Plastique.

Dans certains profils de la dépression de Chébartu (la suivante après celle de Sahidan sur la route Bamyán - Band I Amir) sous ce dernier horizon, se voit un nouvel et ancien horizon racinaire brun foncé, au contact duquel se situe la nappe (90-110 cm). Sous celui-ci s'observe un horizon argileux, plastique (B G), gris verdâtre (110 - 130 cm).

Profil B 7. Inter butte du microrelief. Dénivelé de 40 cm.

- Feutrage racinaire moins dense sur 25 cm (0-50 cm du précédent profil). Identique. Plus frais.
- 25-50 cm : identique à l'horizon 50-80 cm du profil 6, mais gley plus marqué, gris-blanc. Humide. Plastique. Cet horizon est en continuité avec celui du profil B 6 (1).

En remontant la pente générale, en même temps que le microrelief tend à s'estomper, apparaissent des efflorescences salines.

Dans la partie haute de la toposéquence, à végétation graminéenne rase identique mais jaunie et très clairsemée, à microrelief très atténué (réseau très lâche où ne semble subsister que des rigoles de ruissellement des eaux suivant les anciens tracés des dépressions du microrelief).

(1) Dans la dépression d'Ak Robot, dans une succession de 2 profils du même genre, l'horizon B G sous-jacent, épouse beaucoup plus nettement qu'ici la forme du microrelief.

Profil B 8.

- 0-2 cm : gris-blanc (10 YR 6/1). Limoneux à limono-argileux. Structure cubique à débit polyédrique (5-7cm) moyen. Compacité et cohésion assez fortes. Enracinement assez abondant. Beige-jaunâtre au contact de l'horizon sous-jacent,
- 2-25 cm : gris foncé à brun-noir (10 YR 5/1). Limoneux à limono-argileux. Frais. Compacité moyenne. (5-7cm) Faible cohésion. Fines racines mais peu abondantes,
- 25-80 cm : gris-blanc à gris-beige. Limoneux à limono-argileux. Structure fondue à tendance pulvérulente. Léger débit en polyédres. Compacité moyenne. Cohésion faible. Enracinement identique.
- 80-120cm: identique en couleur. Légèrement plus argileux. Frais. Plus massif à débit en polyédres très friables et très fins. Tendance vers un horizon de gley.

L'horizon 2 à 25 cm peut être absent ou très réduit dans les micro-dépressions séparant les buttes.

Ce type de sol passe progressivement au sol peu évolué, limoneux à limono-argileux classique, en culture, non marqué par le microrelief.

Ces sols à buttes, comme ceux observés sur la montagne de Bamyan, sont caractérisés par de très fortes teneurs en Ca CO₃ total (45,2 à 51,4% pour 215 à 225‰ de calcaire actif).

Le complexe absorbant est à la fois saturé par Ca et Mg. Les valeurs de K sont moyennes à élevées (0,70 à 2 me%), celles de Na échangeable varient entre 0,35 et 0,60 me%, à l'exception de l'échantillon 80 (0-2 cm), présentant des efflorescences salines, qui atteint 2,4 me%. La salinité de cet horizon se situe à la limite admise (conductivité calculée de l'extrait de saturation : 7,82 mmhos/cm) mais dès l'horizon sous-jacent, elle redevient très faible (conductivité de 1,74 mmho/cm). Dans les profils 6 et 7, cette salinité est également faible (1,56 à 0,88 mmho/cm).

Le pH de ces sols se situe entre 8,7 et 9,1, atteignant 9,7 dans l'échantillon 80. Dans ce dernier les sels solubles sont principalement des chlorures et bicarbonates de Na et Mg.

Les carbonates existent également et expliquent le fort pH.

Les teneurs en C et N sont plus élevées dans la partie verte que dans celle jaunie de haut de pente (C et N‰ 36,9 et 3,2 contre 17,0 et 1,79). Les rapports C/N eux varient peu : 11,5 à 9,5.

Il est intéressant de constater ici la concordance existant entre la forte accumulation calcaire signalée dans ces sols, et les affleurements d'encroûtements blancs formant barrages, observés à la sortie aval de la dépression. On trouve ainsi une disposition analogue à celle du cours supérieur de la rivière Awpar mais très miniaturisée par l'absence de puissants barrages de travertin et de dénivellation importante. Nous sommes ici à une altitude de 2 500 - 2 600 m.

3- La dépression de Sahidan est ceinturée vers l'O par des formations sédimentaires rappelant celles du bassin de Bamyan (J. LANG 1 968). Elles se poursuivent en direction de Band I Amir et apparaissent très épaisses (sans doute plusieurs centaines de mètres) si l'on considère les dénivellations importantes existant sur le plateau vallonné qui fait suite vers l'O à la dépression de Sahidan. Ces formations semblent formées par des alternances stratifiées de dépôts arénacés de couleur rouille, de niveaux argileux, argilo-sableux gris-blanc, de passages graveleux aux cailloux de type alluvial qui couronnent certaines crêtes. Elles tirent partiellement leur origine de l'arénisation ancienne des granites de Sahidan qui réapparaissent, entre la dépression du même nom et celle de Chebartu, en petits massifs très altérés perçant la couverture sédimentaire.

L'ensemble de cette série, primitivement très érodée, est couvert par un manteau loessique dont il est difficile d'apprécier l'épaisseur du fait de remaniements liés aux phénomènes d'érosion. Cette diversité dans les matériaux associée au relief important explique la relative diversité des sols :

- sols à différenciation calcaire, à pseudo-mycélium, à taches, à amas ou encroûtement calcaire sur la couverture loessique accompagnée de cailloutis fluvialite en provenance des buttes où affleure la série sédimentaire,
- sols minéraux bruts ou peu évolués d'érosion sur les buttes elles-mêmes, où dans les parties où ces mêmes matériaux graveleux se sont accumulés,
- sols polygonaux ou réticulés sur les buttes sédimentaires aux versants très ventés.

La route dans cette partie (altitude de 2 700 - 3 000 m) circule entre les buttes dans de petits vallons occupés parfois par des sols à buttes gazonnées ou bien recoupe des dépressions identiques à celles de Sahidan et de Chebartu mais sans en avoir l'importance.

Au col du cimetière des nomades, point haut du relief (3 400 m), s'observent de premiers affleurements de calcaire crétacé sur lesquels se développent des sols calcimagnésiques à horizon B Ca encroûté (sommet du col) ou à taches calcaires abondantes donnant un panachage marron et blanc.

En contrebas du col et sur une dizaine de kms reprend l'alternance des sols précédents, sur la série sédimentaire et la couverture de loess.

Sur ce trajet la route recoupe, en deux endroits au moins, des affleurements de calcaires cristallins blancs : un premier au contact des granites de Sahidan après la dépression du même nom, un second après le col des nomades. Ce dernier mérite une attention particulière. Dans un talweg où se voit l'emplacement d'une mare asséchée, la berge présente 2 m de marne verte (5 G 5/2) à structure prismatique, humide, très craquelée au-dessus de laquelle les éboulis de calcaire cristallin donnent naissance sur pente à un sol rouge calcimagnésique non décarbonaté :

- brun-rouge (10 R 4/4), très structuré, polyédrique moyen à fin, peu compact, à faible cohésion sur 25 cm,
- plus clair (10 R 6/6), peu structuré, friable, à nombreux cailloux calcaires, petits, plus ou moins arrondis, ainsi que quelques gros blocs. Epaisseur 60 cm.

Ce type d'évolution est le seul exemple que nous ayons vu en Afghanistan. L'altération des éboulis du calcaire cristallin paraît liée ici à la forte humidité de l'argile verte sous-jacente.

4- A partir du km 62 va affleurer de nouveau et jusqu'à Band I Amir (km 75) le Crétacé supérieur constitué par :

- des calcaires en bancs massifs dans la partie supérieure (Maestrichien),
- des grès marneux fins, gris clair, en plaquettes. Ils sont intercalés de bancs calcaires et sont l'homologue, sous un faciès différent, des calcaires d'Awpar (Campanien).

Le tout est surmonté par un conglomérat Néogène.

Sur cette partie du parcours la route recoupe principalement les grès marneux, particulièrement bien visibles dans la descente conduisant aux lacs de Band I Amir (2 850 m).

Le plateau précédant la descente, très vallonné, est recouvert par un épandage loessique (1) qui se mêle au détritique calcaire à la base duquel s'observent des recristallisations de calcite.

Les sols sont encore ici :

- des sols à différenciation calcaire, le plus souvent à encroûtement blanc, sur loess. Ils sont à horizon ombrique et superficiellement décarbonatés tandis qu'ils présentent en profondeur des horizons légèrement hydromorphes (Profil B 11). L'encroûtement affleure en surface fréquemment sur le sommet des buttes.

(1) Ces différents loess ont fait l'objet d'analyses sédimentologiques comme ceux du Logar et d'autres régions. Les courbes sont toujours identiques à celles de précédentes déjà données. La médiane se situe entre 4 et 26 μ . Les indices sont très élevés indiquant un sédiment mal trié (Q d φ : 2,1 à 3,1. Hét: 1,1 à 2,8). L'examen des minéraux lourds montre une très grande hétérogénéité dans la dominance et la teneur pondérale.

Bamyan - Band I Amir

Profil B 9 Zircon (46 à 53%). Epidote (35 à 29%),
Teneur pondérale : 0,06 à 0,07%

Profil B10 Epidote (92 à 95%),
Teneur pondérale : 3,4 à 5,3%

Profil B11 Grenat (50 à 69%). Zircon (8 à 26%). Epidote (5 à 22%),
Teneur pondérale : 0,01 à 0,23%

Bassin de Bamyan

Profil B15 Hornblende (85 à 89%). Epidote (5 à 7%). Zircon (5%),
Teneur pondérale : 3,2%

Col de Sébar

Profil B16 Epidote (41 à 54%). Hornblende (28 à 42%). Grenat (6 à 11%),
Teneur pondérale : 0,65 à 0,9%.

Une nouvelle fois pour les loess, la diversité des minéraux lourds d'un point à un autre, sur une surface relativement restreinte, montre l'hétérogénéité des apports (Annexes 4-5).

Dans les endroits très ventés, en bordure de la falaise, ils se présentent sous la forme de sols polygonaux à petites mailles d'une vingtaine de cm de diamètre. L'horizon supérieur est alors cubique, compact à débit en fins polyèdres, à porosité vésiculaire sur 10 cm. Les horizons B Ca sous-jacents sont gris-blanc, meubles, polyédriques fins (10-15 cm d'épaisseur), plus compacts à débit polyédrique. L'ensemble contient un détritique calcaire formé de cailloux souvent très arrondis ou de fines plaquettes en voie de dissolution; — des sols calcimagnésiques sur les calcaires durs ou colluvions détritiques, moins épais, à horizon B Ca plus ou moins encroûté, très fortement structuré (polyédrique moyen), de coloration uniformément brune; — des sols calciques sur des colluvions décarbonatées soit de calcaire, soit de loess (Profil B 10).

Ces sols sur loess en place ou colluvionné sont identiques à ceux décrits dans le bassin intramontagneux de Bamyan sur un glacis terrasse situé à une altitude de 3000 m environ LANG et PIAS 1 971). Une datation par le carbone 14 sur ce type d'encroûtement a donné un âge de 15.350 ans BP \pm 230. Dans ce même bassin des dépôts loessiques, venus se plaquer sur les versants au vent d'un modelé d'érosion, ont donné naissance sur des pentes assez raides, à des sols à différenciation calcaire par petits nodules.

Comme dans le massif de Bamyan, on notera ici encore l'importance des phénomènes de migration du Ca CO₃ qui, en fonction principalement de la topographie, se manifestent par la décarbonation totale de certains horizons ou profils et par des accumulations de faible profondeur dans certains autres de pente légère (B Ca par taches et encroûtement). Ce calcaire est évacué plus largement vers les grandes dépressions, où il s'accumule dans les parties basses stériles alors que la périphérie, moins carbonatée, est souvent en culture de blé.

5- L'arrivée sur Band I Amir et le site lui-même ont été abondamment décrits par de nombreux auteurs. Nous aurons nous-mêmes l'occasion d'en parler lorsque le processus de formation des travertins sera évoqué. Disons simplement que, remis dans le contexte plus général de l'Afghanistan, ce vaste canyon où se sont façonnés plusieurs générations de barrages de travertin au cours d'un Quaternaire plus ou moins récent n'a rien d'exceptionnel, si l'on considère le phénomène général de migration du calcaire des sols et des roches et la richesse en dépôt calcaire de chacune des dépressions sèches que la route recoupe entre Bamyan et Band I Amir. Le phénomène est ici magnifié par un paysage extraordinaire fait d'une succession de lacs bleus s'enchassant entre les falaises de calcaire crétacé, lacs séparés les uns des autres par des barrages de travertin où cascudent des eaux que colore, sur les bordures peu profondes, une végétation subaquatique de mousses et d'algues.

D/ COL DE SALANG (*)

Dans la montée du col de Salang (3 366 et 3 172 m), sur le versant S de l'Hindu Kuch, où affleurent des roches très diverses (J. BOULIN 1 971) dont des granites constituant la partie sommitale (4 790 m), des micaschistes, des gneiss, des marbres... s'observent près du sommet des *sols peu évolués à permagel (sols polygonaux)* identiques à ceux de la montagne de Bamyan. Ils se développent ici sur des limons à cailloutis anguleux de 1 à 2 cm et occupent de micro-dépressions au milieu des affleurements de granites.

Le sol est sur 3 cm de couleur brun-beige, à structure lamellaire et débit polyédrique, à faibles cohésion et compacité. Il est brun-jaune en profondeur et très graveleux par éléments de 2 à 3 mm résultant de l'arénisation de la roche. Cette fragmentation des granites, résultant du gel, est générale vers le sommet et donne une arène quartzo-feldspathique ayant peu subi les altérations chimiques. Ces sols à pH neutre à

(*) Voir Annexe 10.

faiblement alcalin, saturés superficiellement (S/T 100% (0-3cm). 86% (5-25cm)) ont des teneurs en C et N variables en fonction de la position (Profil S 3). Ils peuvent passer localement sur des plateformes ventées, où demeurent pendant de longues périodes de printemps et même d'été des enneigements locaux, à des tourbes noires épaisses de quelques cm (Profils S 4. C : 121^o/∞. N : 7,47^o/∞. C/N : 16,2), à complexe saturé par Ca (S/T = 99%), à pH légèrement acide 6,2.

Ces horizons tourbeux reposent sur l'arène granitique très fragmentée par l'intermédiaire d'un limon argileux brun-beige, meuble, frais, à compacité moyenne et cohésion faible épais de 20 à 30 cm, à complexe désaturé (S/T 56%), à pH acide (5,3). De mêmes profils (S 1) mais alors hydromorphes constituent des bordures de sources ou de petits talwegs humides. Ils sont couverts d'une végétation graminéenne rase. Aucun de ces profils ne présente de traces de Ca CO₃. S'il y a eu épandage loessique sur ces sommets, ce matériau a été ruisselé en majeure partie et il ne demeure alors qu'un sédiment décarbonaté.

En contrebas des sols polygonaux et des affleurements de roches, au milieu d'éboulis et de blocs de 20 à 50 cm et même 1m de diamètre parsemant de fortes pentes, s'observent sous une arène très superficielle et sur des limons caillouteux, des sols brunifiés, *sols bruns modaux* (Profil S 5) à pH légèrement acide (6,2 - 6,4), à complexe assez désaturé (S/T 69 - 64%). Ces mêmes sols se retrouvent beaucoup plus bas dès qu'affleurent les schistes. De profil A (B) C, ils sont comparables à celui observé dans la montagne de Bamyan (Profil B 5), plus profonds cependant parfois (75 cm), à structure grumeleuse à polyédrique fine à moyenne ou fondue, à compacité et cohésion faibles (Profil S 2). De tels sols ont été aussi observés sur schistes dans la montée du col d'Adjigak (Profil B 2) où ils présentent des pH du même ordre (6,1 - 6,7) pour un degré de saturation variant entre 72 et 88 %.

E/ PISTE DU CENTRE (*)

Des observations pédologiques ont été faites entre Gardan Dewal (une centaine de kilomètres à l'O de Kabul) et Sin Dand (S d'Hérat sur la route Hérat - Kandahar) sur un trajet passant par Panjaw, La' losarjungal, Sahrak, Tulak.

Il s'agit là de travaux rapides de reconnaissance ayant surtout pour objet l'étude des sols d'altitude puisque cette piste franchit de nombreux cols à des cotes supérieures à 3 000 m. Nous nous proposons également de voir sur ce trajet E-O les variations pédologiques en fonction de l'altitude et de la pluviométrie. La partie E jusqu'à La' losarjungal apparaît la plus humide en même temps que la plus élevée. Vers l'O, à l'inverse, l'assèchement est progressif jusqu'aux plaines désertiques bordant l'ancien bassin lacustre Régestan-Séistan-Margo.

Une très grande variété de paysages géomorphologiques et pédologiques vont s'offrir à nous et aider à la compréhension de la distribution des sols dans un relief particulièrement tourmenté très fréquent en Afghanistan. Dans ces paysages accidentés de multiples petits bassins lacustres ont existé au Quaternaire récent. Leur vidange après la rupture des seuils a entraîné sur la périphérie de chacun d'eux des phénomènes d'érosion et de recreusement du lit des cours d'eau avec le façonnement de plusieurs terrasses superposées.

L'aspect général du paysage sur le parcours est surtout marqué par l'absence de tout couvert arboré. La végétation se réduit, le plus souvent, à quelques épineux buissonnants en coussinets, à celle herbacée des armoises qu'accompagnent par places des touffes de graminées qui colonisent des versants plus meubles. Les parties en culture sèche de blé et de plantes fourragères viennent rompre la monotonie des paysages par leurs taches verdoyantes, mais les cultures se réfugient surtout dans les vallées où les cours d'eau se bordent d'une mince frange de peupliers frêles qui renforcent le contraste saisissant entre ces vallées, les piedmonts et les cimes dénudées, couvertes pour les plus hautes par la neige, même au plus fort de l'été.

(*) Voir Annexe 11.

Gardan Dewal - Panjaw

A partir de Gardan Dewal la piste suit le cours de l'Helmand Rod qui présente en cet endroit trois terrasses superposées, la plus basse sensiblement au niveau du fleuve. Elle correspond au lit majeur de celui-ci tandis que les deux autres de 15-20 m et 30-40 m sont entaillées dans des schistes très redressés.

Sur la nouvelle route, non terminée et empruntée par erreur, qui suit le parcours de la rivière les deux terrasses principales se poursuivent, se décomposant par endroits, en fonction de la dureté de la roche, en terrasses secondaires. Des alluvions interstratifiées (cailloux, limons, limons argileux hydromorphes) surmontent la roche. Des phénomènes importants d'accumulation calcaire s'observent sur la terrasse haute sous forme d'encroûtement blanc.

15 kms après Gardan Dewal la route entre dans un défilé marqué vers le km 20 par un barrage démantelé de travertin de 15 à 20 m de haut. La terrasse supérieure, de 50 à 60 m au-dessus du fleuve, est à une altitude de 2 800 m et se raccorde au massif, en cet endroit, par un glacis terrasse en pente douce recouvert d'éboulis de conglomérat atteignant par places 2 à 3 m d'épaisseur. Elle porte des cultures qui se développent là sur des sols à différenciation calcaire présentant à partir de 40 cm un encroûtement blanc peu consolidé observé sur 1 m environ (*Profil C 1*).

Nous revenons sur nos pas par la même route pour rejoindre la piste normale de Panjaw. Celle-ci remonte alors une vallée sèche entre les massifs qui portent une couverture loessique mêlée d'éboulis présentant des sols peu différents de celui du profil C 1 mais sur des pentes plus ou moins accusées. Un premier col est passé à 3 050 m (km 21 de Gardan Dewal). Un second, puis un troisième s'observent à 3 200-3 300 m quelques kilomètres plus loin et le village de Behsud atteint vers le km 30.

On observe dans toute cette partie une succession de bassins séparés par des cols où apparaissent des granites donnant des arènes rougeâtres. Partout se retrouvent les dépôts limoneux à encroûtement calcaire qui alternent avec des schistes et leurs éboulis et sur ceux-ci des sols bruns modaux mais à complexe saturé par Ca, bien que peu calcaire (0,2 - 0,4%). Ceci peut s'expliquer par un saupoudrage généralisé de loess (*Profil C 2* observé 23 km après Behsud). La dominance revient souvent dans la région de Behsud à des schistes redressés tendres (présence par endroits de talcs schistes) qui donnent ce type de sol et des croupes arrondies en sols minéraux bruts. Les vallées s'encaissent dans ce paysage mamelonné et dans les fonds se situent les villages et les cultures.

Vers le km 64 la piste traverse la haute terrasse de l'Helmand Rod (altitude 2 760 m) avant de plonger dans les gorges. Celle-ci est constituée de conglomérat très grossier, cimenté par le calcaire. Elle surplombe la rivière de 250 m environ. Cette dernière est traversée au km 66 (Echantillon d'eau No 1) (1). La descente s'effectue dans des schistes, des roches métamorphiques et leurs éboulis. La remontée, sur l'autre versant, se fait dans des loess couronnés à leur sommet par un conglomérat dont les éléments portent d'importantes « barbes » de calcite prises en masse. Ce conglomérat cimenté paraît former une terrasse faisant pendant à celle de l'autre rive, sous laquelle se développe un encroûtement blanc, classique, meuble, plus ou moins caillouteux (km 72 altitude 2 790 m).

La piste remonte ensuite jusqu'à 3 000 m (4^e col dans des schistes beiges et lie de vin et leurs éboulis). Elle emprunte le cours d'une rivière en eau dont la vallée élargie présente de petites terrasses aménagées et en cultures (village de Marchak 2 710 m) et remonte progressivement jusqu'à 3 200 m (5^e col km 120 de Gardan Dewal).

De ce dernier col à Panjaw le long d'une vallée que suit la route, les sols minéraux bruts, tout d'abord dominants, font place à des sols peu évolués d'apport alluviaux où les cultures prennent une grande extension en même temps que les boisements de peupliers deviennent plus denses et mettent une note chatoyante dans un paysage jusqu'alors grandiose, mais austère et désolé. A proximité de Panjaw s'observent encore, par places, des sols à encroûtement calcaire sur loess.

Panjaw. Km 155. Altitude 2 700 m.

(1) Les eaux prélevées sur ce parcours, que ce soit celles de l'Helmand Rod, de l'Hari Rod ou celles de petits cours d'eau, sont assez peu minéralisées et entrent dans la classe C2 S1, à l'exception d'une seule C3 S1 (Echantillon No 6).

Le bassin intramontagneux de Panjaw que traverse la vallée du Nawa I Surkhjoy façonnée dans des dépôts alluviaux en culture, est caractérisé par un ensemble de petits massifs de calcaire crétacé que l'on voit affleurer vers les sommets alors que les pentes sont ennoyées dans des dépôts sédimentaires lités ou massifs, marno-calcaires de coloration diverse : rouge plus ou moins foncé (7,5 R 5/4-6/4), gris-clair à gris verdâtre (5 Y 7/3-7/4). Les sédiments donnent par altération des sols à différenciation calcaire par amas et petits nodules. Ces sols argileux de couleur mauve (10 R 5/2) ou rouge (10 R 5/3-5/4) présentent un niveau d'altération verdâtre à faible profondeur ou une argile verte très humide (5 G 5/2-6/2). Ce *profil C 5* a été observé près de la station de météorologie. Adossés aux massifs calcaires et aux marnes se voient également là, en deux niveaux, des travertins hauts de 6 à 8 m. En contrebas de ceux-ci s'écoule une source (Echantillon d'eau No 3) responsable des dépôts calcaires (Echantillon C 60) qui jalonnent son parcours. Un écoulement de source analogue (Echantillon d'eau No 2) est observé près du pont, en contrebas du village sur la terrasse de la rivière. Il donne lieu également à la formation de dépôts travertineux (Echantillons C 30 et 40) qui prennent par endroits une coloration rougeâtre due au fer solubilisé, lors de la traversée des marnes.

Il s'agit d'eaux carbonatées surtout calciques et magnésiennes (Ca/S : 11,7 à 57,9%. Mg/S : 16,7 à 49,65%. CO₃/S : 62,1 à 88,9%). Le sodium entre pour une part non négligeable dans leur composition (Na/S : 20,3 à 36,0%). Les chlorures sont relativement abondants dans les échantillons 4 et 6 (Cl/S : 10,5 à 11,5%), les sulfates dans l'échantillon No 6 (SO₄/S : 27,4%).

Les pH se tiennent entre 7,80 et 8,20 (Annexes 6-7-8)

L'examen de ces eaux et des dépôts de travertin sera fait dans un chapitre spécial où se trouvent regroupées les observations sur des formations analogues.

Panjaw - Caghcaran

Panjaw - Col d'Aqzarat (km 50)

La route à la sortie de Panjaw emprunte, au milieu des formations géologiques précédentes, une vallée alluviale présentant plusieurs terrasses dont les deux plus basses sont en cultures (Sols peu évolués d'apport, limoneux à interstratifications caillouteuses).

La piste franchit un premier col (3 000 m), au km 17, dans des dépôts d'éboulis limono-caillouteux qui donnent des buttes aux formes arrondies au sol superficiellement décarbonaté, à pH neutre (7,1), mais à complexe saturé par Ca. Ce *profil C 6* paraît se développer sur une roche feuilletée limoneuse, limono-sableuse, jaune-beige et calcaire (Ca CO₃ 14,4 %). Comme tous ceux observés à ces altitudes, il présente un horizon humifère bien développé (C : 27,9‰. N : 2,6‰. C/N : 10,7).

De ce col au suivant (km 50 - 3 050 m), la piste suit une vallée en culture de blé irrigué sur limons argileux ou limons pulvérulents interstratifiés de bancs de graviers. Les sols sont peu évolués ou hydromorphes à pseudo-gley. Dans l'environnement immédiat de cette vallée les roches observées à Panjaw se retrouvent (buttes témoins de sol rouge en piedmont de massif) ainsi que celle du profil 6 mais alors de coloration variable : noire, blanche, grise.... Dans certains profils (C 7 sous culture de blé) on note des accumulations importantes de calcaire (Ca CO₃ total : 67,9 à 88,1%. Calcaire actif 225 à 370‰). Le sol gris-blanc sur 40 cm est fondu, meuble, à racines nombreuses. Il passe en profondeur à un horizon blanc, pulvérulent avec peu de racines, puis devient massif de couleur identique mais à taches rouille. Le profil calcaire n'est pas sans rappeler ceux observés entre Bamyán et Band I Amir et sur la montagne de Bamyán (Sols à buttes gazonnées). Il présente une certaine salinité dans ses horizons de profondeur. Celle-ci est sous forme de chlorure et sulfate de Na et Mg (Conductivité de l'extrait de saturation (A : 1,26 - B1 Ca : 7,45 - B2 Ca : 8,32 mmhos/cm). On observe d'ailleurs dans cette vallée des passages de sols salés marqués par des efflorescences superficielles.

La vallée (2 800 m) se referme progressivement en même temps que la piste grimpe vers le col d'Aqzarat à 3 050 m que l'on franchit dans un massif calcaire donnant, sur des colluvions à gros éboulis de cette roche, des *sols calcimagnésiques* de couleur brune fortement décarbonatés (Sol calcique intergrade vers un sol brun calcaire *Profil C 8*). Par endroits, les éboulis calcaires sont pris en masse par un encroûtement que l'on observe sur 10 à 30 cm d'épaisseur.

Col d'Aqzarat (km 50) au col de Kirman (km 63 Altitude 3 040 m)

Entre les deux cols la piste descend dans une nouvelle vallée pour en remonter ensuite une autre. Toutes deux sont entaillées dans des formations géologiques toujours analogues donnant des sols limoneux cultivés en blé avec, par places, des buttes de sols rouges au sommet desquelles affleurent des conglomérats de couleur identique. Au col de Kirman s'observe un sol identique au profil C 6.

Col de Kirman (km 63) à La'losarjangan (km 98)

La piste pénètre dans une nouvelle vallée très large dont le centre, couvert par une herbe rase mais continue, rappelle par son aspect les "camane" de la dépression de Kabul. Le *profil C 9*, prélevé dans cette partie est celui d'un sol peu évolué d'apport alluvial, limoneux à limono-argileux, très peu calcaire (Ca CO₃ total 0 à 0,8 %) et non salé. Cette dépression, à une altitude voisine de 2 900 m, constitue un vaste bassin sédimentaire au milieu duquel affleurent des grès roses et blancs ruiniformes, assez analogues à ceux de Bamyan, tandis que les bordures éloignées de la cuvette sont marquées par des croupes aux formes très arrondies (Roche du profil C 6).

Des sols très graveleux s'associent au profil C 9. Ils occupent les lits et berges ramifiés du cours d'eau.

Le contraste est très net à partir de cette vallée, entre les vallées fertiles et humides observées depuis Panjaw et les suivantes nettement plus désertiques.

Le passage du col à 2 950 m (km 79) s'opère dans des dépôts limono-argileux (*Profil C 10*) décarbonatés, à pH légèrement acide en profondeur (6,5) et faiblement désaturé (S/T 85%) (Sol à différenciation calcaire, calcique, sur loess décarbonaté ou sur une roche sédimentaire voisine de celle observée depuis Panjaw (Cf. Profil C 6)).

De ce dernier col à La'losarjangan, la piste circule dans un nouveau bassin très démantelé par l'érosion où affleurent des formations conglomératiques rougeâtres et des grès blancs analogues à ceux de la dépression précédente.

De La'losarjangan à Garmao (km 148)

On traverse une succession de petites dépressions où coule la rivière de La'losarjangan. Les bordures de celles-ci sont occupées par des cultures de blé tandis que les parties centrales, par leur couvert herbacé ras, rappellent encore les « camane ». On trouve fréquemment sur les bordures S de ces dépressions des roches à aspect schisteux gris ou clair ainsi que des affleurements conglomératiques rougeâtres. Les bordures N sont occupées par un conglomérat très cimenté par le calcaire, à pendage accusé, qui domine la route de 20 à 30 m.

Les limons (loess ?) sont très abondants sur les versants des massifs. Toutes ces dépressions sont séparées par de multiples cols que l'on passe entre 2 700 et 2 900 m. On en compte 6 entre La'losarjangan et Garmao. Du km 133 à ce dernier village, le paysage est constitué par de multiples buttes recouvertes de limon présentant des profils à différenciation calcaire et encroûtement blanc (Altitude 2 600 m.).

Du km 148 à Daulat Yar (km 178 , Altitude 2 350 m)

La piste descend régulièrement dans des micaschistes et leurs éboulis pour atteindre la vallée de l'Hari Rod où une nouvelle dépression, longue d'une vingtaine de km, est bordée sur sa rive gauche par des calcaires lacustres démantelés et de petits cônes de déjection très graveleux qui forment des buttes caillouteuses. La vaste cuvette apparaît comme un ancien bassin lacustre, comblé puis recreusé ultérieurement. Il se termine par un étroit défilé. En amont de celui-ci, dans la partie basse, se voient de nombreux champs de blé irrigué, alors que plus en aval ceux-ci se localisaient surtout sur les bordures tandis que la partie centrale était occupée par le « camane » ou des dépôts graveleux.

De Daulat Yar à Caghacaran (km 224)

La route quitte le cours de l'Hari Rod et remonte dans un ensemble chaotique de limon caillouteux formant une succession de mamelons qui présentent des sols à encroûtement calcaire (Altitude 2 500 - 2 600 m) surmontés parfois de restant de conglomérats, épais de 20 à 100 cm, cimentés par le calcaire, qui forment les points hauts d'un relief accidenté. Au km 188, la piste traverse la dépression de Ghandao (Jore Gandab), petit « camane » non cultivé, puis sur 8 km recoupe une succession de buttes de 10 à 20 m de haut avant de rejoindre, par une gorge dans les schistes et conglomérats, la vallée de l'Hari Rod (km 199) Celle-ci coule dans la dépression de Badga, comportant très peu de cultures irriguées et dont une barre calcaire semble fermer le défilé (km 206).

La piste quitte à nouveau la vallée de l'Hari Rod pour le plateau intérieur en limon caillouteux découpé par l'érosion en multiples mamelons et qu'entaille la petite vallée de Tasregay (km 208) où se localisent de nombreux villages.

On reprend vers le km 215 la bordure de l'Hari Rod en circulant sur la haute terrasse conglomératique.

Caghacaran est atteint au km 224.

La dépression de Caghacaran (Figure 23)

Elle s'étend E-O sur une quinzaine de km . Large de 1 à 2 km, elle est traversée par l'Hari Rod qui coule dans des dépôts sédimentaires où affleurent des calcaires. Ceux-ci forment de petits pitons sur la terrasse haute. On les retrouve par places dans la berge ou dans le lit du fleuve.

Le raccordement entre la terrasse haute du fleuve et les affleurements de calcaire vert-noir à veinules blanches, formant des collines de 10 à 20 m de haut couvertes d'éboulis, se fait par l'intermédiaire d'un sol moyennement graveleux à différenciation calcaire peu marquée par taches diffuses en profondeur (Profil C16).

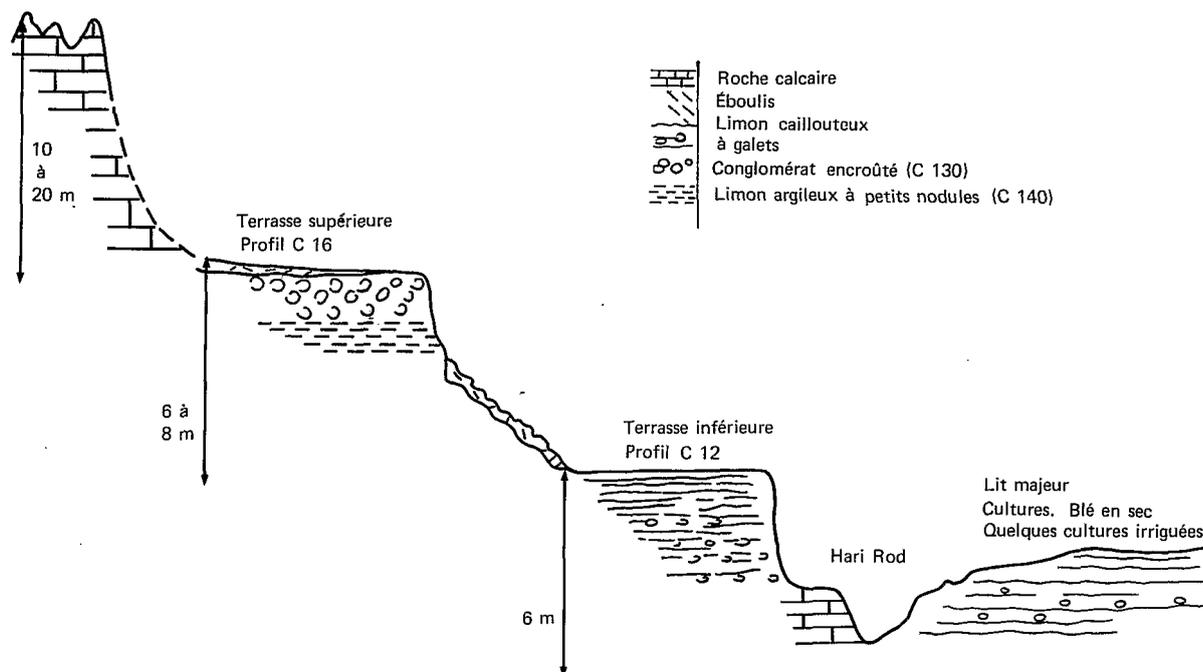


Figure 23 - Coupe de la vallée de l'Hari Rod quelques kms en amont de Caghacaran

Sur la rive gauche de l'Hari Rod deux terrasses sont visibles.

— *La terrasse supérieure* (15 à 20 m au-dessus du fleuve) est constituée par un conglomérat grossier (éléments de 10-15-20 cm de diamètre) cimentés par le calcaire. Epais de 1 m et plus finement graveleux à sa base, il repose sur un limon argileux beige ocré (échantillon C 140), massif à débit polyédrique, observé également sur 1 m environ. Ce sédiment, très légèrement détritique par la présence de petits fragments de calcaire, contient d'abondants petits nodules inférieurs à 5 mm de diamètre. Sur la pente conduisant à la seconde terrasse, il est recouvert par des éboulis de conglomérat. Cette *deuxième terrasse*, en élévation de 6 à 8 m par rapport au fleuve, est constituée sur 2 m environ de dépôts limoneux à limono-argileux. Le *Profil C 12* prélevé sur cette terrasse est celui d'un sol sodique, salin, sans efflorescence superficielle malgré la conductivité élevée en surface et décroissante (Conductivité de l'extrait de saturation : 25,06 — 14,51 — 6,77 mmhos/cm). Les sels solubles sont des chlorures et sulfates de Na principalement. Cl domine en surface, SO₄ en profondeur. Le profil calcaire est peu accusé, peu différencié, par fins points blancs.

Sous ces sédiments s'observent sur 3 m des dépôts limoneux interstratifiés de cailloux roulés qui reposent sur la roche calcaire vert-noir.

— *La terrasse basse* du fleuve (lit majeur), visible ici surtout sur sa rive droite, forme l'essentiel de la dépression et est occupée par des limons argileux à interstratifications graveleuses (Sols peu évolués d'apport alluvial). Ces terres portent l'essentiel des cultures en sec de l'ensemble de la dépression ainsi que quelques cultures irriguées.

Caghacaran - Tulak

Caghacaran à Sahrak (Km 0 à 125)

La piste quitte la dépression pour un plateau mamelonné, très érodé, identique à celui observé à l'E de la ville. La roche calcaire vert-noir affleure dans un relief mou et ondulé de limon jaune semblable à l'échantillon C 140. En cette partie s'observent des buttes à faciès plus argileux et litage profond (*Profil C 17*) donnant des sols à profil calcaire très peu différencié. Ces dépôts ne sont pas sans rappeler une sédimentation d'origine lacustre.

Entre les kms 20 et 25, on découvre à nouveau une vaste zone dépressionnaire (altitude 2 090 m), analogue à celle de Caghacaran et en majeure partie cultivée avec quelques petits "camane". Une terrasse conglomératique la surplombe d'une dizaine de mètres. La route monte ensuite au col de Chatur Khun (Altitude 3 040 m. Km 44) en pénétrant, dès le km 36 (2 260 m) dans des schistes sur lesquels s'observent des sols minéraux bruts et des sols bruns modaux. Dans la descente du col des sols rouges sur conglomérat de couleur identique font leur apparition. La piste emprunte ensuite une vallée sèche avant de déboucher sur une vaste dépression mamelonnée, découpée par l'érosion, où des dépôts limono-argileux donnent naissance à des sols calciques sans accumulation calcaire profonde, lessivés en argile (*Profil C 18*) et à des sols minéraux bruts (Altitude 2 700m. Km 57). Ces dépôts apparaissent comme des formations colluviales au milieu desquelles coule un mince filet d'eau (Echantillon d'eau No 5). Elles sont couvertes par une végétation buissonnante, assez verdoyante. La vallée qui s'élargit progressivement est coupée par un barrage de travertin démantelé. Dans cette partie, les sols présentent un profil calcaire morphologiquement peu différencié bien qu'à gradient calcaire élevé (*Profil C 19* . Ca CO₃ total : 10 à 24%. Calcaire actif : 15 à 110%). Plus en aval (km 71), à l'inverse, la différenciation calcaire est grande et les profils présentent dès 40 - 60 cm des encroûtements blancs, très compacts, à débit polyédrique (*Profil C 20*).

Dans une partie très élargie de la vallée, en aval, s'observent des cultures de blé irrigué qui occupent une superficie très étendue.

Jusqu'à Sahrak (Altitude 2 200 m. Km 125) la route longera ce cours d'eau par une vallée très sèche pratiquement sans culture ni village, montant parfois lors de resserrements de celle-ci sur le plateau mamelonné, limono-argileux, couronné par places de conglomérat.

Sahrak à Tulak (Km 0 à 68)

Sur 35 km environ, la route suit un défilé dans des gorges caillouteuses où la vallée s'élargit parfois. Zones cultivées et villages sont très rares en cette partie qui est principalement le domaine des pasteurs vivant là avec leurs troupeaux de moutons et de chèvres. La piste suit ensuite une vallée étroite bordée d'un rideau de peupliers. Uniformément en culture de blé avec de nombreux villages, elle contraste avec la première partie du parcours très sauvage et désertique.

Par une nouvelle vallée sèche où s'observe, à la faveur de quelques petites dépressions, des cultures de blé non irrigué, la route monte ensuite vers un col marqué par la présence de sol rouge formé sur des roches sédimentaires. Passé celui-ci on atteint Tulak au km 68 par une nouvelle vallée très cultivée qui s'élargit progressivement.

Tulak à Sin Dand (Km 0 à 169)

Tulak à Serzad

La route suit une vallée par des gorges en grès beiges et rouges, très resserrées sur 8 km, avant de s'élargir par places où s'installent alors les cultures de blé. On distingue, mais assez mal, deux terrasses dont une conglomératique, 10 à 15 m au-dessus du lit du cours d'eau.

De nouveau c'est un défilé inculte sur plusieurs kms dans les grès avant la traversée du cours d'eau au km 15, et la montée sur le versant opposé du massif par une route en lacets entaillée dans des formations conglomératiques et loessiques apparemment interstratifiées.

Près du col, à 2 300 m d'altitude, s'observent des sols à différenciation calcaire, par pseudo-mycélium, taches et amas calcaires abondants à partir de 60 cm, sur loess (*Profil C 21*). Le col est franchi à 2 340 m au km 18. Dans la redescente du massif ce sont à nouveau des conglomérats encroûtés, au moins en deux niveaux, intercalés de loess à profil identique au précédent, qui se superposent à des grès subhorizontaux de couleur claire ou rouge.

Par places, vers l'altitude 2 300 m, affleurent des encroûtements blancs sur loess (km 25).

A partir du km 29 le relief devient très chahuté avec des affleurements nombreux de grès lit de vin et rouge donnant des sols rouges peu évolués (*Profil C 24*).

Au km 35, la piste recoupe une importante vallée (1 950 m) puis remonte un affluent de cette dernière dans des colluvions de grès rouge et de loess qui portent de très belles plantations de blé. Vers 2 150 m disparaissent les grès rouges et, entre 2 150 et 2 200 m, nous sommes dans le domaine des conglomérats et des loess. Les conglomérats encroûtés forment de petites falaises surplombant la vallée de 4 à 6 m tandis que les loess présentent par endroits des encroûtements blancs.

Au km 41, on atteint le sommet d'un vaste plateau loessique dénudé (Daste Bayandor . Daste Juyal) bordé vers le S par d'imposants massifs (Banda Farsi) dont la base paraît ennoyée dans les sédiments, tandis que la ligne de relief, vers le N, est plus lointaine marquée cependant par les avancées de quelques massifs.

On passe ainsi progressivement de 2 220 à 2 410 m. Le plateau est coupé par une dépression principale (2 360 m . Km 53), vallée évasée cultivée en blé irrigué. Sur le plateau il y a peu de champs de cultures sèches. En bordure du Banda Farsi que suit la route, s'observent plus ou moins accolées à celui-ci des buttes témoins de 10 à 20 m de haut de loess à encroûtement calcaire blanc.

On traverse ainsi jusqu'à Farzi (Km 61. 2 210 m), une grande plaine limoneuse, large de 5 à 6 km, en sol à profil à différenciation calcaire par points et rares nodules (*Profil C 25* . Ca CO₃ total : 13 à 30%. Calcaire actif : 55 à 140‰). Ce profil à légère hydromorphie de profondeur apparaît un peu plus argileux que l'ensemble de la plaine, plus limoneuse. Il le doit à sa situation dans un léger talweg en cultures.

De part et d'autre de la dépression s'observent encore des collines d'anciens loess à encroûtement calcaire.

Ce vaste plateau se rétrécit progressivement vers l'O, en même temps qu'apparaissent des schistes et quartzites très redressés. On pénètre dans un défilé vers l'altitude 2 000 m au km 83 et dans une zone très chahutée analogue à celle observée vers le profil C 24, mais encore plus tourmentée. Cette région chaotique d'affleurements de grès clairs ou rouges, de colluvions caillouteuses, de placages de limons loessiques, se poursuivra jusqu'au km 90 (2 200 m) où débute un plateau loessique ennoyant le pied des massifs. Sur ce plateau bosselé par le vent, à végétation classique de steppe très claire, s'observent des affleurements d'encroûtements limoneux blancs. Ce plateau qui apparaît comme un col entre deux massifs s'ouvre, à partir du km 88, sur une vaste dépression, à pente relativement douce qui s'élargit progressivement. On recoupe, en descendant, d'abord les roches précédentes (grès, roches schisteuses claires ou rouges) puis des colluvions et alluvions limoneuses et caillouteuses. Les champs de blé de culture sèche sont nombreux dans cette partie et se développent sur des sols peu évolués. La vallée se rétrécit progressivement et l'on entre dans des gorges caillouteuses dominées par des schistes beiges jaunâtres, qui forment un défilé vers le km 104 près de Serzad (Altitude 1 800 m).

Serzad à Sin Dand

La piste suit un cours d'eau où coule un mince filet formant des mares par places. L'ensemble est bordé par des affleurements rocheux de schistes jaune clair assez redressés. Le relief général est mou par rapport au précédent. La dépression s'élargit jusqu'à devenir très vaste sans contours bien définis. Elle paraît recoupée par de multiples cours d'eau intermittents, à secs lors de notre passage, aux lits limoneux, aux terrasses caillouteuses. De petits bombements recouverts de graviers grossiers forment des lignes de vagues reliefs qui contrastent avec les grands inselbergs que l'on aperçoit très au loin barrant l'horizon et précédés de leur glacis de piedmont en pente faible au pied desquels se situent quelques villages. Un seul est observé le long de la route près d'une ligne de « carise » dans ce vaste « dasht ».

A partir de l'altitude 1 600 m aucune culture n'est plus observée, et il faudra atteindre Sin Dand au km 169 (Altitude 1 190 m, sur la route Kandahar - Hérat) pour retrouver de premières plantations.

Dans cette vaste dépression la sédimentation apparaît extrêmement hétérogène ainsi que les sols observés.

Dans une tranchée, à Sin Dand, longue d'une centaine de mètres et profonde de 150 cm, on découvre :

- un fond généralement finement caillouteux (1 à 2 cm de diamètre sans « barbe » ou à très fine « barbe » de calcite), non consolidé,
- des interstratifications du cailloutis ci-dessus et des passages limono-caillouteux compacts,
- en surface :
 - des poches limono-caillouteuses apparemment peu évoluées ou bien présentant des taches calcaires sur leur ensemble,
 - des poches de cailloutis noirs formant des chenaux de 2 à 3 m de large sur 1 m de profondeur. Ces poches sont parfois plus larges et les cailloux noirs plus ou moins arrondis à fine « barbe » de calcite.

Le *profil C 26* prélevé en cet endroit est analogue à ceux décrits dans la dépression de Kandahar. Il s'agit d'un sol hydromorphe à redistribution du calcaire par taches. Epais de 60 cm, il reposait sur un fin cailloutis. Le gradient calcaire de ce profil est très peu accusé malgré des différences morphologiques bien distinctes entre les horizons (Ca CO₃ total : 17,3 à 19,2%. Calcaire actif : 20 à 25‰). Ce sont ces sols qui constituent avec ceux à début d'encroûtement gypseux les grands « dasht » du Régistan-Séistan-Margo.

CONCLUSIONS

Les différentes observations faites sur la piste du Centre, entre Gardan Dewal et Sin Dand, montrent l'importance des pédogenèses qui affectent les roches calcaires des massifs, que ce soit des marnes ou des loess plus ou moins remaniés.

Les sols d'altitude sur ces roches, principalement vers les sommets, sont marqués par des phénomènes de décarbonatation pouvant donner dans les classes des sols à différenciation calcaire ou calcimagnésiques :

- des sols calciques occasionnellement lessivés en argile,
- des sols superficiellement décarbonatés avec des accumulations calcaires de faible profondeur allant jusqu'à des encroûtements.

Tous ces sols possèdent un horizon de coloration foncée, riche en matière organique, à l'inverse de ceux observés sur les piedmonts à des altitudes plus basses.

La migration du calcaire ne se limite pas au profil lui-même, mais affecte graduellement l'ensemble du massif. Elle se traduit par de fortes accumulations que l'on retrouve dans les vallées sous forme de travertins barrant les défilés lors du rétrécissement de celles-ci occasionnant ainsi la formation de lacs en amont. Ce calcaire peut aussi former dans les sols de ces vallées, des horizons B Ca à encroûtement (*Profil C 20*), ou donner des accumulations diffuses presque pures que l'on serait tenté de qualifier de sédimentaires parce qu'assez analogues à celles observées dans la vallée d'Awpar (*Profil C 7*).

Un exemple de telle migration nous est donné par la toposéquence prise du col de Chatur Khun en direction de Sahrak :

Profil C18 11 km du col. Altitude 2 700 m.

Sol calcique sans accumulation calcaire profonde, lessivé en argile,

Profil C19 19 km du col. Altitude 2 650 m.

Sol à différenciation calcaire. Peu différencié morphologiquement mais à gradient calcaire élevé. Lessivé en argile.

– Barrage de travertin à 22 km du col –

Profil C20 25 km du col. Altitude 2 500m.

Sol à différenciation calcaire, très différencié, à encroûtement calcaire.

Il s'agit là d'accumulations calcaires relativement récentes (1) mais de plus anciennes sont visibles où de profils tronqués ne demeurent plus que les encroûtements blancs qui couronnent des buttes témoins (plateau très démantelé à l'E de Caghacaran, plateau identique de Farzi....) et qui sont surmontés de lambeaux de conglomérats cimentés par le calcaire.

Les vallées qui traversent ces régions présentent plusieurs terrasses superposées dont une supérieure souvent conglomératique et encroûtée. A Caghacaran, celle de l'Hari Rod se superpose à un limon à petits nodules calcaires, tandis que la seconde terrasse présente un sol peu évolué à faible profil calcaire ou salin, aux sédiments voisins de par leur composition de ceux des sols sur loess. La troisième terrasse (lit majeur du fleuve) est en sol interstratifié limoneux et caillouteux de type peu évolué. Des dépressions comme celles de Caghacaran, de Daulat Yar... où la vallée s'élargit considérablement, paraissent avoir été transformées en lacs à une époque relativement récente. C'est dans ces lacs que se seraient sédimentés alluvions fines (loess colluviaux) et dépôts calcaires. Les dépôts stratifiés, argilo-limoneux du *profil C 17* (0 de Caghacaran), les calcaires de Daulat Yar (*Echantillon C 110*) font penser à de telles origines (2).

Vers l'O, la disparition des sols à différenciation calcaire est brutale, en même temps que l'altitude décroît rapidement à partir de Serzad (1 800 m) et qu'apparaissent progressivement les formations désertiques («dasht»). Le calcaire que l'on observera dans les sols de ces régions, distribué souvent par taches ou même pouvant donner des encroûtements, sera lié aux apports des eaux circulant sur ces vastes piedmonts ou et surtout au battement de nappes temporaires.

(1) L'encroûtement calcaire du profil C 20 révèle ainsi un âge de $7\,320 \pm 120$ ans BP.

(2) La datation du calcaire lacustre de la dépression de Daulat Yar donne un âge beaucoup plus vieux que le précédent : $28\,020 \pm 1\,050$ ans BP.

L'AFGHANISTAN MERIDIONAL

LA REGION DE KANDAHAR

LA DEPRESSION REGESTAN-SEISTAN-MARGO

La transversale E - O effectuée par la piste du Centre nous a conduits vers les régions désertiques de l'O et du S-O de l'Afghanistan où règnent des conditions encore plus arides que dans le reste du pays. Aux paysages accidentés et montagnards du Centre succède un relief plan rencontré déjà précédemment entre Serzad et Sin Dand. C'est celui des vastes « dasht » caillouteux qui couvrent le Régestan, le Séistan, le « dasht » I Margo et qu'interrompt parfois de grands ergs ou plus modestement des champs de barkhanes. Ces « dasht » s'étendent de 1 200 m d'altitude sur le pourtour de cette immense cuvette à 470 m dans la partie la plus basse, en bordure de la frontière iranienne, où demeurent encore des lacs résiduels.

Les études pédologiques ont porté sur une feuille au 1/50.000 située au S de Kandahar. Ce sont là des études de semi-détail ayant donné lieu à une esquisse cartographique des sols. Elles ont été étendues ensuite, dans un contexte plus large, à la feuille au 1/100.000 de Kandahar, puis à l'ensemble de la dépression Régestan, Séistan, Margo, ceci par une série de parcours qui nous ont conduits vers l'O jusqu'à Zaranj. Ces prospections, dont les dernières furent effectuées en 1974, nous ont permis de faire une esquisse pédogéomorphologique au 1/1.000.000 de l'ensemble de la cuvette.

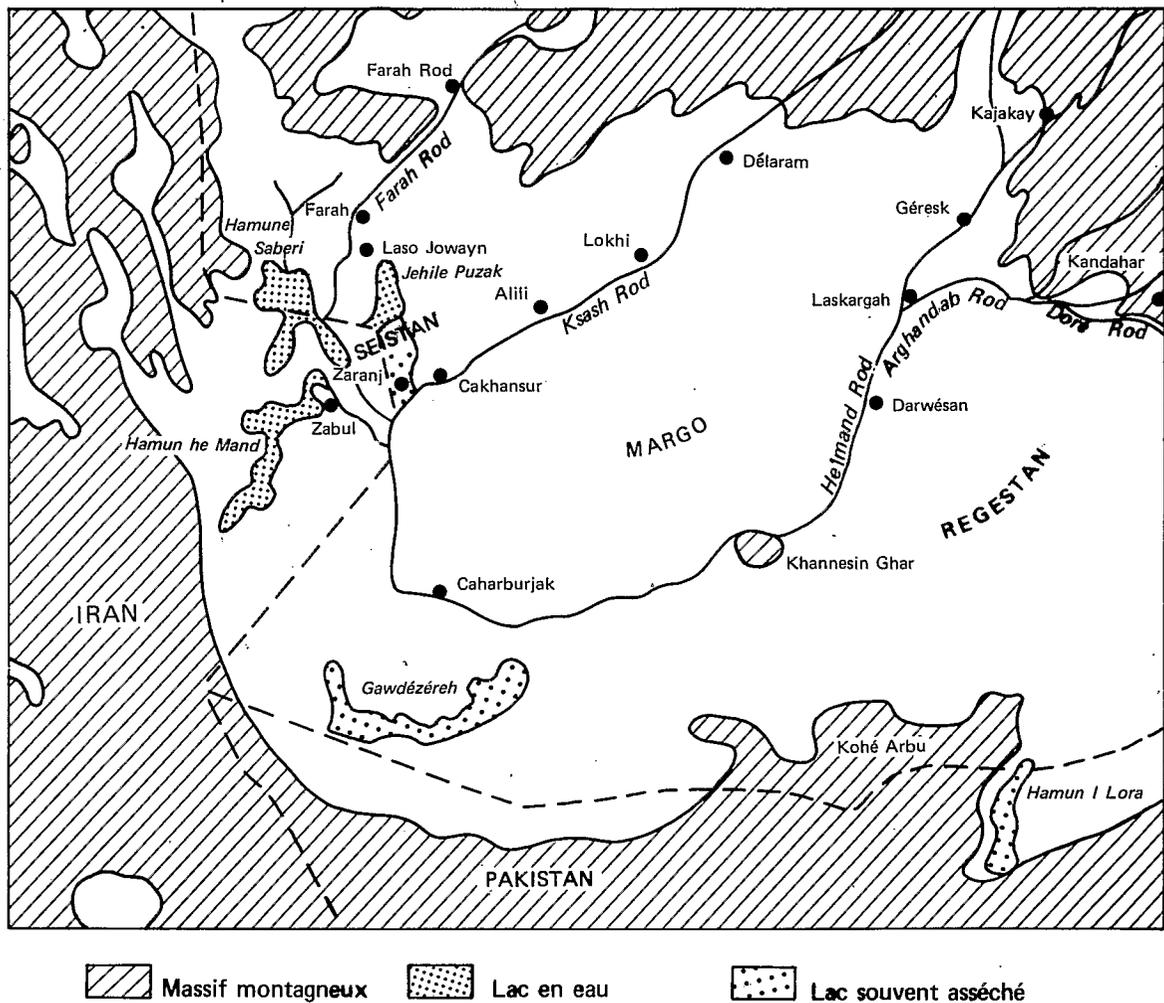


Figure 24 - Carte de situation de l'Afghanistan méridional

INTRODUCTION

La feuille 1/50.000 étudiée (De Qandahar Baynulmetalî Hawa l Dagar) correspond à une fraction du bassin versant de l'Arghestan Rod, principale rivière coupant cette feuille d'E en O. Elle fait partie de la vaste dépression citée précédemment, dont l'ensemble couvre environ 160.000 km² en Afghanistan méridional. Cette cuvette est limitée à l'O par la frontière iranienne, au S et à l'E par celle du Pakistan, au N par l'extrémité des massifs montagneux constituant l'Afghanistan central, dont on retrouve les avancées sous forme d'inselbergs dans la dépression elle-même, où tout au moins sur sa bordure. Les frontières d'Iran et du Pakistan constituent des limites artificielles et la dépression se poursuit dans ces deux pays mais son extension y est très limitée par suite des reliefs montagneux proches des frontières. Cette vaste cuvette forme donc une unité géographique dont à peu près les 9/10 se trouvent en Afghanistan. Des lacs résiduels près de la frontière occidentale sont les seuls vestiges d'étendues lacustres plus importantes qui ont couvert anciennement la presque totalité de la cuvette.

L'étude de celle-ci s'est trouvée limitée, mise à part la feuille de Qandahar au 1/50.000, à des observations faites sur différents parcours :

- Kandahar — Délarâm - Hérat,
 - Délarâm - Cakhansur - Zaranj,
 - Zaranj, Caharburjak,
 - Zaranj, Laso Jowayn-Farah,
 - Délarâm - Géresk - Farah,
- Kandahar — Laskargah - Khannésin,
 - Laskargah - Darwesân - Bagat - Arbu.

Deux premières missions furent effectuées en 1968 et 1971, une troisième, la plus détaillée, en 1974 après la rédaction de cet ouvrage. Cette dernière mission devait amener une modification de certaines conceptions antérieures qui sera notifiée ici dans les descriptions géomorphologiques et pédologiques mais non encore étayée de résultats analytiques complets, puisque la plupart de ceux-ci ne sortiront qu'après la parution de ce texte. Un additif sera donc fait en temps voulu, pour compléter cet ouvrage.

A l'étude sommaire de cette vaste dépression a été ajoutée, entre Kandahar et Moqur, celle de la vallée du Tarnak Rod qui a permis ainsi la connaissance des terrasses anciennes de ce fleuve et des formations sableuses et gréseuses qui leur sont sous-jacentes.

1 - CLIMATOLOGIE

Nous indiquerons dans le tableau ci-après les données météorologiques de différentes stations :

Pluviométrie - Température - Humidité relative - Insolation - Evaporation et évapotranspiration potentielles

- Kandahar située sur la feuille au 1/100.000 du même nom. Altitude 1 010 m. Latitude 31° 30 N . Longitude 65° 51 E. Moyennes : 1963 à 1970.
- Farah et Bust localisées sur la bordure de la vaste dépression à l'O de Kandahar :
 - Bust (Laskargah) : altitude 780m . Latitude 31° 33 N. Longitude 64° 22 E. Moyennes : 1960 - 1970,
 - Farah : altitude 660 m. Latitude 32° 21 N. Longitude 62° 09 E. Moyennes : 1960 à 1970.
- Zaranj située dans le voisinage des lacs résiduels, dans la partie la plus basse de la dépression. Altitude 478 m. Latitude 31° 00 N. Longitude 61° 51 E. Moyennes : 1969 à 1970.

Nous avons adjoint deux autres stations situées très en dehors de la cuvette et se trouvant au N-E sur le plateau dominant celle-ci. Ce plateau constitue une partie du bassin versant du Tarnak Rod, une des principales rivières coupant la feuille au 1/100.000 de Kandahar :

- Qalat : altitude 1 565 m. Latitude 32° 07 N. Longitude 66° 54 E. Moyennes : 1967 à 1970,
- Moqur : altitude 2 000 m. Latitude 32° 50 N. Longitude 67° 47 E. Moyennes : 1966 à 1970.

Pour les quatre premières stations la pluviométrie moyenne annuelle, répartie principalement du début de l'automne à la fin du printemps, est comprise entre 33 mm (Zaranj) et 141 mm (Kandahar). Il n'est observé en ces stations que d'exceptionnelles chutes de neige (Zaranj - Février 0,5 jour de neige).

La température moyenne mensuelle oscille entre :

6° 4 (Janvier) à 33° 8 (Juillet) Zaranj,

5° 1 (Janvier) à 31° 8 (Juillet) Kandahar,

avec des températures maximales absolues de 51° (Zaranj en Mai) et 46° 5 (Kandahar en Juillet) et des températures minimales absolues de -9° à Zaranj (Janvier) et -12° 1 à Kandahar (Janvier).

L'humidité relative est particulièrement faible pendant les mois d'été, 20 à 22 % à Kandahar contre 26 à 38 % à Zaranj où le voisinage d'étendues lacustres ou marécageuses entretient une humidité de l'air légèrement plus forte.

L'insolation atteint en ces régions des valeurs élevées : 3 000 à 3 500 heures par an, chiffres qui n'ont cependant rien d'exceptionnels pour l'Afghanistan.

L'évaporation et l'évapotranspiration potentielles sont fortes, respectivement comprises entre :

— évaporation potentielle : 2 927 mm (Kandahar). 3 256 mm (Zaranj),

— évapotranspiration potentielle : 1 044 mm (Kandahar). 1 142 mm (Zaranj).

Les stations de Moqur et de Qalat, pour des altitudes plus élevées, n'offrent que des valeurs pluviométriques légèrement supérieures à celles de Kandahar : 190 mm à Moqur, 224 mm à Qalat.

Les températures mensuelles sont plus basses en hiver : Moqur 0° 8 en Décembre, -5° 8 en Janvier, -3° 2 en Février.

Les températures minimales sont beaucoup plus basses : -33° en Janvier à Moqur.

Pour ces deux stations, si l'insolation varie assez peu, l'humidité relative est dans l'ensemble légèrement plus forte pour chacun des mois, tandis que l'évaporation, l'évapotranspiration diminuent toutes deux de façon importante :

— évaporation potentielle : 2 011 mm (Moqur). 2 180 mm (Qalat),

— évapotranspiration potentielle : 719 mm (Moqur). 729 mm (Qalat).

Graphiques ombro-thermiques de BAGNOULS-GAUSSEN

La figure 25 nous indique la période de durée des mois secs :

- Kandahar : Mars à Novembre,
- Bust : Février à Novembre,
- Farah : Février à Décembre,
- Zaranj : toute l'année,

- Moqur : Avril à Novembre,
- Qalat : Avril à Novembre,

Indices climatiques

– Indice d'aridité de de MARTONNE

Kandahar	: 4,81
Bust	: 3,05
Farah	: 2,59
Zaranj	: 1,09
<hr/>	
Moqur	: 8,96
Qalat	: 9,29

– Indice d'EMBERGER

Kandahar	: P 141 mm	M 40° 1	(Juillet)	m 0,1°	(Janvier),
	Q 11,9				
Bust	: P 90 mm	M 41° 7	(Juillet)	m 0,3°	(Décembre),
	Q 7,4				
Farah	: P 77 mm	M 42° 3	(Juillet)	m 0,3°	(Décembre),
	Q 6,15				
Zaranj	: P 33 mm	M 43° 1	(Juillet)	m 0,9°	(Décembre),
	Q 2,55				
<hr/>					
Qalat	: P 224 mm	M 37° 4	(Juillet)	m -6,7°	(Janvier),
	Q 17,6				
Moqur	: P 190 mm	M 32° 5	(Juillet)	m -11,3°	(Janvier),
	Q 15,3				

Le climatogramme pluviothermique indique que :

- les stations de Kandahar et de Bust se situent dans l'étage bioclimatique très aride à hiver frais,
- les stations de Farah et de Zaranj sont dans ce même étage mais à hiver froid,
- les stations de Moqur et de Qalat sont dans l'étage aride à hiver froid.

– Indice de drainage de HENIN - AUBERT

	Sols argileux	Sols limoneux D en mm.	Sols sableux
	<hr/>	<hr/>	<hr/>
Kandahar	0,49	1	2
Bust-Farah-Zaranj	Très faible, inférieur à 1 mm		
Qalat	2,8	5,6	11,3
Moqur	2,2	4,3	8,6

De tels indices sont caractéristiques d'une pédogenèse subdésertique.

KANDAHAR

1963-1970	Janv.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Année
Pluv. mm	38	34	21	18	1	0	Tr	0	Tr	1	4	24	141
j. pluie	6,5	6,7	5,3	6,9	0,6	0	0,3	0	0,1	0,1	2,1	2,9	30,9
j. neige	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
h. max. neige	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
t. moy. T	5,1	8,3	14,5	19,3	24,8	29,4	31,8	29,1	23,2	17,4	10,5	6,3	19,3
t. max. abs.	25,0	26,2	32,0	35,4	41,3	45,0	46,5	44,0	40,1	37,2	29,0	25,2	46,5
t. min. abs.	-12,1	-9,1	-1,2	2,0	8,4	8,5	16,4	12,0	7,2	-0,4	-8,3	-11,4	-12,1
Humid. %	55	58	47	43	27	22	21	20	20	28	38	49	36
Evap. Pot.	73	84	149	201	326	415	459	421	335	233	141	90	2927
ETP	2,8	9,6	41,5	74,5	140,2	189,2	217,6	181,8	105,1	57,7	18,5	5,4	1043,8
Insolation	202	177	247	235	359	382	365	360	326	314	265	241	3473

BUST

1960 - 1970	Janv.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Année
Pluv. mm	21	16	21	13	3	0	0	0,1	0	0,1	3	12	90
j. pluie	3	3	4	4	1	0	0	0,1	0	0,3	1	1,5	17,9
j. neige	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
h. max. neige	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
t. moy. T	6,4	10,0	15,8	20,8	26,6	30,9	32,5	29,8	24,4	18,4	11,4	6,9	19,5
t. max. abs.	29,0	30,4	34,2	37,3	42,9	46,7	46,5	46,2	41,8	36,7	32,2	26,0	46,7
t. min. abs.	-15,0	-8,0	-2,1	2,7	10,6	15,0	17,0	12,8	6,0	-1,5	-8,5	-11,8	-15,0
Humid. %	59	62	50	47	37	27	28	28	29	37	54	52	43
Evap. Pot.	79	91	161	215	324	439	459	417	334	229	118	95	2961
ETP	2,8	12,0	47,9	81,0	166,0	199,9	221,3	188,9	114,3	60,8	18,5	5,4	1118,8
Insolation	204	178	267	251	327	291	320	345	328	270	259	209	3249

FARAH

1960 - 1970	Janv.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Année
Pluv. mm	18	24	13	8	2	Tr	0	Tr	Tr	Tr	3	9	77
j. pluie	3,5	4,1	4,2	3,5	1,2	0,1	0	0,1	0,1	0,5	1,5	1,7	20,5
j. neige	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
h. max. neige	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
t. moy. T	6,7	8,8	15,8	19,8	25,7	31,2	33,6	31,4	25,8	19,2	11,5	7,3	19,7
t. max. abs.	28,3	30,0	34,5	39,4	43,2	47,0	48,0	47,2	43,9	37,9	32,2	25,7	48,0
t. min. abs.	-10,4	-8,0	-3,0	2,6	7,0	13,0	16,0	12,0	5,3	0,0	-11,9	-11,6	-11,9
Humid. %	63	62	55	55	43	33	33	36	38	44	48	52	47
Evap. Pot.	67	78	135	163	264	381	414	366	288	197	125	90	2568
ETP	5,5	9,6	44,7	71,3	151,2	199,9	225,1	199,6	129,8	63,8	15,8	5,4	1121,8
Insolation	215	195	232	247	334	349	342	347	315	290	240	214	3320

Evaporation potentielle, ETP en mm - Insolation en heures.

ZARANJ

1969 - 1970	Janv.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Année
Pluv. mm	13	Tr	14	1	0	0	0	0	0	1	3	0	33
j. pluie	2,5	0,5	3	1	0	0	0	0	0	0,5	2	0	10
j. neige	0	0,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,5
h. max. neige	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
t. moy. 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
t. max. abs.	24,1	29,6	36,2	40,5	51,0	49,7	48,3	50,0	42,6	40,2	36,0	27,1	51,0
t. min. abs.	-9,0	-6,4	-0,3	6,2	8,7	16,2	21,4	18,4	7,5	4,0	-7,1	-8,8	-9,0
Humid. %	42	45	34	30	26	26	32	37	38	42	48	48	37
Evap. Pot.	110	133	223	304	396	461	453	394	303	235	134	110	3256
ETP	2,8	7,3	70,2	90,7	150,0	187,6	219,5	183,8	117,4	83,5	16,0	13,6	1142,5
Insolation	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

QALAT

1967 - 1970	Janv.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Année
Pluv. mm	34	64	45	25	1	0	0	5	0	2	12	36	224
j. pluie	3	6	8	6	1,5	0	0	0,5	0	1	1,5	5	32,5
j. neige	3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	5
h. max. neige	45	28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	45
t. moy. T	-0,8	1,7	9,4	14,8	19,9	25,5	27,7	25,9	20,0	14,4	7,9	3,1	14,1
t. max. abs.	17,6	20,3	27,5	31,6	38,6	41,1	41,6	40,3	36,4	31,2	24,8	19,9	41,6
t. min. abs.	-20,5	-21,5	-5,2	0,0	3,3	8,0	8,5	7,0	4,5	-1,2	-6,9	-13,0	-21,5
Humid. %	69	69	59	50	39	32	36	39	29	37	49	60	47
Evap. Pot.	36	43	94	153	237	334	343	305	277	189	107	62	2180
ETP	-	-	22,4	45,4	84,9	128,5	150,2	139,0	92,7	51,7	13,2	-	728,7
Insolation	183	182	236	277	324	360	346	330	326	300	253	214	3331

MOQUR

1966 - 1970	Janv.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Année
Pluv. mm	32	34	39	18	9	Tr	2	3	0	4	4	45	190
j. pluie	1	3	8	9	4	0	1	1	0	2	2	2	33
j. neige	7	6	2	1	0	0	0	0	0	0	0	5	21
h. max. neige	45	50	37	5	0	0	0	0	0	0	0	27	50
t. moy. T	-5,8	-3,2	6,0	12,0	17,1	22,6	25,0	23,9	18,9	12,7	4,8	0,8	11,2
t. max. abs.	11,7	14,0	22,5	27,6	32,0	37,0	36,5	35,5	32,6	28,0	21,4	13,8	37,0
t. min. abs.	-33,0	-30,0	-15,0	-5,9	1,0	7,0	9,4	6,2	0,3	-5,6	-14,5	-26,3	-33,0
Humid. %	69	78	63	46	44	32	33	28	25	34	42	59	46
Evap. Pot.	22	21	69	143	192	297	323	332	278	181	100	53	2011
ETP	-	-	19,2	45,8	84,9	129,6	158,8	135,6	86,5	48,1	10,6	-	719,0
Insolation	178	187	242	292	308	263	340	346	323	299	257	190	3225

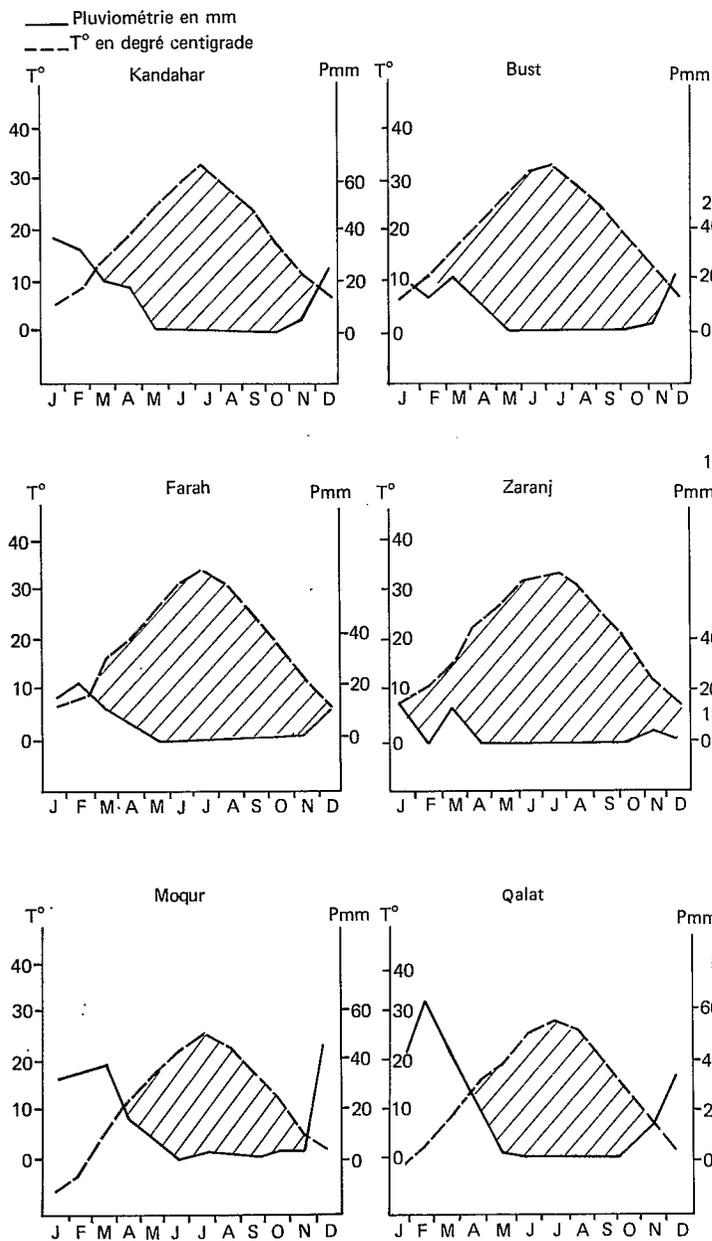


Figure 25 - Graphiques ombro-thermiques

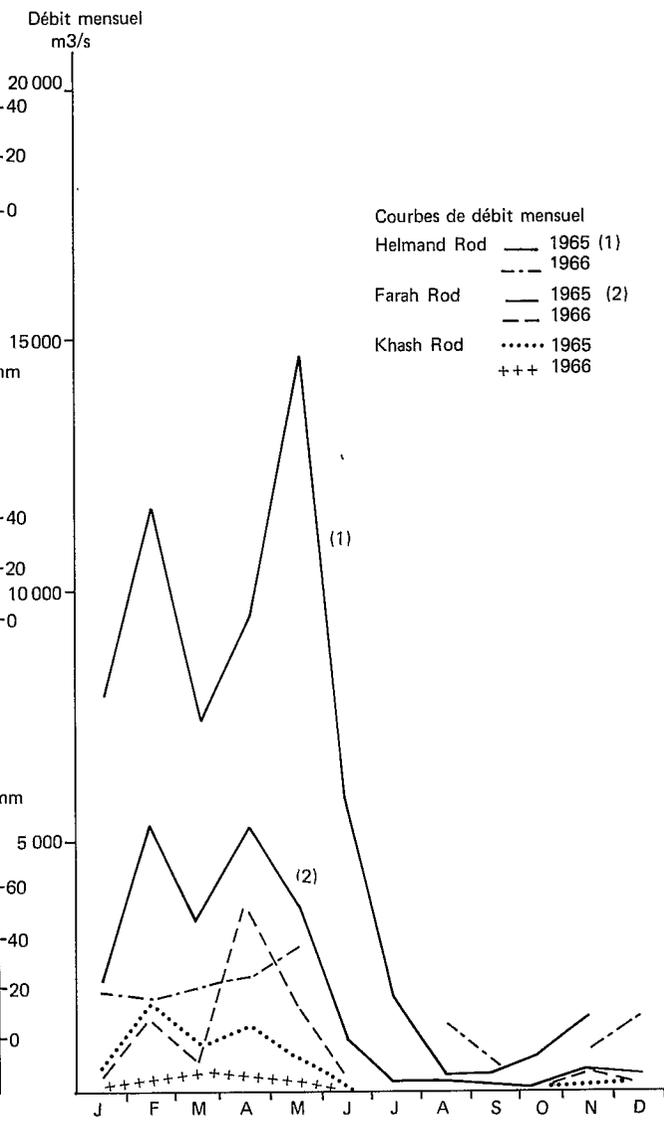


Figure 26 - Courbes de débit des rivières Helmand Rod, Khash Rod et Farah Rod.

2 - LE RESEAU HYDROGRAPHIQUE

Feuille de Qandahar au 1/50.000 et de Kandahar au 1/100.000

Il est constitué par 3 rivières principales le Tarnak Rod, l'Arghestan Rod et le Doré Rod, les deux premières allant rejoindre la troisième qui suit la bordure N de l'erg Sahai Régestan.

Ces rivières différemment larges, quelques dizaines de mètres à 1 km, ont des cours sinueux s'anastomosant entre eux. L'Arghestan Rod présente ainsi que le Tarnak Rod dans une partie de son cours, un lit caillouteux diversement grossier, tandis que le Doré Rod et le Tarnak Rod dans sa partie S, coulent dans des limons argileux.

De multiples cours d'eau descendant des massifs voisins vont alimenter ces rivières qui sont à sec pendant la période estivale ou bien présentent de très faible débit tandis que les crues s'effectuent de l'automne au printemps.

Aucune mesure de débit ne paraît avoir été effectuée sur ces trois rivières par le Service Hydrologique d'Afghanistan.

La dépression Régestan - Séistan - Margo

Elle est traversée par 3 rivières principales qui sont d'E en O : l'Helmand Rod, le Khash Rod, le Farah Rod.

L'Helmand Rod est la plus importante en même temps qu'elle est une des rivières les plus longues d'Afghanistan. Son cours est jalonné par de multiples villes dont Géresk et Laskargah. Elle va se jeter dans les lacs résiduels et les marécages du Séistan au N de Zaranj et en Iran dans ceux situés au N-O de Zabul.

Le Khash Rod et *le Farah Rod* alimentent les lacs et les étendues marécageuses du N de Zaranj-Cakhansur. Cette alimentation est sujet aux aléas d'années à plus ou moins forte hydraulité. Ainsi les marécages au voisinage de Cakhansur et de Zaranj étaient-ils à sec lors de notre passage en Août 1971 et Novembre 1974, alors qu'en eaux sur les photographies aériennes prises très antérieurement. Tout ceci montre en ces régions quasi désertiques la grande variabilité des plans d'eau et des surfaces cultivées en irrigation se développant sur leur pourtour. Cet assèchement des étendues marécageuses sur les bordures des lacs Hamune Sabéri et Jéhilé Puzak peut également avoir pour cause la création d'un important barrage sur le cours de l'Helmand Rod au N de Géresk (barrage de Kajakay). L'assèchement de la grande dépression du Gawdzéreh, au S de Caharburjak, vraisemblablement alimentée autrefois par des infiltrations et par un début de capture de l'Helmand Rod, pourrait avoir une origine identique.

Ces 3 rivières prennent naissance dans le massif montagneux du Feroz Koh qui prolonge l'Hindu Kuch vers l'O en direction de Caghcaran et d'Hérat. Les altitudes des sommets dépassent fréquemment 3 000 m.

Ces cours d'eau et leurs affluents présentent une succession de terrasses, le plus souvent 3 principales. Les 2 terrasses supérieures se sont façonnées dans des conglomérats fluvio-glaciaires dont la cimentation par le calcaire a fossilisé le relief. La troisième terrasse est en alluvions fines et porte souvent des cultures irriguées. Ces terrasses sont la marque de changements successifs de profils des cours d'eau en liaison avec l'assèchement de l'ensemble de la dépression Régestan - Séistan - Margo et sa subsidence. Au débouché des massifs, vers l'altitude 1 100 - 1 000 m, subsistent des ensembles sableux importants qui sont les vestiges d'épandage deltaïque des cours d'eau dans un lac atteignant cette cote. Le plus remarquable est celui que l'on observe sur la feuille de Kandahar et que contourne le Doré Rod. Ces ensembles sableux sont de nos jours très fréquemment repris par les vents et transformés en champs de barkhanes.

Régime et débits

Nous ne possédons que des informations fragmentaires sur ces 3 principaux cours d'eau, mais aucune sur l'importante rivière qu'est le Tarnak Rod.

La période maximale de débit se situe en hiver et au printemps (Février à Mai). Elle coïncide avec le maximum des précipitations et la fonte des neiges à partir du printemps. Cette dernière va entretenir, au delà de Juin, de très faible débit.

L'Helmand Rod présente des débits sans commune mesure avec ceux du Farah Rod aux débits de printemps cependant non négligeables. Ceux du Khash Rod sont beaucoup plus modestes.

Dans la figure 26 sont opposées les mesures de débit mensuel des années 1965 (année de forte hydraulité) et 1966 (année à faible hydraulité) pour ces 3 rivières.

Nous indiquons dans le tableau ci-après, les débits maximaux et minimaux enregistrés pendant la période 1965-1968.

	Débit maximal en m ³ /s				Débit minimal en m ³ /s			
	1965	1966	1967	1968	1965	1966	1967	1968
Helmand Rod	940 2/4	124 22/5	1800 7/5				6,6 11/11	
Farah Rod	730 3/2	348 27/4	657,2 27/4	663 11/3	0,48 6/1	0,41 8/8	0,68 1/10	1,83 23/8
Khash Rod	242 22/4	119 25/2			0,07 27/8	0,02 20/7		

Ces chiffres montrent la grande variabilité de débit maximal pour un même fleuve d'une année à l'autre. Ce débit peut se trouver plus que décuplé (Helmand Rod 1966 - 1967). Les débits mensuels reflètent des variations identiques, mais plus atténuées. Les débits minimaux approchent 0 m³/s mais sur des périodes très échelonnées dans le temps (Farah Rod : Janvier 1965 - Août 1966 - Octobre 1967 - Août 1968).

La composition des eaux (*)

Les prélèvements ont été effectués en deux périodes :

- en décembre 1968 pendant une période très pluvieuse de ce mois,
- en période sèche en 1971, à la fin Juin.

Les eaux des rivières en crue lors des fortes précipitations de décembre 1968, entrent toutes dans la classe C2 S1 de l'échelle de Riverside, c'est à dire celle des eaux à salinisation moyenne et alcalisation faible. Ce sont des eaux carbonatées calciques et magnésiennes (Echantillons 51-52-53-56).

Les eaux d'inondation de dépressions salées, prélevées pendant ce même mois sont d'une façon générale sodiques à chlorure et sulfate, à salinisation très forte à forte, à alcalisation très forte à faible :

- N° 50 C4 S4 - Eau chlorurée et sulfatée sodique - Alcalisation et salinisation très fortes.
- N° 54 C4 S2 - Eau chlorurée et sulfatée sodique - Alcalisation moyenne - Salinisation très forte.
- N° 55 C3 S1 - Eau chlorurée et sulfatée sodique - Alcalisation faible - Salinisation forte.

(*) Voir Annexes 10-11-12.

Les eaux prélevées en 1971 sont essentiellement celles de nappes à l'exception des échantillons :

- N° 8 Tarnak Rod au S-E de Kandahar,
- N° 13 Khash Rod à Lokhi,
- N° 15 Helmand Rod à Geresk.

Elles entrent toutes les trois dans la classe C2 S1 (salinisation moyenne et alcalisation faible). Ce sont des eaux carbonatées calciques et magnésiennes.

Les eaux des puits ont à l'inverse des conductivités et des SAR souvent beaucoup plus élevés :

- feuille de Qandahar au 1/50.000,
 - N° 7 Mare dans le cours du Doré Rod,
C4 S3 - Eau sulfatée chlorurée sodique,
 - N° 9 Neway Deh - Profondeur 13 m,
C4 S1 - Eau sulfatée, faiblement chlorurée sodique,
- bordure de la cuvette Régestan-Séistan-Margo
 - N° 14 Courab - Profondeur non mesurée,
C3 S1 - Eau sulfatée, chlorurée, carbonatée sodique,
 - N° 16 Maywand - Profondeur non mesurée,
C3 S1 - Eau surtout carbonatée sodique avec présence de sulfates et chlorures de Ca et Mg
- dépression du Séistan (1)
 - N° 10 Zaranj - Profondeur 5 à 6 m,
C3 S1 - Eau chlorurée, sulfatée et carbonatée sodique,
 - N° 11 Cakhansur - Profondeur 5 à 6 m,
C3 S2 - Identique à l'eau de Zaranj,
 - N° 12 Alili - Profondeur 6 m,
C3 S1 - Eau chlorurée et sulfatée sodique.

Les changements de cours de l'Helmand Rod, du Khash Rod et du Farah Rod (Figure 27)

Pour la compréhension de ce qui va suivre nous évoquerons les changements de cours de ces trois principaux fleuves au Quaternaire plus ou moins ancien.

Les deux premiers paraissent avoir subi des modifications importantes de leur tracé amenant progressivement un déplacement de celui-ci d'O en E.

Le plus marquant de ces déplacements paraît être celui de l' *HELMAND ROD* dont deux parcours successifs sont jalonnés par des anciennes terrasses. La plus ancienne subsiste sous forme de buttes témoins aux galets très grossiers plus ou moins cimentés par le calcaire. On l'observe très bien à l'O et au S-O de Geresk ainsi qu'à l'O de Laskargah où l'ancien cours (5) est visible en de multiples endroits. Sa position en altitude par rapport au fleuve actuel est d'une quarantaine de mètres. Il paraît s'être ramifié postérieurement à partir de cette dernière place. Un de ses lits est encore visible jusqu'au S de Darwésan (4) tandis qu'un autre se dirige vers le S-O et la dépression de Cakhansur (4'). La seconde terrasse, également conglo-mératique mais très cimentée par le calcaire et mieux conservée se suit sur les deux rives qu'elle surplombe

(1) Un échantillon d'eau prélevé en 1974 dans le lac de Jéhilé Puzak (S de Laso Jowayn) a montré une conductivité élevée (5,08 mmhos) et des teneurs importantes en anions et cations (Na : 37,8 me/l - Mg : 13,8 me/l, Cl : 24,5 me/l, SO4 : 19,6 me/l).

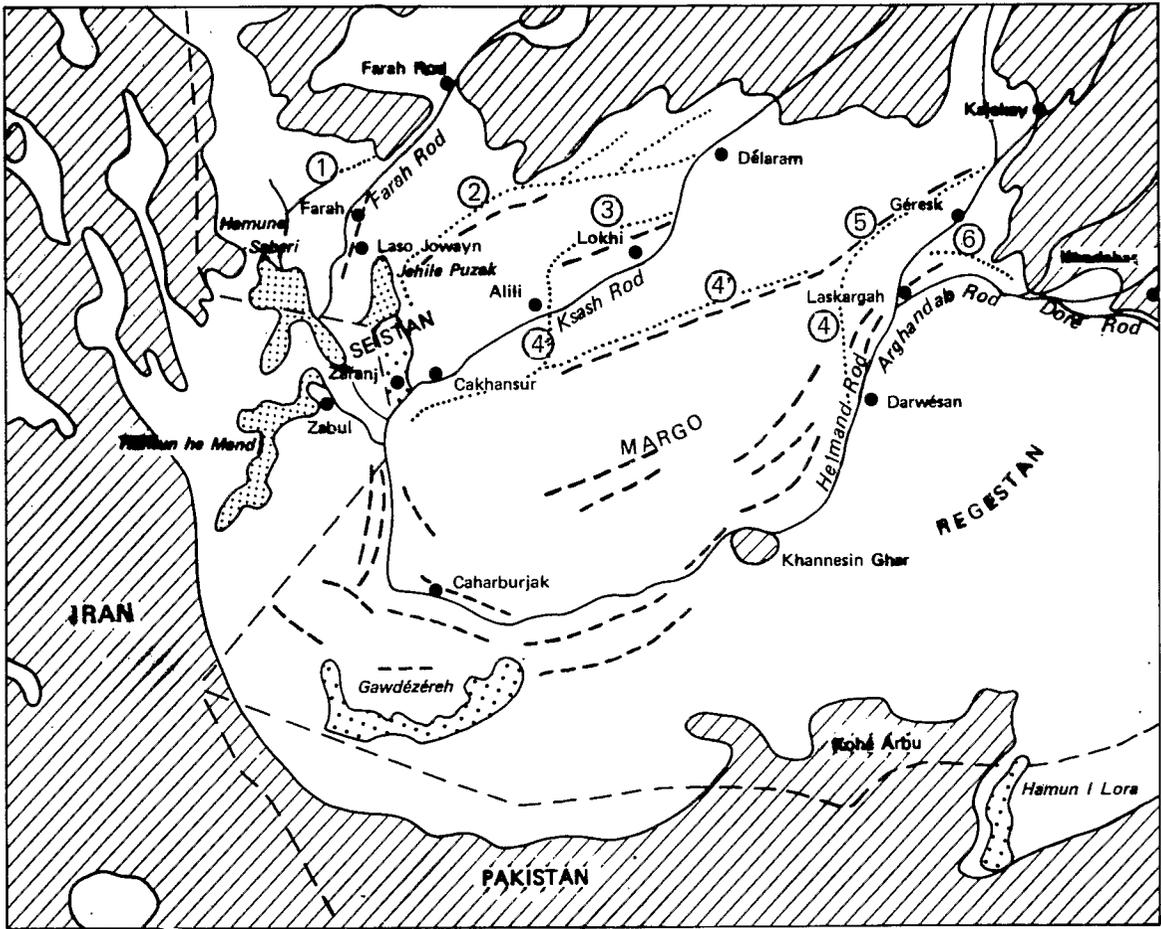


Figure 27 - Carte schématique montrant les changements possibles de cours de l'Helmand Rod, du Khash Rod et du Farah Rod pendant le Quaternaire.

de 5 à 10 m depuis la sortie des massifs (Kajakay) jusqu'au S de Darwésan. Entre ces deux terrasses s'observe dans la région de Laskargah et plus au S, une série de lignes de crêtes en dénivelé de 10 à 15 m les unes par rapport aux autres. Elles constituent une succession de marches d'escalier qui sont la marque de lignes de fracture qui ont amené l'enfoncement progressif de cette partie du bassin de l'Helmand Rod. Ces deux terrasses et les lignes de crêtes semblent la conséquence d'une part du changement de profil d'équilibre de cette rivière en relation avec le niveau lacustre dans lequel elle se jetait, d'autre part, d'une néotectonique intense dans la cuvette.

De la même façon le cours de l'Arghandab Rod, peu avant sa confluence avec l'Helmand Rod, est jalonné pratiquement depuis Maywand par deux terrasses conglomératiques. La plus ancienne (6) n'est plus formée que par des alignements de buttes témoins très visibles aux galets souvent très grossiers parfois encroûtés. La seconde terrasse, plus basse, conglomératique et encroûtée est plus modeste.

La reconstitution des parcours successifs du *KHASH ROD* montre des déplacements également importants. Un premier tracé amenait le Khash Rod, associé à d'autres cours d'eau issus du N-O de Délaram, à emprunter le parcours le plus occidental. Il rejoignait alors les abords du lac actuel de Jéhilé Puzak très au N de Cakhansur (2). Un second parcours empruntait la vallée actuelle entre Délaram et Lokhi puis continuait ensuite vers le S-O pour rejoindre par un parcours N-S (3) le lit actuel dans la région d'Alili. Un troisième parcours le mène de nos jours directement à Cakhansur par l'actuelle vallée et par l'intérieur du « dasht » Lokhi-Alili qu'il a réussi finalement à entailler. Un de ses bras, entre ces deux derniers villages, fait communiquer le Khash Rod avec une vallée plus à l'E qui paraît trouver son origine dans un prolongement de l'ancien cours de l'Helmand Rod à l'O de Laskargah (4').

Ces différents tracés, particulièrement le second, sont marqués par des lignes de relief successives. L'enfoncement dans les alluvions lacustres anciennes paraît, ici encore, le résultat de mouvements de néotectonique ainsi que le montrent, entre Lokhi et Katolak, les glissements vers la vallée actuelle des conglomérats encroûtés qui surplombent le cours du second lit. Dans chacune de ces vallées, et particulièrement la troisième plus récente, le morcellement de l'ancienne étendue lacustre est intense et les buttes témoins très nombreuses entre Alili et Cakhansur.

Le cours du *FARAH ROD* paraît avoir subi, de façon identique mais moins accusée, des infléchissements vers l'E (1).

3 - ETUDE GEOMORPHOLOGIQUE DE LA DEPRESSION REGESTAN-SEISTAN-MARGO

Pour cette étude schématique nous reprendrons chacun des trois bassins en commençant par celui du Khash Rod, le plus simple, pour terminer par celui de l'Helmand Rod plus complexe.

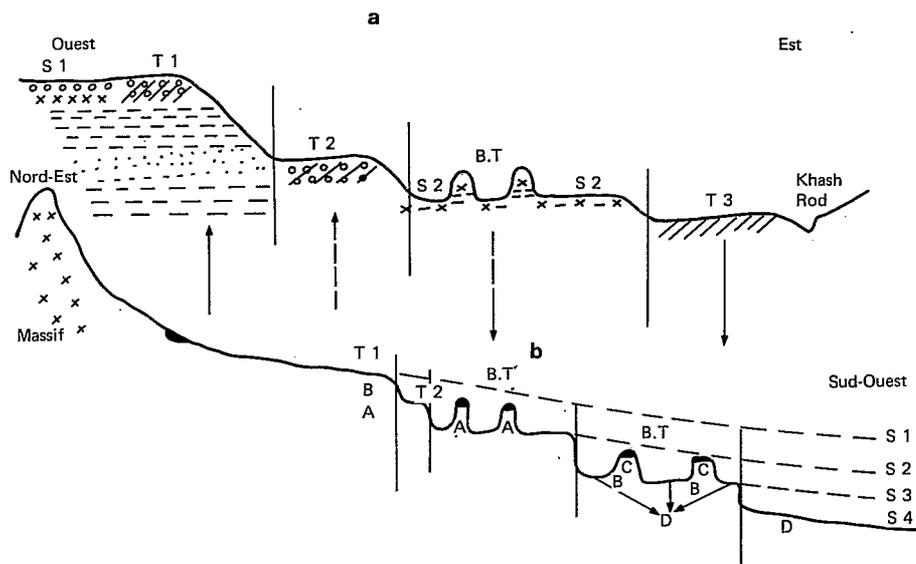
Le bassin du Khash Rod (Figure 28)

Il s'étend dans son cours moyen et inférieur du N-E de Délaram à Cakhansur. Une route rejoignant ces deux localités suit le lit du fleuve, tantôt par la vallée elle-même, tantôt par le « dasht » qui la surplombe. De nombreuses coupes naturelles permettent l'observation des alternances sédimentaires.

Parcours Délaram Lokhi

Sur ce parcours s'observe la haute terrasse conglomératique et encroûtée par le calcaire du fleuve (T 1), ainsi que, par places, une seconde terrasse identique mais moins épaisse (T 2). Une troisième terrasse, alluviale celle-ci (T 3), se situe en contre-bas des deux premières et porte les cultures.

Au N de Lokhi une falaise de 30 à 35 m, en bordure d'une ancienne voie d'eau très importante



- S 1 « dasht » en sol gypso-salin à couverture conglomératique meuble
 - - - - S 2 Surface d'érosion en sol gypso-salin à couverture graveleuse
 x x x x S 3 Surface en sols salins dominants ou peu évolués, ou hydromorphes
 x x S 4 Surface en sols hydromorphes dominants et parfois salins. Zone inondable actuelle

- %%%/ T 1 Terrasse supérieure conglomératique et encroûtée par le calcaire
 %%%/ T 2 Terrasse moyenne conglomératique et encroûtée par le calcaire
 //// T 3 Terrasse inférieure en limons argileux. Zone de cultures

- - - - A Unités sédimentaires anciennes en limons argileux
 - - - - B (A salins - B calcaires - C salins)
 C
 D Unité sédimentaire récente et complexe dans laquelle s'observent des formations limono-argileuses très calcaires (■)

- ↓ ↑ Lignes possibles de fracture
 ↑ ↓ Mouvements possibles de surélévation ou d'effondrement
 B.T. Buttes témoins

Figure 28 - Coupes schématiques dans la vallée du Khash Rod :
 a) Entre Délarum et Lokhi
 b) Des massifs au N jusqu'au lac actuel.

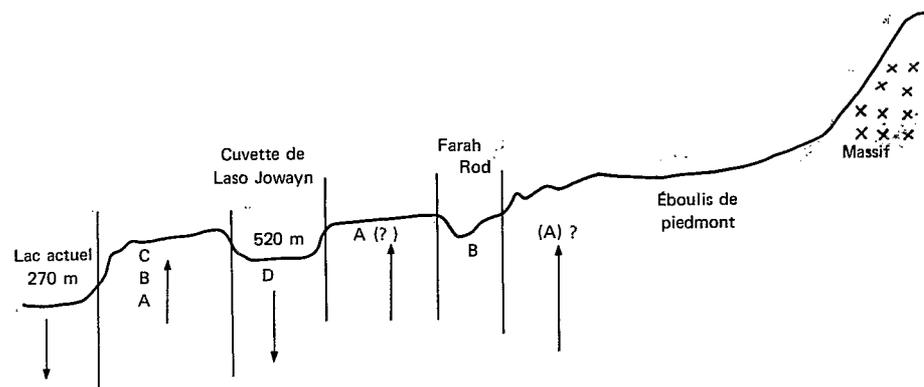
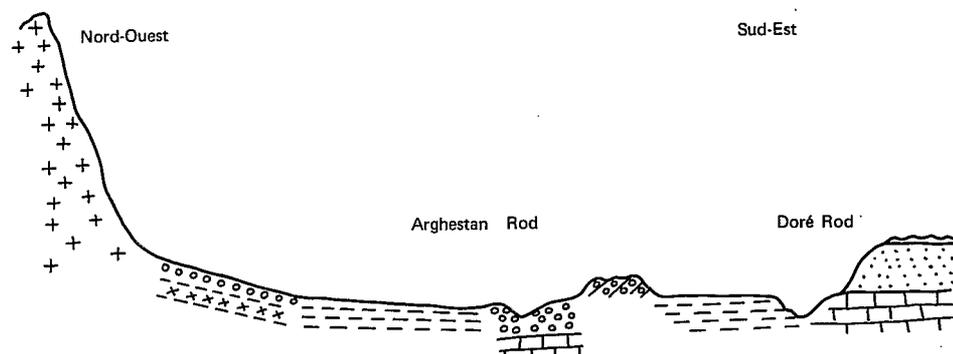


Figure 29 - Coupe schématique dans le bassin du Farah Rod entre le lac actuel et les massifs vers Farah



- + + + Massif montagneux. Inselberg
 ○○○○ Glacis de piedmont. Couverture graveleuse reposant sur des limons argileux à interstratifications gypseuses
 x x x x Limons argileux salins, par places (bordure du Doré Rod)
 ○○○○ Dépôt conglomératique meuble
 - - - - Formation dolomitique
 : : : : Sables deltaïques
 ~~~~~ Remaniement superficiel. Barkhanes  
 %%%/ Formation conglomératique encroûtée par le calcaire formant une ancienne terrasse démantelée

**Figure 30 - Coupe schématique de la cuvette de Kandahar**

vraisemblablement l'ancien cours du Khash Rod (Figure 37 (3) ), présente la coupe suivante vers 677 m d'altitude (*Coupe K 79*).

Pour faciliter la compréhension de ce qui suivra nous désignerons par A le limon argileux salin (795-796), par B le limon argileux calcaire, beige (792).

- 0 - 3 m : conglomérat classique, très dur, encroûté par le calcaire,
- 3 - 17 m : limon argileux calcaire, beige-brun, à débit en prismes, passant à un matériau identique mais hydromorphe à partir de 11 m (792),
- B 17 - 23 m : sable compacté gris-blanc, hydromorphe (793), assez grossier, friable et plus gris vers la base (794),
- A 23 - 31 m : limon argileux, massif, très dur, brun-beige à veinules salines grises (795), humide à partir de 30 m (796).

Devant Katolak, *la coupe K 81* d'une butte témoin, dans la vallée elle-même, est plus complexe. Un versant est constitué de sable gris-blanc identique à celui de l'échantillon 793 tandis que la butte présente le profil suivant :

- 0 - 6 m : conglomérat aux galets très grossiers (10-20 cm) encroûtés par du gypse formant d'importantes barbes. Accolé à ce dernier se voit un conglomérat calcaire très dur à la base duquel s'observe du sable grossier cimenté, encore accroché.
- 6 - 12 m : limon argileux, très massif légèrement hydromorphe (811), puis de plus en plus hydromorphe avec une forte exsudation saline. Ce sédiment se débite en importantes plaquettes (812).
- A

Tout semble indiquer ici que cette butte témoin a servi d'arrêt à des blocs de conglomérat glissés du versant O de la vallée.

Des observations identiques, montrant un décrochement net et le glissement du conglomérat calcaire et des produits sous-jacents (limon argileux 791, sable 793-794) vers la vallée, ont été faites en différents endroits sur ce même parcours.

On observe parfois des limons argileux, très calcaires et en plaquettes au sommet des limons argileux salins (A).

On a donc en cette région deux surfaces très différentes, caractérisées :

- pour la surface haute S 1, par des conglomérats à encroûtement calcaire en bordure des anciennes voies d'eau et par le «dasht» caillouteux à profil gypseux en s'éloignant de celles-ci,
- pour la surface basse S 2, par des sols gypso-salins à couverture graveleuse tandis que les buttes témoins présentent à leur surface des conglomérats à encroûtement gypseux ou gypso-calcaire qui se superposent aux limons argileux salins.

Ces deux surfaces ne paraissent pouvoir s'expliquer que par l'effondrement de la région actuellement empruntée par le cours du Khash Rod. Cette rivière coulerait donc aujourd'hui dans une zone de fracture qui aurait joué après la mise en places des unités sédimentaires A et B.

### **Du S de Lokhi à Alili**

La vallée du Khash Rod s'encaisse entre le plateau que constitue le «dasht» sur sa rive droite et des pointements rocheux à sa gauche qui affleurent dans un environnement de buttes témoins toujours identiques. On note un encroûtement blanc se développant le long du Khash Rod sous le conglomérat également encroûté au voisinage des massifs.

### **D'Alili à Cakhansur**

La route traverse une succession de multiples dépressions dans lesquelles affleurent de non moins nombreuses buttes témoins dont nous donnerons la coupe pour deux d'entre-elles.

Au S d'Alili *la coupe K 75* en bordure du «dasht» montre :

- 0 - 1 m : cailloutis conglomératique légèrement encroûté par le gypse et le sel sur 40 cm, puis sable et cailloutis en mélange,

- B 1 - 17 m : limon argileux blanc et calcaire,
- 17 - 18,5m : sable hydromorphe, très rouille à la base,
- A 18,5 - 20m : limon argileux bariolé par l'hydromorphie et salin.

A 27 km au N-E de Cakhansur, on trouve une butte témoin de 15 m environ présentant la coupe suivante (*Coupe K 73*) :

- 0 - 1 m : cailloutis sableux aggloméré par le sel sur 40 cm,
- C 1 - 5 m : limon argileux hydromorphe salin le long des fissures,
- 5 - 5,4m : sable rubéfié particulière (734),
- B 5,4- 12 m : limon argileux brun-beige, en plaquettes. Superficiellement très compacté et enrichi en calcaire (735),
- B 12 m ..... : limon argileux blanc calcaire identique à celui de la coupe K 75 (736).

Le limon argileux salin supérieur, que nous appellerons C, peut être surmonté d'un sol gypseux se développant sur des sables limoneux stratifiés. En direction de Cakhansur, sur certaines buttes témoins, les sables (734) mais alors peu rubéfiés atteignent 5 à 6 m d'épaisseur (1). Entre ces buttes témoins s'observent de nombreuses dépressions, le plus souvent en sol salin, qui représentent ici une troisième surface d'origine lacustre, plus récente que les deux précédentes (S 3). Elle correspondrait en cette région au profil d'équilibre de la terrasse T 3.

A Cakhansur une quatrième surface (S 4) fera son apparition. Il s'agit de celle que constituent les plaines d'inondation lacustres subactuelles à actuelles. Elle est formée de sols hydromorphes et salins.

Les sédiments limono-argileux des surfaces S 3 et S 4 appartiennent à une unité D complexe et plus récente que nous définirons en suivant.

Des limons argileux très calcaires s'observent en différents points dans la vallée du Khash Rod, soit sur le pourtour du bassin à Courab (E de Délaram), soit dans le bassin lui-même entre Délaram et Lokhi ainsi qu'au S d'Alili. L'accumulation calcaire jamais importante (60-80-100 cm) se superpose à l'unité A érodée ou surmonte la surface S 2 ou parfois des buttes témoins de S 3.

Deux datations de ces accumulations ont été effectuées dans cette vallée du Khash Rod. La première a été faite sur un échantillon prélevé en 1 971 (K 280) près de la coupe K 81. Il indique un âge de  $30.300 \pm 1 050$  ans BP. La seconde correspond à un échantillon (K 410 . 1 971) pris à une butte témoin voisine de la coupe K 75. Son âge est de  $33.200 \pm 1 600$  ans BP.

Ces accumulations calcaires sont beaucoup plus récentes que les unités A-B-C qui sont sans doute, vu leur épaisseur importante, à attribuer au Pléistocène moyen ou ancien, périodes pendant lesquelles le (ou les) lac avait une extension maximum. Il n'en est pas moins vrai que ces accumulations retrouvées, avec des datations sensiblement identiques, en différents endroits de l'ensemble de la cuvette, sont indicatrices d'une phase marécageuse importante et généralisée avec présence de lacs résiduels par places.

Une troisième datation a été effectuée sur des sédiments limono-argileux calcaires et coquilliers prélevés près de Zaranj à une petite butte témoin haute de 60 à 80 cm, découpée par le vent et sur laquelle viennent se plaquer des barkhanes. Elle a révélé un âge de  $9 030 \pm 125$  ans BP (K 352). Cette datation peut être rattachée vraisemblablement à la troisième surface.

La figure 28 b montre la position des différentes surfaces, les mouvements tectoniques possibles qui ont pu se produire. Ces mouvements se seraient traduits par une surélévation de la bordure du bassin et par une subsidence de plus en plus marquée vers le centre qui auraient entraîné des phénomènes d'érosion, le déplacement du cours du Khash Rod d'O en E, le découpage des différentes surfaces. Les accumulations calcaires datées et citées plus haut se seraient mises en place lors d'une phase de relatif équilibre. Elles traduisent des dépôts lacustres dans le bassin aval entre Alili et Cakhansur, des dépôts de marécages ou d'écoulement de nappe dans la partie amont jusqu'aux pieds des massifs.

(1) Cette coloration rougeâtre paraît due à une précipitation des hydroxydes de fer en milieu salin. Ceci est non seulement observé dans des sables mais également dans les sols gypso-salins du «dasht» et également dans les dépôts limono-argileux lacustres des unités A-B-C.

## Le bassin du Farah Rod

Afin de garder une certaine continuité nous décrirons tout d'abord les dépôts observés dans la partie aval de ce bassin en bordure du lac actuel (S de Laso Jowayn - N de Cakhansur).

La coupe K 64 décrite se retrouve sur toute la bordure du lac que suit la route Laso Jowayn - Cakhansur. Elle forme une falaise très démantelée de 10 à 15 m de haut qui s'abaisse progressivement vers le S.

- 0 - 1 m : limon argileux brun-beige, feuilleté, hydromorphe avec intercalations de texture identique mais plus rubéfiées,
- C
- B 1 - 7 m : limon argileux calcaire, blanc à gris-blanc, massif à débit en polyèdres,
- 7 - 10 m : sable à intercalations de fines bandes de limon argileux calcaire, très durci,
- B 10 - 12 m : limon argileux identique, gris-blanc avec intercalations rubéfiées,
- A 12 - 16 m : limon argileux jaunâtre, très hydromorphe et très salin. Fortement consolidé.

L'unité C (limon argileux hydromorphe et salin) peu épaisse ici, parce que fortement érodée, constitue le plateau que recoupe la route Laso Jowayn - Cakhansur. Elle atteint 3 à 4 m sur celui-ci où elle est surmontée par un conglomérat consolidé par le calcaire. Après la traversée de ce plateau, en allant vers Laso Jowayn, on descend dans la vaste dépression en alluvions récentes entourant cette ville (Unité D : 2 à 3 m de limon argileux peu évolué sur un conglomérat peu grossier et non cimenté. Epaisseur totale de 5 à 6 m) sur le pourtour de laquelle affleurent de multiples buttes témoins du «dasht». Quelques kilomètres après Laso Jowayn, en direction de Farah, une nouvelle rupture de pente brutale, d'une trentaine de mètres de haut, marque la fin de la cuvette. (Coupe K 59).

- 0 - 60 cm : conglomérat gypso-calcaire, friable,
- 60 - 80 cm : gypse en abondants cristaux en aiguilles,
- 80 - 160 cm : sable gris gypseux avec ligne de cailloux à la base (592),
- 160 - 200 cm : limon argileux très hydromorphe (593),
- A(?) 2 - 17 m : limon argileux calcaire, massif, à débit en cubes et à marbrures grises salines (594).  
Quelques passages sableux.

Plus au N (vers Farah - Km 50 de Laso Jowayn) apparaissent à droite de la route des buttes témoins en limons argileux très salins dominant de 4 à 5 m la dépression du Farah Rod. Sur les photographies aériennes on perçoit en cet endroit, en bordure du «dasht», une ligne de fracture grossièrement orientée N-S. Ces limons argileux paraissent devoir appartenir à l'unité A soulevée, tandis qu'en contrebas la berge du fleuve présente des coupes où se retrouve l'unité B. Dans cette partie, en différents endroits, on observe un ou deux niveaux conglomératiques encroûtés par le calcaire entre lesquels s'intercalent des limons argileux gris-blanc très calcaires, très durs, à débit en larges cubes. Ceux-ci constituent, par places, des affleurements dans le lit du fleuve.

### Coupe K 54

- 0 - 1,5m : conglomérat à ciment gypso-calcaire passant dans l'intérieur des terres à un faciès gypseux, peu cimenté,
- 1,5-1,8 m : conglomérat fortement encroûté par le calcaire,
- 1,8- 6 m : limon argileux calcaire, massif, passant à un faciès meuble et hydromorphe à feuillets horizontaux à la base.

Dans une coupe K 55, voisine de la précédente, le limon argileux calcaire, épais alors de 1,5 m, s'intercale entre deux conglomérats très calcaires dont celui inférieur, observé sur 5 m environ, présente des faciès gréseux à ciment calcaire pris dans la masse.

Ces limons argileux, très calcaires (1) dans cette région, paraissent les homologues de ceux trouvés en bordure du lac au S de Laso Jowayn (B de la coupe 64).

(1) Une datation par le carbone 14 sur un de ces échantillons (K 540 - 1 974) a donné un âge supérieur à 40.000 ans BP. Ceci confirmerait bien l'ancienneté de la sédimentation B. Des datations U/Th sont en cours sur de tels échantillons.

Toute cette région paraît marquée par de multiples effondrements qui se produisent sur le pourtour plus ou moins lointain du lac actuel, par blocs ou unités de plusieurs dizaines ou centaines de km<sup>2</sup>. Ainsi on peut voir, toujours sur la photographie aérienne, un de ces blocs (100 km<sup>2</sup> environ) marqué par une fine érosion débutante (Daste Rata de la carte 1/250.000 de Kang) traduisant un mouvement sans doute en cours. L'emplacement actuel du lac, au S de Laso Jowayn, paraît résulter de même de l'effondrement récent d'un de ces blocs (400 km<sup>2</sup>). On distingue, encore sur la photographie aérienne, sous les eaux, les anciennes lignes de relief et d'érosion. Tous ces phénomènes montrent la difficulté qu'il y a à reconstituer la stratigraphie en ces régions. On serait cependant tenté d'y voir une succession de compartiments, en voie de surrection ou d'effondrement, qui ont joué les uns par rapport aux autres à l'intersection de deux lignes directionnelles de failles : N-S le long du cours inférieur de l'Helmand, N-E — S-O le long du Khash Rod et du cours moyen de l'Helmand Rod.

### La dépression du Farah Rod et les piedmonts des massifs

Près de Farah ville un «carèze» de 5 à 6 m de profondeur montre la coupe schématique suivante :

0 - 2 m : limon argileux (loess colluvionné ?), peu évolué, beige  
2 - 6 m : conglomérat peu à moyennement grossier (3 - 4 cm), non cimenté.

Ces formations superposées passent latéralement vers l'E au glacis qui entoure les massifs. Ces glacis sont très complexes et les bordures des inselberge sont ennoyées sous des dépôts limono-argileux loessiques qui reposent sur des sables ou des matériaux graveleux à forte accumulation gypseuse, tandis que la couverture graveleuse formant le glacis ne paraît que très superficielle.

A la sortie de Farah, vers Khurmaleq à l'E, s'observe ainsi en bas de piedmont de massif :

- du sable éolien particulaire à petits amas calcaires peu abondants,
- un sol brun à brun-rouge à taches calcaires abondantes formé sur des limons argileux bruns qui paraissent se poursuivre dans un puits voisin sur une dizaine de mètres. Dans le fond de celui-ci des amas gypso-calcaires sont très abondants.

Ce profil alterne superficiellement avec un sol peu évolué, très caillouteux sur 60 à 80 cm, en remontant la pente du glacis... Plus loin, vers l'E dans l'intérieur du massif, les dépressions montrent à la faveur de «carèzes» des dépôts caillouteux de 2,5 à 3 m d'épaisseur reposant sur un encroûtement calcaire discontinu, relativement peu caillouteux et sans doute de nappe (NP 4 m).

La traversée d'un cours d'eau à sec mais important, peu avant l'entrée des massifs, est marquée par une terrasse conglomératique encroûtée sur 3 à 4 m. La dépression de Khurmaleq est en dépôts limono-argileux peu évolués qui portent de nombreux champs de coton. Sa bordure O légèrement ensablée présente des apports sableux éoliens en multiples monticules.

A l'O de Farah la vaste cuvette du Farah Rod se poursuit. Elle est constituée superficiellement par des dépôts caillouteux mêlés de limons argileux bruns présentant des interstratifications de sable. Des passages plus limoneux superficiels existent dans toute cette partie, dans les vallées ou dans de petites dépressions, et portent les cultures. Ils sont plus abondants aux pieds des massifs où ils peuvent constituer d'assez vastes surfaces comme celle de Qala I Kah. Les vieux sédiments lacustres apparaissent ici enterrés sous une couverture limono-graveleuse importante et récente sans doute de une à plusieurs dizaines de mètres. Ils ne réapparaîtront sous forme de buttes témoins, dans le bassin du Farah Rod, qu'au N de la route Délaram - Farah.

Les sédiments récents (limons argileux peu évolués, conglomérat meuble non encroûté) apparaissent comme beaucoup plus jeunes que les unités A, B, C précédemment définies. Nous appellerons, ici encore, ces sédiments récents l'unité D.

### Le bassin de l'Helmand Rod

Il est plus important que les deux précédents et plus complexe. Situé le plus à l'E, il a pour limite dans son cours moyen, les plateaux sableux du Régestan où demeurent des ergs importants qui rendent sa pénétration peu facile sinon impossible, mis à part les abords du massif de Khannesin et des monts Arbu situés près de la frontière pakistanaise.

Il s'agit encore d'un vaste bassin d'effondrement dans lequel l'Helmand Rod s'est enfoncé par des changements de cours successifs mais plus étroitement localisés.

Les plateaux du Régestan sont bordés vers le N par l'Arghandab Rod et le Doré Rod qui reçoit les eaux du Tarnak Rod descendues du plateau de Moqur.

Succinctement nous distinguerons dans cette vaste région qui va du N-E de Kandahar à Zaranj, sur la bordure du lac actuel, une succession de différents bassins :

- le bassin du Tarnak Rod dans son cours supérieur et moyen,
- le bassin de l'Arghandab et du Tarnak Rod dans la cuvette de Kandahar,
- le bassin de l'Helmand Rod et de l'Arghandab Rod, dans la région de Laskargah,
- le bassin de l'Helmand Rod dans la région de Darwésan - Khannesin,
- le bassin de l'Helmand Rod entre Caharburjak et Zaranj.

### **Le bassin du Tarnak Rod dans son cours supérieur et moyen**

Cette rivière qui prend sa source sur la plateau de Moqur est caractérisée par une série de 3 terrasses dont les plus hautes sont conglomératiques et très encroûtées par le calcaire. La plus élevée surplombe la vallée actuelle d'une centaine de mètres à Qalat tandis que la seconde se situe à une trentaine de mètres et la troisième, limoneuse, à 10 m environ au-dessus du lit. La plus haute se raccorde aux massifs par un glacis terrasse pouvant présenter lui-même plusieurs paliers successifs.

Deux datations ont été effectuées ici sur le ciment calcaire consolidant les conglomérats de la première et deuxième terrasses. Elles ont donné des âges de  $27.400 \pm 880$  ans BP pour la terrasse supérieure (K 13), de  $15.970 \pm 240$  ans BP pour la terrasse moyenne (K 15). Même si l'on doit admettre que l'encroûtement calcaire de la haute terrasse ne s'est effectué que très tardivement sur une surface beaucoup plus ancienne, ceci n'en démontre pas moins des écoulements importants lors de cette période. Ces trois terrasses paraissent correspondre à des profils d'équilibre du Tarnak Rod, soit dans un vaste lac recouvrant toute la dépression du Régestan-Séistan-Margo (cote 1 200 m), soit dans un lac ou une étendue marécageuse résiduelle en piedmont des massifs. Celui-ci pouvait fort bien se trouver barré, à l'O de Kandahar, par le seuil de Maywand.

Le cours du Tarnak Rod paraît s'être enfoncé dans une importante faille comblée antérieurement par des sédiments à dominance sableuse et à léger pendage que l'on perçoit tout au long de la route sous les conglomérats calcaires (1).

### **Le bassin de l'Arghandab Rod et du Tarnak Rod dans la cuvette de Kandahar**

Cette région qui a fait l'objet d'une étude détaillée au S de Kandahar s'étend du pied des massifs vers l'E où les terrasses du Tarnak Rod finissent par se confondre aux glacis des massifs bordant la ville de Maywand à l'O. Le couloir alluvial que forment les vallées de l'Arghandab Rod, du Tarnak Rod et du Doré Rod se rétrécit pour franchir un seuil au S de cette ville. Seuil précédemment cité.

Cette dépression est caractérisée :

- par de petits massifs qui affleurent dans la dépression elle-même sous forme d'inselberge parfois ensablés sur leur versant O. Ils sont portés sur la carte géologique allemande en «Calcaires à Rudistes en bancs ou en masse, Calcaires marneux à Orbitolines intercalés de conglomérats rouges». Plus au S, dans l'extrémité S-E de la feuille 1/50.000 de Qandahar des affleurements de roches très altérées sont multiples (dolérite, phtanite à intercalations de quartzites),
- par de vastes glacis prolongeant les massifs sur le piedmont. Ces glacis ne sont que superficiellement graveleux et sous le cailloutis conglomératique diversement épais s'observe la succession suivante (km 38 à l'E de Kandahar sur la route de Kabul) :

(1) Cette importante faille apparaît comme une ramification de la grande faille Chaman - Arghandeh (de LAPPARENT 1 972). Elle disparaît au voisinage de Kandahar sous la couverture sédimentaire.

- cailloutis légèrement encroûté par le calcaire vers 30 - 50 cm puis 160 cm,
- limons argileux mêlés de gypse pulvérulent et parfois de colluvions plus grossières et bariolées tendant à donner un début d'encroûtement. Epaisseur 150 cm,
- limons argileux à intercalations de gypse fibreux de 5 à 10 cm d'épaisseur. Epaisseur 250 cm.

La datation d'une de ces intercalations gypseuses dans laquelle se trouvait associée de la calcite a fourni un âge de  $23.920 \pm 610$  ans BP (K 1 042),

- par des cônes de déjection très graveleux au sortir des massifs,
- par des vieux conglomérats en voie de démantèlement,
- par un ensemble sableux deltaïque au S de l'Arghandab Rod et du Doré Rod. Il a été repris par les vents d'O qui ont modelé superficiellement de multiples barkhanes.

La majeure partie de la dépression est occupée vers l'O par des sédiments limono-argileux en cultures.

Enfin le long du Doré Rod et de l'Arghandab Rod au S de Maywand, s'observe, visible sur 3 à 4 m, un banc continu de dolomie blanche très dure englobant à sa base de petits galets noirs roulés. Sur la rive gauche du Doré Rod, cette dolomie est recouverte par l'ensemble sableux deltaïque aux sables beiges, beige-rougeâtre d'une dizaine de mètres d'épaisseur. Le banc dolomitique se retrouve plus au N dans la dépression de Kandahar, près de l'aéroport. Il est recouvert en cet endroit par des dépôts conglomératiques, non cimentés, de 8 à 10 m d'épaisseur.

Ces sédiments dolomitiques sont parmi les plus anciens qui ont été datés. La partie inférieure visible dans le sondage effectué près de l'aéroport (K 8) a un âge de  $34.300 \pm 1\ 900$  ans BP, la partie supérieure (K 7) de  $26.270 \pm 880$  ans BP pour un sédiment ayant 2 m d'épaisseur en cet endroit (1).

Un troisième échantillon prélevé dans la berge du Doré Rod sous l'ensemble sableux a fourni un âge de  $30.300 \pm 1\ 250$  ans BP rentrant dans la précédente fourchette.

Le matériau détritique très fin qui accompagne les carbonates indique un dépôt de ces sédiments en milieu à faible turbidité et sans doute en eaux relativement calmes.

Ces trois datations sont à rapprocher de celle d'une argile dolomitique du bassin du Logar ( $27.670 \pm 780$  ans BP).

Signalons que sur le pourtour des petits massifs calcaires orientés N-E — S-O, affleurant dans le coin S-E de la feuille de Qandahar au 1/50.000, s'observe à faible profondeur un encroûtement calcaire calcitique (Echantillon K 5) dont l'âge s'est révélé plus jeune mais voisin de ceux d'encroûtements du bassin du Logar ( $22.740 \pm 400$  ans BP). Les éboulis des roches de ces massifs présentent par places des restes d'encroûtements identiques, mais souvent finement stratifiés.

La figure 30 montre schématiquement la position des différentes sédimentations dans cette cuvette de Kandahar. Celles-ci paraissent relativement récentes et appartiennent à l'unité D.

### **Le bassin de l'Helmand Rod et de l'Arghandab Rod dans la région de Laskargah**

Passé la ville de Maywand vers l'O on se trouve dans un nouveau bassin caractérisé le long de l'Arghandab Rod par deux terrasses dont la plus haute et la plus ancienne ne figure plus que sous forme d'alignements de buttes témoins conglomératiques plus ou moins encroûtées qui forment les points hauts du relief de cette plaine qu'elles surplombent d'une dizaine de mètres. La seconde terrasse est moins visible le long de l'Arghandab, bien marquée tout le long de l'Helmand Rod où à Géresk sur une trentaine de mètres on observe en bordure de ce fleuve la haute terrasse de l'Arghandab, qui vient se confondre à la deuxième terrasse de l'Helmand située en contrebas. Une troisième terrasse alluviale, limono-argileuse en cultures, est visible le long de ces deux fleuves. Elle surplombe les lits de 4 à 5 m (Figure 31 a).

(1) Ceci ferait une vitesse moyenne de dépôt de ces dolomies de 2,4 cm par siècle. Ces âges ainsi que les vitesses de sédimentation sont assez comparables à ceux de dolomie du Texas Occidental (2,5 cm par 133 ans) qui correspondent à des dépôts d'anciens lacs, lors de périodes pluviales ( $27.000$  à  $17.400 \pm 600$  ans BP. C.C. REEVES et W.T. PARRY 1 965).

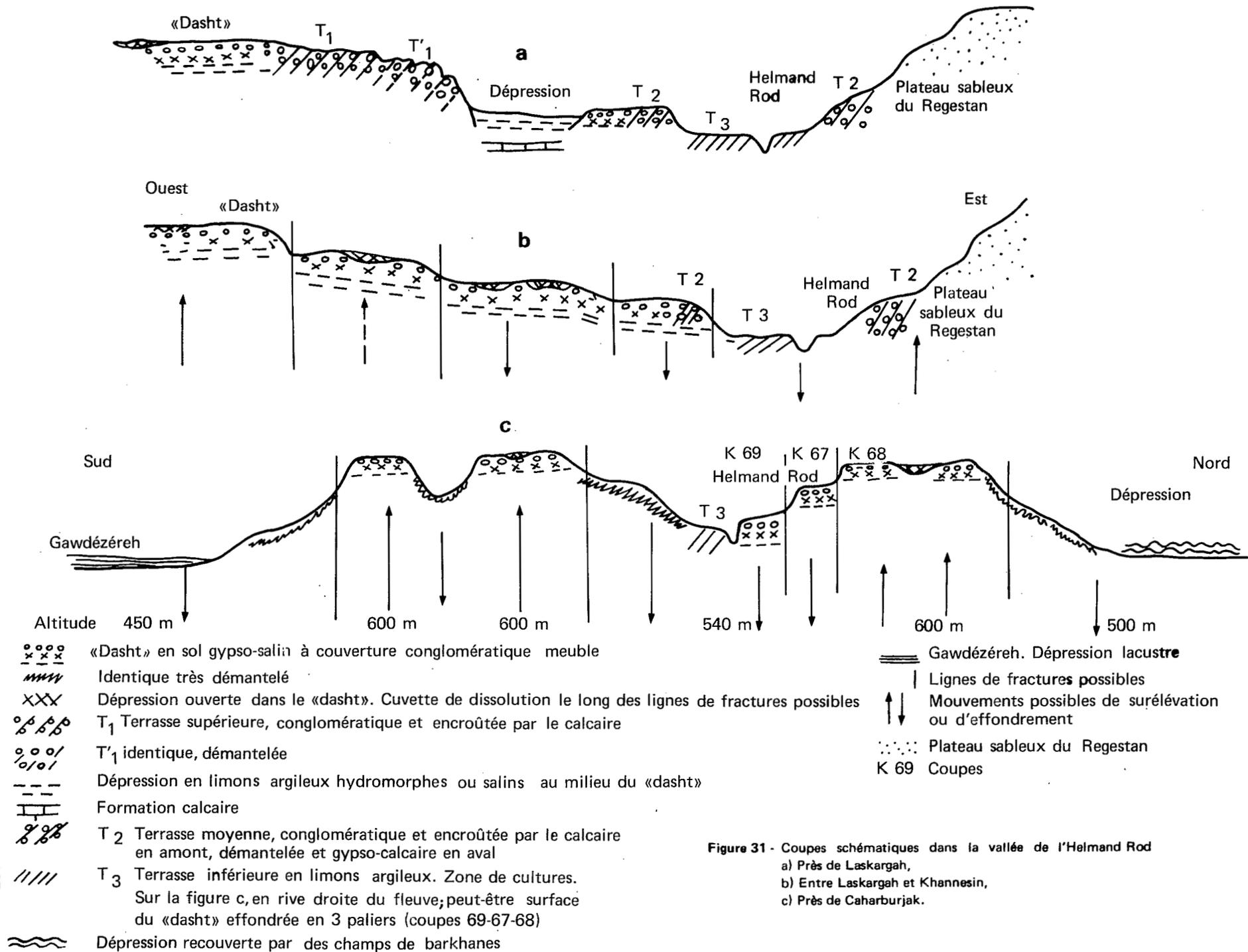


Figure 31 - Coupes schématiques dans la vallée de l'Helmand Rod  
 a) Près de Laskargah,  
 b) Entre Laskargah et Khannesin,  
 c) Près de Caharburjak.

La haute terrasse de l'Arghandab ne trouvera son équivalent, le long de l'Helmand Rod, que plus à l'O de Géresk où elle s'observe encore mais très démantelée sous forme de buttes témoins à conglomérats grossiers plus ou moins encroûtés (1). On la verra jusqu'au S-O de Laskargah (Figure 27 (5)).

Dans cette région il convient d'ajouter deux vastes fosses alluvionnées en dépôts limono-argileux apportés par des cours d'eau venus du N et que recoupe la route Géresk - Délaram. Les lits des cours d'eau très encaissés sont eux-mêmes bordés de terrasses conglomératiques. Dans les interfluves, entre ceux-ci s'observent des calcaires (calcaires lacustres ou encroûtements de limons argileux, sables limoneux ...) qui affleurent dans les parties hautes tandis que l'ensemble de la vaste cuvette a été ennoyé sous des apports alluviaux diversement grossiers mais superficiellement très graveleux. Ces accumulations calcaires se retrouvent également, sous des limons argileux de couverture, en différents endroits des dépressions en cultures de Laskargah (rejets de canaux d'irrigation ou de drainage). Elles sont observées là en des milieux très hydromorphes avec apparition d'horizon de gley en profondeur. Leur formation peut être liée à des actions de nappe après le dépôt du sédiment ou à un dépôt lacustre contemporain de leur mise en place. Elles paraissent les homologues de celles précédemment décrites (Bassin du Khash Rod - Bassins de l'Arghandab et du Tarnak Rod dans la cuvette de Kandahar).

Au N-E de Géresk, au voisinage des massifs, se voient des buttes témoins des anciennes étendues lacustres que nous n'avons vu affleurer nulle part dans les cours de l'Arghandab Rod et du Tarnak Rod. On a là les vestiges d'une surface ancienne qui se raccorde aux massifs voisins vers 900 m d'altitude.

#### *Coupe K 91*

- 0 - 1,5 m : cailloutis plus ou moins anguleux à léger encroûtement gypseux,
- 1,5 - 2 m : limon gypseux pulvérulent,
- 2 - 4 m : sable micacé gris-beige, plus fin à la base, (913),
- 4 - 10 m : limon sableux en plaquettes - Lité - Très hydromorphe, jaune et gris-vert passant à des limons argileux bruns en polyèdres très grossiers. A la base limon micacé, feuilleté, friable, brun à taches rouille entre les feuilletés, (914-915-916),
- 10 - 12 m : sable micacé gris-beige, (917 identique à 913),
- 12 - 14 m : limon brun à taches rouille et rouges,
- 14 - 20 m : limon argileux à veinules rouille et rouges présentant des filonnets de sel en profondeur, (918-919).

Il est intéressant de noter ici la présence de limons argileux salins à la base de la coupe. Ils sont peut-être l'équivalent de l'unité A trouvée dans les vallées du Khash et Farah Rod. La partie supérieure complexe serait à rattacher à l'unité D. Dans ces régions des intercalations de sable gris-blanc, plus ou moins épaisses, sont nombreuses dans les dépôts superficiels.

#### **Le bassin de l'Helmand Rod dans la région de Darwésan et du Kohé Khannésin**

A partir de sa confluence avec l'Arghandab Rod, l'Helmand Rod s'encaisse dans les formations lacustres et fluvio-lacustres anciennes par une vallée plus élargie en même temps que disparaissent les terrasses conglomératiques.

La route Laskargah - Khannésin qui court sur un vaste «dasht», sur la rive droite du fleuve, descend par une succession de ruptures de pente pour rejoindre le fleuve à ce dernier village (Figure 31 b).

Aucune coupe bien nette, en dehors des profils pédologiques peu profonds, n'a été observée sur cette rive.

A l'inverse sur la rive gauche les coupes sont plus nombreuses bien que difficilement accessibles par suite de nombreux ensablements. Dans celles-ci la dominance revient aux sables.

(1) Une datation effectuée sur un échantillon prélevé en 1974 a donné, pour la haute terrasse conglomératique de l'Helmand Rod, un âge supérieur à 40.000 ans BP, alors que pour celle du Tarnak Rod nous avons trouvé 27.400 ans. Il est donc vraisemblable que ces hautes terrasses se soient façonnées en plusieurs épisodes. D'autres datations de calcaires de cette région sont actuellement en cours par la méthode U/Th.

A Darwésan nous trouvons (*Coupe K 8*)

- 0 - 4 m : cailloutis fluviatile avec accumulation gypseuse en amas d'aiguilles formant des bancs entre lesquels s'intercalent des lits de sable ou de limon (81-82),
- 4 - 9 m : limon argileux, brun-jaune présentant quelques petits nodules calcaires (83),
- 9 - 12 m : sable roux à interstratifications sablo-argileuses, argilo-sableuses litées, très hydromorphes passant à un sable calcaire, blanc-beige, massif, très compact, à forte cohésion,
- 12 - 22 m : sable roux à très petits amas calcaires arrondis (2 à 3 mm) avec intercalations de feuillets calcaires discontinus à la base (86),
- 22 - 23 m : grès à ciment calcaire (87),
- 23 - 24,5 m : sable gris-beige avec quelques passages plus graveleux. Quelques masses gypseuses,
- 24,5 - 25,5 m : grès à ciment calcaire,
- 25,5 - 27 m : éboulis jusqu'à niveau de la route qui représente l'altitude générale de la dépression.

Entre Darwésan et Bagat une butte de 40 à 50 m de hauteur (altitude 900 m), formant un prolongement avancé du plateau du Régestan, présente en plusieurs paliers une coupe à dominance sableuse (*Coupe K 41*) :

- 1er palier 0 - 15 m : sable roux, très compacté avec superficiellement un petit cailloutis noir, roulé et des amas calcaires en plaquettes (411-412),
- 2ème palier 15 - 25 m : sable compact également calcaire. Plus fortement consolidé par places (413),
- 3ème palier 25 - 33 m : sable compact à stratifications horizontales, légèrement plus grossier à la base (414-415),
- 33 - 41 m : sable avec interstratifications limoneuses, blanches, calcaires, litées en épaisses plaquettes, bien nettes sur 4 m, beaucoup moins en dessous mais existantes. Chaque stratification a une épaisseur de 40 cm (416-417-418).

Ce sont de semblables interstratifications limoneuses, blanches, calcaires, litées, très dures que nous observons sur le versant S-E du massif volcanique de Khannésin (Point culminant 1 415 m pour une altitude de 650 m dans le cours de l'Helmand Rod). Elles se voient en des coupes complexes vers 800 m d'altitude où elles s'intercalent entre des tufs volcaniques observés sur une trentaine de mètres d'épaisseur à la base et un détritique volcanique vers le sommet (Parcours Bagat - Khannésin).

Ces coupes présentent :

- sur 15 à 20 m : un détritique volcanique plus ou moins stratifié, en deux ou plusieurs paliers,
- sur 4 à 6 m : des limons argileux lacustres, calcaires, blancs, lités en bancs subhorizontaux légèrement décrochés S-N par failles orientées E-O (K 230) (1),
- sur 30 m et plus : des tufs volcaniques à inclusions de roches diverses.

Sous ceux-ci, vers l'O, s'observent des sables roux compactés, à stratifications entrecroisées, légèrement métamorphisés sous des coulées de roche volcanique qui sont visibles dans cette même direction (Buttes témoins à l'E - S-E du massif de Khannésin). Peu avant ces buttes, dans le prolongement du réseau de fracture E-O, se voient d'anciennes sources thermales aux dépôts carbonatés très consolidés où, malgré le démantèlement lié à l'érosion, se perçoivent encore les anciens griffons.

*Le massif de Khannésin* est formé essentiellement de carbonatite noirâtre à gris-noire ceinturée annulairement par : des roches volcaniques (phonolite à leucite et néphéline); des tufs volcaniques à inclusions de carbonatites et de roches diverses; des cumulats basiques constitués d'hédenbergite et de phlogopite avec de l'apatite, de la magnétite, des grenats, le tout cimenté par des carbonates. C'est principalement dans ces cumulats qu'ont été mis en évidence des terres rares que l'on trouve également mais moins abondamment dans les carbonatites (lanthane, cérium, néodymium, samarium, europium, terbium, ytterbium, lutécium..... associés à d'autres minéraux : thorium, tantale, hafnium, scandium, chrome, cobalt..... et strontium, baryum particulièrement abondants) (ABDULLAH, BORDET, CARBONNEL, PIAS 1 975).

(1) La datation de cet échantillon par le C 14 a donné un âge supérieur à 40.000 ans BP.

En *VERSANT S*, aux pieds du massif, les sables des séries sédimentaires anciennes, très métamorphisés et redressés, rubéfiés ou de couleur verdâtre, gris-verdâtre ou blanchâtre constituent des épaulements au massif ou forment des collines érodées dans le voisinage éloigné de celui-ci. Ils sont injectés de roches volcaniques en filons rayonnants depuis le massif. Les produits d'altération, les formations sédimentaires anciennes métamorphisées et redressées sont plus ou moins masquées par des ensablements et des barkhanes. Ce massif volcanique serait d'âge Néogène - Pléistocène ancien (5 millions d'années).

En *VERSANT N*, du massif de Khannésin on observe plusieurs surfaces ou paliers :

— un premier, 30 à 40 m au-dessus du cours de l'Helmand Rod. Il est constitué de sables roux entrecroisés avec superficiellement des sables gris compactés recouvert d'un cailloutis,

— un second, 100 m au-dessus du lit du fleuve, également en sable roux avec en surface un détritique volcanique très grossier. Apparaissent également, par places, des grès blancs formant falaises. Ils semblent marqués par d'importantes cassures parallèles ou perpendiculaires au fleuve.

Vers 800 m, sur un glacis terrasse en pente douce se voient encore les sables roux, des affleurements de grès blancs et des intercalations limono-argileuses blanches salines démantelées, fracturées.

A la périphérie de ce glacis s'observent des buttes multiples de dépôts carbonatés représentant les anciens griffons de sources thermales liées au volcanisme. Ce thermalisme semble s'être poursuivi jusqu'à une période récente (1).

A partir de 900 m commencent les produits d'altération très cendreuse de la roche volcanique. Ils sont constitués, sur ce versant de dépôts jaune-beige (échantillon K 140 . 1 974) dans lesquels s'observent des coulées de matériaux identiques de couleur rouge (K 120 . 1 974) qui se voient à la faveur d'une cassure verticale d'une centaine de mètres de profondeur qui interdit, sur cette face, la montée vers le massif sans un très long détour.

#### **Le bassin de l'Helmand Rod entre Caharburjak et Zaranj (Figure 31 c)**

Dans cette partie du bassin de l'Helmand Rod nous n'avons pu effectuer que deux itinéraires : celui de Zaranj - Caharburjak en suivant le fleuve et, au retour, un itinéraire différent par l'intérieur du « dasht » pour rejoindre le précédent trajet au village de Qala Fath.

La première de ces routes suit la vallée par la terrasse du fleuve montant fréquemment sur le « dasht » caillouteux, très morcelé par l'érosion en nombreuses buttes témoins. A Caharburjak la vallée s'encaisse de façon plus marquée et présente sur sa rive droite 3 surfaces particulièrement bien visibles que l'on ne saurait assimiler à des terrasses, mise à part la plus basse qui surplombe le fleuve de 8 à 10 m et présente la coupe suivante à l'altitude 540 - 545 m (Coupe K 69) :

- 0 - 2 m : conglomérat plus ou moins encroûté par le calcaire suivant les endroits,
- 2 - 8 m : limon argileux brun-beige, très compacté, à débit en prismes grossiers (690-691).

La seconde surface qui forme une falaise bien découpée vers l'altitude 580 m a une coupe plus complexe (Coupe K 67) :

- 0 - 1 m : conglomérat moyennement grossier (1 à 5 cm) à encroûtement gypseux,
- 1 - 2,5 m : sable caillouteux,
- C 2,5 - 12 m : limon argileux hydromorphe et relativement meuble sur 2 m (679), puis très massif, feuilleté, salin, un peu plus sableux (678),
- C 12 - 18 m : limon gris-blanc calcaire, très compacté avec intercalations roses identiques et finement litées vers 14-15 m (677),
- B 18 - 20 m : limon gris-blanc calcaire, très dur à débit en prismes (676), à veinules roses à la base (675),

(1) La datation d'un échantillon (K 150) de ces dépôts carbonatés a cependant révélé un âge supérieur à 40.000 ans. De premières analyses sur ces carbonates semblent montrer la présence de deux types : un premier relativement riche en silice avec une fraction importante de calcium (Echantillon K 90 : Si O<sup>2</sup> 26 %. Ca O 34%. Mg O 1,4 %) ; un second également assez pourvu en calcium et magnésium mais pratiquement sans silice (Echantillon K 150 : Si O<sup>2</sup> 2,5%. Ca O 28,3 %. Mg O 22,3%).

- sable beige légèrement rosé par places avec filons de limon gris-blanc (674),
- sable plus rubéfié avec filons continus de limon gris-blanc calcaire, très durs, de quelques mm à 1 cm (673),
- sable limoneux gris-vert en fines lamelles (672),
- grès fin, très dur, cimenté par le calcaire, à fines raies salines (671-671'),

20 - 22 m : sable gris verdâtre (670),

B 22 - 25 m : limon très compacté, blanc et rose (670').

On atteint, toujours en remontant vers le plateau, la troisième surface (altitude 615 m) par une zone de ravinement où se perçoivent des buttes témoins d'une dizaine de mètres de hauteur (605 m) qui en permettent l'observation.

Altitude 615 m - Sur 1 m environ :

- cailloutis conglomératique,
- conglomérat gypseux,
- sable finement lité, éolien (?).

Altitude 605 m - Butte témoin (Coupe K 68) :

0 - 0,5 m : conglomérat gypseux,

0,5 - 0,7 m : sable gypseux rose puis grisâtre avec ligne rose au contact du niveau sous-jacent (682),

0,7 - 1 m : niveau salin (683) en cristallisation et amas de sel,

C-A (?) 1 - 8 m : limon argileux en plaquettes horizontales, brun à veinules roses puis brun clair avec des lignes grisâtres, salines (684-685-686-687).

La surface que constitue la coupe K 68 paraît avoir été soulevée. Le limon argileux salin que l'on y observe pourrait être alors soit l'unité C, soit l'unité A après érosion de C et B.

Les limons argileux de la première surface (terrasse de l'Helmand Rod - Coupe K 69) que nous avons considérés comme d'apport récent appartiennent peut-être à l'unité C effondrée en paliers successifs.

L'étude des photographies aériennes montre, également dans toute cette région, des lignes de fractures sur les deux rives de cette importante vallée. Ces lignes de fracture sont analogues, mais plus marquées ici, à celles que nous avons recoupées sur la rive droite de l'Helmand Rod entre Laskargah et Khannésin.

Le trajet retour Caharburjak - Zaranj par le «dasht» nous a permis d'observer :

- sur le plateau les vastes cuvettes d'effondrement qui se forment sur celui-ci et sur lesquelles nous reviendrons,
- une vaste zone d'ensablement qui s'étire du N-O au S-E et paraît se développer dans une région d'effondrement important qui rejoint vers le N le lac de Cakhansur - Zaranj (Dasht Jahandum et Amiran de la carte 1/1.300.000 d'Afghanistan).

Au S de Caharburjak nous n'avons pu accéder à la dépression lacustre du Gawdzéreh. Aucun bac véhicule ne franchissant le fleuve, il faut arriver à cette rive par la piste Darwésan - Bagat - Khannésin - Disu.

Il est particulièrement important de signaler ici qu'à l'E de Caharburjak, sur la feuille au 1/250.000 du même nom, l'Helmand Rod, coule pratiquement sur une ligne de crête séparant les deux dépressions signalées précédemment («Dasht» Jahandum et Amiran et Gawdzéreh). Tôt ou tard, ce fleuve sera amené soit à rejoindre la seconde, soit à changer de cours et emprunter la première. Les ensablements observés dans cette dernière auront et ont déjà sans doute pour effet de rejeter le cours de ce fleuve vers le S accélérant ainsi les érosions importantes qui se manifestent entre la dépression de Gawdzéreh et le cours de l'Helmand Rod au niveau du 62° 30' de longitude, point névralgique où devrait s'effectuer la capture. Comme nous l'avons dit précédemment cette dépression, comme celles formant les lacs de Hamune Sabéri et Jéhilé Puzak, paraît le résultat d'effondrement de grands compartiments au lieu de rencontre de deux lignes directionnelles de failles :

- une première orientée N-E - S-O (cours de l'Helmand Rod entre Laskargah et le massif de Khannésin),
- une seconde S-N à partir de Caharburjak.

Les écoulements de l'Helmand Rod vers la dépression du Gawdzéreh, liés à des infiltrations ou à un début de phénomène de capture, qui se produisaient encore à une période très récente sont actuellement

diminués du fait de la création du barrage de Kajakay en amont de Géresk. Ceci explique l'assèchement provisoire de cette dépression qui sera remise en eau, tôt ou tard, par une capture totale de l'Helmand Rod.

#### 4 - ETUDES SEDIMENTOLOGIQUES ET MINERALOGIQUES DES FORMATIONS SUPERFICIELLES OBSERVEES

Nous indiquerons surtout ici les études faites sur des échantillons rapportés des missions 1 968 - 1 971 et seulement quelques unes de celles effectuées jusqu'à présent sur les échantillons de la mission 1 974.

Nous distinguerons successivement :

- les limons argileux d'origine lacustre ou fluvio-lacustre,
- les sédiments calcaires et dolomitiques lacustres,
- les formations sableuses,
- les formations conglomératiques,
- les dépôts récents.

##### Les limons argileux d'origine lacustre ou fluvio-lacustre (\*) (Figure 32)

Sous ce terme nous engloberons des dépôts d'âges variables appartenant aux différentes unités A, B, C, D.

Les courbes cumulatives de ces dépôts sont le plus souvent bimodales :

- hyperbolique dans la partie la plus fine (sédiment déposé dans le cas présent au cours d'un transport plus ou moins important suivant l'intensité des courants pouvant régner dans ce milieu lacustre en fonction de la proximité de débouché de cours d'eau dans celui-ci),
- parabolique pour la partie la plus grossière (sédiments déposés par décantation).

Des sédiments présentant ce type de courbe et situés à la périphérie du bassin sont parmi les plus récents (Profils K 3 et 5. Cote 1 200 m). Ce sont les moins fins des dépôts observés puisque situés directement à la sortie des massifs. Leurs courbes sont d'ailleurs à rapprocher de celles de loess du plateau de Moqur d'où ils doivent tirer en grande partie leur origine.

Certaines courbes sont unimodales et paraboliques comme celles des sédiments des marécages actuels prélevés près de Cakhansur (Echantillons du profil K 40), en même temps que parmi les plus fins (médiane 1,92 à 2,45  $\mu$ ).

Enfin d'autres courbes sont plurimodales (Echantillons des profils K 35 et 43) montrant ainsi l'interférence de plusieurs courants à l'intérieur du milieu lacustre.

D'une façon générale la médiane de ces divers sédiments est comprise entre 1,92 et 43  $\mu$ . Il y a fréquemment à l'intérieur d'une même coupe une variation plus ou moins forte de la grossièreté qui indique des variations dans le temps de l'intensité des courants (Echantillons des profils K 5 et 34....).

L'hétérométrie et le  $Q d \varphi$  varient respectivement pour l'ensemble de ces sédiments entre :

- 0,45 et 1,88 (Hétérométrie),
- 0,55 et 3,10 ( $Q d \varphi$ ).

Ces indices d'une façon générale apparaissent d'autant plus élevés que le sédiment se révèle plus fin, en même temps que les courbes tendent vers un faciès parabolique. Ceci paraît alors indiquer une très forte dispersion des éléments colloïdaux, dans un milieu lacustre d'où se trouvent pratiquement exclus tous courants importants.

Toutes ces courbes sont à rapprocher de celles obtenues pour des sédiments lacustres récents ou subactuels de la cuvette tchadienne (PIAS 1 971). Il y a une grande analogie de faciès de courbe, encore que la grossièreté du sédiment total apparaisse plus fine dans cette cuvette africaine (2  $\mu$  en moyenne contre 8 à

(\*) Voir Annexes 1-2-3-4.

10  $\mu$  dans celle du Régestan-Séistan-Margo. Dans le premier cas, il s'agit d'apport purement lacustre, dans le second d'apports lacustres auxquels s'ajoutent des loess colluvionnés ou en place).

La coloration de ces sédiments est gris-beige en surface (10 YR 5/2 - 6/2), beige plus ou moins blanchâtre en profondeur (10 YR 7/2 - 8/1). L'examen de la fraction minéraux lourds montre une assez grande homogénéité dans leur répartition où dominent, par ordre d'importance :

- Epidote 35 à 85% . En moyenne 50 à 60%,
- Amphibole 2 à 55% . En moyenne 20 à 30%,
- Grenat 2 à 19% . En moyenne 5 à 10%, (1)
- Zircon 0 à 15% . En moyenne 3 à 5%,
- Augite 0 à 10% . En moyenne 3 à 5%,

On observe également de la tourmaline, du rutile et encore en plus faible quantité de la brookite, de la staurotide, du disthène....

On remarquera la présence faible mais constante d'augite qui pourrait marquer un certain volcanisme, encore qu'il n'ait pas été trouvé, dans ces sédiments, comme en d'autres régions, des hornblendes à faciès volcanique, des verres volcaniques que nous trouverons cependant dans certains sables.

Cette fraction minéraux lourds est peu importante (0,02 à 3,7%), en moyenne 0,2 - 0,3%. Dans un même profil prélevé dans une cuvette saline de décantation située près de Cakhansur sont notées les deux teneurs pondérales les plus élevées (2,7 et 3,7%) sans qu'il y ait pour cela de différenciation dans la répartition des minéraux.

Toutes ces données de minéraux lourds sont à rapprocher de celles de loess de régions plus lointaines (Logar) ou limitrophes et faisant partie du bassin versant (plateau de Moqur).

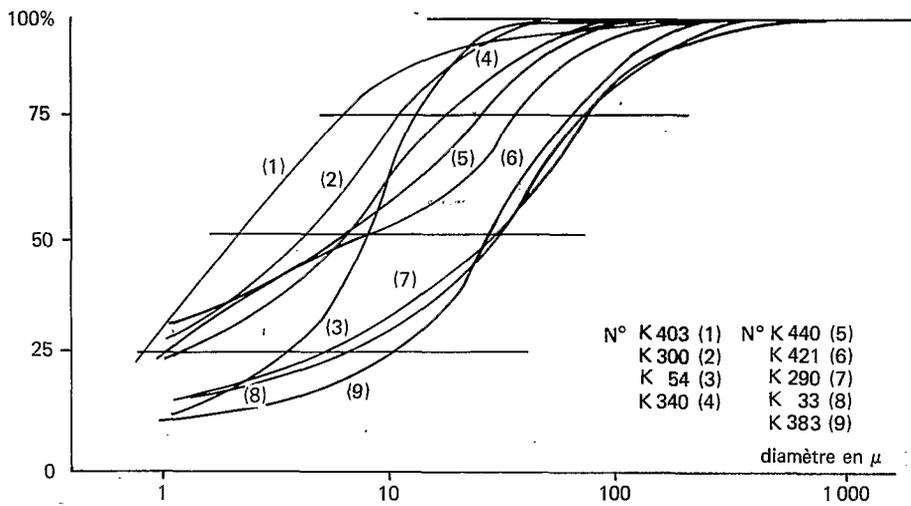
L'examen aux RX de la fraction argileuse de ces sédiments révèle le plus couramment une composition faite souvent d'illite et de chlorite en codominance, auxquelles s'associent de la calcite et souvent en moindre quantité de la dolomie. A ces argiles peut s'ajouter dans certains cas de l'attapulgitite ou (et) de la sépiolite en même temps que l'illite peut se trouver très diminuée.

L'examen aux RX de la fraction totale de ces mêmes sédiments révèle en plus des argiles, la présence fréquente de plagioclases ainsi que celle de Na Cl en plus ou moins grande abondance. Le quartz est fortement représenté sur ces diagrammes. L'analyse totale aux triacides montre cette forte proportion de quartz (30 à 44%). Les teneurs en silice combinée varient peu autour de 20%, de même que les taux d'Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (10%), de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (4 à 5%), de calcium assez abondant (8 à 12%), tandis que les taux de Mg O (2,5 à 3,5%), de K<sub>2</sub>O (1 à 1,5%) sont plus faibles et le sodium plus variable (0,5 à 5,2%).

Les sels solubles extraits de divers échantillons salés sont principalement du Na Cl et, en moindre quantité, du SO<sub>4</sub> Na<sub>2</sub>. Les carbonates ou bicarbonates sont absents, à l'état de traces ou peu abondants.

*En conclusion* ces formations apparaissent le plus souvent comme les produits de décantation, sous l'influence de courants variables dans le temps et dans l'espace, de sédiments assez fins souvent voisins des loess. Ceci pourrait suggérer que ces loess, épandus très largement sur l'ensemble du bassin versant de la cuvette lacustre, se sont trouvés par la suite colluvionnés dans celle-ci. L'absence de produits grossiers (gravier, sables plus ou moins graveleux) paraît évoquer des périodes de dépôts au cours desquelles le ou les lacs se seraient trouvés soit dans une position d'équilibre marquée par de faibles transports (périodes maximales d'extension lacustre avec cours d'eau tributaires ayant atteint leur profil d'équilibre); soit en phase régressive lente (diminution des précipitations ou disparition progressive des neiges accumulées pendant la glaciation sur tout le bassin versant montagneux).

(1) Certains des échantillons prélevés en 1974 montrent une prédominance de grenat (30-40%). Il s'agit de ceux pris principalement dans le voisinage plus ou moins lointain du massif volcanique de Khannésin (Profils K 67-68-69....). Dans ceux-ci, on trouve en outre un peu de pyroxène monoclinique. Dans une même coupe, on peut avoir alternativement des grenats peu ou très abondants, ce qui montre la plus ou moins grande importance de phénomènes érosifs sur ce massif dans le temps, avec un fond toujours très important d'épidote d'origine loessique. Les minéraux lourds des produits d'altération du massif lui-même (échantillons K 120-140) sont comparables à ceux des plus riches en grenat.



COURBES  
CUMULATIVES

Figure 32 - Les limons  
argileux et les argiles  
lacustres.

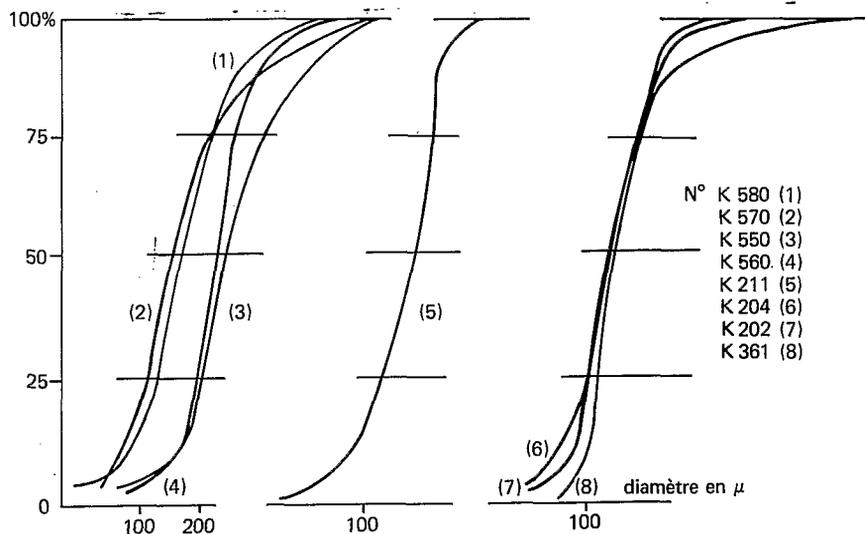


Figure 33 - Les forma-  
tions sableuses

### Les sédiments dolomitiques (ou calcaires) lacustres (\*)

Cette formation a surtout été observée dans la dépression de Kandahar où elle a été trouvée en de nombreux points le long des cheminements des «carises» et dans le cours du Doré Rod ou, sur la rive gauche, elle s'enfonce sous les sables. On la trouve également en de multiples points de la cuvette, le long de la route Géresk - Délaram, ainsi que dans la région de Laskargah et dans la dépression du Khash Rod...

Morphologiquement la dolomie observée près de Kandahar (1), se présente sous la forme d'une roche blanchâtre, massive, très dure, relativement homogène encore que dans sa partie inférieure elle puisse englober de petits galets roulés.

En lame mince, elle se présente en très fins cristaux très homogènes et serrés se développant sur un fond brun clair, terreux où l'on peut voir des trainées d'oxyde de fer. Il n'a pas été observé en ces dépôts de fossiles ou micro-organismes tant à l'examen macroscopique que microscopique.

L'analyse totale aux triacides révèle un fort pourcentage de quartz (22 et 28,5%) pour des teneurs en silice combinée plus modestes (6,5 à 7,5%) ainsi qu'en fer (2,35%) et en alumine (3%). Il y a peu de titane (0,10%) et de manganèse (0,03%). Par contre les valeurs de Ca O et Mg O sont très élevées, respectivement 16,5 à 22,75% et 9,3 à 10,3%.

(\*) Voir ANNEXES 2-3-4.

(1) L'examen d'autres faciès de cette roche, prélevés en 1974, sont en cours d'étude.

L'examen aux RX de la fraction totale montre la prédominance très marquée de quartz et de dolomie (2,89 - 2,19 - 2,40 Å .....). Celui de la fraction argileuse montre dans l'ordre une dominance de chlorite, attapulgite et illite (Echantillon K 8).

Ces sédiments présentent une salinité résiduelle encore importante (conductivité de l'extrait de saturation exprimé en mmhos/cm : K 7 : 58,84 - K 8 : 37,20). Les sels sont à dominance de Na Cl avec des quantités moindres de SO<sub>4</sub> Na<sub>2</sub> mais l'ion Mg prend ici des valeurs non négligeables.

La fraction minéraux lourds de ces sédiments dolomitiques est constituée principalement d'épidote (71 et 87%), de hornblende (1 à 14%), de grenat (3 à 10%), de zircon (5 à 9%), de rutile, de tourmaline, de spinelle et d'augite en moindre quantité.

### Les formations sableuses (\*) (Figure 33)

Nous distinguerons d'une part les formations sableuses situées sur le pourtour de la cuvette, d'autre part celles localisées dans l'intérieur de celle-ci.

Les formations sableuses du pourtour ont une particulière importance sur la feuille de Kandahar où elles constituent un vaste ensemble que l'on peut assimiler aux anciens dépôts deltaïques, dans le vieux bassin lacustre, de plusieurs rivières (Tarnak Rod, Arghestan Rod, Doré Rod....). Des formations similaires sont visibles en d'autres endroits sur le pourtour de cette cuvette, mais sont souvent très démantelées. Elles sont visibles, soit sur les photographies aériennes, soit sur les cartes dans le S du bassin où nous n'avons pu aller.

C'est la formation sableuse du S de Kandahar que nous avons eu l'occasion d'observer le mieux. Ces sables épais d'une dizaine de mètres sont relativement homogènes. De couleur beige, beige-rougeâtre (7,5 YR 6/4) ils ont donné naissance par pédogenèse à un sol à différenciation calcaire peu marquée où l'accumulation se fait sous forme de points blancs et très petits nodules peu nombreux à partir de 80 à 100 cm. Actuellement, ces sables sont l'objet d'un remaniement éolien important qui a donné naissance à un très vaste ensemble de barkhanes, hautes de 2 à 4 m, se déplaçant d'O en E.

L'examen sédimentologique des sables montre des courbes cumulatives à faciès fréquemment unimodal. Les courbes sont très redressées (Q d  $\phi$  : 0,24 à 0,47 ; hétérométrie : 0,22 à 0,42), la médiane est comprise entre 115 et 162  $\mu$  (Echantillons des profils K 20, K 101, K 102).

La fraction minéraux lourds de ces sables est constituée d'épidote dominante (57 à 86%), à laquelle s'associent de la hornblende très fréquemment d'origine volcanique (2 à 23%), du grenat (6 à 16%) et en plus faible quantité du zircon, du rutile, de la tourmaline, de l'andalousite, de la sillimanite, de la monazite.... La teneur pondérale en minéraux lourds est très diverse (0,73 à 2,42%)

L'examen des quartz luisants, picotés ou mats, très abondants, montre une dominance de subanguleux (65 à 88%), avec quelques émoussés (2 à 22%) et anguleux (7 à 30%), mais aucun de type rond, même dans les sables constituant les formes éoliennes. L'indice d'usure de ces sables est faible à très moyen (0,150 à 0,210).

L'origine de ces sables est à rechercher dans le bassin amont où on les observe sous les deux terrasses conglomératiques, signalées précédemment. Les formations sous-jacentes à ces conglomérats sont des sables de coloration diverse (gris clair, gris-blanc, beige ou blanc à points noirs). Ils sont observés sur plusieurs dizaines de mètres et paraissent avoir pour origine les apports latéraux de rivières affluentes au Tarnak Rod qui semblent avoir comblé un sillon préexistant. Ces sables riches en feldspath et en micas contiennent de 20 à 38% de Ca CO<sub>3</sub>. Ils présentent des courbes cumulatives redressées souvent unimodales qui en font des sables bien triés (Q d  $\phi$  : 0,26 à 0,42 ; hétérométrie 0,20 à 0,38 ; Echantillons K 550, 560, 570, 580). La médiane de ces sédiments varie entre 160 et 250  $\mu$ . Les quartz abondants sont à dominance d'anguleux (37 à 64%) et de subanguleux (33 à 56%) tandis que les émoussés sont peu abondants (1 à 6%). L'indice d'usure est plus faible que précédemment (0,070 à 0,134).

La fraction minéraux lourds est constituée essentiellement par de l'épidote (74 à 92%) avec les mêmes autres minéraux que ceux signalés pour les sables du delta, à l'exclusion de la hornblende ici en très faible quantité (le plus souvent inférieure à 3%).

Si nous admettons pour origine des sables du delta du S de Kandahar les sables sous-jacents à la vieille terrasse, de ces différentes observations nous retiendrons :

(\*) Voir Annexes 5-6-7

- le type fluviatile de ces sables bien triés avec le passage d'amont en aval de quartz anguleux à subanguleux à des quartz subanguleux avec présence d'émoûssés plus abondants,
- l'absence parmi les quartz de forme éolisée, même dans ceux des formations subissant un actuel remaniement éolien,
- l'apparition de hornblende d'origine volcanique dans les sables deltaïques. Celle-ci peut être interprétée comme le résultat d'émissions volcaniques plus ou moins lointaines. On peut envisager comme lieu d'émission les volcans du Dacht E Nawar (P. BORDET 1 972) puisque le plateau de Moqur présente dans ses sédiments loessiques superficiels une très forte concentration en ce minéral (Cf. Echantillon K 170. Tableau des minéraux lourds) ainsi que des verres volcaniques. Cette émission se serait produite dans une fourchette comprise entre  $27.400 \pm 880$  ans BP (date de l'encroûtement du conglomérat de la terrasse supérieure. Echantillon K 13) et  $15.970 \pm 240$  ans BP (âge de l'encroûtement du conglomérat de la deuxième terrasse. Echantillon K 15). Les loess à hornblende du plateau de Moqur qui ont eux-mêmes subi un très fort encroûtement ont été datés de  $18.900 \pm 420$  ans BP (Echantillon K 160), ce qui réduit d'autant la précédente fourchette.

La fourchette de  $27.400 \pm 880$  et  $15.970 \pm 240$  ans BP serait également celle au cours de laquelle se serait façonné le delta fossile.

D'autres échantillons sableux ou gréseux cimentés par le calcaire et parfois salins (Echantillons K 1 043 - 1 044 - 1 045. Près de Géresk) proviennent de buttes témoins, surplombant le «dasht» caillouteux de plusieurs mètres, que l'Helmand Rod a laissé après avoir recoupé d'anciennes formations.

L'échantillon K 470 provient d'une butte analogue de 8 m de hauteur observée dans le cours du Khash Rod, à 12 km de Délaram en direction de Cakhansur. Dans ces formations à indice de grossièreté variable ( $79$  à  $290 \mu$ ), bien triées ( $Q d \varphi$  :  $0,26$  à  $0,40$  ; hétérométrie  $0,25$  à  $0,32$ ), aux quartz anguleux à subanguleux, on note relativement peu de hornblende ( $1$  à  $7\%$ ).

A l'inverse, des sables de barkhane prélevés près de Zaranj (Echantillons K 361-362), voient augmenter leur fraction subanguleuse et émoûssée tandis que la hornblende alors volcanique devient très abondante ( $38\%$ ).

La fraction argileuse des sédiments sableux sous la terrasse haute du Tarnak Rod (Echantillons K 550-560-570-580) est à dominance de montmorillonite puis de chlorite et d'illite. Il en est de même de celle des buttes témoins près de l'Helmand Rod (Echantillons K 1 043-1 044-1 045). Par contre la fraction argileuse des sables du delta (Echantillon K 204) est constituée par ordre d'importance d'attapulгите, d'illite, de chlorite, de sépiolite et de traces de montmorillonite. Celle de la barkhane de Zaranj (Echantillon K 362) a une composition voisine (illite, chlorite, attapulгите, sépiolite, traces de montmorillonite). La présence d'attapulгите et de sépiolite dans ces derniers sédiments apparaît ici non pas comme le résultat d'une pédogenèse, mais comme un héritage prélevé aux sols à encroûtement sur loess de l'arrière pays du bassin versant.

## Les formations conglomératiques

Elles sont peu observées sur la feuille de Qandahar au  $1/50.000$  et les rares zones qui s'y trouvent se voient le long de l'Arghestan Rod. Elles paraissent constituées là une ancienne terrasse surplombant la dépression d'une vingtaine de mètres. Cette dépression a été, sans doute, en partie recréusée puis résédimentée par les produits d'érosion de ces conglomérats interstratifiés de dépôts plus fins qui se superposent aux dolomies qui, elles, ont bien résisté.

La description morphologique de ces conglomérats est analogue à celle donnée pour les piedmonts du bassin du Logar.

Dans cette vaste cuvette du Régestan-Séistan-Margo les conglomérats constituent sur le pourtour de celle-ci les anciennes terrasses fossilisées des fleuves qui l'alimentaient. Celles-ci, nous l'avons vu précédemment, sont souvent au nombre de trois (dont deux conglomératiques).

Les conglomérats de la feuille de Qandahar sont constitués de galets très altérés, parfois striés, à «barbe» calcitique caverneuse et à petits éléments graveleux. Ces galets sont en roche verte, en ophiolite, en radiolarite, en dolérite, en quartz.... L'ensemble est peu consolidé bien que l'accumulation calcaire soit importante à partir de  $20 - 30$  cm. Ces conglomérats démantelés aux formes molles contrastent avec celui

bien conservé de la terrasse supérieure du Tarnak Rod que l'on observe en remontant vers Qalat. Elle interpose alors dans le paysage sa surface bien dessinée entre la terrasse moyenne et le massif montagneux. Cette terrasse supérieure apparaît le plus souvent comme une terrasse glacis se raccordant sans doute anciennement au massif dont elle constitue encore, en de nombreux endroits, le piedmont. Elle paraît de ce fait l'homologue des formations de piedmont du Logar dont elle a sensiblement le même âge ( $27.400 \pm 880$  ans BP).

L'examen aux RX du ciment du conglomérat de la terrasse supérieure (Echantillon K 13) montre une dominance de calcite à laquelle s'ajoute une fraction assez faible de dolomie tandis que l'argile est essentiellement de l'attapulgite avec un peu de chlorite.

Le conglomérat démantelé de la feuille de Qandahar paraît plus récent et nous lui attribuerons par comparaison l'âge de la deuxième terrasse ( $15.970 \pm 240$  ans BP) bien qu'aucune datation n'ait pu être faite.

Ces conglomérats formant terrasse s'observent avec régularité sur le pourtour de la cuvette : à Géresk (Helmand Rod), à Délaram (Khash Rod).... (1).

En nous dirigeant de Délaram vers le centre de la dépression ces conglomérats disparaissent peu à peu. On en voit encore 2 bien nets à 65 km de Délaram, près de Kotalak, puis plus qu'un seul à 56 km de Cakhansur, à 15 km du point d'eau d'Alili. Le conglomérat qui s'observe près du pont franchissant le cours d'eau en cet endroit est pratiquement au niveau de la surface du «dasht». Très fortement consolidé par le calcaire il s'observe sur 2 m environ.

### Les dépôts récents (\*)

Nous les connaissons surtout par les observations faites sur la coupure au 1/50.000 de Qandahar où ils occupent une vaste surface. Ils paraissent avoir remblayé là une dépression préexistante et se superposent souvent au sédiment dolomitique. Ils peuvent être observés sur la totalité de leur épaisseur dans les puits ouverts des «carises».

Il s'agit d'un conglomérat aux galets roulés diversement grossiers pouvant atteindre jusqu'à 10-20 cm de diamètre entre lesquels s'en intercalent de plus petits (1 à 3 cm), beaucoup plus nombreux.

Tous ces galets sont sains, patinés et ne présentent aucune «barbe» calcitique. L'ensemble du conglomérat est non encroûté par le calcaire. Il est relativement friable avec un sable interstitiel meuble. Des stratifications plus finement caillouteuses sont visibles par places ainsi que parfois des litages sableux pouvant atteindre plusieurs dizaines de centimètres. L'épaisseur de ce conglomérat, où nous l'avons observé, c'est-à-dire après la traversée de l'Arghestan Rod, près de la route de Kandahar au Pakistan, atteignait 9 m. Dans le fond de ce «carise» circulait un mince filet d'eau.

La partie supérieure de ce conglomérat apparaît souvent plus finement stratifiée avec alternance en surface de galets roulés noirs et de plages limoneuses réduites de très faible épaisseur (quelques dizaines de centimètres). Dans cette partie supérieure souvent moins caillouteuse se développe sur des épaisseurs variables (60 à 100 cm) un sol à taches, amas calcaires et parfois petits nodules. Dans l'O de la feuille de Qandahar cet alluvionnement devient plus varié et les stratifications plus nombreuses (2) :

(1) Des échantillons de conglomérats prélevés en 1974 sont en cours d'étude. Nous avons vu que celui prélevé à la terrasse haute de l'Helmand Rod près de Laskargah a donné un âge supérieur à 40.000 ans BP.

(2) Près de Maséray Kalay nous avons vu la coupe suivante :

- limon-argileux non évolué (0-40 cm),
- cailloutis conglomératique, noir, roulé, de 1 à 5 cm de diamètre formant un ensemble assez meuble, non consolidé (40-200 cm),
- sable gris-noir moyennement grossier (200-225 cm),
- alternance de limon argileux feuilleté et de sable limoneux pulvérulent (225-285 cm),
- cailloutis conglomératique roulé (285-315 cm),
- sable lité particulière avec quelques passages plus graveleux (315-415 cm),
- conglomérat roulé toujours identique (415-615 cm).

(\*) Voir Annexes 8 et 9.

Tous ces dépôts sont relativement comparables à ceux que l'on peut voir dans le lit de l'Arghestan Rod et correspondent à ceux d'un cône de déjection relativement récent d'un ensemble de cours d'eau (Tarnak Rod, Arghestan Rod, Sorab Selah...) descendant des massifs. Les matériaux constituant ces sédiments paraissent provenir du démantèlement des conglomérats des deux terrasses de ces rivières, des formations sableuses sous-jacentes et des loess de la troisième terrasse ou de l'arrière pays.

L'examen sédimentologique de la fraction fine inférieure à 2 mm constituant la partie interstitielle placée entre les galets du conglomérat a un indice de grossièreté très variable (12 à 81  $\mu$  pour les échantillons analysés). Les courbes cumulatives sont généralement très étalées sur l'axe des abscisses, de type bi ou plurimodale indiquant des stocks sédimentaires en mélange en même temps que des courants à vitesses variables à la fois dans le temps et, pour une même période, dans le lieu de sédimentation. Il y a de la même manière une grande variabilité dans la teneur pondérale en minéraux lourds d'un échantillon à un autre pour un même profil (Profil K 8 : 0,73 à 6,4%). Le plus fort pourcentage est observé ici dans l'horizon de surface tandis qu'en profondeur celui-ci demeure plus constant. Ceci tendrait à prouver des phénomènes d'érosion superficiels par ruissellement en période humide et de déflation éolienne en période sèche, phénomènes visibles et constatés pendant ces saisons. Dans ces sédiments la dominance revient alternativement à l'amphibole (Profil K 4 : 68 à 79%), à l'épidote (Profil K 8 : 33 à 63%). Les grenats peuvent être abondants (10 à 18% dans le profil K 8). On observe également du zircon, de l'augite, du rutile....

L'examen de la fraction argileuse aux RX montre dans le profil K 8 une dominance constante dans les différents horizons d'illite, chlorite et attapulgite avec des quantités moindres de sépiolite et un peu de montmorillonite dans l'horizon de profondeur.

Toutes ces observations analytiques montrent la très grande complexité de l'alluvionnement de ces dépôts.

#### **Le « dasht »**

Ce sont des formations superficielles analogues qui constituent les grandes surfaces planes, caillouteuses et désertiques appelées « dasht ». A tapis végétal herbacé très clairsemé, elles ont été entaillées plus ou moins profondément par les cours d'eau lors de leur recherche de nouveaux profils d'équilibre tandis que le ou les lacs réduisaient leurs étendues et s'éloignaient vers l'O. La surface de ces « dasht » est fréquemment découpée sur le parcours des rivières en multiples buttes témoins en même temps que ces cours d'eau divagants élargissent démesurément leur lit par de multiples bras.

Le conglomérat très épais et encroûté de la terrasse supérieure que l'on observe le long du fleuve fait place, en s'éloignant de celui-ci, à des dépôts plus ou moins graveleux, moins épais (60 à 150-200 cm) qui se superposent fréquemment aux limons argileux à intercalations gypseuses, recouvrant eux-mêmes des formations sableuses. Ces dépôts graveleux superficiels sont la conséquence d'une circulation intense, puissante mais diffuse des eaux, sur l'ancien fond lacustre exondé par assèchement, soit lors d'une reprise passagère ou plus étalée dans le temps des précipitations, soit à la suite de la fonte des neiges et des glaces accumulées sur les massifs en phase de déglaciation. Ce pourrait être alors au cours de cette même période que se serait façonnée la seconde terrasse.

Ces formations graveleuses du « dasht » ont très souvent une couleur rougeâtre, beige rosé et présentent sur le pourtour de la cuvette des sols à encroûtement ou début d'encroûtement calcaire par places et de faible profondeur (40-60 cm).

En allant vers le centre de la cuvette, ces sols à profil calcaire disparaissent pour faire place à des sols dans lesquels s'observent des horizons à cristallisations gypseuses fines, mais abondantes qui apparaissent dès 10-15 cm et peuvent former des « barbes » plus ou moins friables aux galets du conglomérat lorsque l'horizon est plus graveleux. Le sol présente alors un profil à début d'encroûtement gypseux en même temps que salin.

A titre d'exemple nous indiquerons ici les caractéristiques sédimentologiques d'un de ces profils observé entre Cakhansur et Délaram (à 147 km de cette dernière ville).

En surface, on trouve une couverture de galets noirs, patinés, de 1 à 5 cm de diamètre. Ils sont roulés ou plus ou moins anguleux par suite de bris. Leur abondance superficielle est due aux phénomènes de ruissellement et à la déflation éolienne. La fraction fine de ces sédiments (Profil K 48) a une courbe

cumulative voisine des précédentes. Elle est très étalée sur l'axe des abscisses dans sa partie la plus fine, plus redressée ensuite ce qui explique les différences importantes existant entre l'hétérométrie (0,75 à 1,10) et le  $Q d \varphi$  (1,55 à 3,42). De telles courbes peuvent être celles de sédiments ruisselés, encore que la fraction grossière importante et la présence de galets indiquent de puissants courants. La teneur pondérale en minéraux lourds est relativement constante (0,80 à 1,4%). Ceux-ci sont de l'épidote (41 à 58%), de l'augite (1 à 10%), du grenat (16 à 33%), de l'amphibole (4 à 7%), du zircon (2 à 11%), du rutile, de l'andalousite...

La recherche des sels solubles met en évidence la présence de Na Cl abondant dont les teneurs décroissent progressivement en profondeur en même temps qu'augmentent les pourcentages de sulfate de calcium. L'examen détaillé de ce profil et la répartition des sels seront faits au chapitre des sols.

L'examen aux RX montre dans ces sols gypseux et salins, en même temps que la présence de gypse et d'anhydrite, celle :

- dans le profil K 48 : d'illite, chlorite et montmorillonite avec des traces de sépiolite en surface. En profondeur la sépiolite devient progressivement dominante sur les autres argiles qui y figurent encore,
- dans l'échantillon K 332 : de sépiolite dominante.

## CONCLUSIONS

En conclusion de cette étude et pour nous résumer, nous aurions eu au cours du Quaternaire ancien (pris dans un sens large et pouvant englober une partie du Néogène) et moyen, une succession de plusieurs séries sédimentaires lacustres plus ou moins salées ou calcaires (Unités A, B, C) dans lesquelles s'intercalent des dépôts sableux qui sont la marque soit d'un déséquilibre d'origine tectonique (subsidence de la cuvette du Régistan-Séistan-Margo amenant une reprise de l'érosion sur les massifs du pourtour), soit d'origine climatique (érosion de l'arrière pays en début de phase plus humide succédant à une période sèche ayant amené l'amenuisement ou l'assèchement plus ou moins complet de l'étendue lacustre).

Les dépôts sédimentaires de l'unité D qui succède sont plus complexes. Ils sont marqués par :

- deux terrasses conglomératiques encroûtées qui bordent les fleuves. Le calcaire des encroûtements serait d'âge supérieur à 40.000 ans (Helmand Rod près de Laskargah), de 27.000 ans (Tarnak Rod en amont de Kandahar) pour la terrasse haute, de 15.000 ans pour la seconde terrasse (Tarnak Rod),
- un épandage de limons argileux à forte imprégnation de calcite ou de dolomie (âge 35.000 à 25.000 ans),
- un épandage de limons argileux plus récents à intercalations de bancs gypseux (âge 23.000 ans),
- un épandage conglomératique meuble non encroûté,
- des dépôts de texture diverse : limono-caillouteux (débouché des massifs), limono-argileux (troisième terrasse des fleuves).

Des niveaux sableux, plus ou moins importants, peuvent s'intercaler dans les limons argileux au voisinage des massifs.

Les mouvements qui ont affecté l'ensemble de la cuvette paraissent s'être produits principalement lors des phases finales d'assèchement, mis à part ceux qui ont été consécutifs au volcanisme du massif de Khannésin. Ils ont pu avoir pour origine :

- soit des phénomènes d'origine tectonique liés aux rejeux de failles prolongeant celles de Chaman-Arghandeh et du Tarnak Rod,
- soit des phénomènes de dissolution des sels contenus dans les sédiments plus ou moins anciens sous l'action de nappes s'écoulant vers le centre de la dépression.

Ces mouvements ont amené :

- l'enfoncement des vallées des grands fleuves et le déplacement de leurs cours vers l'E (rejeux de failles),
- l'effondrement ou la surélévation de grands compartiments. L'emplacement des lacs Hamune Sabéri, Jéhilé Puzak, Gawdézéreh paraît la conséquence de tels effondrements. Pour ce dernier un tel phénomène est beaucoup plus plausible qu'un creusement hypothétique par voie de déflation éolienne, évoqué par SMITH (1974). Les effondrements ou les mouvements de surélévation seraient ici la conséquence des rejeux

de deux systèmes de failles différemment orientés N-E – S-O et S-N et de phénomènes importants de dissolution.

– l'effondrement plus modeste de dépressions que l'on peut voir à la surface des «dasht» et qui se traduit par une multitude de petites cuvettes interprétées sur les cartes comme de nombreux petits lacs. Ces cuvettes paraissent le résultat de phénomènes locaux de dissolution des sels dans les points bas ou le long de lignes secondaires de fracture.

Ce sont ces mouvements tectoniques qui sont directement responsables, par suite des érosions qu'ils ont causées dans les massifs de l'arrière pays, des épandages conglomératiques qui recouvrent les «dasht» et constituent les terrasses des fleuves. Ils évoquent des transports puissants lors de phases de déséquilibre. Ils peuvent aussi partiellement s'expliquer par des changements d'origine climatique, notamment lors des périodes de déglaciation.

Nous essayerons de voir, plus avant et dans le détail, par comparaison avec les autres régions étudiées, l'histoire des dernières sédimentations et celle des alternances climatiques qu'elles permettent d'avancer.

## 5 - LES SOLS

La classification des sols de cette région s'avère difficile à élaborer pour différents motifs.

Les sols à profil calcaire, à l'exception de ceux en position haute et relativement bien drainés, présentent très fréquemment des accumulations de sels solubles et l'halomorphie vient alors se surimposer dans les profils. Si dans ces cas, salure et pédogenèse calcaire sont la conséquence d'action de nappe, celle-ci est rarement visible puisque située pendant la période estivale (période fréquente des prospections) à des profondeurs notables de plusieurs mètres en général. Cette nappe subit des variations d'amplitude très importantes en fonction de la saison.

Il paraît important de séparer les deux mécanismes de pédogenèse. Celui d'accumulation calcaire se serait produit ou aurait débuté très anciennement, ainsi que le montre la datation d'un encroûtement calcaire observé à faible profondeur près des massifs calcaires du S-E de la feuille au 1/50.000 de Qandahar (Echantillon K 5 :  $22.740 \pm 400$  ans BP). Il paraît de nos jours très diminué. Celui d'halomorphie se limiterait actuellement à un mouvement continu, per ascensum, per descensum en fonction de la saison et de l'intensité des pluies de l'année considérée, alors que l'origine des sels serait à rechercher dans les anciennes évaporites (limons argileux à interstratifications gypseuses), sous-jacentes au sol à profil calcaire ou à début d'encroûtement gypseux.

Dans les deux cas, des entraînements vers l'aval ou des apports latéraux de calcaire et de sels solubles restent vraisemblables. Nous voyons ainsi apparaître l'importance des circulations d'eau souterraines actuelles en période pluvieuse.

C'est pour cette raison que nous avons séparé, peut-être parfois arbitrairement, des sols hydromorphes à redistribution du calcaire par action de nappe présentant des phénomènes de salure plus ou moins importants et des sols à différenciation calcaire en milieu bien drainé. Dans les deux cas, la pédogenèse calcaire peut être ancienne mais continuer à jouer d'amont en aval, amenant en amont la destruction de vieilles accumulations tandis qu'en aval les apports actuels s'ajouteraient aux anciens en même temps que se produiraient des phénomènes d'halomorphie par suite de mauvais drainage et du lessivage d'anciennes salines.

De la même façon les sols à début d'encroûtement gypseux présentent de fortes salinités liées semble-t-il à la présence du matériau sous-jacent salé et gypseux. La pédogenèse gypseuse qui se développe n'est pas sans rapport avec la présence de Na Cl (1) qui favorise la solubilisation du gypse et sa remontée dans les profils alors que dans d'autres (sols salins de marécages) ce sont des phénomènes de sulfato-réduction qui provoquent la formation et l'accumulation de celui-ci en profondeur (Cf. salinisation . Deuxième partie).

## 5.1 LES SOLS MINÉRAUX BRUTS

### Non climatiques

xx d'érosion

x lithosols (sur roche dure)

Ils s'observent dans le S-E de la feuille au 1/50.000 de Qandahar sur diverses roches :

- dolérite très altérée en massifs d'éboulis,
- phtanite verte ou gris-noir très diaclasée formant une multitude de petites buttes très ravinnées,
- calcaire à Rudistes en massifs bien découpés. Dans ceux-ci les sols minéraux bruts alternent avec des sols peu épais (50 cm), à différenciation calcaire par taches, reposant sur la roche ou les débris de celle-ci. De petits encroûtements calcaires finement stratifiés mais démantelés s'associent aux éboulis.

Toutes ces roches et ces sols disparaissent parfois sous des ensablements éoliens sur les versants O.

### Des déserts chauds (Xériques) (\*)

xx sols bruts xériques inorganisés d'apport (Barkhanes. Accolements sableux à des massifs montagneux).

Ils se trouvent dans le S de la feuille de Qandahar et constituent de multiples barkhanes hautes de 2 à 4 m se déplaçant d'O en E sous l'action des vents. Ces barkhanes se superposent là à un sol à différenciation calcaire à accumulation sous forme de très petits nodules.

La roche mère est un sable fluviatile constituant le delta fossile de plusieurs rivières précédemment énumérées.

Les remaniements éoliens ne se limitent pas à ces endroits. On les observe également sur les versants O de l'alignement de calcaire dans le coin S-E de la feuille ainsi qu'en de rares places comme au voisinage de Golestan où le vannage de dépôts alluviaux meubles, plus récents, donne des accumulations éoliennes sableuses, sous forme de multiples petits monticules de 20 à 40 cm de haut, au voisinage des berges du cours d'eau.

En dehors de cette feuille ils couvrent cependant de grandes étendues sur le plateau peu accessible du Régestan et dans la grande dépression N de Caharburjak où l'observation de la photographie aérienne montre 2 types de barkhanes :

- une à très grande amplitude dans la partie S-E,
- une d'amplitude moyenne plus au N et sur les bordures de la dépression .

Ces barkhanes se retrouvent un peu partout en dehors de ces deux régions :

- dans la partie S de la dépression de Laskargah,
- en versants S et N du massif de Khannesin,
- au S de Bagat en direction des monts Arbu.

(1) La solubilité du gypse varie en fonction de la concentration en Na Cl dans les solutions. Elle est de :

2,1 gr/l pour 0 gr/l de Na Cl ,

2,45 gr/l pour 2,5 gr/l de Na Cl ,

3,88 gr/l pour 15 gr/l de Na Cl ,

4,36 gr/l pour 20,13 gr/l de Na Cl .

(\*) Voir Annexe 13.

Elles se voient : soit en plages peu importantes, soit en alignements denses souvent orientés O-E, N-O – S-E, S-O – N-E. Ceux-ci épousent, dans le bassin de l'Helmand Rod, la forme générale du cours de cette rivière.

Elles se déplacent sur des matériaux rigides très divers (« dasht » superficiellement caillouteux, détritique volcanique du massif de Khannésin, alluvions lacustres plus ou moins récentes).

D'une façon générale nous avons affaire à un matériau beige rosé ou légèrement rougeâtre (7,5 YR 6/4), peu agrégé à particulaire, très meuble, ne présentant pas, même superficiellement, d'accumulation de matière organique. La végétation y est pratiquement nulle se limitant à quelques rares végétaux herbacés.

Les sédiments de ces barkhanes sont pauvres en argile (0,5 à 4,5%), en limons fin et grossier (0,5 à 3,6%), contiennent peu de sable grossier (0,7 à 6,4%) mais beaucoup de sable fin (87,9 à 93,7%).

Les teneurs en carbone et azote sont également faibles (C : 1,7 à 0,26 ‰. N : 0,14 à 0,04 ‰. C/N : 6,5 à 18,8).

Les taux de Ca CO<sub>3</sub> total sont peu élevés par rapport aux autres sols (3,9 à 8,2%), ceux de calcaire actif sont constants à l'intérieur d'un même profil mais varient plus d'un profil à un autre (0 à 10 ‰).

Les pH sont élevés sans que l'on trouve de sels solubles à l'analyse (8,8 à 9,3).

Le complexe absorbant est saturé par les ions Ca. Mg est variable apparemment fort dans quelques cas (0,5 à 3,5 me%). K à des valeurs très moyennes (0,28 à 0,42 me%). Na est en général inférieur à 0,1 me%, à l'exception du profil K 36 (0,90 me%) qui est celui d'une barkhane se déplaçant sur un substratum salé lacustre ancien.

Les valeurs de P<sub>205</sub> total sont faibles (0,21 à 0,39 ‰ pour 20 à 55 ppm d'assimilable).

La fraction argileuse de ces sols est constituée :

- dans l'échantillon K 1 012 (Feuille de Qandahar) de montmorillonite et d'illite en codominance et de chlorite,
- dans l'échantillon K 362 (près de Zaranj) par ordre d'importance : d'illite, de chlorite, d'attapulгите, de sépiolite et de traces de montmorillonite.

## 5.2 LES SOLS PEU EVOLUES

### Non climatiques

#### xx D'érosion, lithiques sur roches calcaires ou diverses ou leurs colluvions

Ils s'observent sur la feuille au 1/50.000 au voisinage des massifs principalement en versant E.

Dans la dépression Régestan-Séistan-Margo on les trouve sur tous les glacis de piedmont, sur des roches diverses, principalement à la périphérie N du bassin.

Ils présentent un profil A C et sont très graveleux et à cailloutis anguleux.

Tous ces glacis sont toujours très complexes et on peut observer associés à ces sols :

- des sols à différenciation calcaire par taches et parfois léger encroûtement,
- des encroûtements calcaires conglomératiques formant terrasses en bordure des cours d'eau,
- des sols peu évolués d'apport, à texture fine, dans les dépressions.

Enfin sous la surface graveleuse de ces glacis se retrouvent des alluvions stratifiées de limons argileux à intercalations de gypse.

#### xx D'érosion, régosoliques sur alluvions lacustres ou fluvio-lacustres, limono-argileuses, parfois salées

Pour ces derniers nous renvoyons aux sols sodiques ou aux sols peu évolués d'apport sur matériaux identiques dont ils sont souvent une variante très érodée.

**xx D'apport alluvial souvent interstratifiés,  
x modal à hydromorphe**

Sur la feuille au 1/50.000 ces sols ne forment pas d'unité bien définie car ils passent fréquemment à des sols halomorphes ou bien constituent des juxtapositions avec des sols à redistribution du calcaire par action de nappe.

Ils s'observent sur des dépôts limoneux parfois plus ou moins sableux à interstratifications de galets conglomératiques principalement dans le voisinage immédiat de l'Arghestan Rod.

Ils présentent un profil de type A C.

A : brun-beige, gris-beige clair se dégradant progressivement et très légèrement avec la profondeur mais se différenciant assez mal de C. Texture variable en fonction de l'alluvionnement mais souvent en surface limoneux ou limono-argileux. Structure massive à débit polyédrique ou polyédrique moyenne suivant la texture. Compacité et cohésion fortes pour les textures limoneuses, limono-argileuses. Porosité vésiculaire peu développée, uniquement bien marquée dans les premiers cm supérieurs. Enracinement moyennement développé sur l'ensemble de l'horizon.  
Epaisseur 30 à 50 cm.

C : coloration légèrement plus claire. Texture variable en fonction de l'alluvionnement. Il peut y avoir alternance de limon argileux feuilleté, sable limoneux pulvérulent, cailloutis conglomératique, sable lité particulière. Ces stratifications reposent généralement sur un conglomérat non consolidé atteignant plusieurs mètres d'épaisseur.

Les caractéristiques physico-chimiques très variables les rattachent, en fonction de la texture, soit à des sols précédents xériques s'ils sont très sableux, soit aux sols peu évolués d'apport lacustre ou fluvio-lacustre.

On observe également des *sols peu évolués d'apport sur alluvions souvent grossières à interstratifications plus fines dans le lit ou sur les berges des cours d'eau.*

**xx D'apport lacustre ou fluvio-lacustre (\*)  
x modal ou à début d'halomorphie**

Sur la feuille au 1/50.000 de Qandahar, à l'inverse des précédents, ils occupent environ 1/5ème de la superficie totale, se localisant principalement sur la rive droite du Doré Rod et au N de Kalantar.

Sur la feuille de Kandahar au 1/100.000 ils prennent une plus grande extension occupant plus de la moitié de celle-ci.

Dans la dépression Régestan-Séistan-Margo ils se voient dans les vallées des 3 bassins, principalement celui de l'Helmand Rod et de son affluent l'Arghandab Rod. Ils constituent là la terrasse inférieure le long de ces deux fleuves ou les dépressions ouvertes dans le « dasht » (région de Laskargah). On les trouve le long du Khash Rod où ils alternent souvent avec les buttes témoins de surfaces anciennes. Dans la vallée du Farah Rod ils constituent la grande dépression de Farah. Enfin, au S du lac de Zaranj, ils forment des étendues lacustres récentes à actuelles plus ou moins grandes suivant l'importance des crues.

Leur profil est de type A C.

A : gris-beige, brun-beige. Texture souvent limono-argileuse à argileuse, parfois limoneuse. Structure variable en fonction de la texture. Elle est polyédrique moyenne ou massive à débit polyédrique dans les horizons A limoneux ou limono-argileux, prismatique grossière dans les plus argileux. Elle est parfois superficiellement cubique sur quelques cm, tout en étant finement lamellaire lorsque les sols les plus limoneux et cultivés subissent des irrigations ou qu'ils s'observent en des dépressions périodiquement inondées. Compacité et cohésion des éléments structuraux généralement fortes. Porosité souvent vésiculaire mais moins bien marquée que sur les premiers cm. Enracinement très moyen, sans être abondant, mais ici encore ce critère est fonction du couvert végétal qui est lâche quand il n'est pas totalement absent.  
Epaisseur 20 à 50 cm.

(\*) Voir Annexe 14.

C : coloration identique ou légèrement plus claire. Texture sensiblement voisine de celle de A, ceci sur plusieurs mètres. Structure devenant en général massive en même temps que le sol est frais à très légèrement humide. Cette variation s'accompagne d'une diminution de la cohésion des éléments de la structure ou du débit tandis que la compacité reste élevée. Porosité faible à nulle. Enracinement très peu marqué.

*Variantes* : on peut observer de très légères marbrures rouille ou brun-rouille dans certains profils qui font de ceux-ci des intergrades vers les sols hydromorphes.

#### *Caractères physico-chimiques*

*Texture* : les teneurs en argile vont de 6 à 49% mais sont le plus souvent comprises entre 10 et 20%. Les plus forts taux sont observés près de Cakhansur et Zaranj (Profil K 40) encore que ceci soit très variable en fonction de la position topographique (Profil K 38).

Les teneurs en limon fin sont comprises entre 11 et 55% mais surtout entre 20 et 40%. Celles de limon grossier sont beaucoup plus variables, également réparties entre 5 et 37%.

Les taux de sable fin se trouvent surtout entre 2 et 25%, encore que l'on puisse en voir jusqu'à 50%, ceux de sable grossier se tiennent entre 0 et 5%.

A l'intérieur d'un même profil, il ne paraît pas y avoir de règle régissant la répartition des différentes fractions. Les teneurs de l'une ou de l'autre de celles-ci peuvent être relativement constantes ou très variables.

*Coloration - Structure - Porosité - Enracinement (Cf. profil type)*.

*Matière organique* : les taux de carbone sont faibles mais très variables en surface se répartissant entre 1 et 9 ‰, le plus souvent cependant entre 1 et 4 ‰. Ils décroissent en profondeur.

Les teneurs en acides humiques et fulviques sont très faibles, inférieures à 0,1 ‰.

Les teneurs en azote en surface sont comprises entre 0,1 et 1,2 ‰, surtout entre 0,3 et 0,8 ‰.

En profondeur les taux sont légèrement plus bas. La dispersion de ces valeurs est beaucoup plus grande que pour celles de carbone.

Les rapports C/N varient entre 4 et 9.

On notera que les chiffres les plus élevés sont obtenus dans le profil K 40, prélevé dans le marécage asséché de Cakhansur - Zaranj où subsiste un important couvert graminéen. Les taux de carbone et d'azote de ce profil sont relativement constants de la surface vers la profondeur (100 cm) :

– C : 7,79 à 7,28 ‰,

– N : 1,13 à 0,98 ‰,

– C/N : 6,9 à 7,4.

Dans ce profil les taux d'acides humiques et fulviques sont plus élevés (K 401 : A H : 0,34 ‰, A F : 0,69 ‰. K 402 : A H : 0,54 ‰, A F : 0,53 ‰).

*Ca CO<sub>3</sub>* : les teneurs en calcaire total sont relativement constantes comprises entre 10 et 20%. Il n'y a pas de variations importantes à l'intérieur d'un même profil qui permettent de penser à un gradient calcaire révélateur d'une pédogenèse. Les teneurs en calcaire actif varient entre 5 et 120 ‰. Un léger gradient s'observe alors parfois dans certains profils où un maximum de calcaire actif est observé entre 40 et 60 cm (Profil K 13 : 30-50-25 ‰. Profil K 38 : 35-50-30 ‰. Le profil K 40 déjà signalé présente les taux les plus élevés en même temps qu'un léger gradient décroissant (120 à 95 ‰).

*pH* : ils sont toujours élevés, compris surtout entre 8 et 9,5 et relativement constants ou bien croissent avec la profondeur. Ils sont fréquemment supérieurs à 9 dans les sols présentant des quantités variables mais non encore importantes de sels solubles.

*Bases échangeables* : le complexe est saturé par Ca. Les valeurs de Mg sont comprises :

– en surface entre 2 et 9 me%,

– en profondeur entre 1 et 12 mais surtout entre 2 et 5 me%.

Il y a donc, d'une façon très générale, diminution de cet élément en profondeur.

K est principalement compris entre 0,3 et 0,5 me% en profondeur, tandis qu'en surface les valeurs sont plus fortes et plus variables 0,3 à plus de 1 me%.

Na est faible après extraction des sels solubles, alors généralement inférieur à 1 me%.

P205 : les taux de P205 total sont compris entre 0,75 et 1,75 ‰ mais surtout entre 0,75 et 1,25 ‰ tant en surface qu'en profondeur où la diminution est faible. Ceux d'assimilable varient entre 17 et 75 ppm .

On notera les chiffres élevés de P205 total et assimilable, ainsi que ceux de K du profil K 38 situé près du village de Cakhansur et prélevé sur un terrain de culture (K : 1,4 à 1 me%. P205 total : 1,72 à 1,43 ‰ . P205 assimilable : 270 à 110 ppm).

Sels solubles : des sels solubles sont observés dans plusieurs de ces profils. La valeur de la conductivité de l'extrait de saturation lorsqu'elle est supérieure à 7 mmhos/cm ne l'est que dans l'horizon de surface et décroît fortement ensuite.

| N°                    | 381   | 382   | 383     | 461   | 462   | 401  | 402   | 403   |
|-----------------------|-------|-------|---------|-------|-------|------|-------|-------|
| Prof. cm              | 0-20  | 40-60 | 100-120 | 0-15  | 60-80 | 0-20 | 30-50 | 70-90 |
| Extrait de saturation | 18,15 | 3,17  | 2,40    | 12,86 | 1,51  | 4,92 | 3,79  | 1,89  |
| mmhos / cm            |       |       |         |       |       |      |       |       |

La composition de ces sels solubles est à dominance, par ordre d'importance :

- pour les cations : de sodium largement dominant mais le calcium et le magnésium sont non négligeables ainsi que parfois le potassium (Profil K 38),
- pour les anions : de chlorure souvent très dominant mais aussi de sulfate et de bicarbonate.

La reconstitution de cette composition, d'après la méthode de BAZILEVICH (1 968) dans l'extrait au 1/2, donne à titre d'exemple, pour les échantillons les plus salés, les résultats suivants :

|                                     | 381  | 382  | 401  | 461  |
|-------------------------------------|------|------|------|------|
| (CO <sub>3</sub> H) <sub>2</sub> Ca | 0,33 | 0,30 | 0,35 | 0,35 |
| (CO <sub>3</sub> H) <sub>2</sub> Mg |      | 0,40 |      |      |
| CO <sub>3</sub> H Na                |      | 0,08 |      |      |
| S04 Ca                              | 1,63 |      | 0,35 | 0,31 |
| S04                                 | 0,37 | 0,25 | 0,91 | 1,09 |
| Mg                                  |      |      |      |      |
| K                                   |      |      |      |      |
| Cl                                  | 5,18 | 0,43 | 0,80 | 4,66 |
| Mg                                  |      |      |      |      |
| K                                   |      |      |      |      |
|                                     |      |      |      |      |
| Toxicité                            | 5,25 | 0,50 | 0,98 | 4,88 |

On observe dans tous ces échantillons (à l'exception du K 382), du gypse des sulfates et chlorures de Na mais aussi en plus faible quantité de Mg, K et Ca.

La toxicité exprimée par la méthode de ce même auteur, en prenant pour base celle des anions, est forte pour les échantillons K 381 - 461, faible pour les K 382 - 401.

Les profils K 38 et 46 sont situés dans le voisinage immédiat des cuvettes fortement salées que l'on observe au N-E de Cakhansur ou autour de ce village (Cf. Profils K 42-43. Sols sodiques).

La fraction argileuse de ces sols est constituée :

- dans l'échantillon K 32 (Feuille de Qandahar) d'illite et de chlorite en codominance,
- dans les échantillons K 381-383-401-403 de la dépression Cakhansur - Zaranj d'illite et de chlorite codominantes et de traces de montmorillonite.

*Cultures* : sur la feuille de Qandahar au 1/50.000, où l'eau d'irrigation est relativement abondante par suite d'importants travaux d'aménagement de génie rural, ces sols sont intensivement cultivés et portent les cultures traditionnelles (blé, riz, maïs, coton... cultures maraichères). En nous éloignant du centre d'attraction qu'est la grande ville de Kandahar (2ème ville d'Afghanistan), les cultures se limitent alors aux abords plus ou moins proches des villages et l'eau est souvent rare, sinon absente, ce qui explique que certaines terres ne soient cultivées qu'une année sur 2 ou 3, en fonction de protocole de partage des eaux ou exceptionnellement les années très pluvieuses.

En Août 1971, ne coulait dans le Khash Rod qu'un mince filet d'eau n'atteignant pas Cakhansur où les marécages étaient à sec. Rien ne subsiste dans le Séistan de l'ancien système d'irrigation, détruit lors du passage des armées de TIMUR LANG et non reconstruit. Ceci a fortement aidé à la désertification d'une région autrefois fertile.

Autour de Laskargah et le long de cette vallée en direction de Darwésan et de Bagat de vastes surfaces de ces sols sont en cultures irriguées. L'Office américain qui a eu la charge de la mise en valeur de ces régions, particulièrement les périmètres de Laskargah, s'est heurté au difficile problème de la salinisation et du drainage. Celui-ci s'est révélé très ardu dans un contexte général salin.

La dépression de Farah présente, mais à un degré très moindre, les mêmes inconvénients.

### 5.3 LES SOLS SODIQUES (\*)

+ à structure non dégradée

xx sols salins

x à efflorescences salines

Ils occupent sensiblement le même territoire que les sols peu évolués d'apport fluvio-lacustre à lacustre puisque formés sur ce même matériau. La surface couverte par eux sur la feuille au 1/50.000 de Qandahar est beaucoup plus modeste, se limitant principalement à la rive droite du Doré Rod et encore de façon sporadique. Le cours bien marqué de cette rivière, encaissé de 5 à 6 m par rapport à l'ensemble de la dépression, s'est ouvert dans des dépôts qui apparaissent là suffisamment salés pour permettre l'extraction par les autochtones des sels contenus dans ces sédiments (Cf. Echant. d'eau N° 7). Ailleurs, sur l'ensemble de la feuille de Kandahar au 1/100.000, les sols salés occupent des taches assez peu importantes au milieu de sols peu évolués sur matériau identique mais à très faible halomorphie.

Le long de l'Helmand Rod (dépressions de Laskargah et terrasses de ce fleuve), du Farah Rod, ainsi que sur la bordure du lac, l'extension de ces sols apparaît beaucoup plus grande mais surtout localisée par taches plus ou moins importantes suivant l'altitude des plateaux environnants d'où proviennent les sels (vallée de l'Helmand Rod) ou de la position de cuvettes au voisinage de buttes témoins salines. On trouve également ces sols dans les points bas des microcuvettes d'effondrement du « dasht ». On observe alors en fonction de la position topographique :

- des sols gypseux diversement salins sur le « dasht » lui même,
- des sols à plus fort encroûtement gypseux, plus ou moins érodés, sur les pentes des cuvettes,
- des sols sodiques au fond de ces dépressions parfois très ensablées.

Leur profil est de type A C et se différencie assez peu de celui des sols peu évolués si ce n'est par l'apparition d'efflorescences salines formant une fine pellicule squameuse superficielle ou une croûte durcie s'exfoliant par plaques dont l'épaisseur se limite à quelques mm. Sur la bordure des dépressions présentant ces exsudations et accumulations la pellicule saline fait alors défaut et le sol apparaît finement craquelé en petits polygones de 5 à 8 cm d'ouverture :

- A : Epaisseur 100 cm environ. Brun-beige, gris-beige plus ou moins blanchâtre. Texture allant de limoneuse à argilo-limoneuse.
- A11 : sur 3 à 5 cm, structure souvent superficiellement cubique ou cubico-polyédrique en même temps que très finement lamellaire. Très compact. Cohésion forte à très forte. Porosité vésiculaire moyenne.
- A12 : sur 10 à 15 cm, structure massive à débit polyédrique, parfois encore lamellaire. Compacité et cohésion identiques ou plus faibles.

(\*) Voir Annexe 15.

- A13 : sur 40 à 80 cm, structure diversement développée et en très fins polyèdres. Cette structuration est parfois très affirmée ou, à l'inverse, faible. Dans le premier cas la cohésion des éléments structuraux est forte, faible dans le second et donne alors un limon pulvérulent. Dans tous les cas cet horizon est meuble, souvent frais à très légèrement humide et la compacité assez faible.
- C : coloration et texture peu différente, parfois légèrement plus foncée du fait de l'humidité. Structure massive à débit polyédrique mais à cohésion assez faible donnant une tendance pulvérulente. A plus grande profondeur la coloration peut devenir brun-olive avec parfois quelques taches brun-rouille ou réduites plus noirâtres.

#### Caractères physico-chimiques

Les teneurs en argile, limon et sables fin et grossier sont analogues à celles données pour les sols peu évolués sans qu'à l'intérieur d'un même profil on puisse observer des variations bien significatives même si celles-ci sont importantes.

*Coloration - Structure - Porosité - Enracinement (Cf. Profil type).*

*Matière organique.* Les teneurs en carbone sont comparables à celles des sols peu évolués alors que celles d'azote totale sont plus diverses ce qui aura pour effet de donner des rapports C/N très variables, ceci semble-t-il souvent en fonction de la topographie. A titre d'exemple nous donnons ces différentes valeurs pour deux de ces profils.

| N°       | 420   | 421   | 431   | 432   | 433   |
|----------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Prof. cm | 0-3   | 3-25  | 0-3   | 10-30 | 70-90 |
| C ‰      | 8,10  | 6,00  | 3,49  | 1,95  | 1,44  |
| N ‰      | 0,640 | 0,360 | 0,553 | 0,440 | 0,303 |
| C/N      | 12,7  | 16,7  | 6,3   | 4,4   | 4,8   |
| AH ‰     | tr    | tr    | tr    | tr    | tr    |
| AF ‰     | 0,25  | 0,18  | 0,19  | tr    | tr    |

Le profil K 42 est celui d'un sol de cuvette à croûte saline superficielle, tandis que le profil K 43 a été prélevé sur sa bordure et présente en surface une fissuration en petits polygones.

*Ca CO<sub>3</sub>.* Les teneurs en calcaire total sont généralement comprises entre 10 et 20% avec parfois un léger gradient de la surface vers la profondeur (Profil K 5 : 0-20 cm 11,6%. 120-140 cm 14,1%. 600 cm 17,2%). On note dans ce profil quelques rares points blancs calcaires de la grosseur d'une tête d'épingle, entre 50 et 100 cm.

Les teneurs en calcaire actif sont très variables. Elles représentent dans le profil K 43 36% du Ca CO<sub>3</sub> total pour 25% en profondeur. Dans le profil K 5, ce pourcentage beaucoup plus faible croît à partir de 40cm passant de 4% (40-60 cm) à 20% (600 cm).

*pH.* Les valeurs sont également variables. Elles ne dépassent pas 9 dans les profils K 42 et 43 (8,8 profil K 42. 7,9 à 8,3 profil K 43) pour atteindre jusqu'à 10,3 dans le profil K 5 (9,1 à 10,3) en même temps que s'observent des traces ou de faibles quantités de carbonate de sodium.

*Bases échangeables.* Ces sols sont saturés en ion Ca, tandis que les valeurs de Mg sont comprises entre 1,6 et 6 me%, se tenant le plus souvent au voisinage de 2 me%. Elles sont parfois plus fortes en surface et décroissantes ensuite (profil K 43), ou à l'inverse, croissent avec la profondeur (profil K 5).

K est compris entre 0,2 et 1 me%, le plus souvent entre 0,4 et 0,6 me%.

Na est généralement inférieur à 2 me%, exception faite cependant du profil K 42 où des valeurs de 10,75 et 11,6 me% sont trouvées après extraction des sels solubles. De telles valeurs impliquent la nécessité de classer ce sol parmi les sols sodiques à structure dégradée (groupe des sols salins à alcalins).

*P205.* Les taux de P205 total sont supérieurs en général à 1 ‰ et faiblement décroissants en profondeur. Ceux d'assimilable varient entre 65 et 90 ppm dans les profils K 42 et 43. Ils sont beaucoup plus variables

dans le profil K 5 (287 ppm pour 1,58 ‰ de P205 total dans le K 51 (0-20 cm). 150 ppm pour 1,14 ‰ dans le K 52 (40-60 cm).

*Les sels solubles.* Ils sont très abondants déterminant des conductivités de l'extrait de saturation très élevées (226,9 et 232 mmhos/cm profil K 42. 96,3 à 41,5 mmhos/cm profil K 43. 137,7 à 7,9 mmhos/cm profil K 5).

Les conductivités décroissent de la surface vers la profondeur mettant en évidence des phénomènes de remontée lors de l'assèchement des sols qui suit la période pluvieuse ou l'inondation.

Nous avons cherché à reconstituer la composition théorique de l'extrait de saturation au 1/2 d'après la méthode de BAZILEVICH.

| N°              | 50    | 51    | 53    | 54    | 420   | 421   | 431   | 432   | 433  | 351   | 352   |       |
|-----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|
| C03 Na2         | 31,91 | —     | —     | 0,25  | —     | —     | —     | —     | —    | —     | —     |       |
| (C03H)2Ca       | 0,25  | 0,22  | 0,20  | 0,60  | 0,14  | 0,12  | 0,17  | 0,15  | —    | 0,05  | 0,07  |       |
| (C03H)2Mg       | 0,49  | —     | —     | 0,17  | —     | —     | —     | —     | —    | —     | —     |       |
| C03H Na         | 61,76 | —     | —     | 0,38  | —     | —     | —     | —     | —    | —     | —     |       |
| S04 Ca          |       | 0,38  | 0,40  | —     | 4,18  | 6,50  | 0,55  | 2,0   | 0,40 | 4,05  | 4,33  |       |
| S04             | Mg    |       |       |       |       |       |       |       |      |       |       |       |
|                 | K     | 80,0  | 12,12 | 7,90  | 1,78  | 20,02 | 23,10 | —     | —    | 7,90  | 3,69  | 6,87  |
|                 | Na    |       |       |       |       |       |       |       |      |       |       |       |
| Cl              | Ca    |       |       |       |       |       |       |       |      |       |       |       |
|                 | Mg    | 387,0 | 28,65 | 12,25 | 0,95  | 149,0 | 133,0 | 42,50 | 22,0 | 12,50 | 4,02  | 19,32 |
|                 | K     |       |       |       |       |       |       |       |      |       |       |       |
|                 | Na    |       |       |       |       |       |       |       |      |       |       |       |
| Extrait sat. C. |       | 137,7 | 64,9  | 7,9   | 226,9 | 232,0 | 96,3  | 48,6  | 41,5 | 20,0  | 54,7  |       |
| Toxicité        | 747,0 | 31,03 | 13,83 | 4,38  | 153,0 | 137,6 | 42,5  | 22,0  | 12,5 | 4,76  | 20,68 |       |

Dans le profil K 5 on observe :

- dans l'exsudation saline : un mélange de sels (carbonate et bicarbonate de Na. S04 Na2. Cl Na) ;
- dans le profil : l'apparition de carbonate et bicarbonate de Na à la base du profil (Ces sels étaient très abondants dans l'exsudation mais absents ou à l'état de traces dans les autres horizons) ; la diminution progressive et conjointe de S04 Na2 et Cl Na en profondeur ; la disparition progressive du gypse extrait dans ce type d'analyse.

Dans le profil K 42 la dominance revient à Cl Na et de façon moindre à S04 Na2. Présence de gypse.

Dans le profil K 43, Cl Na est dominant. Il n'y a pas de S04 Na2 tandis que le gypse augmente en profondeur, en même temps que décroît Cl<sub>2</sub> Ca abondant en surface.

Dans le profil K 35 il y a présence conjointe de Cl Na et S04 Na2 ainsi que du gypse.

La toxicité calculée d'après les anions s'avère très forte dans tous ces sols et ceux-ci sont naturellement incultes.

La fraction argileuse de ces sols sodiques est constituée :

- dans les échantillons K 52 et 54 d'illite et chlorite dominantes avec des traces d'attapulgitte,
- dans l'échantillon K 352 des deux premières argiles toujours codominantes.

#### 5.4 LES SOLS CALCIMAGNESIQUES \*

##### + Sols gypseux

xx en amas friables ou début d'encroûtement

x à halomorphie plus ou moins accusée

Ils s'observent par places sur la feuille 1/50.000 de Qandahar, uniquement dans la partie S-E de celle-ci, ainsi qu'à la butte témoin située au S de l'aéroport près de la route de Kandahar au Pakistan où la dolomie a été trouvée.

\* Voir Annexe 16.

Ils sont par contre rencontrés abondamment sur tous les «dasht» formant les hautes surfaces, ceci en toutes régions de la dépression Régestan-Séistan-Margo (1).

Les profils observés peuvent être fort différents en fonction de la localisation. Ils sont apparemment très variés sur la feuille de Qandahar où l'accumulation gypseuse fait souvent suite à un horizon B Ca. Le profil est alors du type A B Ca B cs C.

Ils sont plus homogènes sur les surfaces des grands «dasht» et alors à profil A B cs C, mais ici ils paraissent s'accompagner plus ou moins fréquemment en fonction de la topographie, de phénomènes de salure qui expliquent pour une grande part la solubilisation du gypse et son accumulation dans les horizons superficiels du sol.

Tous ces profils ont été observés sur des roches mères très caillouteuses. Il s'agit de galets de conglomérat fluvio-glaciaire épandus largement sur de vastes surfaces ou parfois localisés à un ou plusieurs cônes de déjection emboîtés ou non les uns dans les autres. La proportion du matériau graveleux par rapport à la terre interstitielle est variable mais atteint le plus souvent 50 à 70% en volume. La couleur, la texture, la structure indiquées ci-après se rapportent à cette terre.

Profil A B Ca B cs C :

A : beige ou brun-clair. Texture variable : sableuse, sablo-limoneuse, limono-argileuse. Structure fondue ou polyédrique moyenne de plus en plus accusée à l'approche de l'horizon B Ca. Compacité et cohésion faibles à moyennes. Epaisseur variable 5 à 25-30 cm.

B Ca : brun-clair à points ou amas calcaires blancs plus ou moins consolidés et abondants. Texture identique à A. Structure polyédrique moyenne bien développée. Assez compact et cohérent. Epaisseur 20 à 30 cm.

B cs C : coloration et texture souvent voisines, mais en même temps que diminue l'accumulation calcaire apparaissent de fines cristallisations de gypse. Structure en polyèdres moyens à fins très friables. Compacité et cohésion faibles. Ensemble meuble si l'on ne tient pas compte du cailloutis toujours abondant et qui présente des «barbes» de gypse, atteignant rarement 1 cm, à la base des galets. Ces «barbes» sont elles-mêmes assez friables.

L'épaisseur total du profil peut atteindre 1 m parfois 1 m 5. Il est souvent difficile de séparer B cs de C car il y a passage progressif. La disparition des «barbes» indique parfois la limite inférieure de B cs.

Profil A B cs C

A : coloration variable, gris-beige, beige, beige rougeâtre. Sablo-limoneux, limoneux. Lamellaire sur les 2 à 3 cm supérieurs puis en fonction de la texture, structure fondue à polyédrique fine à moyenne plus ou moins affirmée. Compacité et cohésion moyennes à faibles en général. Epaisseur 10 à 15 cm.

B cs C : coloration identique ou plus blanchâtre. Texture identique. L'accumulation gypseuse s'observe tout d'abord sous forme lamellaire puis en fins polyèdres très friables pour se terminer en mélange intime et particulière avec le sédiment sous-jacent et l'apparition de «barbes» gypseuses friables à la base des galets du conglomérat. Compacité et cohésion très faibles.

*Variantes.* On observe dans le profil K 51 le début de B cs pratiquement dès la surface tandis qu'en profondeur, à partir de 20 - 30 cm, apparaît le gypse fibreux d'origine sédimentaire. La reprise par pédogenèse de celui-ci se marque par de fines cristallisations dans la partie supérieure du profil et des «barbes» gypseuses à la base des galets. L'horizon supérieur de ce profil est très calcaire mais l'accumulation est sous forme diffuse sans accumulation apparente.

Le profil K 48, inclus ici bien qu'entrant aussi dans la classe des sols sodiques salins, présente également un profil de type A B cs C.

(1) Dans ces sols des «dasht» ont été observés en 1974 un et même peut-être deux réseaux de fentes en coin de sols polygonaux fossiles. Ceux-ci sont actuellement masqués par le cailloutis superficiel. Le réseau le plus ancien présente des fentes de 60 cm de profondeur pour une ouverture de 20 cm au sommet. La polygonation, peu discernable, paraît se faire par mailles de 1,5 à 2 m de diamètre. Le second réseau plus récent est de moindre ampleur.

En rupture de pente, plus ou moins brutale, l'accumulation gypseuse est beaucoup plus importante. Elle peut atteindre 60 à 100 cm et donne un encroûtement bien net mais celui-ci reste malgré tout peu cohérent. Ceci est notamment visible sur la rive droite de l'Helmand Rod au N-E du village de Khannesin et en bordure de certaines cuvettes de dissolutions.

#### Caractères physico-chimiques

Ces sols sont surtout marqués par leur abondant cailloutis conglomératique qui s'accompagne de très peu de terre interstitielle sablo-limoneuse ou limoneuse.

Ils sont pauvres en matière organique. Les taux de carbone total sont compris entre 1 et 2 ‰ dans l'horizon de surface (0-20 cm). Ils décroissent rapidement avec la profondeur pour tomber en dessous de 0,5 ‰. Les teneurs en azote totale varient entre 0,28 et 0,14 ‰ en surface où les rapports C/N sont très divers, parfois voisins de 10, parfois très inférieurs (3-4), ce qui est le cas général en profondeur.

Les pH s'échelonnent entre 8 et 9. Ils dépassent exceptionnellement 9.

Les teneurs en Ca CO<sub>3</sub> sont très variables d'un profil à un autre. Dans le cas de profil à horizon B Ca on peut observer des teneurs relativement constantes de l'ordre de 10 à 15 % quel que soit l'horizon (profils K 1 et 2) ou de forte diminution dans les horizons les plus gypseux (Profil K 12). Dans le cas de profil A B cs C, on note parfois de forte accumulation calcaire sans que celle-ci soit morphologiquement visible (Profil K 51). Mais le plus souvent dans ces profils les teneurs sont relativement constantes sans qu'il y ait ségrégation de carbonate de calcium.

| N°                       | 11   | 12   | 13   | 121  | 122  | 123  | 481  | 482  | 484  | 511  | 512  |
|--------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| CaCO <sub>3</sub> tot. % | 11,2 | 12,1 | 13,4 | 19,3 | 1,3  | 4,2  | 17,3 | 14,4 | 15,6 | 41,0 | 29,6 |
| Calc.act. ‰              | 5    | 10   | 10   | 15   | 5    | 15   | 20   | 20   | 20   | 40   | 90   |
| Gypse                    | 0,35 | 14,0 | 7,5  | 0,40 | 56,0 | 51,0 | 5,4  | 10,0 | 16,3 | 0,20 | 30,5 |

Les valeurs de calcaire actif sont en général faibles et souvent relativement constantes.

Les teneurs en gypse sont variables d'un profil à un autre et à l'intérieur d'un même profil. L'analyse aux RX a la fraction totale révèle d'une façon constante la dominance du gypse associé avec de l'anhydrite en moindre quantité.

Ces accumulations de gypse ne donnent jamais lieu à des encroûtements très durs des conglomérats dans lesquels ils se développent quel que soit le pourcentage observé. L'accumulation gypseuse reste relativement friable contrairement à ce qui se passe pour des encroûtements calcaires sur matériau identique.

Le complexe absorbant est saturé par Ca. Mg apparaît souvent compris entre 1 et 2 me%, parfois plus (5 à 6 me%). K à une valeur moyenne comprise entre 0,25 et 0,5 me%. Plus élevée en surface, elle décroît en profondeur. Na est le plus souvent inférieur à 1 me% après extraction des sels solubles.

Les sels solubles ont été recherchés dans plusieurs profils dont un à accumulation gypseuse présentant de fortes salinités, le profil K 48 dont l'extrait de saturation a une conductivité variant de 208,1 mmhos/cm en surface à 27,2 mmhos/cm en profondeur. Dans ce profil, en même temps que la salinité décroît et qu'augmentent les teneurs en gypse, on observe un changement dans la composition en sels de l'extrait au 1/2. Les chlorures sont largement dominants en surface tandis qu'en profondeur pour des quantités moindres les sulfates l'emportent.

La reconstitution de la composition en sels de ce profil par la méthode BAZILEVICH est donnée dans le tableau ci-après, ceci sur l'extrait au 1/2.

| N°                               |    | 481   | 483  | 484  |
|----------------------------------|----|-------|------|------|
| (CO <sub>3</sub> H) <sub>2</sub> | Ca | 0,15  | 0,10 | 0,05 |
| S04                              | Ca | 2,25  | 4,94 | 5,75 |
| S04                              | Mg |       |      |      |
|                                  | K  |       |      |      |
|                                  | Na | 4,23  | 8,86 | 1,85 |
| Cl                               | Mg |       |      |      |
|                                  | K  |       |      |      |
|                                  | Na | 52,0  | 5,5  | 1,23 |
| Extrait sat. C.                  |    | 208,1 | 52,5 | 27,2 |
| Toxicité                         |    | 53,0  | 7,3  | 1,75 |

On notera la valeur élevée de l'extrait de saturation de l'horizon profond malgré les teneurs relativement assez moyennes en Na. Celle-ci est due à la présence de gypse solubilisé. Cette remarque est valable pour le profil K 33 présentant également de fortes conductivités (9,6 et 10,6 mmhos/cm) pour des valeurs de Na soluble très faibles (0,96 et 0,32 me%) (1).

Situés en région désertique ces sols sont également incultes.

La fraction argileuse de ces sols gypseux est constituée :

– dans le profil K 48 :

- horizon 481 : par de l'illite et de la montmorillonite codominantes, par de l'illite et des traces de sépiolite,
- horizon 482 : par ordre d'importance, par de la montmorillonite, par de l'illite, par de la chlorite et un peu de sépiolite et d'attapulгите,
- horizon 483 : par de la montmorillonite et sépiolite codominantes et par de l'illite et de la chlorite,
- horizon 484 par de la sépiolite dominante, de la montmorillonite, de la chlorite et de l'illite.

– dans l'échantillon K 122 par de l'attapulгите dominante, de la chlorite et de l'illite avec des traces de montmorillonite.

## 5.5 LES SOLS HYDROMORPHES (\*)

+ minéraux (peu humifères)

xx à redistribution du calcaire

x à taches et encroûtement

Intergrade fréquent vers les sols sodiques,

Parfois sols sodiques.

Tous les profils cités ont été prélevés sur la feuille au 1/50.000 de Qandahar, ce qui ne signifie pas

(1) Dans le cas de sol gypseux la conductivité calculée de l'extrait de la pâte saturée se trouve faussée par le fait que la terre contenant de multiples cristaux de gypse se comporte souvent comme un sable. La quantité d'eau incorporée pour obtenir la pâte saturée étant alors nettement inférieure à celle que l'on pourrait mettre, pour cette même opération, dans un sol normal. La conductivité calculée de l'extrait de saturation s'obtient par la formule suivante :

Conductivité de l'extrait au 1/2 X 200,

Eau nécessaire % pour obtenir la pâte saturée.

Les conductivités calculées obtenues dans le cas de sol gypseux s'avèrent donc souvent trop élevées.

D'autre part une solution saturée en S04 Ca a une conductivité de 1,9 mmhos/cm. Dans un extrait au 1/2 ne contenant pas de Na Cl (qui augmente fortement la solubilité du gypse) ceci représente 5 me de Ca S04 (soit environ 30 me par litre de Ca S04 ou 2 gr par litre). On voit donc que dans le cas des échantillons 332 et 484 les conductivités de l'extrait au 1/2 se trouveraient ramenées respectivement de 2,45 et 3,25 à 0,55 et 1,35 mmhos/cm.

(\*) Voir Annexe 17.

qu'ils sont absents dans les autres régions mais moins fréquents et limités surtout à des dépressions sur le pourtour de la vaste cuvette du Régestan-Séistan-Margo, alors que vers le centre de cette dépression ils n'ont pas été observés.

Sur cette feuille ils se localisent en des cuvettes bien individualisées ou, à l'inverse, apparaissent en certains points de l'ensemble de la région étudiée, alternant alors avec des sols peu évolués sur matériau identique.

Ils se développent sur le cailloutis conglomératique mais surtout sur les interstratifications de texture plus fine et diverse qui le recouvrent fréquemment.

La nappe est profonde en période sèche (6 à 8 m) mais fluctue considérablement en fonction de la saison.

Le profil est de type A B Ca C, sensiblement analogue à celui des sols à différenciation calcaire prélevés en position haute et bien drainés. La plupart de ces profils présentent un cailloutis conglomératique grossier soit dans l'ensemble du profil, soit le plus souvent dans un ou plusieurs des horizons profonds. L'importance de ce cailloutis est alors en moyenne de 50 à 70% en volume.

A : brun-beige, gris-beige, limoneux, limono-argileux, sablo-limoneux. Structure fondue parfois légèrement lamellaire dans la partie supérieure sur quelques cm pour les horizons sablo-limoneux à limoneux, polyédrique fine à moyenne dans ceux limoneux à limono-argileux. Cohésion et compacité faibles à moyennes. Porosité tubulaire plus ou moins bien développée. A la base de cet horizon peuvent apparaître quelques points blancs calcaires. Epaisseur 20 à 30 cm.

B Ca : identique en texture et couleur mais à taches blanches calcaires de plus en plus abondantes pouvant aller jusqu'à former un véritable encroûtement blanc, ceci alors dès le haut de cet horizon et décroissant vers le bas. En fonction de l'intensité des taches et également de l'humidité toute relative du profil la structure peut-être : polyédrique moyenne très accusée (horizon sec à légèrement frais à taches plus ou moins abondantes) ; massive (horizon à encroûtement ou à taches mais alors frais à humide). Compacité et cohésion des éléments structuraux ou du débit moyennes à fortes. On peut observer aussi, mais plus rarement, quelques petits nodules calcaires ou amas bien consolidés, généralement inférieurs à 5 mm. Epaisseur 60 à 80 cm.

Ces deux horizons comportent peu ou moins de cailloux conglomératiques que les horizons sous-jacents. Ces galets présentent souvent sur leur face inférieure une très fine « barbe » de calcite.

B2 Ca C : en même temps que cet horizon devient très graveleux, apparaissent à la base des galets de légères « barbes » de calcite englobant des amas terreux, mais le conglomérat est toujours relativement meuble, non pris en masse dans son ensemble par le calcaire. On passe très rapidement à un matériau grossier dans lequel disparaît l'accumulation calcaire, le sable interstitiel devenant alors particulière ou très peu agrégé.

*Variantes.* Ces sols peuvent présenter parfois une fine cristallisation gypseuse limitée à l'horizon A qui est alors très friable. Le gypse peut aussi se trouver présent dans certains profils mais de façon diffuse et non discernable morphologiquement.

Certains profils présentent également des efflorescences salines superficielles.

#### *Caractéristiques physico-chimiques*

La texture de la fraction fine est assez variable. La teneur en argile est généralement comprise entre 10 et 20%. Il y a parfois augmentation de celle-ci avec la profondeur, mais ce cas n'est pas général et il règne souvent une grande anarchie dans la répartition à l'intérieur d'un même profil.

Les valeurs de limon fin sont plus dispersées (6 à 32% mais surtout 10 à 20%), celles de limon grossier varient entre 7 et 30% (principalement 10 à 20%). Les taux de sable fin s'échelonnent entre 22 et 52% (en général entre 30 et 50%), ceux de sable grossier entre 6 et 23%.

Les teneurs en matière organique sont peu élevées :

— Carbone : — surface : 0,97 à 5,64 ‰, souvent entre 1 et 2 ‰,  
— profondeur : 0,79 à 1,55 ‰,

- Azote totale : – surface : 0,173 à 0,533 ‰,  
 – profondeur : 0,106 à 0,330 ‰,

Il y a décroissance de ces valeurs de la surface vers la profondeur.

Les rapports C/N sont généralement bas, à l'exception de ceux des profils K 25 et 26 situés en des dépressions bien accusées où peut s'accumuler, mais très relativement, la matière organique.

Les pH sont élevés dans ces sols calcaires où la présence de sels solubles plus ou moins abondants est courante. Ils sont compris en général entre 8,5 et 9 mais peuvent dépasser ce dernier chiffre (9,5 - 9,9).

Malgré des profils bien différenciés les taux de calcaire total varient relativement peu avec la profondeur. On passe généralement de 10-12% en surface à 20% en profondeur. Exception faite cependant ici encore du profil K 26 qui présente un encroûtement notable se traduisant par une accumulation plus importante en Ca CO<sub>3</sub> (38,4% pour 75 ‰ de calcaire actif). Dans les autres profils le calcaire actif marque une faible progression (5-10 à 15 ‰).

Par suite de la présence de calcaire et parfois de gypse le complexe absorbant du sol est saturé en ion Ca. Mg est compris entre 2 et 4 me%. A l'intérieur d'un même profil la valeur est variable ou décroissante. K est en teneurs très diverses (0,2 à 0,7 me%). Il est parfois supérieur à 1 me%. Na est en général inférieur à 1 me% après extraction des sels solubles.

Les valeurs de P205 total sont voisines de 1 ‰ en surface et baissent assez peu en profondeur où elles restent comprises entre 0,5 et 1 ‰. Celles d'assimilable varient entre 50 et 100 ppm en surface pour 25 à 50 ppm en profondeur.

Les sels solubles sont plus ou moins abondants suivant les profils et à l'intérieur d'un même profil suivant les horizons. La salinité est le plus souvent à décroissance rapide avec la profondeur.

Bien souvent elle n'affecte qu'un ou deux horizons de surface (Profil K 8). Mais elle peut gagner l'ensemble du profil qui appartient alors à la classe des sols sodiques (Profils K 25 et 26). Il nous a paru cependant difficile de les dissocier de mêmes sols, mais non ou faiblement salés, puisque morphologiquement très analogues par une pédogenèse calcaire. Ces profils ont alors une double appartenance dans la classification, une première pédogénétique, une seconde agronomique.

A titre d'exemple, nous donnons ci-après le contenu reconstitué en sels solubles de l'extrait au 1/2 de 3 profils.

| N°                  | 81                                                                                  | 82    | 83   | 84   | 251   | 252   | 253   | 261   | 262       |       |       |
|---------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------|------|------|-------|-------|-------|-------|-----------|-------|-------|
| C03 Na <sub>2</sub> | —                                                                                   | —     | —    | 0,02 | 0,02  | —     | —     | —     | —         |       |       |
| (C03H)2 Ca          | —                                                                                   | 0,20  | 0,16 | 0,12 | 0,22  | 0,17  | —     | —     | —         |       |       |
| (C03H)2 Mg          | —                                                                                   | —     | 0,09 | 0,16 | —     | —     | —     | —     | —         |       |       |
| C03H Na             | —                                                                                   | —     | 0,21 | 0,37 | —     | —     | —     | —     | —         |       |       |
| S04 Ca              | 0,52                                                                                | 0,64  | —    | —    | 1,68  | 5,03  | 4,34  | 8,64  | 0,79      |       |       |
| S04                 |  | Mg    | —    | —    | —     | —     | —     | —     | —         |       |       |
|                     |                                                                                     | K     | 5,48 | 2,92 | 1,04  | 0,60  | —     | 7,53  | 7,58      | 22,16 | 8,09  |
|                     |                                                                                     | Na    | —    | —    | —     | —     | —     | —     | —         | —     | —     |
| Cl                  |  | Mg    | —    | —    | —     | —     | —     | —     | —         |       |       |
|                     |                                                                                     | K     | 4,36 | 3,50 | 0,75  | 0,18  | 37,38 | 30,20 | 10,0      | 23,40 | 25,80 |
|                     |                                                                                     | Na    | —    | —    | —     | —     | —     | —     | —         | —     | —     |
| Extrait sat. C.     | 27,71                                                                               | 22,06 | 5,93 | 2,82 | 110,3 | 119,4 | 37,60 | 258,6 | 53,40 (1) |       |       |
| Toxicité            | 5,45                                                                                | 3,99  | 1,08 | 0,71 | 37,92 | 31,70 | 11,51 | 27,83 | 27,42     |       |       |

(1) Les valeurs de la conductivité de l'extrait de saturation calculée peuvent apparaître parfois très fortes pour les raisons indiquées précédemment (Cf. Sols gypseux).

Dans le profil K 8 à forte salinité sur 30 cm on note la codominance de sulfate et chlorure de Na, un peu de gypse. En profondeur où la salinité devient plus faible on observe toujours ces mêmes sels mais en quantité moindre et on voit apparaître un peu de  $\text{CO}_3 \text{Na}_2$  en  $\text{CO}_3 \text{H Na}$ , les pH sont alors très élevés (9,6 - 9,9).

Dans le profil K 25, très salé dans son ensemble, il y a dominance de  $\text{Cl Na}$  en surface, très peu de  $\text{CO}_3 \text{Na}_2$ , du gypse. Dès 5 cm apparaît  $\text{SO}_4 \text{Na}_2$  en même temps que diminuent les chlorures. Le gypse est alors plus abondant.

Dans le profil K 26, très salé,  $\text{Cl Na}$  et  $\text{SO}_4 \text{Na}_2$  dominent en surface avec du gypse. Ce dernier diminue en profondeur ainsi que  $\text{SO}_4 \text{Na}_2$ .

La toxicité par les anions des profils K 25 et 26 et des horizons K 81 et 82 est forte, faible pour les horizons K 83 et 84.

La fraction argileuse du profil K 8 est constituée de la manière suivante :

- horizons K 82 et 83. Codominance d'attapulгите, illite et chlorite,
- horizon K 84. Même codominance avec en quantité moindre sépiolite et montmorillonite.

Celle du profil K 11 est à dominance d'illite, d'attapulгите et de chlorite et également un peu de sépiolite dans l'échantillon 111. Dans l'échantillon 112 l'illite et la chlorite dominent avec, en quantité moindre, de l'attapulгите et de la sépiolite.

*Utilisation.* Ces sols lorsque non salés sont utilisés en irrigation pour les cultures traditionnelles.

Dans la légende accompagnant la carte pédologique, il a été distingué, en fonction de la présence ou de l'absence de conglomérat en surface et de la plus ou moins grande salinité :

- des sols à couverture conglomératique superficielle. Parfois salés en surface,
- des sols à couverture conglomératique superficielle souvent absente :
  - parfois salés en surface. Associés à des sols peu évolués d'apport sur matériau identique,
  - salés ou intergrades vers les sols salins occupant des dépressions.

## 5.6 LES SOLS A DIFFERENCIATION CALCAIRE (\*)

### 5.6.1 Peu différencié

xx à points ou très rares et très petits amas calcaires

x à horizon pallide

Ils s'observent dans le S de la feuille de Qandahar au 1/50.000, sur la rive gauche du Doré Rod. Sur leur surface, en surplomb d'une dizaine de mètres par rapport à l'ensemble de la plaine, se déplacent de très nombreuses barkhanes hautes de 2 à 4 m. La végétation est rare, limitée à quelques touffes d'épineux verts.

Les sédiments sur lesquels ils se développent sont les sables deltaïques étudiés précédemment.

*Profil K 20.* En surface sable cimenté formant des lamelles finement feuilletées de quelques mm d'épaisseur mais friables.

A11 : gris-beige à beige, lamellaire à cubique, assez compact et cohérent, sableux,  
0- 7 cm

A12 : beige rougeâtre, sableux, fondu à débit polyédrique. Compacité et cohésion faibles à moyennes. Quelques terriers de 10 à 20 cm de diamètre comblés par le sable gris-beige de l'horizon supérieur,

B Ca : identique avec apparition progressive de petits points blancs calcaires allant jusqu'à de fins  
80-160 cm petits nodules de 3 à 4 mm de diamètre, mais peu nombreux.

Aucune observation n'a pu être faite entre 160 cm et 7 m du fait d'éboulis sableux de pente, mais entre 7 et 8 m, au-dessus du banc de dolomie dans la zone de battement de la nappe du Doré Rod en période pluvieuse, s'observe un sable beige-blanchâtre fortement cimenté par le calcaire. Si l'accumulation calcaire constatée en cet endroit est sans doute sans rapport avec ce profil, il se peut que celui-ci soit plus profond et n'ait pas été vu dans sa totalité.

(\*) Voir Annexe 18.

### Caractéristiques physico-chimiques

Ce profil présente des teneurs en argile, limons fin et grossier faibles et décroissantes avec la profondeur :

- argile : 6 à 2,5%,
- limon fin : 7 à 1%,
- limon grossier : 6,5 à 3,4%.

Les sables fins dominent (75,6 à 87%). Les sables grossiers sont en faible quantité.

Les teneurs en carbone et azote totale sont peu importantes et diminuent avec la profondeur :

- carbone : 0,44 à 0,34 ‰,
- azote : 0,087 à 0,06 ‰.

Les rapports C/N sont bas (5,1 à 5,7).

Les teneurs en Ca CO<sub>3</sub> total décroissent avec la profondeur (8,3 à 4,6%) malgré l'apparition de points et amas calcaires à partir de 80 cm, celles de calcaire actif sont assez variables d'un horizon à un autre.

Les pH sont relativement élevés (9,1-9,2) et sans rapport avec les teneurs en Na.

Le complexe absorbant est saturé en Ca.

Mg a des valeurs élevées pour un sol sableux (1,95 à 4,50 me%), K des valeurs décroissantes moyennes à faibles (0,34 à 0,16 me%), Na des valeurs faibles et constantes (0,12 me%).

Les taux de P<sub>205</sub> total sont également faibles (0,26 à 0,21 ‰ pour 38 à 30 ppm d'assimilable).

Les teneurs en fer total varient entre 1,8 et 2,2 % mais de façon discontinue tandis que celles de fer libre décroissent avec la profondeur (0,85 à 0,65%) suivant en cela les taux d'argile.

La partie supérieure du profil, lamellaire, feuilletée, épaisse de quelques mm, qui pouvait faire penser à un phénomène de silicification s'est révélée très pauvre en produits amorphes (Si O<sub>2</sub> notamment). Elle présente par contre une légère accumulation toute relative par rapport aux autres horizons, en carbone (16,2 ‰), en azote (2,6 ‰), en fer total (2,6 %) et libre (1,0%).

La fraction argileuse de ce sol est constituée dans l'échantillon K 204, par ordre d'importance par de l'attapulgite, de l'illite, de la chlorite, de la sépiolite et de la montmorillonite.

**Utilisation.** En surplomb par rapport à la dépression irrigable et soumis à une déflation éolienne intense marquée par de multiples barkhanes, ces sols sont incultes. En bordure du Doré Rod s'observent quelques vestiges de villages de nomades transhumants, venant hiverner en ces régions et qui arrivent à partir de Novembre-Décembre.

### 5.6.2 Bien différencié

**xx à taches calcaires abondantes ou début d'encroûtement**

**x à horizon pallide**

Ces sols s'observent sur la feuille 1/50.000 de Qandahar, sur le vieux conglomérat démantelé bordant l'Arghestan Rod et dans la partie S-E sur le piedmont du massif de calcaire. Dans ce dernier cas, on les voit de façon discontinue car ils sont recouverts soit par des éboulis (face E), soit encore par ceux-ci ou des ensablements éoliens (face O).

Ils passent latéralement en bas des pentes souvent à des sols hydromorphes minéraux, à redistribution du calcaire, plus ou moins salins dont ils diffèrent par un bon drainage interne.

Des sols identiques, à profil calcaire par taches, s'observent en bordure des dépressions incluses dans les grands « dasht ». Ils sont situés à la périphérie de celles-ci, dans les parties bien drainées où le gypse et les sels sont évacués vers les points bas ce qui met alors en évidence la pédogenèse calcaire.

Dans tous les cas, le profil est de type A B Ca C.

— *Sur conglomérat (Profil K 24) on distingue :*

- A11 : gris-brun. Sablo-limoneux. Structure polyédrique moyenne à fine, assez bien développée 0 - 3 cm avec, entre les agrégats, un limon interstitiel. Meuble,
- A12 : brun. Limono-argileux. Structure polyédrique moyenne à fine très bien développée. Quelques points calcaires blancs. Meuble. 3 - 20 cm

- B Ca : brun panaché de taches blanches calcaires abondantes. Sablo-limoneux à limono-argileux.  
 20-40 cm Galets abondants différemment grossiers présentant des «barbes» de calcite de quelques mm à 1 cm. Terre interstitielle en agrégats polyédriques à cohésion moyenne. Compacité de l'ensemble moyenne,  
 C : conglomérat grossier aux galets, parfois striés et altérés, à «barbe» calcitique caverneuse marquée par des phénomènes de dissolution.  
 qu'à 80 cm.

Ce profil a été observé au S-O de Neway Deh sur un vieux conglomérat démantelé surplombant l'ensemble de la dépression de 20 à 25 m. Le relief tourmenté était fait de multiples buttes aux formes arrondies, coupées de breves dépressions parfois en culture. En surface on observait des galets patinés, noirs, roulés ou cassés et alors anguleux, parfois striés, de 3 à 5 cm de diamètre mais pouvant atteindre 10 à 15 cm. De nombreux galets portaient des «barbes» de calcite de 1 à plusieurs cm d'épaisseur.

— *Sur piedmont du massif calcaire (Profil K 6)*

- A11 : beige jaunâtre. Limono-argileux. Structure polyédrique fine à légèrement grumeleuse. Bien  
 0-10 cm structuré. Calcaire par nombreux petits amas friables blancs.  
 A12 : jaunâtre. Limono-sableux. Structure polyédrique moyenne bien développée avec peu ou pas  
 10-30 cm d'amas calcaires. Meuble.  
 B Ca : jaunâtre avec accumulation calcaire blanche par taches abondantes légèrement consolidées.  
 30-50 cm Structure polyédrique moyenne bien développée. Assez meuble.  
 C : éboulis grossiers (3 à 5 parfois 10 cm) de calcaire

Ce profil apparemment simple, est complexe puisque, par places, entre les horizons A12 et B Ca peuvent venir s'intercaler sur 20 à 30 cm des éboulis de roche noire légèrement encroûtée de terre brunâtre. Ceci remet en question l'homogénéité d'un tel profil. La partie supérieure A11 pouvant être alors le (B) d'un sol brun calcaire légèrement tronqué, A12 un horizon transitoire (B)C. L'horizon B Ca résulterait alors d'une pédogenèse ancienne. Celle-ci ne peut être contestée puisqu'on observe en bas de piedmont des encroûtements calcaires enterrés sous 1 à 2 m de sédiment. L'un daté par le carbone 14 a révélé un âge de  $22.740 \pm 400$  ans BP. Certains éboulis calcaires présentent d'ailleurs un encroûtement calcaire de quelques cm finement stratifié.

*Les caractéristiques physico-chimiques* de ces deux sols, mise à part la texture, sont marquées par une structure polyédrique fine à moyenne très développée, un gradient calcaire accusé (12,4 à 32%) pour le sol sur conglomérat, un gradient en sinusoïde pour celui sur roche calcaire, où le pourcentage de Ca CO<sub>3</sub> est le plus élevé dans l'horizon superficiel (43,4%) puis diminue ensuite fortement pour se relever dans l'horizon B Ca (27,3%). Les teneurs en matière organique sont faibles (C 1,90 en surface à 1,10 ‰ en profondeur), celles d'azote totale le sont également (0,330 à 0,173 ‰). Les rapports C/N sont bas (8-5,8 en surface, 4,5-5 à 7 en profondeur).

Les pH varient peu (8,7-8,8).

Parmi les bases échangeables, dans ces profils saturés par Ca, Mg varie entre 2 et 6 me%. Il est décroissant dans le profil K 6 (5,84 à 2,03 me%), croissant dans le profil K 24 (2,25 à 6,0 me%). Les taux de K suivent une variation inverse (Profil K 6 : 0,38 à 0,65 me%. Profil K 24 : 0,45 à 0,19 me%). Les teneurs en Na échangeable sont très inférieures à 1 me% (0,32 à 0,16), sauf dans l'horizon 61 (1,47 me%).

Ces sols ne présentent pas de sels solubles.

Les valeurs de P205 total varient entre 0,93 et 0,55 ‰ pour 85 et 50 ppm (Profil K 24), 0,73 et 0,68 ‰ pour 21 et 30 ppm (Profil K 6).

La fraction argileuse du profil K 24 est constituée dans l'échantillon 243 par de l'attapulgite accompagnée d'illite et de chlorite.

*Utilisation.* De par leur situation en position topographique haute, ces sols présentent peu de possibilités d'irrigation. Ils sont donc incultes. De toute façon leur faible épaisseur limiterait fortement leur vocation culturale.

*Remarques.* Les profils cités apparaissent très complexes par les pédogenèses cumulées qu'ils permettent d'avancer.

*Sur conglomérat,* l'aspect général des buttes mamelonnées indique une vieille surface en voie de démantèlement, sans doute anciennement encroûtée, et dont le ciment calcaire est aujourd'hui très altéré, comme l'indique la dissolution par cavernes multiples des « barbes » de calcite des galets.

*Sur piedmont* de massif calcaire, la partie supérieure du profil K 6, finement polyédrique est celle d'un sol brun calcaire (Sol calcimagnésique) et semble en équilibre avec les conditions climatiques actuelles tandis que l'horizon B Ca serait beaucoup plus ancien comme l'indique la datation citée précédemment.

*Sur dépôts sableux deltaïques* très perméables, s'il n'y a pas de preuves formelles, en l'absence d'observations entre 1,6 et 7 m, pour affirmer une accumulation calcaire importante, transitoire entre les horizons K 204 et 211 (Ca CO<sub>3</sub> total 4,6 à 37,5%), rappelons que ces sables sont originaires, pour totalité ou pour partie de la vallée du Tarnak Rod où ils contiennent de 30 à 40% de Ca CO<sub>3</sub> total. Un lessivage intense du calcaire dans le profil K 20 est très vraisemblable, vu la perméabilité très grande du sédiment. Rappelons que l'âge de dépôt de ces sables se situe entre  $27.400 \pm 880$  et  $15.970 \pm 240$  ans BP (date de formation des encroûtements des terrasses haute et moyenne du Tarnak Rod). Cet âge relativement ancien prêche en faveur d'une évolution pédogénétique accusée. Ce sol présente par ailleurs une légère rubéfaction qui n'est pas sans rappeler la coloration de certains sols ferrugineux tropicaux africains.



# LES REGIONS ORIENTALES

## LA CUVETTE DE JALALABAD

## LE NURISTAN

## LA VALLEE D'AZRAO

## LE PAKTIA

La région de Jalalabad a été choisie comme lieu d'étude, parce que située dans la partie Orientale de l'Afghanistan, où arrivent, mais très atténuées, les queues de mousson donnant au climat un caractère à influences tropicales. Celles-ci se traduisent par l'apparition d'une végétation, sans doute très clairsemée, mais aux espèces caractéristiques.

C'est également un des lieux où la série sédimentaire du Lataband prend une très grande importance. De ce fait les sols jeunes, minéraux bruts ou peu évolués d'apport dominant largement sans que se marque bien en eux la pédogenèse à caractère tropical que nous pensions trouver.

Aussi avons-nous cru devoir compléter cette étude par celles plus sommaires de 3 autres régions :

- le Nuristan, au voisinage immédiat du Pakistan où les observations ont porté sur l'étude d'un massif de 3 500 m d'altitude. Sur ce massif se voit le passage graduel de la flore méditerranéenne à celle de région tempérée de haute montagne (forêt de conifères - prairie alpine),
- la vallée d'Azrao, prolongement vers l'O du Nuristan, où ces mêmes forêts s'éclaircissent progressivement pour des altitudes analogues,
- le Paktia, au S du Nuristan, où l'influence tropicale paraît la mieux marquée par les données climatologiques qui y sont relevées.

# A/ LA CUVETTE DE JALALABAD

## INTRODUCTION

La première région, ayant fait l'objet d'une étude détaillée, se situe dans le voisinage immédiat de Jalalabad, à une soixantaine de km de la frontière pakistanaise.

Nous nous trouvons ici à des altitudes assez basses pour le pays, 500-600 m dans la vallée du fleuve Kabul, mais avec un voisinage immédiat de massifs importants : Amber Ghar, Kamund Ghar qui culminent sur la feuille (Caharbagh) au 1/50.000 N faisant partie de cette étude, à 1 905 et 2 018 m. Plus au N les massifs s'élèvent très rapidement et les altitudes alors supérieures à 4 000 m ne sont pas rares. Sur la feuille S au 1/50.000 également étudiée (Jalalabad), le massif Tor Ghar, que contourne le Kabul, forme un éperon avancé, s'abaissant progressivement du S-O (2 045 m) vers le N-E (1 486 - 1 058 m). A la pointe extrême de cet éperon (Bandé Darunta) un barrage hydroélectrique a permis en amont la constitution d'un important lac dont les eaux servent à l'irrigation des plaines alluviales en aval.

Tous ces massifs montagneux ont leurs piedmonts constitués de séries sédimentaires stratifiées souvent grossières (galets conglomératiques) avec intercalations ou passages plus fins, de sables ou cailloutis plus ou moins grossiers, de limon argileux... Ces séries très démantelées donnent au paysage une allure chaotique dans lequel le Kabul et ses affluents se sont ouverts des vallées souvent larges de plusieurs km. Le long de celles-ci se situent les villages et les cultures, ceci en raison de la richesse des terres mais surtout de la plus ou moins grande abondance de l'eau.

## 1 - LE CLIMAT

Il est connu par les relevés effectués par la station météorologique de Jalalabad. Nous avons adjoint pour caractériser le climat E de l'Afghanistan, le relevé de la ville de Khost (Matun) au Paktia, ainsi que celui de villes situées dans le voisinage immédiat de Jalalabad (Laghman) ou à la limite de cette influence tropicale (Gerdiz (1), ville à mi-chemin entre le S de la vallée du Logar et la plaine de Khost).

Jalalabad : altitude 580 m - 34° 26 latitude N - 70° 28 longitude E.

Observations : 1 959 - 1 970.

Laghman : altitude 770 m - 34° 39 latitude N - 70° 13 longitude E.

Observations : 1 965 - 1 970.

Khost : altitude 1 146 m - 33° 37 latitude N - 69° 57 longitude E.

Observations : 1 962 - 1 970.

(1) Gerdiz ou Gardez

Gerdiz : altitude 2 350 m - 33° 37 latitude N - 69° 14 longitude E.  
Observations : 1 964 - 1 970.

### Pluviométrie

Elle est relativement faible mais croissante avec l'altitude :

171 mm à Jalalabad (580 m),  
301 mm à Laghman (770 m),  
448 mm à Khost (1 146 m).

Cette pluviométrie est répartie principalement de Décembre à Mai, pour les deux premières stations, avec un maximum en Mars - Avril, tandis que la moyenne des autres mois est comprise entre 1 et 10 mm. Pour Khost cette pluviométrie s'étale également sur les mois d'été, de Juillet (82 mm) à Septembre (33 mm). Aucun enneigement n'est noté à Jalalabad et Laghman pour une moyenne de 0,2 jour de neige, en Décembre et Janvier, à Khost.

### Humidité

L'humidité moyenne relative est sensiblement constante pendant toute l'année à Jalalabad et Laghman, comprise entre 50 et 65 %, à l'exception des mois de Mai et Juin légèrement moins humides. Comparés à ceux de la station de Kabul (1 791 m), ces chiffres sont légèrement supérieurs. Il en est de même de la tension de vapeur d'eau qui croît de 7,0 en Janvier à 27,3 en Août à Jalalabad, contre 3,7 (Janvier) à 12,5 (Juillet) à Kabul. Ceci ajouté à une altitude moindre, des températures plus élevées, explique la sensation de moiteur tropicale que l'on éprouve pendant l'été à Jalalabad malgré la faible importance des précipitations arrivant sous forme d'orages. A Khost l'humidité relative est constante même pendant les mois de Juin à Septembre.

### Température

La température moyenne mensuelle passe de :

8° 4 (Janvier) à 32° 9 (Juillet) à Jalalabad,  
7° 2 (Janvier) à 31° 3 (Juillet) à Laghman,  
4° 8 (Janvier) à 28° 2 (Juin) à Khost.

Elle présente : des maxima absolus de :

44° 5 (Mai) 47° 2 (Juin) 46° 7 (Juillet) 48° 4 (Août), 44° 2 (Septembre) à Jalalabad,  
43° 7 (Juin) 42° 5 (Juillet) à Laghman,  
41° 2 (Juin) 41° 5 (Juillet) à Khost,

: des minima absolus de :

— 4° 5 (Novembre) — 5° 5 (Décembre) — 4° 1 (Janvier), — 2° 1 (Février) à Jalalabad,  
— 3° 1 (Novembre) — 3° 8 (Décembre) — 5° 8 (Janvier), — 3° 5 (Février) à Laghman,  
— 5° 7 (Novembre) — 5° 5 (Décembre) — 8° 5 (Janvier), — 6° 2 (Février) à Khost.

JALALABAD

| 1 959 - 1 970 | Janv. | Fév. | Mars | Avril | Mai   | Juin  | Juil. | Août  | Sept. | Oct. | Nov. | Déc. | Année  |
|---------------|-------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|--------|
| Pluv. mm      | 19    | 22   | 36   | 33    | 18    | 1     | 6     | 2     | 3     | 7    | 8    | 16   | 171    |
| J. pluie      | 3     | 5    | 7    | 9     | 4,5   | 0,8   | 1,4   | 0,8   | 1,0   | 1,5  | 2,3  | 3    | 39,3   |
| J. neige      | 0     | 0    | 0    | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0    | 0    | 0    | 0      |
| h. max. neige | 0     | 0    | 0    | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0    | 0    | 0    | 0      |
| T. moy. T     | 8,4   | 11,0 | 16,7 | 21,9  | 27,6  | 32,6  | 32,9  | 32,1  | 28,2  | 22,6 | 15,2 | 9,3  | 21,5   |
| T. max. abs.  | 22,7  | 28,8 | 32,6 | 37,1  | 44,5  | 47,2  | 46,7  | 48,4  | 44,2  | 37,6 | 32,4 | 24,0 | 48,4   |
| T. min. abs.  | -4,1  | -2,8 | 3,9  | 5,6   | 10,6  | 17,4  | 19,0  | 18,8  | 11,8  | 5,4  | -4,5 | -5,5 | -5,5   |
| Humid. %      | 63    | 61   | 65   | 61    | 47    | 39    | 51    | 57    | 56    | 56   | 60   | 64   | 57     |
| Evap. Pot.    | 74    | 90   | 110  | 154   | 264   | 364   | 304   | 252   | 224   | 179  | 116  | 76   | 2207   |
| ETP           | 5,5   | 11,9 | 41,5 | 88,3  | 178,6 | 212,4 | 223,1 | 208,6 | 154,5 | 90,2 | 28,7 | 8,0  | 1251,2 |
| Insolation    | 195   | 186  | 212  | 214   | 289   | 334   | 336   | 305   | 292   | 273  | 220  | 195  | 3051   |

LAGHMAN

| 1 965 - 1 970 | Janv. | Fév. | Mars | Avril | Mai   | Juin  | Juil. | Août  | Sept. | Oct. | Nov. | Déc. | Année  |
|---------------|-------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|--------|
| Pluv. mm      | 15    | 36   | 70   | 89    | 32    | 3     | 4     | 3     | 3     | 10   | 6    | 30   | 301    |
| J. pluie      | 4     | 8    | 11   | 11    | 8     | 1     | 2     | 1     | 2     | 4    | 2    | 3    | 57     |
| J. neige      | 0     | 0    | 0    | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0    | 0    | 0    | 0      |
| h. max. neige | 0     | 0    | 0    | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0    | 0    | 0    | 0      |
| T. moy. T     | 7,2   | 9,8  | 14,6 | 18,6  | 24,5  | 30,8  | 31,3  | 29,9  | 26,0  | 20,4 | 13,5 | 8,1  | 19,6   |
| T. max. abs.  | 22,0  | 24,3 | 30,7 | 34,5  | 41,0  | 43,7  | 42,5  | 38,8  | 37,7  | 34,6 | 31,5 | 23,6 | 43,7   |
| T. min. abs.  | -5,8  | -3,5 | 0,8  | 4,2   | 9,2   | 13,7  | 17,2  | 16,3  | 11,3  | 6,7  | -3,1 | -3,8 | -5,8   |
| Humid. %      | 62    | 64   | 59   | 55    | 44    | 33    | 48    | 60    | 54    | 56   | 55   | 63   | 54     |
| Evap. Pot.    | 77    | 85   | 125  | 166   | 265   | 402   | 319   | 235   | 232   | 176  | 130  | 79   | 2291   |
| ETP           | 5,4   | 11,9 | 38,3 | 65,4  | 133,9 | 199,7 | 213,5 | 190,6 | 132,9 | 75,2 | 28,4 | 7,9  | 1102,5 |
| Insolation    | 191   | 172  | 201  | 228   | 316   | 350   | 341   | 307   | 314   | 270  | 242  | 155  | 3087   |

GERDIZ

| 1 964 - 1 970 | Janv. | Fév.  | Mars  | Avril | Mai  | Juin | Juil. | Août  | Sept. | Oct. | Nov.  | Déc.  | Année |
|---------------|-------|-------|-------|-------|------|------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|
| Pluv. mm      | 33    | 60    | 63    | 53    | 24   | 5    | 13    | 8     | 1     | 6    | 10    | 34    | 310   |
| J. pluie      | 1,9   | 3,3   | 6,3   | 11,4  | 5,7  | 1,6  | 3,9   | 2     | 0,3   | 2,1  | 3,1   | 1,7   | 43,3  |
| J. neige      | 6     | 8     | 5     | 1     | 0,5  | 0    | 0     | 0     | 0     | 0    | 0,5   | 5     | 26    |
| h. max. neige | 35    | 45    | 56    | 1     | 0    | 0    | 0     | 0     | 0     | 0    | 19    | 61    | 61    |
| T. moy. T     | -5,6  | -3,7  | 3,8   | 9,7   | 14,8 | 19,8 | 22,4  | 22,1  | 16,9  | 9,7  | 4,0   | -2,1  | 9,3   |
| T. max. abs.  | 10,7  | 12,7  | 21,0  | 25,5  | 31,0 | 34,5 | 34,3  | 33,8  | 30,0  | 27,8 | 19,4  | 14,0  | 34,5  |
| T. min. abs.  | -30,3 | -28,5 | -13,8 | -6,4  | 0,9  | 5,1  | 9,0   | 7,8   | 1,5   | -5,6 | -13,2 | -24,2 | -30,3 |
| Humid. %      | 66    | 73    | 64    | 60    | 44   | 38   | 47    | 51    | 44    | 45   | 52    | 55    | 53    |
| Evap. Pot.    | 23    | 22    | 54    | 87    | 145  | 224  | 214   | 196   | 177   | 119  | 73    | 46    | 1380  |
| ETP           | -     | -     | 12,9  | 42,5  | 77,5 | 45,2 | 139,3 | 129,5 | 80,3  | 42,1 | 13,0  | -     | 652,4 |
| Insolation    | 189   | 161   | 231   | 233   | 320  | 350  | 356   | 340   | 330   | 300  | 262   | 212   | 3284  |

Evaporation potentielle - ETP en mm. Insolation en heures.

**KHOST**

| 1 962 - 1 970 | Janv. | Fév. | Mars | Avril | Mai   | Juin  | Juil. | Août  | Sept. | Oct. | Nov. | Déc. | Année |
|---------------|-------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|-------|
| Pluv. mm      | 15    | 39   | 55   | 76    | 40    | 17    | 82    | 52    | 33    | 7    | 10   | 22   | 448   |
| J. pluie      | 2,8   | 6,5  | 8,3  | 10,7  | 9     | 3,4   | 8,4   | 6,7   | 3,7   | 2,8  | 2,4  | 3    | 67,7  |
| J. neige      | 0,2   | 0    | 0    | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0    | 0    | 0,2  | 0,4   |
| h. max. neige | 1     | 0    | 0    | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0    | 0    | 4    | 4     |
| T. moy. T     | 4,8   | 7,5  | 12,4 | 16,9  | 22,2  | 28,2  | 27,5  | 26,5  | 23,4  | 17,8 | 10,6 | 5,8  | 17,0  |
| T. max. abs.  | 22,1  | 22,7 | 30,0 | 34,8  | 40,2  | 41,2  | 41,5  | 37,8  | 38,6  | 33,0 | 29,0 | 21,4 | 41,5  |
| T. min. abs.  | -8,5  | -6,2 | -0,6 | 3,0   | 5,4   | 12,8  | 16,0  | 15,4  | 7,2   | 4,5  | -5,7 | -5,5 | -8,5  |
| Humid. %      | 58    | 63   | 62   | 57    | 47    | 47    | 61    | 63    | 58    | 53   | 55   | 56   | 57    |
| Evap. Pot.    | 67    | 70   | 96   | 136   | 213   | 270   | 193   | 177   | 177   | 155  | 103  | 75   | 1732  |
| ETP           | 5,5   | 9,6  | 35,1 | 62,1  | 118,0 | 180,0 | 181,6 | 160,4 | 114,3 | 67,1 | 23,8 | 8,0  | 965,5 |
| Insolation    | 230   | 195  | 233  | 219   | 294   | 299   | 261   | 253   | 273   | 277  | 243  | 202  | 2979  |

### Insolation

Elle est importante :

- 3 051 h à Jalalabad,
- 3 087 h à Laghman,
- 2 979 h à Khost.

mais légèrement moindre qu'à Kabul (3 159 h) et surtout légèrement moins forte que dans la capitale pendant les mois d'été.

### Evaporation potentielle

Celle-ci est de 2 207 mm à Jalalabad, de 2 291 mm à Laghman, de 1 732 mm à Khost.

Elle croît régulièrement de Janvier à Juin et décroît ensuite surtout à partir d'Octobre - Novembre :

- Jalalabad : 74 à 364 mm,
- Laghman : 77 à 402 mm,
- Khost : 67 à 270 mm.

### Evapotranspiration potentielle

Elle suit une courbe similaire :

- Jalalabad : 5,5 mm (Janvier) à 223,1 mm (Juillet).  
Total annuel 1 251,2 mm,
- Laghman : 5,4 mm (Janvier) à 213,5 mm (Juillet).  
Total annuel 1 102,5 mm,
- Khost : 5,5 mm (Janvier) à 181,6 mm (Juillet).  
Total annuel 965,5 mm.

### Graphiques ombro-thermiques de BAGNOULS - GAUSSEN (Figure 34)

A Jalalabad, les mois secs vont d'Avril à Décembre, de Mai à Novembre à Laghman.

La répartition est plus complexe à Khost où les précipitations les plus importantes se répartissent en deux petites saisons des pluies. Les mois secs sont alors Mai - Juin et Septembre - Octobre - Novembre.

### Indices climatiques

#### Indice d'aridité de de MARTONNE

- Jalalabad : 5,4
- Laghman : 10,2
- Khost : 16,6

#### Indice de HENIN et AUBERT

|             | Sable | Limon | Argile |
|-------------|-------|-------|--------|
| - Jalalabad | 3,2   | 1,6   | 0,8    |
| - Laghman   | 18,2  | 9,4   | 4,8    |
| - Khost     | 63,7  | 34,3  | 17,8   |

Avec de telles valeurs nous sommes à Jalalabad et Laghman dans le domaine des sols subdésertiques, à la limite des sols steppiques à Khost.

#### Indice d'EMBERGER

|               |   |        | Indice | Etage bioclimatique      |
|---------------|---|--------|--------|--------------------------|
| - Jalalabad : | P | 171 mm | 15,65  | aride à hiver frais      |
|               | M | 40° 6  |        |                          |
|               | m | 2° 6   |        |                          |
| - Laghman :   | P | 301 mm | 27,45  | aride à hiver frais      |
|               | M | 38° 6  |        |                          |
|               | m | 1° 2   |        |                          |
| - Khost :     | P | 448 mm | 42,40  | semi-aride à hiver froid |
|               | M | 35° 3  |        |                          |
|               | m | - 1° 1 |        |                          |

## 2 - LA VEGETATION

Les climats de Jalalabad et Khost sont placés par HAYON *et al* (1968), d'après la classification BAGNOULS-GAUSSSEN, de la façon suivante :

- Jalalabad : climat hémihérémique chaud à tendance méditerranéenne (Type 2 A). 9 à 11 mois secs correspondant à un indice xérothermique compris entre 200 et 290 jours. Très aride d'après l'indice de de MARTONNE. Identique à celui de Gafsa en Tunisie. Ce qui explique la végétation subdésertique de la cuvette de Jalalabad.
- Khost : climat xérothermique thermoméditerranéen (Type 3 B). 5 à 6 mois secs correspondant à un indice xérothermique de 150 jours secs. Climat égal à celui de Tunis. Végétation de forêt sclérophylle à *Quercus baloot*.

Le premier type de climat s'étendrait, d'après ces auteurs, de la sortie des gorges du Tangi Gharu (1 200 m) à la frontière pakistanaise (705 m) et engloberait vers le N le cours supérieur du Kunar jusqu'à

l'altitude 860 m, altitude légèrement supérieure vers l'O dans la vallée de l'Alingar. La formation végétale associée à ce climat est décrite au Pakistan sous le nom de steppe semi-désertique (TROLL C. 1 939) et correspondrait à la « marge subdésertique » d'OZENDA P. (1 958), aux confins du Sahara.

A la flore iranoturaniennne du plateau de Kabul *Acantholimon*, *Aristida* (*A. cyanantha*), *Artemisia* (*A. cina*, *A. maritima*), *Arthrophytum*, *Astragalus*, *Cousinia*....) on passe, en aval, en descendant en altitude, à une flore dans laquelle apparaissent des éléments paléotropicaux (*Cymbopogon*, *Heteropogon*, *Tetrapogon*, *Panicum*, *Aerva javanica*, *Calotropis procera*, *Datura inoxia*....) puis plus bas apparaît le semi-désert de la cuvette de Jalalabad (*Citrullus colocynthis*, *Reptonia buxifolia*, *Rhazia stricta*, *Solanum xanthocarpum*.... Espèces suffrutescentes dominant la steppe).

Cette flore diffère peu de celle de Khost, avec pour cette dernière une plus grande dominance d'Andropogonées (*Cymbopogon*, *Chrysopogon*, *Erianthus*, *Heteropogon*). On tend alors vers la savane avec de nombreux palmiers en repousses buissonnantes (*Chamaerops richteana*).

Parmi les plantes cultivées et naturalisées en cette région on observe : *Hibiscus cannabinus* entourant les champs de coton et des arbres cultivés au voisinage des villages (*Phoenix dactylifera*, *Musa sapientum*, *Citrus*....), mais aussi des arbres très tropicaux d'introduction ancienne. A Jalalabad on trouve ainsi : *Ficus religiosa*, *Ficus bengalensis*, *Cedrela sp*, *Ceiba sp*, *Dalbergia sisso*, *Ricinus communis*, *Eucalyptus*, *Magnolia grandiflora*.

P. LALANDE (1 968) définit en cette région deux étages subtropicaux très étendus au Pakistan Occidental et qui forment une enclave dans le bassin de la rivière Kabul :

- l'étage à *Dalbergia sisso*, très dégradé par suite de son exploitation forestière et qui ne dépasse pas 1 000 m d'altitude,
- l'étage à *Acacia modesta*, plus rare dans le bassin de Jalalabad, mieux représenté dans la vallée du Kunar.

### 3 - LE RESEAU HYDROGRAPHIQUE

Il est constitué par un axe principal, le fleuve Kabul qui prend naissance dans les massifs au S - O de la capitale dont il traverse la dépression. Après avoir reçu le Logar, il s'engage dans les gorges de Tangi Gharu qui le conduiront par un cours torrentiel à Sarobi, puis à Jalalabad.

Dans la partie intéressant cette étude, il reçoit sur sa rive gauche toute une série de cours d'eau (Molamud Baba Khwar, Warghastalay Khwar, Marwande Khwar, Amber Khwar....), mais surtout deux importantes rivières Laghman et Kunar. Ce dernier fleuve que nous retrouverons dans le Nuristan constitue, pendant une partie de son cours, la frontière avec le Pakistan.

Sur sa rive droite le Kabul recueille les eaux de cours d'eau torrentiels, très intermittents, descendant du Tor Ghar, mais principalement celles du Surkhrod, du Naqi qui drainent une grande partie des écoulements descendant des massifs sédimentaires situés sur la rive droite.

Tous ces cours d'eau, à l'exception des principaux : Kabul, Laghman, Kunar, Surkhrod, Naqi sont à secs une grande partie de l'année et ont des lits le plus souvent caillouteux. Certains d'entre eux présentent au sortir des massifs des cônes de déjection très graveleux, formés surtout de galets empruntés aux conglomérats qui démontrent la puissance des transports au plus fort des crues. Ces cours d'eau secondaires se sont taillés des lits, dans les séries sédimentaires très grossières qui encombrant l'important bassin de Jalalabad, tout en les démantelant.

#### Régimes et débits (Figure 35)

Les renseignements fragmentaires que nous possédons portent sur les débits des fleuves Kabul et Kunar. Pour le premier, ces données sont celles de Tangi Gharu, lieu situé à la sortie de la dépression de Kabul, donc bien avant que cette rivière ait reçu les apports des cours d'eau descendant des massifs localisés

sur sa rive gauche, dont le Penjchir, importante rivière qui le rejoint à Sarobi.

La comparaison des courbes de débit est de ce fait sujet à caution, les débits du Kunar étant plus de dix fois supérieurs à la crue du Kabul à Tangi Gharu. La crue du Kunar se trouve, d'autre part, déplacée vers les mois d'été puisque les précipitations ayant pour origine l'arrivée de la mousson sont importantes sur les massifs du bassin versant de cette rivière encore très arrosés malgré leur éloignement de l'Océan Indien.

Ces chiffres, non comparables, que nous citons cependant à défaut d'autres, dans le tableau ci-après, montrent un débit maximal de :

- 3 379 m<sup>3</sup>/s mensuel en Mai 1 965, année de forte crue, pour le Kabul à Tangi Gharu,
- 46.822 m<sup>3</sup>/s mensuel en Juillet 1 967 et 46.757 (Juin) - 39.966 (Juillet) 1 968, pour le Kunar à Pule Kama.

Les débits maximaux, journaliers, enregistrés pour ces deux rivières ont des rapports sensiblement du même ordre :

- Kabul : 198 m<sup>3</sup>/s le 28.4.1 967,
- Kunar : 1758 m<sup>3</sup>/s le 12.6.1 967,  
: 2150 m<sup>3</sup>/s le 9.7.1 968.

Les débits minimaux constatés sont pour les rivières :

- Kabul : de 0,12 m<sup>3</sup>/s le 13.9.1 966,
- Kunar : de 85,4 m<sup>3</sup>/s le 28.11.1 968.

Ces derniers chiffres (maximaux et minimaux) donnent une idée des variations brutales de débit en fonction des saisons et entre des années à hydraulicité différente.

Ces variations de débit se concrétisent également par des transports solides sans commune mesure, se traduisant par des eaux à coloration très foncée pour le Kunar, légèrement colorées pour le Kabul ; des profils d'équilibre très différents : en cours sinueux et anastomosés du Kabul et du Laghman dans la dépression de Jalalabad où les chenaux courent entre les alluvions souvent fines et en culture, et que l'on traverse à gué ou par de petits ponts ; cours encaissé et très large du Kunar, coulant entre les massifs et dont les rives afghane et pakistanaise ne sont rejointes que par de minces passerelles branlantes, surplombant le lit large de plusieurs centaines de mètres, alors que les parties cultivées se situent ici sur le piedmont, le long de cônes de déjection ou sur les terrasses hautes du fleuve.

### Les eaux (\*)

Nous indiquerons ici la valeur de certaines eaux prélevées soit dans la cuvette de Jalalabad, soit dans le Nuristan (montagne de Kamdech et fleuve Kunar).

#### *Cuvette de Jalalabad*

L'échantillon J 39 est celui d'une eau prélevée à la station de pompage donc identique à celle du lac formé par le Kabul en amont de son barrage. Cette eau appartient à la classe C1 S1 (salinisation et alcalisation faibles). Elle est carbonatée calcique et contient également un peu de Mg et Na (16,6%), de chlorure (13,1%) et sulfate (9,3%).

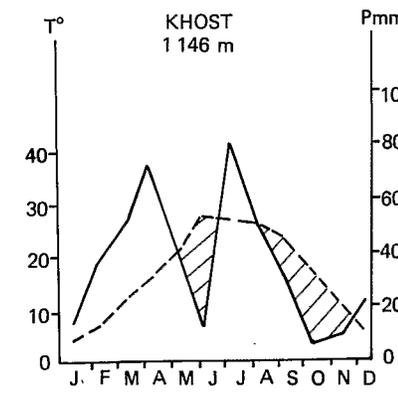
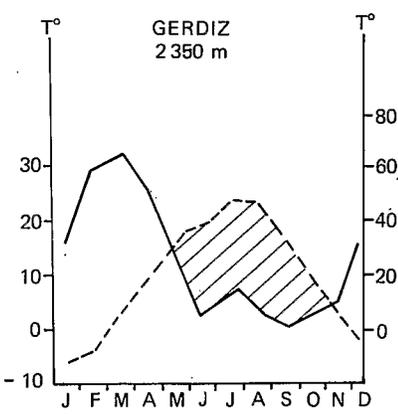
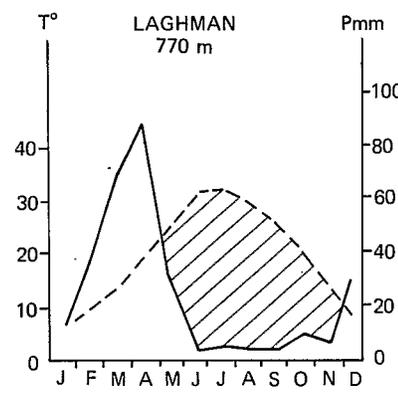
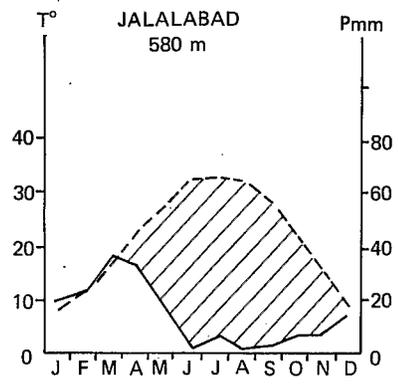
L'échantillon J 37 est celui d'une eau d'un puits profond de 29 m situé au N de Jalalabad. Eau de classe C2 S1 (salinisation moyenne, alcalisation faible), carbonatée (90,35%), calcique (44,4%) et magnésienne (30,9%). Elle contient également du sodium (21,7%).

Le No J 38 est une eau prise dans un canal d'irrigation près du terrain du Service de l'Agriculture. Elle se classe C2 S1 à la limite de C3 S1 (forte salinisation, alcalisation faible). Elle est carbonatée (53,1%), sulfatée (34,6%), calcique (34%), magnésienne (24,3%) et sodique (38,5%).

L'eau No J 40 a été prélevée dans un profil d'une terrasse basse du Kabul, en amont de la ville mais en aval du barrage (profil J 40). Elle se classe C2 S1 et est carbonatée (75%), calcique (40,7%) et magnésienne (36,1%).

Ces quatre eaux ont des pH s'échelonnant entre 7,65 et 7,8.

(\*) Voir Annexes 1-2-3.



--- Température en degré centigrade  
 — Pluviométrie en mm

Kabul à Tangi Gharu  
 Débit en m3/s

Kunar à Pule Kama  
 Débit en m3/s

— 1967  
 +++ 1968

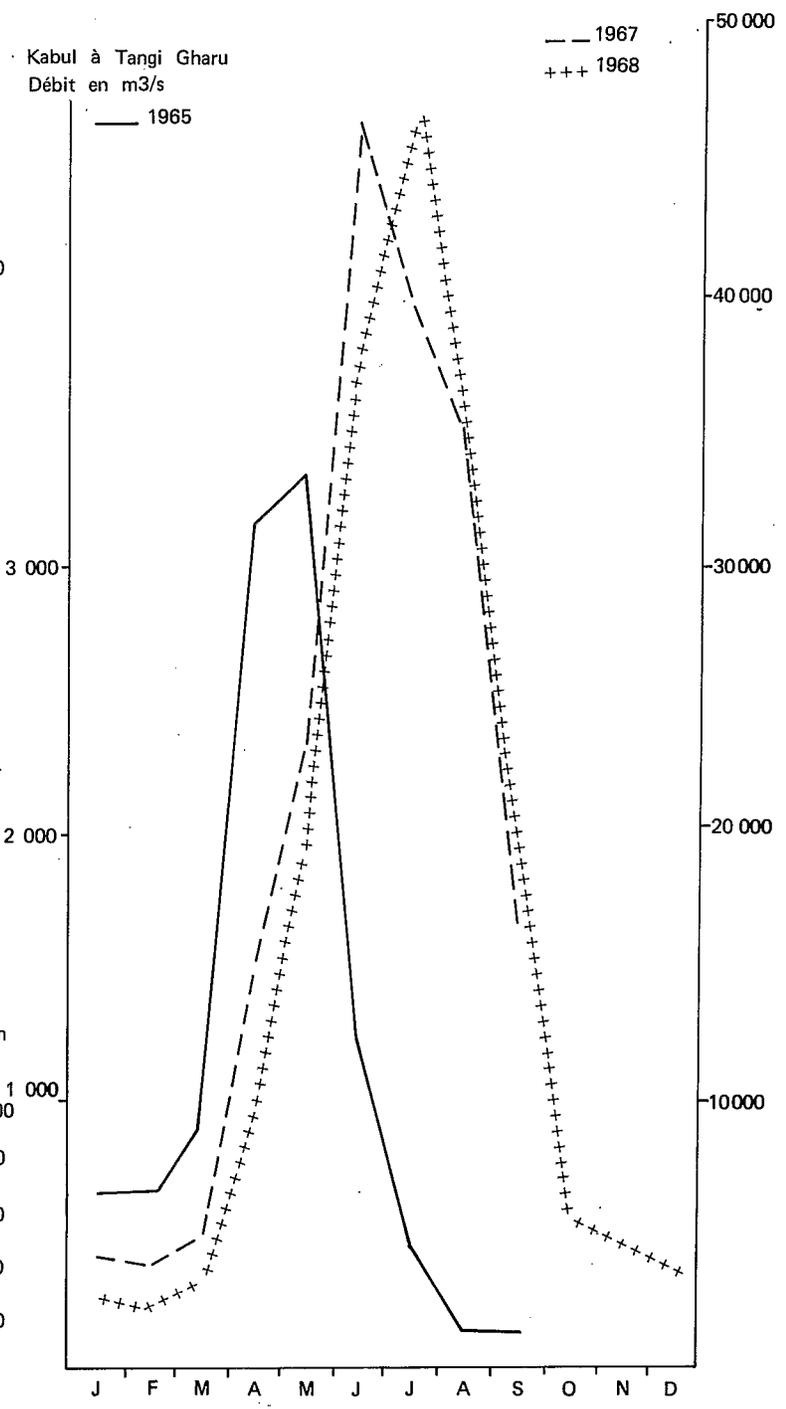


Figure 34 - Graphiques ombro-thermiques

Figure 35 - Courbes de débit mensuel du Kabul et du Kunar.

## *Nuristan*

Ces eaux ont des pH plus acides pour deux d'entre elles prélevées dans le Kunar entre Barikot et Chiga Sarai (N° N 6) et sur la montagne de Kamdech (N° N 4). L'échantillon N 5 est celui d'une eau prise sur cette même montagne, mais vers 2 000 m alors que la première l'avait été au voisinage du sommet (3 200 m).

Ces trois eaux entrent dans la classe C1 S1 et sont carbonatées (86,7 à 97,9%), calciques (81,7 à 92,2%).

## **4 - GEOLOGIE. SEDIMENTOLOGIE (\*) (FIGURES 36-37)**

Sur les deux coupures au 1/50.000 (Jalalabad et Caharbagh), les affleurements rocheux occupent des superficies importantes couvrant environ le tiers de la superficie totale. Il s'agit de gneiss très redressés qui forment les massifs d'Amber, de Kamund et de Tor, sur lesquels viennent s'appuyer, sur des épaisseurs importantes, des séries sédimentaires très diversement grossières qui constituent une partie de la série du Lataband. Ces sédiments ou leurs éboulis occupent la majeure partie de ces deux cartes ainsi que le reste de la feuille au 1/100.000 de Jalalabad, tandis que la série alluviale constituant les terrasses basses des rivières se limite à une étroite bande, large tout au plus de quelques kms, le long des principaux cours d'eau : Kabul, Laghman, Surkhrod.

### **La série du Lataband**

*La rive gauche du Kabul dans la cuvette de Jalalabad et sa vallée en amont de celle-ci.*

La série du Lataband s'élève de plusieurs centaines de mètres au-dessus de la vallée du Kabul. A proximité de la ville de Jalalabad (569 m) on la retrouve ainsi en massifs qui culminent très démantelés au N et N-E de la ville à 892 m, 876 m. On en voit également des vestiges sur tout le pourtour du massif de gneiss à une altitude analogue. Elle constitue d'ailleurs là une haute terrasse aux cours d'eau descendant de la montagne. Cette terrasse disparaît progressivement vers l'aval en laissant des vestiges plus ou moins démantelés. Il s'agit plus exactement d'un glacis-terrasse, très fortement entaillé par une érosion linéaire qui se développe le long de puissants cours d'eau ou par de multiples ravines.

En piedmont des massifs (Amber Ghar, Marwandi Ghar ....) le glacis-terrasse s'incline progressivement de 900 m vers l'E où il est encore relativement peu démantelé et forme un plateau au lieu dit Gamberay. Plus à l'O, et à une altitude identique, les buttes au N de Carbagh (Laghman) sont les témoins de cette ancienne surface que l'on retrouve sur l'autre rive du Kabul s'appuyant au massif de Tor.

La série du Lataband apparaît d'une extrême complexité de par la multiplicité des stratifications plus ou moins fines ou grossières que l'on y observe. Le Kabul et ses affluents ont remblayé anciennement, en cette région, une vaste fosse analogue à celle de Sarobi située à l'O de Jalalabad. La complexité de cet alluvionnement est illustrée par la figure 36 qui donne la coupe d'une partie de ces sédiments dont certains ont fait l'objet d'analyses sédimentologiques.

De telles coupes sont très variables d'un point à un autre. Ainsi le conglomérat peut-il atteindre 3 à 4 m en certains endroits. Très grossier il est lui-même, par places, interstratifié de passées sableuses gris-noir, diversement épaisses (20 à 40 cm).

Les sables gris-noir, plus ou moins cimentés par le calcaire, peuvent présenter occasionnellement de petits nodules d'un diamètre égal ou inférieur à 1 cm mais friables. On peut observer dans la masse sableuse, soit des lignes de galets conglomératiques, soit de fines stratifications de limon argileux ou des noix de ce

\* Voir Annexes 4 et 5.

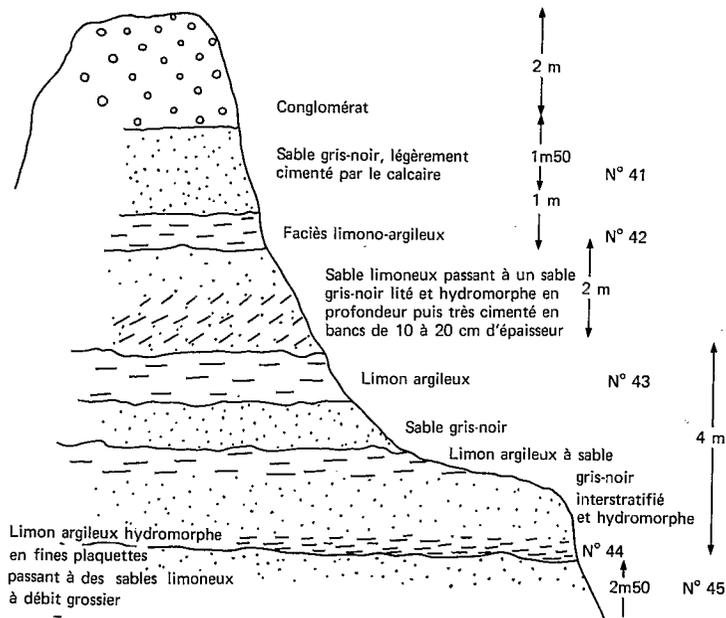


Figure 36 - Coupe d'une butte montrant la multiplicité des stratifications dans la série du Lataband.

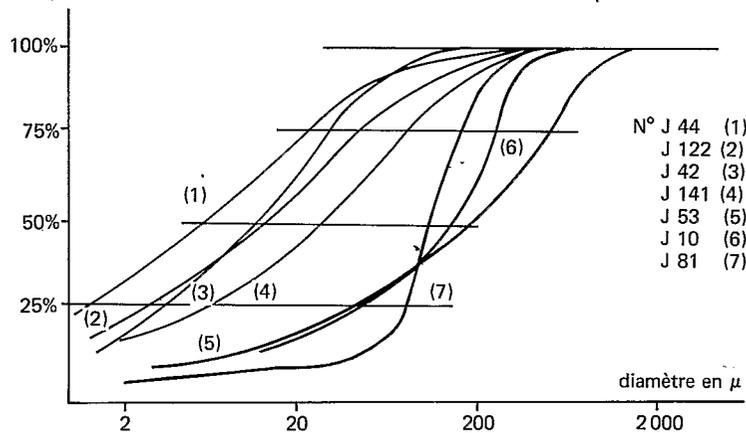


Figure 37 - Courbes cumulatives de divers sédiments de la cuvette de Jalalabad.

même matériau charriées et déposées avec les sables lors de leur mise en place.

Les limons argileux se présentent en polyèdres moyens à grossiers ou sont finement lités et hydromorphes. Le contact sable limon argileux est souvent marqué par une accumulation calcaire blanchâtre plus ou moins importante.

Toutes ces couches paraissent présenter un léger pendage qui les fait se relever en direction S, vers la vallée du Kabul.

La traversée des gorges de Sarobi, plus à l'O dans la vallée du Kabul, montre l'extrême diversité de ces dépôts dominés à la base par un faciès conglomératique auquel succèdent sur plusieurs dizaines de mètres des sables gréseux gris noir, lités de faibles intercalations de limon argileux. L'ensemble se termine par des limons argileux lités, en plaquettes, de plusieurs mètres d'épaisseur, surmontés par un conglomérat souvent à très faible encroûtement calcaire. La partie haute est sensiblement identique à ce que l'on observe sur les buttes témoins de la dépression de Kabul mais l'encroûtement calcaire est ici peu accusé et limité au conglomérat. L'épaisseur de l'ensemble de la série atteint à Sarobi 200 à 300 m.

La remontée des gorges du Kabul, en amont de Sarobi, permet l'observation de 3 terrasses successives de ce fleuve dans les gorges elles-mêmes :

- une terrasse haute surplombant le cours d'une hauteur variable (30...50.m et parfois plus). Elles s'appuie sur les massifs qui bordent la vallée très encaissée et est de nature conglomératique. Il s'agit là d'un glacis-terrasse que le fleuve a entaillé anciennement,
- une terrasse moyenne s'élevant de 5 à 10 m au-dessus du fleuve. Elle est également de nature conglomératique mais souvent interstratifiée de sédiments plus fins,
- une basse terrasse limoneuse et en culture peu au-dessus du niveau du fleuve.

### *La rive droite du Kabul dans la dépression de Jalalabad.*

A l'inverse de ce qui se passe sur la rive gauche, où les formations conglomératiques démantelées sont relativement meubles, non consolidées par des phénomènes d'encroûtement calcaire et donnent des buttes aux formes arrondies, sur la rive droite, les mêmes formations sédimentaires s'observent en surfaces relativement planes. Ici le matériau grossier épandu en nappe a subi, postérieurement à sa mise en place, un encroûtement important.

Ces ensembles conglomératiques culminent, comme sur l'autre rive à des altitudes identiques (905-927 m Loya Pusta, 812 m Garnaw Ghar). Ils s'abaissent tous en direction N ou N-N-E et sont à des hauteurs moindres d'O en E. Ainsi près d'Ada ils dominent la dépression d'une dizaine de mètres seulement.

On distingue 3 paliers successifs de ces encroûtements conglomératiques au S de la rivière Surkhrod, chacun d'eux étant séparé du suivant par une rupture de pente qu'entaillent par de petites gorges les rivières qui recoupent les différentes surfaces. Cette succession de reliefs fait penser à un fossé d'effondrement du genre graben qu'emprunterait l'actuelle rivière Surkhrod.

Dans toute cette région de la rive droite du Kabul l'érosion, peut-être à la faveur d'un système complexe de failles, met à jour des formations sableuses et limoneuses sous-jacentes au conglomérat. Ce sont elles que l'on voit affleurer : soit dans la falaise abrupte au S de Jalalabad ; soit dans un relief peu accusé comme au S d'Ada où le faciès limono-sableux prend une large place.

Les encroûtements calcaires ont non seulement affecté les conglomérats en cette région, mais également des dépôts limoneux, limono-caillouteux. Il n'est pas rare de voir dans la coupe de buttes témoins la succession suivante du sommet vers la base :

- un conglomérat sommital plus ou moins démantelé et cimenté par le calcaire (1),
- un cailloutis bréchiq ue également plus ou moins encroûté (2),
- un limon à encroûtement calcaire (3),
- un important conglomérat très fortement encroûté (4).

La datation par le carbone 14 de ces deux derniers encroûtements a donné pour âge respectif :

- (3) 14.330 ± 170 ans BP (Echantillon J 220),
- (4) 31.450 ± 1200 ans BP (Echantillon J 230).

Il est possible de penser que le plus ancien encroûtement de 31.450 ans BP qui affecte les conglomérats a fossilisé le relief du fossé d'effondrement créé par la succession de failles. Ceci tendrait à montrer la relative jeunesse de cette tectonique.

Les conglomérats paraissent, comme en d'autres régions, d'origine fluvio-glaciaire et proviendraient principalement du démantèlement des moraines des parties hautes des bassins lors des dernières débâcles post-glaciaires. Sur cette rive le calcaire semble provenir : soit des lointains massifs du Safed Koh, soit plus vraisemblablement des limons argileux calcaires (loess) qui lui forment un vaste piedmont démantelé.

L'absence d'encroûtement sur la rive gauche du Kabul paraît liée d'une part à l'altitude élevée des massifs très proches qui favorise une érosion intense, d'autre part à la nature des roches granito-gneissiques formant ceux-ci.

### *Examen sédimentologique*

Il se limitera ici devant l'abondance des faciès de cette série, à quelques exemples de sédiments sableux et de dépôts limono-argileux ou argiles limoneuses s'y interstratifiant. Nous avons exclu de cette étude les formations conglomératiques toujours très grossières, aux galets atteignant fréquemment 5-10 cm de diamètre et dont le sable interstitiel gris-noir a la même coloration que celle des grès cimentés et des sables donnés ci-après et appelés par différents auteurs (G. MENNESSIER 1968) « Formations poivre et sel ».

Les échantillons suivants ont été prélevés, soit sur la butte témoin de la figure précédente, soit dans des formations très voisines.

La médiane de 3 de ces échantillons sableux, pris en affleurement, varie entre 135 et 180  $\mu$ . Ces sédiments sont mal triés (Q d  $\varphi$  : 1,10 à 1,35. Hétérométrie : 0,48 à 0,72) avec une partie inférieure à 2  $\mu$  comprise entre 10 et 15%. Les courbes cumulatives sont plus ou moins sinueuses dans la fraction inférieure à 50-100  $\mu$ , bi-modales ou pluri-modales, plus redressées ensuite. Il semble que l'on ait à faire à des sédiments fluviatiles ayant déjà subi un certain triage sous l'influence de courants plus ou moins violents et non pas à une arène ou à un sédiment ruisselé. Les différentes valeurs des médianes et des indices paraissent montrer des variations relativement faibles de ces courants avec cependant de forts accroissements (bancs conglomératiques s'interstratifiant dans les sables) ou des phases marécageuses marquées par des dépôts d'argiles limoneuses dont l'origine peut être aussi recherchée dans des apports éoliens (loess) se sédimentant en des marécages pendant des interruptions de débit. Ceci paraît être notamment le cas pour les dépôts de la partie supérieure de la coupe de Sarobi qui présentent une courbe sédimentologique s'apparentant à celle des loess ainsi qu'une fraction minéraux lourds analogue. A l'inverse les courbes des échantillons J 42 et J 44, à faciès parabolique, à médiane très basse (5,5 et 10,5  $\mu$ ), montrent que ces sédiments se seraient déposés par décantation en des milieux lacustres.

Les sables des formations de coloration «poivre et sel» plus ou moins accusée (10 YR 5,5-6,5/1) ressemblent très fortement à des sables d'arène de gneiss avec :

- une proportion de micas souvent abondante (biotite dominante et muscovite : 10 à 30%). Cette biotite est partiellement responsable de la pigmentation foncée des sédiments,
- des feldspaths nombreux (30 à 40%),
- des débris de roches.

Les quartz également abondants que l'on y observe sont de type anguleux et n'ont pas subi d'évolution notable.

La fraction sableuse des échantillons les plus argileux (J 42 - J 44), dans la mesure où elle peut être étudiée, car beaucoup moins abondante, est analogue.

L'examen de la fraction minéraux lourds révèle de forts pourcentages :

- pour les sédiments sableux : 3,35 à 11,75%,
- pour les argiles limoneuses : 1,35 et 3,5%,

avec dominance dans les sédiments sableux de hornblende (33 à 47%), d'épidote (20 à 27%), de grenat (17 à 20%), de staurotide (2 à 10%), de sillimanite (2 à 5%) et de zircon, tourmaline, augite, andalousite en moindre quantité.

Dans les argiles limoneuses, la dominance revient à l'épidote (38 à 67%) avec de la hornblende (11 à 18%), du grenat (10 à 18%), de la staurotide (1 à 12%), de la sillimanite (2 à 5%), du zircon (4%), de la tourmaline .....

L'échantillon de limon argileux prélevé sous le conglomérat à Sarobi, près du sommet de la falaise, présente un faible pourcentage de minéraux lourds (0,65%) avec dominance de hornblende (42% dont 20% d'origine volcanique), d'épidote (27%), de grenat (20%), d'augite (8%). La présence de hornblende volcanique et d'augite montre donc d'une façon quasi certaine l'origine éolienne des dépôts qui se seraient stratifiés en des lacs ou des marécages temporaires.

La fraction argileuse des échantillons d'argile limoneuse (J 42 et J 44) examinée au RX, est composée par ordre d'importance par de l'illite, de la montmorillonite et de la chlorite.

## Les formations dérivées de la série du Lataband et des massifs de gneiss

Nous venons de voir que la majorité des formations de la série du Lataband proviennent de l'altération ou, plus exactement, de la fragmentation des gneiss qui composent la majeure partie des roches affleurant sur le pourtour du bassin de Jalalabad.

Ces formations ont été elles-mêmes reprises par l'érosion et sont venues se sédimenter dans les dépressions où elles peuvent prendre des aspects et des compositions très divers en fonction de mélanges de stocks sédimentaires d'origine différente. Ainsi le cailloutis conglomératique, non cimenté, aux galets roulés très grossiers, présentant peu de sable interstitiel gris-noir, observé aux pieds des massifs en bordure de la

dépression alluviale du Surkhrod et sur la rive droite du Kabul au voisinage de Jalalabad, tire son origine du démantèlement des formations de conglomérat s'appuyant aux massifs et doit avoir subi un transport récent relativement faible au vu du diamètre des composants.

A l'inverse, les sols des dépressions alluviales des rivières Kabul, Laghman, Surkhrod sont limoneux ou limono-argileux dans la plupart des cas, parfois limono-sableux, et ne présentent jamais ou faiblement de fraction grossière supérieure à 2 mm.

Il est souvent difficile de définir les mélanges sédimentaires, plus encore si l'on sait que la couverture de loess, apparemment absente en cette région par suite de la très forte érosion, se retrouve en des régions plus ou moins éloignées (Nuristan, Paktia, ainsi qu'à Sarobi comme nous l'avons vu). De la même façon que dans le bassin du Logar on peut supposer que son dégagement a contribué à l'alimentation en sédiments fins des parties basses. D'autre part, des phénomènes d'érosion éolienne sont fréquents sur ces sols sableux, sablo-limoneux lorsqu'ils sont dépourvus de végétation. Ils ont pour conséquence le départ de sédiments fins que l'on retrouve à des distances variables (quelques kms plus loin en direction E) en petites dunes que la végétation d'une dépression a fixées, ou sous forme d'accolements sableux plaqués sur les parois d'un massif. Mais on n'assiste jamais en ces régions à des déplacements aussi importants que ceux observés dans les régions de Kandahar ou du Séistan. Dans la dépression de Jalalabad ces déplacements paraissent toujours limités à des vallées d'orientation O-E. Des échantillons de 3 profils prélevés au N de Jalalabad, dans la dépression située aux pieds des massifs (Samal Ghar, Wac Khak Ghar au S-E de la feuille de Caharbagh) illustrent un tel exemple de transport éolien en même temps qu'ils nous indiquent la composition de ces petites plaines alluviales souvent très diverses de par leur texture :

Profil J 5 : sédiment épandu le long d'un cours d'eau temporaire qui prend sa source sur le plateau constitué de sédiments multiples et stratifiés de la série du Lataband, principalement conglomérats et sables identiques aux échantillons J 10 - J 20 - J 41 avec de petites intercalations d'argile limoneuse,

Profil J 6 : sédiment identique voisin soumis à la déflation éolienne,

Profil J 8 : accumulation éolienne sous forme de buttes moutonnantes dans la cuvette bordant le Kunar sur sa rive droite.

L'examen de l'annexe sédimentologique 4 montre pour les sédiments du profil J 5 une médiane fortement croissante à partir de 60 cm (86 et 32  $\mu$  entre 0 et 60 cm pour 210 et 130  $\mu$  en profondeur). La grossièreté du sédiment est très diverse, les courbes cumulatives très étalées sur l'axe des abscisses (Q d  $\varphi$  : 1,80 à 2,10. Hétérométrie : 1,10 à 1,80). Les échantillons du profil J 6 subissant la déflation montrent un enrichissement relatif en matériau grossier (médiane 260-290  $\mu$  si l'on s'en tient aux deux horizons de surface). Le triage est nettement meilleur avec des courbes déjà plus redressées (Q d  $\varphi$  : 0,65 et 0,70. Hétérométrie : 0,55 et 0,60). Les échantillons de l'accumulation sableuse éolienne (Profil J 8) montrent un sédiment relativement fin (médiane 110 et 133  $\mu$ ), moins cependant que les échantillons J 51 - J 52. Les courbes cumulatives sont encore plus redressées et le triage meilleur que dans le profil J 6 (Q de  $\varphi$  : 0,55. Hétérométrie : 0,50 et 0,52).

Les sables du profil J 5 sont constitués de feldspaths (30 à 45%), de micas noirs (10% en surface, moins en profondeur) et de quartz anguleux. Les sables du profil J 6 présentent d'abondants débris de roches (gneiss) et sont identiques à ceux du profil précédent pour les quartz, les feldspaths et les micas. Les sables du profil J 8 contiennent d'abondants micas noirs et quartz, une plus faible proportion de feldspaths.

La fraction minéraux lourds du profil J 5 varie entre 1,9 et 5% (épidote 14 à 30%, hornblende 9 à 19%, sillimanite 9 à 13%, grenat 19 à 48%, tourmaline 9 à 19%, staurotide 1 à 3%). Les minéraux lourds du profil J 6 sont marqués par une forte augmentation des teneurs pondérales (9 à 17,3%) et des variations dans la composition (hornblende 26 à 43%, épidote 20 à 38%, grenat 22 à 28%, staurotide 5 à 9%, sillimanite 2 à 6%, tourmaline+ à 4%).

Les teneurs pondérales en minéraux lourds du profil J 8 sont voisines de celles du profil J 5 (2,47 et 3,31%) mais la composition est différente (hornblende 31-37%, épidote 22-28%, grenat 16-19%, sillimanite 4-7%, tourmaline 6-8%, staurotide 3%).

On remarquera les concentrations en hornblende dans les échantillons J 6 et J 8, de staurotide dans les échantillons J 6, les teneurs relativement constantes en grenat et épidote, la diminution de sillimanite, minéral assez abondant en J 5 et moins abondant dans les profils J 6 et J 8. Nous signalerons que les loess

trouvés au Nuristan présentent ce minéral en assez grande abondance ce qui pourrait laisser supposer un vannage relativement ancien des séries sédimentaires dérivées des gneiss (séries du Lataband ou plus récentes).

En résumé l'observation des échantillons des profils J 5, 6 et 8 montre des sédiments non ou peu évolués ayant donc subi de faibles transports par les eaux dans un premier cas (mise en place dans les dépressions), puis par le vent sans que l'impact de ces deux éléments soit visible.

Un autre exemple (Profil J 9) de ces formations sédimentaires de piedmont sera celui observé au S de la butte d'Ada (S-E de la feuille 1/50.000 de Jalalabad), au voisinage des formations conglomératiques à encroûtement calcaire. Des dépôts limono-sableux, limoneux reposent en cet endroit sur un sable grossier à petit cailloutis débutant vers 200 cm. Le profil est assez voisin de la partie supérieure du profil J 5 précédent. La grossièreté du sédiment est faible (médiane 38 à 81  $\mu$ ), les courbes très étalées sur l'axe des abscisses ( $Q d \varphi$  : 1,25 à 2,55. Hétérométrie : 0,88 à 1,90) à faciès hyperbolique dominant. Les teneurs en argiles croissent de la surface vers la profondeur dans les trois premiers horizons (10,5 à 21,5%) en même temps que les taux de Ca CO<sub>3</sub> total (6,3 à 18,8%). La composition en minéraux lourds est peu différente de celle des échantillons des profils J 5-6-8. Il y a dominance de hornblende (39-43%) et d'épidote (30-32%) avec du grenat (11%), de la sillimanite (8-10%), de la staurotite (5-8%). Malgré une pédogénèse déjà bien accusée dans le cas de ce profil (lessivage en argile et en Ca CO<sub>3</sub>), il y a peu de différence de ce sédiment avec les précédents. On remarquera, ici encore, la teneur pondérale élevée qui s'explique par la proximité des massifs et le faible transport. L'examen des sables montre une composition toujours analogue (quartz anguleux, feldspaths, micas).

Les argiles de ces divers sédiments sont par ordre d'importance :

- dans l'échantillon J 53 : de l'illite, un peu de chlorite et des traces de montmorillonite,
- dans l'échantillon J 93 : de l'illite, de la chlorite, de la montmorillonite.

On observe également les pics de la calcite dans les échantillons J 53 et 93 et ceux de la dolomie dans le J 93.

## Les sédiments alluviaux des rivières Surkhrod, Laghman et Kabul

Il s'agit généralement de sédiments à faciès limono-argileux, limoneux, plus rarement limono-sableux (Profils J 12 - J 14 - J 16).

Les courbes cumulatives sont très aplaties, légèrement hyperboliques entre 2 et 200  $\mu$ . La médiane est faible 12 à 72  $\mu$ . Les indices élevés indiquent des sédiments mal triés ( $Q d \varphi$  : 1,62 à 2,15 Hétérométrie : 1,15 à 1,90). Ces valeurs qui pourraient être rapprochées de celles des exemples précédents (Profils J 5 - J 9) en sont très différentes par une sédimentation relativement homogène, ce qui n'est pas le cas du profil J 5, une absence de gradient d'argile et de Ca CO<sub>3</sub> total comme dans le cas du profil J 9.

L'examen des minéraux lourds apporte peu de renseignements nouveaux. La composition est sensiblement toujours identique. La dominance de la hornblende est plus forte (48-55%), l'épidote est constante (33 à 39%). S'il y a encore de la sillimanite (4 à 9%), staurotite et grenat ont fortement baissé. Il n'a pas été observé de hornblende de type volcanique comme dans l'échantillon du Lataband.

L'examen des sables montre des quartz anguleux, des feldspaths, des micas mais en quantité moindre que dans les exemples précédents.

L'examen aux RX de la fraction argileuse d'un de ces sédiments donne par ordre de dominance de l'illite, de la chlorite, un peu de montmorillonite. On observe également les pics de calcite et plus faiblement ceux de dolomie.

## 5 - LES SOLS

Nous nous bornerons ici à rappeler certaines des caractéristiques générales données précédemment pour les sols du Logar et de la région de Kandahar en insistant seulement sur de nouveaux sols ou des variantes observées en cette région.

### 5.1 SOLS MINÉRAUX BRUTS NON CLIMATIQUES

#### 5.1.1 D'érosion

##### Lithosols

On les observe :

- soit en surface accidentée sur le pourtour N de la cuvette où ils constituent des massifs alimentant la dépression de leurs produits d'érosion. Il s'agit essentiellement de sols sur granito-gneiss qui constituent également le massif de Tor,
- soit sur la feuille de Jalalabad au 1/50.000. Ils forment là une surface relativement plane s'inclinant vers le N - E. On a à faire à des sols sur conglomérat à encroûtement calcaire. Celui-ci paraît se limiter principalement au S de la feuille et constitue encore des buttes témoins avancées, mais très démantelées, dans la dépression elle-même comme au S de Jalalabad et dans la région d'Ada (Cf. Sols à différenciation calcaire : profils J 7 - J 19 - J 21).

##### Regosols

Ce sont les produits anciens d'érosion des séries sédimentaires du Lataband qui forment ici la roche mère. Ces séries très variables granulométriquement en coupe (alternance de sables ou grès «poivre et sel» avec litages de sédiment argilo-limoneux et faciès conglomératique plus ou moins épais) ne laissent sur places après érosion que les produits les plus grossiers, les galets conglomératiques qui forment fréquemment le pavage des éboulis ou des épandages de piedmont.

En fonction de l'érosion et de l'intensité de celle-ci, nous avons distingué :

- les affleurements de grès et de conglomérats en étendue relativement plane représentant l'ancienne surface peu démantelée mais marquée par de multiples ravines d'érosion correspondant aux lits des cours d'eau. On observe cette surface au débouché des massifs où elle forme une ancienne terrasse. Il s'agit en fait du vieux glacis-terrasse qui peut se prolonger, plus ou moins bien conservé, comme au lieu dit «Gamberay». Ce glacis-terrasse qui s'abaisse vers la dépression du Kabul se retrouve près de celle-ci en buttes témoins plus ou moins étendues comme au N de Carbagh,
- l'ancienne surface, mais alors profondément ravinée et en voie de démantèlement. Elle donne, par suite de la nature du matériau très grossier qui la compose un relief aux formes souvent molles. C'est celui que l'on voit au N de Jalalabad et qui forme également des points hauts dans tout le S de cette même feuille où le faciès précédent et celui-ci sont difficiles à dissocier,
- une surface très démantelée, souvent en contrebas d'une rupture de pente.

Ces trois faciès sont le domaine de sols très graveleux au relief souvent tourmenté qui ne portent aucun village ou culture et dont les possibilités agricoles sont pratiquement nulles.

## 5.1.2 D'apport

### Alluvial

On distingue 3 faciès en fonction de la texture :

1 - La surface ancienne, constituée par les séries du Lataband, a presque entièrement disparue. De profondes ravines d'érosion marquent d'importantes arrivées d'eau. Il n'y a pas de cônes de déjection proprement dit. Si l'ensemble est encore très graveleux, les apports les plus grossiers se limitent aux cours d'eau.

L'épandage des sédiments dans les deux cas suivants se limite à une étroite bande formant le lit des cours d'eau.

2 - Les sols sur alluvions graveleuses de rivières temporaires s'observent principalement sur la rive droite du fleuve Kabul, dans tous les lits et sur les berges des rivières temporaires, très nombreuses, descendant des formations du Lataband. La sédimentation n'a pas la même homogénéité granulométrique que celle observée pour les rivières issues des conglomérats du N de la ville de Jalalabad et est généralement relativement moins grossière.

3 - Les sols sur alluvions plus ou moins fines et diverses des grands cours d'eau (Laghman, Kabul, Surkhrod) sont très variables en texture et le plus souvent interstratifiés. Celle-ci peut varier dans le temps en fonction d'apport annuel de crue et des déplacements continuels que peuvent subir les chenaux secondaires de ces rivières.

### Colluvial

1 - L'ancienne surface plus ou moins démantelée de la série du Lataband se raccordant aux massifs de gneiss a été recouverte par des apports grossiers récents qui se marquent par de petits cônes de déjection de rivières à alimentation faible à moyenne. Ces sols sont surtout visibles sur la feuille de Caharbagh au 1/50.000, au N de Carbagh et de Gamberay.

2 - Les sols constituent ici principalement des lits de cours d'eau prenant leur alimentation dans des conglomérats dominants et se terminant par de petits cônes de déjection en galets conglomératiques emboîtés les uns dans les autres (N de Jalalabad). Ils sont assez voisins de ceux observés en un large épandage au N d'Ada.

### Eolien

Les ensembles éoliens et les sols qui les composent se trouvent à proximité de Jalalabad, au S de cette ville, entre celle-ci et le rebord de l'éperon que forment les buttes témoins avancées de la série du Lataband. On les voit surtout dans l'extrémité E de la dépression de Gamberay, au N de Jalalabad. Ils sont constitués par des accumulations de sables fins s'accolant aux éboulis de conglomérat ou ennoyant une partie de la cuvette qui borde le fleuve Kunar vers l'E. Ils sont retenus là par une végétation arbustive relativement plus dense.

Ces sables qui proviennent de la déflation des sédiments de la dépression de Gamberay (Profil J 8) sont fins (70-75% d'éléments de 50 à 200  $\mu$  pour 14 à 22% de sable grossier). Les fractions limoneuse et argileuse sont faibles. Ils contiennent peu de Ca CO<sub>3</sub> total (1,5 à 1,7%) et ont un pH alcalin (8,6). Les autres valeurs (bases échangeables, P205, Carbone, Azote) sont comparativement voisines des profils J 5 et J 6 dont ils dérivent (Cf. sols peu évolués d'apport).

La fraction argileuse de l'échantillon J 82 est constituée d'illite dominante et de chlorite. Elle est sensiblement identique à celle de l'échantillon J 53.

## 5.2 SOLS PEU EVOLUES NON CLIMATIQUES (\*)

Sols à profil AC avec A plus ou moins facilement discernable.

### 5.2.1 D'érosion, lithiques

#### Sols sur éboulis de gneiss

Ils sont visibles surtout sur le versant S du Tor Ghar où les séries sédimentaires du Lataband ont été mieux dégagées que sur le versant N. Il s'agit de sols très graveleux subissant encore des dépôts importants d'éléments fins pendant la période pluvieuse.

### 5.2.2 D'apport

#### Sols sur matériau conglomératique meuble

S'il est souvent difficile de dissocier les sols minéraux bruts d'apport alluvial et colluvial en fonction de la pente et de leur position dans le profil d'équilibre du cours d'eau, de la même façon il est aussi malaisé de séparer les sols minéraux bruts des sols peu évolués, ceci par suite de l'abondance fréquente, dès la surface, des galets de conglomérat.

Le profil J 10 prélevé au SE de Jalalabad fait partie d'un périmètre de mise en exploitation par irrigation. Il a été prélevé dans un champ labouré dont les galets superficiels avaient été préalablement retirés laissant une épaisseur de sol limono-sableux de 10 à 15 cm, gris, lamellaire, assez compact à structure légèrement polyédrique moyenne. En dessous de cet horizon se retrouve un conglomérat aux galets de 1 à 10-15 cm (moyenne 3 à 5 cm), à terre interstitielle gris-noir très peu abondante (5 à 10% en volume), sableuse, sablo-limoneuse, compacte à cohésion moyenne à faible sur une dizaine de cm, faiblement polyédrique puis particulière en dessous.

Un fossé d'irrigation voisin laisse voir sur 4 m un conglomérat identique, non consolidé.

L'analyse granulométrique donne :

— pour l'horizon supérieur une dominance de limons fin et grossier (23 et 21,1%) et de sable fin (31,1%) pour 12% d'argile,

— pour la terre interstitielle des horizons inférieurs une composition en limon et sable variable pour moins d'argile que précédemment (Lf % : 9-5. Lg % : 11,1-56,3. Sf % : 34,5-14,1. Sg % : 37,6-21,3. A % : 7-3).

Ce sol contient une fraction de Ca CO<sub>3</sub> total décroissante, comprise entre 7,5 et 5,1% pour 40 et 10 ‰ de calcaire actif.

Les teneurs en carbone et azote sont très faibles (C : 1,7-1,8 ‰. N : 0,18-0,16 ‰. C/N : 9,7-11,4).

Les pH sont alcalins (8,7 à 9).

Dans un complexe saturé par Ca, il y a décroissance des valeurs des différents cations de la surface vers la profondeur :

— Mg : 2,56 à 0,98 me%,

— K : 0,55 à 0,10 me%.

(\*) Voir Annexes 6 et 7.

Le sodium est très abondant dans l'horizon de surface où les sels solubles sont en quantités importantes (7,22 me% de Na sous forme de chlorure et de sulfate : 1,97 et 8,02 me% (1). La conductivité de l'extrait de saturation est élevée dans cet horizon (20,5 mmhos/cm).

Le sodium est moins abondant dans les horizons sous-jacents (1,34 et 0,20 me%).

Ce profil J 10 apparaît donc comme celui d'un sol peu évolué avec une tendance sodique accusée, due aux phénomènes de remontée, conséquences des irrigations subies.

### Sols sur limon caillouteux

Ces sols forment une auréole à la périphérie de la plaine alluviale du Surkhrod et du Kabul, en contrebas des grès et conglomérats encroûtés ou non qui constituent la partie S de la feuille 1/50.000 de Jalalabad.

Les apports, tout en étant beaucoup moins grossiers que ceux des précédents sols le sont encore, tout en demeurant très variables en profondeur. Une couverture graveleuse faite d'éléments tirés des grès et des conglomérats est encore importante.

Le profil J 17 prélevé près de la station de pompage est sablo-caillouteux, meuble et de couleur brun-jaune. L'horizon A est peu différencié. Outre la part importante de la fraction supérieure à 2 mm, on notera la forte proportion de sable grossier (51-57%) et de sable fin (22-28%). Les teneurs en carbone (1,8-1,20 ‰) et azote (0,143-0,113 ‰) sont faibles.

Les taux de Ca CO<sub>3</sub> total sont plus élevés que dans le profil J 10 et décroissent en profondeur (15,9-11,1%) ainsi que ceux de calcaire actif (20-15 ‰).

Parmi les éléments échangeables :

- Mg croît légèrement avec la profondeur (0,82 à 1,23 me%),
- K est constant (0,28-0,27 me%),
- Na est faible (0,13-0,20 me%).

Les teneurs en P<sub>205</sub> total de l'horizon de surface sont nettement inférieures à 1 ‰ (0,65 pour 46 ppm d'assimilable).

Ces sols avec les précédents portent les cultures irriguées classiques ainsi que de jeunes plantations d'agrumes dans le périmètre de mise en valeur. Elles occupent des surfaces importantes dans la partie E de celui-ci.

### Sols sur sable ou sable limoneux relativement peu caillouteux ou par interstratifications

On les observe principalement en deux plaines qui se situent sur la feuille 1/50.000 de Caharbagh. L'une se trouve immédiatement à l'E de Carbagh, l'autre à l'E de Gamberay. Les sédiments qui les composent dérivent des apports des massifs de gneiss et des formations diverses de la série du Lataband limitées à la fraction la moins grossière de ces sédiments.

Le profil de type AC présente les horizons suivants :

- A11 : épais de quelques cm. Lamellaire. Friable. Compacité et cohésion faibles. Brun-clair ou gris-blanc,
- A12 : épaisseur variable (40 à 60 cm). Texture limono-sableuse ou sableuse. Structure fondue à tendance polyédrique. Compacité et cohésion faibles. Gris-brun ou gris-blanc,

(1) Sels solubles de l'extrait au 1/2. La reconstitution de la composition en sels dans ce même extrait donne par la méthode BAZILEVICH les résultats suivants :

(CO<sub>3</sub>H)<sub>2</sub> Ca : 0,17. SO<sub>4</sub> Ca : 1,65. SO<sub>4</sub> (Na-Mg) : 6,37. Cl (Na-Mg) : 1,97 me%. Toxicité : 3,24.

C : peu différenciable par la couleur. Identique en texture avec, occasionnellement, des passages plus graveleux mais à structure à nette tendance particulière (1).

Les profils J 5 et J 6 ont été prélevés dans la dépression orientée O-E de Gamberay. D'O en E le matériau limono-sableux dans les horizons supérieurs du profil J 5 (0 à 60 cm : limon fin : 10-20%, limon grossier : 13-20%) devient plus sableux dans le profil J 6 (0-40 cm : limon fin : 0,5-2%, limon grossier : 1,4-2,5%) en même temps que diminuent les sables fins et qu'augmentent fortement les sables grossiers. Comme nous l'avons dit précédemment ce changement de texture est dû à la déflation éolienne et le matériau enlevé se retrouve sous forme d'amoncellement finement sableux dans la partie E de la dépression (Profil J 8).

Les taux d'argile sont faibles dans ces deux profils et sans signification. Ceux de Ca CO<sub>3</sub> total sont plus élevés dans le profil J 5 (3 à 7,2% pour 20 à 50 ‰ de calcaire actif) que dans le profil J 6 (1,7 à 2,6% pour 5 ‰ de calcaire actif) mais aucun gradient ne paraît se dégager bien nettement.

Les pH sont compris entre 8,5 et 8,8 (Profil J 5) et 8,9 et 9 (Profil J 6).

Les teneurs en carbone et azote sont faibles principalement dans le profil J 6 soumis à la déflation (carbone : 1,35-1,40 ‰, azote : 0,08-0,073 ‰, C/N : 16,9 et 19,2). Dans le profil J 5 elles sont nettement plus élevées (carbone : 3,08-4,15 ‰, azote : 0,240-0,266 ‰, C/N : 12,8-15,6).

Dans ces sols sableux saturés en ions Ca, les teneurs en Mg échangeable sont souvent inférieures à 1 me% (1,31 à 0,32 me%), celles de K faibles (0,37 à 0,07 me%). Na a en général des valeurs inférieures à 0,1 me%.

Les chiffres de P<sub>205</sub> total sont supérieurs à 1 ‰ dans le profil J 5 (1,10 à 1,43 ‰ pour 103 à 65 ppm d'assimilable), plus faibles dans le profil J 6 (0,720 à 0,850 ‰ pour 40 à 80 ppm d'assimilable).

Par manque d'eau d'irrigation ces terres, d'une valeur modeste, sont généralement incultes. Elles portent cependant quelques cultures de melon près du profil J 6 où un paillage favorise la conservation d'une certaine humidité que l'on observe entre 15 et 40 cm sous l'horizon lamellaire supérieur plus grossier en texture qui doit ainsi couper la remontée capillaire.

Ces dépressions portent un couvert très discontinu de graminées dressées (*Panicum*), ou rampantes dont l'enracinement est surtout marqué dans les 5 premiers cm, tandis que quelques racines s'observent encore à 20 cm.

La coloration brun, brun-clair uniforme de ces sols nous avait fait penser tout d'abord à en faire des intergrades vers des sols à différenciation calcaire peu marquée, proches de siérozems ou de sols bruns subarides. En fait, cette coloration ne présente pas le dégradé progressif que l'on trouve en ces sols. Celui-ci peut fort bien se trouver masqué par la coloration initiale du sédiment, gris à gris-noir, due à la présence de biotite. D'autre part le gradient calcaire est très incertain dans ces sols.

La fraction argileuse est constituée dans l'échantillon J 53 d'illite dominante, d'un peu de chlorite et de traces de montmorillonite.

### Sols sur limon argileux

Ces sols constituent les terrasses cultivées par irrigation du Kabul, du Laghman, du Surkhrod. Larges souvent de plusieurs km, au milieu de celles-ci circulent :

- en amont du barrage des canaux d'irrigation dont les eaux sont prises au Kabul plus en amont ou proviennent des massifs limitant la plaine au N (Région de Carbagh). Dans cette partie le barrage a eu pour effet de relever le plan d'eau de la nappe et celle-ci est souvent très près de la surface du sol. L'irrigation peut alors se faire par puisage et les cultures suivre le retrait des eaux du lac en période sèche,
- en aval du barrage des eaux amenées sur la terrasse supérieure par une station de pompage. Elles servent à l'irrigation, en plus des sols limono-argileux, des sols sur matériau conglomératique meuble et des sols sur limon caillouteux interstratifié.

(1) La coloration est gris-brun plus ou moins clair (10 YR 5,5/2-6/2,5) à brun en profondeur (10 YR 5/3) dans le profil J 5. «Poivre et sel» plus ou moins clair en fonction de la densité des points blancs ou clairs (feldspaths ou quartz) (10 YR 6/1-6,5/1. Profil J 6)

Dans le premier cas surtout, la faible profondeur de la nappe détermine des phénomènes d'hydromorphie et parfois une faible salure de l'horizon superficiel.

Ces sols à profil A C sont de couleur gris à gris-brun (10 YR 5/2-5,5/2-6/2), à structure fondue et débit polyédrique souvent plus marquée à faible profondeur, à compacité et cohésion assez fortes. Dans le cas de nappe proche de la surface on observe des marbrures rouille qui se détachent sur un fond plus brun dû à l'humidité qui affecte l'ensemble du profil.

L'examen des résultats granulométriques des profils montre :

– une répartition variable des taux d'argile (11,5 à 23,5%), de limon fin (14,5 à 39,5%), de limon grossier (13,6 à 23,2%), de sable fin (15,8 à 41,8%), de sable grossier (3,4 à 15,3%).

Certains profils sont plus sableux, ceci en liaison souvent avec leur position au voisinage d'affleurements de grès et de sables. Il ne paraît pas y avoir de variation significative des taux d'argile à l'intérieur de chacun des différents profils.

Les taux de Ca C03 total sont très variables (5,1 à 12,4%) suivant les horizons, tantôt croissants tantôt décroissants dans le profil avec la profondeur. Les teneurs en calcaire actif varient entre 15 et 60‰.

Les taux de carbone et azote sont plus élevés que dans les sols précédents et diminuent assez rapidement en profondeur :

|             | Surface (0-20 cm) | Profondeur (20-40 à 50 cm) |
|-------------|-------------------|----------------------------|
| – Carbone ‰ | 9,84 à 5,64       | 4,61 à 2,49                |
| – Azote ‰   | 0,78 à 0,45       | 0,52 à 0,29                |
| – C/N       | 10,6 à 13,7       | 8,5 à 13,1                 |

Les pH oscillent entre 8,1 et 8,7.

Parmi les bases échangeables Ca et Mg dominent largement.

Mg est particulièrement fort dans le profil J 11 mais une grande partie de celui-ci est alors sous forme soluble. Ainsi dans l'échantillon J 114 on a dans l'extrait au 1/2 : 6,05 me% de Mg pour 2,27 me% de Na et 10,6 me% de Cl. Dans l'échantillon J 163 on trouve : 1,04 me% de Mg pour 0,57 me% de Na et 1,68 de Cl pour 1,12 me% de S04 (1).

K a des valeurs très variables et décroissantes avec la profondeur (1,73 à 0,18 me%).

Na croît en profondeur en même temps qu'augmentent les formes solubles ainsi l'horizon J 114 (80-100 cm) est-il salé. Dans le profil J 12, à légères marbrures rouille d'hydromorphie dès 40 cm, les teneurs en Na sont les plus élevées en surface (1,20 me% pour 0,27 me% en profondeur).

Les valeurs de P205 total sont supérieures à 1‰ (1,79 à 1,19‰ pour 285 à 18 ppm d'assimilable).

Ces sols portent l'essentiel des cultures de la région de Jalalabad (maïs, riz.... coton, *Hibiscus cannabinus* .... cultures maraîchères).

(1) La reconstitution de la composition en sels dans l'extrait au 1/2 donne les résultats suivants :

J 114 : C03Na2 : 0,13. (C03H)2Ca : 0,15. S04Ca : 0,14. Cl (Mg-Na-Ca) : 10,6 me%.

Toxicité : 11,9

J 163 : C03Na2 : 0,08. (C03H)2Ca : 0,19. S04Ca : 1,12. Cl (Mg-Na-Ca) : 1,68

Toxicité : 2,48

Conductivité de l'extrait de saturation :

J 114 : 23,0 mmhos/cm

J 163 : 6,3 mmhos/cm.

## 5.3 SOLS A DIFFERENCIATION CALCAIRE (\*)

### 5.3.1 Peu différenciés

- xx à accumulation diffuse
- x à horizon pallide
  - sur limon sableux ou limon argileux

Ces sols s'observent sur la rive droite du Kabul, au S de Jalalabad, sur une haute terrasse, au milieu de buttes témoins de conglomérat plus ou moins encroûtées et dans la région S d'Ada. Dans le premier endroit ils alternent avec des sols à début d'encroûtement calcaire sur matériau identique.

Les profils sont de type A B Ca C. L'horizon B Ca se différencie assez mal morphologiquement malgré sa texture plus argileuse et plus limoneuse que celle de l'horizon A mais sans qu'apparaisse de ségrégation particulière de calcaire (pseudo-mycélium ou taches).

La coloration est brun uniforme (10 YR 5,5/3) dans le profil J 18, ou gris plus ou moins clair avec des taches d'hydromorphie parfois très bas dans le C où la texture peut devenir plus grossière avec présence éventuelle de petit cailloutis (profil J 9 : 10 YR 5/1-6/1).

Le matériau sur lequel se développe ces sols paraît de texture voisine de celui des dépressions du Kabul, Laghman, Surkhrod. Il est difficile d'affirmer qu'il s'agit d'un loess colluvionné en mélange avec des apports des séries sableuses du Lataband, ce qui est sans doute vraisemblable.

Les profils J 9 et J 18 retenus, présentent tous deux une texture limono-sableuse en surface à limono-argileuse plus ou moins marquée en profondeur avec un gradient d'argile et de calcaire total et actif bien net (Profil J 9. Argile : 10,5 à 21,5%. Ca CO<sub>3</sub> total : 6,3 à 18,8%. Calcaire actif : 25 à 115 °/oo. Profil J 18. Argile : 8,5 à 12,5%. Ca CO<sub>3</sub> total : 5,4 à 7,5%. Calcaire actif : 15 à 40 °/oo).

Les teneurs en carbone et azote sont faibles (Carbone 4,82 à 1,47 °/oo. Azote : 0,527 à 0,120 °/oo. C/N : 12,8 à 9,1). Ces valeurs sont très variables d'un profil à un autre.

Les pH oscillent entre 8,4 et 8,8.

Les bases échangeables dans le profil J 18 qui présente des sels solubles surtout abondants dans l'horizon superficiel en liaison avec les irrigations subies, sont composées, mis à part Ca qui sature le complexe, de Mg compris entre 0,89 et 2,69 me%, de K légèrement croissant (0,33 à 0,46 me%), de Na (0,13 à 0,42 me%). Ceci après extraction des sels solubles.

Les sels solubles de l'extrait au 1/2 de l'horizon J 181 sont constitués surtout de Na (5,88 me%) sous forme de sulfate (7,50 me%).

L'extrait de saturation de ce profil a une conductivité très rapidement décroissante 19,3 à 3,2 mmhos/cm. Parmi les anions on note de faibles quantités de CO<sub>3</sub> en profondeur (1).

Les bases échangeables du profil J 9 présentent des valeurs des différents cations également croissantes avec la profondeur, à l'exception de K constant. Il n'y a pas dans ce profil d'accumulation superficielle de Na.

Les teneurs en P205 total et assimilable sont voisines dans ces deux profils (P205 total : 0,8-1,14 °/oo. P205 assimilable : 47 à 85 ppm).

Ces sols portent des cultures irriguées classiques à partir des eaux du barrage, dans le cas du profil J 18 entrant dans le périmètre d'irrigation, des cultures plus ou moins bien irriguées en fonction des disponibilités en eau et des aléas de la pluviométrie annuelle pour les terres du S d'Ada (Profil J 9).

Les argiles du profil J 9 (échantillons J 91 et J 93) sont constituées d'illite et de chlorite dominantes et de montmorillonite.

(\*) Voir Annexe 8

(1) La reconstitution de la composition en sels solubles (méthode BAZILEVICH) est la suivante pour l'horizon J 181 .

– (CO<sub>3</sub>H)2Ca 0,27. SO<sub>4</sub>Ca 1,63. SO<sub>4</sub>(Na-Mg) 5,87. Cl (Na-Mg) 0,82 me%

– Toxicité : 1,99

### 5.3.2 Très différenciés

xx à début d'encroûtement

x à horizon pallide

#### Sur limon argileux à couverture graveleuse ou non

Ces sols ont été observés sur la haute terrasse au S de Jalalabad, sur des surfaces planes utilisées en culture irriguée. Ces limons argileux présentent une accumulation calcaire de faible profondeur tandis que des buttes témoins très démantelées, couronnées de conglomérat, se voient par places.

Les deux profils examinés ici ont été pris dans la partie plane en culture (Profil J 20), à une des buttes témoins (Profil J 19).

Le profil J 20 est de type A B Ca B g Ca C, assez uniformément limono-argileux (argile : 14,5 à 15,5%, limon fin : 24,5 à 36%, limon grossier : 15,5 à 30,6%), de couleur beige-brun en surface avec d'abondantes taches blanches calcaires et nodules de taille et de formes diverses à partir de 10-15 cm. Il est compact, assez bien structuré et polyédrique moyen. Dans un canal d'irrigation voisin ce même sol tend vers un encroûtement peu consolidé. A partir de 80 cm, en même temps que se poursuit l'horizon B Ca apparaît l'hydromorphie par taches rouille et ocre dans un horizon identique, mais légèrement humide. Dans ce terrain de culture, plus ou moins bien plané, dans les zones de stagnation des eaux s'observent en surface de légères efflorescences.

Dans les rejets des « carises » se voient des amas blancs d'encroûtement qui montrent bien la généralisation de celui-ci. Ce profil est marqué par un net gradient calcaire (23,5 à 37,4% de Ca CO<sub>3</sub> total pour 55 à 75 ‰ de calcaire actif).

Les teneurs en carbone et azote sont toujours faibles (carbone : 1,36 à 1,08 ‰, azote : 0,167 à 0,127 ‰, C/N : 8,1-8,5).

Les pH sont élevés : 9,4 en surface, 8,9 en profondeur.

Les bases échangeables décroissent avec la profondeur :

– Mg : 1,67 à 1,39 me%,

– K : 1,02 à 0,32 me%,

– Na : 0,56 à 0,11 me%.

On note dans l'extrait au 1/2 un peu de Na soluble (1,11 me% dans l'horizon de surface) sous forme de sulfate mais aussi de chlorure, bicarbonate et carbonate. Ce dernier disparaît en profondeur. En surface il peut expliquer le pH de 9,4.

Les conductivités de l'extrait de saturation sont très décroissantes avec la profondeur (3,45 à 1,15 mmhos/cm).

Les teneurs en P205 total sont voisines de 1 ‰ (1,17-0,82), celles d'assimilable très faibles (5 et 7 ppm).

Le profil J 19 est sensiblement identique mais situé sur une butte témoin à couverture de cailloutis bréchique de 1 cm ou moins de diamètre, avec quelques galets roulés. Le cailloutis est mêlé de limon donnant un ensemble encroûté qui passe à partir de 60 cm à un limon argileux jaunâtre à taches calcaires blanches, très compact à débit polyédrique.

D'autres buttes voisines ont une forme arrondie et sont couvertes de gros galets à importante « barbe » de calcite qui surmontent le cailloutis bréchique plus meuble.

Sans entrer dans le détail des résultats analytiques de ce profil marqué par un gradient calcaire, des pH élevés (9,1), une pauvreté en carbone et azote, signalons sa salinité (Extrait de saturation : 19,8 - 10,45 mmhos/cm). Les sels solubles sont composés de Na (6,46 - 4,53 me%) et de sulfates dominants (7,04 - 4,0 me%) avec des traces de carbonates (1).

(1) La reconstitution de la composition en sels dans l'extrait au 1/2 est la suivante :

J 191 : CO<sub>3</sub>Na<sub>2</sub> : 0,13. (CO<sub>3</sub>H)<sub>2</sub>Ca : 0,19. SO<sub>4</sub> Ca : 0,67. SO<sub>4</sub> (Na-Mg-K) : 6,37. Cl (Na-Mg-K) : 1,05 me%.

J 192 : CO<sub>3</sub>Na<sub>2</sub> : 0,11. (CO<sub>3</sub>H)<sub>2</sub>Ca : 0,15. SO<sub>4</sub> Ca : 0,21. SO<sub>4</sub> (Na-Mg-K) : 3,79. Cl (Na-Mg-K) : 1 me%.

Toxicité : J 191 : 3,62 — J 192 : 2,85.

La fraction argileuse est constituée de la façon suivante :

- échantillon J 202 : illite dominante, chlorite un peu moindre et attapulgite,
- échantillon J 192 : attapulgite dominante avec illite, chlorite plus faible.

Le profil J 19, du fait de sa salinité, appartient également à la classe des sols sodiques, mais il est principalement marqué par une pédogenèse calcaire, c'est pour cette raison que nous l'avons placé ici.

#### **Sur couverture limoneuse reposant sur le conglomérat à encroûtement calcaire**

Sur la feuille au 1/50.000 de Jalalabad, en bordure du périmètre couvert par le conglomérat encroûté, s'observent sur celui-ci des recouvrements de limon caillouteux qui sont ici l'extrême limite des champs du périmètre d'irrigation.

On trouve en ces lieux des profils de type A B Ca C, très peu profonds (40-60 cm) où C est représenté par l'encroûtement conglomératique, tandis que l'horizon B Ca, épais de 20 à 30 cm est brun à abondantes taches blanches entre les galets plus ou moins nombreux. Ceux ci présentent une «barbe» de calcite peu ou bien développée.

La structure de cet horizon B Ca est polyédrique moyenne, sa compacité et sa cohésion moyennes à faibles. L'horizon A polyédrique est assez finement et bien structuré. Il est généralement limono-caillouteux et meuble.

Les caractéristiques physico-chimiques de ces sols (Profils J 7 - J 21) diffèrent assez peu de celles des profils précédents (J 19 - J 20) si ce n'est par la faible épaisseur et la plus ou moins grande abondance du cailloutis conglomératique.

#### **5.4 SOLS HYDROMORPHES (\*)**

+ minéraux ou peu humifères

xx à pseudo-gley

Ces sols sont étroitement mêlés aux sols peu évolués que l'on trouve sur les terrasses alluviales du Kaboul, du Laghman et du Surkhrod et en amont du barrage hydroélectrique, sur la périphérie du lac ainsi créé. C'est en cette dernière partie qu'ils sont les plus abondants car le plan d'eau a remonté fortement la nappe.

La morphologie de ces profils diffère assez peu de celle des sols peu évolués si ce n'est par l'apparition de taches rouille ou noir-verdâtre de réduction pouvant former une ligne continue comme dans le profil J 14 vers 35 cm. Ce profil observé fin Août 1 969 était cultivé en riz prêt à être récolté et haut de 70 à 80 cm. Des champs de maïs étaient également visibles.

Le sol de ce profil était superficiellement craquelé sur une épaisseur de 15 à 20 cm en larges polygones de 20 à 30 cm. Sa texture était limoneuse à limono-argileuse, la structure cubique en surface puis polyédrique moyenne en profondeur, la compacité assez forte.

Les caractéristiques physico-chimiques de ces sols sont à rapprocher ou identiques à celles des sols peu évolués sur matériau analogue.

La fraction argileuse de l'échantillon J 143 est composée d'illite et de chlorite co-dominantes et d'un peu de montmorillonite. On trouve dans cet échantillon en plus de la calcite abondante, de la dolomie.

#### **5.5 SOLS A ACCUMULATION GYPSEUSE**

Un profil particulier a été observé, sur la pente d'une des buttes témoins, en bordure du versant N du massif de Tor. Sur le conglomérat encroûté par le calcaire sur une épaisseur de 2 m, se voit, sur 70 cm, un profil à accumulation gypseuse.

(\* : Voir Annexe 9.

### Profil J 13

- 0-20 cm : gris-blanc à taches blanches en petits amas friables. Limoneux. Structure fondue légèrement pulvérulente. Cohésion et compacité faibles,  
20-50 cm : identique à petites poupées de gypse, de 1 à 1,5 cm, de forme très irrégulière et assez friables,  
50-70 cm : beige à taches jaunes d'hydromorphie. Limoneux à limono-sableux. Pulvérulent à fondu. Compacité et cohésion faibles. Tassé,  
70 cm.... : passage au conglomérat encroûté par un limon à galets de 2 à 3 cm présentant des «barbes» de calcite.

Le sommet de la butte, en élévation de 4 m par rapport à ce profil, est constitué par un limon à cailloutis bréchique de grosseur très diverse (1 à 15 cm), légèrement cimenté par le calcaire. Il n'a été observé que sur les 60 cm supérieurs.

Ce profil présente des teneurs en calcaire total variable (12,3-17,1-1,9% pour 40-60-15 ‰ de calcaire actif). Les teneurs en gypse pour les mêmes horizons sont les suivantes : 0,80 - 10,20 - 9,00 %.

Ce profil est pauvre en carbone et azote et a un pH de 8,1.

Les valeurs des différents cations n'ont rien d'exceptionnelles :

- Mg varie entre 0,82 et 4,10 me%,
- K est compris entre 0,27 et 0,22 me%,
- Na n'est pas élevé comme dans certains profils d'autres régions (0,13-0,20 me%).

Les taux de P205 total sont légèrement inférieurs à 1 ‰ (0,94 pour 15 et 22 ppm d'assimilable).

Ce profil observé en un seul point, rappelle la succession sédimentologique que l'on voit dans Je S de Jalalabad :

- conglomérat encroûté à la base,
- limon à encroûtement ou début d'encroûtement calcaire (profil J 20),
- cailloutis bréchique encroûté sur le limon précédent (profil J 19 de la butte témoin).

Le limon intercalaire de ce profil J 13 est ici à faciès gypso-calcaire qui peut être à mettre au compte d'une hydromorphie ancienne (lac-marécage) que l'on observe dans la partie inférieure du profil (1).

Ce type de sol peut entrer dans deux classes différentes, soit celle des sols calcimagnésiques, soit dans celle des sols hydromorphes minéraux à remaniement du gypse par action de nappe.

La fraction argileuse de ce sol est constituée par de la montmorillonite et de l'illite codominantes avec de la chlorite (Echantillons J 132 - J 133).

## B/ LE NURISTAN

Situé dans la partie E de l'Afghanistan au voisinage du Pakistan, ce pays montagnard reçoit, mais fortement atténuée, la mousson indienne pendant les mois d'été.

La reconnaissance pédologique de cette région a été faite par le trajet classique Jalalabad-Chiga Saraï-Asmar-Barikot-Kamdech-Barg E Matal, en empruntant la vallée du Kunar jusqu'à Barikot puis en remontant ensuite la vallée du Landay Sin au cœur des massifs (2).

(1) Cette hydromorphie peut être due aussi à la circulation de nappe en provenance du massif.

(2) Le trajet Chiga-Saraï a du être effectué sans aucun arrêt prolongé ou étape intermédiaire comme nous l'aurions souhaité, l'autorisation nous en ayant été refusée par les autorités administratives de cette région jouxtant le Pakistan.

Aucun relevé météorologique n'existant en ces régions accidentées où les grands centres sont rares, les variations climatiques ont été surtout interprétées par les différents auteurs nous ayant précédés, par celles de la flore.

## 1 - VEGETATION

A la flore décrite dans la cuvette de Jalalabad succède vers l'E et en s'élevant en altitude les différentes formations suivantes (HAYON-PELT-YOUNOS 1 968).

- forêt sempervirente sèche,
- forêt tempérée sèche à *Quercus baloot*,
- forêt à conifères,
- pelouse alpinè.

La première de ces formations végétales a été observée sur la première partie du parcours entre Chiga Sarai et Barikot, les suivantes ont été vues principalement dans l'étude en altitude que nous avons faite de la montagne surplombant le village de Kamdech.

### Forêt subtropicale sempervirente sèche

Elle s'observe dans les vallées du Kunar et du Pech entre les altitudes 860 et 1 050 m. Il s'agit d'une zone de transition entre la steppe subdésertique de Jalalabad et la forêt sclérophylle à *Quercus baloot*. Elle serait caractérisée par un climat xéro-thermoméditerranéen à pluviométrie annuelle d'environ 200 mm présentant des pluies d'été non négligeables et l'absence de gelées en hiver. Il s'agit d'une forêt basse xérophytique formée d'arbustes et de buissons. L'ensemble est très dégradé par le pâturage intensif des troupeaux de chèvres et de moutons.

Les éléments floristiques caractéristiques sont : *Dodonea viscosa*, *Acacia modesta*, *Zyzyphus jujuba*, *Olea cuspidata* accompagnés de *Ficus plamata*, *Pistacia kinjuk*, *Cotoneaster racemiflora* .... *Vitex agnus castus* espèce typiquement méditerranéenne, mais aussi des espèces subtropicales : *Calotropis procera*, *Datura innoxia*, *Nerium odorum*...

### Forêt tempérée sèche à *Quercus baloot*

Elle s'installe sur les versants des massifs entre les altitudes 1 050 à 2 000 - 2 200 m où elle est remplacée progressivement par la forêt à *Cedrus deodara*. Ces limites correspondent pour VOLK (1 953), cité par HAYON et al, à des pluviométries comprises entre 250 et 500 mm avec des pluies d'été (mousson) non négligeables. Le climat serait encore de type xéothermique méditerranéen mais avec de faibles gelées (15 à 30 jours par an) et des enneigements épisodiques pour les parties les plus basses.

*Quercus baloot* variante himalayenne du *Quercus ilex*, dont le Nuristan est l'une des extrêmes avancées occidentales, se présente tout d'abord en buissons rabougris aux altitudes basses avant de prendre progressivement un port arborescent avec un recouvrement de 50%.

*Olea cuspidata* est encore observé dans les parties les plus basses.

On trouve encore : *Ficus palmata*, *Pistacia sp*, *Juglans regia*, *Fraxinus xanthoxyloides*..., de la vigne sauvage à la limite orientale de son aire de distribution, des *Tamarix*, des *Salix alba* le long des multiples cours d'eau permanents.

Parmi les sous arbrisseaux et arbrisseaux, il y a convergence des flores iranotouranienne (*Artemisia maritima*, *Canabis sativa*...), himalayenne (*Spirea tomentosa* et *brahuia*, *Rosa webbiana*...) et subtropicale (*Saccharum spontaneum*, *Pennisetum flaccidum*...).

### Forêt tempérée froide à conifères

Elle se substitue progressivement à la forêt précédente à partir de 2 000-2 200 m. Elle est tout d'abord à *Cedrus deodara* jusqu'à 2 700-2 800 m, puis à *Abbies webbiana* et enfin à *Picea morinda* jusqu'à 3 000-3 200 m. On observe également *Pinus excelsa* qui colonise les clairières dans la forêt à *Picea* et *Abbies*. Pour P. LALANDE (1 968), l'étage à *Abbies webbiana* correspondrait au bioclimat le plus humide, tandis que celui à *Picea morinda* serait plus sec. La fin de l'étage à épicéa est marqué par un net éclaircissement qui se termine par quelques arbres isolés en même temps que la pelouse alpine apparaît par taches discontinues au milieu d'affleurements rocheux.

Une estimation approximative de la pluviométrie peut être tentée en comparant ces données avec celles fournies sur la biogéographie du centre Népal par DOBREMEZ (1 970). Pour cet auteur, l'étage à *Picea excelsa* se développerait dans la vallée de Behri, sur le versant N du Dhaulagiri, sous des pluviométries comprises entre 500 et 1 000 mm. Dans cette même vallée se trouve la limite orientale de *Cedrus deodara* (cèdre de l'Himalaya), surtout répandu au Cachemire.

### Pelouse alpine

Elle s'observe à partir de 3 200 m et est formée d'un tapis graminéen dense et ras accompagné de trèfle, chardon, mais aussi dans les parties les plus humides de mousses, sphaignes, fougères avec également par plages discontinues, plus étendues sur pente, des rhododendrons, hauts de 50 cm à 1 m.

Cette pelouse alpine n'a pas été observée par nous au-delà de 3 500 m, alors que les sommets voisins de celui de Kamdech (3 670 m) culminent à 4 256 m et au N-O, sur cette même feuille 1/100.000 de Kamdech, à 5 506 m. Sur les versants orientés au N de ce même massif sont signalés à partir de 4 800-5 000 m des glaciers et des moraines. Cette présence associée à celle de chutes de neige à haute altitude et de leur fonte progressive peut expliquer l'abondance de l'eau dans les pelouses alpines. Lors de notre passage en Septembre 1 970, un violent orage tombé sur l'ensemble de la région s'est aussi traduit par des précipitations neigeuses sur les hauts sommets entre 4 000 et 5 000 m. Il s'agissait là, aux dires des nuristanais, des premières neiges de la saison. En contrebas de la prairie alpine, la forêt à conifères apparaît relativement sèche et les sources tarées en été.

## 2 - ETUDES GEOMORPHOLOGIQUE ET PEDOLOGIQUE

Nous indiquerons ci-après sommairement l'aspect général des formations et des sols qui constituent les piedmonts entre Jalalabad et Barikot mais surtout à partir de Chiga Sarai. Ensuite nous nous attacherons à la montagne de Kamdech, objet principal de notre étude. C'est à dire que nous resterons principalement dans le domaine de la forêt subtropicale sempervirente sèche jusqu'à Barikot, dans celui de la forêt tempérée sèche à *Quercus baloot* entre Barikot-Kamdech et Barg E Matal et que la forêt tempérée froide à conifères, la pelouse alpine seront étudiées dans le massif de Kamdech.

## 2.1 PARCOURS CHIGA SARAI - BARIKOT

### ETUDE GEOMORPHOLOGIQUE ET SEDIMENTOLOGIQUE (\*)

Les massifs constituant les reliefs apparaissent très fréquemment formés par des ensembles métamorphiques de micaschistes finement lités et de gneiss.

La vallée du Kunar qui entaille les piedmonts de ces massifs composés d'alluvions et colluvions diverses les recoupe par, semble-t-il, trois terrasses principales. Ainsi à Barikot on distingue :

- une terrasse de 10 m, souvent en cultures,
- une terrasse de 30-40 m, marquée par un abondant conglomérat. Elle est également parfois aménagée pour les cultures.
- une terrasse de 50 à 60 m.

Ces terrasses n'ont pu être observées dans le détail entre Kamdech et Chiga Saraï pour les raisons indiquées plus haut.

La vallée du Kunar entre Chiga Saraï et Barikot est particulièrement resserrée et la route se situe souvent dans des conglomérats et des éboulis de piedmont. Cette vallée prend des allures de gorges profondes qui s'élargissent occasionnellement à la confluence de rivières adjacentes dont les cônes anciens de déjection sont cultivés en terrasses. Ils portent en même temps les principaux villages du parcours, localisés surtout sur la rive gauche du Kunar (Asmar, Sangar, Sal, Saw....), mais aussi sur la rive droite (Sur Koruk, Nisagam, Barikot....).

En aval d'Asmar s'observe la succession schématique suivante au-dessus du Kunar. Elle ressemble à d'autres décrites en des régions éloignées (Cf. vallée du Tarnak Rod au N-E de Kandahar, vallée du Kabul en amont de la cuvette de Jalalabad).

On distingue (Figure 38) :

- à la base : une formation sableuse gris-beige puis gréseuse de couleur «poivre et sel» épaisse d'une quinzaine de mètres surmontée par un conglomérat grossier de 6 m environ, très encroûté dans sa partie supérieure, de façon moindre en-dessous,
- au sommet : une formation limoneuse, épaisse de 5 m environ présentant un profil calcaire très différencié à abondants nodules.

Le conglomérat n'est apparemment cimenté que dans les parties où il est recouvert par le limon loessique calcaire.

Les sables sous-jacents, comme en d'autres régions, ne participent pas ou rarement à la formation des sols. Ceux-ci ne se développent le plus fréquemment que sur des colluvions bréchiques ou conglomératiques diversement grossières provenant des massifs que l'on observe surtout dans les zones de confluences des rivières affluentes au Kunar.

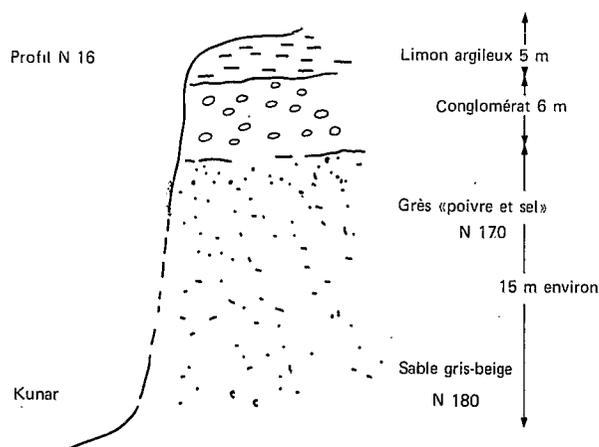


Figure 38 - Coupe de la berge du Kunar en aval d'Asmar

(\*) Voir Annexes 1 et 2

Une disposition identique, mais de moindre amplitude, est également visible près de Chiga Saraï, le long des rives du Pech où deux petites terrasses successives s'observent sur le flanc du massif couvert d'une formation très lâche d'*Acacia modesta*. Elles apparaissent, ici encore, comme d'anciens cônes de déjection très grossiers, de cours d'eau affluents descendant des massifs et dont les dépôts ont dû barrer occasionnellement la rivière principale. Plusieurs cônes superposés apparaissent ainsi et le cours d'eau en les réentaillant y a constitué des terrasses successives. Le schéma suivant montre une coupe de ces zones de confluence (Figure 39).

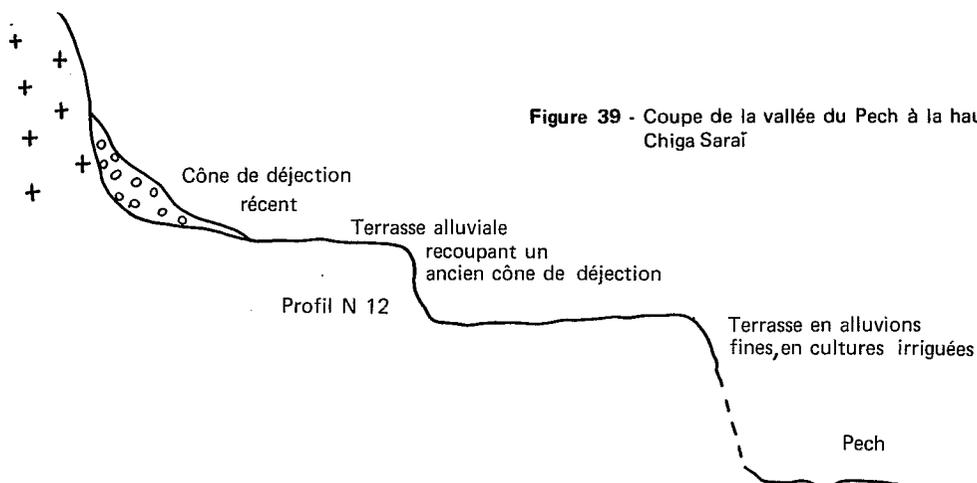


Figure 39 - Coupe de la vallée du Pech à la hauteur de Chiga Saraï

L'examen sédimentologique très sommaire que nous allons faire portera principalement sur les formations observées dans ces deux coupes :

- formations anciennes sableuses et gréseuse réentaillées par le Kunar (Echantillons N 170-180),
- formations limoneuses superficielles formant terrasse (Echantillons des profils N 13 et N 16) (1),
- formations alluviales et colluviales de la terrasse supérieure du Pech (Echantillons du profil N 12).

L'annexe 1 indique les principales caractéristiques que nous résumerons.

L'échantillon N 170, gréseux de coloration «poivre et sel» (10 YR 5,5/2) a un indice de grossièreté relativement élevé (350  $\mu$ ). Il présente un faciès bi-modal, très hyperbolique dans sa partie la moins grossière et a des indices assez élevés (Q d  $\varphi$  : 1,25. Hétérométrie 0,7).

L'échantillon N 180, sableux, de coloration gris-beige (10 YR 6,5/1) a une médiane moins élevée (82  $\mu$ ), mais une courbe à faciès plus franchement bi-modal à indices sensiblement moins élevés (Q d  $\varphi$  : 0,6. Hétérométrie : 0,52).

Dans les deux cas nous sommes en présence de sédiments relativement bien triés dont l'origine, d'après la composition en minéraux lourds, est à rechercher dans les ensembles de micaschistes et gneiss voisins, les minéraux du métamorphisme dominant largement (hornblende 32 et 45%, épidote 37 à 45%, grenat 5 et 16%, sillimanite 2 et 5%, staurotite 2 et 6%). La teneur pondérale de ces minéraux lourds est relativement élevée (1,7 et 5,3%).

L'examen minéralogique montre une association de quartz anguleux indiquant de faible transport, des feldspaths sodiques et calco-sodiques, des micas noirs dominants et blancs.

Les échantillons des profils N 13 et N 16 ont des médianes diversement fines (11,5 à 100  $\mu$ ) et des courbes très étalées sur l'axe des abscisses (Q d  $\varphi$  : 1,45 à 2,28. Hétérométrie : 1,0 à 2,0).

Ces sédiments relativement fins et mal triés contenant :

- une fraction grossière généralement faible, rarement supérieure à 5% sauf en surface,
- un pourcentage différemment élevé en Ca CO<sub>3</sub> total (très peu différent de 10% dans le profil N 13 peu évolué, à fort gradient dans le profil N 16),

(1) Le profil N 13 a été prélevé au N de Chiga Saraï vers le km 8.

apparaissent comme des formations loessiques, analogues à celles vues en d'autres régions épandues largement sur les flancs des massifs où nous les retrouverons et recolluvionnées vers les terrasses où sur le piedmont où ils peuvent former des accumulations importantes de 4 à 8 m de hauteur, comme celles vues entre les kms 4 et 10, au N de Chiga Sarai (Profil N 13).

La partie supérieure de ce profil est composée sur 2 m d'alternance de dépôts limono-caillouteux peu évolués et de limons, la partie inférieure (entre 200 et 340 cm) de limon compacté homogène. Cet ensemble dû à l'arrivée latérale en provenance du massif d'un cône de déjection superficiellement de nature bréchique et limoneuse, se superpose à un conglomérat très grossier, roulé (avec éléments de 20 à 60 cm de diamètre), épais de 10 m. Il constitue la berge du Kunar en cet endroit. La fraction minéraux lourds de ces loess remaniés du profil N 13 indique, ici encore, l'origine métamorphique de ces sédiments éoliens (hornblende : 52 à 60%, épidote : 31 à 35%, grenat 7 à 10%....) pour des teneurs pondérales très élevées dans la partie la plus grossière (14,7 - 14,1%).

Les échantillons du profil N 12 (terrasse supérieure du Pech) de couleur gris-noir, ont un indice de grossièreté élevé (148 - 222  $\mu$ ) et des courbes hyperboliques ou faiblement bi-modales assez étalées ( $Q d \varphi$  : 1,05 à 1,17. Hétérométrie : 0,42 à 1,05). Ces indices reflètent ici encore assez mal l'hétérogénéité du profil où l'on observe quelques galets roulés de 1 à 5 cm répartis en stratifications irrégulières.

Les minéraux lourds (2-2,6%) sont composés essentiellement de grenat (28-58%), de hornblende (13-43%), de sillimanite (15-18%), de tourmaline (5-10%). Cette composition comparée aux précédentes nous montre l'hétérogénéité des apports en liaison avec l'origine du sédiment et la nature du bassin versant.

## LES SOLS

Sur le parcours Chiga Sarai (850 m) - Barikot (1 050 m), domaine de la forêt subtropicale sempervirente sèche, et entre Barikot et Barg E Matal (2 150 m) domaine de la forêt sèche à *Quercus baloot*, s'observent sur des dépôts sédimentaires ou colluviaux précédents, des sols minéraux bruts ou peu évolués, du fait de l'érosion intense, et des sols à différenciation calcaire.

Aucune observation n'a été faite en altitude dans cette partie et les prélèvements cités ont été effectués dans le voisinage de la piste routière.

Des nombreux profils observés, nous n'avons retenu que ceux sur lesquels ont porté les analyses sédimentologiques déjà citées.

### SOLS PEU EVOLUES (\*)

- + non climatiques
- xx d'apport
- x modal

#### Sur matériau alluvial différemment grossier

*Profil N 12 :* Prélevé dans la vallée du Pech près de Chiga Sarai. Ce sol est celui de la terrasse recoupant un ancien cône de déjection.

Ancien champ de culture. Jachère à *Calotropis procera*.

Observé sur 100 cm, il présente peu de différenciation morphologique avec un horizon A difficilement discernable du fait de la couleur du matériau originel gris-noir. La structure est particulière, la cohésion et la compacité faibles à nulles. La texture est sableuse plus ou moins grossière avec quelques galets non encroûtés de 1 à 5 cm de diamètre, répartis en lit vers 20 cm de profondeur ou disposés irrégulièrement dans le profil.

Les analyses révèlent :

- une granulométrie sableuse grossière dans l'horizon superficiel (sable grossier : 57,2%, sable fin : 27,1%), plus fine en profondeur où s'observent un peu de limon fin (10%) et grossier (11,3%),
- des teneurs en Ca CO<sub>3</sub> total faibles (0,1%),
- des valeurs de carbone (6-7 ‰) et azote (0,3-0,4 ‰) également faibles, avec des rapports C/N élevés (17-19),

(\*) Voir Annexe 3.

- des pH compris entre 8,2 et 8,7,
- un complexe absorbant saturé par Ca, tandis que les autres valeurs des différents cations sont peu élevées :
  - Mg : 0,45 et 0,25 me%,
  - K : 0,38 et 0,20 me%,
  - Na : 0,03 et 0,07 me%.
- un taux de P2O5 de 0,94 ‰ pour 32 ppm d'assimilable.

#### Sur loess en place ou colluvionné avec apport plus ou moins grossier

Des sols peu évolués sur colluvions de loess plus ou moins enrichis en cailloutis bréchique s'observent par places, le long de la route, principalement entre Chiga Sarai et Asmar (Profils N 13 et N 15).

Ces dépôts fins sont relativement homogènes (Profil N 15), ou intercalés de passages plus graveleux (Profil N 13). Dans ce dernier profil s'observent des lits caillouteux entre 25 - 35 cm, 85 et 105 cm, 130 et 155 cm. Il s'agit de fragments de gneiss ou de micaschistes. A partir de 200 cm et jusqu'à 340 cm le limon sableux devient homogène.

Une troisième coupe observée à Barg E Matal (Profil N 1) constitue une terrasse s'appuyant au massif, une vingtaine de mètres au-dessus du village. Elle présente un limon argileux dans lequel s'intercale vers 3 m une stratification très grossière, formée de blocs de roches. L'ensemble fait 4,5 m de hauteur. La différence de granulométrie entre ces deux niveaux de limon argileux se traduit dans la partie profonde (3 à 4,5 m) par une augmentation des teneurs en limons fins qui passent de 34-38% à 52-54,5%. Cette dernière est intéressante car c'est elle que nous retrouverons le plus souvent dans différents profils de sols de loess de la montagne de Kamdech ou dans le profil N 16 prélevé à Asmar et formant terrasse.

Ces limons, limons sableux, limons argileux ont une coloration beige-brun, une structure fondue à débit polyédrique, une compacité et une cohésion assez faibles mais qui augmentent en profondeur. Suivant que l'on a affaire à un produit différemment remanié la texture est plus ou moins fine ou grossière : argile 4,5 à 20%, limon fin 12,5 à 54%, limon grossier 15,5 à 34,5%, sable fin 3,8 à 47,6%, sable grossier 1,3 à 39,8%.

Le limon argileux (loess non colluvionné, en place) paraît avoir la composition approximative suivante (horizons N 14 et N 15) : argile 17-20%, limon fin 52-55%, limon grossier 18-20%, sable fin 4-6%, sable grossier 1-3%.

Tous ces sols contiennent des teneurs en Ca CO<sub>3</sub> total légèrement inférieures ou égales à 10% pour des taux de calcaire actif faiblement décroissants en profondeur (profil N 1 : 80 à 50 ‰ pour 10,7 à 7,8% de calcaire total).

Les pH sont compris entre 8 et 9 mais atteignent parfois 10 dans le cas d'horizons profonds riches en sels solubles (profils N 13 - N 15).

Les taux de carbone et azote sont très variables (carbone : 29,7 à 2,67 ‰, azote : 2,48 à 0,29 ‰ C/N : 12 à 8,3 en surface). En profondeur ces valeurs de carbone et azote diminuent. Le profil N 1, aux teneurs les plus élevées, est situé très près du village de Barg E Matal et donnera de façon identique des valeurs de K et de P2O5 total et assimilable plus fortes que dans les cas ordinaires.

Le complexe absorbant est saturé par les ions Ca.

Mg a des valeurs comprises entre 1,25 et 4 me%,

K varie entre 1,15 et 0,18 me%,

Na est généralement faible très peu différent de 0,1 me%, à l'exception des horizons profonds des profils N 13 et N 15.

Les sels solubles de l'horizon N 152 (extrait de saturation : 32 mmhos/cm) sont composés principalement de sulfate de sodium avec un peu de chlorure (dans l'extrait au 1/2 : SO<sub>4</sub> : 17,8. Cl : 1,60. Na : 16 me%). On notera la présence d'ion CO<sub>3</sub> (extraits 1/2 et 1/10) qui explique les pH élevés (8,9-9,4) (1).

(1) La reconstitution de la composition en sels dans l'extrait au 1/2 donne les résultats suivants : CO<sub>3</sub>Na<sub>2</sub> : 0,02, (CO<sub>3</sub>H)<sub>2</sub>Ca : 0,09, SO<sub>4</sub>Ca : 2,21, SO<sub>4</sub> (Na-Mg-K) : 15,6, Cl (Na-Mg-K) : 1,6 me%. - Toxicité : 4,92.

Les teneurs en P205 total et assimilable sont comprises, en surface, entre 1,10 et 2,85 ‰ et entre 20 et 400 ppm. En profondeur ces valeurs diminuent mais de façon variable.

## SOLS A DIFFERENCIATION CALCAIRE (\*)

### Peu différencié

xx à légère accumulation calcaire

x à horizon pallide

Le profil N 11 a été observé sur une terrasse du Pech. Il est assez proche morphologiquement de ceux à profil A B Ca C que l'on a décrits dans la vallée du Logar.

Très caillouteux (plus de 65% en volume de galets subanguleux plus ou moins roulés de 1 à 5 cm de diamètre), les galets présentent à leur base un très léger encroûtement, non régulier, ne consolidant pas ceux-ci entre eux. La terre interstitielle, gris-beige sur 20 cm (horizon A), beige ensuite est à texture limono-argileuse, à cohésion et compacité assez fortes à fortes jusqu'à 80 cm (horizon B Ca). En-dessous la structure beaucoup moins bien développée a une tendance particulière. L'ensemble est alors plus meuble (horizon B Ca C).

Le profil présente un gradient calcaire décroissant. Les horizons A et B Ca très structurés ont les teneurs les plus élevées en Ca CO<sub>3</sub> total (18,6-19,5% pour 40 ‰ de calcaire actif. L'horizon B Ca C en contient moins (13,4% pour 15 ‰ de calcaire actif).

Les autres caractéristiques chimiques sont toujours analogues à celles d'autres sols en ces régions :

- pauvreté en carbone (8,2 ‰) et azote (0,52 ‰) en surface. C/N de 15,8,
- pH compris entre 8,8 et 9 sans qu'il y ait excès de Na (0,07 à 0,13 me%),
- complexe saturé en ion Ca,
- Mg compris entre 1,75 et 3 me% et K entre 1,27 et 0,23 me%,
- teneurs en P205 total peu différentes de 1 ‰ (1,05 à 0,84 ‰ pour 52 à 20 ppm d'assimilable).

### Bien différencié

xx à abondants nodules calcaires,

x à horizon pallide.

Le profil N 16, a été prélevé près d'Asmar sur une terrasse surplombant le Kunar d'une vingtaine de mètres.

Le profil est de type A B Ca C.

A : gris-beige. Limoneux. Structure polyédrique. Cohésion et compacité moyennes. Légèrement (0-50cm) frais à partir de 40 cm,

B Ca : beige. Limoneux à limono-argileux. Identique à très abondants petits nodules calcaires ne dépassant pas ou rarement 1/2 cm. Plus humide et plus meuble,

B Ca C : identique mais nodules diminuant très rapidement. (100-120cm)

En surface : cailloutis anguleux, non observé dans le profil mais nodules abondants.

Le gradient calcaire est important :

- Ca CO<sub>3</sub> total : 8,4 - 28,7 - 26,4%,

- calcaire actif : 5 - 35 - 30 ‰.

Les teneurs en matière organique sont toujours peu importantes :

- carbone : 3,08 et 1,85 ‰,

- azote : 0,414 et 0,280 ‰,

- C/N : 7,4 et 6,6.

Les pH varient entre 8,6 et 8,8 mais les teneurs en Na sont faibles, comprises entre 0,40 et 0,22me%. La recherche de sels solubles dans l'extrait au 1/2 montre très peu de Na soluble (inférieur à 0,1 me%) et la conductivité des extraits de saturation est peu élevée (0,93 à 0,81 mmhos/cm).

(\*) Voir Annexe 4

Les taux de Mg échangeable, croissants en profondeur, varient entre 1,29 et 3,13 me%, ceux de K décroissent irrégulièrement (0,42 à 0,26 me%).

Les teneurs en P205 total sont supérieures à 1 ‰ (1,35 - 1,10 ‰) pour 88 et 19 ppm d'assimilable.

Ce profil est également caractérisé par une augmentation progressive des teneurs en argile qui paraît la marque d'un certain lessivage (9 à 14,5%), non observée dans les profils de sols sur sédiments identiques.

La fraction argileuse du profil N 16 est constituée d'illite dominante, associée à de la chlorite et des traces de montmorillonite.

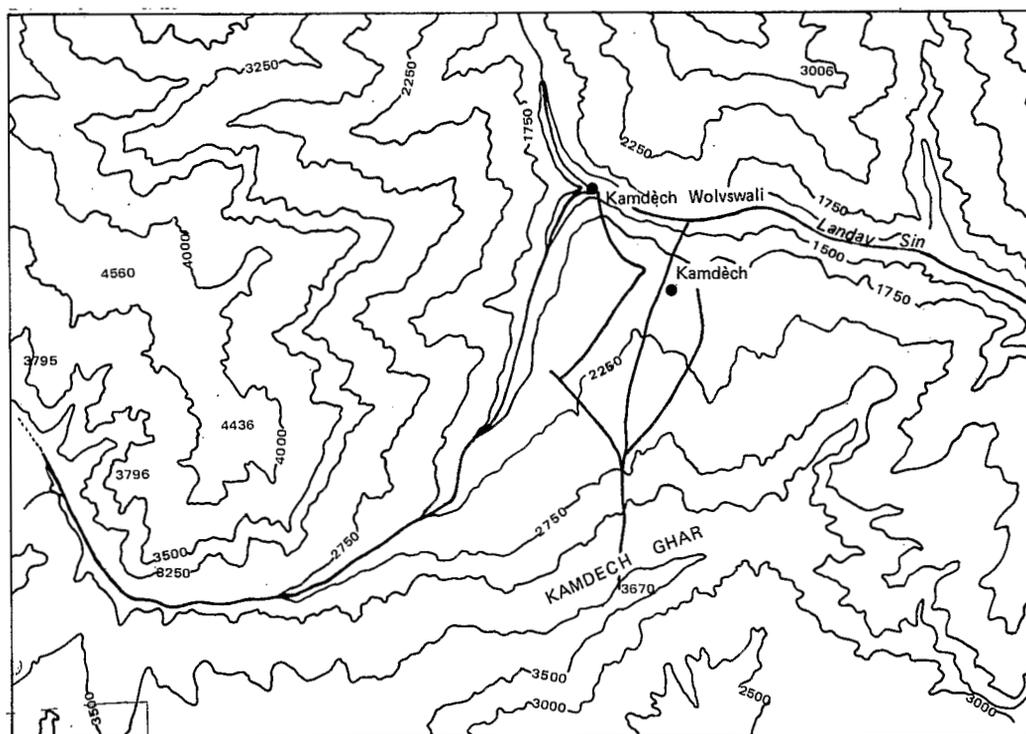


Figure 40 - Carte topographique de la montagne de Kamdech 1/100.000  
Les différents trajets effectués

## 2.2 LA MONTAGNE DE KAMDECH

Le poste administratif de Kamdech (Sous Gouvernorat) est situé sur la rive droite du Landay Sin, rivière à régime torrentiel très encaissée entre les massifs. La piste Barikot - Barg E Matal qui y conduit, serpente le long de la vallée, traversant tantôt des défilés aux éboulis très grossiers, tantôt des anses alluviales limoneuses, limono-argileuses ou des terrasses limono-caillouteuses en culture. La forêt clairsemée de chênes verts domine la rivière, grimpe sur les pentes abruptes, fait place vers les sommets aux premiers conifères que l'on distingue encore assez mal dans la première partie du parcours tandis que les sommets les plus élevés, vers 4 000 - 4 500 m, portaient lors de notre passage en Septembre 1970, les premières neiges. Les berges de la rivière, aux moulins nombreux, que franchissent de fragiles passerelles de bois, présentent une végétation de *Tamarix* et de saules noirs et sarmenteux où grimpe la vigne sauvage. Les maisons de bois montées sur pilotis les mettant à l'abri de l'inondation, s'adossent aux rochers tandis que des escaliers conduisent aux étages supérieurs.

700 m environ au-dessus du poste administratif se situe le village principal de Kamdech. On y accède par deux voies : une voie S très dure qui grimpe au milieu de la forêt de chênes poussant ici entre les multiples éboulis rocheux, une voie S-O un peu moins accidentée dans sa partie supérieure et qui fait communiquer la cité commerciale du centre administratif à Kamdech Haut. Ces deux voies ont été empruntées

successivement. De la première (voie ascendante) nous n'avons tiré que peu d'enseignements. La seconde (voie descendante) a été plus enrichissante et c'est ici qu'ont été observées des accumulations calcaires sous forme d'encroûtement (Figure 40).

Le village de Kamdech Haut (2 000 m), se situe dans une partie relativement moins accidentée de la montagne, faite de vallons et de croupes en cultures dans le haut de la forêt à *Quercus baloot*, presque à la limite inférieure des cèdres. La montée vers le sommet de la montagne (3 670 m) est également rapide puisque 5 km 5 à vol d'oiseau sépare le village de Kamdech Haut (2 000 m) de celui-ci. On y accède par une série de pentes douces coupées de ressauts à forte inclinaison. La piste chemine successivement dans la forêt de *Quercus baloot*, dans celle de conifères, puis dans la prairie alpine.

Le massif lui-même est constitué par un micaschiste à structure pegmatitoïde, à quartz, à très abondantes plages de mica blanc, à feldspath et à grenat, ou par un micaschiste à mica noir finement lité. Des placages importants de loess sont accolés sur le versant de façon discontinue et la roche sous-jacente n'affleure qu'assez rarement, assez souvent cependant près du sommet.

## SEDIMENTOLOGIE (\*)

L'examen sédimentologique des loess (Profils N 2-4-10-11) met en évidence des courbes cumulatives généralement très inclinées sur l'axe des abscisses ( $Q d \varphi$  : 1,71 à 2,87, Hétérométrie : 1,05 à 1,88), à médiane peu élevée (3,9 à 11,9  $\mu$ ). La fraction minéraux lourds est différemment élevée (0,2 à 5,6%). En composition elle apparaît parfois très différente suivant les échantillons, oscillant entre deux pôles :

- un premier constitué par une fraction essentiellement à hornblende (28 à 35%) et épidote (31 à 38%), avec de la sillimanite (7 à 16%), du grenat (4 à 9%), du zircon (2 à 10%), de la staurotide, de la tourmaline, de l'augite.... (échantillons N 24-41-43),
- un second (échantillons N 101-103-111-112), formé principalement de grenat (35 à 68%), de sillimanite (16 à 20%), de hornblende (6 à 22%), d'épidote (2 à 18%)....

Dans les deux cas la teneur pondérale est variable.

La coloration de ces loess est brun-beige plus ou moins pâle (10 YR 7/2-7/4), légèrement plus foncé en surface (10 YR 4/2-5/3).

Ces loess, épandus sur tout un vaste paysage par les vents puisqués retrouvés en différents points sous forme de lambeaux accolés aux flancs du massifs, n'auraient pas forcément une origine très lointaine et pourraient fort bien provenir du vannage de certaines formations de piedmont, riches en produits métamorphiques, comme celles de la série du Lataband, abondantes en certaines dépressions.

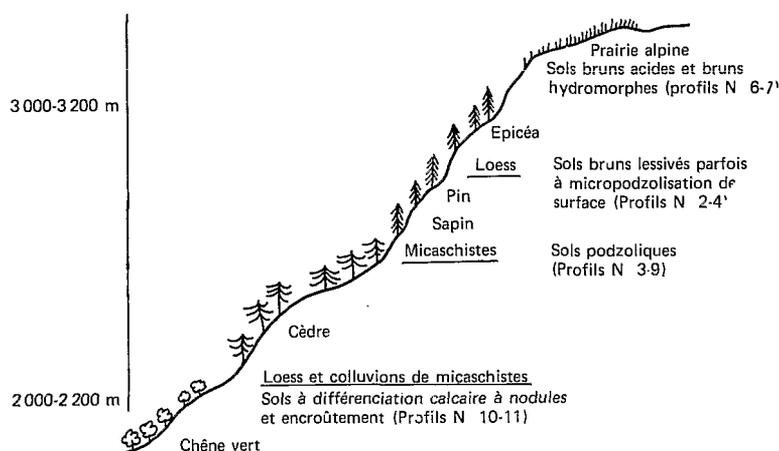


Figure 41 - Répartition de la végétation et des sols dans la montagne de Kamdech.

\*, Voir Annexes 1 et 2

L'examen des échantillons de profils prélevés sur micaschistes (N 3-7-9) montre des courbes également étalées sur l'axe des abscisses (Q de  $\varphi$  : 1,27 à 2,62. Hétérométrie : 1,15 à 1,96). Il s'agit de sédiments mal triés, à médiane alors élevée (178 à 350  $\mu$ , exceptionnellement 13  $\mu$  dans un horizon supérieur, sans doute enrichi en loess colluvionné).

Les minéraux lourds sont très près, par leur groupement, du deuxième cas précédent : grenat (33 à 47%), sillimanite (23 à 29%), hornblende (18 à 26%), épidote (4 à 9%). Ceci tend à démontrer le fort remaniement subi par les loess des échantillons N 101-103-111-112.

La coloration de ces arènes d'altération de micaschistes est assez différente, souvent brun à éléments blancs et noirs très fins (micas), en même temps que l'on observe de nombreux fragments de roches, non vus dans les sédiments précédents.

## LES SOLS

Nous étudierons les sols de ce massif, en partant de la prairie alpine pour gagner progressivement la vallée (Figure 41).

### SOUS PRAIRIE ALPINE (\*)

Les sols observés appartiennent à la *classe des sols brunifiés*. Ce sont des *sols bruns acides*, plus ou moins hydromorphes, caractérisés par un profil A (B) C. Ils se développent principalement sur les micaschistes parfois sur des colluvions de ceux-ci et de loess.

*Profil N 7* sur colluvions de loess. Micaschistes en profondeur. L'ensemble du profil est frais à humide.  
A : brun-noir (10 YR 4,5/2). Limono-argileux. Structure grumeleuse. Compacité et cohésion 0-20 cm faibles à moyennes. Nombreuses racines formant feutrage,  
(B) : passage progressif à brun (10 YR 5,5/3). Limono-argileux. Structure polyédrique moyenne 20-40 cm à légèrement grossière. Compacité et cohésion un peu plus élevées. Racines moins abondantes  
C : zone d'altération des micaschistes apparemment très fragmentés. Eau suintante dans le bas du 40-100 cm profil. Racines à nouveau abondantes.

*Le profil N 6* est entièrement sur micaschistes. Il a été observé au-dessus d'une source qui s'écoule de sa partie inférieure.

A : brun-noir. Structure grumeleuse. Sableux. Présence d'éléments de roches, 0-20 cm  
(B) : brun-beige à tendance particulière avec un très léger débit polyédrique et une faible cohésion 20-50 cm et compacité. Eléments de roches,  
C 1 : micaschiste très altéré. Frais. Assez compact mais à cohésion faible, 50-70 cm  
C 2 : très humide, noir avec passages rouille, lité et plus limono-argileux. La décomposition des 70-120 cm micaschistes semble se faire à partir de la roche en place ou de gros blocs transportés sur la pente.

Ces 2 profils présentent des granulométries différentes.

Le profil N 7 par ses horizons supérieurs se rapproche des loess, tandis que son horizon inférieur et ceux du profil N 6 sont beaucoup plus sableux.

On observe de faible quantité de Ca CO<sub>3</sub> total, seulement d'ailleurs dans le profil N 7 (0,2%).

Les pH sont acides et légèrement décroissants (Profil N 6 : 5,5-5,1. Profil N 7 : 5,9-5,7).

Le complexe absorbant est moyennement désaturé :

– S/T décroît de 89% (20-40 cm) à 54% (80-100 cm) dans le profil N 6,

– il est plus variable dans le profil N 7.

L'ion Ca est le mieux représenté. Il décroît avec la profondeur dans le profil N 7 (10,5 à 1,57 me%),

(\*) Voir Annexe 5.

ainsi que dans le profil N 6 (6 à 2,5 me%) mais se relève entre 80 et 100 cm.

L'ion Mg varie dans ces deux profils entre 2,62 et 0,58 me%.

L'ion K a des valeurs faibles dans le profil N 6 (0,10-0,17 me%), plus élevées et décroissantes dans le profil N 7 (0,50 à 0,17 me%).

Na est peu représenté avec des valeurs décroissantes dans chacun des profils :

– profil N 6 : 0,27 à 0,13 me%,

– profil N 7 : 0,17 à 0,07 me%.

Les taux de P205 sont supérieurs ou égaux à 1 ‰ en surface. Ils décroissent avec la profondeur 1,0 à 0,52 ‰ dans le profil N 7 pour 15 à 20 ppm d'assimilable.

Les teneurs en carbone et azote sont relativement élevées, tout au moins en surface (profils N 6 et 7. Carbone : 26,4 et 34 ‰. Azote : 1,76 et 2,27 ‰. C/N : 15,0).

## SOUS FORET DE CONIFERES (\*)

Identiquement nous allons trouver des sols formés sur loess et sur micaschistes pegmatitoides.

### Sur loess

Nous distinguerons des *sols bruns lessivés modaux* (Profil N 4) ou à *micropodzolisation de surface* (Profil N 2). Les premiers ont été observés à la limite supérieure de la forêt à conifères, les seconds dans celle-ci.

*Le profil N 4, a été prélevé sous un tapis graminéen ras.*

A : beige-brun (10 YR 6/3). Limono-argileux. Tassé. Structure fondue légèrement lamellaire  
0- 15 cm dans les 2 cm supérieurs. Compacité et cohésion moyennes,

B 1 : légèrement plus brunâtre, mais plus frais, plus argileux. Polyédrique moyen à fin, bien développé.  
15- 60 cm loppé. Compact. Cohésion moyenne des éléments structuraux,

B 2 : identique mais massif à débit en assez gros polyèdres. Compact. Très fortement structuré et  
60-120 cm à forte cohésion.

Très peu de racines dans l'ensemble du profil mais celles-ci s'observent jusque dans le fond.

Ce profil est le plus fréquemment rencontré sur les pentes du massif avec cependant pour variante dans sa partie supérieure une micropodzolisation.

*Profil N 2, sous Cedrus deodara, prélevé dans une partie plane en amont d'un gros cèdre retenant le sol. Pente générale de 15 à 20%.*

A 00 : litière d'aiguilles sur 1 à 2 cm,

A 0 A 1 : brun-noir (10 YR 4/2). Limoneux. Pulvérulent avec nombreux débris végétaux. Frais,  
0- 2 cm

A 2 : fin liseret blanc. Cendreuse. Sec,  
2- 3 cm

B : beige. Limoneux. Structure fondue à tendance polyédrique. Assez compact, légère tendance  
3-18 cm massive. Cohésion faible,

B (C) : beige-brun, légèrement bigarré de taches noirâtre ou décolorées, blanchâtre non calcaires.  
18-60 cm Limono-argileux. Massif, très compact, à forte cohésion, débit en polyèdres de 1 à 2 cm.

Ces deux profils sont très voisins granulométriquement par les pourcentages élevés de limons fins (40-50%), par le gradient d'argile croissant (profil N 4 : 23 à 36%, profil N 2 : 15 à 26%) marque d'un important lessivage.

Les pH sont acides dans les deux cas (profil N 4 : 7,2 à 6,3. Sol brun lessivé - profil N 2 : 6,4 à 5,6. Sol à micropodzolisation).

Ces deux profils contiennent encore une très faible fraction de Ca CO<sub>3</sub> total (0,2-0,3%) et de ce fait

(\*) Voir Annexe 6.

la désaturation du complexe est moins accusée que l'on pourrait s'y attendre (S/T. Profil N 4 : 100 à 86-89%. Profil N 2 : 95 à 74%).

Ca est l'ion le mieux représenté :

— élevé en surface (35,4 me%), il décroît en profondeur rapidement (9,45 me%). Sol micropodzolique (profil N 2),

— il augmente régulièrement dans le profil N 4 (brun lessivé), passant de 13,1 à 19,7 me%. Dans ce profil, Mg croît également (3,68 à 6,56 me%), alors qu'il est très divers dans le profil N 2.

K est élevé et décroissant dans le sol micropodzolique (1,24 à 0,35 me%), relativement constant et plus faible dans le sol brun lessivé (0,30 me%).

Na est faible, dans les deux cas (0,1 à 0,43 me%).

Les teneurs en P<sub>205</sub> total sont assez fortes, dans le profil micropodzolique (1,90 à 0,83 ‰ pour 280 à 120 ppm), plus faible dans le sol brun lessivé, assez dégradé (0,56 à 0,765 ‰ pour 27 et 97 ppm d'assimilable) comme le montrent les teneurs en carbone et azote (carbone : 5,38 - 3,18 ‰, azote : 0,553-0,487 ‰, C/N : 9,7-6,5).

Dans le sol micropodzolique :

— A 0 est très riche en carbone (121 ‰) et azote (4,8 ‰) avec un C/N élevé : 25,2,

— B et C ont des valeurs très rapidement décroissantes (carbone : 27,7 - 6,36 ‰, azote : 1,28 - 0,553 ‰, C/N : 21,6 - 11,5).

A la limite inférieure de la forêt de cèdres clairsemée mais à nombreuses repousses de *Quercus baaloot* qui semble faire reculer la cèdraie s'observent des *sols bruns modaux* faiblement lessivés à bruns acides sur colluvions de micaschistes et de loess (profil N 5). Les pH sont fortement décroissants (6,4 en surface à 4,8 en (B), ainsi que le degré de saturation (S/T : 88 à 58%).

Dans ces profils de sols bruns, la fraction argileuse est constituée d'illite dominante et de chlorite avec parfois des traces de montmorillonite.

### Sur micaschistes pegmatitoïdes

Sous végétation de cèdres et sur certains ressauts de terrain où apparaît la roche, alors que les loess ont été dégagés, s'observent des *sols podzoliques* tendant vers des *podzols*. Ils sont un peu particuliers du fait de la très forte pente.

#### Profil N 3

A 00 : litière d'aiguilles de 1 à 2 cm,

A 0 A 1 : gris-brun foncé (10 YR 4/2). Limoneux. Particulaire. Compacité et cohésion faibles. Nombreux petits micas blancs,

A 2 (B h) : blanc à gris-blanc (10 YR 7/1,5). Cendreuse. Très nombreux micas blancs et quelques éléments de roche non altérée. Sur la face inférieure de ces éléments, accumulation de matière organique noire (B h) mêlée de fragments de roche en voie d'altération,

B Fe C : roche fragmentée et diversement altérée de couleur rouille. 75% d'éléments grossiers estimés en volume.

Un second profil (N 9) a fait l'objet d'observations analogues et d'analyses.

Granulométriquement ces sols sont très sableux avec des éléments de roches supérieurs à 2 mm plus ou moins abondants.

Les pH sont acides, décroissants dans le profil N 3 (6,6 à 5,8), fortement acide dans le A2 du profil N 9 (5). La désaturation du complexe est moyenne à faible :

— S/T : profil N 3 : 90-67-89%,

profil N 9 : 66-59-77%.

La plus forte désaturation s'observe en A 2.

Les teneurs en carbone et azote sont élevées en A0 A1, plus faibles en A2 et B Fe C :

|            |        | Carbone ‰ | Azote ‰ | C/N  |
|------------|--------|-----------|---------|------|
| Profil N 3 | A0 A1  | 52,8      | 2,99    | 17,7 |
|            | A2     | 11,9      | 0,50    | 23,8 |
|            | B Fe C | 1,61      | 0,19    | 8,5  |
| Profil N 9 | A0 A1  | 72,1      | 3,32    | 21,7 |
|            | A2     | 7,28      | 0,30    | 24,3 |
|            | B Fe C | 7,79      | 0,26    | 30,0 |

Le complexe absorbant est relativement saturé en ion Ca en A0 A1 (17 me%). Cet ion est en moindre quantité dans les autres horizons et en valeurs décroissantes (profil N 3 : 3,75 - 1,50 me%, profil N 9 : 2,62 - 1,31 me%).

Mg a des valeurs voisines de 1 à 1,5 me%.

K décroît en profondeur et très fortement (profil N 3 : 0,77 à 0,08 me%, profil N 9 : 0,52 à 0,15 me%).

Na est faible, souvent inférieur ou égal à 0,10 me%.

Les teneurs en P2O5 total assez élevées en surface, diminuent plus ou moins rapidement ensuite (profil N 3 : A0 A1 3,45, A2 0,38 ‰ pour 158 et 68 ppm d'assimilable, profil N 9 : A0 A1 1,48, A2 1,11 ‰ pour 48 et 20 ppm d'assimilable).

Dans le profil N 3, l'argile est constituée par de l'illite très largement dominante avec de la kaolinite dans l'échantillon N 32, de la métahalloysite dans le N 33. Dans le profil N 9 l'illite est toujours dominante dans les échantillons 91 et 92 avec de la chlorite et de la kaolinite moindres. Dans l'échantillon N 92 on observe peut-être aussi de l'attapulgite.

## SOUS VEGETATION DE QUERCUS BALOOT (\*)

Dans les parois non abruptes où la roche est alors souvent en affleurements, mais sur pente encore relativement forte couverte par des loess ou des produits de colluvionnement de ceux-ci mêlés à ceux des micaschistes, s'observent des sols à différenciation calcaire, soit à abondants nodules, soit à encroûtement calcaire.

### Profil N 10

- A : brun-beige (10 YR 5,5/3). Limono-argileux. Structure fondue. Compacité et cohésion faibles. Racines assez peu abondantes,  
 0- 40 cm  
 B1 Ca : brun-blanchâtre (10 YR 7/2). Limono-argileux. Structure fondue à débit polyédrique. Assez friable. Compacité et cohésion faibles. Présence de taches et aînas calcaires consolidés pouvant atteindre jusqu'à 1 cm de diamètre. Très faible enracinement,  
 40- 80 cm  
 B2 Ca : encroûtement calcaire blanc de compacité moyenne se débitant en polyédres de différente grosseur (1).  
 80- 230 cm

L'encroûtement B2 Ca est seulement visible par places, tandis que la partie supérieure du profil est la plus souvent observée (profil N 11) et alterne fréquemment avec des sols minéraux bruts ou peu évolués au fur et à mesure que la pente augmente et que nous passons dans l'étage inférieur de la forêt à *Quercus baloot*. Nous retrouvons alors progressivement les sols décrits sur le parcours Chiga Saraï - Barikot.

Ces sols à profil calcaire sont caractérisés :

- par un fort gradient de Ca CO3 total :
  - profil N 10 : 11,2 à 41% pour 60 à 320 ‰ de calcaire actif,

(1) La datation par le carbone 14 de cet encroûtement a donné un âge de 20.490 ± 400 ans BP.

(\*) Voir Annexe 7.

- profil N 11 : 12,9 à 21% pour 50 à 140 ‰ de calcaire actif,
- par une pauvreté relative ou forte en carbone et azote :

|               | Carbone ‰ | Azote ‰ | C/N  |
|---------------|-----------|---------|------|
| Profil N 10 A | 3,53      | 0,40    | 8,8  |
| Profil N 11 A | 9,02      | 0,72    | 12,5 |
| B Ca          | 6,41      | 0,493   | 13,0 |

- par des pH variant entre 8,5 et 8,7.
- par un complexe saturé par les ions Ca. Mg varie entre 1,57 et 2,10 me%, K entre 0,40 et 0,17 me% en profondeur. Na est inférieur à 0,1 me%.

Les teneurs en P205 total sont plus faibles que dans les sols précédents 0,980 à 0,570 ‰ pour 30 et 25 ppm d'assimilable.

Les argiles de ces profils, dans chacun des horizons, même dans les plus fortement carbonatés sont constituées par de l'illite dominante, de la chlorite et un peu de montmorillonite.

## C/ LA VALLEE D'AZRAO

Le parcours que nous avons suivi nous a conduits de la vallée du Logar (objet d'une étude précédente) aux montagnes situées à l'E de celle-ci. Nous avons accédé à la vallée d'Azrao en empruntant la route forestière normale qui remonte le cours très accidenté de la rivière Dobanday en nous élevant ainsi de 2 200 m sur les piedmonts surplombant la vallée du Logar, pour atteindre le col de Shuturgardan situé à 3 200 m qui sépare les bassins versants des rivières Azrao et Dobanday.

Sur la première partie du trajet, les massifs portent une végétation classique de steppe désertique clairsemée qui pousse sur des sols minéraux bruts ou peu évolués se développant sur des roches calcaires ou métamorphiques. Au dernier village avant le col, situé dans une vallée profonde, d'importants conglomérats forment un glacis-terrasse haut d'une dizaine de mètres au-dessus du cours d'eau très encaissé. Ils surplombent une étroite terrasse en culture irriguée de blé arrivé à maturité lors de notre passage en Juillet 1971. La montée vers le col de Shuturgardan s'effectue dans un paysage accidenté, très raviné, par une route en lacets aux flancs des massifs où apparaissent de premiers genévriers.

Les profils observés ont été principalement ceux de sols minéraux bruts ou peu évolués avec cependant près du sommet du col, un sol brun lessivé (sur colluvions de roches) en argile et Ca CO<sub>3</sub>. Au sommet du col s'observait, au milieu de sols squelettiques, un saupoudrage loessique peu épais (1).

La descente du col vers la vallée d'Azrao s'effectue dans un paysage identique. Le bas du col est atteint à 2 890 m au petit village de Quasinkel dans des éboulis de roches. La route emprunte alors la vallée sèche marquée sur sa bordure par de petits affleurements de grès rouges et de roches indéterminées. Les sommets éloignés portent de premières forêts de conifères assez denses. Celles-ci contrastent avec la vallée désolée où s'observent quelques cultures mais qui est le plus souvent couverte d'un tapis ras de graminées poussant sur un sol peu évolué à interstratifications limoneuses, limono-sableuses ou caillouteuses.

Dans la partie haute de la vallée d'Azrao affleurent des limons en plaquettes surmontés de conglomérats qui forment les terrasses dénudées du cours d'eau. Cette vallée, tout en s'encaissant entre les massifs, va devenir progressivement plus verdoyante et porter sur les terrasses plus ou moins larges la rivière alors torrentueuse, de multiples cultures irriguées (blé mur, maïs en jeunes pousses....) et de n

(1) La circulation intense de camions lourdement chargés de billes de bois sur cette route étroite en lacets n'a permis que de très courts arrêts.

villages. En même temps se développe sur les versants des massifs une végétation de genévriers de plus en plus abondante qui passe en altitude à une forêt mixte. P. LALANDE (1968) signale dans cette vallée d'Azrao «entre 2 500 et 2 750 m de nombreuses juniperaies .... enclavées dans l'étage à cèdre, principalement sur les cônes des torrents, tandis que sur les versants au-dessus de cet étage se dessine d'E en O une étroite bande de genévriers. Dans le haut de la vallée d'Azrao au-dessus des dernières stations de cèdres, vers 3 200 m en exposition N ou vers 2 750 m en exposition S, l'étage à genévriers couvre de vastes surfaces».

Nous n'avons observé dans cette vallée que quelques profils situés au voisinage de la route, dans l'étage à genévrier-cèdre. Ces sols se développent sur des grès verdâtres, rougeâtres à lie de vin, légèrement calcaires dont les teintes, associées à celles de la forêt verdoyante, contribuent à donner un paysage très coloré, particulièrement beau. On trouve également des roches vertes à veinules blanches (ophiolite) et des placages de loess, par places, sur les replats de versants souvent très ravinés.

Nos observations ont porté sur les sols placés à une altitude comprise entre 2 500 et 2 800 m. Trois profils ont été observés.

*Le profil AZ 1*, premier de ceux-ci, le plus évolué, appartient aux sols à différenciation calcaire. Il se développe sur des loess remaniés proches de ceux décrits sur le massif de Kamdech (Médiane 6,4 à 9,3  $\mu$ . Q d  $\varphi$  : 2,15 à 2,55. Hétérométrie : 0,78 à 1,75. Minéraux lourds : 0,1 à 0,5%, grenat 21 à 42%, hornblende 5 à 30%, épidote 5 à 29%, zircon 11 à 33%, augite, rutile, sillimanite....). (Annexes 1-2-8).

Il s'observe sur un replat à flanc de massif, sous végétation clairsemée mixte de genévrier-cèdre-pin.

- A : brun. Limono-argileux. Structure polyédrique moyenne à fine. Compacité et cohésion faibles. Porosité tubulaire, 0-35 cm
- B1 Ca : identique à accumulation calcaire par points blancs 35-50 cm
- B2 Ca : brun-blanc. Massif à débit polyédrique grossier. Très compact. Cohésion moyenne. Très sec, 50-110 cm
- B3 Ca : brun à léger panachage blanc. Limono-argileux. Structure polyédrique fine, très bien développée. Plus meuble. Cohésion moyenne. Frais. 110-130 cm

Ces sols ont sensiblement la même texture que les loess du massif de Kamdech. On distingue un lessivage en argile (21,5 à 30%) (1). Le gradient calcaire visible se traduit par des variations importantes de CaCO<sub>3</sub> total (17 à 26,8 et 15,2%) et actif (125 à 225 et 125 ‰).

Le pH des différents horizons est de 8,5.

Le complexe est saturé par Ca.

Mg augmente en profondeur (0,15 à 4,20 me%).

K à l'inverse décroît (0,40 à 0,20 me%).

Na est faible (0,10 à 0,14 me%).

P205 total est supérieur ou voisin de 1 ‰ pour 35 à 40 ppm d'assimilable.

Les teneurs en carbone et azote sont moyennes en surface (carbone : 11,3 ‰, azote : 1,01 ‰, C/N : 11,2), plus faibles en profondeur.

Ce sol est à profil calcaire très bien différencié, à accumulation calcaire importante ou à début d'encroûtement.

*Le profil AZ 2*, a été prélevé sur le même flanc de massif mais légèrement en contrebas du précédent et sur éboulis de grès verdâtres.

- A : gris-brun (10 YR 4/3). Limono-sableux avec quelques cailloux. Structure polyédrique fine à tendance légèrement pulvérulente. Compacité et cohésion faibles, 0-15 cm
- (B) C : brun (10 YR 4/3 passant à 5,5/3). Identique en texture. Structure polyédrique moyenne à fine bien développée. Compacité et cohésion moyennes. 15-80 cm
- Cet horizon est au contact du grès verdâtre fragmenté.

(1) Il s'agit d'un lessivage oblique comme dans le cas des sols loessiques de Kamdech.

Ce profil ne présente pas d'accumulation calcaire visible. Les taux de Ca CO<sub>3</sub> total observés (7-1,2-15,8%) paraissent le résultat d'un lessivage oblique important d'un matériau complexe (colluvions de loess et grès en mélange).

Les valeurs des éléments échangeables, de P205, de pH sont voisines ou peu différentes de celles du sol précédent. On notera cependant les teneurs en carbone et azote plus élevées, notamment dans l'horizon de surface (carbone : 28,7 ‰, azote : 1,95 ‰, C/N : 14,7).

En l'absence de lessivage apparent en argile ce profil pourrait entrer dans la classe des sols à différenciation calcaire lessivés en carbonates et sans accumulation apparente. La structure de l'horizon (B) est très voisine de celle des sols bruns calcaires (Sols calcimagnésiques).

*Le profil AZ 3* rentrera dans cette dernière classe bien que se développant sur un matériau différent, ici des limons sableux, sablo-argileux en plaquettes, à taches rouille d'hydromorphie, observés dans le haut de la vallée d'Azrao et recouverts par un abondant cailloutis.

A : gris-beige à gris-brun (10 YR 4,5/2). Sablo-limoneux, finement caillouteux. Structure lamellaire à pulvérulente. Compacité et cohésion faibles,  
(B) : brun (10 YR 5/3). Identique en texture. Structure polyédrique moyenne à fine bien développée ainsi que la porosité tubulaire et d'agrégats. Quelques rares cailloux.  
C : limons sableux en plaquettes, à efflorescences calcaires par points blancs entre les feuillettes 30 cm... du litage.

On remarquera dans ce profil, les teneurs élevées en Ca CO<sub>3</sub> total des horizons supérieurs (42,9-42,1% pour 80 et 50 ‰ de calcaire actif). Le calcaire est ici à l'état diffus, non visible morphologiquement (1).

Les autres valeurs de carbone, d'azote, de pH, d'éléments échangeables, de P205 total et assimilable sont voisines de celles des sols précédents et n'appellent pas de commentaires.

Les sols des terrasses de la vallée d'Azrao qui portent de nombreuses cultures irriguées sont en sols peu évolués d'apport alluvial diversement caillouteux ou finement limoneux suivant les endroits et n'appellent rien sur la connaissance de la pédogenèse de cette région.

## D/ LE PAKTIA

C'est la quatrième région après la cuvette de Jalalabad, le Nuristan, la vallée d'Azrao que nous avons parcourue dans la partie orientale de l'Afghanistan proche de la frontière pakistanaise, afin d'y voir les influences tropicales. C'est dans celle-ci que paraissent arriver le moins atténué pour de telles altitudes les ultimes pluies de mousson relevées de façon précise (448 mm pour une altitude de 1 146 m à Khost).

La route de Gerdiz - Khost que l'on emprunte pour arriver au Paktia est caractérisée dans la première partie du parcours (une quarantaine de kms) par un paysage rappelant, par son aspect, la steppe semi-désertique et clairsemée que l'on observe aux mêmes altitudes (2 300 - 2 500 m) dans la vallée du Logar (Figure 42).

Quelques kms seulement avant le col de Sato (2 820 m), s'observe sans transition une végétation de conifères (cèdre, pin .... genévrier) que l'on continue d'observer en formations assez denses sur toute la descente du massif très déchiqueté par l'érosion (2) jusqu'à une altitude de 2 500 - 2 200 m, limite à partir

(1) Les fortes teneurs en calcaire de ces limons en plaquettes ne sont pas sans rappeler celles observées dans certains bassins des régions centrales (Bamyan....) où les défilés qui font suite en aval se marquent par l'apparition de travertins.

(2) L'ensemble de ce massif, ceinturant vers l'O la dépression de Khost-Bakh, est constitué par des argillites et schistes argileux à intercalations de grès datant de l'Eocène.

de laquelle apparaît la forêt tempérée sèche à *Quercus baloot* de plus en plus clairsemée et dont les derniers éléments disparaîtront vers 1 550-1 600 m, souvent mêlés à cette altitude à *Olea cuspidata*.

En poursuivant notre descente le long de la vallée de Kaïtou, affluent du Kouram, apparaissent vers 1 450 m les premiers *Zyzyphus* tandis que la dépression de Khost et de Bakh, vaste plaine alluviale au milieu des massifs, est en culture ou sous végétation de steppe à dominance d'Andropogonées (*Chrysopogon*, *Cymbopogon*, *Erianthus*, *Heteropogon*) avec de très nombreux palmiers spontanés (*Chamaerops richteana*) dont les repousses atteignent rarement plus de 1 m de haut et couvrent, par touffes de 5 à 10 m<sup>2</sup>, de légères buttes en surélévation de 20 à 40 cm.

Le passage du col franchi le 18 Juillet 1 971 marque la différence climatique existant entre les deux domaines subdésertique (Gerdiz) et subtropical (Khost). Un violent orage tombé sur l'ensemble de la région dans la soirée du 17 Juillet et dont les effets, très atténués, s'étaient faits sentir jusqu'à Gerdiz et Altamur, n'avait laissé que peu de traces et un ciel bleu très dégagé jusqu'aux approches du col, à partir duquel la vallée et ses massifs de bordure nous apparurent dans un ciel noir de saison des pluies, roulant d'abondants nuages. Les trombes déversées la veille avaient coupé les ponts, rempli les fossés bordant la route, bloqué de nombreux camions aux passages difficiles. Il devait repleuvier cette même journée sur la région de Bakh où nous nous trouvions et la pluie d'orage, brève mais brutale, envahissait de nouveau les chemins les transformant en petits torrents malgré les faibles déclivités.

Différents profils ont été prélevés sur ce parcours. Nous les décrivons successivement en passant de la partie haute (2 820 m) à la cuvette de Khost - Bakh (1 200 m) (Annexes 9 10).

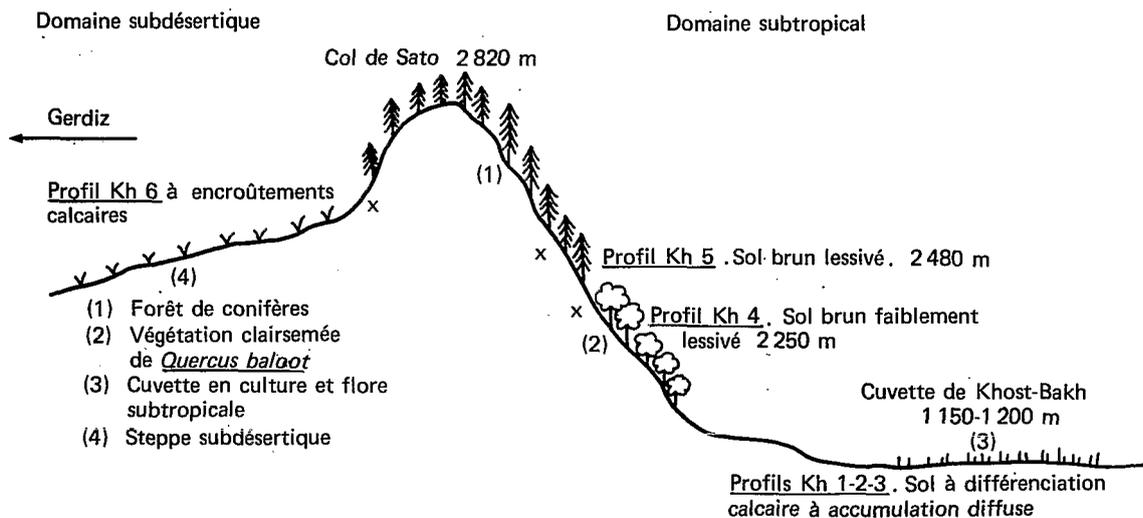


Figure 42 - Etagement de la végétation et des sols entre le col de Sato et Khost

## Le sommet du col de Sato, côté Gerdiz

Le profil Kh 6, a été observé sous conifères, près du sommet du col, avant son franchissement en venant de Gerdiz. Situé sur une pente assez forte, il semble s'être formé ici encore, sur un produit loessique colluvionné, mêlé d'apports plus ou moins grossiers.

A11 : brun (10 YR 4,5/3). Limoneux, limono-sableux. Structure lamellaire. Meuble,  
0- 15 cm

A12 : brun légèrement plus clair (10 YR 5/3). Texture sensiblement identique. Polyédrique fin puis rapidement massif à débit polyédrique et alors compact à cohésion assez forte des éléments structuraux,  
15- 50 cm

B Ca brun-blanchâtre (10 YR 6/3) à texture identique mais plus nombreux cailloux. Très massif à débit polyédrique. Compact. Cohésion forte,  
50-130 cm

B2 Ca : calcaire blanc (10 YR 7/1), finement limoneux. Meuble. Très caillouteux sur 80 cm, puis 130-250 cm moins ensuite.

A partir de 250 cm argillite vert-noir en plaquettes.

Vers 150 cm se perçoit un niveau brunâtre pouvant être assimilé soit à un horizon A de sol enterré, soit à un niveau d'abondantes racines.

Ce profil apparaît dans sa partie supérieure (0-50 cm) fortement décarbonaté (pas d'effervescence visible à l'acide. 0,4 à moins de 0,1 % de Ca CO<sub>3</sub> total à l'analyse). L'accumulation calcaire en profondeur est relativement progressive (14,8 à 48,9%) dans un matériau assez hétérogène, très graveleux au niveau de la plus forte accumulation. Le gradient de calcaire actif est également élevé (traces à 85-305 ‰).

Dans un sédiment aussi hétérogène il est difficile de parler de lessivage d'argile (15,5-23-18,5-27%).

Les pH varient entre 7,8 et 8 (horizons lessivés en carbonates) et 8,5 (horizon d'accumulation).

Le complexe est saturé en ion Ca. Les teneurs en Mg sont variables (0,4 à 1,95 me%), les taux de K décroissants avec la profondeur (0,74 à 0,12 me%), ceux de Na faibles (0,12 à 0,22 me%).

Les valeurs de P205 sont toujours sensiblement les mêmes (0,92-0,53 ‰ de P205 total pour 80 et 30 ppm d'assimilable).

Ce sol appartient à la classe des sols à différenciation calcaire, à encroûtement, superficiellement décarbonatés.

## La descente du massif

Dans la descente du col, nous avons observé, sans le prélever, en amont d'un cèdre retenant une accumulation d'aiguilles, le profil suivant :

A00 : litière d'aiguilles sur 5 cm,

A0 A11 : gris-brun, puis noirâtre. Limoneux. Structure polyédrique moyenne. Faible compacité et 0- 15 cm cohésion moyenne. Décarbonaté.

A12 : gris-noir. Limoneux (apparemment loess). Structure fondue. Décarbonaté (aucune effervescence à l'acide).  
15- 55 cm

B Ca : brun. Limono-caillouteux. Structure polyédrique moyenne bien développée, très meuble, 55-120 cm devenant plus massif à partir de 80 cm avec apparition d'un pseudo-mycélium calcaire.

Les pentes très accusées du massif ne favorisent pas sur ce versant les importantes accumulations calcaires vues dans le profil Kh 6. Elles doivent exister, sans doute très en contrebas ou sur des replats. Nous n'avons rien observé de tel à l'exception de conglomérats encroûtés dans des cônes de déjection.

Les profils Kh 5 et 4 prélevés à plus faible altitude, 2 480 m pour le profil Kh 5 sous végétation de conifères, 2 250 m pour le profil Kh 4 sur éboulis de schistes et sous forêt de *Quercus baloot*, ne présentaient effectivement pas d'horizons BCa. L'accumulation calcaire qui se traduisait à faible profondeur (60-80 cm) par une plus forte effervescence était diffuse dans un horizon alors plus argileux et massif à débit polyédrique (profil Kh 5 : 14,5 à 30% d'argile). L'enrichissement en argile était plus faible dans le profil Kh 4 (12,5 à 16,5 puis 15%).

Dans ces deux profils le gradient de calcaire est faible. Il passe de 5,7 à 8,8% dans le profil Kh 4, de 4,3 à 8,1 puis 7,5% dans le profil Kh 5 pour des taux de calcaire actif compris entre 40 et 50 ‰.

Sur ces pentes fortes l'entraînement oblique de l'argile comme du calcaire est vraisemblable. Nous sommes en présence de *sol brun faiblement lessivé* (profil Kh 4) à profil A (B) C ou de *sol brun lessivé* (profil Kh 5) à profil ABC.

Du fait de la présence de calcaire, ces sols ont des pH élevés (8,5 à 8,8), un complexe saturé en ions Ca. Les autres valeurs sont toujours analogues à celles des précédents profils :

- Mg : 1,05 à 3,98 me%, croissant avec la profondeur ou variable pour un même profil,
- K : 1,35 à 0,34 me%, décroissant,
- Na : 0,10 à 0,14 me%, légèrement croissant.

La coloration de ces deux profils est brun-gris (10 YR 6/2) et uniforme dans le profil Kh 4, gris en surface (10 YR 5,5/1) à gris pâle (10 YR 6,5/1) en profondeur dans le profil Kh 5.

Les taux de carbone et azote sont très moyens et rapidement décroissants (Profils Kh 4. Carbone : 11,5 - 5,24 ‰. Azote : 1,1-0,81-0,58 ‰. C/N : 10,5-6,4-6,9. Profil Kh 5. Carbone : 15,1-5,74-4,36 ‰. Azote : 1,42-0,63-0,48 ‰. C/N : 10,6-9,1-9,1).

### La cuvette de Khost - Bakh

A la sortie des massifs, à environ 25 km de Khost, apparaissent de vastes cônes de déjection conglomératiques et encroûtés dans leur partie supérieure. Ils sont interstratifiés de dépôts limoneux (peut-être des loess colluvionnés). La vallée qui s'élargit à partir de cet endroit est aménagée en terrasses constituées dans des dépôts loessiques colluviaux observés par endroits sur 8 à 10 m.

Les profils prélevés dans cette vaste cuvette sont assez voisins de ceux de sols observés dans le S de Jalalabad et classés parmi les sols à accumulation calcaire peu différenciée et diffuse. Ils présentent un profil A B Ca C.

- A : gris-brun à brun (10 YR 5/2-5,5/3). Limono-argileux. Souvent fondu ou à tendance polyédrique moyenne à fine. Légèrement tassé. Compacité et cohésion moyennes à faibles. Porosité tubulaire souvent assez développée,
- B1 Ca : coloration se dégradant progressivement et passant à gris-brun plus ou moins pâle (10 YR 5,5/3-6/3-5,5/2). Teneur en argile croissant légèrement avec la profondeur. Structure polyédrique moyenne à fine bien développée. Apparition de points calcaires blancs et parfois, mais assez rarement, de petits amas inférieurs à 1/2 cm,
- B2 Ca C : à partir de 60 à 80 cm, l'horizon tend à devenir massif, la cohésion et la compacité plus fortes en même temps que la couleur s'éclaircit (10 YR 6,5/2-6/3-6,5/3).

La coloration décroissante de ces sols n'est pas sans rappeler celle de certains sols bruns subarides sous la pseudo-steppe. Ici, il s'agit de sols portant ancestralement les mêmes cultures irriguées (maïs, haricot, blé.... ou un tapis graminéen de jachère que paquent les moutons et les chèvres).

Les teneurs en carbone et azote faibles décroissent progressivement comme l'indiquent les résultats de 3 de ces profils :

|               | Carbone ‰   | Azote ‰     | C/N       |
|---------------|-------------|-------------|-----------|
| – Profil Kh 1 | 5,64 à 3,79 | 0,63 à 0,46 | 8,9 à 8,2 |
| – Profil Kh 2 | 3,90 à 3,18 | 0,50 à 0,37 | 7,8 à 8,7 |
| – Profil Kh 3 | 5,48 à 4,66 | 0,92 à 0,88 | 6,0 à 5,3 |

Dans ceux-ci le gradient calcaire est élevé pour deux d'entre eux, plus faible dans le troisième où le gradient de calcaire actif est cependant fort.

|               | Calcaire total % | Calcaire actif ‰ |
|---------------|------------------|------------------|
| – Profil Kh 1 | 9,0 à 24,3       | 50 à 90          |
| – Profil Kh 2 | 8,6 à 17,3       | 40 à 130         |
| – Profil Kh 3 | 7,4 à 8,0        | 15 à 50          |

Les teneurs en argile croissent avec la profondeur :

|               |               |
|---------------|---------------|
| – Profil Kh 1 | 18 à 26 %     |
| – Profil Kh 2 | 17 à 21,5 %   |
| – Profil Kh 3 | 17,5 à 23,5 % |

Ces sols à pH alcalins (8,1-8,8), saturés en ion Ca, présentent des taux variables souvent croissants de Mg (3,75 à 7,35 me% profil Kh 2; 1,75 à 6,25 me% profil Kh3), des teneurs décroissantes de K (0,34 à 0,17 me%), une légère augmentation de Na en profondeur, ce qui peut s'expliquer par un drainage interne relativement mauvais dans les parties les moins accidentées (0,13 à 0,63 me% profil Kh 1; 0,23 à 1,49 me% profil Kh 3).

Les taux de P205 total sont assez constants pour deux de ces profils (0,80 à 0,71 ‰ pour 35 et 30 ppm d'assimilable profil Kh 1; 0,73 et 0,65 pour 30 et 28 ppm d'assimilable profil Kh 2), légèrement plus élevés pour le troisième profil.

Ces sols semblent s'être encore développés sur des colluvions de loess. Leurs courbes sédimentologiques sont très étalées sur l'axe des abscisses (Q d  $\varphi$  : 1,75 à 2,55. Hétérométrie : 1,35 à 2,10), les indices de grossièreté faibles (médiane : 8 à 20  $\mu$ ). La composition en minéraux lourds semble assez voisine de celle des loess de la vallée du Logar mais les teneurs souvent plus élevées (6,7 à 9% dans 2 profils pour 0,66 à 1%, dans le profil Kh 3). On trouve essentiellement de l'épidote (72 à 82%), de la hornblende (13 à 27%), très peu de grenat, de zircon, de staurotide, de rutile. Par comparaison les courbes des échantillons du profil Kh 6 (loess plus colluvions de massif) ont des indices encore plus élevés (Q d  $\varphi$  : 2,5 à 3,62. Hétérométrie : 1,72 à 2,45) pour des médianes également fines (4,7 à 15,8  $\mu$ ) et des courbes à faciès parfois plurimodal indiquant la présence de sédiments ruisselés en mélange. La composition en minéraux lourds est différente (0,11 à 0,9%) avec prédominance de zircon (18 à 45%), de hornblende (9 à 17%), d'épidote (14 à 31%), de tourmaline (3 à 13%), de rutile (2 à 7%) de spinelle (6 à 18%) (Annexes 1-2).

L'examen morphoscopique des sables de ces différents échantillons montrent des quartz non usés ainsi que de très abondants débris de roches non identifiables et des feldspaths. On peut trouver occasionnellement de nombreux micas comme dans l'échantillon Kh 13. Tout ceci montre bien le caractère très hétérogène de ces sédiments.

Les argiles de ces différents types de sols sont essentiellement constituées par de l'illite et de la chlorite.

### Classification

*Les profils Kh 1-2-3, appartiennent à la classe des sols à différenciation calcaire.*

- + peu différencié
  - xx à accumulation calcaire diffuse ou par points
  - x à horizon pallide
    - . sur limons loessiques colluviaux.

*Le profil Kh 6, entre dans cette même classe*

- + très différencié
  - xx à encroûtement calcaire. Superficiellement décarbonaté
  - x à horizon ombrique
    - sur limons loessiques colluviaux.

*Les profils Kh 4 et 5, se placent mieux dans la classe des sols brunifiés*

+ climat tempéré humide

xx sols bruns

x sol brun faiblement lessivé (profil Kh 4)

xx sols lessivés

x sol brun lessivé (profil Kh 5)

Dans la cuvette de Bakh a été observée une accumulation calcaire affleurant en surface sous la forme d'un encroûtement. La datation par le carbone 14 a donné à celui-ci un âge de  $6\,490 \pm 120$  ans BP. C'est le seul vestige de ce genre que nous avons trouvé au cours de notre rapide mission dans le Paktia.

# LES REGIONS SEPTENTRIONALES

L'étude des sols d'Afghanistan s'est terminée par l'examen pédologique des régions septentrionales situées au voisinage de la frontière d'URSS, vastes zones de steppe subdésertique formant une unité géographique de part et d'autre de celle-ci et que traverse le cours de l'Amu Daria.

Passé le col de Salang à 3 600 m, franchissant le massif de l'Hindu Kuch, le voyageur pénètre assez rapidement dans une succession de paysages très différents de ceux qu'il était habitué de voir sur le versant S de ce même massif. Au paysage de montage bordant le torrent que suit la route succède, à partir de Dosi, celui de la large vallée de la rivière Pule Khumri encore encaissée dans les massifs. C'est une succession de bassins sédimentaires, séparés par des seuils rocheux, que la route traverse ensuite : bassins de Pule Khumri, de Baghlan et enfin de Kunduz. Dans chacun d'eux apparaissent des steppes occupant les hautes terrasses des fleuves ou les glacis de piedmont couverts par les loess qui en adoucissent les pentes. Hautes terrasses et glacis dominent les plaines alluviales où se tiennent les cultures irriguées. Ces plaines contrastent par leur couleur verdoyante avec le paysage d'alentour peu coloré et terne.

Nous avons étudié principalement une fraction du bassin des fleuves Kunduz et Khanabad à l'O et au N de Kunduz et fait également des observations au N-E d'Hérat entre le col de Sabzak et Quala I Naw.

## BASSIN DES FLEUVES KUNDUZ ET KHANABAD

La région prise comme lieu d'étude se situe principalement à l'O de la ville de Kunduz. Le choix de cet emplacement avait été dicté :

- par la proximité de la ville et la relative facilité d'accès,
- par la présence de 2 importantes rivières aux vallées alluviales fertiles et peuplées,
- par le voisinage vers l'O d'affleurements rocheux et de glacis-terrasses de raccordement couverts par des loess,
- par la présence dans la partie N de formations sableuses éoliennes.

Ainsi paraissait se trouver réuni un ensemble de facteurs favorables à donner une unité géomorphologique représentative de ces régions septentrionales. Le hasard a voulu, et nous ne l'avons appris qu'à notre retour à Kabul, que cette région, ainsi que plusieurs autres sur le versant N de l'Hindu Kuch, avaient déjà fait l'objet d'études pédologiques et cartographiques exécutées par la SOGREAH dans le cadre d'un vaste programme FAO. C'est pour cette raison que nous ne produisons de cette région qu'une carte schématique permettant de situer les prélèvements pédologiques effectués tout en les remettant dans le contexte plus large de l'unité de sol à laquelle ils appartiennent. Nous renverrons pour le détail à la carte pédologique exécutée par la SOGREAH.

## INTRODUCTION

Cette région se situe à une altitude de 400 - 450 m et est traversée du S - E au N - O par les rivières Kunduz et Khanabad, entre lesquelles ou le long desquelles se situent de nombreux villages : Alcin, Asqalan, Isa Khan, Mang Tapa, Aynul Majar, Gor Tapa....

Les points hauts du relief sont constitués par des affleurements rocheux que l'on observe dans le coin S-O de la feuille de Kunduz au 1/100.000 et dans la moitié supérieure E de cette coupure. Ils atteignent exceptionnellement 1 028 - 1 035 m mais se tiennent le plus souvent à des altitudes de 600 - 800 m.

Des « dasht » (Car I Darrah, Abdan, Esantrop), aux surfaces steppiques et désolées, font la transition entre les vallées verdoyantes et les reliefs montagneux, en même temps que de part et d'autre des 2 fleuves avant ou après leur confluence au N-O de Gor Tapa se voient des formations éoliennes sableuses actuellement en voie de remaniement.

## 1 - CLIMATOLOGIE

Le climat de cette région est connu par les observations météorologiques de la ville de Kunduz (Altitude 433 m. Latitude  $36^{\circ} 40' N$ . Longitude  $68^{\circ} 55' E$ . Observations : 1 958 - 1 970, auxquelles nous adjoindrons pour caractériser cette partie septentrionale d'Afghanistan celles de :

– Baghlan, au S de Kunduz. Altitude 510 m. Latitude  $36^{\circ} 12' N$ . Longitude  $68^{\circ} 45' E$ . Observations : 1 958 - 1 970,

– Maïmana, au N-E d'Hérat près de la frontière d'URSS. Altitude 815 m. Latitude  $35^{\circ} 55' N$ . Longitude  $64^{\circ} 45' E$ . Observations : 1 959 - 1 970,

– Mazari-Sharif, une centaine de km à l'O de Kunduz. Altitude 378 m. Latitude  $36^{\circ} 42' N$ . Longitude  $67^{\circ} 12' E$ . Observations : 1 959 - 1 970.

### Pluviométrie

La moyenne annuelle varie entre 190 mm à Mazari-Sharif et 372 mm à Maïmana. Il tombe 350 mm à Kunduz contre 280 mm à Baghlan. La pluviométrie se répartit d'Octobre-Novembre à Avril-Mai avec un maximum en Février-Mars-Avril. Il n'y a aucune précipitation de Juin à Septembre.

On note des périodes d'enneigement peu importantes (12 jours de neige à Baghlan, 12,5 à Kunduz, 15,9 à Maïmana, 9 à Mazari-Sharif) pendant ces différents mois, avec des hauteurs maximales de 20 à 25 cm en Décembre-Janvier (exceptionnellement 43 cm en Décembre à Maïmana).

## Température

La température moyenne annuelle est de :

- 14° 7 à Baghlan,
- 16° 5 à Kunduz,
- 14° 4 à Maïmana,
- 16° 9 à Mazari-Sharif.

Les températures moyennes mensuelles varient entre Janvier et Juillet de :

- 2° 3 à 28° à Baghlan,
- 2° 1 à 31° 3 à Kunduz,
- 3° 3 à 26° 7 à Maïmana,
- 3° 1 à 31° 4 à Mazari-Sharif.

Les températures minimales (Décembre-Janvier) et maximales (Juin-Juillet-Août) sont encore plus contrastées :

|                 |        |        |       |       |
|-----------------|--------|--------|-------|-------|
| – Baghlan       | –19° 6 | –23° 0 | 42° 0 | 43° 8 |
| – Kunduz        | –20°   | –21° 6 | 44° 0 | 45° 2 |
| – Maimana       | –15° 8 | –18° 1 | 42° 5 |       |
| – Mazari-Sharif | –15° 5 | –17° 0 | 45° 2 | 46° 0 |

## Humidité relative

La moyenne varie entre :

- 49% (Juin-Juillet) à 84-85% (Décembre-Janvier) à Baghlan,
- 31% (Juillet-Août) à 79-80% (Décembre-Janvier-Février) à Kunduz,
- 37% (Août) à 77-78% (Février-Mars) à Maïmana,
- 28% (Août) à 77-78% (Janvier-Février) à Mazari-Sharif.

## Evaporation potentielle

Elle suit une courbe inverse de l'humidité relative avec une période maximale de Mai à Septembre :

|                 | Juillet | Janvier | Total annuel |
|-----------------|---------|---------|--------------|
| – Baghlan       | 278 mm  | 23 mm   | 1 444 mm     |
| – Kunduz        | 421 mm  | 31 mm   | 2 156 mm     |
| – Maimana       | 298 mm  | 36 mm   | 1 643 mm     |
| – Mazari-Sharif | 407 mm  | 31 mm   | 2 185 mm     |

## Evapotranspiration potentielle

Elle est comprise entre 822,2 mm à Maïmana et 1 026,6 à Mazari-Sharif, pour 996,8 à Kunduz et 859,7 mm à Baghlan. Elle est la plus importante, comme pour l'évaporation, de Mai à Septembre période pendant laquelle s'effectuent les cultures car les températures basses d'automne et d'hiver limitent le cycle végétatif. C'est ainsi que l'on compte pendant cette période 63 jours de gelée à Kunduz contre 73 jours à Baghlan.

## Insolation

Les heures annuelles d'insolation se chiffrent à 2 787 à Mazari-Sharif contre 2 683 à Kunduz avec des insolationnelles maximales de Mai à Septembre.

**LEGENDE DE LA  
FIGURE 43**

- 1 Sols minéraux bruts  
xériques  
inorganisés  
d'apport (remaniements éoliens ou dunes)  
sur sables, sables limoneux
- 2 Sols peu évolués  
d'origine non climatique  
d'apport alluvial  
modaux à hydromorphes  
sur limons, limons argileux
- 3 Sols hydromorphes  
minéraux ou peu humifères  
à pseudo-gley  
par action de nappe  
sur limons, limons argileux
- 4 à gley  
de faible profondeur  
sur limons, limons argileux
- 5 organiques  
humiques à gley  
salés ou à anmoor calcique  
sur limons, limons argileux
- 6 Sols sodiques  
à structure dégradée ou non dégradée. Indifférenciés  
sols salins et salins à alcalins  
à efflorescences et à croûtes salines  
sur limons, limons argileux
- 7 Sols à différenciation calcaire  
peu différenciés  
à accumulation diffuse (siérozems)  
à horizon pallide  
sur limons, limons argileux

**ASSOCIATIONS**

- 8 Sols peu évolués (2) et hydromorphes (3-4)
- 9 Sols hydromorphes (3-4) à texture variable (lit de cours d'eau et terrasse inondable)  
Taches de sols hydromorphes organiques (5)
- 10 Sols hydromorphes à gley (4) et organiques (5)
- 11 Sols minéraux bruts ou peu évolués sur matériaux non différenciés (colluvions de massifs calcaires, limons et limons argileux, conglomérat....)
- 12 Identique à 11 avec sols à accumulation gypseuse en bas de piedmont
- 13 Recouvrement sableux, sablo-limoneux éolien sur sols hydromorphes (3-4) ou sodiques (6)

## Les indices climatiques

### Indice d'aridité de de MARTONNE

|                 |      |
|-----------------|------|
| – Baghlan       | 11,3 |
| – Kunduz        | 13,2 |
| – Maïmana       | 15,2 |
| – Mazari-Sharif | 7,1  |

### Indice de HENIN-AUBERT

|                 |         |                                                               |
|-----------------|---------|---------------------------------------------------------------|
| – Baghlan       | 28,5 mm | } Pédogenèse de type subdésertique<br>pour $\alpha = 1$ limon |
| – Kunduz        | 17,4 mm |                                                               |
| – Maïmana       | 23,3 mm |                                                               |
| – Mazari-Sharif | 28 mm   |                                                               |

### Indice d'EMBERGER

|                 |   |        |       | Etages bioclimatiques            |
|-----------------|---|--------|-------|----------------------------------|
| – Baghlan       | P | 280 mm |       |                                  |
|                 | M | 37° 4  |       |                                  |
|                 | m | –2° 5  | 24,1  | Aride à semi-aride à hiver froid |
| – Kunduz        | P | 350 mm |       |                                  |
|                 | M | 38° 7  |       |                                  |
|                 | m | –2° 3  | 29,3  | Semi-aride à hiver froid         |
| – Maimana       | P | 372 mm |       |                                  |
|                 | M | 35° 4  |       |                                  |
|                 | m | –1° 9  | 34,4  | Semi-aride à hiver froid         |
| – Mazari-Sharif | P | 190 mm |       |                                  |
|                 | M | 38° 6  |       |                                  |
|                 | m | –2° 0  | 16,05 | Aride à hiver froid              |

### Graphiques ombro-thermiques de BAGNOULS-GAUSSEN (Figure 44)

A Baghlan, Kunduz, Maïmana les mois secs vont de Mai à Octobre, tandis qu'à Mazari-Sharif la sécheresse est plus marquée et s'étale d'Avril à Octobre-Novembre.

## 2 - VEGETATION

Sur ce versant N de l'Hindu Kuch s'observent à partir de 3 000 m des marécages et prairie à *Carex*, *Scirpus* auxquels succèdent jusqu'à 2 500 - 2 000 m des peuplements plus ou moins denses de *Juniperus sertschania* qu'accompagnent *Astragalus* et *Cousinia*.

*Astragalus* débute vers 800 à 1 000 m tandis que *Pistacia vera* se tient sur les pentes loessiques. A ces altitudes on trouve une steppe plus ou moins clairsemée à *Aegylops*, *Hordeum*, *Poa bulbosa*, *Carex*, *Festuca*, *Bromus*.... tandis qu'iris et tulipes poussent abondamment au printemps.

## KUNDUZ

| 1958-1970     | Janv. | Fév.  | Mars | Avril | Mai   | Juin  | Juil. | Août  | Sept. | Oct. | Nov. | Déc.  | Année |
|---------------|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|-------|-------|
| Pluv. mm      | 39    | 55    | 75   | 67    | 41    | 0,2   | 2     | 0,4   | 0,1   | 8    | 26   | 36    | 350   |
| j. pluie      | 4     | 6     | 10   | 11    | 5     | 0,4   | 0,8   | 0,1   | 0,1   | 3    | 5    | 5     | 50,4  |
| j. neige      | 4     | 4     | 2    | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0    | 0,5  | 2     | 12,5  |
| h. max. neige | 25    | 22    | 12   | 2     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0    | 11   | 15    | 25    |
| t. moy. T     | 2,1   | 5,3   | 10,6 | 16,4  | 22,2  | 28,7  | 31,3  | 29,2  | 23,5  | 16,4 | 8,5  | 3,9   | 16,5  |
| t. max. abs.  | 21,2  | 25,0  | 32,8 | 32,7  | 42,2  | 44,0  | 45,2  | 42,3  | 38,5  | 33,4 | 27,8 | 20,4  | 45,2  |
| t. min. abs.  | -21,6 | -16,1 | -6,1 | -2,1  | 4,2   | 12,8  | 16,2  | 14,1  | 6,0   | -1,8 | -7,0 | -20,0 | -21,6 |
| Humid. %      | 79    | 80    | 78   | 75    | 58    | 32    | 31    | 31    | 34    | 48   | 68   | 79    | 57    |
| Evap. Pot.    | 31    | 37    | 55   | 84    | 182   | 378   | 421   | 391   | 299   | 173  | 70   | 35    | 2156  |
| ETP           | 2,7   | 4,7   | 25,5 | 59,4  | 121,0 | 188,2 | 220,9 | 187,7 | 114,3 | 57,1 | 12,8 | 2,6   | 996,8 |
| Insolation    | 108   | 130   | 154  | 193   | 280   | 319   | 334   | 333   | 301   | 227  | 180  | 114   | 2673  |

## BAGHLAN

| 1958-1970     | Janv. | Fév.  | Mars | Avril | Mai   | Juin  | Juil. | Août  | Sept. | Oct. | Nov. | Déc.  | Année |
|---------------|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|-------|-------|
| Pluv. mm      | 30    | 40    | 62   | 62    | 30    | Tr    | Tr    | Tr    | Tr    | 9    | 24   | 23    | 280   |
| j. pluie      | 3,4   | 5,3   | 10,0 | 11,0  | 7,0   | 0,4   | 0,6   | 0,1   | 0,1   | 3,0  | 4,5  | 5,4   | 50,8  |
| j. neige      | 4     | 3     | 2    | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0    | 1    | 2     | 12    |
| h. max. neige | 23    | 22    | 10   | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0    | 1    | 5     | 23    |
| t. moy. T     | 2,3   | 5,3   | 9,6  | 15,7  | 21,2  | 25,8  | 28,0  | 25,1  | 20,1  | 14,5 | 7,0  | 3,2   | 14,7  |
| t. max. abs.  | 23,4  | 25,5  | 31,4 | 33,6  | 40,6  | 42,0  | 43,8  | 41,1  | 37,9  | 33,6 | 29,0 | 20,3  | 43,8  |
| t. min. abs.  | -23,0 | -16,5 | -9,7 | -2,0  | 3,5   | 9,5   | 12,0  | 11,0  | 2,8   | -3,3 | -7,3 | -19,6 | -23,0 |
| Humid. %      | 85    | 83    | 80   | 79    | 66    | 49    | 49    | 52    | 55    | 63   | 75   | 84    | 68    |
| Evap. Pot.    | 23    | 31    | 48   | 69    | 138   | 255   | 278   | 234   | 178   | 113  | 51   | 26    | 1444  |
| ETP           | 2,7   | 7,1   | 25,6 | 62,7  | 116,2 | 152,5 | 192,2 | 147,4 | 86,5  | 51,1 | 12,9 | 2,6   | 859,7 |
| Insolation    | -     | -     | -    | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -    | -    | -     | -     |

## MAIMANA

| 1959-1970     | Janv. | Fév.  | Mars  | Avril | Mai   | Juin  | Juil. | Août  | Sept. | Oct. | Nov.  | Déc.  | Année |
|---------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|
| Pluv. mm      | 48    | 56    | 90    | 68    | 34    | 2     | 1     | Tr    | Tr    | 10   | 28    | 35    | 372   |
| j. pluie      | 5,3   | 7     | 11,8  | 11    | 4     | 0,4   | 0,3   | 0,2   | 0,2   | 2,6  | 4,7   | 4,8   | 52,3  |
| j. neige      | 5     | 4,5   | 2,7   | 0,2   | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0    | 1     | 2,5   | 15,9  |
| h. max. neige | 20    | 25    | 15    | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0    | 20    | 43    | 43    |
| t. moy. T     | 3,3   | 5,5   | 8,5   | 14,2  | 19,6  | 24,5  | 26,7  | 24,8  | 19,8  | 13,8 | 7,9   | 4,4   | 14,4  |
| t. max. abs.  | 25,3  | 27,5  | 30,6  | 35,3  | 39,8  | 42,5  | 42,5  | 40,5  | 38,3  | 33,5 | 30,1  | 25,4  | 42,5  |
| t. min. abs.  | -18,1 | -15,8 | -12,7 | -3,1  | 3,8   | 6,1   | 11,3  | -9,4  | 1,6   | -5,6 | -12,0 | -15,5 | -18,1 |
| Humid. %      | 75    | 77    | 78    | 72    | 58    | 41    | 38    | 37    | 40    | 50   | 66    | 74    | 59    |
| Evap. Pot.    | 36    | 39    | 44    | 77    | 150   | 260   | 298   | 281   | 217   | 135  | 66    | 40    | 1643  |
| ETP           | 5,4   | 9,5   | 25,5  | 56,1  | 101,3 | 142,7 | 176,8 | 143,8 | 86,5  | 51,1 | 15,5  | 7,8   | 822,2 |
| Insolation    | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -    | -     | -     | -     |

Evaporation potentielle - ETP en mm. Insolation en heures.

MAZARI-SHARIF

| 1959-1970     | Janv. | Fév.  | Mars | Avril | Mai   | Juin  | Juil. | Août  | Sept. | Oct. | Nov. | Déc.  | Année  |
|---------------|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|-------|--------|
| Pluv. mm      | 26    | 33    | 40   | 33    | 12    | 2     | 0     | Tr    | 0     | 5    | 16   | 23    | 190    |
| j. pluie      | 4,5   | 5,7   | 8,8  | 10,3  | 3,0   | 0,3   | 0,4   | 0,1   | 0,1   | 1,7  | 4,7  | 5,4   | 45     |
| j. neige      | 3     | 3     | 1    | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0    | 0    | 2     | 9      |
| h. max. neige | 12    | 12    | 15   | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0    | 1    | 13    | 15     |
| t. moy. T     | 3,1   | 6,5   | 11,2 | 17,4  | 24,2  | 29,2  | 31,4  | 29,0  | 22,7  | 15,9 | 7,9  | 4,5   | 16,9   |
| t. max. abs.  | 24,0  | 28,6  | 32,4 | 37,8  | 43,0  | 44,8  | 45,2  | 46,0  | 39,4  | 35,5 | 28,8 | 23,4  | 46,0   |
| t. min. abs.  | -17,0 | -13,3 | -5,5 | -0,8  | 7,3   | 11,4  | 12,0  | 13,7  | 2,6   | -2,0 | -7,5 | -15,5 | -17,0  |
| Humid.%       | 78    | 77    | 72   | 65    | 46    | 31    | 29    | 28    | 33    | 45   | 65   | 74    | 54     |
| Evap. Pot.    | 31    | 41    | 66   | 113   | 235   | 365   | 407   | 378   | 274   | 166  | 68   | 41    | 2185   |
| ETP           | 2,8   | 7,1   | 28,7 | 69,3  | 143,7 | 191,9 | 220,9 | 185,0 | 108,2 | 51,1 | 12,8 | 5,2   | 1026,6 |
| Insolation    | 118   | 127   | 146  | 183   | 306   | 354   | 358   | 339   | 291   | 246  | 171  | 148   | 2787   |

En allant vers la partie la plus aride (entre Kunduz et l'Amu Daria) ces espèces sont remplacées par *Artemisia herba alba*, *Alhaghi camelorum*, *Zygophyllum*... espèces à cycle court. *Prosopis sp.* se développe en cercle dans les endroits asséchés et ces taches sont visibles sur les photographies aériennes. On peut avoir aussi dans ces régions une steppe à *Acantholimon*. Dans les aires d'irrigation se développent : *Cynodon*, *Aegylops*, *Alhaghi*, *Prosopis* et *Glicyrrhiza*. *Phragmites*, *Typha* et divers *Cyperus* colonisent les parties marécageuses tandis que sur les sols salés se tient la végétation classique des Chénopodiacées : *Salsola*, *Sueda*, *Aeluropus*...

PELT-HAYON-YOUNOS (1 968), dans une étude faite sur la végétation halophyle steppique en bordure de l'Amu Daria, estiment que les Chénopodiacées constituent environ 50% de cette végétation. Elles sont surtout représentées par *Salsola kosshinskyi* et *Seidlitzia rosmarinus* appartenant au bloc iranotouranien (plantes euryméditerranéennes et iranotouraniennes comprenant les 3/4 de la flore, le dernier quart étant cosmopolite). Cette steppe halophyle se développe par taches au milieu d'un semi-désert steppique à touffes pérennantes. Elle occupe les parties basses les plus humides :

- *Salicornia* annuelle : point bas, non longuement immergé,
- *Salicornia herbacea* : point en légère surélévation,
- *Aeluropus littoralis* et *Alhaghi camelorum* en station topographique plus élevée. La première est plus halophyle que la seconde qui ne survit que grâce à son système racinaire profond atteignant des horizons peu salés. Celle-ci arrive grâce à lui à se maintenir sur des sols à croûte très salés. *Aeluropus* forme des prés lorsque la croûte superficielle est faible à nulle.

En plus des plantes ci-dessus on observe également sur ces sols salés :

- *Sueda arcuata* Halophyte stricte
- *Sueda sp.* Halophyte stricte
- *Salsola carinata* Tolérante
- *Frankenia hirsuta* Halophyte stricte
- *Tamarix hispida* Tolérante
- *Limonium reniforme* Halophyte stricte
- *Centaurium spicatum* Halophyte stricte
- *Cressa critica* Halophyte stricte
- *Juncus maritimus* Halophyte stricte
- *Halostachis caspida* Halophyte stricte

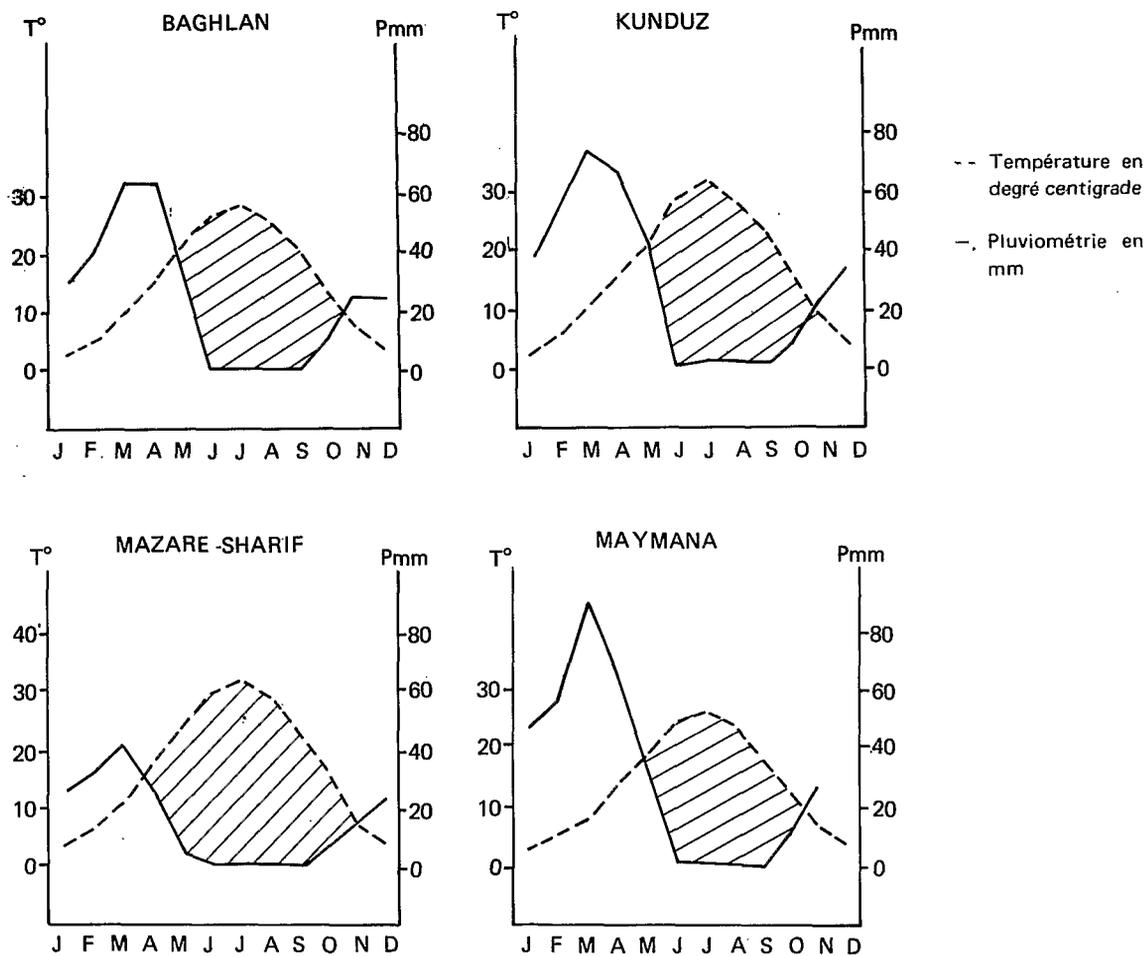


Figure 44 - Graphiques ombro-thermiques

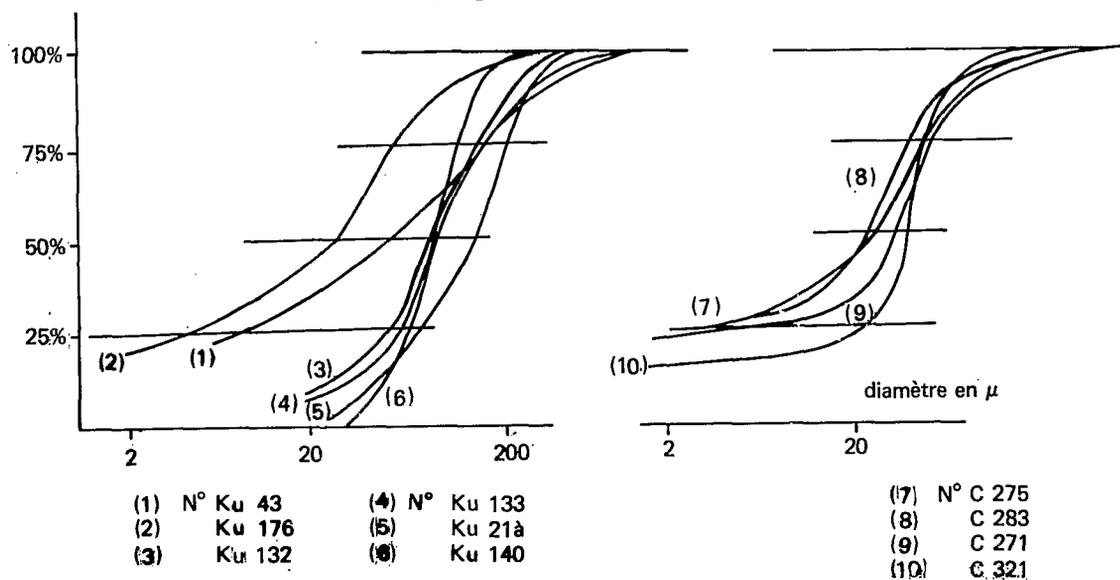


Figure 45 - Courbes cumulatives de divers sédiments loessiques et sableux éoliens

### 3 - SEDIMENTOLOGIE ( FIGURE 45) (\*)

L'examen sédimentologique a porté principalement sur des loess prélevés soit dans la région de Kunduz, soit dans celle située au N-E d'Hérat entre le col de Sabzak (2 400 m) et Quala I Naw (1 050 m).

#### Les formations loessiques

En fonction de la teneur pondérale en minéraux lourds nous avons cru pouvoir distinguer :

- le sédiment en place tel qu'il paraît s'être déposé avant de subir des phénomènes de remaniement sous l'action de l'érosion sur les pentes ou de transport par les cours d'eau,
- le sédiment repris sous l'action de ces différents facteurs.

Dans le loess non remanié la teneur pondérale est faible (0,1-0,2 %). C'est le cas des sédiments du «dasht» Abdan au N de la rivière Khanabad (Profil K 17) et de ceux prélevés au col de Sabzak et en contrebas de celui-ci (Profils C 27-28-32). Dans les sédiments remaniés la teneur pondérale en minéraux lourds est plus élevée, fréquemment supérieure à 1-2% (Profils K 1 et 18 formant respectivement une terrasse haute aux rivières Kunduz et Khanabad).

D'une façon générale ces loess ont un indice de grossièreté qui varie entre 21 et 40  $\mu$ . Il est le plus souvent compris entre 20 et 30  $\mu$ . On observe les plus forts indices, tout au moins pour les horizons superficiels, parmi les sédiments repris par les eaux.

Les courbes cumulatives du sédiment total sont différemment étalées sur l'axe des abscisses et à faciès bi-modal. Les courbes qui ont le moins fort pendage sont celles de sédiment repris par les eaux tout récemment et constituant des parties basses inondées ou proches d'inondation (plaine alluviale ou berges du fleuve Kunduz : profils K 4, K 15). Ces courbes ont les plus forts indices :

|  | N°    | Hétérométrie | Q d $\varphi$ |
|--|-------|--------------|---------------|
|  | K 41  | 0,75         | 1,82          |
|  | K 43  | 1,30         | 2,52          |
|  | K 154 | 1,15         | 1,65          |

Ceux des terrasses hautes du Kunduz (Profil K 1) et du Khanabad (Profil K 18) sont les mieux triés :

- Profil K 1 : hétérométrie 0,30 à 0,40, Q d  $\varphi$  : 0,76 à 0,95
- Profil K 18 : hétérométrie 0,30 à 0,50, Q d  $\varphi$  : 0,75 à 0,94

Les loess du «dasht Abdan (Profil K 17) et de la région de Quala I Naw (Profils C 27-28-32) sont intermédiaires entre les premiers et seconds exemples ci-dessus, mis à part les horizons superficiels du profil C 32 (Echantillons C 321-322) qui paraissent avoir subi un remaniement éolien important se traduisant par un bon triage et des indices plus faibles :

- Profil 17 : hétérométrie : 0,62 à 0,73, Q d  $\varphi$  : 1,34 à 1,82
- Profil C 27-28-32 : hétérométrie : 0,52 à 0,73, Q d  $\varphi$  : 0,90 - 2,15
- Echantillons C 321-322 : hétérométrie : 0,30 et 0,41, Q d  $\varphi$  : 0,55 et 0,64.

Ce sont ces derniers loess qui ont les teneurs pondérales en minéraux lourds les plus faibles. Il y a une assez grande homogénéité dans la composition. L'épidote domine (39 à 62%) pour 21 à 52% de hornblende. On observe dans le C 325 de la hornblende d'origine volcanique. En plus de ces deux minéraux on trouve par ordre d'importance : le grenat (5 à 25%) surtout important dans les échantillons C 32 où les pourcentages décroissent de la surface vers la profondeur alors qu'ils augmentent dans le profil C 27, le zircon (+ à 6%), la staurotide (0 à 9%), l'augite (0 à 6%).... l'andalousite, la sillimanite, le disthène, la tourmaline, le rutile....

Les argiles de ces loess sont de l'illite et de la chlorite dominantes avec de la montmorillonite en quantité plus ou moins importantes mais aussi parfois de l'attapulгите.

(\*) Voir Annexes 1 et 2.

## Les formations éoliennes sableuses

Au N-O de Kunduz s'observent des formations sableuses éoliennes moutonnantes. Elles se voient de part et d'autre des rivières Kunduz et Khanabad peu avant et après leur confluence. Elles forment des buttes de plusieurs mètres de haut et sont fixées par une steppe lâche, tandis qu'autour des plantes s'amoncellent de petits monticules sableux pouvant atteindre 40 à 50 cm de hauteur. On passe progressivement par endroits à des dunes vives qui viennent ainsi recouvrir la berge du fleuve au N de Qos Tapa où elles se superposent aux dépôts limono-argileux. Ces dunes vives (Echantillon K 140) se déplacent sur un substratum sableux (Profils K 2 et 13).

L'examen des courbes sédimentologiques cumulatives montre un faciès bi-modal. Le sédiment est bien trié dans la dune vive (N<sup>o</sup> 140), diversement trié dans les profils K 2 et 13 (hétérométrie : 0,55 à 0,78. Q d  $\varphi$  : 0,65 à 0,82). L'indice de grossièreté varie entre 80 et 150  $\mu$ . Les sables du profil K 2, les plus grossiers, sont superficiellement lamellaires avec des interstratifications de sable noir et plus grossier contenant de nombreux micas.

L'examen morphoscopique des quartz montre une très large dominance de grains émoussés picotés auxquels s'ajoutent quelques anguleux, subanguleux, ovoïdes et ronds. Ces derniers sont plus abondants dans les horizons supérieurs des profils K 2 et 13. Les quartz de la dune vive, beaucoup plus fins, se présentent de façon identique mais les subanguleux y sont plus nombreux. Tous ces sables, dans leur ensemble, apparaissent comme déjà assez évolués.

La fraction minéraux lourds est peu différente en composition de celle des loess mais les teneurs pondérales sont plus fortes (3,3 à 5,5 %).

Les fleuves Kunduz et Khanabad semblent s'être frayés difficilement un passage dans cette formation sableuse ainsi qu'en témoignent les multiples méandres. Il est facile de distinguer soit sur les photographies aériennes soit sur le terrain, la trace de méandres ensablés. Ceci pourrait être en liaison avec un soulèvement généralisé de la vaste dépression Afghano-Tadjike que nous évoquerons ci-après.

La fraction argileuse de ces sables est identique à celle des loess précédents.

## Le massif

Situé dans le coin S-O de la feuille de Kunduz au 1/100.000, il n'a pas fait l'objet d'étude particulière. Il semble s'agir d'un ensemble de calcaire à pendage assez redressé et recouvert par places par des loess.

Les ravines d'érosion descendant de ce massif montre un limon loessique, parfois à pseudo-mycélium et amas calcaires et gypseux friables, dans lequel s'interstratifient des cailloux calcaires anguleux diversement grossiers ou des galets roulés.

Le piedmont de ce massif s'avance vers la cuvette inondable par de grandes ondulations, de faible hauteur.

## Histoire géologique récente

Cette région de Kunduz appartient à la vaste dépression Afghano - Tadjike dont la majeure partie se situe en URSS ou elle englobe la Mer Caspienne (A. A. NIKONOV 1 970), tandis qu'elle s'appuie vers l'E sur le Pamir, dernier contrefort avancé de l'Himalaya. Ce vaste territoire est considéré par les auteurs Russes comme l'un des plus mobiles de l'Asie moyenne au cours du Quaternaire. Il aurait subi un soulèvement général, plus fort sur sa périphérie E au contact des massifs, de la période Néogène au Quaternaire. L'activité tectonique se serait traduite par une périodicité de phases, chacune de quelques centaines de milliers d'années, avec un affaiblissement général de l'intensité et de l'amplitude des mouvements, de la fin du Néogène à l'époque actuelle et de l'E vers l'O. La dernière phase d'activité se serait produite au cours des cent mille dernières années. Les valeurs moyennes de cette activité, pour le Quaternaire tout entier, ne seraient pas supérieures aux valeurs actuelles.

D'après les cartes schématiques données par NIKONOV (Schéma de la zonalité tectonique. Carte des éléments de la tectonique Quaternaire) la région nous intéressant dans cette partie N de l'Afghanistan

se situerait dans une zone de faible soulèvement (S de Tashkurgan) et d'affaissement ralenti (Kunduz) avec des soulèvements partiels locaux.

Un tableau de ce même auteur donne un schéma stratigraphique des dépôts quaternaires de la dépression Afghano-Tadjike dans lequel sont indiquées la nature et l'épaisseur de ceux-ci.

Nous signalerons ici que la datation par le carbone 14 de l'encroûtement calcaire prélevé au col de Sabzak (Profil C 27) a donné un âge de  $7\,340 \pm 115$  ans BP qui permet de considérer ces loess comme les derniers dépôts éoliens importants de ces régions, mis à part les remaniements subactuels à actuels.

#### 4 - RESEAU HYDROGRAPHIQUE - LES FLEUVES KUNDUZ ET KHANABAD

La rivière de Kunduz, une des plus importantes d'Afghanistan, prend sa source au N de Bamyân et porte successivement les noms de Sayghan, Pule Khumri.... Elle reçoit au N-O de Kunduz la rivière Khanabad beaucoup moins importante, et va se jeter dans l'Amu Daria qui sert de frontière entre l'Afghanistan et l'URSS, près de Kolukh Tapa où se trouve la station de jaugeage du Service Hydrologique.

##### Régime et débits

Les renseignements que nous possédons sur ces deux rivières sont fragmentaires et portent surtout sur 1 966, 1 967, 1 968. Les mesures de débit sur les deux premières de ces années se trouvent consignées dans le graphique suivant (Figure 46).

La crue des deux fleuves débute en Mai et se poursuit jusqu'en Juillet-Août avec un maximum en Juin ou Juin-Juillet. Leurs courbes de débit ne sont pas comparables. Les maxima mensuels sont respectivement de 11.000 à 12.000 m<sup>3</sup>/s pour la rivière Kunduz, de 2 500 à 3 500 m<sup>3</sup>/s pour le Khanabad, tandis que pendant les autres mois ces débits se situent entre 1 000 et 3 000 m<sup>3</sup>/s pour le Kunduz et 200 à 500 m<sup>3</sup>/s pour la rivière Khanabad.

Les débits maximaux journaliers enregistrés, ainsi que les minimaux sont les suivants pour ces 3 années :

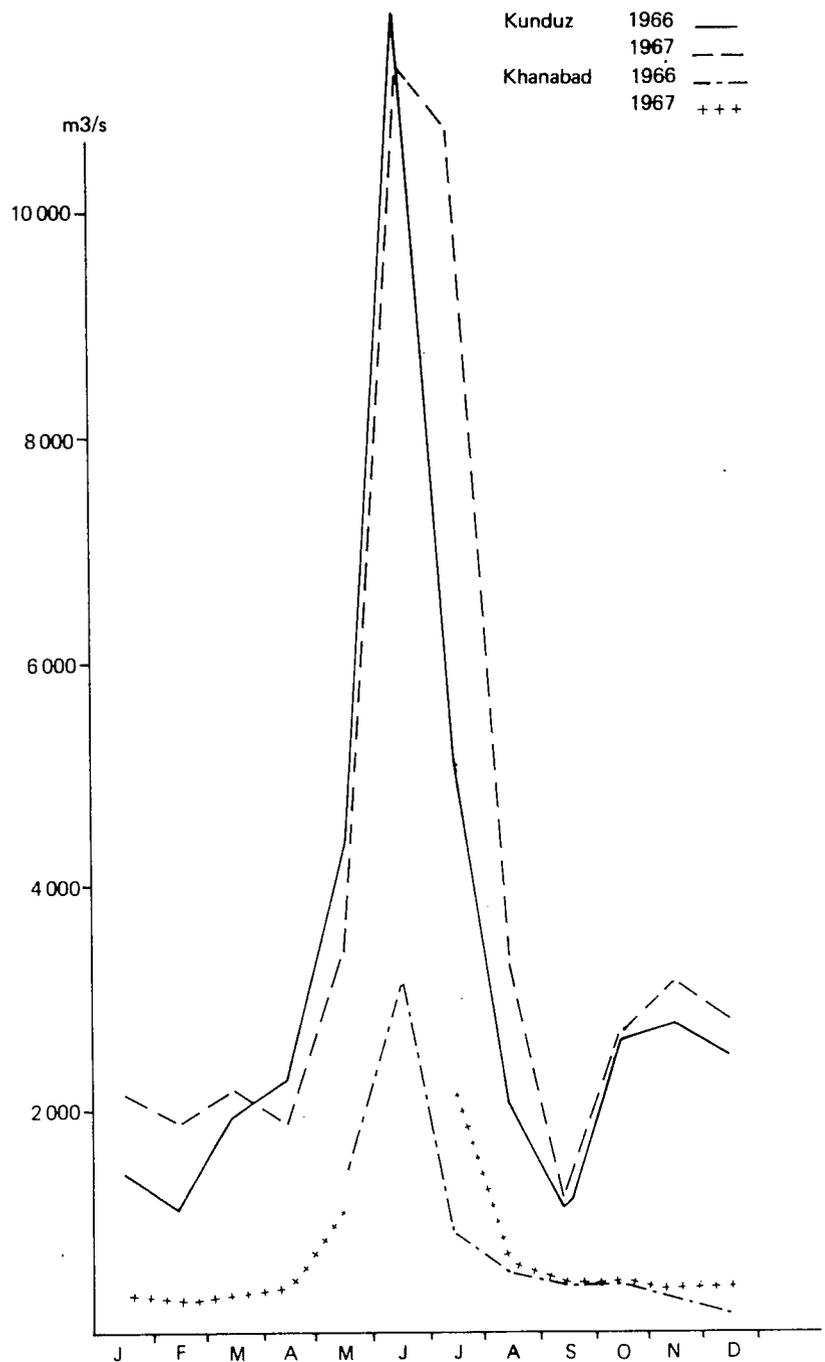
|          | Débit maximal        |       |       | Débit minimal        |       |       |
|----------|----------------------|-------|-------|----------------------|-------|-------|
|          | en m <sup>3</sup> /s |       |       | en m <sup>3</sup> /s |       |       |
| Kunduz   | 1 966                | 1 967 | 1 968 | 1 966                | 1 967 | 1 968 |
|          | 573                  | 588   | 450   | 10,5                 | 33,4  | 35,8  |
|          | 21/6                 | 13/6  | 13/6  | 1/10                 | 18/9  | 15/9  |
| Khanabad | 324                  | 156   | 151   | 9,45                 | 4,5   | 10,9  |
|          | 8/5                  | 12/6  | 10/6  |                      | 13/12 | 12/3  |
|          |                      |       |       |                      |       |       |

La période de crue apparaît décalée dans le temps par rapport à celle de fleuves d'autres régions étudiées :

- Logar et Kabul : Avril-Mai,
- Helmand Rod, Khash Rod et Farah Rod : Mars-Avril-Mai,
- Kunar : Avril à Septembre.

Il semble que dans le cas des rivières Kunduz et Khanabad, la crue soit la conséquence plus de la fonte des neiges accumulées sur les versants N du Kohé Baba et de l'Hindu Kuch, que des précipitations tombées sur l'ensemble du bassin versant.

**Figure 46** - Courbes de débit mensuel des fleuves Kunduz et Khanabad.



**Les eaux (Annexes 3-4-5)**

Les eaux des rivières Kunduz (N° 35) et Khanabad (N° 36), prélevées en Août 1969, entrent dans la classe C3 S1 (action salinisante forte, alcalisante faible). Elles sont carbonatées et chlorurées à dominance sodique et calcique plus faible avec des teneurs en magnésium non négligeables. Les sulfates sont moins importants. Celle d'une nappe prélevée dans un puits près de Mang Tapa sur une butte témoin appartient à la classe C2 S1 et présente une composition voisine (Conductivité de 0,78 mmho/cm). Les pH de ces eaux varient entre 7,75 et 8,05. Le rapport SOGREAH signale en ces régions des eaux de nappe à 1,5-3,5 mmhos/cm (1 à 2 gr de sels/l), pouvant atteindre 12 mmhos/cm (7 gr/l), avec des nappes encore plus salées dans les parties basses (15 gr/l) et des pH de 9. Ces nappes seraient alors à moins de 2 m (Asqalan-Gor Tapa).

## 5 - LES SOLS

Ils entrent dans 5 classes différentes encore que l'appartenance de certains à telle ou telle classe soit très discutable dans une classification de type génétique.

### 5.1 LES SOLS MINÉRAUX BRUTS

- + xériques
  - xx inorganisés
    - x d'apport (remaniements éoliens ou dunes)  
sur matériau sableux, sables limoneux.

et

### LES SOLS PEU ÉVOLUÉS (\*)

- + d'origine non climatique
  - xx d'apport
    - x modal  
sur matériau sableux

Ces sols se localisent au N de Qos Tapa, sur la rive gauche du fleuve Kunduz ainsi qu'au N d'Asqalan. Leur surface est couverte par une steppe herbacée très lâche qui retient des sables éoliens s'accumulant aux pieds des touffes où ils forment des monticules de 15 à 50 cm de haut. Ce système moutonnant fait la transition avec des dunes vives que l'on observe sur la bordure du fleuve Kunduz (Echantillon K 140. *Sol minéral brut xérique*) où la berge est ensablée sous de tels dépôts. Le sol sur lequel se déplace ces sables éoliens (Profil K 13) est *peu évolué, non climatique*, classique, très peu différencié en couleur dans ses différents horizons, à structure fondue peu développée du fait d'une texture sableuse très accusée sur 60 cm :

- argile : 3,0 à 4,5%
- sable fin : 63,4 à 65,7%
- sable grossier : 21,1 à 18,2%

Ce profil est pauvre en carbone et azote (Carbone : 1,59 à 1,06 ‰ . Azote : 0,15 à 0,12 ‰ . C/N : 10,6 à 8,8).

Il a des pH alcalins (8,8), des teneurs en Ca CO<sub>3</sub> total et actif constantes (14,8% et 5 ‰).

Le complexe absorbant, saturé en ion Ca, a pour valeur des autres cations :

- Mg : 0,66 à 0,98 me%, croissant avec la profondeur
- K : 0,43 à 0,73 me%
- Na : 0,30 à 0,35 me%.

Les taux de P<sub>205</sub> total s'échelonnent entre 0,9 et 0,78 ‰ pour 105 et 70 ppm d'assimilable.

La dune vive prélevée dans le voisinage immédiat du profil K 13 et dont un échantillon a été analysé révèle des teneurs en sable fin très élevées (91,3% pour 2,5% d'argile), un pH de 8,9, des valeurs des différents cations et de P<sub>205</sub> sensiblement analogues à celles du profil K 13, pour des taux de carbone et d'azote plus faibles (C : 0,68 ‰ . N : 0,07 ‰ . C/N : 9,7).

Si la dune vive appartient aux sols minéraux bruts, inorganisés d'apport, le profil K 13 apparaît soit comme un sol peu évolué d'apport éolien (dépôt accumulé récemment sur un substratum limoneux que l'on observe dans l'horizon K 133), soit comme résultant d'une forte érosion se développant sur un sol à profil calcaire, peu différencié, observé également dans le voisinage de la dune vive (Cf. Profil K 2 : Ca CO<sub>3</sub> total 9,3 à 13,4% ; calcaire actif 5 à 10 ‰).

Ces sols sableux subissant une forte érosion éolienne ou des apports de même nature sont incultes.

(\*) Voir Annexe 6.

## 5.2 LES SOLS PEU EVOLUES (\*)

- + non climatiques
- xx d'apport alluvial
- x modaux à hydromorphes

Ces sols sont bien représentés dans le périmètre étudié et font la transition entre le «dasht» où, en position haute, s'observent des siérozems et les plaines inondables en sols hydromorphes et sodiques.

En fonction de la microtopographie locale on est en présence d'une juxtaposition de ces deux derniers types de sols avec les sols peu évolués d'apport alluvial qui passent souvent latéralement aux sols hydromorphes ou à des intergrades vers ceux-ci.

Le profil est de type classique A C, de couleur brune plus ou moins foncée (10 YR 4/3-5/4) se dégradant en profondeur, à structure souvent fondue à débit polyédrique sur l'ensemble du profil ou polyédrique bien développée superficiellement, puis massive ensuite. La compacité et la cohésion qui sont moyennes à fortes en surface, diminuent en profondeur, en même temps que les horizons sous-jacents sont frais à humides.

Les caractères physico-chimiques de ces sols seront étudiés avec ceux des sols hydromorphes dont ils diffèrent assez peu.

## 5.3 LES SOLS HYDROMORPHES (\*\*)

Les sols peu évolués sur matériau limoneux, limono-argileux, observés sur butte ou en bordure de dépression, passent latéralement d'amont en aval à des sols hydromorphes minéraux :

- à pseudo-gley pour ceux situés dans les parties topographiquement les plus hautes,
- à gley dans le fond des cuvettes.

Dans ces cuvettes s'observent très fréquemment des sols hydromorphes humiques à gley présentant une accumulation importante de matière organique qui ne dépasse cependant que rarement une vingtaine de cm.

Nous n'insisterons pas sur ces sols hydromorphes qui ont déjà été décrits en d'autres régions sinon pour signaler des caractères particuliers.

### Sols hydromorphes minéraux à pseudo-gley

Ils sont caractérisés par un profil A Bg C à horizon A assez fortement coloré en brun ou brun-noir (10 YR 4/2-5/2-5/3), à structure le plus souvent fondue et débit polyédrique. Il est compact à cohésion faible à moyenne suivant la texture.

Bg est à des profondeurs variables (30-50....80 cm) et généralement brun ou brun-beige (10 YR 5/3-6/3) avec des marbrures ou de petites taches rouille d'hydromorphie. Sa structure peut être polyédrique plus ou moins bien développée, notamment dans ce dernier cas, quand le sol devient humide. Il peut être aussi plastique si l'humidité est forte. La compacité et surtout la cohésion varient beaucoup en fonction de cette dernière.

C se confond généralement avec Bg.

Ces sols sont souvent très morphologiquement des sols peu évolués dont ils ne diffèrent alors que par l'apparition plus ou moins bien nette de marbrures rouille d'hydromorphie. Ce sont alors des intergrades. L'apparition de ces marbrures peut s'accompagner également de sels solubles qui font de ces horizons plus ou moins profonds des horizons sodiques (Profil K 15).

### Sols hydromorphes minéraux à gley

Profil A B G C ou A G. Il est peu différent en A du précédent. La transition A B G se fait généralement par un petit horizon brun-rouille à trainées noirâtres de réduction qui forment parfois une ligne continue. Cet horizon fait une dizaine de cm et précède B G de coloration diverse, gris, gris-noir, gris plus ou moins

(\*) Voir Annexe 7.

(\*\*) Voir Annexe 8.

verdâtre (5 GY 6/1-4/1 - 5G 5/2) qui est humide et plastique.

### Sols hydromorphes humiques à gley

Ils ne diffèrent des précédents que par la présence d'un horizon A très noir spongieux, qui contient de nombreuses racines de végétaux spontanés ou cultivés (riz). Les phénomènes de réduction sont ici très importants dans l'horizon de transition A BG.

#### Caractères physico-chimiques

Ces sols ont des textures assez variables. Ils sont en général limoneux, limono-argileux ou même argilo-limoneux et relativement assez homogènes pour un même profil. Nous avons vu cependant quelques fois des interstratifications sableuses dans certains profils. Celles-ci étaient alors souvent de couleur noirâtre par suite des phénomènes de réduction et contenaient d'abondantes racines.

Les taux d'argile, limon et sable varient dans des limites assez larges :

- argile : 6,5 à 39,5%,
- limon fin : 26 à 41%,
- limon grossier : 5,7 à 45,8%,
- sable fin : 1,8 à 36,2%,
- sable grossier : 0,4 à 12,2%,

Les teneurs en carbone et azote varient également de façon importante :

- dans les sols peu évolués ou intergrades vers les sols hydromorphes :

- carbone : 1,74 à 6,0 ‰,
- azote : 0,22 à 0,66 ‰,
- C/N : 7,9 à 9,1.

- dans les sols hydromorphes minéraux à pseudo-gley ou gley :

- carbone : 8,1 à 13,1 ‰,
- azote : 0,55 à 1,24 ‰,
- C/N : 10,6 à 14,6.

- dans les sols hydromorphes humiques à gley :

- carbone : 39,9 à 52,5 ‰,
- azote : 2,97 à 3,07 ‰,
- C/N : 13,1 à 17,1.

Il s'agit là de valeurs d'horizons de surface. En profondeur, il y a généralement une baisse plus ou moins importante de ces teneurs. On observe cependant dans certains cas des valeurs plus fortes :

|                       |                       | C ‰  | N ‰  | C/N  |
|-----------------------|-----------------------|------|------|------|
| - Sol peu évolué      | : - surface (0-15 cm) | 6,0  | 0,66 | 9,1  |
| (Profil K 9)          | : - prof. (20-35 cm)  | 10,6 | 0,98 | 10,8 |
| - Sol hydrom. minéral | : - surface (0-10 cm) | 13,1 | 1,24 | 10,6 |
| (Profil K 5)          | : - prof. (40-60 cm)  | 19,9 | 1,60 | 12,4 |

Les teneurs en Ca CO<sub>3</sub> total sont relativement constantes pour un même profil ou peuvent croître légèrement en profondeur entre 15 et 20%. Celles de calcaire actif varient entre 40 et 75 ‰ (exceptionnellement 140 ‰ dans l'horizon K 71 d'un sol humique à gley).

Les pH ont des valeurs comprises entre 8,3 et 8,9 et sont plus basses dans les sols humiques à gley (7,8-7,9).

Les teneurs de P<sub>205</sub> total varient peu à l'intérieur des profils et sont comprises en général entre 1 et 1,5 ‰, tandis que celles d'assimilable sont très variables (9 à 270 ppm) et baissent souvent en profondeur. Les sols peu évolués paraissent mieux pourvus que les sols hydromorphes. Pour les premiers les taux de P<sub>205</sub> assimilable représentent environ 10% du P<sub>205</sub> total.

Tous ces profils sont saturés en ions Ca.

Les valeurs en Mg échangeable sont assez diverses :

- sols peu évolués : 3,27 à 1,04 me%,
- sols hydromorphes : 6,38 à 0,78 me%,

Il y a généralement baisse des valeurs avec la profondeur.

Les teneurs en K sont également variables et diminuent en profondeur :

- sols peu évolués : Profil K 4 : 1,73 à 0,72 me%,  
: Profil K 9 : 1,23 à 0,50 me%,
- sols hydrom.minéraux: Profil K 12 : 1,25 à 0,48 me%,  
: Profil K 16 : 0,30 à 0,16 me%,
- sols humiques à gley : Profil K 7 : 0,98 à 0,72 me%.

Les valeurs de Na sont faibles après extraction des sels solubles, comprises le plus souvent entre 0,30 et 1 me%.

Dans les sols hydromorphes minéraux les sels solubles sont en quantité variable. Le sodium atteint des valeurs de 1 me% dans les horizons superficiels mais est moindre en profondeur. On observe aussi un peu de magnésium et de calcium. Ces différents ions sont sous forme de chlorure parfois dominant, de sulfate et de bicarbonate. Les conductivités de l'extrait de saturation varient entre 2,2 et 1,9 mmhos/cm (Profil K 5) et 2,4 et 1,75 mmhos/cm (Profil K 16).

Les horizons de profondeur du profil K 15 (Sol peu évolué intergrade vers les sols hydromorphes et sodiques) sont salés au niveau de la frange capillaire (Conductivité de l'extrait de saturation : N<sup>o</sup> 151 : 1,10 - N<sup>o</sup> 152 : 6,6 - N<sup>o</sup> 153 : 29,95 - N<sup>o</sup> 154 : 11,1 mmhos/cm). Le sodium y est dominant sous forme de chlorure et sulfate. Ici encore on note du Mg et Ca solubles. La reconstitution de la composition en sels solubles dans l'extrait au 1/2 fait apparaître également du gypse ainsi que de faible quantité de carbonate de sodium dans le N<sup>o</sup> 154 (1).

Les sols hydromorphes humiques à gley observés sont à la limite des sols sodiques dans les horizons de surface, les seuls que nous ayons pu prélever sous la lame d'eau (Profil K 7 : 8,1 et 7,8 mmhos/cm entre 40 et 60 cm - Profil K 6 : 7,2 mmhos/cm).

La fraction argileuse de ces sols est représentée :

- dans l'échantillon K 42 du profil K 4 (Sol peu évolué) par de l'illite et de la chlorite co-dominantes, de l'attapulgite et des traces de montmorillonite,  
dans les échantillons K 161-K 162 (Sol hydromorphe minéral à gley) par de l'illite dominante et de la chlorite et peut être de l'attapulgite dans le K 162,
- dans les échantillons sodiques du profil K 15 par de l'illite dominante et de la chlorite et de la sépiolite dans le K 154.

### Utilisation

Les sols peu évolués d'apport alluvial portent des cultures intensives ou semi-intensives (céréales, coton, betterave à sucre...). Leur situation en position haute fait que les irrigations ne sont pas toujours aisées et leur irrégularité peut déterminer de mauvais rendements.

Les sols hydromorphes minéraux portent des cultures identiques si la nappe n'est pas trop haute (Sols à pseudo-gley). Ils sont utilisés pour la riziculture dans le cas contraire (Sols à gley).

Les sols humiques à gley, du fait de leur position topographique basse, sont le domaine des marécages semi-permanents à permanents suivant l'importance de l'inondation. Ils sont éventuellement utilisés en riziculture si la hauteur d'eau n'est pas trop importante.

(1) La reconstitution de la composition en sels solubles par la méthode BAZILEVICH donne pour l'extrait à l'eau et au 1/2  
N<sup>o</sup> 153 : S04Ca 2,70 ; S04(Na-Mg) 4,3 ; Cl(Na-Mg) 7,0 me%,  
N<sup>o</sup> 154 : C03Na2 0,13 ; (C03H)2Ca 0,21 ; S04Ca 0,85 ; S04(Na-Mg) 1,71 ; Cl(Na-Mg) 1,80 me%,  
Toxicité par les anions : N<sup>o</sup> 153 7,86 ; N<sup>o</sup> 154 3,41.

## 5.4 LES SOLS SODIQUES (\*)

Si un certain nombre de sols sodiques paraît exister en des dépressions périodiquement inondées ainsi que le laisse supposer l'examen précédent des sols humiques à gley, ceux qui seront analysés s'observent par places dans des parties plus ou moins déprimées au milieu de sols hydromorphes à pseudo-gley. Ils portent une végétation halophyte classique de Chénopodiacées dominantes.

Ces sols se caractérisent : soit par une pellicule saline superficielle brunâtre se desquamant par plaques en période sèche ; soit par un léger encroûtement salin, également superficiel et de quelques cm, gris-brun, à structure lamellaire, à compacité et cohésion fortes, à porosité vésiculaire. Dans les deux cas les horizons sous-jacents des deux profils observés sont sensiblement analogues. La coloration brune se dégrade progressivement à brun-clair tandis que la structure, dans ces sols assez uniformément limoneux à sablo-limoneux, est fondue à débit polyédrique mais à compacité et cohésion assez faibles. Les profils observés étaient généralement frais à humides.

L'origine des sels doit être recherchée ici dans des actions de battement de nappe plus ou moins profonde.

### *Caractères physico-chimiques*

Les profils K 10 et 11 contiennent des quantités d'argile peu importantes (Profil K 10 : 6,5 à 3,5 % en profondeur - Profil K 11 : 7,5 à 5,5%). Les variations des autres constituants granulométriques varient entre les limites suivantes :

- limon fin : 12,5 à 18,5%,
- limon grossier : 27,6 à 39%,
- sable fin : 33,6 à 40,5%,
- sable grossier : 0,3 à 15,2%

Les valeurs de CaCO<sub>3</sub> total sont relativement constantes, comprises entre 10,1 et 12,9%, celles de calcaire actif varient entre 25 et 35 ‰.

Les taux de carbone et azote sont faibles et décroissent en profondeur. Les C/N sont assez élevés :

- carbone : 4,48 et 5,74 ‰,
- azote : 0,32 et 0,33 ‰,
- C/N : 14,0 et 17,6.

Dans ces deux profils les pH sont très élevés (10,2 à 10,5).

Le complexe absorbant est saturé par Ca.

Après extraction des sels solubles :

- Mg a des valeurs comprises entre 1,08 et 1,73 me% (Profil K 11) ; 0,60 et 2,44 me% (Profil K 10). Il y a augmentation avec la profondeur,
- K décroît avec la profondeur : 1,46 à 0,85 me% (Profil K 11) ; 1,30 à 0,30 me% (Profil K 10),
- Na est en quantité encore importante puisqu'il atteint 2,2 à 3 me% dans le profil K 11, 1,3 à 2,7 me% dans le profil K 10. Il y a diminution des valeurs avec la profondeur.

Les rapports Na/T sont, du fait de la proportion de Na échangeable, non négligeables et supérieurs à 10% :

|                  |      |      |      |      |      |
|------------------|------|------|------|------|------|
| - N <sup>o</sup> | 112  | 113  | 101  | 102  | 103  |
| - Na/T%          | 23,6 | 20,3 | 21,0 | 11,5 | 15,7 |

Les sels solubles sont très abondants :

- dans la pellicule saline (Profil K 10) ou l'encroûtement salin (Profil K 11), la conductivité de l'extrait de saturation atteint respectivement les valeurs de 704,1 et 185,8 mmhos/cm,
- dans le profil lui-même où cette conductivité diminue rapidement avec la profondeur :
  - Profil K 10 : 19,3 à 15,2 mmhos/cm,
  - Profil K 11 : 62,8 à 28,6 mmhos/cm.

La dominance en cations dans l'extrait soluble à l'eau et au 1/2 revient largement au Na. On note aussi un peu de Ca et de Mg.

(\*) Voir Annexe 9.

Parmi les anions, Cl est le plus abondant mais il y a cependant des carbonates et des bicarbonates (pH supérieur à 10) et un peu de sulfates. Ces derniers sont plus abondants dans les exsudations salines (1). La toxicité anionique est très élevée dans tous les cas (2).

La fraction argileuse de ces sols sodiques est constituée :

- dans l'échantillon K 102, de chlorite et d'illite en codominance avec de la montmorillonite en quantité non négligeable,
- dans l'échantillon K 112 des mêmes argiles sans montmorillonite.

#### Classification

En raison de leur salinité élevée dans l'ensemble de leur profil et de rapports Na/T également forts les profils K 10 et K 11 appartiennent à la classe des sols sodiques ; sous-classe : à structure dégradée ; groupe : salin à alcalins.

#### Utilisation

Ces sols sont incultes et servent de pâturages. Ceux à salinité plus basse (Cf. Sols humiques à gley intergrade vers les sols sodiques) sont cultivés en riz lorsque l'inondation n'est pas trop élevée.

### 5.5 LES SOLS A ACCUMULATION GYPSEUSE (\*)

Ces sols s'observent au voisinage des massifs, dans le coin S-O de la feuille 1/100.000 de Kunduz. Ils forment : soit des accolements au massif montagneux ; soit occupent de petites plaines de piedmont au relief très légèrement ondulé qui passent progressivement par un piedmont en pente douce à la haute terrasse du fleuve, domaine des siérozems.

Ils présentent des profils assez comparables à ceux observés dans le S de l'Afghanistan. L'accumulation gypseuse se fait par petits amas friables situés à partir de 30-40 cm ou encore par une cristallisation très diffuse. Dans les plaines de piedmont ces profils se localisent sur le sommet des ondulations tandis que les sols entre celles-ci sont superficiellement craquelés par un réseau de fentes de retrait dessinant des polygones de 15 à 20 cm d'ouverture.

Ces sols gypseux sont de texture limoneuse avec un pourcentage plus ou moins abondant d'éléments graveleux provenant des massifs. L'observation des ravines d'érosion sur les pentes de ceux-ci montre l'hétérogénéité du matériau mi-loessique, mi-détritique.

Les teneurs en carbone et azote sont faibles et décroissent rapidement en profondeur :

|             | surface    | profondeur |
|-------------|------------|------------|
| – carbone ‰ | 4 à 4,5    | 1,25       |
| – azote ‰   | 0,5 à 0,55 | 0,2        |
| – C/N       | 8 à 8,6    | 6,5        |

(1) La reconstitution de la composition en sels de l'extrait soluble à l'eau et au 1/2 d'après la méthode BAZILEVICH donne les résultats suivants :

N<sup>o</sup> 100 : C03Na2 47,9 - C03HNa 74,25 - S04Na2 69,1 - ClNa 293 me% (pour mémoire : (C03H)2 Ca 0,34 - (C03H)2 Mg 0,01 me%),

N<sup>o</sup> 101 : C03Na2 0,68 - (C03H)2Ca 0,72 - (C03H)2Mg 0,13 - C03HNa 0,96 - ClNa 3,41 me%,

N<sup>o</sup> 111 : C03Na2 2,78 - C03HNa 5,62 - S04Na2 0,24 - ClNa 54,7 me% (pour mémoire : (C03H)2 Ca 0,26 - (C03H)2Mg 0,01 me%),

N<sup>o</sup> 112 : C03Na2 1,08 - C03HNa 2,87 - S04Na2 4,40 - ClNa 14,2 me% (pour mémoire : (C03H)2Ca 0,40 - (C03H)2Mg 0,10 me%).

(2) Toxicité anionique dans l'extrait au 1/2 : N<sup>o</sup> 101 : 10,55 - N<sup>o</sup> 112 : 27,27.

(\*) Voir Annexe 10.

Les pH varient entre 8 et 8,5.

Les taux de Ca CO<sub>3</sub> total décroissent avec la profondeur, très fortement dans le profil K 8 (21,8 à 11,7 pour 95 à 70 ‰ de calcaire actif), de façon moindre dans le profil K 3 (16 à 14,8% pour 75 à 65 ‰ de calcaire actif) tandis que les pourcentages de gypse augmentent :

– profil K 8 : 1,20 à 10,20%,

– profil K 3 : 10,80 à 13,20%.

Il s'agit de gypse dominant et d'anhydrite en quantité moindre.

Ces sols sont saturés en ions Ca.

Les teneurs en Mg sont variables :

– croissantes et moyennes dans le profil K 8 (0,82 à 2,05 me%),

– très élevées et sans signification dans le profil K 3 du fait de la présence de dolomie.

Les taux de K sont décroissants avec la profondeur :

– 0,75 à 0,10 me% dans le profil K 8,

– 0,68 à 0,53 me% dans le profil K 3.

Les valeurs de Na sont faibles (0,20 à 0,35 me%) à l'exception de celles de l'échantillon K 83 qui contient des sels solubles (Conductivité de l'extrait de saturation : 25,6 mmhos/cm).

Les teneurs en P<sub>205</sub> total oscillent autour de 1 ‰ en surface pour 70 à 100 ppm d'assimilable. Elles sont plus faibles en profondeur.

### *Classification*

Ces sols peuvent se placer dans différentes classes :

++ Sol calcimagnésique

+ sol gypseux

xx sol brun

x modal

ou

++ Sol à différenciation calcaire

+ peu différencié

xx à accumulation calcaire (diffuse ou par pseudo-mycélium) et gypseuse

x à horizon pallide

(Siérozem à accumulation gypseuse)

ou

++ Sol hydromorphe

+ minéral ou peu humifère

xx à redistribution du gypse (par action de nappe temporaire saline)

x à accumulation diffuse ou en amas friables.

Le profil K 3 paraît pouvoir entrer dans la première ou deuxième classe tandis que le profil K 8 irait mieux dans la troisième.

L'origine du gypse peut être recherchée soit dans les roches du massif montagneux, soit dans un passé géologique récent (phase lacustre ou marécageuse ayant amené de fortes concentrations en sels solubles que l'on retrouve sur le piedmont - Profil K 8 - et dans les horizons profonds de la haute terrasse).

La fraction argileuse est composée :

– dans les échantillons K 31 - K 32 par de l'illite et de la chlorite codominantes et de la montmorillonite,

– dans l'échantillon K 82 par de l'illite dominante, de l'attapulgite et de la chlorite,

– dans l'échantillon K 83 par de la chlorite dominante, de l'illite et peut-être de la sépiolite.

## Utilisation

Ces sols sont incultes. Ceux des plaines de piedmont, les plus facilement récupérables, pourraient faire éventuellement l'objet de projet de cultures dans le cas d'un plan général de mise en valeur du «dasht» (plaines de piedmont et haute terrasse comprises) et de découverte de nappe permettant l'irrigation. Il sera alors bon de se méfier de remontée toujours possible et importante de sels solubles.

Actuellement ces sols sont utilisés comme lieu de pâturage en hiver et au printemps.

## 5.6 LES SOLS A DIFFERENCIATION CALCAIRE (\*)

### 5.6.1 Peu différencié

xx à accumulation diffuse

x à horizon pallide Siérozem

Ces sols s'observent sur toutes les grandes surfaces de «dasht» de cette région :

- «dasht» I Car Darrah à l'O et au S-O de Kunduz,
- «dasht» Esantrop au S de cette même ville,
- «dasht» Abdan au N de la rivière Khanabad.

Ils se développent sur de grandes étendues planes et relativement homogènes que couvre une steppe clairsemée classique. Au N d'Alcin («dasht» Abdan), ils forment deux surfaces successives, séparées l'une de l'autre par une dizaine de mètres. La surface la plus basse, constitue une ancienne haute terrasse de la rivière Khanabad, tandis que la surface la plus élevée se raccorde par une faible pente aux massifs montagneux qui forment des affleurements dans l'E de la feuille de Kunduz. Le «dasht» I Car Darrah se raccorde de façon identique aux massifs du S-O de cette même feuille sans que ne s'observe de surface intermédiaire.

Ces sols sont caractérisés par un profil A BCa C.

La partie supérieure du profil est marquée par un fort enracinement avec chevelu intense et une structure polyédrique moyenne à fine tandis que la compacité et la cohésion sont faibles (0-10 à 15 cm). En dessous la structure devient fondue et les racines peu abondantes, le sol apparaît tassé, assez compact malgré une faible cohésion. On observe, à partir de 50-60 cm, une faible ségrégation calcaire sous forme de points blancs ou de pseudo-mycélium qui se détache sur un fond brun-beige. On note fréquemment dans tous ces profils, à des profondeurs variables, la présence de crotovinas, anciens nids de 1 à 2 cm de diamètre, agglutinés en paquets.

### Caractères physico-chimiques

Ces sols malgré une apparente homogénéité texturale, dans la gamme limoneuse présentent des variantes plus ou moins sableuses en fonction vraisemblablement de remaniements postérieurs à la mise en place éolienne (phénomènes de colluvionnement vers les dépressions et de transports alluviaux avec formation de hautes terrasses anciennes).

|                    | «dasht» Abdan   | «dasht» I Car Darrah |
|--------------------|-----------------|----------------------|
| – argile %         | : 7 à 10        | 7 à 7,5              |
| – limon fin %      | : 20 à 24,5 (1) | 10 à 13 (2)          |
| – limon grossier % | : 44,8 à 53,7   | 32 à 36,4            |
| – sable fin %      | : 13,1 à 23     | 38,4 à 47,3          |
| – sable grossier % | : 0,1 à 0,9     | 1,1 à 5,7            |

(1) Mis à part l'horizon K 181 (0-20 cm),

La comparaison granulométrique des échantillons des profils K 1 et 18 montre l'importance du remaniement superficiel suivant le lieu. Le remaniement est important dans le profil K 1 (sur 80 cm), faible dans le profil K 18 (sur 20 cm). Les horizons non ou peu remaniés ont des compositions granulométriques alors voisines (N<sup>o</sup> K 14 - K 182 - K 183).

(2) Mis à part l'horizon K 14 (80-100 cm).

(\*) Voir Annexes 11 et 12.

Les teneurs en carbone et azote sont faibles dans ces profils dont la coloration de l'horizon A est très peu différent de l'ensemble du profil (10 YR 6/3 - 7/3).

|           |                   |                               |
|-----------|-------------------|-------------------------------|
| - carbone | : 2,77 à 4,72 ‰   | (0-20 cm : profils K 1 et 18) |
|           | 8,92 ‰            | (0-8 cm : échantillon K 171)  |
|           | 2,72 ‰            | (8-37 cm : échantillon K 172) |
| - azote   | : 0,300 à 0,540 ‰ |                               |
|           | 0,855 ‰           |                               |
|           | 0,320 ‰           |                               |
| - C/N     | : 9,2 et 8,7      |                               |
|           | 10,3              |                               |
|           | 8,5               |                               |

Les teneurs en Ca CO<sub>3</sub> total sont relativement constantes dans le profil K 1 (18,2 à 19,7 %), à gradient calcaire déjà bien marqué dans les profils K 17 et 18 (13,6 à 17,9% - 13,6 à 19,1%). Celles de calcaire actif sont assez constantes (Profil K 1 : 30-20 ‰), croissantes sur l'ensemble du profil (Profil K 18 : 15 à 40 ‰) ou dans la partie supérieure seulement (Profil K 17 : 25 à 75 ‰ puis 40 ‰).

Ces sols, nous l'avons vu, présentent fréquemment une accumulation calcaire par points blancs plus ou moins nombreux. Ceux-ci pourraient provenir dans de nombreux cas de la destruction des nids (crotonnes) présentant une coque durcie, très enrichie en calcaire.

Les pH oscillent dans les profils entre 8,4 et 8,8 avec un accroissement en profondeur.

Le complexe absorbant est saturé en ion Ca.

|                  |                    |               |
|------------------|--------------------|---------------|
| - Mg varie entre | : 0,82 et 1,80 me% | (profil K 1)  |
|                  | : 0,82 et 2,39 me% | (profil K 17) |
|                  | : 0,82 et 2,21 me% | (profil K 18) |

Il y a augmentation en profondeur.

|                    |                              |               |
|--------------------|------------------------------|---------------|
| - K se tient entre | : 0,65 et 0,45 me%           | (profil K 1)  |
|                    | : 0,54 et 0,48 puis 0,14 me% | (profil K 17) |
|                    | : 0,55 et 0,33 me%           | (profil K 18) |

Na a des valeurs faibles dans le profil K 1 et la partie supérieure des profils K 17 et 18 (0,07 à 0,35 me%), avec des accumulations plus ou moins fortes en profondeur dans ces deux derniers profils (Profil K 18: échantillon 183 : 1,5 mmhos/cm. Profil K 17 : échantillons 175 et 176 : extrait de saturation 1,9 et 9,9 mmhos/cm).

Dans l'échantillon K176 les sels solubles sont par ordre de dominance : chlorure et sulfate de Na (1).

Les valeurs de P205 total sont surtout comprises entre 1,5 et 1 ‰ pour des taux d'assimilable variant entre 150 et 70 ppm.

La fraction argileuse de ces sols est constituée dans le profil K 17 :

- échantillon K 172 : illite et chlorite codominantes et de montmorillonite
- échantillon K 175 : argiles identiques avec traces d'attapulgite

Dans l'échantillon K 22 la composition est sensiblement la même que dans le K 175 avec de l'attapulgite en plus grande abondance.

### *Utilisation*

Ces terres sont le plus souvent utilisées comme paturages d'hiver et constituent d'excellents paturages de printemps pour les troupeaux de moutons. Elles sont plus rarement utilisées en culture sèche (melon cantaloup, melon d'eau et céréales). Elles paraissent offrir de très nombreuses possibilités dans le cas où l'irrigation se révélerait possible à la suite de la découverte de nappes profondes. Il y aura lieu, ici aussi, de se méfier de phénomènes de salinisation par remontée des sels solubles contenus dans les horizons profonds de ces sols.

(1) La reconstitution de la composition en sels de l'échantillon K 176 est la suivante dans l'extrait au 1/2 :

(CO<sub>3</sub>H)<sub>2</sub>Ca 0,30 - SO<sub>4</sub>Ca 0,25 - SO<sub>4</sub>(Na-Mg) 0,71 - Cl(Na-Mg) 2,97 me% - Toxicité anionique : 3,11.

## Classification

Ces sols apparaissent comme des siérozems dégradés du fait de leur faible teneur en matière organique qui ne leur confère plus qu'une coloration peu accusée. Certains, du fait de remaniement récent, sont des intergrades vers les sols peu évolués ainsi que le montre par exemple le faible gradient calcaire du profil K 1.

Parmi ces sols limoneux a été placé un sol sur matériau sableux (profil K 2) qui présente de même manière une coloration peu accusée se dégradant avec la profondeur et un gradient calcaire assez marqué (9,3 à 13,4 % de calcaire total pour 5 à 10 ‰ de calcaire actif).

### x à horizon ombrique - siérozem (Région Quala I Naw)

Ces sols n'ont été observés que dans des régions très peu peuplées (Quala I Naw), à l'inverse des précédentes qui paraissent surpaturées. Cette surpaturation, plus qu'une culture intensive, paraît l'explication des teneurs relativement peu élevées en matière organique et de la faible coloration des sols. Dès que la steppe graminéenne devient plus fournie s'observent des siérozems présentant un horizon humifère bien développé dont la coloration brune (10 YR 5/3) se dégrade progressivement sur 40 à 80 cm à des tons plus clairs, brun-clair, brun-beige (10 YR 6/3-6/4) (1). *Profil C 32* (Figure 47).

Les teneurs en carbone et azote sont plus élevées que dans les sols précédents et décroissent assez rapidement avec la profondeur en même temps que les rapports C/N :

|             | 0-10cm | 10-30cm | 30-50cm |
|-------------|--------|---------|---------|
| — carbone ‰ | 13,5   | 8,51    | 3,18    |
| — azote ‰   | 1,16   | 0,82    | 0,413   |
| — C/N       | 11,6   | 10,4    | 7,7     |

Ces sols sont caractérisés par un gradient calcaire identique à celui des sols précédents :

- Ca CO<sub>3</sub> total : 13,2 à 20%,
- calcaire actif : 20 à 65 ‰ (à partir de 30-50 cm et jusqu'à 60-80 cm) puis 55 ‰.

La composition granulométrique est intermédiaire entre celle des « dasht » Abdan et I Car Darrah avec de très légères croissances d'argile avec la profondeur (5 à 7,5%) et de limon fin (16 à 23,5%).

Les pH varient entre 8,5 et 8,7.

L'ion Ca sature le complexe absorbant tandis que Mg a des valeurs comprises entre 2,10 et 5,55 me% et K des valeurs décroissantes avec la profondeur (0,54 à 0,19 me%).

Na est faible et croît légèrement avec la profondeur (0,08 à 0,28 me%).

P<sub>205</sub> total et assimilable ont des valeurs identiques à celles des sols précédents (1,40 à 1,30 ‰ pour 110 à 75 ppm).

La fraction argileuse est constituée dans les échantillons C 321 et C 322 par de l'illite et de la chlorite codominantes. On observe également aux RX de la calcite dominante et de la dolomie.

## Utilisation

Ces sols servent principalement de paturages ou sont non utilisés du fait de la faible densité de population.

### 5.6.2 Bien différencié

- xx à début d'encroûtement
- x à horizon ombrique

(1) La présence de cette steppe graminéenne paraît également liée à l'altitude. La région de Quala I Naw se trouve vers 1 000 m contre 400 - 450 m dans la région de Kunduz où la pluviométrie est certainement moins forte.

Ces sols n'ont été vu, dans la partie septentrionale de l'Afghanistan, que dans la région de Quala I Naw, au passage du col de Sabzak, à l'altitude de 2 400 m et, en contrebas de celui-ci, sur les pentes ou les replats du glacis. Il semble évident qu'ils doivent se trouver en cette partie N dans d'autres endroits en des positions altitudinales voisines ou identiques.

Sur le versant descendant en pente plus ou moins rapide vers Quala I Naw, les loess se sont plaqués sur des roches sédimentaires où l'on observe du haut (2 400 m) vers le bas (1 400 m) :

- des grès rougeâtres découpés en fines dentelles (2 500 - 2 400 m),
- des argilites calcaires, gris-verdâtres (2 200 m),

.....

- des grès blancs en plaquettes vers 1 650 m (km 12 à partir du sommet du col),
- des alluvions détritiques caillouteuses, provenant des roches diverses précédentes, encombrant la vallée qui s'ébauche à partir de 1 400 m (km 18 à 20).

La végétation au sommet du col est celle d'une flore arborée à arbustive plus ou moins dense à *Juniperus*.... Elle passe sur le glacis abrupt à une pseudo-steppe avec encore quelques arbustes malingres. Une steppe herbeuse graminéenne fait son apparition, peu avant Quala I Naw, sur des replats importants où se sont accumulés des loess.

La succession pédologique, du sommet du col à ces loess de piedmont, est la suivante (Figure 47) :

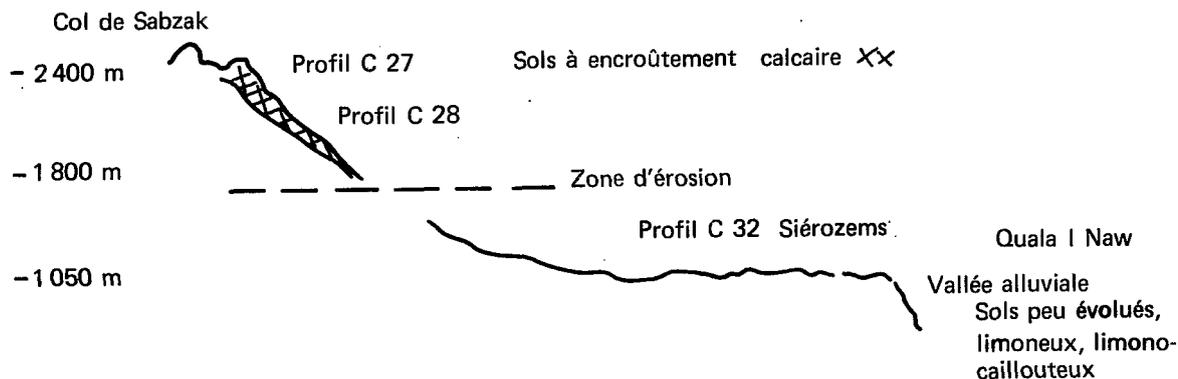


Figure 47 - Coupe schématique entre le col de Sabzak et Quala I Naw

- sommet : sol à différenciation calcaire, à horizon ombrique et début d'encroûtement (*profil C 27*) ,
- pente : sol identique à encroûtement plus accusé mais toujours faiblement consolidé (*profil C 28*) ,
- ..... entre 1 800 et 1 100 m ce sont les roches sous-jacentes qui affleurent, le plus souvent, dans une zone d'érosion importante, ou bien des dépôts colluviaux détritiques grossiers,
- en bas de pente, le long de la vallée, sur une haute terrasse formant un plateau au relief mamelonné, par petites buttes éoliennes multiples : siérozem à accumulation calcaire diffuse sous une steppe graminéenne (*profil C 32*),
- vallée alluviale en sol peu évolué de texture diverse, limono-caillouteuse, limoneuse, d'aspect désertique au milieu de laquelle la ville de Quala I Naw apparait comme un îlot de verdure avec ses peupliers, ses sapins, ses iris, ses roses.

Ce versant de Quala I Naw contraste avec la région comprise entre les kms 35 et 85, à partir d'Hérat, où s'observent en piedmont de massifs dans un relief vallonné, de grandes zones loessiques, limoneuses, planes, en paliers, en voie de démantèlement (sol à différenciation calcaire par taches calcaires abondantes), alternant avec des intercalations de conglomérats non consolidés. L'ensemble recouvre des grès durs, gris ou

rougeâtres, parfois lités de cailloutis. Ces grès affleurent par places dans l'avant pays, entre Hérat et le km 35. Les loess de ces surfaces, à évolution pédologique différente, paraissent relativement plus anciens que ceux sur lesquels se sont développés les siérozems. La datation par le carbone 14 de l'encroûtement calcaire du profil C 27 prélevé au sommet du col a donné un âge de  $7\,340 \pm 115$  ans BP.

Les profils C 27 et 28, qui nous intéressent ici, présentent un profil calcaire très accusé (profil C 27 : Ca CO<sub>3</sub> total 2,8 à 28% pour 5 à 135 ‰ de calcaire actif), ou une accumulation calcaire importante, dès la surface, sur pente (profil C 28 : Ca CO<sub>3</sub> total 24,8 à 32% pour 30 à 135 ‰ de calcaire actif).

Les horizons supérieurs du profil C 27 sont caractérisés par des teneurs importantes en carbone et azote :

- carbone : 31,8 à 11,3 ‰ entre 0 et 50 cm,
- azote : 2,88 à 1,27 ‰,
- C/N : 11 à 8,9.

Dans le profil C 28 sur pente, l'accumulation en carbone et azote est surtout superficielle (Carbone : 24,2 ‰. Azote : 1,97 ‰. C/N : 12,2 - 0 à 15 cm) et décroît rapidement ensuite (Carbone 3,08 ‰. Azote : 0,40 ‰. C/N : 7,7 - 40 à 60 cm).

La composition granulométrique est relativement constante en argile dans le profil C 27 (10 à 12,5%), plus fortement croissante en profondeur dans le profil C 28 (7,5 à 14,5 %) tandis que les taux de limon fin sont sensiblement constants (25%) ainsi que ceux de limon grossier et de sables.

Les pH augmentent en profondeur :

- 8,1 à 8,4 (profil C 27),
- 8,2 à 8,6 (profil C 28).

Dans un complexe saturé en ion Ca, les taux de Mg croissent en profondeur dans le profil C 27 à partir de 30 cm (1,2 à 4,05 me%), avec des valeurs intermédiaires pour les horizons supérieurs (2,55 et 3,15 me%). Il en va de même pour le profil C 28.

Les teneurs en K sont plus fortes dans le profil C 27 (2,38 à 0,57 me%) que dans le profil C 28 (0,91 à 0,16 me%), celles de Na sont faibles, tout en augmentant en profondeur (0,08 à 0,18 me%).

Les capacités d'échange, élevées dans les horizons de surface très humifères (31,5 à 16 me%), sont identiques à celles des précédents loess dans les horizons profonds (10 me%).

Les valeurs de P<sub>205</sub> total varient peu, autour de 1,0 - 1,2 ‰ pour 55 à 30 ppm d'assimilable.

La fraction argileuse de ces sols est constituée par :

- de l'illite dominante et de la chlorite dans les échantillons C 271-272-274. On observe également de la calcite dans les échantillons C 271-272, de la calcite dominante et de la dolomie dans le C 274,
- de l'illite et de la chlorite codominantes avec calcite dominante et dolomie dans l'échantillon C 282.

### Utilisation

Ces sols sont incultes, soit par suite de leur position topographique en altitude où ils sont soumis à la déflation éolienne (1) ou à des apports de même source qui expliquent l'horizon C 271 (0-18 cm) calcaire, contrastant avec l'horizon sous-jacent très décarbonaté; soit par manque d'eau d'irrigation dans ces vallées très désertées.

(1) L'approche du sommet du col de Sabzak se fait dans des loess pulvérulents que le moindre vent ou le seul passage d'un véhicule soulève en tourbillons qui rendent la circulation particulièrement pénible dans cette partie du parcours.

## **DEUXIEME PARTIE**

# **PROCESSUS DE PEDOGENESE EN MILIEUX CALCAIRE ET SALIN - LES PEDOGENESES DU QUATERNAIRE RECENT - CONCLUSIONS**

Ce deuxième chapitre sera consacré à l'étude de pédogenèses qui paraissent particulièrement importantes en Afghanistan : la migration du calcaire dans les sols et les paysages et la salinisation. Les processus que ces pédogenèses ont développés dans les sols ou les sédiments en fonction de conditions particulières, sont à mettre au compte de variations climatiques plus ou moins récentes ayant déterminé des milieux favorables à l'apparition de calcite, de dolomie et à des néosynthèses d'argile.

Pour arriver à ceci nous ferons appel aux données pédologiques classiques et serons amenés à étudier et à comparer des accumulations calcaires d'origine sédimentaire ou pédologique, des travertins ....., à essayer de reconstituer, à partir de datations isotopiques, de données palynologiques, les conditions climatiques qui ont régné en Afghanistan au cours des derniers quarante millénaires.

# PROCESSUS DE PEDOGENESE EN MILIEUX CALCAIRE ET SALIN

## LA MIGRATION DU CALCAIRE

La plupart des sols d'Afghanistan sont caractérisés par des accumulations de calcaire plus ou moins fortes qui vont de l'état diffus ou d'un léger pseudo-mycélium à des encroûtements et croûtes calcaires.

### 1 - LES FORMES D'ACCUMULATIONS

Elles ont été décrites par de nombreux auteurs dont RUELLAN (1 971) a fait la synthèse des travaux. Il distingue :

- 1 – Les distributions diffuses non visibles à l'oeil nu,
- 2 – Les concentrations discontinues :
  - pseudo-mycélium correspondant au cutan, néocutan (channel-calcitans) et crystallarias (cristal tubes) de BREWER (1 964),
  - amas friables qui peuvent être des amas farineux (DURAND 1 953-1 959), des «soft nodules» (GILE 1 961), des taches calcaires (WILBERT 1 962)...., des «white eyes» et des «concentrations of soft powdery lime» (Classification américaine USDA 1 960-1 967). Pour BREWER (1 964) ils peuvent être des «nodules» ou des «crystallarias», ou pour les amas friables aux contours diffus tapissant les parois des agrégats ou des cailloux des «cutans» («calcans» ou «calcitans»),
  - nodules de couleur variable suivant la composition du résidu, mais le plus souvent blanc, gris-blanc, beige-rosé.... ne s'écrasant pas sous la pression des doigts :
    - nodules concrétionnés de DURAND,
    - «hard nodules» de GILE,
    - «glaebules» ou «crystal tubes» de BREWER.
- 3 – Les concentrations continues (supérieures le plus souvent à 60%). Elles correspondent :
  - aux horizons K de GILE-PETERSON-GROSSMAN (1 965),
  - aux carapaces de BEAUDET-M AURER-RUELLAN (1 967),
  - aux horizons «petrocalcic» de la classification américaine.RUELLAN distingue parmi ces concentrations continues :
  - les encroûtements non feuilletés :
    - massifs :
      - «formations calcaires et encroûtements calcaires de DURAND,
      - «Tif'kert ou taffeza homogène ou feuilleté» de BOULAIN (1 957).
    - nodulaires :

- les encroûtements feuilletés :
  - croûtes formées par la superposition de feuillets d'épaisseur variable d'encroûtement durci mais non pétrifié («Tif'kert» zonaire de BOULAINÉ, croûte zonaire de DURAND, «K horizon» à «platy» structure de GILE and *al*,
  - dalles compactes formées de un ou plusieurs feuillets de calcaire,
  - encroûtements lamellaires ou pellicules rubanées épais de quelques millimètres à quelques centimètres formés d'une série de lamelles parallèles entre elles («Tif'kert rubané» de BOULAINÉ, «K horizon» à structure «laminar» de GILE and *al* Ce type est contenu dans la croûte lamellaire de WILBERT et la croûte zonaire de DURAND).

D'une façon générale ces différentes formes d'accumulations calcaires sont observées en Afghanistan. Cependant les plus fréquemment rencontrées sont :

- parmi les concentrations discontinues les pseudo-mycéliums (loess colluvionné), les amas friables (loess et matériau détritique de bas de piedmont). Les nodules sont plus rarement observés et particulièrement ceux supérieurs à 1 cm de diamètre,
- parmi les formations continues, le plus souvent de couleur blanche, les encroûtements non feuilletés paraissent les mieux représentés. Ils sont massifs à débit polyédrique et peuvent se terminer en profondeur par un matériau plus meuble, souvent de couleur bigarrée (blanc et beige), contenant des amas plus ou moins friables. Ces encroûtements non feuilletés passent fréquemment en surface à des encroûtements lamellaires ou à des pellicules rubanées épaisses de quelques centimètres.

Nous insisterons ici sur deux formes d'accumulations particulières affectant des conglomérats fluvioglaciaux ou des sédiments fins relativement récents.

#### *Encroûtement de conglomérat fluvioglaciale*

Ce type d'encroûtement, à peine évoqué dans la classification précédente, se développe dans des niveaux graveleux très grossiers occupant de grandes surfaces sur les piedmonts.

L'encroûtement qui affecte les conglomérats débute par la formation d'une «barbe» stalactiforme à la base des cailloux de ceux-ci tandis que la partie supérieure n'est recouverte que par une fine pellicule de calcite. Cette «barbe», d'épaisseur variable, peut atteindre 10 à 15 cm dans certains cas de gros galets. Elle forme une sorte de cône très irrégulier présentant de multiples petits stalactites finement dentelés à leur base. La coloration de ces «barbes» est blanc-beige parfois légèrement grisâtre. Ces «barbes» finissent par se souder entre elles et forment alors un encroûtement continu très dur.

Le passage d'amont en aval, du pied du massif calcaire où la roche affleure au bas de piedmont, se caractérise par un encroûtement d'abord de ce type auquel succèdent un encroûtement discontinu aux galets cimentés ou non entre eux puis à un encroûtement discontinu, faiblement développé par taches abondantes dans les parties interstitielles entre les cailloux qui ne présentent plus alors que de très fines pellicules de calcite à leur base. Il existe de multiples intermédiaires entre l'encroûtement continu très dur et ce dernier relativement friable. Cette toposéquence à accumulation calcaire décroissante d'amont en aval évoque une circulation intense des eaux de ruissellement dans un passé plus ou moins récent avec décharge en gaz carbonique de ces dernières en cours d'écoulement.

#### *Accumulations calcaires dans des sédiments fins (parties amont de bassin)*

Ces accumulations ont été observées dans la montagne de Bamyan entre Bamyan et Band I Amir et sur la piste du Centre. Il s'agit d'accumulations importantes de calcaire à l'état diffus (Ca CO<sub>3</sub> total : 50 à 80%). Malgré les teneurs élevées en calcaire le sol reste très meuble et présente une structure poudreuse ou pulvérulente. Ces sols ont été observés le plus souvent dans de petites dépressions mal drainées en amont de barrages de travertin. Ils présentent un micro-relief, déjà décrit, fait d'une multitude de petites buttes qui ont été interprétées par de nombreux auteurs comme la manifestation de gel important et appelées par ceux-ci «sols à buttes gazonnées».

## 2 - EXAMENS MINERALOGIQUE ET MICROMORPHOLOGIQUE DE LAMES MINCES DE CROUTES ET ENCROUTEMENTS CALCAIRES

L'examen sur lames minces de croûtes rubanées et encroûtements de loess ou de conglomérats met en évidence une structure cryptocristalline de calcite avec des cristaux dont la taille est relativement homogène (20 à 80  $\mu$ ) mais d'un diamètre nettement supérieur en bordures des pores ou en surface des encroûtements qui indique des recristallisations secondaires importantes, mais celles-ci sont toujours très limitées.

Si la structure cryptocristalline est relativement homogène dans les encroûtements sur loess il n'en va pas de même dans les conglomérats où la pâte est constituée par un squelette comprenant des minéraux très divers (quartz, feldspath, biotite, serpentine, pyroxène, olivine serpentinisée...). Le détail de différentes lames est donné dans un tableau ci-après.

Les encroûtements lamellaires rubanés épais de quelques millimètres à quelques centimètres qui se superposent à l'encroûtement massif ne présentent pas la même composition micromorphologique homogène. Les cristaux s'y arrangent par gros nodules (800 à 1 600  $\mu$ , parfois plus) plus ou moins espacés qui, dans certains cas, forment une sorte de ruban plus ou moins continu qui ne sont pas sans évoquer des arrangements dus à des micro-organismes (algues, champignons, bactéries...).

La destruction ménagée sur lame mince par de l'acide chlorhydrique très dilué de la calcite permet de mettre en évidence des organisations filamenteuses ou cellulaires qui pourraient correspondre à ces micro-organismes. (1) On voit donc ici le rôle que joueraient ceux-ci dans des cristallisations superficielles secondaires alors que la formation de l'encroûtement lui-même paraît liée essentiellement à des phénomènes d'ordre physico-chimique. Nous aurons l'occasion de revoir ce sujet au chapitre consacré aux travertins.

L'examen sur lame mince de ces encroûtements montre dans la plupart des cas la très faible porosité de ce matériel. Les rares pores que l'on observe sont fréquemment colmatés par des recristallisations plus grossières de calcite. Il en va de même des zones de fractures ou de fissures de ces encroûtements.

Les mesures de pF mettent en évidence ces faibles porosités. La majorité des échantillons ont des porosités comprises entre : (Figure 48)

– 1,8% (pF 4,2) et 2,5% (pF 0). Echantillon N° 164,

– 10% (pF 4,2) et 12,7% (pF 0). Echantillon N° 812, (N° 164 : «barbe» calcitique d'un galet de conglomérat. N° 812 : encroûtement blanc massif).

On voit donc qu'entre ces deux cas extrêmes, il y a peu de différence de porosité entre pF 4,2 et pF 0 et que celle-ci se tient dans les plus petits diamètres (2).

Quelques échantillons présentent cependant des différences de porosité importantes :

– N° 790. Encroûtement blanc à recristallisation superficielle grossière. 15,2 (pF 4,2). 24,8 (pF 2,5). 27,8% (pF 0),

– N° 370. Encroûtement «actuel» (?) dans un canal d'irrigation. 14,4 (pF 4,2). 16 (pF 2,5). 24,2% (pF 0),

– N° 541. Pâte calcitique fine avec abondants éléments de serpentine, olivine serpentinisée, pyroxène, quartz formant le squelette. 14,6 (pF 4,2). 15,9 (pF 2,5). 22,6% (pF 0).

.....

Nous voyons donc, mis à part quelques cas particuliers, que la possibilité de pénétration des solutions du sol à l'intérieur de l'encroûtement occasionnant son enrichissement par de nouveaux apports de calcaire est souvent fort restreinte ou nulle. L'homogénéité du plasma calcitique ou dolomitique montre d'autre part que les cristallisations se sont produites uniformément au sein de la masse sédimentaire. Tout

(1) Des observations similaires ont été également faites par Ch. MONTENAT (1 973) sur des croûtes zonaires du Levant Espagnol.

(2) à pF 4,2 les pores ont un diamètre inférieur à 0,2  $\mu$   
à pF 2,5 les pores ont un diamètre inférieur à 10  $\mu$   
à pF 0 les pores ont un diamètre inférieur à 3 000  $\mu$   
(PEERLKAMP P.K., BOEKEL P. 1 960)

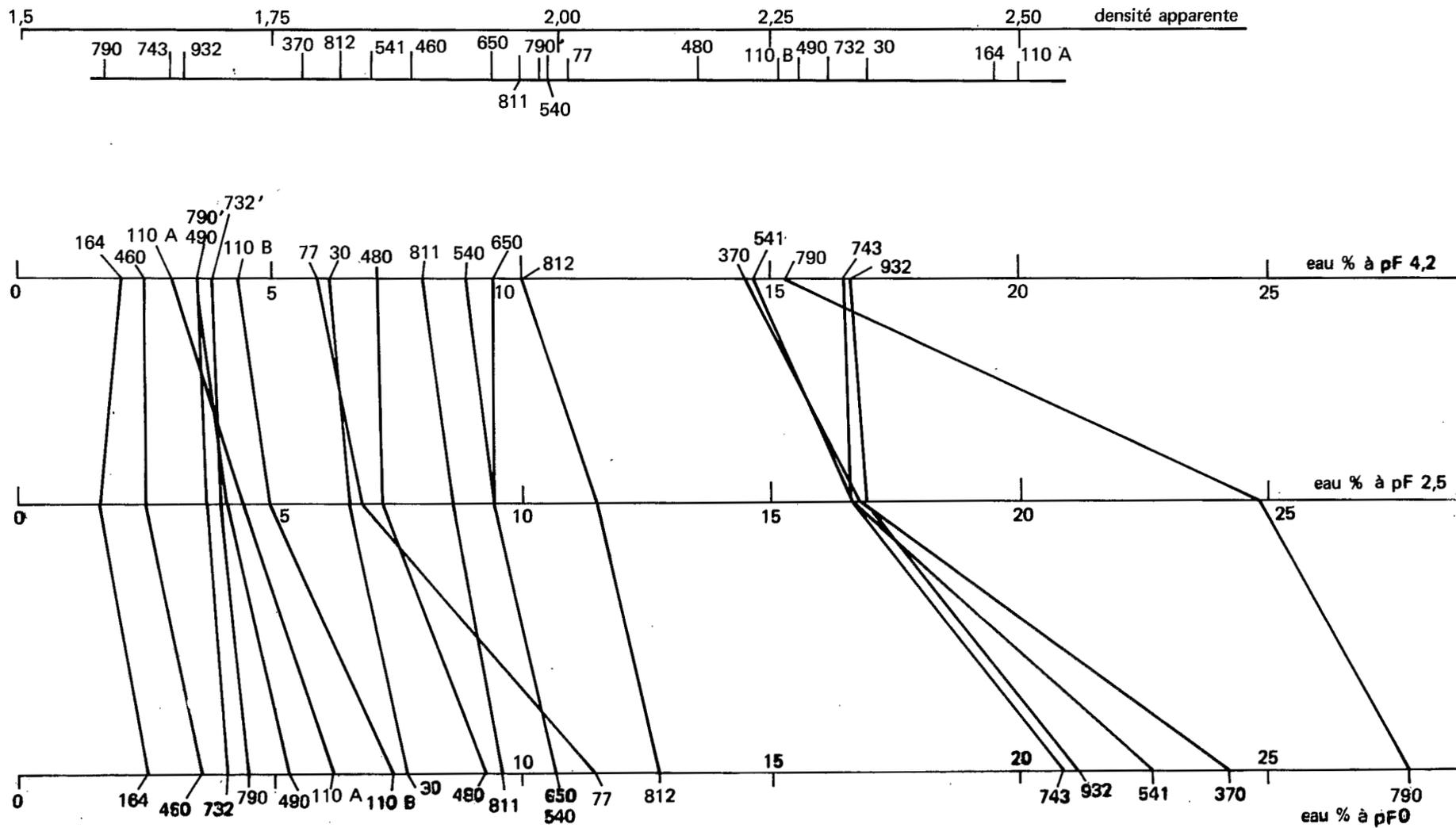


Figure 48 - Mesures de pF sur des croûtes et encroûtements calcaires

ceci concourt à faire penser que la genèse de ces encroûtements (le mot encroûtement étant pris ici dans un sens très large) est un phénomène continu en même temps que relativement rapide à l'échelle cependant de plusieurs millénaires. Ainsi le sédiment argileux dolomitique, mis en place dans la région de Kandahar (Afghanistan méridional) et qui paraît d'origine lacustre, nous indique une vitesse de formation de l'ordre de 2,4 cm par siècle (190 cm de sédiment déposés entre 34.300 et 26.270 ans BP). L'encroûtement prélevé au S de Baraki Barak (Echantillons 811 et 812) paraît avoir eu une vitesse de formation plus rapide, de l'ordre de 6,5 à 7 cm par siècle (2 m d'encroûtement entre 29.040 et 25.850 ans BP). Cette vitesse a pu être encore plus rapide si l'on considère que la dernière date correspond à celle d'une croûte rubanée dont la formation n'a pas forcément suivi immédiatement celle de l'encroûtement. Cette croûte rubanée paraît d'autre part correspondre à la fin de conditions marécageuses. Nous verrons que ces vitesses sont sans communes mesures avec celles de formation des travertins.

#### N<sup>o</sup> ENCROUTEMENTS BLANCS HOMOGENES

- 650 O de Jogi. Encroûtement blanc lamellaire rubané. Bordure nodulaire avec nodules de 800 à 1 600  $\mu$ , exceptionnellement 5 000 à 6 000  $\mu$ . Les cristaux de calcite à l'intérieur des nodules atteignent 40 à 80  $\mu$ .  
Quartz dans la pâte calcitique.
- 790 S de Baraki Barak. Encroûtement blanc à recristallisation superficielle pouvant atteindre 300 à 400  $\mu$  pour 40 à 80  $\mu$  pour le reste de la lame.  
Rares débris terrigènes.
- 932 Mirwal. Encroûtement blanc à pâte calcitique fine (cristaux de 25 à 40  $\mu$ ) avec recristallisation de 240 à 320  $\mu$  en bordure de craquelures.  
Quelques grains de quartz en squelette.
- K7-K8 S de Kandahar. Sédiment dolomitique.  
Fines cristallisations de 40 à 80  $\mu$  sur fond brunâtre avec quelques masses brunes arrondies plus finement cristallisées (?).

#### CIMENTS LIANT LES ELEMENTS GROSSIERS DE CONGLOMERATS

- 460 N-O d'Altamur. Microconglomérat à pâte fine (25 à 80  $\mu$ ). Le contact avec un élément du squelette s'opère par des recristallisations de 320 à 400  $\mu$ . Les cristallisations à l'intérieur des fissures de cet élément dépendent du diamètre de celles-ci. Elles sont très fines dans les petites fissures, très grandes dans les plus importantes avec tous les intermédiaires.  
Le squelette de ce microconglomérat est constitué :  
– de quartz généralement grossiers, émoussés pour les plus gros et parfois hématisés, anguleux pour les autres,  
– quelques biotites relativement peu altérées à très altérées,  
– quelques feldspaths émoussés, altérés,  
– gros grains de calcite finement cristallisés, ou à cristaux fins ou gros cristaux,  
– rares petits globules ferrugineux, anguleux.  
Le plasma est formé de calcite cryptocristalline avec parfois crystallaria dans les vides fins. Présence de rares débris d'une ou plusieurs anciennes croûtes.
- 480 Entre Pule Alam et Khosi. Conglomérat à la base des marnes :  
Plasma : pâte à cristaux calcitiques de 40 à 80  $\mu$  avec, par places, taches plus sombres nodulaires à fines cristallisations (20 à 25  $\mu$ ). Un pore colmaté par de gros cristaux de calcite de 240 à 320  $\mu$ .  
Squelette : quartz et débris de roches.
- 190 N de Khosi.  
Plasma : pâte diversement fine, très hétérogène (25 à 80  $\mu$ ) avec quelques gros cristaux (800  $\mu$ ) en bordure de lame.  
Squelette : quartz à extinction ondulante. Un « galet » composé essentiellement de feldspaths enrobé dans une pâte argileuse ferruginisée.

- 140 S de Zargunshar. Conglomérat encroûté à bordure rubanée assez hétérogène (25 à 80  $\mu$ ) avec taches plus foncées formant un ruban continu ou par petits nodules à plus fines cristallisations. Sous la bordure rubanée microconglomérat :
- plasma : cristallisation de 160 à 240  $\mu$  ,  
squelette : quartz, serpentine, pyroxène,
- 110 Zargunshar. Encroûtement calcaire constitué dans une arène .
- plasma : cristaux de calcite de 25 à 40  $\mu$  englobant des fragments de calcite (débris d'anciennes croûtes ?), quartz et feldspaths,  
squelette : quartz, quelques feldspaths, biotite relativement abondante.
- 164 Coupe d'une «barbe» d'un galet de conglomérat. S de Zargunshar. Encroûtement calcitique fin (20 à 25  $\mu$  ) avec partie externe festonnée enrobant quelques grains de quartz, de feldspaths, de pyroxène , d'olivine serpentinisée, de serpentine. Ces débris détritiques sont à la périphérie.

### 3 - LOCALISATION DES ACCUMULATIONS CALCAIRES EN AFGHANISTAN ET POSITION DANS LES PAYSAGES

Ces accumulations s'observent pratiquement en toutes régions. On les voit aussi bien dans la partie centrale (Massif de l'Hindu Kuch et ses prolongements vers l'O et le S) que dans le N (Turkestan Afghan), dans le S et l'O (Régestan-Séistan-Margo), dans l'E (Nuristan-Paktia).

#### **Partie centrale (Vallée du Logar. Montagne de Bamyan. Cols de Salang, de Sebar. Piste du centre.....)**

Les accumulations calcaires sont principalement visibles entre 3 000 m et les bas de piedmonts (1 800 à 2 000 m dans la vallée du Logar). Au-dessus de 3 000 m elles se perçoivent encore mais n'ont plus la même importance que précédemment et se limitent alors souvent aux sols dérivant directement de roches ou matériaux calcaires ou calciques (calcaires sédimentaires, dolomie..... péridotite..... loess). En contrebas elles se forment fréquemment dans des matériaux différemment grossiers, d'origine détritique et souvent fluvio-glaciaire, et dans des loess colluvionnés.

La coupe schématique avec l'altitude que l'on peut décrire en partant d'observations faites dans la vallée du Logar, la montagne de Bamyan, les cols de Salang et Sebar, sur l'itinéraire de la piste du Centre est schématisée dans la figure 49. On distingue quatre domaines principaux de sols s'imbriquant plus ou moins les uns dans les autres :

#### **Domaine des sols périglaciaires (Montagne de Bamyan. Col de Salang.....)**

Ce domaine se localise entre 4 200 m (plus haut point de nos observations) et 3 500 - 3 000 m. Les sols périglaciaires sont caractérisés par un réseau organisé de polygones plus ou moins étirés sur pente et passent, lorsque celle-ci s'accroît, à des sols striés.

En fonction de la roche mère on observe ou non dans ces sols une accumulation calcaire :

- sur roche trachy-andésitique (Bamyan), accumulation calcaire nulle,
- sur calcaire tendre ou marneux (Bamyan), fortes accumulations par taches abondantes directement au-dessus de la roche mère. On a un très fort gradient calcaire sur une faible épaisseur avec un horizon superficiel décarbonaté de quelques cm,
- sur granite (Col de Salang), accumulation calcaire nulle. Sols polygonaux peu épais sur arène granitique à pH neutre à faiblement alcalin, légèrement désaturés,

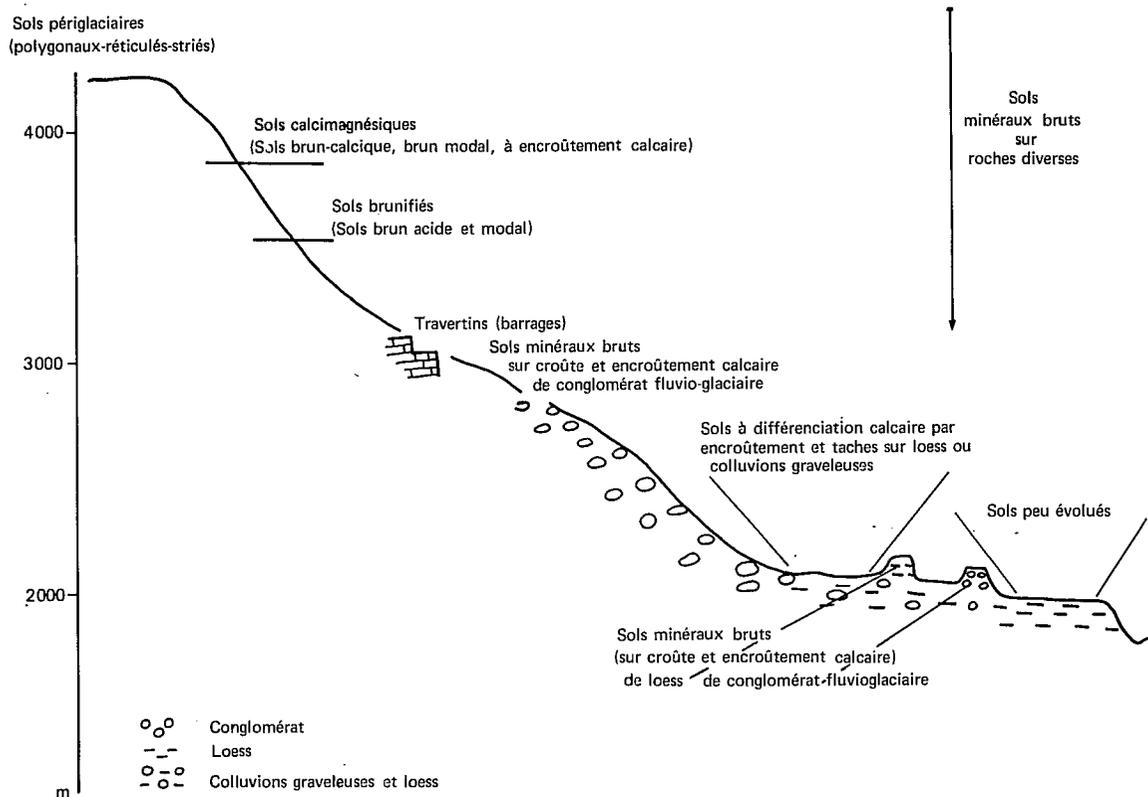


Figure 49 - Répartition schématique des sols avec l'altitude (Vallée du Logar, Régions du Centre)

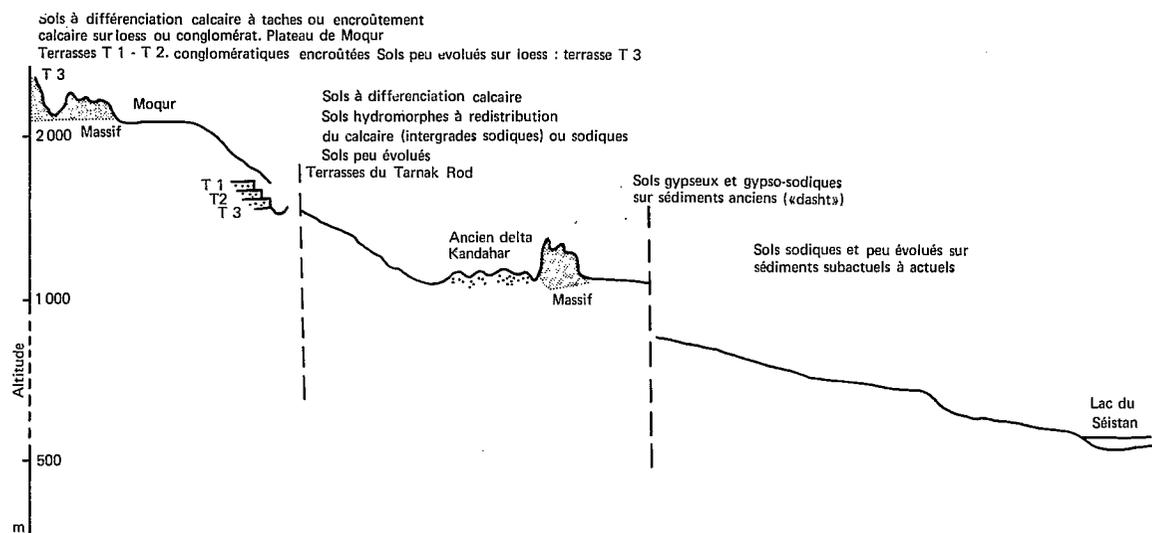


Figure 50 - Répartition schématique des sols avec l'altitude, Régions méridionales

A ces sols polygonaux s'associent, en bordure de mares ou sur les terrasses basses de cours d'eau, généralement en amont d'un défilé où apparaissent les travertins, les sols des buttes gazonnées à gradient calcaire faible à nul mais à hautes teneurs en Ca CO<sub>3</sub> (50 à 80%).

Associés à ces sols on trouve des sols hydromorphes tourbeux le long des sources (Bamyan. Col de Salang) ou des rankers sur arène granitique (Salang).

#### **Domaine des sols brunifiés et des sols calcimagnésiques**

Ils se localisent un peu en contre bas des précédents (3 500 à 2 000 - 2 800 m) mais sont souvent imbriqués avec eux. On observe :

- sols brunifiés : — sols bruns acides sur schistes,  
: — sols bruns modaux sur schistes à faible recouvrement de loess décarbonaté.
- sols calcimagnésiques sur calcaire tendre ou marneux :  
: — sols bruns calciques (niches de nivation de la montagne de Bamyan),  
: — sols bruns calcaires modaux,  
: — sols bruns calcaires à encroûtement.

#### **Domaine des sols à différenciation calcaire**

On les trouve entre 3 000 - 2 800 et 1 800 m sur loess en place ou colluvionnés, sur conglomérats fluvio-glaciaires, sur produits détritiques plus ou moins grossiers. On y distingue :

- sols très différenciés à croûte et encroûtement, très fréquents sur les piedmonts,
- sols moyennement différenciés à taches, amas, parfois nodules calcaires en bas de piedmonts,
- sols peu différenciés à pseudo-mycélium et taches calcaires souvent imbriqués avec les sols précédents.

Les sols très différenciés s'observent sur conglomérats ou sur loess, les sols moyennement différenciés sur produits détritiques, les sols peu différenciés sur loess colluvionnés.

#### **Domaine des sols peu évolués**

Ils occupent les vallées à des altitudes très variables et font suite aux précédents. Ces sols se développent sur des produits détritiques et des loess colluvionnés. Ils ne présentent pas de gradient calcaire ou accumulation morphologiquement visible malgré la nature du matériau carbonaté.

Dans ce type de paysage, en même temps qu'apparaissent les encroûtements calcaires sur les piedmonts, se développent dans les torrents montagnards des barrages de travertins souvent très démantelés.

#### **Parties méridionale et occidentale de l'Afghanistan (Figure 50)**

Les observations qui ont été faites partent du plateau de Moqur (2 300 - 2 500 m) à mi-chemin de Kabul et de Kandahar et, par la vallée du Tarnak Rod, conduisent à la partie méridionale déprimée (Régestan-Séistan-Margo).

*Dans tout l'arrière pays, nous retrouvons les sols observés dans la vallée du Logar entre 3 000 et 1 800 m (sols à différenciation calcaire à encroûtement ou à plus ou moins abondants amas ou nodules) qui se forment sur des loess remaniés ou des conglomérats fluvio-glaciaires formant des glacis-terrasses (terrasses hautes des rivières) ou des terrasses moyennes.*

*Dans la dépression de Kandahar, on retrouve par taches ces vieux conglomérats encroûtés mais très démantelés. On y voit également :*

- des sédiments argileux dolomitiques lacustres qui s'enfoncent sous les sables du vieux delta,
- des accumulations calcaires à encroûtement de faible profondeur au voisinage des petits massifs de calcaire à Rudistes (Sols à différenciation calcaire),

– des sols hydromorphes à redistribution du calcaire par action de nappe, à taches abondantes et parfois encroûtement. Ces sols sont souvent intergrades vers des sols sodiques ou sont sodiques et se développent sur un cailloutis conglomératique non cimenté ou des loess. Ils alternent avec des sols peu évolués sur matériaux identiques.

Dans la dépression *Régistan-Séistan-Margo*, la dominance revient à des sols gypso-calcaires qui forment les «dasht» des plateaux. Ils peuvent être eux-mêmes sodiques tandis que les alluvions lacustres ou fluvio-lacustres anciennes présentent, comme dans la région de Kandahar, des accumulations assez peu importantes de calcite. Dans les alluvions récentes de même nature le carbonate de calcium est sous forme diffuse sans accumulation apparente et les sols de type peu évolué ou sodique.

Les sols de plateau des «dasht» présentent sous le cailloutis conglomératique superficiel un réseau de fentes en coin (sols périglaciaires) qui en font des sols fossiles. Ces fentes sont la marque des actions du froid lors des dernières pulsations glaciaires. De nombreux galets éclatés sous l'action du gel, galets qui se retrouvent ainsi jusqu'à 60 cm de profondeur, sont ressoudés fréquemment par du calcaire ou du gypse. Deux réseaux de fentes en coin semblent se superposer dans ces «dasht». Un premier, le plus ancien et le plus large, a des mailles de 1,5 à 2 m d'ouverture, le second plus modeste présente un réseau polygonal d'une quarantaine de cm de diamètre.

### Partie septentrionale (Turkestan Afghan) (Figure 47)

Dans cette partie où les loess occupent des surfaces considérables les sols formés sur ceux-ci dans les endroits bien drainés en position haute sont à différenciation calcaire faible. L'accumulation diffuse à rares points blancs ou pseudo-mycélium est à faible profondeur (60-80 cm). Il s'agit de sierozems à horizon pallide dégradé par un paturage intensif ou les cultures. Ces sols se développent, là où nous les avons observés, à des altitudes de 500 à 600 m, c'est à dire sous des pluviométries de 200 à 300 mm. Dans les parties basses, les mêmes loess donnent naissance à des sols hydromorphes ou sodiques.

En altitude, au S de Quala I Naw (N-E d'Hérat) nous retrouvons ces mêmes sierozems mais alors non dégradés, à horizon ombrique et sous une steppe herbeuse, à une altitude de 1 000 à 1 100 m. Ils passent, en s'élevant jusqu'au col de Sabzak (2 400 m), à des sols à différenciation calcaire à début d'encroûtement, à horizon superficiel ombrique et décarbonaté, sous végétation de genévriers plus ou moins clairsemée. Aucun chiffre de pluviométrie n'est connu en ces régions mais celle-ci peut-être estimée à 500 - 600 mm.

### Partie orientale (Nuristan - Paktia) (Figures 41-42)

Dans le *Nuristan* (montagne de Kamdech) nous avons observé les loess jusqu'à 3 000 - 3 200 m sous forme d'accolements au massif de schistes et de pegmatites.

Sous végétation de conifères, entre 3 000 et 2 500 m, ils ont donné naissance par suite d'un lessivage intense en calcaire et argile à des sols brunifiés (sols bruns lessivés). Ils sont entièrement décarbonatés et partiellement désaturés. Une micropodzolisation superficielle est visible par endroits. Le calcaire de ces loess qui a migré se retrouve à partir de 2 500 m sous végétation de *Quercus baloot* et forme d'importantes accumulations en amas ou encroûtement. A plus basse altitude (entre Chiga Sarai et Kamdech) entre 2 000 et 1 000 m des accumulations calcaires moins importantes sont également visibles par places et consolident soit des loess, soit des conglomérats. On les observe également dans la dépression de Jalalabad.

Dans le *Paktia*, à l'E de Gerdiz, on note sur le versant O peu accusé du col de Sato (2 800 m), sous végétation de conifères, un sol à différenciation calcaire importante et à encroûtement. Il est très décarbonaté en surface et très proche de celui observé au col de Sabzak, au S de Quala I Naw. Sur le versant E très accusé, sous végétation d'abord identique puis vers 2 200 m à *Quercus baloot*, on trouve des sols bruns faiblement lessivés ou lessivés sur des schistes argileux à intercalations de grès datant de l'Eocène.

Dans la dépression de Bakh-Khost les sols qui se forment sur loess sont à accumulation calcaire

diffuse et lessivés en argile. Un encroûtement de ces loess a été observé en surface.

#### 4 - DATATIONS ISOTOPIQUES

Les datations par le carbone 14 effectuées sur des croûtes, des encroûtements, des sédiments lacustres dolomitiques et calcitiques, des travertins.... donnent des âges s'échelonnant dans une gamme de temps relativement importante (1).

##### Vallée du Logar

Un encroûtement calcaire (N° 812) surmonté d'une croûte calcaire rubanée (N° 811) elle-même recouverte par un conglomérat plus ou moins cimenté ont fourni les âges parmi les plus anciens de la vallée du Logar. La présence de débris coquilliers dans l'encroûtement paraît indiquer une mise en place en conditions lacustres ou marécageuses.

– N° 811 :  $29.040 \pm 1\ 150$  ans BP

– N° 812 :  $25.850 \pm 830$  ans BP

Un âge voisin a été fourni par un sédiment argileux dolomitique prélevé dans la région de Mohd Agha.

– N° 441 :  $27.670 \pm 780$  ans BP

Un encroûtement de loess au S de Kabul (Safed N° 731) ainsi qu'un encroûtement de conglomérat (S de Nawe Kala au N-E d'Altimur. N° 541) ont donné des âges un peu plus récents :

– N° 731 :  $21.700 \pm 420$  ans BP

– N° 541 :  $22.200 \pm 1\ 050$  ans BP

Un second encroûtement de conglomérat prélevé dans la partie amont du même piedmont près d'Abchakan (N° 77) a révélé un âge plus récent :  $15.740 \pm 230$  ans BP.

Au N-O de Dehe Naw, au S de Mohd Agha, un début d'encroûtement dans des sédiments colluviaux grossiers a fourni l'âge le plus récent pour cette partie de l'Afghanistan.

– N° 691 :  $12.570 \pm 190$  ans BP.

##### Bassin de Bamyan

Un encroûtement sur loess du glacier terrasse situé au N de Bamyan, à l'altitude de 3 000 m a donné un âge de  $15.350 \pm 230$  ans BP (B 153).

##### Montagne de Bamyan

La datation de travertins formant deux séries de barrages à 3 000 m d'altitude dans la vallée d'Awpar a permis de situer dans le temps la mise en place de ceux-ci.

- barrage ancien :
  - partie inférieure > 40.000 ans BP
  - démantelé
    - partie moyenne > 40.000 ans BP
    - partie supérieure  $24.750 \pm 700$  ans BP
- barrage récent :
  - partie inférieure  $14.230 \pm 190$  ans BP
  - partie supérieure  $11.670 \pm 165$  ans BP

(1) Ces datations sont données avec toutes les réserves qu'il convient de faire habituellement lorsqu'on aborde ce domaine : «vieillessement» possible des datations à la suite d'apport en provenance d'un environnement carbonaté plus ou moins ancien ; «rajeunissement» à l'inverse également possible, dans le cas d'arrivée de carbone plus ou moins récent apporté par des nappes ou des rivières ayant imprégnées postérieurement les croûtes, les encroûtements, les travertins.....

Ces datations de travertins seront reprises ultérieurement et comparées à d'autres effectuées par différents auteurs.

### **Piste du Centre**

Deux échantillons datés ont fourni des âges très différents :

- N<sup>o</sup> C 110 : calcaire vraisemblablement lacustre de la dépression de Daulat Yar à l'E de Caghcaran. 29.970 ± 1 050 ans BP
- N<sup>o</sup> C 200 : encroûtement calcaire d'un sol à différenciation calcaire prélevé au km 71 entre Caghcaran et Sahrak. 7 320 ± 120 ans BP,

### **Région de Kandahar et dépression Régestan-Seistan-Margo**

Des datations de croûtes et d'encroûtements calcaires, de dolomies, de sédiments calcitiques donnent l'âge de divers dépôts ou de pédogenèses qui ont suivi ceux-ci.

Les sédiments dolomitiques de la dépression de Kandahar apparaissent les plus anciens :

- N<sup>o</sup> K 8 : 34.300 ± 1 900 ans BP,
- N<sup>o</sup> K 7 : 26.270 ± 880 ans BP,

avec ceux conglomératiques de la haute terrasse (glacis-terrasse) du Tarnak Rod :

- N<sup>o</sup> K 13 : 27.400 ± 880 ans BP,

et ceux limono-argileux calcitiques prélevés sur la bordure de la vaste dépression Régestan-Séistan-Margo :

- N<sup>o</sup> K 410 : 33.200 ± 1 600 ans BP,
- N<sup>o</sup> K 211 : 30.300 ± 1 050 ans BP,
- N<sup>o</sup> K 280 : 30.300 ± 1 050 ans BP.

Plus récentes apparaissent les intercalations gypseuses dans les dépôts fluvio-lacustres qui marquent une phase importante d'assèchement (N<sup>o</sup> K 1 042 : 23.920 ± 510 ans BP) ou encore un encroûtement de faible profondeur prélevé au S de Kandahar en bordure d'un des petits massifs de calcaire à Rudistes (N<sup>o</sup> K 5 : 22.740 ± 400 ans BP).

L'encroûtement sur loess remanié du plateau de Moqur est encore plus récent (N<sup>o</sup> K 160 : 18.900 ± 420 ans BP), plus récent encore celui de la terrasse moyenne conglomératique du Tarnak Rod (N<sup>o</sup> K 15 : 15.970 ± 240 ans BP).

La datation la plus récente trouvée en cette région méridionale nous est donnée par un sédiment lacustre contenant des tests coquilliers, prélevé près de Zaranj (N<sup>o</sup> K 252 : 9 030 ± 125 ans BP).

### **Région septentrionale**

Une seule datation a été faite sur l'encroûtement observé à 2 800 m au col de Sabzak (S de Quala I Naw). L'âge trouvé est beaucoup plus récent que pour la plupart des précédents encroûtements (N<sup>o</sup> C 274 : 7 340 ± 115 ans BP).

### **Région orientale**

Dans la cuvette de Jalalabad deux datations d'encroûtements prélevés à une même butte témoin ont donné les âges suivants :

- J 230 : 31.450 ± 1 200 ans BP (loess),
- J 220 : 14.330 ± 170 ans BP (conglomérat).

Dans la montagne de Kamdech (Nuristan) l'accumulation calcaire résultant de la décarbonatation des loess situés entre 3 000 et 2 500 m a été datée de 20.490 ± 400 ans BP (N<sup>o</sup> N 103).

Dans le Paktia l'encroûtement calcaire du profil Kh 6 du Col de Sato a fourni un âge de 11.635 ± 160 ans BP, tandis qu'un autre encroûtement affleurant en surface dans la dépression de Khost-Bakh a donné pour âge 6 490 ± 120 ans BP.

## 5 - ESSAI DE CLASSEMENT DE CES DIFFERENTES DATATIONS

Toutes ces datations de carbonates de calcium ou de magnésium paraissent se regrouper en 4 périodes distinctes.

### Première période

Elle se localise dans le temps entre  $34.300 \pm 1\ 900$  et  $25.850 \pm 830$  ans BP :

- $34.300 \pm 1\ 900$  K 8 sédiment argileux dolomitique
- $33.200 \pm 1\ 600$  K 410 (1)
- $31.450 \pm 1\ 200$  J 230 (2)
- $30.300 \pm 1\ 050$  K 211 (3)
- $30.300 \pm 1\ 050$  K 280 (4)
- $29.970 \pm 1\ 050$  C 110 (5)
- $29.040 \pm 1\ 150$  C 812 (6)
- $27.670 \pm 780$  C 441 sédiment argileux dolomitique
- $27.400 \pm 880$  K 13
- $26.270 \pm 880$  K 7 idem à K 8 partie supérieure
- $25.850 \pm 830$  K 811 croûte rubanée du N° 812.

Les échantillons (1-3-4) paraissent des dépôts fluvio-lacustres, limono-argileux, calcitiques (loess remaniés ?).

Les échantillons (2-6) sont des encroûtements de loess, le (6) mis en place en conditions lacustres ou marécageuses (présence de tests coquilliers).

Le C110 semble un dépôt lacustre calcitique.

L'échantillon K 13 a été prélevé sur la haute terrasse du Tarnak Rod qui surplombe le cours du fleuve d'une centaine de mètres.

Pendant cette première période paraît prédominer en toutes régions le dépôt de sédiments lacustres, fluvio-lacustres ou marécageux fortement imprégnés de calcite ou de dolomie.

### Seconde période

Elle s'échelonne dans le temps entre  $22.740 \pm 400$  et  $18.900 \pm 420$  ans BP.

- $22.740 \pm 400$  K 5
- $22.200 \pm 1\ 050$  K 541
- $21.700 \pm 420$  K 731
- $20.490 \pm 400$  N 103
- $18.900 \pm 420$  K 160

Il s'agit ici d'encroûtements de loess à l'exception du N° 541 qui est celui d'un conglomérat. Tous ces encroûtements paraissent le résultat de la migration oblique du calcaire dans des paysages plus ou moins accidentés.

Entre la première période et la seconde se place la datation de l'échantillon K 1 042 où les dépôts fluvio-lacustres s'intercalent de niveaux gypseux montrant une nette tendance à l'assèchement de la cuvette Régestan-Séistan-Margo ( $23.920 \pm 610$  ans BP).

### Troisième période

Elle va de  $15.970 \pm 190$  et  $12.570 \pm 190$  ans BP :

- $15.970 \pm 240$  K 15 terrasse conglomératique
- $15.740 \pm 230$  B 77 conglomérat

- 15.350 ± 230 B 153 loess
- 14.330 ± 170 J 220 conglomérat
- 12.570 ± 190 691 loess et matériau détritique

L'échantillon K 15 est celui de la terrasse moyenne conglomératique du Tarnak Rod qui surplombe à Qalat le cours actuel du fleuve d'une trentaine de mètres.

La mise en place de ces divers encroûtements sur loess ou conglomérats paraît, comme dans le cas précédent, le résultat du lessivage du calcaire sur des pentes plus ou moins accentuées.

#### Quatrième période

Elle se tient entre 9 030 ± 125 et 6 490 ± 120 ans BP :

- 9 030 ± 125 K 352
- 7 340 ± 115 C 274
- 7 320 ± 120 C 200
- 6 490 ± 120 Bakh

Les 3 dernières datations sont celles d'encroûtements.

Les échantillons C 200 et C 274 appartiennent à des sols à différenciation calcaire situés en altitude (2 500 et 2 800 m). Ces sols présentent des horizons superficiels décarbonatés de couleur foncée. L'accumulation calcaire paraît ici le résultat d'entraînements à la fois oblique et vertical des carbonates. Le profil C 27 situé au sommet du col de Sabzak, sous végétation clairsemée de genévriers, est suivi en contrebas par des profils où les horizons superficiels disparaissent par suite de la pente et où ne subsiste plus que l'accumulation calcaire sur épandage de loess. On passe ensuite à des sols minéraux bruts sur roches diverses. Le passage est rapide.

L'échantillon Bakh est celui d'un encroûtement superficiel qui émerge dans la plaine de Bakh (Paktia) au milieu de sols sur loess colluvionné à accumulation calcaire diffuse. Cet encroûtement est sans doute en rapport avec le lessivage des loess et des sédiments éocènes qui forment les massifs de l'arrière pays.

L'échantillon K 352, ainsi que nous l'avons dit précédemment, est celui d'un sédiment calcitique lacustre contenant des tests coquilliers.

Enfin au cours d'une période plus récente, paraît s'être effectuée une pédogenèse calcaire beaucoup moins accusée dont nous avons trouvé les traces sur le plateau de Moqur vers 2 300 m. Elle affecte des loess et se traduit par une accumulation par taches calcaires peu abondantes. Ce sol présente un horizon humifère bien développé lui-même recouvert par plusieurs mètres de nouveau loess. L'ensemble constitue une petite butte témoin au sommet de laquelle se trouvent des tombes, ce qui a eu pour conséquence de limiter nos observations à la partie inférieure de la coupe. La datation par le carbone 14 de l'horizon organique a donné un âge de 2 790 ± 100 ans BP.

Enfin un niveau de tourbe enterré sous des alluvions récentes limono-argileuses du Logar a été trouvé au N de Gomaran. Cette tourbe a révélé un âge de 1 875 ± 90 ans BP.

## 6 - ESSAIS D'INTERPRETATIONS DE CES DIFFERENTES DATATIONS - VARIATIONS CLIMATIQUES ET PEDOGENESES SUCCESSIVES

La position de l'Afghanistan en Asie centrale, sa situation en altitude vont rendre ce pays particulièrement sensible aux manifestations glaciaires qui se sont développées pendant le quaternaire et spécialement le quaternaire récent qui nous intéresse ici.

La présence des contreforts avancés de l'Himalaya dont les sommets atteignent fréquemment 4 000 à 5 000 m (plus de 7 000 m au Pamir dans la partie la plus orientale) a eu pour conséquence de déterminer lors des périodes glaciaires un centre de hautes pressions générateur en toutes directions de flux froids qui ont couvert largement l'Afghanistan.

Alors que R. FURON (1 926) par certaines observations, notamment roches polies et striées par les glaces, faisait descendre les glaciers jusqu'à une altitude de 1 970 m, GROTZBACH et RATHJENS (1 969) définissent dans l'Hindu Kuch Afghan plusieurs glaciations dont ils ont retrouvé les moraines frontales ou latérales sous forme de vestiges bien identifiables. Suivant l'exposition et l'importance du bassin d'alimentation, ces glaciers seraient descendus au Pléistocène supérieur dans le Salang (Khinjan), en exposition N jusqu'à 2 500 m tandis que la limite de l'enneigement permanent se situait vers 3 500 m contre 4 500-4 600 m actuellement. En exposition S (Ramayel) l'altitude observée des moraines les plus basses a été de 2 850-3 100 m.

A une période plus récentes du Wurm et du post Wurm, ces auteurs ont identifié des épisodes glaciaires plus jeunes :

- stade Salang : moraines à 3 400-3 600 m, neiges permanentes à 3 700-3 850 m,
- stade Ramayel : moraines à 3 800 m, neiges à 4 000-4 100 m,

Un stade de glaciation très récent (milieu du 19<sup>e</sup> siècle) serait marqué par la présence de glace morte, fréquente à l'altitude de 4 030m. C'est d'ailleurs peut-être cette glace morte que nous avons observée dans la montagne de Bamyan, sur le versant N, au pied de la falaise calcaire.

### Rappel des données climatiques mondiales au Quaternaire récent (Glaciation Wurm et Holocène)

Parmi toutes les données permettant la connaissance des changements climatiques (variations ou déplacements de la faune et de la flore, rapport  $O_{16} / O_{18}$  donnant les changements de température moyenne.....), celles des avancées ou récessions des glaciers alpins, scandinaves ou de l'Alaska sont particulièrement intéressantes pour la période la plus récente. C'est ainsi que l'on peut distinguer avec G.H.DENTON et W. KARLEN (1 973) pour la période comprise entre 20.000 ans BP et nos jours les stades d'avancée glaciaire suivants :

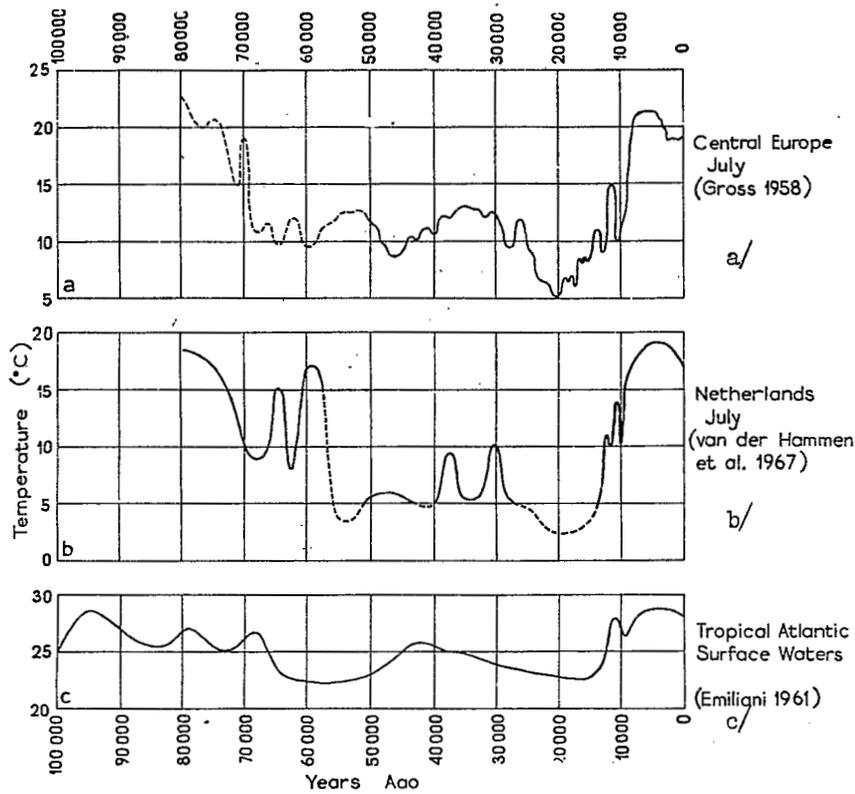
|                                                                                                                                                                                          |   |                                   |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|-----------------------------------|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>— 20.300 ans BP</li> <li>— 17.800 ans BP</li> <li>— 15.300 ans BP</li> <li>— 12.800 ans BP</li> <li>— 10.300 ans BP</li> </ul>                    | } | Pleistocène supérieur — Fini Wurm |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>— 7.800 ans BP</li> <li>— 5.800 à 4.900 ans BP</li> <li>— 3.300 à 2.400 ans BP</li> <li>— 900 à 700 ans BP</li> <li>— 450 à 100 ans BP</li> </ul> | } | Holocène                          |

La phase maximale de glaciation se situe pour cette période entre 21.000 et 18.000 ans BP. A partir de cette dernière date on assiste à une récession glaciaire générale avec des reprises d'extension plus ou moins marquées (15.300, 12.800, 10.300, 7.800 ans BP). La récession glaciaire est maximale vers 6 000 ans BP où sont notées les températures moyennes les plus élevées. On assiste ensuite à de petites avancées glaciaires dont les deux plus importantes se placent entre 3.200 et 2.400 ans BP et 450-100 ans BP. (Petit âge glaciaire).

Antérieurement à 20.000 ans BP les connaissances sont plus imprécises parfois contradictoires suivant les auteurs. Nous rapporterons ici différentes courbes de température établies à partir (LAMB 1 971. Figure 51):

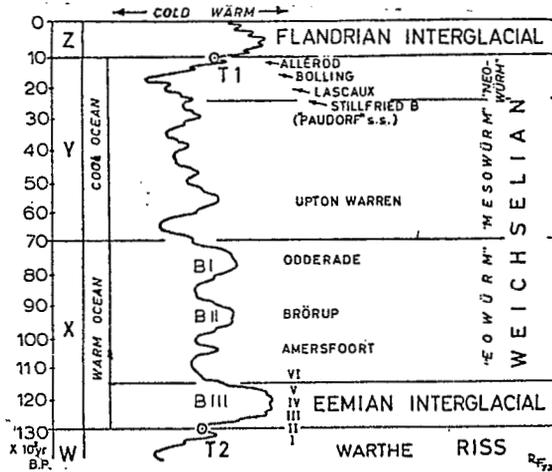
- des rapports  $O_{16} / O_{18}$  (EMILIANI 1 961),
- de la flore, de la faune et des mollusques du sol (GROSS 1 958),
- de la flore et des sols (Van Der HAMMEN and *al* 1 967).

Nous reproduirons également une courbe de température empruntée à FAIRBRIDGE (1 972. Figure 52). Cette courbe fait la synthèse des travaux de différents auteurs. Nous pouvons y distinguer :

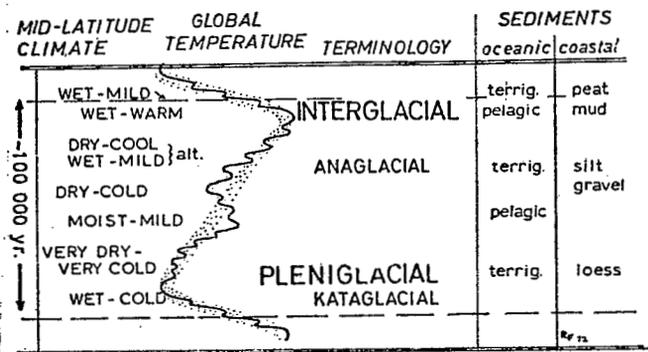


**Figure 51 (d'après LAMB 1971)**

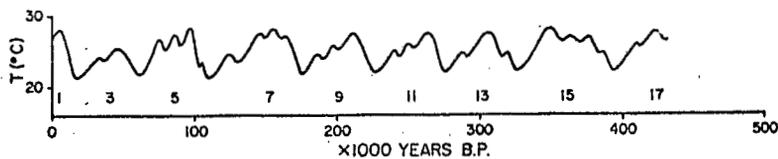
Variations de température au cours des 100 derniers millénaires, établies à partir :  
 a) de la faune et de la flore du sol,  
 b). de la flore et des sols,  
 c) des rapports O 16/O 18



**Figure 52 (FAIRBRIDGE 1972)** - Variations climatiques de l'interglaciaire Riss-Wurm à la période actuelle.



**Figure 53 (FAIRBRIDGE 1972)** - Succession de différentes phases au cours d'une période glaciaire.



**Figure 54 (EMILIANI 1972)** - Variations de température de l'Océan Atlantique au cours des 500 derniers millénaires (0 16/O 18)

- NEOWURM — de 0 à 30.000 ans BP une pulsation glaciaire accusée présentant un maximum entre 18.000 et 20.000 ans BP,
- MESOWURM — de 30.000 à 60.000 ans BP une série d'oscillations plus ou moins importantes allant vers le chaud ou le froid,
- EOWURM — une pulsation plus froide entre 60.000 et 70.000 ans BP  
— entre 80.000 et 110.000-120.000 ans BP une série de trois pulsations froides séparées chacune par des remontées importantes de température.

Pour FAIRBRIDGE chaque période glaciaire comprise entre deux interglaciaires est marquée en partant de l'interglaciaire par la succession des épisodes suivants : (Figure 53)

- interglaciaire : d'abord pluvieux et doux puis pluvieux et chaud,
- anaglaciale : marqué par des alternances de froid sec et humide et doux tandis qu'en altitude on a avec les saisons la succession froid-sec et pluvieux-doux,
- pleniglaciaire : très sec et très froid,
- kataglaciaire : pluvieux et froid faisant une transition rapide vers l'interglaciaire suivant. Cette remontée brutale est visible sur la courbe de température d'EMILIANI englobant plusieurs périodes glaciaires (Figure 54).

### Le mécanisme de migration calcaire

L'interprétation des datations que nous avons obtenues en Afghanistan a été faite par le biais des paléosols et des accumulations calcaires. Ces dernières et les sols fossiles sont donc utilisés pour l'étude de la stratigraphie et de la paléoclimatologie du Pléistocène supérieur et de l'Holocène.

La migration du calcaire paraît liée à un phénomène de « fonte » des calcaires sédimentaires tendres ou marneux, des calcaires durs, des dolomies, du calcaire des loess....., des roches ultra basiques calcaïques (péridotites) également riches en magnésium, sous l'action d'une longue percolation s'échelonnant sur plusieurs millénaires par les eaux de fusion des neiges et des glaces accumulées sur l'ensemble des massifs au cours des dernières pulsations glaciaires.

Ces eaux de fusion devaient être particulièrement enrichies en CO<sub>2</sub> si l'on en croit les résultats obtenus par RAYNAUD D. DELMAS R. et BOTTER R. (1973) et RAYNAUD R. et LORIUR C. (1973).

Ceux-ci par l'examen de deux carottes de glace prélevées au Groenland et datées isotopiquement dans une échelle de temps de 70.000 ans (carotte de 1 350 m) ont montré qu'au cours de la dernière pulsation froide l'air emprisonné par la fermeture des pores du névé présentait :

- un appauvrissement par rapport à l'atmosphère actuel en azote, oxygène, argon,
- un fort enrichissement en CO<sub>2</sub> représentant de 3 à 30 fois celui de l'actuelle composition ( 1 000 à 10.000 ppm de CO<sub>2</sub> dans l'air des pores du névé pour 300 ppm dans l'atmosphère actuelle (1).

Ce fort enrichissement en CO<sub>2</sub> allié à l'importance des neiges accumulées lors de leur mise en place (préglaciation) ou de leur fusion progressive (déglaciation) expliquent le phénomène de « fonte » évoqué plus haut sans qu'il soit nécessaire de faire intervenir en premier lieu les changements de solubilité, cependant non négligeables, des carbonates de calcium en fonction de la température (81 ppm à 0° contre 56 ppm à 25°).

L'équilibre qui se rétablissait relativement rapidement avec l'atmosphère au fur et à mesure de la descente des eaux torrentielles dans les vallées par suite de leur grande turbulence, allié au réchauffement de celles-ci, expliquerait la reprécipitation du Ca CO<sub>3</sub> sous les différentes formes où nous l'observons dans la nature :

(1) Ce phénomène s'expliquerait, d'après ces auteurs, par une adsorption sélective de CO<sub>2</sub> par la neige (expérience réalisée en augmentant par découpage la surface exposée à l'air libre d'une carotte de glace). Cet enrichissement en gaz carbonique peut être aussi mis en liaison avec la baisse du niveau des océans entraînant la raréfaction du plancton marin et l'amoin-drissement de la couverture végétale sur les terres soumises aux actions glaciaires, plancton et végétation étant les grands fixateurs de CO<sub>2</sub>.

- travertins formant d'imposants barrages dans les vallées (Vallée d'Awpar. Barrages de Band I Amir.....),
- calcaires ou dolomies lacustres (Dépression de Kandahar, de Daulat Yar sur la piste du centre.....),
- encroûtement se développant dans des sols hydromorphes et sodiques de marécages et bordure de marécages temporaires (Vallée du Logar),
- encroûtement de piedmont sur pente se développant dans un matériau fluvio-glaciaire plus ou moins grossier permettant une circulation intense des eaux de fonte,
- encroûtement de piedmont sur pente également forte se produisant dans des loess alors que le même matériau en amont subit une intense décarbonatation (Nuristan),
- encroûtement, souvent de plus faible épaisseur, se développant dans les loess les plus récents en altitude (2 800 - 3 000 m) et dont la partie supérieure des profils présente des horizons décarbonatés (Col de Sabzak. Piste du Centre).

On voit donc ici la continuité existant entre le phénomène purement géochimique lié à la décharge en sels d'une nappe sursaturée de surface ou circulant à faible profondeur et les phénomènes pédogénétiques occasionnés par ces mêmes eaux percolant au travers d'un sédiment initialement calcaire sur des pentes plus ou moins fortes. Dans ce dernier cas peut venir s'ajouter un facteur favorable constitué par les fortes teneurs en matière organique observées dans ces sols d'altitude. Cette matière organique en conditions idéales (adoucissement du climat, humidité plus grande) devient alors génératrice de CO<sub>2</sub> produit par la combustion des matières carbonées par les micro-organismes du sol.

Il est remarquable de noter, dans la vallée du Logar par exemple, que les plus forts encroûtements, les plus étendus aussi, sont observés sur les piedmonts conglomératiques des massifs calcaires ou de roches calcitiques les plus élevés. Ceci tend bien à montrer que les phénomènes de « fonte » des calcaires des massifs sont bien liés à la fusion des plus ou moins grandes masses de neige et de glace accumulées lors des pulsations glaciaires récentes.

## 7 - PHENOMENES ACTUELS DE MIGRATION DU CALCAIRE

Ils se poursuivent à haute altitude comme nous avons pu le constater dans la montagne de Bamyan et sur la piste du Centre où des phénomènes de décarbonatation et d'accumulation localisés sont visibles :

- décarbonatation des calcaires marneux dans une niche de nivation en versant N de la montagne de Bamyan où se forment des sols bruns calciques,
- accumulations localisées sur pente sous forme d'encroûtements, dans ce même massif, sur matériau identique (Sols bruns calcaires à encroûtement),
- accumulations de faible profondeur, au contact de ces mêmes roches, sous forme de taches abondantes dans des sols polygonaux périglaciaires superficiellement décarbonatés.

Ces phénomènes sont là sensiblement les mêmes, encore que sur matériaux différents, que ceux qui se sont produits lors de la pédogenèse de 7 500 - 6 500 ans BP vers 2 800 m. Nous sommes ici aux alentours de 4 000 m.

Sur les berges de la rivière Awpar se déposent encore en contrebas des barrages de travertin, vers 2 800 - 3 000 m des boues calcitiques à hautes teneurs en Ca CO<sub>3</sub>.

Sans nier les possibilités d'enrichissement ou d'appauvrissement actuels en calcaire de certains sols à de plus basses altitudes, mis à part les sols hydromorphes à redistribution du calcaire par action de nappe où accumulations et entraînements peuvent être beaucoup plus rapides, nous pensons que sous les pluvio-métries actuelles ces phénomènes sont en Afghanistan extrêmement ralentis par rapport à ce qu'ils étaient autrefois lors des plus ou moins grandes avancées glaciaires.

# LES TRAVERTINS

Il s'agit de formes particulières d'accumulations calcaires définies comme des biohermes, c'est à dire des constructions dues à des organismes végétaux ou animaux. Ces biohermes peuvent être d'origine marine (coraux, algues.....) ou continentale (algues, mousses.....) (G. LUCAS 1 970).

Les travertins sont très fréquents en Afghanistan et s'observent principalement à des altitudes moyennes à hautes (2 500 à 3 000 m) sous des climats fortement contrastés (hiver froid à très froid - été chaud. Cf Climatologie de Panjaw, Salang S et N).

## 1 - DEUX TYPES DE BARRAGES DE TRAVERTIN

### Les travertins de Band I Amir

Les barrages de travertin les plus beaux d'Afghanistan sont ceux de Band I Amir parce que situés dans un environnement privilégié. Encaissés dans des gorges de marnes et calcaires crétacés, ils forment dans celles-ci une succession de levées à l'arrière desquelles s'est constituée, dans un paysage quasi-désertique de steppe aride, une série de lacs aux eaux merveilleusement bleues. A.F. de LAPPARENT en distingue ainsi dix en ce site. Ces lacs communiquent entre eux par un petit cours d'eau qui coule au milieu des gorges et se jette successivement dans chacun d'eux pour ressortir à l'autre extrémité en ruisselant ou en cascade de la crête de barrages concaves, haute de 5 à 10 m par rapport au nouveau plan d'eau créé en aval. DESIO (1 960). de LAPPARENT 1 966).

Nous citerons la végétation d'un de ces barrages décrite par HAYON - KILBERTUS - PELT (1 968).

Ces auteurs distinguent plusieurs types de milieux :

- crête du barrage :
  - frange d'Hygrophytes à aire de distribution très étendue et de Bryophytes se développant grâce à une mince couverture de matière organique,
  - station marécageuse où les eaux ruissellent. Mêmes Hygrophytes avec en plus *Juncus*, *Scirpus compressus*, *Hippuris*....,
  - pelouses humides. Les mousses disparaissent pour faire place à une végétation herbacée (*Inula*, *Gentiana*..) avec quelques graminées (*Bromus*, *Puccinellia*...) et quelques arbustes rabougris broutés par le bétail,
  - flanc du barrage représenté par une paroi verticale :
    - en haut, mousses qui contribuent à l'accumulation de matière organique favorisant le développement de Phanérogames sur les replats. Parmi les mousses : *Didymodon tophaceus* connue comme incrustante paraît favoriser l'accroissement du barrage ; *Drepanocladus vernicosus* caractéristique de tourbières alcalines dans le Jura français.
  - assise du barrage. Phanérogames représentées par les mêmes espèces qu'au sommet avec des Hygrophytes aux sorties d'eaux passant dans la masse du barrage ainsi que des *Salix* et quelques pieds d'*Hordeum*.

Il s'agit dans l'ensemble d'espèces circumboréales et eurosibériennes qui sont remplacées sur le plateau semi-désertique entourant les gorges par des steppes à *Acantholimon*, *Acanthophyllum*, *Cousinia*, *Astragalus*, *Ephedra*....

LANG - LUCAS (1 970) ont eux-mêmes décrit la flore actuelle de ces barrages en liaison avec la position topographique. Ils distinguent différents types de travertins suivant leur origine, leur dureté, la maille de leur cristallisation :

- tufs à Cyanophycées (en croûte de 1 à 2 mm d'épaisseur formant des litages interprétés comme le résultat d'alternance saisonnière),

- tufs à Chlorophycées et Cyanophycées en masses friables, légères et poreuses,
- tufs à mousses plus ou moins bien consolidés et à diatomées abondantes,
- tufs à mousses, algues et Cyanophycées,
- tufs à Charophytes,
- tufs à *Equisetum* moulés sur les fougères en creux de ceux-ci,
- calcaires pulvérulents à Gastéropodes, Limnées et Planorbes.

Ces barrages ont fait l'objet d'études analogues par JUX et KEMPF (1971) mais l'interprétation de la formation de ces travertins en temps que biohermes a été considérée par ces auteurs comme la conséquence de variations climatiques au cours de périodes du Quaternaire récent. Ils distinguent notamment au cours d'une période récente dans la coupe de la levée de Jarukasan :

- une tourbe à *Phragmites* :  $1.065 \pm 70$  ans BP
- une craie lacustre (vraisemblablement à produits détritiques anciens de remblayage) :  $13.235 \pm 170$  ans BP
- une gyttja calcaire à prédominance de pollens de pin :  $850 \pm 425$  ans BP

Dans la partie plus ancienne d'un autre barrage deux datations ont donné les âges de  $31.375 \pm 440$  et  $25.425 \pm 700$  ans BP.

D'une façon très générale ces mêmes auteurs distinguent 3 cyclothèmes principaux :

- cyclothème Haybat : glaciaire tardif et surtout post-glaciaire,
- cyclothème Paner : période chaude Eem (à laquelle se rapportent les deux dernières datations dont les échantillons ont été pris seulement dans la partie supérieure,
- cyclothème Yakhak : avant dernier interglaciaire.

Cette classification apparaît trop généralisée et ne tient pas compte des multiples petites alternances climatiques de la fin Würm et de l'Holocène sur lesquelles nous reviendrons.

### Les travertins de la vallée d'Hadjar (barrage du «Dragon»)

Situés au S-O de Bamyán à 4 km de cette ville, la flore de ce barrage diffère notablement de celle de Band Amir. D'autre part le sommet du barrage du «Dragon» est marqué par d'importants griffons, sortes de mamelons calcaires pouvant atteindre plusieurs mètres de hauteur, qui attestent d'un écoulement par résurgence. De tels griffons n'ont pas été observés dans le fond des lacs de Band Amir lors de leur exploration. Celle-ci aurait révélé une profondeur d'une quarantaine de mètres.

A l'arrière du barrage du «Dragon» se tenait autrefois un petit lac aujourd'hui asséché.

PELT - HAYON - MARLIN - YOUNOS (1970) qui ont étudié la flore distinguent en ce site une végétation très différente de celle des barrages de Band Amir. Ils ont observé :

- une zone halophyte au pied du barrage localisée à proximité des sources jaillissantes. *Aeluropus litoralis* dominants et autres halophytes sur les sols les plus humides. Sur sols sableux la végétation se clairseme avec des zones entièrement nues et des buissons de *Tamarix* et des Chénopodiacées vivaces (*Salsola*, *Kochia*, *Gamanthus*, *Atriplex*, *Arthrophytum*, *Sueda*). Cette dernière se dispose en ceinture autour de buissons de *Nitraria* en position haute,
- un faible recouvrement végétal sur les pentes caillouteuses :
  - en versant S : *Salsola*, *Camphorosma* et diverses espèces communes en Afghanistan (*Arthrophytum*, *Polygonum*, *Cousinia*, *Artemisia*, *Aster*....), des graminéens (*Poa*, *Bromus*, *Stipa*...) et des Chénopodiacées dans les zones de suintements salés,
  - en versant N : espèces rudérales dans ces lieux où les troupeaux viennent chercher de l'ombre.
- sur le barrage de travertin et les plateaux environnants, des rudérales en liaison avec le stationnement des troupeaux et les espèces classiques des steppes afghanes :
  - *Arthrophytum*, *Artemisia*, *Gamanthus*.... sur l'ancien lac amont,
  - *Polygonum*, *Cousinia*, *Poa*.... sur les plateaux autour du barrage.

On a donc à faire dans ce site, mis à part le plateau, comme en d'autres régions salées étudiées par ces auteurs (Amou Daria, rives du lac Ab I Istaba à la frontière Afghano - Pakistanaise du S) à une flore halophile avec un important stock de Chénopodiacées.

A ces deux principaux types de formations de travertins représentés par les barrages de Band I Amir (1) et du «Dragon» (2) vont se rattacher :

- (1) les barrages d'Awpar, du pied du col de Sébar (versant E), celui situé à l'O de Gardan Dewal (Piste du Centre)...
- (2) les travertins ou barrages de la Vallée Rouge et de Paimouri (Près de Bamyan), de Panjaw... pour ne citer que ceux que nous avons pu observer.

## 2 - LES EAUX

Il nous a paru intéressant de comparer la nature des eaux qui coulent actuellement dans les vallées où se situent les barrages (Band I Amir, Awpar (1) et celles qui suintent en résurgence des barrages eux-mêmes (Vallée Rouge, Païmouri, Dragon, Panjaw (2).

Ces analyses ont porté sur les éléments majeurs et les éléments traces.

### Les éléments majeurs

#### *Eaux de Band I Amir et d'Awpar*

Deux prélèvements ont été effectués à Band I Amir : l'un au milieu d'un des lacs (N° 32), le second sur la rive près de l'hôtel (N° 6).

Ces eaux ont des pH de 8,05 et sont peu minéralisées (Conductivité de 0,44 mmho/cm). Elles sont carbonatées sodiques, magnésiennes et calciques (à dominance sodique pour le N° 6, à dominance calcique pour le N° 32).

Les eaux de la Montagne de Bamyan sont encore moins minéralisées (Conductivité de 0,12 à 0,25 mmho/cm), de pH 8,05 à 8,20, très calciques pour le N° 1 prélevé près de la ligne de crête, calciques et magnésiennes pour les deux autres. Elles sont à l'origine des dépôts calcitiques que l'on trouve dans les anes de la rivière Awpar.

Ces diverses eaux, de par leur pH, ont une charge alcaline quasi-saturée, ce qui explique qu'une faible perte de CO<sub>2</sub> peut provoquer le dépôt de calcite.

#### *Eaux des sources résurgentes (Vallée Rouge, Païmouri, Dragon, Panjaw)*

Elles sont d'une façon inverse et d'une manière très générale fortement minéralisées :

- Vallée Rouge : conductivité de 4,83 mmhos/cm, pH de 8,25. Eaux chlorurées et carbonatées sodiques,
- Païmouri : conductivité de 8,55 mmhos/cm, pH de 8,30. Eaux chlorurées et carbonatées sodiques,
- «Dragon» : conductivité de 7,46 mmhos/cm, pH de 8,90. Eaux chlorurées et carbonatées sodiques.

Les eaux du «Dragon» ont très peu de SO<sub>4</sub> (0,55%) par rapport aux deux autres (11,7 et 14,6%).

Les teneurs en Mg sont plus importantes dans la source de la Vallée Rouge (23,5%) que dans les eaux des deux autres (18,3 et 12,1%).

Les teneurs en Ca sont relativement faibles : 0,55% Vallée Rouge, 4,4% Païmouri, 2,7% «Dragon». Ceci laisse supposer une décharge importante en CO<sub>2</sub> dès la résurgence et la précipitation sous forme de calcite du Ca transporté par une eau sursaturée sous forte pression de CO<sub>2</sub>.

Les eaux des sources de Panjaw sont diversement minéralisées :

- celle située près de la station météorologique (conductivité de 2,36 mmhos/cm, pH de 8,25) a une eau chlorurée et secondairement sulfatée et carbonatée,
- celle près de la rivière a une eau moins chargée en sels, carbonatée magnésienne (conductivité de 0,78 mmhos/cm, pH de 8,15).

A titre d'exemple, nous avons adjoint deux autres eaux de source :

- celle du pied du col d'Adjigak (B 2), peu minéralisée (conductivité de 0,81 mmho/cm, pH de 8,15. Carbonatée sodique et magnésienne). Elle ne donne pas de dépôts de carbonates,
- celle observée entre Gardan Dewal et le col d'Onaï qui dépose un important résidu ferrugineux lors de sa sortie des schistes ampelliteux du Paléozoïque (B 1). Conductivité de 2,49 mmhos/cm. PH de 8,45. Eau carbonatée sodique plus faiblement magnésienne. Le résidu ferrugineux de cette eau contient également des quantités importantes de calcite (15,5%).

Une autre eau prise dans la rivière de la Vallée Rouge, dans le haut des gorges pourra être comparée à celle de la source résurgente de cette vallée et à celle de Païmouri. Elle en est très différente par sa conductivité (0,44 mmho/cm). Elle est carbonatée calcique et magnésienne.

### Les éléments traces

Ils n'ont pas été dosés sur tous les échantillons rapportés et dans certains le lithium et le rubidium n'ont pu être faits. Le bore n'a pas été dosé dans les eaux.

On constate pour les eaux des lacs de *Band I Amir* (N<sup>o</sup> 6 et 32) une grande analogie, avec cependant des teneurs plus élevées en V et Ba dans le N<sup>o</sup> 32.

L'eau de la rivière de la *Vallée Rouge* (B 3) est peu différente avec moins de Ba, Sr, Li.

Les eaux des sources ont des caractéristiques variables :

- Source ferrugineuse (B 1) : Mn assez important. Li très fort,
- Vallée Rouge (B 4) : remarques identiques mais Ba faible et Sr élevé,
- Panjaw : la source C 3 est assez comparable à celle de la Vallée Rouge, mis à part le Mn, tandis que la résurgence près de la rivière contient beaucoup moins de Li,
- «Dragon» : Mn, Ti, Ba, Sr, Cr élevés,
- Païmouri : assez proche de la source de la Vallée Rouge avec moins de Mn et Sn, plus de Ti et V.

On voit donc apparaître un trait commun entre trois de ces sources, la présence de Li abondant (Source ferrugineuse, Vallée Rouge, Panjaw).

Cette présence de lithium dont l'origine peut être recherchée dans un thermalisme quasi-certain n'apparaît pas dans les eaux de *Band I Amir* pas plus que dans celles de la rivière de la Vallée Rouge ou dans celles de la source du col d'Adjigak.

A Panjaw il y a une apparente contradiction entre les analyses des deux résurgences puisqu'une source sur deux présente des teneurs élevées en Li. La plus riche en cet élément se situe en piedmont de massif, près des barrages de travertin.

### Fe - Al - SiO<sub>2</sub>

*SiO<sub>2</sub>* : Les eaux de surface (*Band I Amir*, Montagne de Bamyán, rivière de la Vallée Rouge) contiennent des quantités faibles à moyennes de SiO<sub>2</sub> (3,2 à 11,5 mg.l).

Les eaux de sources ont des valeurs élevées atteignant 103 mg/l à la source ferrugineuse, 92,2 à Païmouri, 83,5 à la Vallée Rouge, 67,5 à Adjigak mais seulement 23,4 au «Dragon» et 19,1 et 11,1 à Panjaw.

*Fe<sub>2O<sub>3</sub></sub>* : Les variabilités sont également grandes :

- 41,5 mg/l à la source ferrugineuse. La dépose importante très rubéfiée autour de la résurgence atteste de cette richesse. Le sol formé ici, très localement couvert d'une végétation rase, contient de 40 à 45% de Fe<sub>2O<sub>3</sub> pour 14 à 20% de SiO<sub>2</sub> et peu d'Al<sub>2O<sub>3</sub> (0,95 à 1,25%). Le fer amorphe représente 36 à 38%, la silice</sub></sub>

amorphe 11 à 13%. L'examen aux RX confirme la présence de fer amorphe. Aucune raie de goethite ou d'hématite n'apparaît. On voit par contre celles de l'illite et de la calcite,

- 13 mg/l à la source du col d'Adjigak,
- 4,4 dans celle de la Vallée Rouge,
- 5,4 à Panjaw, près de la rivière où une dépose ferrugineuse colore en rouge par places les carbonates.

Aux sources du «Dragon», de Paimouri, de Panjaw (poste météorologique) et aussi dans les lacs de Band I Amir et dans la rivière de la Vallée Rouge les valeurs de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> sont comparativement très faibles (0,05 à 0,24 mg/l).

Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> : Les valeurs sont généralement faibles (0,05 à 0,2 mg/l), mise à part celle de la source ferrugineuse (0,7 mg/l). Dans la dépose de cette dernière 0,3% sont retrouvés sous forme amorphe pour 0,95 à 1,25% de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> total.

Toutes ces données montrent la complexité de l'origine des différents éléments dissouts et transportés. Ceux-ci sont en liaison avec les roches constituant le bassin versant des cours d'eau et des sources et liés aussi aux origines internes (thermalisme).

### 3 - COMPOSITION DES TRAVERTINS

Seuls les travertins de Panjaw ont fait l'objet d'analyses triacides. Il y a peu d'enseignements à tirer de celles-ci :

- CaO domine très largement (48 à 52%),
- MgO (0,33 à 0,68%), K<sub>2</sub>O (0,09 à 0,22%), Na<sub>2</sub>O (0,20 à 0,29%) sont peu importants,
- SiO<sub>2</sub> représente 0,9 à 1,95%,
- Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 0,25 à 3,1% (3,1% dans l'accumulation carbonatée colorée en rouge près de la rivière à Panjaw),
- Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 0,25 à 0,90%,
- MnO<sub>2</sub> traces à 0,06%,
- TiO<sub>2</sub> 0,04 à 0,10%.

La perte au feu est importante 40 à 43%.

Il n'y a aucune relation apparente entre l'analyse des eaux recueillies à Panjaw et les dépôts en bordure des sources. Ceci étant lié, comme nous l'avons signalé précédemment, à la décharge de celles-ci en CaCO<sub>3</sub> dès leur arrivée à l'air libre qui s'accompagne d'un enrichissement relatif en ions *Mg* (1) et *Na* (C 2) ou *Na* et *Mg* (C 3).

L'analyse aux triacides du dépôt actuel de la rivière Awpar (Montagne de Bamyan) fournit des chiffres assez voisins des précédents (CaO 35%, Quartz 18,6%, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 2%, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 2,25%, MgO 1,2%, K<sub>2</sub>O 0,46%, Na<sub>2</sub>O 0,20%, perte au feu 33,3%). La comparaison entre l'eau de la rivière Awpar (B 3) et le dépôt calcitique aboutit à une conclusion identique à celle ci-dessus mais ici l'ion Ca reste dominant dans ces eaux (Ca et Mg).

D'une façon plus générale, on peut observer que les rapports Ca/S sont élevés dans les eaux de surface (Montagne de Bamyan. Rivière de la Vallée Rouge. Lacs de Band I Amir), faibles dans les sources après leur résurgence.

Dans le lac de Band I Amir on note une décroissance nette de ce rapport pour les eaux du rivage (N<sup>o</sup> 6) soumises aux prélèvements du CO<sub>2</sub> par la végétation aquatique (25,1% pour 41,6% pour les eaux libres du lac N<sup>o</sup> 32). On assiste alors, pour la première de ces eaux, à une élévation du rapport Na/S.

L'examen micromorphologique des travertins et leur étude aux RX révèlent la présence unique de calcite en très grandes cristallisations pouvant atteindre 2,5 à 3 mm.

La recherche des *éléments traces* totaux dans ces travertins nous indique des valeurs souvent faibles :

- Pb, Ge, Bi, Mo, Sn, V, Cr, Ni inférieures à 10 ppm,

(1) Cations en italique dominants.

- Ga, Co, B inférieures à 3 ppm.

Seuls Mn, Cu et Li présentent des variations importantes.

*Barrages d'Awpar :*

- Mn 3 à 50 ppm,
- Cu 3 à 10 ppm,
- Li 10 à 150 ppm.

Les valeurs de Li (les plus élevées) ont été obtenues à la base des anciens barrages (> 40.000 ans BP).

Le dépôt actuel de la rivière Awpar contient en ppm traces :

- Mn 100,
- V 30,
- Cr 10,
- Li 30.

*Barrages du « Dragon »*

- travertin actuel : Mn 300 ppm. Li 150 ppm,
- travertin ancien : Mn > 1 000 ppm. Li 150 ppm. Ni 10 ppm,

*Panjaw - Dépôts actuels*

- C 30 - C 40 correspondants aux dépôts de la source située près de la rivière : Mn 100-150 ppm. Cu 3-5 ppm. Li 30 ppm (Sr, Ba, Rb non dosés),
- C 60 dépôt de la source près du poste météorologique : Mn 30 ppm. Cu 3 ppm. Li 100 ppm.

Les valeurs de ces 3 éléments traces sont très relativement comparables à celles obtenues dans les eaux :

- C 2 (rivière) : Mn 60  $\gamma$ /l. Cu 30  $\gamma$ /l. Li 160  $\gamma$ /l,
- C 3 (météo) : Mn 20  $\gamma$ /l. Cu 20  $\gamma$ /l. Li 2 000  $\gamma$ /l.

#### 4 - DATATIONS ISOTOPIQUES

A nos propres datations par le carbone 14 qui ont porté principalement sur les barrages de travertin de la Montagne de Bamyan, nous ajouterons celles effectuées par JUX et KEMPF (1 971) et par NGUYEN HUU VAN *et al* (1 973) sur ceux de Band I Amir.

*Montagne de Bamyan - Barrages de travertin de la rivière Awpar*

Nous ne reviendrons ni sur la description du site ni sur la position des deux séries de barrages que nous avons données précédemment (Cf. La région centrale de l'Afghanistan. La Montagne de Bamyan).

La série de barrages anciens, les plus imposants, a révélé des âges :

- > 40.000 ans BP pour les parties inférieure et moyenne (1) tandis que la partie supérieure a donné une seule date : 24.750  $\pm$  700 ans BP.

(1) Une datation faite très récemment par la méthode Uranium/Thorium a révélé pour la base du barrage ancien (N<sup>o</sup> 4) un âge de 120.000+28.000 -15.000 ans BP (LANG 1 975).

Un barrage de la deuxième série (celui près du village d'Awpar) et un second (en amont de ce village) ont fourni 3 dates :

- pour la base :  $14.230 \pm 190$  ans BP,
- pour le sommet :  $11.840 \pm 170$  et  $11.670 \pm 165$  ans BP.

#### *Band I Amir*

Les datations de JUX et KEMPF donnent pour la phase finale du cyclothème Paner deux âges :  $31.375 \pm 440$  et  $25.425 \pm 700$  ans BP. Ce dernier est à rapprocher de notre datation de la partie supérieure de la première série de barrages d'Awpar ( $24.750 \pm 700$  ans BP), tandis que l'accumulation de travertin datée ici correspond sensiblement à celle de carbonates (dolomie) que nous avons trouvée en d'autres régions mais à des altitudes plus basses (1 100 m environ dans la dépression de Kandahar. Ages compris entre  $34.300 \pm 1 900$  et  $26.270 \pm 880$  ans BP).

NGUYEN HUU VAN *et al* ont effectué des datations par la méthode  $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$  sur des travertins du «Dragon», de Païmouri, de Band I Amir. Ils trouvent les âges suivants :

- «Dragon» : – barrage récent :  $16.100 \pm 2 000$  ans BP,  
 $27.800 \pm 3 000$  ans BP, (1)
- : – barrage ancien :  $44.700 \pm 6 000$  ans BP,  
 $47.400 \pm 5 000$  ans BP,
- Païmouri :  $17.600 \pm 2 000$  ans BP,  
 $80.000 \pm 5 000$  ans BP,
- Band I Amir :  $133.000 \pm 15000$  ans BP.

## 5 - INTERPRETATIONS DES DATATIONS ET DES RESULTATS ANALYTIQUES

Voyons tout d'abord ce qui paraît s'être passé à haute et moyenne altitudes lors de pulsations climatiques importantes glaciaire-interglaciaire ou stadiaire-interstadaire (multiples à l'intérieur de la dernière glaciation Wurm) :

- pré-interstadaire (réchauffement) : fonte des neiges et glaces se traduisant par des écoulements abondants d'eaux riches en  $\text{CO}_2$  solubilisant des quantités importantes de Ca prélevé aux différentes roches (Cf Mécanisme de migration du calcaire). Dans cette période, le phénomène de dépose résulterait beaucoup plus d'actions physico-chimiques que de l'intervention des organismes végétaux (biohermes). Ces forts ruissellements ont pu s'accompagner du démantèlement des moraines qui en déferlant dans les vallées ont détruit d'anciens barrages de travertin précédemment constitués,
- interstadaire (période chaude maximale). Ecoulement plus réduit. Fonctionnement plus important des biohermes par rapport à la phase précédente,
- post-stadaire (refroidissement progressif mais notable avec accumulation de neiges et glaces à haute altitude). Fonctionnement très diminué du bioherme ou arrêt total.

Il est permis de penser :

- que ces barrages de travertin se sont constitués lors de périodes de réchauffement climatique important ou lors de refroidissements lents,
- que la destruction d'une série de barrages peut avoir deux causes :

(1) Cette date a été rapportée en fait par ces auteurs au barrage récent, ce qui est peu probable si nous comparons avec nos propres datations et avec celles de JUX et KEMPF. Elle donne plutôt l'âge de la partie supérieure du barrage le plus ancien.

- le démantèlement sous l'action de produits grossiers d'érosion transportés par le cours d'eau dans sa vallée en pré-interstadaire ou pré-interglaciaire,
- l'avancée d'une langue glaciaire dans la vallée elle-même s'accompagnant d'un creusement de celle-ci. Il semble que c'est cette deuxième hypothèse qui soit à retenir pour expliquer la destruction de la première série de barrages de travertin de la vallée d'Awpar.

Les sources actuellement thermales («Dragon», Paimouri, Panjaw....) ont fonctionné lors de ces périodes de déglaciation comme évacuatrice des eaux de fonte. Les débits dus au thermalisme étaient alors très secondaires par rapport aux premiers. Les barrages que l'on observe près de ces sources sont donc vraisemblablement de même âge que ceux observés dans le lit des cours d'eau (Band I Amir, Awpar..). Une recherche très détaillée d'éléments traces devrait montrer :

- l'abondance de certains éléments traces (dont le lithium) au cours de périodes où le débit de ces sources a été modéré à faible comme il l'est actuellement (bioherme fonctionnant de façon modérée à forte),
- une non dominance en éléments traces dans les dépôts de travertin correspondant aux périodes de forts ruissellements, ceci aussi bien dans ceux des sources que dans ceux barrant les cours d'eau (bioherme fonctionnant de façon faible).

A partir de ces différentes dates nous pensons pouvoir reconstituer les épisodes climatiques suivants dans une période allant de 10.000 à 45.000 ans BP, en tenant compte de ce qui est connu en d'autres parties du globe, :

- 11.670 ± 165 à 14.230 ± 290 ans BP (1). Edification de la série récente des barrages d'Awpar. Réchauffement important succédant à la glaciation précédente mondialement connue. Autres dates à altitudes plus basses : 16.100 ± 2 000 - 17.600 ± 2 000 ans BP (3),
- période de glaciation maximale 22.000 à 18.000 ans BP,
- 31.375 ± 440 (2) à 24.750 ± 700 ans BP (1). Réchauffement important ou alternance de réchauffement et de refroidissement plus ou moins importants. Partie supérieure de la première série de barrages d'Awpar (4).

- .....
- 47.400 ± 5 000 - 44.700 ± 6 000 ans BP (3). Réchauffement important ou alternance de réchauffement et de refroidissement plus ou moins importants. Parties moyenne et inférieure de la première série de barrages d'Awpar ? (> 40.000 ans BP). (Cf. (1) p. 252 pour la partie inférieure).

- .....
- réchauffements plus anciens ? : 80.000 ± 5.000 ans BP,  
: 133.000 ± 15.000 ans BP. Interglaciaire Riss-Wurm (Eem) ?

Ces biohermes (pris dans un sens très large) apparaissent comme très complexes et multiples en fonction de variations climatiques peu ou très importantes. A chaque période doit correspondre un bioherme bien déterminé, spécifique de conditions données (Température et profondeur des eaux. Richesse de celles-ci en ions CO<sub>3</sub>H et Ca, en silice.....). Ceci permet de mieux comprendre la grande variété des biohermes donnée par LANG et LUCAS (1 970) qui alternent alors avec des calcaires pulvérulents à Gastéropodes, Limnées, Planorbis, des tufs à *Equisetum*... (5).

A l'époque actuelle de réchauffement généralisé où ne subsistent à haute altitude que peu de neiges sinon celles du dernier hiver dont la fonte sera terminée au mieux au milieu de l'été (neige permanente à 4500 m), les conditions paraissent favorables à l'édification de tufs à mousses et algues diverses encore qu'en fonction de la profondeur d'eau la variabilité puisse être très grande.

(1) Datations BOUYX - PIAS,

(2) Datations JUX - KEMPF,

(3) Datations NGUYEN HUU VAN *et al*,

(4) Comme nous l'avons indiqué précédemment, à basse altitude (Région de Kandahar) l'accumulation calcaire plus précoce paraît débiter vers 34.000 ans BP.

(5) Ce sont semble-t-il de tels tufs qui constituent une grande partie des barrages d'Awpar. On observe également en très grande abondance des empreintes de feuilles de *Salix*.

Nous voyons donc l'apport important que peuvent donner ces biohermes dans la reconstitution climatique des temps passés, dans la mesure où pourra être entreprise l'étude systématique de certains barrages comme ceux d'Awpar et de Bamyan.

Nous constaterons également l'analogie existant entre la croissance de ces biohermes et celle plus modeste de certaines croûtes rubanées où des organisations végétales d'algues ou de mousses ont pu être observées dans certains échantillons.

La vitesse de croissance de ces biohermes (toujours pris dans un sens très large) apparaît très grande. Ainsi si nous retenons uniquement les datations des barrages récents d'Awpar, nous voyons que l'édification de 60 m de travertin (barrage 5 en amont) et de 20 à 25 m de ce même matériau (barrage 3) en une période de 2 500 ans, correspond à une dépose de calcite de 2,4 à 3 m par siècle en aval pour le barrage 5, de 0,8 à 1 m pour le barrage 3. On voit ainsi diminuer les phénomènes d'accumulation d'amont en aval. Ceux-ci deviendront très faibles et sans commune mesure dans les étendues marécageuses de piedmont à basse altitude (2,4 cm par siècle dans la région de Kandahar 6,5 à 7 cm dans la vallée du Logar).

## PALYNOLOGIE

### 1 - OBSERVATIONS PALYNOLOGIQUES (\*)

Les observations palynologiques qui ont été faites ont porté sur une quarantaine d'échantillons. Elles ont été effectuées à l'Institut Français de Pondichery grâce à l'obligeance du Docteur THANIKAI-MONI et de P. LEGRIS Directeur de cet organisme.

Les échantillons ont été choisis en fonction de différents critères :

- des datations effectuées par le carbone 14 sur certains de ceux-ci,
- la stratigraphie que l'on a pu observer en divers lieux, proches des prélèvements datés.

Il n'a pas été étudié de séquence continue sur une aussi longue période ( $> 40.000$  à  $1.875$  ans BP) mais une série de coupes plus ou moins éloignées les unes des autres ou des échantillons isolés.

Nous classerons les différentes analyses palynologiques en fonction de l'échelle stratigraphique que nous avons retenue, en commençant par les plus anciennes. La majorité des échantillons examinés sont ceux de la vallée du Logar.

Nous ne connaissons pas l'âge de dépôt des sédiments anciens de la cuvette de Kabul (N<sup>o</sup> 800 - 870 - 880 : argile en plaquettes, limons-argileux). Ils représentent sans doute un faciès relativement récent de la formation du Lataband. La présence de montmorillonite abondante, le faciès lité nous ont fait penser à leur mise en place en des conditions très hydromorphes, marécageuses ou lacustres. Aucun pollen n'y a été observé, pas plus que dans les échantillons J 42 - J 44 (intercalations limono-argileuses dans des séries sableuses «poivre et sel») datant vraisemblablement du Pléistocène inférieur ou moyen.

Les dépôts les plus anciens datés dont l'analyse pollinique a été faite sont ceux de la séquence de la butte témoin S de Baraki Barak (Padkwabe Roghani) constituée de la façon suivante en partant de la partie supérieure :

- conglomérat encroûté non daté,
- croûte calcaire lamellaire N<sup>o</sup> 811 ( $25.850 \pm 830$  ansBP),
- encroûtement calcaire blanc, polyédrique, classique présentant quelques tests de Gastéropodes N<sup>o</sup> 812 ( $29.040 \pm 1.150$  ans BP),
- sable plus faiblement calcaire, (N<sup>o</sup> 813).

(\*) Voir Annexe 1 (Deuxième partie).

L'analyse pollinique y révèle :

— une croissance des pourcentages de pollens de Chénopodiacées au fur et à mesure que l'on passe du sable à l'encroûtement et enfin à la croûte lamellaire. Inversement, en même temps le pourcentage des Composées (dont *Artemisia*) diminue considérablement.

Au cours de ce cycle (30.000 à 25.000 ans BP) les conditions climatiques semblent avoir été marquées par un réchauffement généralisé et par un assèchement plus ou moins marqué des étendues lacustres.

Des sédiments sensiblement de même âge ( $27.670 \pm 780$  ans BP), dérivant des péridotites et de couleur rouge ou saumonée (Région de Mohd Agha), ne présentent aucun pollen dans leurs couches les plus anciennes (N° 450-460) et relativement peu dans de plus récents (N° 344) dont l'échantillon daté (N° 441). Dans le N° 344 *Artemisia* domine sur les Chénopodiacées.

Dans la dépression du Régestan-Séistan-Margo l'examen des échantillons K 1 042 - 1 043 - 1 083 (limons argileux à intercalations gypseuses) reflète un assèchement important au cours d'une période légèrement plus tardive ( $23.920 \pm 610$  ans BP). Ces échantillons ne possèdent pratiquement aucun pollen.

La séquence de Mirwal se présente de façon identique à celle de la butte témoin du S de Baraki Barak. Elle ne nous apporte aucun enseignement pollinique, seul le sable sous-jacent a révélé des pollens abondants tandis que le N° 931 n'en contient aucun et le N° 932 (marne encroûtée) très peu (*Artemisia* dominant). Il est intéressant cependant de noter que l'on passe ici, d'un dépôt sableux de type fluviatile supposant des apports abondants de cours d'eau donc l'érosion dans un paysage plus ou moins lointain de sols préexistants (pollens abondants), à des argiles et à des marnes. Superposées aux sables, elles marquent une phase de dépôt en eaux calmes après que ce soient établis de nouveaux profils d'équilibre, mais avant qu'une végétation abondante ne se soit implantée sur les parties amont du bassin. Nous pensons que la séquence de Mirwal est de même âge que celle de Padkwabe Roghani.

Les échantillons du profil 54 du S Logar, qui sont ceux d'encroûtement de conglomérats, sont également marqués par une croissance des Chénopodiacées peu abondantes dans le N° 541 (le plus ancien  $22.200 \pm 1 050$  ans BP) mais avec très peu de pollens (surtout *Artemisia*), plus importantes dans le N° 542 (partie supérieure non datée du même encroûtement). Le N° 540 est celui d'un léger encroûtement dans le lit même du cours d'eau et doit être considéré comme beaucoup plus récent (subactuel à actuel). Il contient une dominante de composées (*Artemisia*) et d'Ombellifères.

L'échantillon N° 734 prélevé à la butte de Safed au S de Kabul est l'horizon profond, encore très riche en calcaire, d'un encroûtement sur loess daté de  $21.700 \pm 420$  ans BP (échantillon N° 731). Le pourcentage de Chénopodiacées par rapport aux pollens totaux y est important, plus encore dans l'échantillon N° 702 que l'on peut rapporter à cette période (loess à encroûtement blanc par places se superposant à un conglomérat et aux argiles saumonées dolomitiques dérivant des péridotites (Région de Mohd Agha). L'échantillon N° 670 qui paraît faire partie de cette même série de loess mais qui représente un faciès plus ancien (Prélèvement à 5 m sous un sol à différenciation calcaire, à amas plus ou moins friables) est à Composées dominantes (*Artemisia*, *Cousinia*) et Ombellifères mais assez peu de pollens.

L'échantillon de loess «Lataband» prélevé près de Sarobi, feuilleté, évoque une mise en place en conditions marécageuses tandis que la hornblende à faciès volcanique qu'il contient permet de le dater dans une fourchette de 25.000 à 18.000 ans BP. Il ne contient aucun pollen.

Nous n'avons aucun renseignement entre  $21.700 \pm 420$  ans BP et  $15.740 \pm 230$  ans BP (Echantillons N° 731 et 77) c'est à dire dans la période la plus froide de la dernière pulsation glaciaire.

Le N° 77 (encroûtement conglomératique) contient une dominance de Chénopodiacées, de même que le N° 691 (début d'encroûtement plus récent :  $12.570 \pm 190$  ans BP) tandis que le N° 692, plus ancien, révèle seulement des Ombellifères dominantes et des Composées.

Nous avons peu de renseignements après cette dernière date. Les échantillons Ku 174-176-183 (1) prélevés dans les régions septentrionales n'apportent rien du fait de leur pauvreté en pollens. Ils représentent la série la plus récente des loess (dépôts vraisemblables vers 10.000 ans BP) mais ils ont été colluvionnés ultérieurement puis repris par les eaux des rivières Kunduz et Khanabad pour en constituer les terrasses.

<sup>1</sup> Les échantillons des régions septentrionales ont été appelés Ku dans ce chapitre pour éviter toute confusion avec ceux des régions méridionales (K).

On voit ici encore la faible abondance des pollens dès que se manifestent des transports (1).

Dans la région de Moqur le paléosol enterré ( $2\ 790 \pm 100$  ans BP) présente un horizon profond (B Ca à taches et petits amas) sur loess sans pollen, tandis que les horizons supérieurs sont riches en Chénopodiacées.

La tourbe enterrée du S de Kabul (N° 522 :  $1\ 875 \pm 90$  ans BP) se révèle plus variée comprenant à la fois des Composées dominantes (*Artemisia*) mais également des Chénopodiacées. Nous l'avons interprétée comme une manifestation du froid à moyenne altitude (1 850 m environ).

## 2 - INTERPRETATIONS (FIGURE 55)

Les analyses polliniques sur différents profils à croûte et encroûtement calcaire ou profils non encroûtés, dans l'état actuel d'avancement des travaux, permettent les constatations suivantes :

- d'une façon générale, les échantillons observés sont très pauvres en pollens et ceci d'autant plus que les froids ont été plus intenses (B 153 :  $15.350 \pm 230$  ans BP, altitude 3 000 m. N° 77 :  $15.740 \pm 230$  ans BP, altitude 2 200 - 2 500 m) ou que se sont marquées des conditions plus sèches (N° 811 :  $25.850 \pm 830$  ans BP). On peut penser qu'il y a eu une raréfaction importante de la strate herbacée, sinon sa disparition complète au moment des plus grands froids, ceci en fonction de l'altitude,
- absence ou faible importance pour la période considérée de pollens de végétation arborée, généralement inférieure à 5%. Ces pollens sont ceux de *Pinus*, *Betula*, *Alnus*, *Ephedra*, *Salix*,
- fraction de pollens de végétation non arborée représentée principalement par des Composées, Chénopodiacées, Ombellifères relativement abondantes. Parmi les Composées s'observent le plus fréquemment le genre *Artemisia* et en moindre quantité les genres *Cousinia* et *Vernonia*,
- alternance très fréquente dans la dominance pour un même échantillon soit de Composées, soit de Chénopodiacées ou de Chénopodiacées et d'Ombellifères. La dominance de Chénopodiacées est la plus fréquente dans les croûtes et encroûtements calcaires et il y a souvent augmentation du pourcentage de celles-ci soit en période préglaciaire en même temps que le nombre de pollens totaux diminue, ainsi que celui des Composées, soit en période de déglaciation.

Ces différentes observations suggèrent que la steppe à *Artemisia* primitive s'est progressivement enrichie en Chénopodiacées, en même temps que le couvert herbacé devenait plus lâche en raison du refroidissement en préglaciation. La présence des espèces de cette famille en cette période laisse supposer des saisons très contrastées permettant en été la fonte des neiges accumulées en hiver, sinon à haute tout au moins à moyenne altitude, et la formation d'étendues marécageuses temporaires où se développaient ces plantes. Les saisons étaient également contrastées pendant la phase de déglaciation en même temps que se produisait un réchauffement généralisé. Il est aussi possible d'admettre comme hypothèse au cours des périodes pré et post-glaciaires la coexistence de steppe à *Artemisia* sur les points élevés du relief des piedmonts et d'étendues marécageuses où poussait une flore à prédominance de Chénopodiacées. La présence de celles-ci dans les croûtes et les encroûtements calcaires évoque un milieu salin et hydromorphe qui serait la conséquence de phénomènes intenses de lessivage des sels provenant en partie de l'hydrolyse des roches des massifs provoquée par la fonte des neiges. Nous avons vu que, dans certaines régions, croûtes et encroûtements pouvaient présenter des salinités résiduelles importantes. Lorsque celles-ci ne sont pas trouvées

(1) NIKONOV (1 971) signale des analyses polliniques effectuées dans ces régions sur ces terrasses de fleuves. La partie inférieure des coupes révèle des Chénopodiacées, armoises, graminées abondantes (climat identique à l'actuel). La partie supérieure se marque par des teneurs plus importantes en pollens de pins, de bouleaux, d'épicéas (refroidissement attribué au Pléistocène supérieur).

c'est qu'il y a eu un changement, soit des conditions du milieu (disparition des étendues marécageuses, drainage et lessivage de celles-ci au cours de périodes ultérieures), soit du contexte géomorphologique (phénomènes d'érosion amenant le démantèlement des anciennes surfaces encroûtées qui a favorisé les processus de lessivage en sels solubles).

Schématiquement on serait tenté de représenter de la façon suivante les changements de la flore au cours d'un cycle climatique :

— période froide. Peu de végétation, sauf dans les aires les moins froides. Celle-ci, très clairsemée, est à dominance de Composées. Peu ou pas de pollen dans les sédiments transportés (action éolienne ou ruissellement),

— réchauffement progressif avec une couverture végétale encore faible sur le pourtour des lacs ou des marécages qui commencent à se développer ou bien s'accroissent en étendue. Composées dominantes mais encore peu de pollens,

— réchauffement maximal avec fonte des neiges. Saisons très contrastées. Accroissement des lacs et marécages. Fort ruissellement sur les versants des massifs. Composées et Chénopodiacées et dans un pourtour plus éloigné : Composées, Ombellifères,

— assèchement progressif (froid plus sec ou climat plus chaud et sec). Assèchement des marécages. Concentrations en sels. Chénopodiacées dominantes.

Nouveau cycle. Le refroidissement entraîne la diminution du couvert végétal, ce qui favorise des phénomènes d'érosion avec rabotage des surfaces précédentes (résistantes dans le cas de fort encroûtement) avec mise à nu de sédiments apolliniques profonds dans le cas inverse et sédimentation vers les bassins. Nous avons vu que de très nombreux sédiments de type lacustre ou éolien sont sans pollen.

### 3 - ANALYSES POLLINIQUES DE TRAVERTINS

Des analyses polliniques sur les travertins d'Awpar et du «Dragon» de la région de Bamyan ont donné les résultats suivants :

— Awpar :

— 1ère série de barrages :

— partie inférieure ( > 40.000 ans BP). Aucun pollen,

— partie supérieure (24.750 ± 700 ans BP). Composées (*Artemisia*) et Chénopodiacées avec dominance des premières,

— 2ème série de barrages :

— base (14.230 ± 190 ans BP). Dominance des Composées (*Cousinia*, *Vernonia*, *Artemisia* codominantes) sur les Chénopodiacées,

— sommet (11.670 ± 165 ans BP) . Dominance des Composées (*Artemisia*) sur Chénopodiacées (plus fortes en pourcentage que dans l'exemple précédent). Graminées plus abondantes (*Phragmites?*).

Dans cet échantillon les pollens sont plus abondants (Climat plus chaud. Saisons plus contrastées ?).

Dans ces échantillons on ne voit pas de pollens de *Salix* dont les empreintes de feuilles sont pourtant très abondantes dans tous ces travertins. G. THANIKAIMONI en se référant à BUTZER pense que ceci est dû au fait que cette espèce produit très peu de pollens, tandis qu'à l'inverse *Pinus*, *Betula*, *Alnus* en produisent des quantités abondantes. Nous avons vu que les pollens de ces dernières plantes sont très peu observés en toutes régions et ceci fait penser, lorsque nous en trouvons seulement quelques uns, qu'ils ont été transportés sans doute par voie éolienne.

Il semble y avoir, dans ce type de barrages d'altitude, peu de variations dans la composition pollinique. Le réchauffement climatique se marquerait seulement, en ces milieux bien drainés du fait de la forte déclivité, par *Artemisia* plus abondant, plus de Chénopodiacées et plus de graminées.

- «Dragon» :
- échantillon T 1. Dépôt actuel. Dominance d' *Artemisia* sur les Chénopodiacées,
- échantillon T 2. Barrage ancien. Dominance inverse avec toujours *Artemisia*. Pollens beaucoup plus abondants.

A ces barrages du «Dragon» :

- le dépôt actuel est caractérisé, malgré la dominance du milieu salin (Cf. Etude de la flore PELT *et al*/ Voir les travertins), par des Composées plus abondantes que les Chénopodiacées, ceci étant dû à l'importance de l'environnement steppique,
- le dépôt ancien est marqué par la dominance des Chénopodiacées dans un environnement de steppe, sans doute alors moins important (lac salé à l'arrière du barrage, étendues marécageuses plus considérables dans des voisinages plus ou moins éloignés).

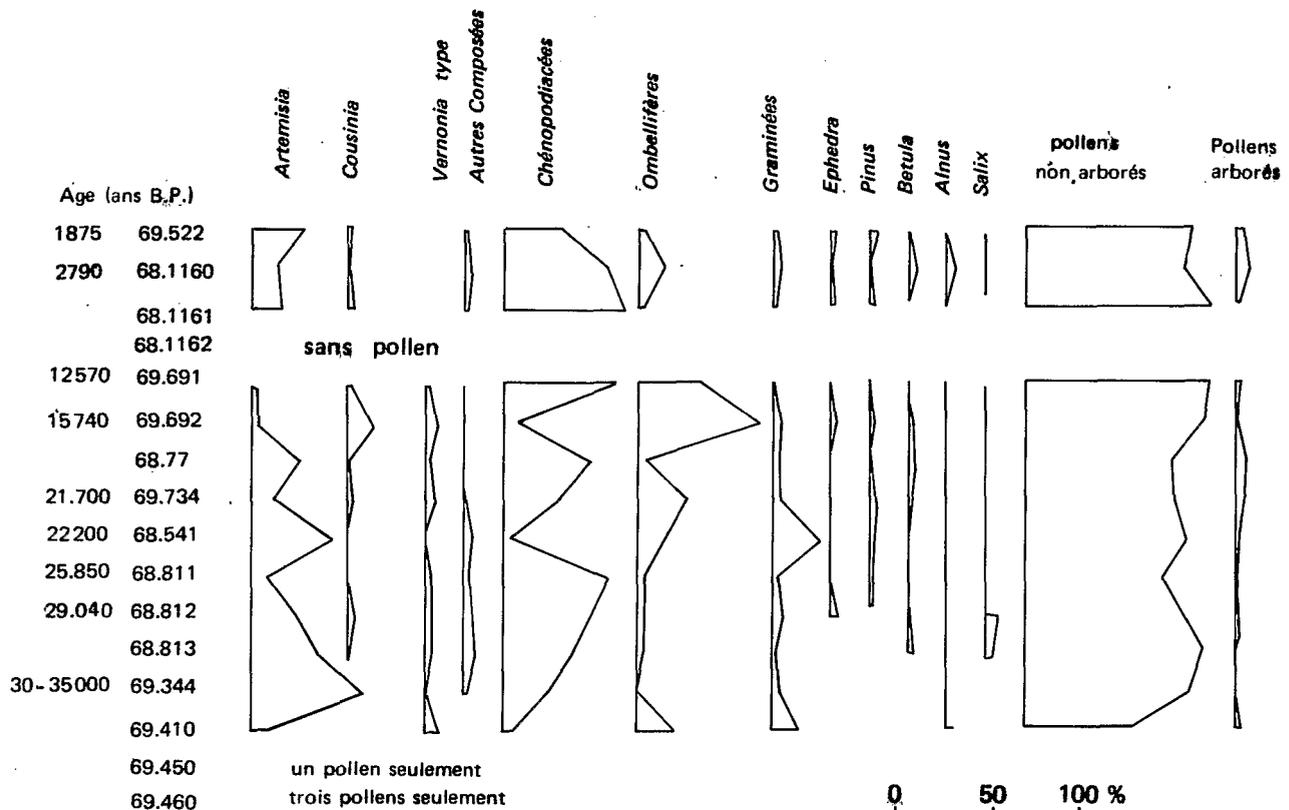


Figure 55

## CONCLUSIONS

En Afghanistan, les derniers changements climatiques ont été marqués par :

- des périodes de fortes érosions lors des refroidissements importants en l'absence de toute végétation ou à très faible recouvrement de plantes actuelles des steppes (*Cousinia*, *Artemisia*.....) mettant à nu des sédiments plus anciens, souvent apolliniques, qui se sont resédimentés en des cuvettes,
- des périodes marécageuses, au fur et à mesure de la fonte des neiges et des glaces accumulées sur les sommets, avec accroissement progressif des espèces précédentes et des Ombellifères. Dans les phases d'assèchement (climat plus froid ou surtout plus chaud mais toujours plus sec), les Chénopodiacées sont devenues très

abondantes autour des marécages salés où venaient se déposer des carbonates divers (calcite, dolomie) et s'effectuer des néosynthèses d'argiles (1).

En Iran Occidental, au cours de ces mêmes périodes, ZEIST (1 967) indique qu'une steppe à *Artemisia* semble avoir été très répandue puisqu'il la signale à des altitudes de 1 000 - 1 300 m entre 22.500 et 14.000 ans BP. Elle aurait été remplacée ensuite par une savane à *Pistacia* et *Quercus*, puis par une forêt de chênes. Cette steppe n'est plus signalée actuellement que sur les hauts plateaux les plus froids.

En bordure du bassin méditerranéen, en Syrie et au Liban, la végétation forestière de *Cedrus* et *Juglans* aurait envahi au cours de la dernière pulsation glaciaire (19.000 ans BP) des domaines aujourd'hui subdésertiques. Cette forêt serait descendue de 1 200 m par rapport à sa position actuelle (KAISER-KEMPF-LEROI GOURHAN - SCHUTT 1 973).

On voit donc ici les variations importantes de la flore au cours du dernier épisode glaciaire avec :

- l'altitude, d'une part (Afghanistan),
- la continentalité du site par rapport à son éloignement de la Méditerranée, d'autre part (Iran et Liban).

## SALINISATION - ALCALISATION - DOLOMITISATION

### 1 - LOCALISATION DES PRINCIPAUX MILIEUX SALINS

#### Vallées du Logar et du Kabul

La majorité des eaux de la vallée moyenne du Logar qui ont été analysées appartiennent à la classe C2 S1 et sont susceptibles de provoquer une salinisation lente. Ce sont principalement des eaux carbonatées calciques et magnésiennes à pH 8 - 8,2, à charge alcaline quasi saturée, dans lesquelles une faible perte de CO2 peut provoquer le dépôt de calcite ou de dolomie.

Par contre, au S de Kabul et dans la dépression de cette ville, s'observent des eaux de la classe C3 S1 (salinisation rapide) et exceptionnellement C4 S1 (salinisation très rapide).

Les sols de la vallée moyenne du Logar sont très rarement ou exceptionnellement salés dans tous leurs horizons. On observe par taches des efflorescences salines (profil 92) sur la basse terrasse du fleuve et quelques sols hydromorphes à pseudo-gley ou peu évolués se révèlent salés sur les quelques centimètres supérieurs mais la conductivité diminue rapidement en profondeur (profil 94).

A partir de Gomaran, en même temps que se rétrécit la vallée et que les dépressions deviennent plus nombreuses, les sols hydromorphes à gley ou pseudo-gley superficiellement sodiques deviennent plus nombreux (profil 53).

Au contact de certains affleurements de marnes, des sols franchement sodiques peuvent apparaître comme à Dastak (profil 5). Il en est de même sur des argiles dolomitiques dérivées des péridotites où la salinité ne devient forte cependant que dans les horizons profonds (B Ca C) (Région de Mohd Agha. Profil 34).

Voici quelques reconstitutions de la composition en sels d'horizons ou de profils :

- vallée moyenne du Logar :
- n° 920 - exsudation saline. C. en mmhos/cm 178,0. Na2 S04 dominant. NaCl abondant. En moindre quantité : Mg S04, Mg Cl2, Na C03H, Mg(C03H)2, Na2 C03,

(1) JUX et KEMPF signalent dans une gyttja calcaire récente (875 ans BP) de Band I Amir d'abondants pollens de pin. S'agit-il là de l'avancée d'espèces aujourd'hui situées principalement dans le domaine oriental le plus arrosé ?

- n° 941 (0-20 cm) C. en mmhos/cm 8,15. Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, NaCO<sub>3</sub>H, MgSO<sub>4</sub>, NaCl, MgCl<sub>2</sub>, Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>.
- profil N° 5. Près d'une butte de marnes :
  - n° 51 (0-20 cm). C. en mmhos/cm 6,50. Gypse. Sulfates et chlorures de Mg et Na faibles,
  - n° 52 (70-90 cm). C. en mmhos/cm 44,0. Dominance des chlorures de Na et Mg (NaCl dominant) sur les sulfates de Na et Mg. Gypse,
  - n° 53 (90-110 cm). C. en mmhos/cm 14,20. Dominance inverse de la précédente. Sulfates dominants sur chlorures. Gypse.
- profil N° 34 :
  - n° 343. Sulfates dominants sur chlorures. Na dominant sur Mg. Gypse. Calcite abondante. Dolomie plus faible (45-60 cm) C. en mmhos/cm 6,41,
  - n° 344. Sulfates dominants sur chlorures. Mg dominant sur Na. Gypse. Dolomie abondante. Calcite plus faible. (80-100 cm) C. en mmhos/cm 13,0.

La complexité apparaît très grande tant dans la composition théorique et reconstituée en sels que dans celle qui apparaît effectivement à l'analyse aux RX (gypse, calcite, dolomie). Ce sont surtout des sels solubles à dominance de Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ou de NaCl ou des mélanges des deux qui sont observés. Il s'y ajoute des quantités non négligeables sinon importantes de sels de Mg (sulfates et chlorures) et des carbonates et bicarbonates.

*Dépression de Kabul.* Dans cette dépression et au S de la ville, l'examen de deux toposéquences prises dans les fermes de Binihésar et de Bagrami vont nous permettre de comparer les sels de la nappe et ceux des sols.

A la ferme de Binihésar on observe la toposéquence suivante de la partie exondée à la dépression :

- profil F 1. Sol peu évolué :
  - F 11 (0-20 cm) C. en mmhos/cm 5,86. Apparemment codominance de NaCO<sub>3</sub>H, de chlorures et de sulfates de Mg et Na. Mg (CO<sub>3</sub>H)<sub>2</sub>,
  - F 12 - F 13 (20-50 et 80-100 cm). C. en mmhos/cm 1,68 - 1,90. NaCO<sub>3</sub>H. Chlorures dominants sur sulfates. Mg dominant sur Na. Mg (CO<sub>3</sub>H)<sub>2</sub>.
- profil F 2 - F 3. Sols hydromorphes à pseudo-gley :
  - profil F 2. C. en mmhos/cm 2,82 - 2,19 - 1,57,
  - profil F 3. C. en mmhos/cm 2,19 - 2,32 - 1,37. NaCO<sub>3</sub>H. Sulfates et chlorures de Mg et de Na mais faibles.
- profil F 4. Sol hydromorphe à gley :
  - F 41 (0-20 cm). C. en mmhos/cm 7,8. NaCO<sub>3</sub>H, Mg (CO<sub>3</sub>H)<sub>2</sub>, Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>. Sulfates et chlorures de Mg et de Na mais faibles.
  - F 42 (30-50 cm). C. en mmhos/cm 3,23. NaCO<sub>3</sub>H, Mg (CO<sub>3</sub>H)<sub>2</sub>. Sulfates et chlorures de Na et de Mg mais faibles. Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>,
  - F 43 (80-100 cm). C. en mmhos/cm 1,57. NaCO<sub>3</sub>H, Mg (CO<sub>3</sub>H)<sub>2</sub>. Sulfates et chlorures de Mg et de Na mais faibles.
- profil F 5. Sol sodique. Dépression :
  - F 51 (0-8 cm). C. en mmhos/cm 20,0. NaCO<sub>3</sub>H, Mg (CO<sub>3</sub>H)<sub>2</sub>. Sulfates et chlorures de Mg dominant sur Na. Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>.
  - F 52 (8-18 cm). C. en mmhos/cm 8,72. Identique à F 51 mais les chlorures l'emportent sur les sulfates,
  - F 53 (20-40 cm). C. en mmhos/cm 6,20. Identique mais sans Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>. Les sulfates et chlorures de Mg plus abondants que ceux de Na.

La reconstitution de la composition de trois échantillons d'eau de cette ferme donne des résultats comparables. Les sels observés sont par ordre d'importance : NaCO<sub>3</sub>H, Ca (CO<sub>3</sub>H)<sub>2</sub>, Mg (CO<sub>3</sub>H)<sub>2</sub>, puis chlorures et sulfates de Mg dominant sur ceux de Na. Légère dominance des chlorures sur les sulfates. Ces résultats sont sensiblement voisins qualitativement de ceux observés dans les extraits de sol à la saturation au 1/2, mises à part les valeurs de Ca (CO<sub>3</sub>H)<sub>2</sub> toujours très faibles dans ces extraits.

*Ferme de Bagrami.* L'eau de la dépression située près de cette ferme et qui alimente la nappe responsable des sols sodiques observés, est constituée de  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  (pH 8,95)  $\text{NaCO}_3\text{H}$ ,  $\text{Mg}(\text{CO}_3\text{H})_2$ ,  $\text{Ca}(\text{CO}_3\text{H})_2$  chlorures et sulfates (6 Cl pour 1  $\text{SO}_4$ ) de Mg dominant sur Na (Classe C4 S1).

Le sol salé de cette ferme (Profil F 8) présente des horizons sodiques au niveau de la frange capillaire.

- F 81 (0-20 cm). C. en mmhos/cm 2,51.  $\text{NaCO}_3\text{H}$ ,  $\text{Mg}(\text{CO}_3\text{H})_2$ , chlorures et sulfates (2Cl pour 1  $\text{SO}_4$ ), Mg dominant sur Na,
- F 82 (40-60 cm). C. en mmhos/cm 15,0. Chlorures dominants (4-5 Cl pour 1  $\text{SO}_4$ ), surtout de Mg, Na plus faible. Traces de bicarbonates de Na et Mg,
- F 83 (95-115 cm). C. en mmhos/cm 63,9. Chlorures de Mg et Na dominants (2 Cl pour 1  $\text{SO}_4$ ). Gypse (également observé aux RX).

Dans ce profil on voit apparaître en profondeur les bicarbonates ainsi que du gypse. On remarquera la dominance des ions Cl et  $\text{SO}_4$  également observés dans la nappe.

Les sols à différenciation calcaire par encroûtement des buttes témoins observées, soit dans le S (Dépression de Baraki Barak, de Babus-Mirwal...), soit au voisinage de Kabul et dont les âges sont compris entre 30.000 et 25.000 ans BP, ne présentent pas de fortes teneurs en sels solubles à l'inverse de ce que nous verrons en d'autres régions. Par contre les argiles dolomitiques dérivant des péridotites (Région de Mohd Agha) que nous avons signalées précédemment (échantillon 441) présentent des salinités importantes. Sont-elles résiduelles ? Nous le pensons sans pouvoir l'affirmer (Age  $27.670 \pm 780$  ans BP).

## Montagne de Bamyan. Piste du Centre

Dans le Centre Afghan nous n'avons observé que très peu de sols sodiques encore qu'ils doivent exister en certaines dépressions plus ou moins bien drainées comme celles que l'on voit entre Bamyan et Band I Amir où des accumulations calcaires importantes sont observées. Ces mêmes accumulations ont été vues également par places entre Gardan Dewal et Sin Dand, sur la piste du Centre. L'altitude de ces dépressions, généralement situées entre 2 500 et 3 000 m, ne favorise pas les concentrations en sels solubles trouvées ailleurs. En effet, si pendant l'été les fortes chaleurs peuvent amener de grandes concentrations, l'eau abondante pendant les autres saisons, permet un entraînement des sels vers l'aval des bassins.

Un horizon sodique très superficiel (B 80.0-2 cm) a été observé entre Bamyan et Band I Amir dans des sols à buttes gazonnées. L'horizon sous-jacent (B 81.30-50 cm) ne présentait pas de forte salinité (C. en mmhos/cm 1,74), pas plus que les sols directement voisins (B 6 - B 7). Avec un pH de 9,7 et une conductivité de 7,8 mmhos/cm la composition approchée en sels solubles était la suivante par ordre de dominance : Na Cl,  $\text{NaCO}_3\text{H}$ ,  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{Mg}(\text{CO}_3\text{H})_2$ ,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ .

Le profil C 7 prélevé dans une dépression entre Panjaw et Caghcaran vers 2 800 m présente des accumulations importantes mais diffuses de calcite (67,9 à 88,1 %) comme les profils précédents (B 6 - B 7 - B 8) mais il est salé dans ses horizons profonds :

- C 71 (0 - 20 cm). C. en mmhos/cm 1,26,
- C 72 (50 - 70 cm). C. en mmhos/cm 7,45. Dominance des chlorures sur les sulfates (2-3 Cl pour 1  $\text{SO}_4$ ) et du Na sur Mg (2 Na pour 1 Mg). Gypse,
- C 73 (100-125 cm). C. en mmhos/cm 8,32. Dominance des chlorures sur les sulfates (4-5 Cl pour 1  $\text{SO}_4$ ) et du Na sur Mg (2-3 Na pour 1 Mg).

Le profil sodique C 12 prélevé sur la terrasse de l'Hari Rod à Caghcaran présente également de fortes concentrations en sels mais à l'inverse du précédent celles-ci diminuent avec la profondeur :

- C 121 (0- 20 cm). C. en mmhos/cm 25,06. Na Cl dominant. Mg Cl 2, Ca Cl 2. Gypse,
- C 122 (40- 60 cm). C. en mmhos/cm 14,51. Sulfates dominants sur chlorures (2  $\text{SO}_4$  pour 1 Cl) et Na sur Mg (2-3 Na pour 1 Mg). Gypse,
- C 123 (80-100 cm). C. en mmhos/cm 6,77. Sulfates dominants sur chlorures (2  $\text{SO}_4$  pour 1 Cl) et Na sur Mg (9 Na pour 1 Mg). Gypse faible.

Une fois de plus nous voyons la grande diversité des sels que l'on peut trouver et la variabilité non moins grande de la salinité.

## Afghanistan méridional

Les sols salés sont très abondants dans cette partie du territoire puisqu'ils s'observent un peu partout en association avec des sols peu évolués ou hydromorphes à redistribution du calcaire (Région de Kandahar), en association avec des sols gypseux, eux-mêmes fortement salés sur les « dasht » caillouteux et les dépressions entaillées dans ceux-ci (Régestan-Margo). Ils sont, par contre, un peu moins abondants dans le Séistan où les alluvions lacustres modernes (celles que nous avons vues en Afghanistan) ne présentent pas ou peu de phénomènes de salure.

### Parcours Délaram - Zaranj

Les vieux sédiments lacustres ont conservé, semble-t-il, des salinités résiduelles importantes et sont vraisemblablement une source de sels pour des sédiments plus jeunes situés en contrebas ou en aval ou pour les sols qui les recouvrent.

Ces salinités résiduelles sont variables :

| N <sup>o</sup> | C. mmhos/cm | Composition                                                                                                       | Age BP                                                                    |
|----------------|-------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|
| K 280          | 50,9        | Na Cl largement dominant. Un peu de Na <sub>2</sub> S <sub>04</sub> et de gypse.                                  | 30.300 ± 1 050                                                            |
| K 290          | 302,4       | Na Cl largement dominant. Un peu de Na <sub>2</sub> S <sub>04</sub> et de gypse.                                  | 30.300 ± 1 050                                                            |
| K 410          | 138,9       | Na Cl largement dominant. Un peu de Na <sub>2</sub> S <sub>04</sub> et de gypse.                                  | 33.200 ± 1 600                                                            |
| K 411          | 869,4 (?)   | Na Cl dominant. Na <sub>2</sub> S <sub>04</sub> non négligeable. Gypse. (5-6 Cl pour 1 S <sub>04</sub> ).         |                                                                           |
| K 352          | 54,7        | Chlorures dominants sur les sulfates (3 Cl pour 1 S <sub>04</sub> ). Na dominant sur Mg (20 Cl pour 1 Mg). Gypse. | 9.030 ± 125                                                               |
| K 351          | 20,0        | Sulfates et chlorures équivalents (1 Cl pour 1 S <sub>04</sub> ). Na dominant sur Mg (15 Na pour 1 Mg). Gypse.    | Plus récent que K 352, mais faisant partie d'une même variation lacustre. |

Les échantillons K 280-290, K 410-411, K 351-352 ont été prélevés sur 3 buttes témoins.

Des cuvettes salines actuelles ou subactuelles (plus récentes que l'échantillon K 352), jouant ou ayant joué le rôle d'évaporite, s'observent par places nombreuses dans l'intérieur des terres, dans un voisinage plus ou moins éloigné des lacs actuels du Séistan. Elles se situent en contrebas des buttes témoins anciennes (K 280-290, K 410-411). Elles ont des compositions variables en sels à dominance de Na Cl avec des quantités moindres de Na<sub>2</sub> S<sub>04</sub> (6 Cl pour un 1 S<sub>04</sub>. Profil K 42) ou sans sulfate autre que le gypse avec Na Cl dominant (Profil K 43. C. 96,3 à 41,5 mmhos/cm pour 226,9 et 232 mmhos/cm dans le profil K 42).

Dans les dépôts lacustres actuels, observés près de Cakhansur, les sels solubles sont peu abondants :

— Profil K 40 :

— 401 : sulfates et chlorures codominants (1 Cl pour 1 S<sub>04</sub>). Dominance du Na sur Mg (2 Na pour 1 Mg). Gypse. C. 4,92 mmhos/cm,

— 402 : sulfates dominants (2 S<sub>04</sub> pour 1 Cl). Na dominant (1,3 Na pour 1 Mg). C. 3,79 mmhos/cm,

— 403 : sulfates dominants (2-3 S<sub>04</sub> pour 1 Cl). Na dominant sur Mg (6 Na pour 1 Mg). C. 1,89 mmhos/cm.

Bicarbonates de Na et Mg dans les N<sup>o</sup> 402-403.

- Schématiquement nous constatons pour ces différentes sédimentations et par ordre d'ancienneté :
- dominance de Na Cl dans les sédiments les plus âgés (33.000 à 30.000 ans),
  - plus faible dominance de Na Cl ou codominance de Cl et S04 dans ceux de 9.000 ans,
  - dominance de Na Cl avec aussi des chlorures de Ca et Mg mais sans sulfate, ou dominance de Na Cl sur les sulfates dans des cuvettes salines de l'intérieur (évaporites plus récentes),
  - de faibles salinités avec des mélanges variés de chlorures et sulfates de Na ou Mg où les sulfates peuvent l'emporter dans les marécages actuels de Cakhansur.

Il paraît donc que la composition en sels soit de plus en plus variée en même temps que la salinisation est plus récente.

L'examen de l'eau des nappes dans la région de Cakhansur - Zaranj (Echantillons 10-11-12. Classes C3 S1 - C3 S2) montre, après reconstitution de la composition en sels solubles, une dominance de sulfates (3,59 à 5,29 me ‰) et de chlorures (3,27 à 6,48 me ‰) de Na (6,36 à 8,96 me ‰) et de Mg (1,99 à 3,77 me ‰) avec des bicarbonates de Ca (0,65 à 2,92 me ‰), de Mg (0,60 à 2,44 me ‰) et de Na (1,40 à 5,70 me ‰). L'eau de la nappe de Courab, prélevée entre Délaram et Geresk, présente une composition identique.

Dans ces eaux, le rapport S04/Cl est sensiblement égal à 1, tandis que pour une unité de Mg on trouve 2 ou 3 unités de Na.

Ces nappes sont à des profondeurs de 5 à 6 m en plein été. Elles ne devraient pas influencer théoriquement sur la composition du sol en sels solubles. En fait les battements de ces nappes doivent être très importants d'une saison à une autre et plus encore au cours de cycle pluvieux ou sec.

Les eaux du Khash Rod, de l'Helmand Rod sont beaucoup moins minéralisées que celles des nappes (C. 0,56 et 0,40 mmhos/cm. Classe C2 S1). Elles sont composées, par ordre de dominance : de bicarbonate de Ca (1,5 à 2 me ‰), de Na (0,8 à 1,6 me ‰) de Mg (0,5 à 1,6 me ‰) puis, en quantité moindre, des chlorures et sulfates (1 Cl pour 1 S04) de Na et Mg.

*Le « dasht ».* Il forme les plateaux désertiques entre les principaux cours d'eau qui l'entaillent plus ou moins profondément. Très caillouteux, il est constitué par des sols sodiques et gypseux.

L'examen du profil K 48 montre les variations de la composition en sels que l'on observe dans les différents horizons.

- N° 481 : ( 0-10 cm) C. 208,1 mmhos/cm. Cl très dominant (8-9 Cl pour 1 S04). Na pratiquement seul. Gypse,
- N° 482 : (10-20 cm) C. 156,1 mmhos/cm. Cl encore très dominant (4-5 Cl pour 1 S04). Na. Gypse,
- N° 483 : (30-50 cm) C. 52,5 mmhos/cm. S04 légèrement dominant (1,5-2 S04 pour 1 Cl), Na. Gypse,
- N° 484 : (50-70 cm) C. 27,2 mmhos/cm. S04 légèrement dominant (1,5 S04 pour 1 Cl). Na. Gypse.

Le tableau suivant donne les valeurs calculées de Ca S04 et de Na Cl dans l'extrait de sels solubles au 1/2 et la teneur totale en gypse dans les différents horizons.

| N°  | Ca S04                 | Na Cl | Gypse exprimé en Ca S04 %<br>dans les horizons |
|-----|------------------------|-------|------------------------------------------------|
|     | Extrait au 1/2<br>me % |       |                                                |
| 481 | 2,25                   | 52,0  | 4,25                                           |
| 482 | 8,15                   | 31,0  | 7,95                                           |
| 483 | 4,95                   | 5,5   | 18,0                                           |
| 484 | 5,75                   | 1,25  | 12,95                                          |

On voit dans ce tableau que la concentration maximale en gypse se trouve dans l'horizon 483 qui est loin de présenter les plus fortes valeurs en Na Cl. Pour l'expliquer il faut tenir compte de la répartition de la salinité du profil qui varie en fonction des saisons avec migration des sels solubles en profondeur avec les pluies. L'assèchement qui suivra en période chaude s'accompagnera de remontée de gypse solubilisé en

profondeur avec les solutions du sol. Il précipitera le premier tandis que Na Cl continuera son ascension dans le profil. Le phénomène est encore plus complexe si l'on fait intervenir lors de cette remontée la concentration en Na Cl qui s'opère dans la solution du sol et qui favorise une plus forte solubilité du gypse (1). La source de gypse est représentée ici par les anciens dépôts lacustres de limons argileux dans lesquels s'intercalent des bancs de gypse fibreux que l'on voit affleurer en de nombreux endroits. De même l'origine des sels doit être recherchée dans ces sédiments et est en liaison avec la période d'assèchement qui s'est traduite par la régression lacustre.

#### *La cuvette de Kandahar*

Dans cette région les eaux ont été prélevées en deux périodes, en Décembre 1 968 après de fortes pluies et pendant l'été 1 971. Les eaux des rivières en crue (N<sup>o</sup> 51-52-53) ont des salinités faibles (Conductivité à 0,27 à 0,38 mmho/cm. Classe C2 S1) et présentent des bicarbonates de Ca dominants, de Mg et Na avec très peu de chlorures et de sulfates. L'eau du Tarnak Rod prélevée à l'étiage en 1 971 sans avoir une conductivité plus élevée (0,32 mmho/cm) a une composition un peu différente, voisine de celles du Khash Rod et de l'Helmand Rod.

A l'inverse, la comparaison des eaux en crue de l'Helmand Rod à Lasghargah (1 968) et celles de l'étiage à Geresk montre pour ce grand fleuve assez peu de différence ce qui tend à prouver que les variations jouent peu lorsque les débits sont importants en toutes saisons.

Les eaux d'inondation ayant stagné en des dépressions diversement salées (1 968. N<sup>o</sup> 50-54-55) présentent des salinités importantes (Conductivité de 1,38 à 5,24 mmhos/cm. Classes C3 S2-C4 S2 - C4 S4) ainsi que l'eau d'une mare du Doré Rod à l'étiage (N<sup>o</sup> 7. Conductivité de 5 mmhos/cm. Classe C4 S3). Une seule nappe a fait l'objet de prélèvement, celle de Neway Deh au S de Kandahar (N<sup>o</sup> 9. Profondeur 13 m). Elle appartient à la classe C4 S1 (Conductivité 2,86 mmhos/cm) et est à dominance de sulfate de Na avec également des chlorures de Na et Mg et des sulfates de Mg (2 S04 pour 1 Cl. 3,5 Na pour 1 Mg). En plus de bicarbonate de Na elle contient également du Gypse.

Dans la cuvette de Kandahar, les sols sodiques sont peu abondants mais des horizons sodiques existent dans de nombreux sols (Sol gypseux : profil K 1. Sol peu évolué : profil K 13. Sols hydromorphes à redistribution du calcaire par action de nappe : profils K 8 - K 25 - K 26).

La distribution des sels dans les profils est très variable. On remarque :

- la décroissance de la salinité avec la profondeur dans les profils,
- dans l'exsudation saline K 50 les très fortes teneurs en sels dont C03 et C03H de Na, chlorure de Na et en quantité moindre sulfate de Na,
- dans le profil K 5 la diminution rapide en profondeur de Na Cl, tandis que Na2 S04 lui est supérieur dans l'horizon K 54 où réapparaissent de faibles quantités de carbonate et de bicarbonate de Na,
- dans le profil K 9 une codominance plus marquée en chlorure et sulfate de Na avec de faibles quantités de Na2 C03 dans tous les horizons,
- dans le profil K 1 gypseux la dominance des sulfates de Na et Mg (en quantité moindre) sur les chlorures .....

Dans presque tous ces profils, on trouve des teneurs en gypse plus ou moins grandes.

Dans les vieux sédiments argileux dolomitiques (K 7 : 26.270 ± 880 ans BP. K 8 : 34.300 ± 1 900 ans BP) on observe une salinité résiduelle importante (Conductivité de 58,8 et 37,2 mmhos/cm). Dans les deux cas les chlorures l'emportent sur les sulfates (2 Cl pour 1 S04). Les cations sont représentés par Na mais aussi par Mg en quantité non négligeable (2-3 Na pour 1 Mg).

(1) La solubilité du gypse qui est de 2 gr/l passe à quelque 4,5 gr/l pour de fortes teneurs en Na Cl (20 gr/l).

## Régions septentrionales

Dans ces régions, les sols sodiques occupent des places relativement importantes, localisées par taches soit dans des dépressions où demeurent les eaux d'inondation une grande partie de l'année, soit dans les endroits où une nappe suffisamment haute entretient des phénomènes importants de remontée des sels par capillarité.

Un léger décalage existe entre la période de crue des fleuves Khanabad et Kunduz et celle de rivières d'autres parties d'Afghanistan. La crue maximale est atteinte ici en Juin-Juillet contre Avril-Mai pour le Logar et le Kabul par exemple. Ceci paraît être la conséquence d'une alimentation faite principalement par les versants N des massifs qui conservent plus longtemps les neiges hivernales. C'est donc pendant les mois les plus chauds que se produisent les inondations et la remontée du plan d'eau des nappes favorisant ainsi la salinisation des terres.

Les eaux des deux fleuves Kunduz (N° 35) et Khanabad (N° 34) prélevées en Août ont des salinités un peu plus fortes que celles des autres fleuves (Kabul dans la dépression du même nom et à Jalalabad, Logar Kunar, Khash Rod, Helmand Rod.....) et appartiennent à la classe C3 S1. Elles sont chlorurées (3,7 - 3,38 me/l), carbonatées (3-4,56 me/l) et sulfatées (0,99-0,22 me/l) et à dominance sodique (3,78-3,71 me/l), calcique (2,03-2,84 me/l), magnésienne (1,76-1,57 me/l). Leur pH est de 8,05 et 7,95.

Dans les sols hydromorphes à pseudo-gley (Profil Ku 15) où l'action de la nappe joue en profondeur, la salinité se localise au niveau de la frange capillaire vers 40 cm (N° K 153) tandis que l'hydromorphie par marbrures apparaît à partir de 80 cm dans un horizon déjà moins fortement salé (Profil Ku 154). Dans l'échantillon Ku 153 (Conductivité 29,95 mmhos/cm) il y a dominance de Na Cl et Na<sub>2</sub> SO<sub>4</sub> avec des quantités moindres de sulfate et chlorure de Mg. Il y a formation de gypse. Dans l'échantillon Ku 154 (Conductivité 11,1 mmhos/cm) apparaît du Na<sub>2</sub> CO<sub>3</sub> et surtout des chlorures et sulfates de Na et de Mg en plus faible quantité. Apparition également de gypse.

Dans les sols hydromorphes minéraux à gley (profils Ku 5 et Ku 16) les salinités observées sont faibles et décroissent avec la profondeur. Conductivité en mmhos/cm :

- profil Ku 5 : 2,2 - 1,9
- profil Ku 16 : 2,4 - 1,75

Dans ces sols, où les phénomènes de réduction sont importants et se traduisent souvent par une ligne noirâtre plus ou moins épaisse près de la surface, on observe des mélanges variables de chlorures et sulfates de Na et Mg (souvent plus faible) ainsi qu'un peu de bicarbonate de Na

Dans les sols hydromorphes humiques à gley la salinisation apparaît plus forte. Malheureusement leur submersion lors de notre passage n'a pas permis de prélèvements suffisamment importants pour l'étude de leurs sels solubles. Leur conductivité était élevée (Echantillon Ku 61 (0-20 cm) : 7,2 - Profil Ku 7 : 8,1 (0-20 cm) ; 7,8 (40-60 cm).

Le sol gypseux Ku 8 a un horizon profond à forte conductivité (25,6 mmhos/cm).

Les sols sodiques présentant une végétation halophile classique montrent généralement une exsudation saline importante se desquamant par plaques. La salinité très forte dans ces exsudations (Echantillon Ku 100 : 704,1 mmhos/cm) ou dans la partie superficielle du sol (Echantillon Ku 111 (0-2 cm) : 185,8 mmhos/cm décroît ensuite très rapidement. Dans ces deux échantillons on observe Na<sub>2</sub> CO<sub>3</sub> et Na CO<sub>3</sub>H très abondants ainsi que du Na Cl et du Na<sub>2</sub> SO<sub>4</sub> moindre. Dans les horizons sous-jacents la répartition des sels est peu différente mais les concentrations moins élevées :

- Na et Cl sont très largement dominants,
- il n'y a pratiquement pas de Mg mais un peu de K, notamment en surface.

La variation des rapports des différents cations et anions est la suivante :

- dans le profil Ku 10 :
  - Ku 100 : 4 Cl pour 1 SO<sub>4</sub>. 75 Na pour 1 K,
  - Ku 101 : 7 Cl pour 1 SO<sub>4</sub>. 20 Na pour 1 K,
  - Ku 102 : 35 Cl pour 1 SO<sub>4</sub>. 60 Na pour 1 K,
  - Ku 103 : 5 Cl pour 1 SO<sub>4</sub>. 110 Na pour 1 K,

- dans le profil Ku 11 :
  - Ku 111 : 225 Cl pour 1 S04. 22 Na pour 1 K,
  - Ku 112 : 3 Cl pour 1 S04. 20 Na pour 1 K,
  - Ku 113 : 7 Cl pour 1 S04. 46 Na pour 1 K,

On voit que les variations du rapport Cl sur S04 et Na sur K sont très diverses à l'intérieur d'un même profil, et d'un profil à un autre.

Les horizons profonds des *sols à différenciation calcaire peu accusée (siérozems)* qui représentent des surfaces importantes dans ces régions septentrionales peuvent avoir des salinités plus ou moins fortes. Dans l'échantillon Ku 176 (140-160 cm) de conductivité 9,9 mmhos/cm, le Na Cl domine. Il s'y associe du sulfate de Na. Le Mg est en moindre quantité.

## Régions orientales

Les eaux des deux principaux fleuves de ces régions, le Kabul et le Kunar s'avèrent peu chargées en sels, légèrement plus pour le Kabul à l'étiage en Août (Conductivité : 0,23 mmho/cm. Eau essentiellement carbonatée calcique avec des quantités peu importantes de chlorures, sulfates et bicarbonates de Na et Mg) que pour le Kunar en période de crue à la suite de pluies de mousson (Conductivité : 0,11 mmho/cm. Eau carbonatée calcique avec traces d'autres sels).

Les eaux du Kabul, qui servent à l'irrigation d'un vaste périmètre, se chargent progressivement en sels. Au jardin d'essai du Service de l'Agriculture de Jalalabad (Echantillon J 38), la conductivité atteint 0,77 mmho/cm (Classes C2-C3 S1). Eaux carbonatées calciques mais également magnésiennes et sodiques avec sulfates dominants et chlorures de Na et Mg non négligeables).

Dans les *sols peu évolués d'apport* sur conglomérat meuble du périmètre d'irrigation, on assiste à la suite de celle-ci à des phénomènes de salure superficielle affectant seulement les 10 ou 20 cm supérieurs, avec dominance des sulfates de Na et également des chlorures de Na et Mg, du sulfate de Mg et du gypse (Profil J 10).

Dans les *sols peu évolués d'apport sur limon argileux* qui forment les terrasses du Kabul ou de ses affluents, la salinité affecte principalement les horizons inférieurs des profils. L'ion Mg domine dans le profil J 11 (Echantillon J 114) sous forme de chlorure (Conductivité : 23 mmhos/cm) et de façon moindre dans l'échantillon J 163 du profil J 16 (Conductivité : 6,3 mmhos/cm). Du gypse est observé dans les deux cas. Ici encore la salinisation, qui est plus ou moins forte suivant les endroits varie avec la hauteur de la frange capillaire ou les irrigations. Ces dernières sont responsables dans le profil J 18 d'un fort gradient salin décroissant avec la profondeur (Conductivité : 19,3 (0-20 cm) à 3,2 mmhos/cm (80-100 cm). Il y a dominance de Na<sub>2</sub> S04 et présence de gypse.

Le profil J 20 à *différenciation calcaire accusée* avec accumulation sous forme de taches abondantes et de nodules calcaires, cultivé en irrigation, présente un gradient salin identique à celui du profil J 18 mais moins marqué (Conductivité : 3,45 mmhos/cm (0-20 cm), 1,15 mmhos/cm (100-120 cm)). Na<sub>2</sub> S04 domine plus en surface qu'en profondeur. On observe également du carbonate et bicarbonate de Na (pH de 9,4).

Un profil assez identique mais sur butte témoin (Profil J 19) surplombant la surface du profil J 20 présente un fort gradient salin (19,8 - 10,45 mmhos/cm. Na<sub>2</sub> S04 dominant et gypse).

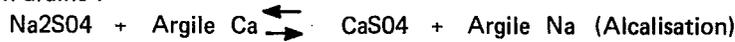
Le seul sol gypseux observé dans le voisinage du fleuve Kabul, mais sur butte témoin, ne présentait aucune salinité à l'inverse de ceux vus en d'autres régions (régions septentrionales et surtout méridionales).

Aucun sol salé n'a été observé dans la vallée d'Azrao, le Nuristan où l'eau relativement abondante ne favorise pas de telles accumulations. Dans le Paktia si l'on note de très faibles augmentations de Na en profondeur dans les profils elles sont sans commune mesure avec les teneurs trouvées dans la cuvette de Jalalabad.

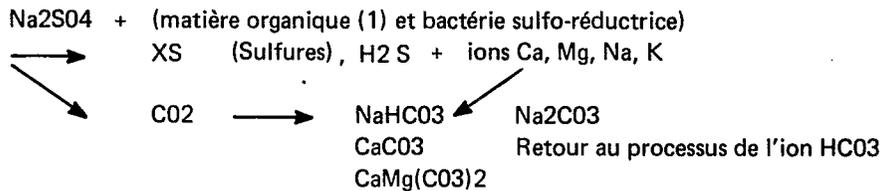


## Ion $\text{SO}_4^{--}$

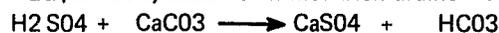
– Milieu bien drainé :



– Milieu mal drainé. Anaérobie :



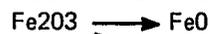
H<sub>2</sub>S par réoxydation en milieu bien drainé → H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>



Retour au processus de l'ion HCO<sub>3</sub>

En l'absence de CaCO<sub>3</sub> Sulfate de Fe et K (Jarosite) et HCO<sub>3</sub> .....

L'oxygène nécessaire à la combustion du C de la matière organique peut être pris également à :



C O<sub>2</sub> Retour au processus de l'ion HCO<sub>3</sub>

## Ion $\text{Cl}^-$

Il résulte de l'ionisation de Na Cl. Il n'est pas sensible comme l'ion SO<sub>4</sub> aux phénomènes d'oxydo-réduction et dans le sol ne se trouve jamais sous des pressions partielles plus ou moins importantes comme CO<sub>2</sub> (  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{CO}_3^{--}$ ). Son devenir sera donc fonction de la distribution des cations des solutions du sol ou des nappes.

– en milieu acide associé à  $\text{H}^+$  il attaquera les différents sels (CaCO<sub>3</sub>, CaMg(CO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>, Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>) pour donner CaCl<sub>2</sub>, MgCl<sub>2</sub>, NaCl et H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> (CO<sub>2</sub> + H<sub>2</sub>O).

– en milieu neutre ou basique (le cas présent) l'ionisation Cl et Na donnera avec des argiles Ca, Mg..... des argiles Na (alcalisation) et les sels précédents très solubles. Ceux-ci augmenteront les solutions du sol ou la nappe en Ca, Mg et diminueront d'autant les valeurs de leur rapport Na/T et du SAR.

De ces différents processus, nous retiendrons que l'on voit en fin de chaîne :

- Argile Na  
CaCO<sub>3</sub> Alcalisation
- Argile Na  
CaSO<sub>4</sub> Alcalisation
- Argile Na  
CaCl<sub>2</sub>, MgCl<sub>2</sub> Alcalisation

Les deux premiers de ces processus aboutissent donc à une combustion progressive de la matière organique et à l'immobilisation des ions CO<sub>3</sub> et SO<sub>4</sub> sous des formes très peu ou peu solubles.

La matière organique joue donc un rôle essentiel dans l'évolution des sels solubles du sol que ce soit à l'état de matériau peu évolué (fibres fermentescibles) ou très élaboré migrant dans le profil à l'état de complexes (Acides humiques et fulviques).

Ces différents processus expliquent la complexité des mélanges de certains milieux salés, en général les plus jeunes, les moins évolués mais qui subissent des phases de mauvais drainage interne ou d'inondations périodiques qui s'accompagnent localement d'accumulation de matière organique.

(1) dont humates et fulvates sodiques migrant dans le profil pour rejoindre éventuellement la nappe.

- Au fur et à mesure que ces milieux vieillissent et que les conditions de drainage s'améliorent :
- les quantités de matière organique disparaissent progressivement, consommées en milieu aérobie ou anaérobie par les micro-organismes du sol tandis que le carbone se bloque sous forme de carbonates stables (Ca CO<sub>3</sub>, Mg CO<sub>3</sub>, Mg Ca (CO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>),
  - les sulfates tendent également vers la forme peu soluble Ca SO<sub>4</sub> ou, en l'absence de Ca, vers des sulfates de fer et de potassium (CHEVERRY 1 968 - 1 969. CHEVERRY-VIEILLEFON 1 973).

Cette immobilisation progressive des ions CO<sub>3</sub>, CO<sub>3</sub>H, SO<sub>4</sub> se traduit donc dans les vieux bassins par un enrichissement relatif en ion Cl aux sels les plus solubles (Na Cl, Mg Cl<sub>2</sub>, Ca Cl<sub>2</sub>, K Cl).

- On pourrait donc conclure schématiquement à l'évolution d'un bassin salin suivant trois phases :
- une phase carbonatée dominante (Na<sub>2</sub> CO<sub>3</sub>, NaH CO<sub>3</sub>, Ca CO<sub>3</sub>) avec production secondaire de sulfates solubles,
  - une phase sulfatée dominante avec encore production de carbonates solubles,
  - une phase finale chlorurée (Na Cl dominant avec Ca Cl<sub>2</sub>, Mg Cl<sub>2</sub>....) et, accessoirement sulfates et carbonates solubles (1).

bassin du Régistan-Séistan-Margo de la période 35.000 - 25.000 ans BP et de celle de 10.000 ans BP est à la phase chlorurée ou chlorurée-sulfatée (avec dominance des chlorures) :

Période 35.000 - 25.000 ans BP :

- échantillons N° K 280-290-410 - Na Cl pratiquement seul,
- N° K 411 (5-6 Cl pour 1 SO<sub>4</sub>),
- N° K 7-8 (2 Cl pour 1 SO<sub>4</sub>. 2-3 Na pour 1 Mg).

Dans les échantillons K 280-290-410-411 prélevés à des buttes témoins, la salinité trouvée peut être considérée comme résiduelle. Les échantillons K 7-8 sont eux, par contre, enterrés sous des sédiments plus récents et de ce fait la salinité observée n'est pas forcément celle du milieu originel.

Période 10.000 ans BP :

- échantillons N° K 351-352 (butte témoin) : 1 à 3 Cl pour 1 SO<sub>4</sub>. 15-20 Na pour 1 Mg.

Période subactuelle :

- distribution très variable des sels avec Na Cl dominant et avec ou sans Na<sub>2</sub> SO<sub>4</sub> mais gypse dans de petites cuvettes près des buttes résiduelles ci-dessus.

Dans les dépôts lacustres actuels, où les sels solubles sont peu abondants, les sulfates dominent sur les chlorures mais l'on observe également des bicarbonates (Na et Mg).

Les sols salés de la région de Kunduz en sont surtout à la phase carbonatée sodique avec apparition de phénomènes importants d'alcalisation. L'évolution des sols salés se fait ici en des milieux marécageux relativement riches en matière organique, les sédiments sont plus jeunes et il y a peu d'apports chlorurés sodiques de l'arrière pays ou bien ils sont très faibles. Nous avons donc à faire ici à un type de bassin très jeune par opposition à celui du Régistan-Séistan-Margo.

### 3 - L'ALCALISATION

Nous n'avons observé que quelques rares cas d'alcalisation (si nous nous en tenons à la définition Na/T = 10-12% et en excluant provisoirement le rôle de l'ion Mg). Aucun dans la vallée du Logar et du Ka-

(1) Il est intéressant de noter que la cuvette Tchadienne, dont les submersions sont encore toutes récentes (moins de 2 000 ans pour le pourtour de l'actuel bassin lacustre) et où subsiste encore une abondante matière organique, en est à la première et seconde phases (polders, ouadis «natronés» de l'intérieur des terres) mais que l'on y trouve cependant, par endroits, des accumulations importantes et inexplicables de Na Cl, héritées sans doute d'un plus vieux bassin lacustre.

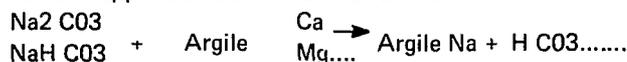
bul, aucun non plus dans le Centre et dans les régions orientales, un seul cas dans les cuvettes actuelles à subactuelles de la dépression Régestan-Séïstan-Margo (Profil K 42). Dans les régions septentrionales de Kunduz, à l'inverse, les sols sodiques sont marqués par des phénomènes d'alcalisation que seule l'analyse révèle car sur le terrain rien ne les différencie apparemment des sols sodiques à structure non dégradée :

| Profils Ku 10<br>et Ku 11. | N <sup>o</sup><br>Na / T | 101  | 102   | 103  | 111 | 112  | 113  |
|----------------------------|--------------------------|------|-------|------|-----|------|------|
|                            | Ech. %                   | 21,0 | 11,45 | 15,8 |     | 23,6 | 20,4 |

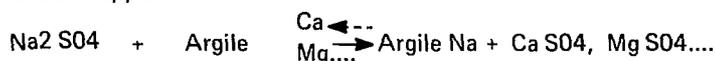
Le fait de ne pas observer d'alcalisation peut être lié aux méthodes analytiques employées (L'extraction des sels solubles au 1/10 retranche vraisemblablement par hydrolyse des ions Na du complexe absorbant, diminuant d'autant le rapport Na/T). Le calcul du SAR dans l'extrait au 1/2 permet une approche plus réaliste de ce problème et montre alors des alcalisations possibles plus nombreuses (OLLAT 1 970). Dans ces sols limoneux, limono-argileux à fraction calcitique diffuse importante l'indice d'Instabilité Structurale apporte peu de renseignements sur le phénomène d'alcalisation lui-même, cet indice étant toujours très fort.

Si nous reprenons le schéma des processus de salinisation, nous voyons que l'alcalisation peut se produire seulement à différents stades dans les profils :

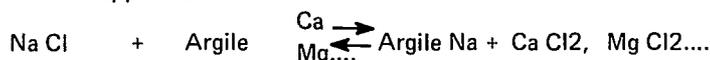
- (1) - lors de l'apparition de Na<sub>2</sub> CO<sub>3</sub> et de NaH CO<sub>3</sub>



- (2) - lors de l'apparition de Na<sub>2</sub> SO<sub>4</sub>



- (3) - lors de l'apparition de Na Cl



On constate dans le cas (1) la production de carbonates peu solubles dont CaCO<sub>3</sub>. Ceci va se traduire dans la solution du sol par une baisse de Na (fixation sur l'argile) et de Ca (précipité en Ca CO<sub>3</sub>). Les ions Na l'emportant très fortement, dans ces milieux hypersalins à pH élevés, sur les ions Ca l'alcalisation sera très forte (1\*).

Le cas (2) donnera une alcalisation plus faible du fait de la plus grande solubilité du Ca SO<sub>4</sub> et de la réversibilité du processus. En milieu bien drainé, l'alcalisation deviendra progressivement moins intense puisque Na<sub>2</sub> SO<sub>4</sub> tendra à s'éliminer plus ou moins rapidement. En milieu mal drainé, on aboutira à de nouvelles productions de Na CO<sub>3</sub>... (Voir processus de salinisation).

Dans le cas (3) il y aura diminution de Na (Fixation sur l'argile) et augmentation de Ca (Ca Cl<sub>2</sub> très soluble) dans la solution du sol. Dans celle-ci on aura donc une diminution forte du rapport Na/Ca (et du SAR) et de la possibilité d'alcalisation. En milieu bien drainé nous aurons l'élimination de Ca Cl<sub>2</sub>, Mg Cl<sub>2</sub>.. mais aussi de Na Cl, en milieu mal drainé l'équilibre défini plus haut jouera mais il y aura interférence de l'action des autres cations (SO<sub>4</sub>, H CO<sub>3</sub>, CO<sub>3</sub>).

On voit donc que l'alcalisation est :

- très forte en milieu Na<sub>2</sub> CO<sub>3</sub>, NaH CO<sub>3</sub>,
- moins forte en milieu Na<sub>2</sub> SO<sub>4</sub> où se produira une désalcalisation des argiles en milieu bien drainé,
- plus faible en milieu Na Cl où l'on tendra vers un équilibre en fonction de la concentration en ce sel. L'alcalisation se trouvera toujours contrebalancée par la production de Ca Cl<sub>2</sub>, Mg Cl<sub>2</sub>.....

Nous constatons que par ces différentes voies nous avons moins de chances de trouver de phénomènes d'alcalisations dans les vieux bassins (Cuvette Régestan-Séïstan-Margo. Na Cl très dominant ou

(1\*) La solubilité de Ca (HCO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> passe de 2 à 3 me% (pH voisin de 8) à des valeurs très faibles (0,1-0,3 me%) en milieu hypersalin.

Na Cl et Na<sub>2</sub> SO<sub>4</sub>), sauf très localement (K 42), que dans un contexte de sédiments jeunes, contexte non ou peu perturbé par un environnement ancien (Bassin de Kunduz. Na Cl et Na<sub>2</sub> SO<sub>4</sub> mais également Na<sub>2</sub> CO<sub>3</sub> et NaH CO<sub>3</sub> également abondant).

#### 4 - LE PROBLEME DE L'ION Mg DANS L'ALCALISATION

Il a été évoqué par de nombreux auteurs. Leurs conclusions se sont révélées contradictoires.

La thèse de l'ion Mg jouant un rôle analogue à celui de Na est soutenue par l'école russe et, tout récemment, par l'école française (Classification CPCF 1 967).

La thèse inverse a pour supporters l'école américaine de Riverside qui attribue à l'ion Mg un rôle analogue à celui de Ca qui se traduit notamment dans le SAR (Sodium Adsorption Ratio).

Des intermédiaires prêtent à l'ion Mg un rôle plus ou moins neutre mais qui favoriserait la conservation de n... acquises en milieu sodique après l'élimination de Na.

Certains sols d'Afghanistan se sont révélés favorables pour aborder cette étude. Il s'agit des sols de... nes de Binihésar et de Bagrami situées près de Kabul. Ils sont formés sur des loess à fraction calcaïque et dolomitique importante qui contribuent à la saturation du complexe en Mg et Ca. Nous avons recherché des corrélations pouvant exister entre l'instabilité structurale (IS) et :

- les rapports Mg/T, Mg/S,
- la conductivité (concentration en sels solubles),
- les rapports argile / limon fin, argile/ limons fin et grossier,
- le Ca CO<sub>3</sub> total (Ca et Mg carbonates exprimés en Ca CO<sub>3</sub>),
- le calcaire actif,

sans en voir apparaître de positives.

Les meilleures structures (IS les plus bas (1) ) sont trouvées dans les sols les plus fortement salés de la dépression de Binihésar (Profil F 5) mais aussi les plus riches en matière organique et en calcite et dolomie où les rapports Mg/T sont élevés mais pas plus que dans les autres sols voisins. Les plus mauvaises structures (IS 16,4 à 100,4) sont trouvées dans le profil F 7 de la ferme de Bagrami où la salinité a des valeurs basses (1,42 à 2,68 mmhos/cm) et des valeurs de Ca CO<sub>3</sub> total très moyennes pour la région (12,6 à 15,3%) pour 5 à 6 ‰ de calcaire actif. Dans ce profil, calcite et dolomie sont codominantes mais variables et les valeurs de Mg/T voisines de 50% tandis que les teneurs en matière organique sont plus faibles.

L'interprétation de tels résultats paraît difficile du fait de l'interférence de divers facteurs positifs ou négatifs. Il semble que de petites fluctuations de l'un ou l'autre de ces facteurs dans un milieu très complexe déterminent des variations importantes de IS à partir d'un certain seuil et dans une fourchette très étroite ( les teneurs en matière organique, en sels solubles, en dolomie naissante paraissent jouer un rôle important ici).

A titre d'exemple nous citerons les variations observées dans les profils F 7 et F 8 de la ferme de Bagrami et dans le profil F 5 de la ferme de Binihésar.

*Profil F 7 :*

- 71 ( 0- 20 cm) : Dolomie faible. Calcite plus forte (Ca CO<sub>3</sub> 12,6 %).  
IS : 19,2  
Conductivité : 1,42 mmhos/cm  
C ‰ : 5,6

(1) IS 0 à 0,40 très bonne structure, 0,40 à 0,70 bonne structure, 0,70 à 1,0 structure moyenne, 1,0 à 2,0 mauvaise structure > très mauvaise structure.

- 72 (30- 50 cm) : Dolomie et calcite identiques (Ca CO3 16,1%).  
IS : 16,4  
Conductivité : 1,60 mmhos/cm  
C ‰ : 2,2
- 73 (80-100 cm) : Dolomie et calcite codominantes (Ca CO3 15,3%)  
IS : 100,4  
Conductivité : 2,68 mmhos/cm

*Profil F 8 :*

- 81 ( 0- 20 cm) : Dolomie faible. Calcite plus forte (Ca CO3 15,3%)  
IS : 9,2  
Conductivité : 2,51 mmhos/cm  
C ‰ : 7,2
- 82 (40- 60 cm) : Calcite dominante mais dolomie importante (Ca CO3 18,0%)  
IS : 10,2  
Conductivité : 15,0 mmhos/cm  
C ‰ : 3,3
- 83 (95-115 cm) : Calcite et dolomie identiques à F 82 (Ca CO3 14,9%)  
IS : 9,8  
Conductivité : 63,9 mmhos/cm  
Gypse.

Dans le profil F 8 l'apparition de dolomie abondante mais aussi de gypse s'accompagnant d'une baisse des taux de matière organique mais d'une forte hausse de la salinité se traduit par un maintien de IS.

Dans le profil F 7 les mêmes phénomènes, mais sans hausse de la salinité, se caractérisent par une forte élévation de IS.

*Profil F 5 :*

- 51 ( 0- 8 cm) : Dolomie dominante. Calcite (Ca CO3 23,5%)  
IS : non effectué  
Conductivité : 20 mmhos/cm  
C ‰ : 78,9
- 52 ( 8- 18 cm) : Dolomie dominante. Calcite (Ca CO3 33,4%)  
IS : 0,5  
Conductivité : 8,65 mmhos/cm  
C ‰ : 43,7
- 53 (20- 40 cm) : Dolomie dominante. Calcite (Ca CO3 44,8%)  
IS : 1,7  
Conductivité : 6,2 mmhos/cm  
C ‰ : non fait mais décroissant
- 54 (60- 80 cm) : Calcite dominante sur la dolomie (Ca CO3 34,2%)  
IS : 7,5  
Conductivité : 1,71 mmhos/cm  
C ‰ : non fait mais fortement décroissant.

Dans ce profil IS croît en profondeur en même temps que diminuent la salinité et la matière organique. Les pourcentages de carbonates sont très élevés mais dans l'horizon F 54 la dolomie perd sa dominance.

Tous ces résultats montrent les difficultés de l'interprétation que l'on peut faire. Les valeurs de la salinité, les teneurs en matière organique, la composition des carbonates (calcite ou dolomie dominante) semblent avoir plus d'importance que celles des ions fixés sur le complexe absorbant du sol (ici dans tous les cas Mg largement dominant).

Tout ceci peut sans doute s'expliquer en partie, en milieu peu salé, par une rétention des molécules d'eau autour des molécules naissantes de Ca Mg (CO3)2 et Ca CO3 s'accompagnant d'une dégradation de la structure alors finement pulvérulente (que les gels d'hiver accentueraient) alors qu'en milieu salin les sels en

solution (Na Cl, Na<sub>2</sub> SO<sub>4</sub>....) autour de ces mêmes molécules favoriseraient la formation de pseudo-agrégats partiellement conservés en hiver (point de congélation très abaissé du fait des teneurs en sels).

## 5 - LA DOLOMITISATION

Nous venons de voir que les échantillons des deux fermes de Binihésar et Bagrami contenaient des quantités variables de calcite et de dolomie suivant les profils et les horizons. Ainsi les teneurs exprimées en Ca CO<sub>3</sub> sont élevées et croissantes dans le cas du profil F 5 (23,5 à 44,8 %) (1), moindres et constantes dans le profil F 8 (15,3 à 14,9%). Dans les autres profils de la séquence de Binihésar les teneurs en carbonates sont très moyennes (15 à 20%) et à dominance de calcite, les pics de dolomie étant faibles. Il semble y avoir là une liaison entre l'enrichissement en carbonates (calcite et surtout dolomie) et la profondeur de la nappe (NP proche de la surface dans le profil F 5, de 1,5 à 2 m pour les autres profils). Dans le profil F 8 à frange capillaire saline il n'y a pas d'enrichissement en valeurs absolues mais croissance des pics de dolomie en profondeur.

Le profil F 5 est soumis à des phénomènes intenses de réduction se marquant par des lignes et taches noirâtres qui ont pour origine des sulfato-réductions liées à une vie microbienne anaérobie intense. Elles se traduisent par la formation de sulfures, de H<sub>2</sub>S, par l'ionisation de Ca, Mg.... l'oxygène prélevé aux sulfates par les micro-organismes servant à la combustion de la matière organique abondante dans ces profils de marécages. Le CO<sub>2</sub> dégagé, en forte pression dans le sol, pourrait alors, en se combinant aux ions Mg et Ca, être à l'origine de la formation de dolomie primaire dans les horizons réduits. Dans les profils F 1-2-3-4-8 à battement de nappe moins accusé la formation de dolomie se ferait uniquement au niveau de la frange capillaire dans des milieux à moins forte réduction car plus profonds (vie microbienne moins intense) et surtout moins riches en matière organique. Ce processus serait analogue à celui décrit par différents auteurs (LALOU 1 957. OPPENHEIMER et ROHRER 1 958. HSU 1 967 in MICHARD 1 969).

Des déterminations de soufre dans plusieurs de ces profils donnent les résultats suivants :

| N°  | F 11 | F 12 | F 13 | F 41 | F 42 | F 43 | F 51 | F 52 | F 53 | F 54 | F 81 | F 82 | F 83 |
|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| S ‰ | 0,8  | 0,5  | 0,5  | 0,65 | 0,55 | 0,5  | 2,7  | 4,5  | 1,2  | 0,5  | 0,6  | 1,4  | 6,1  |
| C ‰ | 15,0 | 5,9  |      | 12,3 | 9,9  |      | 78,9 | 43,7 |      |      | 7,2  | 3,3  |      |

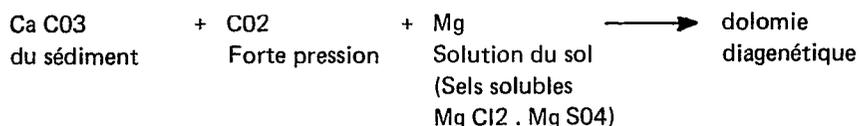
Gypse

Il y a une apparente corrélation entre les teneurs en soufre et celles de matière organique dans les profils F 1-4-5. Dans le profil F 8 celle-ci est plus complexe du fait de la présence de gypse. Dans l'horizon F 52 à trainées noirâtres de réduction les quantités de soufre sont particulièrement élevées.

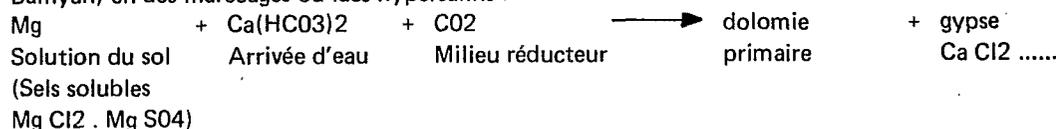
L'apparition de dolomie semble être liée à la présence d'un milieu salin riche en ion Mg très abondant sous forme de Cl et SO<sub>4</sub>. Or de tels milieux sont généralement pauvres en ion Ca (2). On voit donc mal comment de telles réactions pourraient se produire sans évoquer de fortes pressions de CO<sub>2</sub> dans le sol amenant la solubilisation passagère de carbonate et Ca y préexistant. Nous retombons ici dans un processus diagénétique :

(1) L'accumulation très forte de carbonates dans le profil F 5 est à rapprocher de celle que l'on voit dans certains profils des montagnes du Centre souvent à l'arrière de barrages de travertin. Il s'agit là toujours uniquement d'accumulation calcitique en liaison avec une eau de surface non salée et peu minéralisée où domine plus ou moins largement l'ion Ca (Cf. Montagne de Bamyan et analyses des eaux et du dépôt carbonaté de la rivière Awpar. Les travertins).

(2) Cf. page 271



Ou bien il convient d'admettre l'arrivée saisonnière d'eau riche en Ca (HC03)2 (type montagne de Bamyan) en des marécages ou lacs hypersalins :



Certains auteurs ont fait appel pour expliquer la formation de dolomie à des précipitations résultant de la photosynthèse d'une végétation aquatique ou de phytoplancton vivant en des milieux lacustres ou bien ils ont invoqué l'assèchement de lacs hypersalins. Si l'origine de certaines vieilles dolomies peut être recherchée dans ces causes il ne semble pas que ce soit le cas de celles du profil F 5 où le processus paraît bien actuel.

Nous avons retrouvé dans de vieilles dolomies des salinités résiduelles importantes (Cf. localisation des principaux milieux salins). Dolomies de Kandahar ( $34.300 \pm 1\ 900$  et  $26.270 \pm 880$  ans BP. Conductivité de 58,8 et 37,2 mmhos/cm. 2 Cl pour 1 SO4. 2-3 Na pour 1 Mg). Sédiments argileux dolomitiques du Logar (Région de Mohd Agha.  $26.670 \pm 780$  ans BP. Conductivité de 7,1 mmhos/cm. SO4 et Mg dominants sur Cl et Na). Aucun organisme végétal ou animal n'a été observé à l'examen macroscopique ou sur lames minces dans ces sédiments.

## 6 - L'ORIGINE DES SELS

La dominance de Na Cl, fréquente dans les différentes régions où s'observent le plus abondamment les sols salés, paraît accréditer la thèse d'une origine marine soit directe, soit indirecte.

Directe lors d'incursions marines anciennes dont la dernière en Afghanistan semble remonter au Tertiaire (Paléogène) mais dont les précédentes sont nombreuses (J. BLAISE *et al* 1972). Cette hypothèse est aussi confirmée par le fait que le massif de l'Hindu Kuch, prolongeant vers l'O la chaîne himalayenne, a subi des surrections intenses qui ont mis à jour des formations marines variées encore plus anciennes (principalement calcaires) dont les produits solubles ont pu s'accumuler en des successions de bassins d'âges très différents depuis la période de surrection alpine.

Indirecte si l'on peut invoquer des transferts marins d'origine atmosphérique dont parlaient déjà HOLLAND et CHRISTIE en 1909 pour expliquer l'origine des sels de certaines cuvettes lacustres du N de l'Inde (SINGH-JOSHI-SINGH 1972). Ces transferts ont été mis depuis en évidence par différents auteurs (MORELLI-BUAT MENARD-CHESSOLET 1971). Ceux-ci ont montré, par piégeages au-dessus des océans à différentes altitudes, que des aérosols issus du pétilllement qui se produit à la surface de la mer pouvaient être transportés dans l'intérieur des continents. Ils estiment la production globale à  $10^9$  T/an dont  $2 \cdot 10^8$  T/an de Cl (1). Ces transferts s'effectueraient dans des proportions variables suivant les éléments :

- rapport Cl/Na identique à celui existant dans les océans,
- rapports Na/K et Na/Ca inférieurs à ceux se trouvant dans la mer. Na/K passerait ainsi de 28 à 2-3.

(1) Cl et Na représenteraient donc 4/10 du transport total. K à 1,5 - 1,0/10.

Les poussières terrigènes incorporées à ces aérosols ne représenteraient qu'une infime fraction de la teneur totale. On voit donc toute l'importance qu'il faut attribuer à ces transferts (1).

Une troisième hypothèse pour expliquer l'origine du Na Cl est celle que nous avons précédemment évoquée. Il s'agit de la concentration relative en chlorures des différents cations par blocage sous formes peu solubles des carbonates et des sulfates (Ca CO<sub>3</sub>, Ca Mg(CO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>..... Ca SO<sub>4</sub>).

## 7 - LE BORE

La non fertilité de certains sols où les teneurs en sels solubles étaient moyennement élevées sans être exagérées nous ont amenés à la recherche du bore. Celle-ci s'est avérée positive dans de nombreux cas.

D'une façon générale, on peut estimer que les valeurs supérieures à 1-1,5 ppm en bore extractible à l'eau sont déjà fortes et à la limite de la toxicité (2). Certains «camane» à végétation caractéristique rase ou bordures de «camane» à cultures très mal venues n'ayant pas de salinités élevées (cas des fermes de Binihésar et de Bagrami dans leur partie haute très éloignée des dépressions) présentent des teneurs élevées en bore :

|              | Bore échangeable<br>ppm | Bore total<br>ppm | Conductivité<br>mmhos/cm |
|--------------|-------------------------|-------------------|--------------------------|
| – Profil F 1 |                         |                   |                          |
| 11           | 2,4                     |                   | 5,86                     |
| 12           | 1,5                     |                   | 1,68                     |
| 13           | 1,5                     |                   | 1,90                     |
| – Profil F 4 |                         |                   |                          |
| 41           | 1,8                     | 200               | 10,8                     |
| 42           | 2,0                     | 100               | 3,23                     |
| 43           | 0,8                     | 100               | 1,57                     |
| – Profil F 9 |                         |                   |                          |
| 91           | 1,2                     | 100               | 5,12                     |
| 92           | 1,5                     | 80                | 2,09                     |
| 93           | 7                       | 150               | 3,61                     |

(1) Nous rappellerons ici, pour mémoire, les teneurs de l'eau de mer en ses différents composants :

|                      | gr/l  | me/l   |
|----------------------|-------|--------|
| – Ca CO <sub>3</sub> | 0,12  | 0,24   |
| – Ca SO <sub>4</sub> | 1,27  | 18,66  |
| – Na Cl              | 27,21 | 465,53 |
| – Na Br              | 0,09  | 0,88   |
| – Mg SO <sub>4</sub> | 2,25  | 37,38  |
| – K Cl               | 0,74  | 9,92   |
| – Mg Cl <sub>2</sub> | 3,35  | 70,35  |
| – Borate             | 0,01  |        |

Nous trouvons ici des valeurs de 4 à 5 Na pour 1 Mg, de 10 Cl pour 1 SO<sub>4</sub>. Ces rapports pourront être différents si les sels ont été apportés par voie aérienne ou dans le cas de solubilisation de sels provenant de dépôts marins fossiles. Dans les sols nous avons vu que ces proportions étaient variables suivant l'âge des bassins, de leur richesse en matière organique et des phénomènes complexes de sulfato-réduction.

(2) US salinity .... (1954) admet pour les plantes sensibles les teneurs suivantes en bore ppm dans l'extrait de saturation :  
< 0,7 bon, 0,7 à 1,5 moyen à mauvais, > 1,5 très mauvais.

Les teneurs en bore des sols salés sont presque toujours élevées à très fortes, et ceci d'autant plus que la salinité est grande :

|              | Bore échangeable<br>ppm | Bore total<br>ppm | Conductivité<br>mmhos/cm |
|--------------|-------------------------|-------------------|--------------------------|
| - Profil F 5 |                         |                   |                          |
| 52           | 6,5                     |                   | 8,65                     |
| 53           | 2,0                     |                   | 6,20                     |
| 54           | 1,2                     |                   | 2,03                     |
| - Profil F 8 |                         |                   |                          |
| 81           | 1,2                     | 100               | 2,51                     |
| 82           |                         | 100               | 15,0                     |
| 83           | 2,3                     |                   | 63,9                     |

**Régions méridionales :**

|               |      |     |       |
|---------------|------|-----|-------|
| - Profil K 5  |      |     |       |
| 51            | 12,0 | 80  | 137,7 |
| - Profil K 26 |      |     |       |
| 261           | 16,0 |     | 256,8 |
| - Profil K 25 |      |     |       |
| 253           | 6,0  |     | 37,6  |
| - Profil K 42 |      |     |       |
| 420           | 10,0 | 50  | 226,9 |
| 421           | 7,0  | 50  | 232,0 |
| - Profil K 43 |      |     |       |
| 431           | 4    | 50  | 96,3  |
| 432           | 3    | 100 | 48,6  |
| 433           | 5,5  | 100 | 41,5  |

**Régions septentrionales :**

|                |     |     |      |
|----------------|-----|-----|------|
| - Profil Ku 10 |     |     |      |
| 101            | 2,0 | 100 | 19,3 |
| 102            | 1,3 | 50  | 19,6 |
| 103            | 1,7 | 50  | 15,2 |

Dans le profil K 48 (Sol gypseux et sodique. Région méridionale) la répartition du bore échangeable et total apparaît encore plus complexe en fonction de la conductivité et des teneurs en gypse :

|     | Bore échangeable<br>ppm | Bore total<br>ppm | Conductivité<br>mmhos/cm | Gypse % |
|-----|-------------------------|-------------------|--------------------------|---------|
| 481 | 0,4                     | 30                | 25,0                     | 4,25    |
| 482 | 0,6                     | 100               | 18,75                    | 7,95    |
| 483 | 15,0                    | 30                | 6,8                      | 17,96   |
| 484 | 10,0                    | 50                | 3,25                     | 12,93   |

Le gradient de bore échangeable semble suivre ici celui du gypse dans le profil (voir : localisation des principaux milieux salins.-Afghanistan méridional-pour l'interprétation des pourcentages de gypse en fonction de la salinité observée).

On trouve à l'inverse peu de bore échangeable dans les alluvions lacustres récentes (dépression du Séistan) :

|               | Bore échangeable<br>ppm | Bore total<br>ppm | Conductivité<br>mmhos/cm |
|---------------|-------------------------|-------------------|--------------------------|
| – Profil K 38 |                         |                   |                          |
| 381           | 0,3                     | 50                | 18,15                    |
| 382           |                         | 50                |                          |
| 383           | 0,3                     | 100               | 2,4                      |
| – Profil K 40 |                         |                   |                          |
| 401           | 0,35                    | 100               | 4,92                     |
| 402           | 0,2                     | 100               | 3,79                     |
| 403           | 0,25                    | 100               | 1,89                     |

Les rapports en bore échangeable/bore total sont très variables en fonction du type de sol. Ils sont très faibles (inférieurs à 1%) dans les sols peu évolués (Profils K 38-K 40), différemment élevés dans les sols salés :

- Profil Ku 10 : # de 2-2,6-3,4%
- Profil K 43 : # de 8-3-5,5%
- Profil K 42 : # de 20-14%
- Echantillon K 51 : # de 15%

Dans le profil K 48 gypseux-sodique ils sont très inférieurs à 1% en surface, de 50 et 20% en profondeur (K 483-484). Dans les sols peu évolués à faible salinité des fermes (F 4-F 9) ils sont compris entre 1 et 4%.

Dans les vieux sédiments à salinité résiduelle nous trouvons des teneurs en bore assez importantes et des rapports bore échangeable/bore total voisins de 10% :

|                | Bore échangeable<br>ppm | Bore total<br>ppm | Conductivité<br>mmhos/cm |
|----------------|-------------------------|-------------------|--------------------------|
| – Profil K 7   | 5                       | 50                | 58,8                     |
| – Profil K 280 | 6                       | 50                | 50,9                     |
| – Profil K 290 |                         | 30                | 302,4                    |
| – Profil K 410 |                         | 50                |                          |
| – Profil K 411 |                         | 30                | 869,4                    |
| – Profil K 351 | 2                       | 30                | 20                       |
| – Profil K 352 |                         | 50                | 54,7                     |
| – Profil K 343 | 2,4                     |                   | 6,41                     |
| – Profil K 344 | 4,4                     | 100               | 13,0                     |

Aucun dosage de bore n'a été fait dans les eaux (1). (2).

Une étude systématique du bore échangeable et total serait intéressante dans ces sols salés. Elle permettrait de déceler les facteurs favorisant la remontée ou la solubilisation de cet élément dans certains profils (gypseux sodiques, sodiques chlorurés, sulfatés, carbonatés). Au stade actuel de notre étude, nous constatons que des concentrations importantes en bore soluble s'effectuent dans les cuvettes à mauvais drainage et qu'elles paraissent responsables de phénomènes de toxicité que l'on avait tout d'abord attribués à une salure excessive, ce qui n'est pas toujours le cas, ou à des valeurs de Mg échangeables élevées.

## LES MINÉRAUX ARGILEUX DU SOL

Nous rappellerons ici la composition des minéraux argileux de la fraction fine des différents types de sols pris dans leur contexte géomorphologique actuel tout en tenant compte de la pédogenèse qui peut être attribuée au sol lui-même. Nous débuterons cette étude par la Montagne de Bamyan où les argiles n'offrent pas la grande complexité que nous trouverons en d'autres régions et paraissent héritées des roches mères.

(1) Des analyses effectuées sur des échantillons d'eau prélevés en 1974 révèlent des teneurs faibles ou moyennes pour les fleuves (Echantillons 1-2-3-6-7-10), élevées ou très élevées pour les eaux de certaines nappes de la dépression Régistan - Séistan - Margo (Echantillon 5), du lac Jéhilé Puzak (S de Laso Jowayn. Echantillons 12-13), pour des eaux d'origine thermique (Echantillon 4). Ces eaux ont des conductivités différemment élevées. Les teneurs en Na sont très fortes 271,7 me/l (Conductivité : 29,4 mmhos) dans l'échantillon 5, 37,8 me/l (Conductivité : 5,08 mmhos) dans les eaux du lac du Séistan, 27,2 me/l (Conductivité : 2,5 mmhos) dans l'eau de la source thermique. Pour les fleuves, les teneurs en Na sont faibles et les conductivités basses (0,5 mmho).

| N° |                                                                       | Eléments traces exprimés en $\gamma$ /cc (ppm) |        |       |       |
|----|-----------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------|--------|-------|-------|
|    |                                                                       | B                                              | Ba     | Sr    | Li    |
| 1  | Rivière d' Ak Obat (Région de Bamyan)                                 | 0,05                                           | 0,02   | 0,35  | 0,01  |
| 2  | Rivière de Bamyan                                                     | 0,15                                           | 0,025  | 0,40  | 0,012 |
| 3  | Lac de Band I Amir                                                    | 0,06                                           | 0,035  | 0,80  | 0,012 |
| 4  | Source thermique (Vallée de Turkman)                                  | > 0,90                                         | > 0,09 | 0,90  | 0,60  |
| 5  | Nappe près de Khanessin. Terrasse de l' Helmand Rod près du « dasht » | 18,00                                          |        | 20,00 | 0,30  |
| 6  | Helmand Rod à Laskargah                                               | 0,25                                           | 0,02   | 0,70  | 0,01  |
| 7  | Eau descendant des massifs près de Farah                              | 0,20                                           | 0,02   | 0,60  | 0,009 |
| 10 | Farah Rod au S de Farah                                               | 0,20                                           | 0,03   | 0,90  | 0,013 |
| 12 | Lac du Séistan                                                        | 1,40                                           | < 0,09 | 1,80  | 0,09  |
| 13 | Lac du Séistan                                                        | 2,90                                           | < 0,15 | 0,50  | 0,15  |

A titre de comparaison nous donnons ici les valeurs moyennes de l'eau de mer en ces différents éléments : B 4,6 - Ba 0,05 - Sr 8 - Li 0,17  $\gamma$  /cc.

(2) SCOFIELD (1936) in US salinity .... (1954) admet pour les eaux d'irrigation les teneurs suivantes en bore :

- plantes sensibles : 0,33 à 1,25 ppm,
- plantes semi-tolérantes : 0,67 à 2,50 ppm,
- plantes tolérantes : 1 à 3,75 ppm.

## 1 - MONTAGNE DE BAMYAN

Dans ce massif, la fraction argileuse des sédiments et des sols est relativement peu variée. On observe ainsi dans les sols formés sur les roches du massif :

- roche trachy-andésitique (sommet 4 200 m). Sol périglaciaire polygonal à montmorillonite dominante ou codominante avec de l'illite. Egalement chlorite (Echantillons B 23 - B 23'),
- schistes (altitude 3 200 - 3 500 m). Sol brun modal à kaolinite dominante et illite avec de l'hématite et un peu de goéthite (Echantillon B 53),
- calcaire marneux (niche de nivation vers 4 000 m). Sol brun calcaire. Illite et chlorite codominantes. Montmorillonite faible (Echantillon B 33),
- calcaire marneux, colluvions de ceux-ci et de trachy-andésite (altitude 3 500 - 3 800 m). Sol brun calcaire à encroûtement :
  - B 81 (horizon A) : illite dominante. Montmorillonite forte. Chlorite faible,
  - B 83 (horizon B Ca) : illite dominante. Montmorillonite. Un peu de kaolinite,
- calcaire marneux. Sol périglaciaire B Ca à taches (B 43). Illite dominante. Chlorite forte. Montmorillonite faible,
- accumulation sédimentaire calcaire (3 200 - 3 500 m). Sol périglaciaire de «butte gazonnée» (B 131). Illite dominante et chlorite. B 61-62-71-80-81 dans une dépression à 25 km de Bamyan vers Band I Amir (2 500 à 2 800 m), sols identiques avec illite dominante et chlorite,
- dépôt calcitique actuel de la rivière Awpar. Illite dominante et chlorite,
- travertin d'Awpar T 11. Illite dominante et chlorite,
- loess (Bassin de Bamyan, glaci-terrasse à 3 000 m environ). Encroûtement B Ca de sol à différenciation calcaire (B 153). Age :  $15.350 \pm 230$  ans BP. Attapulgite dominante. Illite et chlorite.

Toutes ces fractions argileuses contiennent encore d'importantes quantités de calcite. Il n'a pas été observé les pics de la dolomie aux RX.

Dans ce massif et les extensions (Bassin de Bamyan et trajet Bamyan - Band I Amir) nous voyons la prédominance d'argiles héritées des roches :

- calcaire marneux donnant naissance aux travertins, au dépôt calcitique de la rivière Awpar, à l'accumulation calcaire sédimentaire : illite dominante et chlorite,
- schistes : kaolinite.

Il y a par contre semble-t-il néosynthèse abondante de montmorillonite à partir de la roche trachy-andésitique et plus faible dans des sols sur calcaire marneux, néosynthèse également d'attapulgite dans le sol à encroûtement calcaire ancien (B 153). Aucune n'est par contre observée dans les travertins, le dépôt calcitique de la rivière Awpar et son homologue constituant les «buttes gazonnées», dans le sol brun-calcaire à encroûtement (Profil B 8 sauf celle de montmorillonite).

## 2 - REGIONS SEPTENTRIONALES (KUNDUZ-QUALA I NAW)

Les argiles des sols de ces régions sont constituées essentiellement d'illite et de chlorite codominantes ou alternativement dominantes. Nous voyons cependant apparaître de façon très hétérogène une fraction moins importante de sépiolite ou d'attapulgite. Ces argiles peuvent s'observer dans divers profils de sols ou horizons de ceux-ci :

- horizons Ku 42 : sol peu évolué (attapulgite),  
Ku 152 : sol hydromorphe à pseudo-gley, sodique en profondeur (sépiolite),  
Ku 162 : sol hydromorphe à gley (attapulgite),  
Ku 22-175 : siérozems (attapulgite),

- profil Ku 8 : sol gypseux,
- Ku 82 : (attapulгите),
- Ku 83 : (sépiolite possible).

Par contre deux horizons de sols sodiques différents (Ku 102-112), un autre sol gypseux (Ku 31-32), l'horizon Ku 153 sous-jacent au Ku 152 précédent, l'horizon Ku 172 ne présentent aucune de ces argiles. L'apparition de celles-ci semblé devoir s'expliquer ici non pas par des néosynthèses mais par un héritage (apports alluviaux ou colluviaux de sédiments provenant de plus anciennes pédogenèses).

Les loess du S de Quala I Naw (Col de Bande Sabzak) à encroûtement relativement récent (7 340 ± 115 ans BP) ont une fraction à illite dominante et chlorite (horizons A et B Ca) avec de la calcite dans les horizons C 271-272 les plus décarbonatés, de la calcite dominante et de la dolomie dans l'horizon B Ca. Le siérozem voisin (Profil C 32) a une composition en argile analogue avec de la calcite dominante et de la dolomie dans tout le profil. La comparaison des profils C 27 et C 32 parait donc indiquer soit une destruction préférentielle de la dolomie dans les horizons supérieurs du profil C 27 ou sa migration vers la profondeur, soit la néosynthèse de ce carbonate dans l'horizon B Ca. La matière organique relativement abondante à cette altitude (2 400 m) pourrait jouer un rôle important soit par l'intermédiaire de ses substances solubles (acides fulviques et humiques migrant dans le profil provoquant la destruction des carbonates), soit par le CO<sub>2</sub> résultant de sa combustion par les micro-organismes du sol favorisant des précipitations de carbonates (calcite et dolomie) en se combinant aux ions des solutions du sol.

### 3 - REGIONS MERIDIONALES (KANDAHAR - DEPRESSION REGESTAN-SEISTAN - MARGO)

Nous retrouverons pour les argiles des sols de ces régions la dominante illite-chlorite pour tout ce qui est jeunes apports ou sols n'ayant pas subi de pédogenèse calcaire.

La fraction argileuse des sédiments les plus anciens, à l'inverse, se révèle souvent constituée d'une partie plus ou moins importante d'attapulгите ou de sépiolite à laquelle peut s'ajouter de la dolomie en plus ou moins grande abondance, ceci principalement dans la région de Kandahar. Dans la cuvette Régestan-Séistan-Margo au contraire, la calcite domine souvent et la fraction attapulгите-sépiolite est alors faible à nulle.

- K 7 : 26.270 ± 880 ans BP, } dolomie largement dominante. Chlorite, attapulгите et illite
- K 8 : 34.300 ± 1 900 ans BP, } codominantes.
- K 13 : 27.400 ± 880 ans BP. Conglomérat encroûté. Terrasse haute du Tarnak Rod. Calcite dominante et dolomie faible. Attapulгите dominante et chlorite.
- K 280 : 30.300 ± 1 050 ans BP. Par ordre de dominance décroissante : illite, chlorite, montmorillonite, attapulгите. Calcite dominante, dolomie faible.
- K 410 : 33.200 ± 1 600 ans BP. Illite et chlorite codominantes avec de la montmorillonite dans le (K 411) K 411. Calcite dominante. Dolomie faible.
- K 5 : 22.740 ± 400 ans BP encroûtement calcaire. Piedmont de massif de calcaire à Rudistes. Attapulгите et chlorite. Calcite.
- K 1 042 : 23.920 ± 610 ans BP. Dépôt sédimentaire de gypse fibreux s'intercalant dans des alluvions fluvio-lacustres. Gypse dominant et anhydrite. Calcite.

Dans cette même cuvette de Kandahar, la fraction argileuse des sables constituant l'ancien delta est à dominance de montmorillonite et d'illite avec de la chlorite dans la partie superficielle reprise par le vent (Echantillon K 1 012). Elle est constituée par un mélange d'attapulгите, d'illite, de chlorite, de sépiolite, de montmorillonite dans les horizons profonds du sol calcaire peu différencié (Echantillon K 204).

Les sols sodiques (K 53-54) ou peu évolués (K 32), formés sur des alluvions lacustres ou fluvio-lacustres de cette même cuvette, ont une fraction argileuse à codominance de chlorite et d'illite avec parfois des traces d'attapulгите.

Toujours dans la dépression de Kandahar, les argiles des sols à encroûtement calcaire formés sur le vieux conglomérat sont constituées par ordre de dominance par de l'attapulgite, de l'illite et de la chlorite (K 243). Il en est de même de sols hydromorphes à encroûtement par action de nappe situés en contrebas (K 82-83-84. K 111-112 : illite-chlorite-attapulgite codominantes).

Les argiles des sols gypseux et sodiques abondants sur tous les « dasht » entre Délaram et Zaranj sont plus complexes. Dans le profil K 48 la sépiolite domine en profondeur associée à la montmorillonite, à la chlorite et à l'illite tandis que dans les horizons superficiels l'attapulgite et la sépiolite sont à l'état de traces ou faibles et que la montmorillonite et l'illite sont fortes.

Dans un sol gypseux de la cuvette de Kandahar (K 122), se superposant aux sédiments dolomiti-ques K 7 - K 8, l'attapulgite domine encore mais on trouve également de la chlorite, de l'illite et des traces de montmorillonite.

Les sédiments actuels du lac de Cakhansur (K 403) sont constitués d'illite et de chlorite codomi-nantes avec des traces de montmorillonite dans les échantillons K 381-383. Il en est de même des sédiments lacustres sodiques plus âgés (K 352 : 9 030 ± 125 ans BP).

Les barkhanes (K 362), qui se déplacent à la fois sur ces derniers mais aussi sur les « dasht » aux sols gypseux sodiques, ont une fraction argileuse complexe où s'observent par ordre d'importance décroissante : illite, chlorite, attapulgite, sépiolite, traces de montmorillonite.

Dans ces régions méridionales, il est difficile de faire la part de l'héritage et des néosynthèses. Atta-pulgite et sépiolite, dans certains sols comme ceux des barkhanes, semblent héritées. Elles ont été au contrai-re néoformées dans les plus vieux sédiments (K 7 - K 8) ou les sols à différenciation calcaire. Leur origine est plus douteuse dans les sols à redistribution du calcaire par action de nappe ou les sols gypseux sodiques.

#### 4 - REGIONS ORIENTALES

Dans la *cuvette de Jalalabad*, la fraction argileuse des sols est le plus souvent caractérisée, mis à part les sols à différenciation calcaire très accusés (à encroûtement calcaire), par un mélange fréquent d'il-lite, de chlorite et de montmorillonite. Les deux premières dominent souvent tandis que la troisième est plus faible ou à l'état de traces.

- sol minéral brut d'apport éolien (J 82) : illite dominante, chlorite, traces de montmorillonite,
- sol peu évolué d'apport sur sable ou sable limoneux (J 53) : identique,
- sol hydromorphe à pseudo-gley sur limon argileux (J 143) : illite et chlorite codominantes. Montmoril-lonite,
- sol gypseux (J 132 - J 133) : montmorillonite et illite codominantes. Chlorite,
- sol à différenciation calcaire peu marquée sur limon sableux, limon argileux (J 92-93) : identique au sol gypseux.

Dans les sols à différenciation calcaire accusée (encroûtement) nous voyons apparaître plus ou moins abondamment de l'attapulgite :

- sur limon-argileux à couverture graveleuse et par ordre décroissant :
  - J 192 : attapulgite, illite, chlorite,
  - J 202 : illite, chlorite, attapulgite,
- sur couverture limoneuse reposant sur un conglomérat encroûté (J 212) : montmorillonite dominante. Attapulgite et chlorite.

L'attapulgite apparaît ici comme une argile de néosynthèse tandis que l'illite, la chlorite sont d'ori-gine sédimentaire et ont été prélevées aux sédiments de la série du Lataband dans lesquels on les retrouve associées à des traces de montmorillonite dans les faciès sableux ou à de la montmorillonite plus abondante dans les argiles limoneuses interstratifiées dans les formations « poivre et sel » (par ordre décroissant dans les échantillons J 42 - 44 de ces formations : illite, montmorillonite, chlorite). La présence de montmorillonite dans ces sédiments évoque une mise en place de ceux-ci dans un milieu hydromorphe lacustre ou marécageux.

Ceci paraît confirmé par la présence encore plus abondante de montmorillonite dans le seul sol gypseux observé sur une butte témoin de la rive droite du Kabul, au voisinage du massif de Tor en amont de Jalalabad.

Deux échantillons d'encroûtement calcaire sur conglomérat et limon à fraction argileuse d'attapulgite et illite ont donné les âges suivants :

- J 220 :  $14.330 \pm 170$  ans BP,
- J 230 :  $31.450 \pm 1\ 200$  ans BP.

Dans le *Nuristan*, la fraction argileuse est plus complexe en fonction des sols et de la roche mère. Dans la toposéquence de la Montagne de Kamdech on observe de haut en bas (Figure 41).

- sur loess décarbonatés :
  - dans des sols bruns lessivés sous forêt de conifères :
    - dans les échantillons N 23 et N 41 : illite dominante, chlorite, traces de montmorillonite et d'interstratifié illite-chlorite,
    - dans l'échantillon N 43 sous-jacent au N 41 la même composition avec en plus peut-être de l'attapulgite,
  - dans les sols à encroûtement ou amas calcaires abondants sous végétation de *Quercus baloot* (Echantillons N 101-102-103, N 111-112) : illite dominante, chlorite et traces de montmorillonite sans attapulgite ou sépiolite. Une composition identique est trouvée dans le profil N 16 (N 161-163) prélevé sur la haute terrasse du Kunar près d'Asmar où un loess a donné un sol à différenciation calcaire à nodules. L'encroûtement calcaire N 103 a un âge de  $20.490 \pm 400$  ans BP,
- sur micaschistes à faciès de pegmatite :
  - dans des sols podzoliques et podzols sous conifères :
    - N 32 : illite dominante, kaolinite, traces d'illite,
    - N 33 : illite dominante, métalloysite, traces de chlorite,
    - N 91 : illite très importante, chlorite, kaolinite probable,
    - N 92 : identique au N 92 avec peut-être des traces d'attapulgite.

Dans la *vallée d'Azrao*, un sol à différenciation calcaire à début d'encroûtement sur pente forte et sur loess a donné dans ses horizons A et B Ca (AZ 11-13) la même composition que les différents horizons des profils N 10-11 (illite dominante, chlorite, traces de montmorillonite).

Dans le *Paktia*, le sol à différenciation calcaire et encroûtement du col de Sato (2 820 m. Age :  $11.635 \pm 160$  ans BP) a donné pour ces différents horizons :

- A1 (Kh 61) décarbonaté, dans un ordre décroissant : illite, chlorite, montmorillonite, attapulgite faible possible,
- B Ca (Kh 63) : illite dominante, chlorite, montmorillonite, traces de sépiolite ou interstratifié montmorillonite-chlorite, attapulgite faible possible,
- B Ća (Kh 64) : illite dominante, chlorite, montmorillonite sépiolite ou interstratifié montmorillonite-chlorite.

Dans la plaine de Bakh-Khost où dominant des loess colluviaux dans le profil Kh 1 à différenciation calcaire faible (accumulation diffuse) la montmorillonite domine, accompagnée par de l'illite et de la chlorite (Kh 11) et des traces de sépiolite dans l'échantillon Kh 13.

Dans l'encroûtement calcaire Bakh daté de  $6\ 490 \pm 120$  ans BP, l'illite et la chlorite sont codominantes.

## 5 - VALLEE DU LOGAR ET DU KABUL DANS SON COURS SUPERIEUR

Ici les loess, le plus souvent colluvionnés, occupent des étendues considérables sur certains piedmonts à arrière pays peu accidenté (S-O de Baraki Barak) et dans le fond de la vallée aménagé en terrasses.

Leur fraction argileuse est le plus souvent constituée dans les sols peu évolués ou les sols à faible différenciation calcaire par de la montmorillonite dominante, parfois de l'illite et de la chlorite. On note parfois en plus de la calcite abondante, de la dolomie :

- N<sup>o</sup> 592 : montmorillonite, illite, chlorite. Sol peu évolué,
- 702 : montmorillonite dominante, illite et chlorite. Sol peu évolué avec débris de vieil encroûtement
- 613 : illite dominante, montmorillonite et chlorite. Sol à différenciation calcaire peu marquée,
- 620 : argiles identiques. Loess profond sous un profil analogue au N<sup>o</sup> 61.

Plus au N dans la dépression de Kabul, notamment dans les fermes de Bagrami et de Binihésar, on observe de l'illite dominante avec de la chlorite et des traces de montmorillonite. A la calcite s'ajoute ici de la dolomie bien représentée et parfois très abondante.

Des sols ou horizons sodiques ainsi que des sols hydromorphes de ces diverses régions fournissent des argiles identiques :

- N<sup>o</sup> 931 : Baraki Barak. Montmorillonite dominante, illite et chlorite,
- 842 : dépression de Kabul. Illite dominante, montmorillonite et chlorite,
- F 83 : Bagrami : illite dominante, chlorite, montmorillonite (traces),
- F 51 : Binihésar : illite dominante, chlorite plus faible,

.....  
Dans les sols sur loess à différenciation calcaire très accusée (encroûtement ou début d'encroûtement) apparaissent de l'attapulgite ou de la sépiolite qui se mêlent aux précédentes argiles ou dominent largement :

- N<sup>o</sup> 811 : 25.850 ± 830 ans BP. S de Baraki Barak. Croûte lamellaire. Montmorillonite légèrement dominante puis chlorite et illite. Sépiolite faible,
- 812 : 29.040 ± 1 150 ans BP. Même origine. Encroûtement polyédrique. Montmorillonite dominante, chlorite et illite,
- 732 : 21.700 ± 420 ans BP. Safed (S de Kabul). Encroûtement polyédrique. Attapulgite dominante, chlorite, illite probable,
- 734 : même profil, horizon sous-jacent encore très calcaire. Montmorillonite dominante, illite,
- 790' : S de Baraki Barak. Croûte lamellaire. Sépiolite dominante puis chlorite, illite, montmorillonite, attapulgite,
- 790 : même origine. Encroûtement polyédrique sous-jacent. Attapulgite, chlorite, illite, montmorillonite sensiblement égales,
- 650 : S-O de Baraki Barak. Croûte lamellaire. Sépiolite,
- 411 : S-E de Pull Alam. Encroûtement polyédrique démantelé. Sépiolite dominante puis chlorite et attapulgite. Illite possible,
- 691 : 12.570 ± 190 ans BP. Sekargal'a. Encroûtement discontinu. Sépiolite dominante et chlorite. Illite possible.

Les conglomérats encroûtés par le calcaire qui constituent une grande partie du piedmont présentent des argiles analogues dans le ciment calcaire :

- N<sup>o</sup> 541 : 22.200 ± 1 050 ans BP. Près de Nawe Kala. Montmorillonite et sépiolite dominantes. Chlorite et illite,
- 77 : 15.740 ± 230. Abcakan. Par ordre d'importance : chlorite, attapulgite, illite. Dolomie abondante.

Le profil 18 (N de Khosi), sur matériau détritique montre dans son horizon d'accumulation B Ca de l'attapulgite qui s'ajoute aux autres argiles observées dans les horizons supérieurs (N<sup>o</sup> 181-182. Montmorillonite dominante, chlorite et illite).

Les argiles dérivées des péridotites de la région de Mohd Agha sont à dominance de montmorillonite ou de nontronite à laquelle s'ajoutent le plus souvent de la dolomie (N<sup>o</sup> 344) mais aussi de la calcite (N<sup>o</sup> 343), et dans certains cas où elles sont particulièrement rubéfiées (N<sup>o</sup> 450) de l'hématite et de la goéthite. La recherche de produits amorphes dans ces argiles, qui se traduit après traitement par la disparition de la montmorillonite fragile, met à jour des produits plus résistants, non décelés initialement :

– chlorite, illite, talc, serpentine.

Nous donnerons en suivant la composition en argiles de diverses roches sédimentaires pour montrer que celle-ci diffère souvent assez peu de celle des loess :

N° 40 : Dastak (O de Gomaran). Marnes en polyèdres. Par ordre d'importance : illite, attapulgite, chlorite. Dolomie importante (27% exprimés en Ca CO<sub>3</sub>),

275 : O de Babus. Argiles en polyèdres. Montmorillonite dominante puis illite et chlorite (Ca CO<sub>3</sub> traces),

931 : Mirwal. Argile et sable micacé. Montmorillonite dominante, illite et chlorite (Ca CO<sub>3</sub> traces),

910 : Pule Alam vers Khosi. Marne. Argiles identiques. Calcite abondante (Ca CO<sub>3</sub> : 44,6%).

Cuvette de Kabul :

800 : argile en plaquettes. Illite dominante, montmorillonite un peu plus faible, chlorite. Calcite (Ca CO<sub>3</sub> : 13,5%),

860 : limon-argileux. Dans l'ordre : montmorillonite, chlorite, sépiolite, traces d'attapulgite. Dolomie et calcite (Ca CO<sub>3</sub> : 7%),

870 : grès friable. Montmorillonite forte, illite, chlorite. Calcite (Ca CO<sub>3</sub> : 8,5%),

880 : limon argileux. Argiles identiques et calcite (Ca CO<sub>3</sub> : 18,3%).

La fraction montmorillonitique importante dans ces divers sédiments, laisse supposer une origine lacustre ou marécageuse ou tout au moins une néosynthèse en milieu hydromorphe. Nous remarquerons qu'ici encore la présence de dolomie s'accompagne fréquemment d'apparition d'attapulgite ou de sépiolite (Echantillons N° 40 et 860).

## CONCLUSIONS

Les argiles des sols de ces différentes régions n'offrent qu'une apparente complexité.

Les milieux les plus simples paraissent ceux de haute montagne où se produisent actuellement des pédogenèses tempérées froides que l'on peut facilement observer dans la mesure où elles ne sont pas perturbées par un environnement ancien. C'est le cas de la Montagne de Bamyan où les fractions argileuses semblent directement issues de leur roche mère où, sur des pentes fortes et sous des pluviométries relativement élevées, les conditions de drainage paraissent bonnes n'entraînant pas de néosynthèses importantes (mise à part celle que l'on peut supposer sur les trachy-andésites ou le long de certaines sources en milieu hydromorphe). Dans la majorité des cas les argiles dérivées des calcaires marneux sont de l'illite et de la chlorite retrouvées associées à de la calcite plus ou moins abondante dans les différents sols, les travertins anciens, le dépôt actuel de la rivière Awpar. Les schistes donnent ici de la kaolinite et de l'illite.

La montagne de Kamdech, non dégagée d'accumulations de loess, offre déjà un milieu argileux plus complexe mais où les néosynthèses paraissent cependant faibles :

- sur micaschistes donnant des sols podzoliques (illite, chlorite, métalloysite, kaolinite),
- sur loess décarbonatés donnant des sols bruns lessivés (illite, chlorite, traces de montmorillonite mais aussi parfois interstratifié illite-chlorite et peut-être attapulgite,
- sur loess et accumulation calcaire due au lessivage sur pente donnant des sols à différenciation calcaire et à encroûtement (argiles identiques mais sans attapulgite ou sépiolite).

Dans la vallée d'Azrao, on trouve sur ces derniers sols les mêmes argiles.

Dans les bassins fermés, l'évolution des matériaux argileux a été relativement plus complexe, variable cependant suivant les conditions de drainage et celles du milieu. Nous pouvons distinguer schématiquement :

- des milieux différemment confinés mais où ne se produit aucune accumulation saline. La montmorillonite y domine souvent et paraît indiquer des conditions lacustres ou marécageuses, ou très hydromorphes (Sols peu évolués sur loess de la vallée moyenne du Logar, ou à différenciation calcaire faible de la dépression Khost-Bakh.....).

— des milieux confinés à accumulation saline. En fonction de la nature de ceux-ci plusieurs voies sont offertes :

- milieu salin surtout riche en Na (Cl, SO<sub>4</sub>) dans lequel le matériau argileux évolue peu ou bien se marque par un enrichissement en montmorillonite en même temps que s'accroissent les teneurs en calcite (faible quantité d'attapulgite, de sépiolite, de dolomie). Bassin lacustre Séistan-Margo (30.000 - 35.000 ans BP),
- milieu salin à Na mais Mg abondant (Cl, SO<sub>4</sub>) dans lequel il y a de fortes néosynthèses d'attapulgite et de sépiolite qui envahiront les profils à différenciation calcaire très accusée (encroûtement). Dans ce milieu il peut y avoir déposé plus ou moins abondante de dolomie. Cuvette de Kandahar, bassin du Logar, cuvette de Jalalabad (35.000 - 15.000 ans BP). Ces anciens milieux salins sont prouvés par des salinités résiduelles importantes trouvées dans les anciens sols ou sédiments (régions méridionales). Dans le Logar où ces salinités ne sont plus observées du fait :
  - d'un changement radical des conditions du milieu (disparition des étendues marécageuses et lessivage progressif de celles-ci au cours de périodes ultérieures),
  - d'un changement dans le contexte géomorphologique qui s'est transformé à la suite de phénomènes d'érosion amenant le démantèlement des anciennes surfaces encroûtées qui a favorisé les processus de lessivage en sels solubles, la présence de Chénopodiacées abondantes dans les analyses polliniques de croûtes et encroûtements calcaires démontre bien l'existence ancienne de ces milieux salins.

Sur les quatre périodes d'accumulation calcaire que nous avons distinguées, les trois premières paraissent avoir permis de telles néosynthèses, non pas en tous lieux, mais en des endroits localisés, privilégiés, ce qui prouve bien que les conditions n'étaient pas partout réalisées à la fois.

Au cours de la quatrième période, la plus récente, ces conditions ne l'ont plus été du tout mais il convient de dire que les accumulations calcaires qui y correspondent sont très particulières. On les observe seulement vers 2 800 - 3 000 m et sur des versants relativement abrupts. Ces accumulations, si elles impliquent encore des entraînements importants du calcaire sous l'action des eaux de ruissellement ou de pluies (ou fonte de neiges) ne vont plus se former dans des marécages (cas vraisemblables très fréquents au cours des 1<sup>ère</sup>, 2<sup>ème</sup> et 3<sup>ème</sup> périodes). Du fait de lessivage moins intense les insolubilisations se font directement sur les pentes en contrebas.

De nos jours, ces conditions de néoformation d'attapulgite et de sépiolite ne paraissent plus réunies. Les dépôts lacustres actuels, non ou peu salés du Séistan, ont une composition en argile analogue à celle de produits peu évolués (illite, chlorite, traces de montmorillonite). Il en est de même pour ceux du lacustre de 9 000 ans (correspondant sensiblement à la 4<sup>ème</sup> période d'accumulation calcaire ci-dessus) et ceci malgré des salinités résiduelles importantes mais absence d'ion Mg.

Un des rares milieux actuels (parmi ceux que nous connaissons) qui paraît susceptible de produire de telles néosynthèses est celui de la dépression de Binihésar au S de Kabul. Dans ce milieu halomorphe à dominance d'ion Mg, on note des accumulations actuelles notables de dolomie. Comment expliquer alors la non néosynthèse de phyllites silicatées dans un tel milieu, sinon peut-être par des pH non suffisants (8-8,2), des teneurs en silice trop faibles. Les teneurs des eaux de cette dépression en cet élément sont malgré tout non négligeables (20 à 25 mg/l). On est encore loin cependant des conditions réalisées en laboratoire pour les néosynthèses de montmorillonite magnésienne et de sépiolite par SIFFERT et WEY (1 962 cité par MILLOT 1 964). Lors de ces néosynthèses le pH de départ était de l'ordre de 11, celui d'arrivée de 8,7, la silice était à saturation dans une solution de 0,1 M de Mg Cl<sub>2</sub> où le rapport Si O<sub>2</sub>/Mg O = à 0,7. Faut-il conclure qu'au cours de nos premières périodes d'accumulation calcaire ces conditions étaient remplies ? C'est assez peu vraisemblable bien qu'il soit impossible d'affirmer le contraire. Dans le milieu de la dépression de Binihésar aucune néosynthèse d'argile ne paraît se produire même celle donnant naissance à de la montmorillonite.

# HISTOIRE GEOLOGIQUE ET PEDOGENESES AU QUATERNAIRE RECENT

## 1 - ESSAIS D'INTERPRETATIONS DES VARIATIONS CLIMATIQUES

Nous avons distingué au chapitre des accumulations calcaires quatre périodes principales au cours desquelles elles se sont effectuées. Les corrélations que nous pouvons tirer entre chacune d'elles et les conditions climatiques ayant régné en Afghanistan apparaissent les suivantes (Figure 56).

1) - *La première période* (35.000 - 25.000 ans BP) est marquée par un réchauffement général du climat.

Elle paraît la plus humide, comparativement aux suivantes, et est peut-être aussi la moins contrastée en alternances de phases chaudes et froides encore que les variations saisonnières annuelles devaient être très marquées à moyenne altitude dans sa première partie :

- hiver froid et humide avec accumulation de neige,
- été chaud avec déenneigement partiel et fonte abondante.

A haute altitude (3 000 m et plus) pouvaient se produire des accumulations relativement importantes de neige et glace.

La différence morphologique dans les paysages entre ceux de moyenne et de haute altitude se marque par :

- l'abondance des accumulations calcaires dans le premier cas (moyenne altitude),
- l'absence de celles-ci dans le second (haute altitude). Dans le massif montagneux de Bamyan les travertins de la première série de barrages sont surtout antérieurs à 40.000 ans BP.

Ce type de climat paraît avoir favorisé la constitution d'étendues lacustres importantes sur l'ensemble du territoire. C'est dans ces lacs que venaient se sédimenter calcaires et dolomies (Grand (s) lac du Régestan-Séistan-Margo avec glacis-terrasse ancien (T1) de 27.400 ans BP) (1).

(1) Ce glacis-terrasse a dû commencer à se façonner beaucoup plus anciennement et sans doute en plusieurs épisodes, dont la datation de 27.400 ans BP serait celle du dernier. Nous avons vu que la datation de l'encroûtement conglomératique de la haute terrasse de l'Helmand Rod a révélé un âge supérieur à 40.000 ans BP. Les épisodes de façonnement les plus anciens remontent peut-être à l'interglaciaire Riss-Wurm (120.000 - 133.000 ans BP. Datations des travertins de vallée les plus anciens). Nous verrons plus avant que dans la dépression du Lout en Iran, CONRAD (G et J - 1970) distinguent deux niveaux de glacis encore plus anciens que T 1.

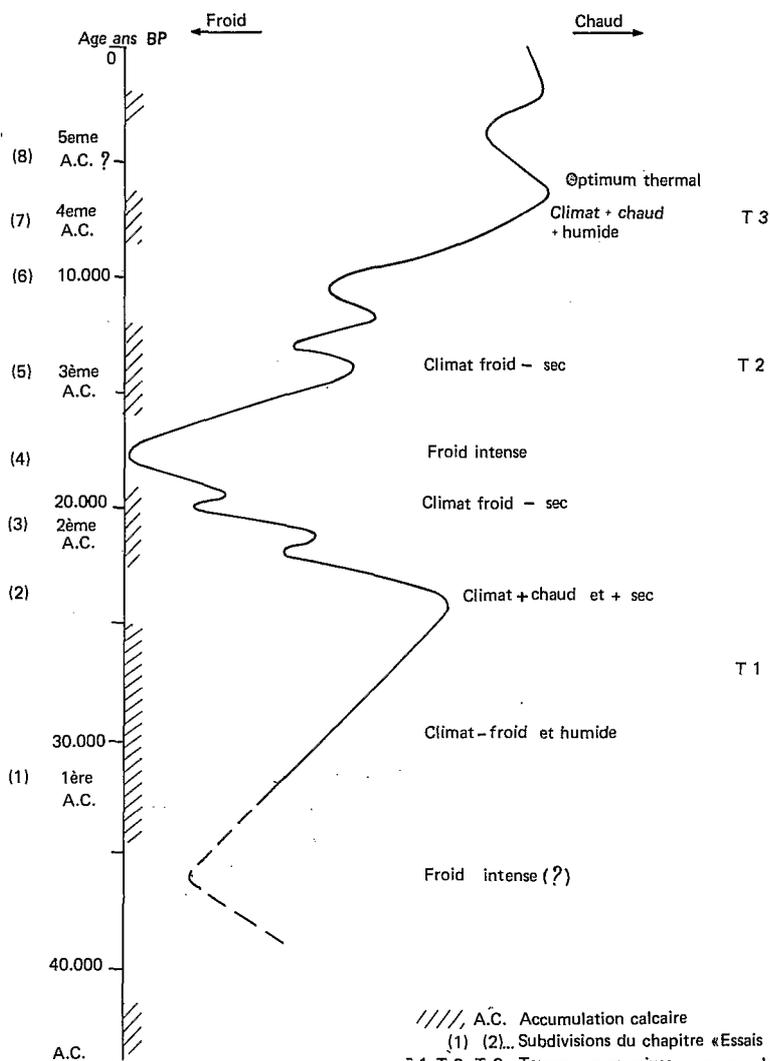


Figure 56 - Courbe des variations climatiques en Afghanistan en liaison avec les pédogenèses calcaires et les extensions lacustres.

//////, A.C. Accumulation calcaire  
 (1) (2)... Subdivisions du chapitre «Essais d'interprétations des variations climatiques»  
 - 1, T 2, T 3. Terrasses successives correspondant à des phases d'équilibre de niveaux lacustres (Afghanistan méridional: Tarnak Rod)  
 .Les périodes d'extension lacustre correspondent sensiblement à celles des dépôts calcaires

- 2) - L'époque intermédiaire, entre la première et seconde période d'accumulation calcaire, est marquée par un maximum climatique chaud se traduisant par une baisse importante du niveau des lacs (climat sans doute plus sec avec apparition de formations gypseuses en bancs dans la cuvette du Régestan-Séistan-Margo. Ces apports pluviométriques moindres sont compensés partiellement par la fonte des neiges et des glaces de hautes altitudes qui provoque ici la formation de travertin (partie supérieure de la première série de barrages de la montagne de Bamyan).
  - La seconde période d'accumulation calcaire (23.000 à 19.000 ans BP) paraît s'être effectuée en plusieurs épisodes au cours desquels ont succédé refroidissement puis réchauffement modéré, la tendance générale se caractérisant par un froid de plus en plus intense, très marqué en altitude (cessation de la formation de travertin dans le massif de Bamyan). Les accumulations calcaires paraissent, dans cette période, affecter plus spécialement des sédiments exondés et sont alors le résultat de pédogenèse par lessivage sur pente due aux ruissellements des eaux de fonte de moyenne altitude. Les milieux lacustres ont dû avoir, à cette époque, des extensions plus modestes. Aucune terrasse de fleuve n'apparaît contemporaine de cette période.
- 4) - Entre la deuxième et troisième période d'accumulation calcaire se situe la phase maximale de refroidissement enregistrée au cours du dernier glaciaire. C'est aussi une des plus longues pendant laquelle il semble y avoir eu blocage pour les moyenne et haute altitudes de toute pédogenèse calcaire.

- 5) - *La troisième période d'accumulation calcaire* ( 16.000 à 12.500 ans BP) est marquée par un réchauffement rapide et sensible des conditions climatiques qui amène une fusion des neiges et des glaces accumulées précédemment. Les accumulations calcaires déposées pendant cette période sont moins importantes que celles de la première période. Cette période peut se décomposer semble-t-il en deux phases :
- la première très marquée. Encroûtement généralisé (16.000 à 14.500 ans BP),
  - la seconde moins accusée (12.000 ans BP) à amas calcaires et début d'encroûtement.
- Ceci pourrait expliquer la superposition de deux horizons B Ca observés dans certains profils. C'est au cours de la première phase que le (ou les) lac du Régestan-Séistan-Margo atteint de nouveau une cote importante, non comparable cependant avec celle de la première période). En même temps s'édifie la terrasse moyenne T 2 du Tarnak Rod (15.970 ans BP).
- 6) - Entre la troisième et quatrième période d'accumulation calcaire, le réchauffement semble généralisé et plus marqué.
- 7) - *La quatrième période d'accumulation calcaire*, relativement brève (9 000 à 6 500 ans BP), paraît à mettre au compte d'une phase plus froide, marquée par un accroissement vraisemblable de la pluviométrie qui amène un lessivage des loess de moyenne à haute altitude. Ici encore l'accumulation calcaire enregistrée doit se situer dans une phase de réchauffement généralisé (7 500 - 6 500 ans BP) alors que l'extension des lacs du Séistan peut porter sur toute la période (9 000 à 6 500 ans BP). C'est l'époque de formation de la troisième terrasse T 3.
- 8) - De cette quatrième période d'accumulation calcaire à nos jours nous avons pu peut-être déceler une période plus froide, plus pluvieuse vers 2 800 ans BP marquée par un sol à différenciation calcaire peu accusé, et sans doute une autre (1 875 ans BP) caractérisée par un niveau de tourbe à altitude relativement basse (1 850 m).

En résumé, nous aurions eu successivement pour la période intéressant les quarante derniers millénaires :

- une période froide et humide (35.000 à 26.000 ans BP) se caractérisant par un réchauffement généralisé et progressif qui atteint son maximum vers 25.000 - 26.000 ans BP, au cours de laquelle les extensions lacustres ou marécageuses ont été considérables notamment dans le S de l'Afghanistan (Terrasse haute du Tarnak Rod T 1),
- une deuxième période, plus courte (23.000 à 19.000 ans BP), plus froide et plus sèche, en plusieurs phases, marquée par des extensions lacustres non identifiées,
- une période très froide et sèche (19.000 à 16.000 ans BP), généralisée, à moyenne et haute altitude, avec un niveau minimal des lacs,
- une période de réchauffement généralisé avec déglaciation accusée et rapide en deux épisodes (16.000 à 14.000 et 12.000 ans BP). Elle est marquée par des extensions lacustres ou marécageuses importantes (Terrasse moyenne du Tarnak Rod T 2),
- une période plus froide et pluvieuse peu accusée (9 000 à 6 500 ans) Terrasse inférieure T 3,
- deux épisodes moins accusés de refroidissement (2 800 et 1 875 ans BP).

Il est intéressant de noter :

- que les périodes d'accumulations calcaires sont principalement observées lors des phases de réchauffement,
- que c'est au cours des périodes de réchauffement généralisé que se sont constituées les deux principales terrasses des cours d'eau (T1 et T2 du Tarnak Rod), consolidées par des imprégnations calcaires se développant dans des conglomérats. Ces imprégnations ont ainsi fossilisé le relief. A ces périodes ont correspondu des étendues lacustres en état d'équilibre, c'est à dire que les quantités évaporées égalaient sensiblement celles apportées par la fonte des neiges et des glaces du bassin (les plus importantes) et par la pluviométrie qui devait être relativement modeste, comparée à celle des périodes plus froides.

## 2 - DONNEES ANTERIEURES A 40 000 ANS BP

Elles sont très fragmentaires. Nous savons par exemple que les parties principale et inférieure de la première série de barrages de travertin de la vallée d'Awpar se sont édifiées antérieurement à 40.000 ans BP (1).

Des datations isotopiques par la méthode Th 230 / U 234 (NGUYEN HUU VAN *et al* 1973) effectuées sur des travertins de la région de Bamyan et de Band I Amir ont révélé des âges également anciens.

- barrage inférieur du «Dragon» (près de Bamyan) :  $44.700 \pm 6\ 000$  et  $47.400 \pm 5\ 000$  ans BP,
- sources de Paimouri (près de Bamyan) :  $80.000 \pm 5\ 000$  ans BP,
- barrage de Band I Amir :  $133.000 \pm 15.000$  ans BP.

La datation de la grande période volcanique du Dasht I Nawar (BORDET 1972) nous amène aux confins du Quaternaire puisque celle-ci aurait débutée vers  $2,7-2,8 \pm 0,3$  MA. Des sondages, effectués dans la région de Moqur (2) près du lieu d'émission, et ayant pour objet la recherche de nappes profondes afin d'irriguer les terres fertiles de cette région, ont révélé la complexité stratigraphique. Nous donnerons à titre d'exemple la coupe de deux de ces sondages (Informations du Service hydrogéologique d'Afghanistan). Sondage 3/67. Altitude 2 035 m. N-E de Moqur. Profondeur atteinte 237 m :

- 0 à 22m : principalement sables et limons calcaires de couleur chamois, compact, incluant cailloux et granules et alternant avec des bancs de graviers et de sables,
- 22 à 24m : graviers et sables grossiers dans une fine matrice,
- 26 à 28m : graviers et sables subanguleux,
- 28 à 64m : identique à 0 - 22 m,
- 64 à 80m : sables moyens à granules, cimentés entre 64 et 65m, sables, limons et graviers,

A partir de 80 m tuffites (3) pléistocènes et marnes, sables limoneux, tufs, calcaires. Par places, lits épais de roches volcaniques acides ou intermédiaires. Séries de tuffites et de tuffites remaniées indifférenciées. Sables et graviers en bancs avec cailloux particulièrement entre 84 et 88 m, 97,5 et 99 m, 107 et 114 m (avec limons), 122 et 125 m (non calcaire).

Tuf acide gris, granulaire, non calcaire, peu cimenté à non cimenté contenant des lapilli et des cailloux de roches volcaniques et calcaires (154-168m), grossiers vers 150 m, fins et plus uniformes en-dessous de 168 m.

Tuffites marneuses, sableuses, gris chamois (175-206 m) avec inclusions de granules et de cristaux de quartz caractéristiques des tufs.

Marne blanche à gris clair avec des granules calcaires anguleuses et cristaux de quartz.

Marne jaune, collante et sableuse en-dessous de 213 m.

Sondage 11/68 N de Moqur :

- limon-sableux calcaire, compact, couleur chamois,
- graviers anguleux supérieurs à 1 cm entre 11 et 12 m,
- sable-limoneux avec inclusions de granules calcaires, compact, quelques cailloux,
- graviers anguleux supérieurs à 5 mm entre 17 et 19 m,
- limon-sableux calcaire à inclusions de granules,
- graviers fins, anguleux à subanguleux, quelques granules et sables. 27 à 29,5 m,

(1) 120.000 ans BP pour la base du barrage 4 (LANG 1975),

(2) Moqur est situé à une cinquantaine de km au S des premiers appareils volcaniques,

(3) Tuffite : Roche formée par un mélange d'éléments pyroclastiques et détritiques et de matériel épiciastique de taille variable (2 à 30 mm).

- limon-sableux chamois, compact, calcaire. Granules et quelques cailloux,
- graviers (35-40 m), finement arrondis à anguleux avec limon chamois et sable fin cimenté,
- sable limoneux, chamois, compact, calcaire,

Vers 50 m tuffites pléistocènes et marnes :

- cailloux volcaniques grossiers de 50 à 55 mm et lapilli,
- sable et graviers, cailloux d'origine volcanique et des massifs voisins,
- limon calcaire chamois avec lapilli (67-69 m),
- marne sableuse, brun-chamois, stratifiée (69-78 m),
- sable d'origine volcanique, particulièrement fin entre 73 et 75 m,
- marne de couleur olive, friable, savonneuse avec de petits cailloux volcaniques, blancs, subanguleux. Passages fins de sables et de limons.

Ces deux sondages mettent en évidence deux séquences très différentes :

- une première représentée par une alternance de sable-limoneux, limon-sableux plus ou moins cimentés par le calcaire ou à nodules calcaires séparés par des bancs de graviers et sables différemment grossiers,
- des séries de tuffites d'origine volcanique et des marnes. Ces tuffites proviennent vraisemblablement de l'émission volcanique du Dasht E Nawar datée par P. BORDET du début du Quaternaire.

Dans un autre sondage (4/66) de cette même région, dans la première séquence alors d'une centaine de mètres d'épaisseur, s'observent 4 niveaux de conglomérats différemment encroûtés (22-25m, 62-67m, 72-75m, 84-86m), ainsi que des niveaux très grossiers éventuellement cimentés (17,5-20m, 38,5-40,5m) entre lesquels s'intercalent des limons-sableux calcaires.

On peut donc estimer l'épaisseur du Quaternaire sur le plateau de Moqur de 50 à 100 m suivant les endroits et même 130 m dans un autre sondage. Toujours sous celui-ci se retrouvent tuffites et marnes (1).

Sur ce plateau de Moqur et dans un voisinage proche de ces sondages, les deux datations de pédo-génèses que nous possédons ont donné les âges suivants :

- plateau récent en cours de très forte érosion duquel ne subsistent que quelques bûttes témoins dont une avec un sol enterré ( $2\,790 \pm 100$  ans BP),
- plateau érodé, sur pente en direction de Qalat, encroûtement calcaire à très abondantes hornblendes volcaniques ( $18\,900 \pm 420$  ans BP).

Il est bien évident que par ces deux datations nous n'abordons que la partie très superficielle des coupes des différents sondages cités.

### 3 - VARIATIONS DES NIVEAUX MARINS ET LACUSTRES CONTINENTAUX AU COURS DE LA DERNIERE PULSATION GLACIAIRE

Les figures 57-58 que nous reproduisons montrent les variations des niveaux marins au cours de la dernière pulsation glaciaire Wurm :

- la figure 57 donne les courbes de variations du niveau de l'Océan Atlantique d'après CURRAY (Texas), ELOUARD et FAURE (Sénégal), MARTIN et DELIBRIAS (Côte d'Ivoire 1972),

(1) Cette épaisseur du Quaternaire sur le plateau de Moqur permet de mieux comprendre les grandes accumulations de sédiments que nous retrouvons dans des fosses d'origine tectonique où sont venus se sédimenter, sur de grandes épaisseurs des limons argileux salins ou calcaires interstratifiés de sables (Unités A-B-C de la cuvette Régistan-Séistan-Margo), ou bien des grès à intercalations argileuses ou conglomératiques (Cuvette de Lagman-Jalalabad). Dans cette dernière, l'épaisseur des sédiments est estimée à 500-600 m par RAUFI et SICKENBERG (1973). Ces auteurs distinguent deux séries :

- une première d'âge soit Pliocène inférieur, soit Pliocène inférieur - Pliocène supérieur - Pléistocène (couches de Shahidan),
- une deuxième série (couches de Mehterlam). Pléistocène.

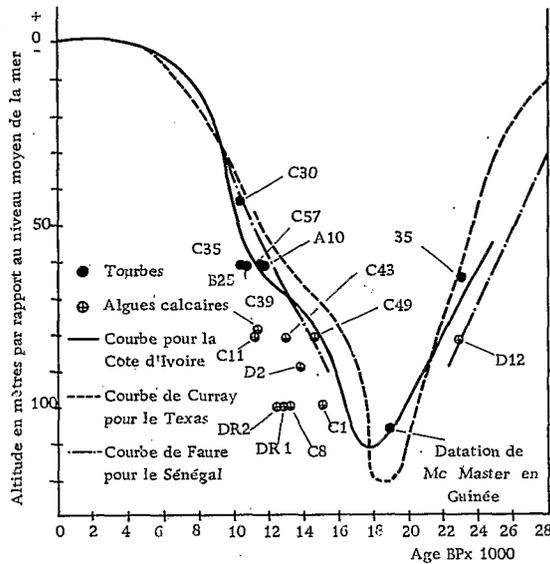


Figure 57 - Courbe de variation du niveau de la mer en Côte-d'Ivoire. Comparaison avec celle de Faure et Elouard et celle de Curray d'après MARTIN et DELIBRIAS 1972

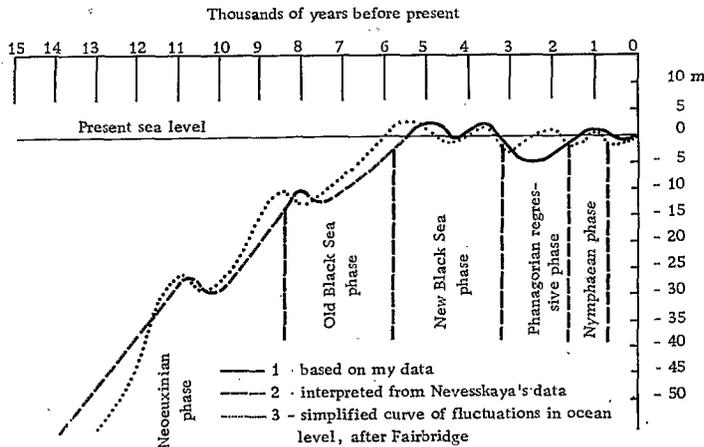


Figure 58 - Courbes montrant les fluctuations du niveau de la Mer Noire lors de la transgression post-glaciaire d'après FEDOROV 1971

— la seconde figure indique les variations du niveau de la Mer Noire (FEDOROV 1971) comparées à celles simplifiées de l'océan (FAIRBRIDGE) lors de la remontée de celui-ci.

Dans la seconde figure on observe un bon synchronisme entre les deux courbes. On constate que la remontée s'est effectuée en 3 périodes principales, marquées par de hauts niveaux marins (11.000, 9.000 à 8.000, 5.500 à 5.000 ans BP) alors que le niveau le plus bas avait été atteint (-110, -130m) vers 18.000 à 20.000 ans BP.

A partir de 5.500 - 5.000 ans, représentant la transgression la plus forte (2 à 2,5 m au-dessus du niveau actuel) et correspondant à l'optimum thermique de l'Holocène, on observe des oscillations plus ou moins importantes autour du 0 actuel. Dans la période comprise entre 3 500 et 1 000 ans, FEDOROV donne une seule régression marine (vers 2 500 ans), FAIRBRIDGE deux (3 200 et 1 800 ans). Le petit âge glaciaire aurait amené pour ces deux auteurs une baisse peu importante du niveau marin.

Nous retrouvons assez bien ici, dans les bas niveaux marins, les avancées glaciaires signalées précédemment. Dans le tableau ci-après nous avons également porté les périodes de pédogenèses au cours des dix derniers millénaires.

| Avancées glaciaires             | Bas niveaux marins | Pédogenèses en Afghanistan |
|---------------------------------|--------------------|----------------------------|
| 10.300                          | 10.500             | 7.340 à 6.490              |
| 7.800                           | 8.000              |                            |
| 5.800 à 4.900                   | 4.500              |                            |
| 3.300 à 2.400                   | 2.500 (FED.)       | 2.790                      |
|                                 | 3.200              |                            |
|                                 | et (FAIRB.)        |                            |
|                                 | 1.800              | 1.875                      |
| 900 à 700                       |                    |                            |
| 450 à 100 (petit âge glaciaire) |                    |                            |

Les avancées glaciaires de 5 800 à 4 900 et les deux dernières ne paraissent pas avoir laissé de traces dans la pédogenèse des sols d'Afghanistan dans l'état actuel de nos connaissances.

### Les niveaux des lacs en Afghanistan

S'il existe un certain parallélisme entre l'évolution des niveaux lacustres et celui des océans, celui-ci paraît limité.

Nous prendrons ici comme exemple le (ou les) lac de la dépression Régestan-Séistan-Margo, la plus vaste, la mieux connue.

Il semble bien que nous ayons eu dans cette cuvette au cours des quarante derniers millénaires, plusieurs grandes étendues lacustres ou marécageuses occupant des dépressions de piedmont (type Kandahar) et les points bas de la cuvette (Séistan). Par contre des sédiments lacustres plus anciens, sans doute Pléistocène ancien et moyen, se retrouvent sous forme de buttes témoins sur la périphérie de la dépression. Ils évoquent des extensions lacustres encore plus importantes, avec un lac unique, au cours de ces périodes qui auraient été encore plus humides.

La cote du ou des lacs de la partie basse de la cuvette du Séistan est difficile à préciser du fait de la subsidence de celle-ci, subsidence liée, comme nous l'avons déjà dit aux rejeux de failles et à la solubilisation des sels des sédiments amenant l'effondrement ou la surélévation de grands compartiments.

Dans cette dépression, on distingue :

- une période de plus forte extension qui semble culminer vers 30.000 à 27.000 ans BP. Les accumulations de carbonates (dolomie et calcite) observées correspondent à des dépôts effectués lors du réchauffement progressif du climat amenant la fonte des neiges et des glaces mises en place précédemment sur les massifs du bassin versant. Il convient de noter que les dolomies sont seulement observées dans la région de Kandahar alors qu'ailleurs, sur la périphérie de la dépression et dans les buttes témoins de l'intérieur de celle-ci, l'accumulation de moindre importance est à dominance calcitique.

La terrasse conglomératique datée du Tarnak Rod (120 à 150 m au-dessus du lit actuel du fleuve à Qalat) indique un âge de  $27.400 \pm 880$  ans BP et doit-être considérée comme représentative du profil d'équilibre de ce fleuve dans un très grand lac de piedmont qui pouvait atteindre la cote 1 000 - 1 200 m tandis que celle de l'étendue lacustre du Séistan se situait peut-être vers 550 m,

- une baisse rapide du niveau lacustre entre cette dernière date et  $23.820 \pm 610$  ans BP (intercalations gypseuses dans les sédiments, retrouvées en différents endroits sur le pourtour de la dépression,
- une succession de deux petites transgressions lacustres succédant à des refroidissements et réchauffements du climat marqués par des alternances pluvieuses et sèches entre 23.000 et 19.000 ans BP,
- un épisode de bas niveau lacustre au cours de la période la plus froide et la plus sèche entre 19.000 et 16.000 ans BP,
- une remontée rapide et accusée lors de la déglaciation avec un niveau d'équilibre lacustre qui paraît indiqué par la terrasse moyenne du Tarnak Rod T 2 ( $15.970 \pm 240$  ans (Une trentaine de mètres au-dessus du lit

actuel à Qalat). Il est difficile de préciser la cote de l'étendue lacustre toujours de piedmont à cette époque. Celle du Séistan pouvait encore atteindre 550 m,

— de cette dernière date à nos jours on assiste à un recul des étendues lacustres avec de vraisemblables petites avancées qui auraient coïncidé aux épisodes de pédogenèses résultant soit de petites périodes de réchauffement (après une phase plus humide) se traduisant par une fonte des neiges et glaces sur les hauts sommets du bassin versant ( $12.570 \pm 190$  ans BP), soit de périodes pluvieuses sur l'ensemble de la dépression et du bassin ( $9\ 030 \pm 125$  à  $6\ 490 \pm 120$ ,  $2\ 790 \pm 100$ ,  $1\ 875 \pm 90$  ans BP).

La période de  $9\ 030$  à  $6\ 490$  ans BP paraît la plus accusée et correspond sans doute à la troisième terrasse (T 3) du Tarnak Rod (une dizaine de mètres au-dessus de l'actuel lit du fleuve à Qalat). L'étendue lacustre du Séistan atteignait sans doute à cette époque la cote 520-500 m. Entre ces dernières périodes de transgressions lacustres, des phases très sèches ont pu exister qui ont pu amener l'assèchement partiel ou complet du lac. Les lacs actuels se tiennent entre les cotes 450 et 480 m. Ils paraissent subir des variations d'étendue importantes, en fonction des aléas climatiques actuels.

Les formations deltaïques sableuses qui s'observent sur la bordure de la vaste cuvette du Régestan-Séistan-Margo paraissent s'être mises en place, tout au moins pour celle du S de Kandahar au cours de l'extension lacustre qui se serait produite vers 15.000 à 16.000 ans. Celle-ci, causée par la fonte des neiges et des glaces accumulées sur l'ensemble des massifs, aurait été précédée par une reprise de l'érosion et par l'entaillement des formations sableuses sous-jacentes à la haute terrasse. Les sables qui composent ce delta sont relativement peu évolués (Cf. Sédimentologie de la partie méridionale de l'Afghanistan). Ce n'est que dans un passé récent qu'ils paraissent avoir subi d'importants remaniements éoliens se traduisant par l'apparition de barkhanes.

Les importantes variations du niveau du (ou des) lac, de même que les grandes différences d'altitude entre les terrasses supérieure et moyenne du Tarnak Rod peuvent faire penser à des mouvements non négligeables de subsidence du fond de cuvettes comme celle de Kandahar, ceci en liaison avec le rejeu de failles et peut-être un volcanisme récent sur le Dasht E Nawar (1).

Les étendues lacustres qui ont existé dans la région du Logar, sur la piste du Centre, dans le cours inférieur du Kabul près de Jalalabad paraissent avoir eu une existence limitée à la première période d'accumulation calcaire, c'est à dire entre 35.000 et 25.000 ans BP. Il semble qu'ensuite la rupture de seuils dans les vallées se soit traduite par une amélioration généralisée du drainage. Il s'agirait soit de remodellement du relief à la faveur de mouvements tectoniques locaux, soit de la subsidence de certaines cuvettes comme celle de Kabul. Dans cette dernière, la subsidence aurait amené une modification du cours du fleuve qui emprunta les gorges du Tangi Gharu alors qu'il s'écoulait primitivement vers le N (MENNESSIER 1 963). Cette subsidence paraît également responsable des phénomènes d'érosion très intenses qui affectent les piedmonts des massifs où subsistent de nombreuses buttes témoins d'encroûtements calcaires (PIAS 1 971).

#### 4 - PERIODES DE DEPOTS ET DE PEDOGENESES DES LOESS

Les différentes datations et leurs subdivisions en quatre périodes (Cf. Migration du calcaire. Classement des différentes datations) permet d'aborder indirectement l'âge et la période de dépôt des loess. — les plus anciens dont nous pouvons traiter ici se seraient mis en place antérieurement à 35.000 ans BP ou entre 30.000 et 35.000 ans BP. Ce sont eux qui se seraient sédimentés dans différents bassins lacustres (S. Logar. Cuvette du Régestan-Séistan-Margo) soit directement, soit apportés par les cours d'eau. Ils sont plus ou moins fortement carbonatés suivant les lieux (dolomie ou calcite).

(1) Ces phénomènes de néotectonique ont pu être très importants entre la phase d'équilibre représentée par la terrasse T 1 (27.000 ans BP) et la seconde (Terrasse T 2. 15.000 ans BP). Ceci serait aussi valable pour les autres régions.

– une seconde génération de loess a subi elle aussi un encroûtement important. Nous l'avons retrouvée en différents points du territoire (Nuristan, Vallée du Logar et dépression de Kabul, Plateau de Moqur). Elle aurait pu se mettre en place lors du réchauffement de 25.000 ans BP ou lors d'alternances climatiques entre cette dernière date et 19.000 ans BP. Il y a eu certainement, pendant cette période, plusieurs phases de dépôt. C'est dans cette fourchette que se situerait peut-être l'une des émissions les plus récentes (sinon la dernière) des volcans du Dacht E Nawar puisque dans cette génération de loess s'observent, plus ou moins abondamment, des hornblendes volcaniques et des verres que l'on retrouve jusqu'à Kabul et Sarobi vers le N-E mais qui sont très abondants autour du lieu d'émission,

– une troisième génération de loess a subi également une pédogenèse calcaire (encroûtement) au cours de la déglaciation vers 15.000 ans BP. Elle aurait donc pu se déposer pendant celle-ci ou bien au maximum de la dernière pulsation glaciaire. Elle a surtout été vue dans la région de Bamyan et entre Bamyan et Band I Amir.

– une quatrième génération a subi une pédogenèse calcaire plus faible, se marquant cependant par des encroûtements, vers 7 500 - 6 500 ans BP. Elle a été observée dans le Turkestan Afghan, dans le Paktia et sur la piste du Centre. Elle se serait mise en place sans doute vers 12.000 - 10.000 ans BP.

Des générations plus récentes de loess sont vraisemblables mais plus difficilement identifiables car moins marquées par les pédogenèses. Ce sont celles que l'on voit sur certaines buttes témoins du plateau de Moqur (Sol enterré 2 790 ans BP et partie supérieure de celui-ci). On pourrait donc ici encore avoir deux générations supplémentaires.

### Origine des loess

Leur origine éolienne initiale paraît indéniable ainsi que le confirme par exemple la présence de hornblende et de verres volcaniques dans certains loess de la deuxième génération, ceci en des lieux très éloignés du centre d'émission.

Leur mise en place en des endroits topographiquement très divers (versant ou sommet de massif, marécage, lac, terrasse de fleuve.....) peut être liée soit à la période initiale de dépôt, soit aux remaniements successifs qu'ils ont pu subir (vannage sous de nouvelles actions éoliennes, érosion pluviale.....).

La diversité des minéraux lourds qu'ils contiennent sur des surfaces relativement restreintes, montre l'hétérogénéité des apports. Les faibles teneurs pondérales, inférieures ou très inférieures à 1%, paraissent correspondre à un matériel initial ayant subi peu de remaniement. A l'inverse, les fortes teneurs (3-4.....10%) semblent indiquer un matériau repris par divers facteurs. La grande variabilité des teneurs pondérales peut s'expliquer par des vannages successifs de ces loess faisant suite à leur dépôt. Ces vannages, sous l'action de forts vents, auraient permis l'enrichissement en minéraux lourds du matériau soumis à leur action. Cette variabilité peut aussi s'expliquer par des régimes de vents d'intensité différente au cours du dépôt initial amenant le transport de particules différemment lourdes ou encore par des phénomènes de piègeage (marécages, lacs .....) amenant la concentration en minéraux lourds lors du dépôt alors que les particules les plus fines de ces loess, dérivées par de faibles courants, allaient s'accumuler en d'autres lieux.

La composition de la fraction minéraux lourds est très variable d'un point à un autre, encore qu'il existe une immuable dominante représentée par un fond d'épidote ou de hornblende alternativement abondante. On voit cependant dominer parfois le zircon (Bamyan - Band I Amir, Paktia au col de Sato), le grenat (Azrao, montagne de Kamdech, Bamyan - Band I Amir). Ces dominances passagères ou l'apparition d'un minéral plus ou moins abondant peuvent s'expliquer par un environnement de roches voisines, riches en ces minéraux (micaschistes à grenat de la montagne de Kamdech, gneiss et micaschistes à sillimanite de la région de Jalalabad.....) et toujours des phénomènes locaux de remaniement.

La connaissance de la composition de la fraction minéraux lourds apparaît très importante pour avoir une approche de l'origine des loess. Nous avons déjà signalé l'apparition de hornblende et verres volcaniques dans certains de ceux-ci et l'intérêt qu'elle présente comme révélatrice d'un volcanisme plus ou moins lointain. Ainsi nous avons trouvé dans d'autres sédiments plus récents, prélevés entre Délaram et Hérat, l'apparition d'augite très abondante qui tendrait à prouver une période d'émission encore plus récente et vraisemblablement un autre lieu que le Dacht E Nawar mais non localisé.

Le fait de ne pas avoir retrouvé en toutes régions chacune des formations de loess n'implique pas qu'elle n'a pas existé. Nous pensons que le phénomène d'épandage a été général mais que des colluvionnements plus ou moins importants se sont produits postérieurement, entraînant les loess vers les vallées ou les dépressions, si bien qu'il est souvent resté peu de produits originels susceptibles de subir la phase de pédogenèse suivante. Les loess de la quatrième génération, particulièrement abondants dans le Turkestan et de l'autre côté de l'Amu Daria en URSS, ont subi relativement moins de remaniement dans un environnement dénué souvent de tout accident topographique important. Dans la vallée du Logar très encaissée, ils ont été au contraire rapidement colluvionnés vers les dépressions et ce sont eux qui constituent l'essentiel des plaines fertiles. Il en est de même dans le Paktia pour ce qui est de la dépression Bakh-Khost.

Le couvert végétal a pu contribuer au maintien de ces loess en certaines régions où la pédogenèse a pu alors se développer sur les sommets les mieux arrosés :

- genévriers du col de Sabzak entre Hérat et Quala I Naw. Conifères du col de Sato entre Gerdiz et Khost... Sols à différenciation calcaire et encroûtement, superficiellement décarbonatés,
- conifères de la montagne de Kamdech dans le Nuristan. Sols bruns lessivés entièrement décarbonatés en contrebas desquels pousse la forêt de *Quercus baloot* qui se développe sur des encroûtements résultant de la migration du calcaire des sols précédents (20.490 ± 400 ans BP).

De ces différentes observations, il semble apparaître que le dépôt des formations loessiques a pu s'effectuer aussi bien en période de réchauffement qu'au cours de refroidissements plus ou moins importants ce qui paraît indiquer dans les deux cas des déflations importantes se produisant sur des surfaces nues ou à végétation herbacée très claire. Les saisons devaient être alternativement très contrastées (hiver froid plus ou moins humide, été sec et chaud).

La présence de petits gastéropodes dans certaines formations, notamment celles observées au S de Quala I Naw (Siérozem sous végétation actuelle de steppe) peut évoquer le dépôt de ces loess au cours de périodes marécageuses peut être temporaires (phase de déglaciation ou de fonte des neiges accumulées précédemment).

Toutes ces données montrent la complexité de l'interprétation des différentes datations. Complexité encore plus grande si l'on fait intervenir la possibilité de pédogenèses éventuellement cumulatives, un loess de première, seconde..... génération pouvant avoir subi plusieurs migrations calcaires successives.

## 5 - COMPARAISON AVEC DES DONNEES PALEOCLIMATIQUES, STRATIGRAPHIQUES, PEDOLOGIQUES D'AUTRES PAYS

Nous examinerons en suivant différentes reconstitutions paléoclimatiques effectuées en divers pays limitrophes de l'Afghanistan où des observations ont été faites (Iran, Inde, Turkmenistan et Ouzbékistan d'URSS), ou en des pays plus éloignés : URSS (Mer Caspienne, mer d'Azov, Europe Centrale).

Nous comparerons également nos résultats d'Afghanistan avec ceux obtenus dans l'O du Texas (USA) malgré l'éloignement de ces deux régions mais où les variations climatiques paraissent avoir été très analogues.

### 5.1 Inde

Des travaux récents effectués dans ce pays (partie N-E aux confins du Pakistan) précisent les connaissances paléoclimatiques du Quaternaire récent. Cette partie de l'Inde est soumise à des pluviométries actuelles de 500 à 100 mm. Elle se situe aux confins du désert indien bordé par la rive gauche de l'Hindus.

Les variations climatiques récentes peuvent se résumer ainsi d'après GOUDIE, ALLCHIN et HEG-DE (1 973) :

|                                                   |                  |                                                                                                              |
|---------------------------------------------------|------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| – Phase pluviale<br>«Harappan»                    | 3 000 - 1 800 BC |                                                                                                              |
| – Phase aride<br>«Pré-Harappan»                   | 7 500 - 3 000 BC |                                                                                                              |
| – Phase humide                                    | 8 000 - 7 500 BC | Sédiments lacustres non salés. Début d'altération de matériau dunaire. Colonisation microlithique extensive. |
| – Phase aride majeure avant<br>Paléolithique sup. | 8 000 BC         | Dunes recouvrant les bassins lacustres. Activité humaine sur les bordures.                                   |
| – Phase pluviale majeure<br>«Middle stone age»    |                  | Phase majeure d'altération. Transport de matériau grossier par les rivières. Activité humaine importante.    |
| – Phase aride majeure<br>«Pre Middle stone age»   |                  | Formation majeure des dunes. Pas d'activité humaine.                                                         |

SINGH, JOSHI et SINGH (1 972) dans l'étude de sédiments de lacs salés datés par le C 14 de la même région pensent, en corrélant les résultats précédents avec ceux de ZEIST - WRIGHT (1 963) et ZEIST (1 967) en Iran, que la phase majeure avant 8 000 ans BC aurait pour équivalent la dernière pulsation froide glaciaire (20.000 à 15.000 ans BP). La phase aride en Inde aurait pris fin vers 10.000 ans BP. Les apports d'eau douce dans les lacs se seraient poursuivis jusque vers 7 000 ans BP. L'assèchement marqué des lacs se serait produit entre 2 000 et 1 000 ans BC (3 950 - 2 950 ans BP). Cette dernière période est montrée par la disparition progressive des pollens de certaines espèces végétales (*Typha*) en liaison avec un accroissement de la salinité.

Les sédiments argileux lacustres reposent, dans les trois sites observés, sur des formations sableuses dunaires.

## 5.2 Iran

ZEIST (1 967) a reconstitué l'histoire climatique des trente derniers millénaires (1) de la partie frontalière de ce pays avec l'Iraq à partir de résultats polliniques effectués sur des prélèvements lacustres (2). Cet auteur distingue plusieurs périodes successives :

- une première période correspondant au maximum glaciaire (22.500 - 14.000 ans BP). Au cours de celle-ci se sont déposées dans les lacs :
  - des marnes (22.500 ans BP),
  - des argiles brun clair, gris brun, bleuté mêlées de vases plus ou moins organiques (gyttja) et de coquilles.

La région était occupée par une steppe à *Artemisia* (3). De nombreux pollens de Chénopodiacées ont été trouvés et sont interprétés comme correspondant à un accroissement de la sécheresse,

- une deuxième période (14.000 à 10.000 ans BP) avec dépôts des mêmes argiles que précédemment mais avec un changement dans la composition pollinique qui marque un passage progressif vers une savane par suite de l'amélioration des conditions climatiques (réchauffement généralisé),

(1) Pour des périodes plus anciennes remontant à la fin du Pliocène et au début du Pléistocène, BOBECK (1 963) pense que le climat dans l'E de l'Iran aurait été relativement sec et comparable à celui de la période actuelle. Toujours d'après cet auteur les derniers pluviaux du Pléistocène, en cette même région, auraient été beaucoup moins intenses que dans les autres parties du monde.

(2) Les deux lacs étudiés sont situés actuellement dans le domaine de la forêt de chênes à des altitudes de 800 et 1 300 m sous des pluviométries de 600 à 800 m,

(3) Cette steppe à *Artemisia* n'est plus observée aujourd'hui que sur les hauts plateaux (Steppe Afghano-Anatolienne).

- une troisième période (10.000 à 6.000 ans BP) toujours avec les mêmes dépôts et une composition pollinique qui indique alors une savane à *Pistacia* et *Quercus*,
- une quatrième période (après 6 000 ans BP) où la savane se transforme progressivement en une forêt de chênes. Au cours de celle-ci se déposent des marnes interstratifiées de vases organiques,
- après 5 500 ans BP les sédiments deviennent très pauvres en pollens. Un diagramme indique de cette façon deux oscillations climatiques. Au cours de cette période le niveau des lacs devait être sujet à des fluctuations importantes pouvant amener un assèchement par intermittence causé par des étés très secs. Ces dernières fluctuations climatiques n'ont affecté la forêt de chênes que dans les parties les plus sèches de son aire de distribution.

CONRAD (G. et J) 1 970 dans leur étude géologique sur l'évolution quaternaire de la dépression du Lout, voisine de celle de Régestan-Séistan-Margo dont elle est séparée par un ensemble montagneux, indiquent que ce dernier paraît dominé surtout par les phénomènes d'érosion. Ils distinguent trois niveaux de glacis terrasse qui peuvent être rapprochés des trois terrasses principales du Tarnak Rod et autres fleuves d'Afghanistan mais également deux plus anciens, conservés sous forme de témoins.

Au cours du Quaternaire le volcanisme aurait été particulièrement important avec trois coulées successives :

- la première recouvre la haute terrasse conglomératique,
- la deuxième repose sur la terrasse conglomératique moyenne,
- la troisième se développe sur les glacis récents.

Le volcanisme se serait donc manifesté jusqu'à l'époque actuelle. En outre ces auteurs signalent une néotectonique très active, marquée par des rejeux de failles qui affectent même le glacis le plus récent.

Ces auteurs ne parlent pas cependant, dans cette dépression du Lout, de dépôts lacustres au Quaternaire récent. La formation sédimentaire lacustre des Kalouts est donnée comme d'âge tertiaire avec forte dissection au cours du Quaternaire.

### 5.3 U.R.S.S.

Les sols d'URSS ont fait l'objet de nombreuses études (1) dont nous retiendrons particulièrement celle de NIKONOV (1 971) puisqu'elle intéresse le N de l'Afghanistan. Il distingue une couche principale de loess de 30 à 100 m d'épaisseur à des altitudes de 300 à 1 000 m dans les vallées des grands fleuves (Kunduz, Kokcha.....). Elle se caractérise par des dépôts stratifiés (genèse alluviale) mais se retrouve jusqu'à 2 000-2 500 m d'altitude sur les massifs (genèse éolienne). La genèse alluviale se marque par la succession graviers, sables, loess qui remplissent d'anciennes vallées dont le comblement est à relier à un ennoyage tectonique régional. Elle doit être considérée comme le résultat d'accumulations fluvio-glaciaires ne remontant pas, d'après cet auteur, au delà du Quaternaire moyen. Sur les moyennes et basses terrasses des fleuves, dont la hauteur varie de 100 à 120 m et 20 à 30 m en plaine, s'observent des générations de loess plus récents où a été retrouvé une faune du Pléistocène supérieure proche de la faune actuelle. Des analyses polliniques ont révélé une prédominance de pollens de Chénopodiacées, d'armoises, de graminées, herbes diverses dans la partie inférieure qui paraissent indiquer des conditions arides, identiques à celles de la période actuelle. Dans la partie supérieure les teneurs en pollens de pins, de bouleaux, d'épicéas sont plus importantes et semblent témoigner d'un refroidissement et d'une plus grande humidité que l'auteur attribue au Quaternaire supérieur. A celui-ci se rattacherait les accumulations de loess de couverture sur les montagnes. Ces loess seraient les homologues de ceux de l'archéologue américain COON trouvés avec des outils du Paléolithique supérieur dans la caverne de Kara-Kamar. La série inférieure, de trois couches successives de quelques décimètres chacune, a donné un âge de 34.000 ± 4 000 ans BP.

NIKONOV chiffre le dépôt moyen subactuel de ces loess à 0,5-1 mm/an (Une ancienne ville gréco-bactrienne datée de 2 100 à 2 300 ans étant recouverte actuellement sous des dépôts loessiques de 1 à 2 m).

(1) ROZANOV (1 961). LOBOVA (1 967). ..... notamment pour des régions proches.

## 5.4 Texas (U.S.A.)

Nous adjoindrons à ces comparaisons des observations faites au cours du Pléistocène supérieur et de l'Holocène dans l'O du Texas. Elles ont pour but de montrer la multiplicité des variations climatiques plus ou moins importantes pendant ces périodes. De plus l'examen des sédiments lacustres déposés en cette région a conduit à l'observation de mise en place de dolomie dans une période analogue à celle des formations similaires de la région de Kandahar.

REEVES et PARRY (1 965) subdivisent cette partie du Quaternaire récent en périodes pluviales, subpluviales et interpluviales. Ils distinguent :

|                   |                                                   |             |
|-------------------|---------------------------------------------------|-------------|
| — > 37.000 ans BP | Terry pluvial                                     |             |
| — 32.525 ± 2 400  |                                                   |             |
| à                 | Interpluvial                                      | } Rich lake |
| 26.500 ± 800      | Subpluvial                                        |             |
| — 20.500 ± 650    |                                                   |             |
| à                 | 1er Pluvial                                       | } Tahoka    |
| 17.400 ± 600      | Intervalle sec                                    |             |
| — 16.000          | 2ème Pluvial                                      |             |
| à                 |                                                   |             |
| 14.000            |                                                   |             |
|                   | et                                                |             |
|                   | Divers subpluviaux coupés d'intervalles plus secs |             |
| — 10.000          |                                                   |             |
| à                 | Subpluvial                                        | Sanjon      |
| 6.000             |                                                   |             |
| —                 | Post pluvial                                      | Sand canyon |

Les dépôts de carbonates (dont de dolomie) se seraient effectués avant 37.000 ans, entre 30.000 et 27.000 ans et vers 18.000 ans BP. Ils résulteraient, d'après ces auteurs, soit de l'assèchement des lacs (30.000 à 27.000 ans), soit seraient la conséquence de la dessiccation, de hausse de température, d'une élévation des pH ou de la combinaison des trois. De toute façon la précipitation des carbonates serait le résultat de la sursaturation des eaux. Nous avons défini précédemment notre position sur ce sujet en Afghanistan (Cf. Migrations calcaires).

## 5.5 Comparaison des diverses données

Le tableau suivant récapitule les précédentes données qui nous ont paru les mieux comparables du fait, soit de la proximité des pays par rapport à Afghanistan, soit du recoupement positif des datations effectuées et des sédiments déposés (Texas).

Les corrélations apparaissent particulièrement positives entre les résultats d'Afghanistan et ceux du Texas malgré l'éloignement de ces deux pays. Nous retrouvons les mêmes subdivisions mise à part la période très complexe entre 14.000 et 10.000 ans BP où les pulsations climatiques se multiplient.

De petits décalages sont observés entre l'Iran et ces deux derniers pays. Ils peuvent être dus à la valeur relative des datations elles-mêmes ou encore au temps plus ou moins long que la flore met pour s'implanter en de nouveaux domaines.

Les glacis-terrasses de la dépression du Lout n'ont été placés qu'à titre hypothétique et par comparaison avec les terrasses et glacis-terrasses d'Afghanistan qui paraissent de même âge.

En Inde, dans la partie subdésertique actuelle mais anciennement plus fortement soumise au régime de la mousson, l'évolution climatique générale paraît assez comparable à celle que nous retrouverons en Afrique tropicale, notamment la formation de dunes au maximum glaciaire (20.000 à 15.000 ans BP), les extensions et les régressions lacustres.

Dans la plaine russe (Mer Caspienne, Mer d'Azov, Europe Centrale) certains sols formés dans les loess ont fait l'objet de datation par le carbone 14 (DOBRODEEV - PARUNIN 1 973). Ces auteurs soviétiques distinguent, pendant la période du Quaternaire récent, deux interstadias importants, marqués par un réchauffement climatique très fort au cours desquels se sont façonnés des sols.

Nous indiquerons dans le tableau suivant la correspondance existant entre les paléosols de ces régions d'URSS et ceux d'Afghanistan au cours de la même période.

| U R S S                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                             | Afghanistan                                                                                                                                                                                                                             |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Plaine Russe                                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                             | Massifs et piedmonts de haute et moyenne altitudes<br>(4 000 - 3 000 à 1 800 m)                                                                                                                                                         |
| – Interstade Briansk (1)<br>31.000 ± 1 500 ans BP<br>(Novohopersk)<br>24.920 ± 1 800 et<br>24.200 ± 1 680 ans BP<br>(Région de Briansk)<br>22.700 ± 400 ans BP<br>(S de la Moldavie) | Tchernoziem lessivé                                                                                                                                         | Etendues lacustres généralisées avec dépôts sédimentaires dolomitiques ou calcaires. Sols à différenciation calcaire (encroûtement). Climat frais se réchauffant progressivement (fonte des neiges et glaces) (34.800 à 26.270 ans BP). |
| .....<br>17.500 ± 600 ans BP<br>(N de la Caspienne)<br>.....                                                                                                                         | Sol argilo-sableux à argileux brun.                                                                                                                         | Aucun sol observé. Climat sans doute très froid. A basses altitudes (600-800 m. Régions méridionales). Sols polygonaux des « dasht » (âge indéterminé).                                                                                 |
| – Interstade Ulassian<br>15.690 ± 330 ans BP<br>(N de la Mer d'Azov)<br>(3)                                                                                                          | Sol brun désertique-steppique (aire de partage des eaux) et steppique de prairie (sur les pentes et dans les dépressions),<br>Dépôts lacustres en Lituanie. | Sols à différenciation calcaire (à encroûtement ou nodules). Climat frais se réchauffant progressivement, à saisons très contrastées amenant la fonte des neiges et glaces accumulés. Etendues lacustres (15.970 à 12.570 ans BP).      |
| 16.260 ± 640 ans BP                                                                                                                                                                  |                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                         |

La comparaison entre le domaine afghan et celui d'URSS, malgré leur éloignement, nous indique que les pédogenèses ont été beaucoup plus accusées en Afghanistan du fait d'une plus grande altitude qui a favorisé des variations climatiques plus importantes lors de la dernière pulsation glaciaire (avancées des glaciers dans les vallées des hautes montagnes sur lesquelles s'accumulaient les neiges au plus fort de la glaciation. Fonte de ces dernières entraînant un ruissellement très abondant lors du réchauffement général vers 15.000 ans BP. (Cf. Migrations calcaires). La période la plus froide n'est marquée par aucun sol sauf sans doute par des cryosols qui ont pu être soit érodés, soit recouverts par des sédiments lors de la déglaciation en Afghanistan. C'est au cours de telles périodes ou de périodes antérieures que se seraient façonnés les sols polygonaux dont on perçoit deux réseaux polygonaux de fentes en coin sous le cailloutis conglomératique dans les « dasht » des régions méridionales actuellement les plus chaudes et les moins humides du pays.

(1) Les datations des auteurs russes ont été effectuées sur des extraits d'acides humiques et sur l'horizon B Ca du sol châtain. Dans chacune des coupes il y a toujours plusieurs profils de sols superposés.

(2) Au cours de cette période dans le Nuristan on assiste, à haute altitude (3 000 m), à des phénomènes de décarbonatation des loess (Sols bruns lessivés) et à des accumulations calcaires en contrebas (2 000 m) (Sols à différenciation calcaire à encroûtement ou à nodules),

(3) Ce sol se poursuit sous le niveau actuel de la Mer d'Azov.

| AFGHANISTAN                                                                  |                                                                                                                          | U.S.A. (Texas)  |                                   | IRAN                     |                                                                                             | INDE                          |                                                                                                                                                                                                                                                                        | TCHAD                                                                               |                                                                                    |
|------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|-----------------------------------|--------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|
| Accumulations calcaires (Dépôt lacustre - Travertin-Encroûtement)<br>Age BP. | Dépressions lacustres (1)<br>Terrasses du Tarnak Rod<br>Climat                                                           | Age BP          | Climat                            | Analyses polliniques (2) | Glacis - terrasses (3)                                                                      | (N-E aux confins du Pakistan) | Cuvette Tchadienne                                                                                                                                                                                                                                                     | Massif du Tibesti                                                                   |                                                                                    |
| > 40.000                                                                     | Froid intense (?)                                                                                                        | > 37.000        | Pluvial                           | Terry                    |                                                                                             |                               | 1er lac (850.000 km <sup>2</sup> ). 1er delta (40.000 km <sup>2</sup> ). Cote 400m. Avant 40.000 ans BP                                                                                                                                                                |                                                                                     |                                                                                    |
| 34.800 à 26.270                                                              | Réchauffement généralisé (4). Grands lacs Terrasse T 1<br>Maximum climatique chaud                                       | 32.525 à 26.500 | Interpluvial                      | Rich lake                | Glacis - terrasse 3 (?)                                                                     | Phase lacustre                | 2è lac. Cote 400m puis décroissante (ouverture du chenal de déversement - cote 320m - conduisant les eaux de lac Tchad vers l'Océan Atlantique). 35.000-30.000 à 22.000-20.000 ans BP                                                                                  | Lacs de cratères.                                                                   |                                                                                    |
| 22.740 à 18.900                                                              | Climat plus froid et plus humide. Etendues lacustres non identifiées.<br>Froid intense                                   | 20.500 à 17.400 | 1er Pluvial                       |                          |                                                                                             |                               |                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                     | Steppe froide à armoise (22.500 à 14.000 ans)                                      |
| 15.970 à 12.570                                                              | Climat moins froid et humide (4). Grands lacs. Terrasse T 2<br>Réchauffement généralisé                                  | 16.000 à 14.000 | 2è pluvial                        | Tahoka                   | Passage à la savane (14.000 à 10.000 ans)                                                   | Glacis - terrasse 4 (?)       | Phase aride majeure (20.000 à 15.000 ans) Formation de dunes                                                                                                                                                                                                           | Remaniement éolien jusqu'au 12è parallèle. 2è aride. 22.000-20.000 à 12.000 ans BP. |                                                                                    |
| 9.030 à 6.490                                                                | Climat plus froid et humide. Lacs moins importants. Terrasse T 3.                                                        | 10.000 à 6.000  | Subpluvial                        |                          |                                                                                             |                               |                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                     | Savane à <i>Pistacia</i> et <i>Quercus</i> (10.000 à 6.000 ans)<br>Forêt de chênes |
| 2.790 à 1.875 (5)                                                            | Assèchement lacustre progressif avec fluctuations diverses de moindre importance.<br>Niveau actuel (lacs et cours d'eau) |                 | Post Pluvial                      | Sand canyon              | Id <sup>0</sup> mais dégradée vers 5.500 ans par suite de la sécheresse.<br>Forêt de chênes |                               | Lacs d'eau douce (10.000 à 7.000 ans). Assèchement progressif.<br>Lacs salés à partir de 3.000-4.000 ans.                                                                                                                                                              | Lacs de cratères 15.000 à 10.000 ans BP                                             |                                                                                    |
|                                                                              |                                                                                                                          |                 | Divers subpluviaux et intervalles |                          |                                                                                             |                               | 3è lac (350.000 km <sup>2</sup> ). 2è delta (20.000 km <sup>2</sup> ). Cordon sableux (cote 320m). 12.000 à 5.200 ans BP<br>Remaniement éolien peu important jusqu'au 12è parallèle.<br>3è aride.                                                                      | Lacs de cratères 10.000 à 7.000 ans BP                                              |                                                                                    |
|                                                                              |                                                                                                                          |                 |                                   |                          |                                                                                             |                               | 4è lac (180.000 km <sup>2</sup> ). 3è delta (5.000 km <sup>2</sup> ). Cordon sableux (cote 287-290m). 3.200 à 1.800 ans BP.<br>Niveau actuel. Variable.<br>- 283-284m (1964-1970). 20.000 à 25.000 km <sup>2</sup><br>- 279-280m (1906-1972). 15.000 km <sup>2</sup> . |                                                                                     |                                                                                    |

(1) Dans la partie méridionale (Lacs de piedmont et du Séistan). - (2) Région occidentale. - (3) Dépression du Lout. - (4) Marqué par la fonte des neiges et glaces accumulées en altitude. - (5) Tourbe.

## 6 - ETUDE COMPARATIVE DE L'EVOLUTION DES LACS DE LA DEPRESSION REGESTAN - SEISTAN - MARGO ET DES ETENDUES LACUSTRES DE LA CUVETTE TCHADIENNE AU QUATERNAIRE RECENT

Malgré leur grand éloignement, une étude comparative de ces deux bassins endoréiques va permettre la connaissance des variations climatiques qui se sont produites en deux domaines différents. Celui d'un milieu tropical (Lac Tchad) et celui d'un milieu méditerranéen très continental (Afghanistan méridional).

### 6.1 La cuvette Tchadienne (Figure 59)

Situé en Afrique tropicale et alimenté par le Chari et le Logone, le lac Tchad a subi 4 fluctuations importantes au Quaternaire récent en fonction de périodes pluviales plus ou moins intenses. Ces fluctuations sont mises en évidence par l'existence de deux cordons sableux qui ceinturaient des lacs successifs à des périodes différentes (PIAS - GUICHARD 1 957) et par quatre deltas du Chari et du Logone, d'âges plus ou moins anciens (PIAS 1 967). Les périodes pluviales ont été séparées entre elles par des phases arides très accusées pendant lesquelles se sont effectués des remaniements importants, visibles sous forme d'ergs fossiles.

Schématiquement nous pouvons reconstituer la succession des périodes climatiques, ainsi que nous l'avions envisagée (PIAS 1 971), de la façon suivante en fonction des données connues à cette époque :

- un premier grand lac Tchad paraît avoir existé antérieurement à 40.000 ans BP. Il atteignait la cote 400m et couvrait une superficie de 850.000 km<sup>2</sup> tandis que le delta du Chari (le premier) occupait 40.000 km<sup>2</sup>,
- les sédiments de ce delta, ainsi que ceux provenant des massifs du Ouaddai, ont subi un important remaniement éolien jusqu'au 10ème parallèle à la période aride qui a succédé (dunes d'orientation SO-NE dans le S du bassin, dans la région de Yagoua au Cameroun),
- un second lac a dû atteindre une cote identique à celle du premier avant que ne se produise l'ouverture d'un chenal de déversement vers la cote 320 m devant conduire les eaux du lac Tchad vers l'Océan Atlantique par l'intermédiaire du Mayo Kebbi et de la Bénoué. Ce lac aurait eu sa période d'extension entre 35.000 30.000 et 22.000-20.000 ans BP,
- une phase aride importante s'est produite ensuite entre 20.000 et 12.000 ans BP et a amené un nouveau remaniement éolien des formations sableuses au N du 12ème parallèle (dunes d'orientation NO-SE),
- une troisième transgression (12.000 à 5.200 ans BP) s'est traduite par un delta moins important du Chari (20.000 km<sup>2</sup>) débouchant dans un lac plus modeste de 350.000 km<sup>2</sup>, ceinturé par un cordon littoral sableux à la cote 320 m,
- une phase aride, moins importante que les précédentes, s'est traduite par un remaniement des sables et la formation de dunes jusqu'au 12ème parallèle.
- une quatrième transgression (3.200 à 1.800 ans BP), également marquée par un cordon sableux, a amené le lac Tchad à la cote 287-290 m. Il couvrait alors 180.000 km<sup>2</sup> et le delta du Chari atteignait 5.000 km<sup>2</sup>.

Au cours de la période récente à actuelle le lac Tchad a subi des fluctuations moins grandes. Sa superficie, voisine en 1 964 de celle de 1 870 (cote 283-284 m), était de 20.000 à 25.000 km<sup>2</sup> contre 15.000 km<sup>2</sup> environ (cote 279-280 m) en 1 906 et 1 972.

Le second lac a été signalé par FAURE (1 966) et SERVANT (1 973) au Niger et dans le N du Tchad entre 38.000 et 22.000 ans BP, ainsi que par KAISER (1 972) dans le massif du Tibesti où la période pluviale correspondante a amené la formation de lacs de cratères. Ce dernier auteur en indique de semblables entre 15.000 et 10.000 ans BP avec un maximum vers 12.000 ans BP et entre 10.000 et 7.500 ans BP.

La troisième extension lacustre se subdiviserait pour SERVANT, dans les Bas Pays du Tchad et le Bahr el Ghazal, de la façon suivante :

- petit épisode lacustre entre 12.000 et 10.500 ans BP,
- épisode plus important (cote non déterminée) entre 10.500 et 7.500 ans BP,
- forte transgression entre 7.200 et 4.000 ans BP avec décroissance rapide du lac à partir de 5.200 ans.

Les extensions lacustres dans le massif du Tibesti auraient eu pour origine, pour KAISER, des pluies originaires du front polaire N. Ceci paraît montré par la migration vers le S d'espèces paléarctiques et holo-artiques (mollusques et diatomées). En fait la formation de ces lacs de cratères serait la conséquence principalement :

- d'un réchauffement généralisé au cours de ces périodes, réchauffement amenant un déenneigement des massifs mais aussi de précipitations encore abondantes en provenance du front polaire N pendant les mois d'hiver (15.000 - 12.000 ans BP),
- de la remontée du front de la mousson en été (10.000 - 7.500 ans BP).

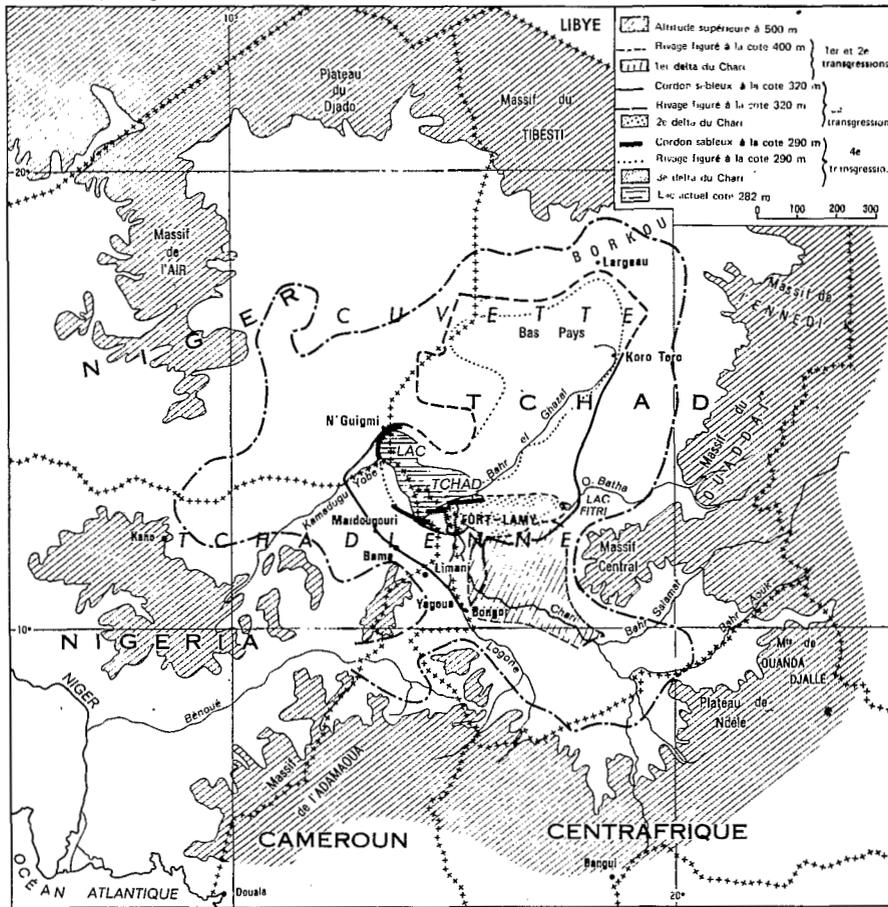


Figure 59 - Les dernières fluctuations lacustres dans la Cuvette Tchadienne

Dans la cuvette Tchadienne, au cours de ces mêmes périodes, les extensions lacustres sont liées aux mêmes phénomènes, mais également à des débits déjà importants du Logone et du Chari alimentés par les pluies croissantes sur les bassins amont des fleuves. L'arrivée de cette mousson va prendre une importance de plus en plus grande en même temps que le réchauffement va s'accroître. Il atteindra son maximum vers 5.000-6.000 ans BP (période de l'optimum thermique et de la plus grande extension lacustre récente dans la cuvette vers 5.200 ans BP). Dans la période transitoire (fin d'arrivée du front polaire N, montée de la mousson tropicale) une forte nébulosité a pu diminuer intensément l'évaporation favorisant ainsi l'accroissement des lacs. Ce phénomène va jouer en sens inverse à partir du maximum thermique où l'évaporation va devenir plus intense en même temps que de nouvelles arrivées d'air polaire sur les hauts massifs du Tibesti ont pu amener le recul, plus au S, du front de la mousson.

Nous voyons se dessiner un schéma général conciliant les thèses jusqu'alors en opposition, thèses qui voulaient tantôt que la période glaciaire soit l'équivalent d'une phase pluviale en milieu subtropical, tantôt qu'elle corresponde à un interpluvial. Nous aurions eu ainsi en périodes glaciaire et interglaciaire :

- période glaciaire. Arrivée du front polaire N :
    - sur les massifs, condensation intense amenant pluies et neiges (Pluvial = Glaciaire),
    - sur les piedmonts et la cuvette, phase sèche et relativement froide déterminant l'aridification de ces régions avec remaniements éoliens (Interpluvial = Glaciaire),
  - période interglaciaire. Recul du front polaire N. Réchauffement :
    - sur les massifs, fonte des neiges accumulées donnant des lacs de cratères encore accrus par des précipitations d'origine polaire en hiver et la montée de la mousson en été (Pluvial = Fin de glaciaire),
    - sur les piedmonts et la cuvette, précipitations d'abord peu accusées puis de plus en plus abondantes au fur et à mesure du recul du front polaire N et de la montée de la mousson (Pluvial = Interglaciaire)
- Les lacs de piedmonts et de la cuvette s'accroissent en même temps que les hauts sommets vont devenir le domaine d'une végétation plus tropicale ou subtropicale (Optimum thermique) remplaçant provisoirement la steppe froide à armoise précédente.

Tous ces phénomènes sont importants pour l'étude des sols car ils permettent de situer certaines pédogenèses. La datation de croûtes calcaires ou d'encroûtements lacustres par KAISER dans le Tibesti (30.000 et 15.000 ans BP) montrent qu'ils ont pu se façonner, comme en Afghanistan, lors de périodes de réchauffement sur les massifs (ou tout au début de périodes de refroidissement), réchauffements amenant des précipitations encore abondantes mais aussi la fonte de neiges accumulées au plus fort du froid. Ces phénomènes se seraient accompagnés de la dissolution de roches calcaires ou carbonatées et de la précipitation de carbonates (calcaires lacustres, nodules, accumulations diverses) dans des périmètres plus ou moins éloignés (1).

Pour la période récente MALEY (1 973) suggère que la dernière crue du Lac Tchad (1 953 - 1 964) serait liée d'une part à une phase plus humide, conséquence d'une activité plus grande de l'anticyclone de Sainte Hélène, d'autre part à un fléchissement des températures maximales sur la bordure méridionale du Sahara. Ce fléchissement aurait entraîné une évaporation moindre qui, s'alliant aux fortes crues des fleuves, aurait favorisé la montée du lac. Cet abaissement de température serait en liaison avec une baisse du rayonnement solaire (2). Un phénomène identique se serait produit lors du «petit âge glaciaire» (1 550-1 850), le lac ayant atteint alors une cote importante (286m).

Pour cet auteur, l'assèchement actuel du lac Tchad et l'aridification de la bande sahélienne seraient liés à un phénomène inverse (arrivée moindre de la mousson par suite de l'affaiblissement de l'anticyclone de Sainte Hélène, réchauffement de ces régions).

(1) Dans la cuvette Tchadienne elle-même ce sont les pédogenèses des périodes pluviales (correspondant aux extensions lacustres) qui ont affecté les sols des parties exondées. Elles ont été caractérisées suivant leur importance et la latitude par une ferralitisisation intense (dans la partie la plus méridionale du pays) par des migrations intenses du fer et de l'argile dans la partie S (Sols ferrugineux tropicaux lessivés), par des migrations moins importantes du fer dans les régions N (Sols ferrugineux tropicaux peu ou non lessivés), très au-delà des actuelles limites de ces sols.

Des vertisols, des solonetz se sont développés lors des interpluviaux dans les sédiments alors exondés.

Lors des périodes pluviales antérieures à 40.000 ans BP ces mêmes pédogenèses (ferralitisisation, ferruginisation) ont eu une importance encore plus grande (PIAS 1 971).

(2) Cet abaissement de température peut-être également lié à des arrivées du front polaire N en hiver, sur les massifs bordant la zone sahélienne (Tibesti, Aïr, Hoggar). Ceux-ci s'accroissant auraient pu déterminer le rejet du front de la mousson dans la période suivante (1 964 - 1 974) et l'aridification de la bande sahélienne.

## 6.2 Cuvette du Régestan-Séistan-Margo

Dans cette cuvette les successions lacustres paraissent plus simples et directement en relation avec les pulsations froides (glaciaires) ou, plus exactement avec les périodes qui leur succèdent (fonte des neiges et glaces accumulées au maximum des refroidissements (1)). C'est ce qui s'est passé dans le Tibesti, de façon sensiblement identique mais plus atténuée.

Les extensions lacustres se sont produites principalement lors des réchauffements climatiques, mais aussi de façon moindre en préglaciation :

- antérieure à 40.000 ans BP, (45.000, 80.000, 120.000, 130.000 ans BP),
- entre 35.000 et 25.000 ans BP,
- entre 16.000 et 12.000 ans BP lors du réchauffement généralisé,
- entre 9.000 et 6.500 ans BP,
- vers 2.800 et 1.875 ans BP.

La période optimale thermique de 5.000 - 6.000 ans BP qui se traduit, en Afrique tropicale, par des extensions lacustres importantes paraît correspondre en Afghanistan à une période d'assèchement généralisée qui se poursuivra jusqu'à la période actuelle avec cependant des fluctuations positives des lacs dans des phases succédant à de petites avancées glaciaires ou de petits pluviaux sur les massifs et leurs piedmonts (2.800 - 1 875 ans BP?).

Les extensions des lacs du Séistan sont masquées, ainsi que nous l'avons dit précédemment, par des phénomènes de néotectonique qui ont amené l'enfoncement ou la surélévation de grands compartiments.

Ces dernières extensions sont sans commune mesure avec celles qui se sont produites au cours du Pléistocène inférieur et moyen, soit que les phases pluviales de ces périodes aient été beaucoup plus importantes en ces régions, soit que les phénomènes de néotectoniques n'aient pris une grande importance qu'au Pléistocène supérieur et à l'Holocène. De façon identique, dans la cuvette Tchadienne, les phases d'extensions lacustres paraissent avoir été encore plus grandes dans le début et le milieu du Quaternaire.

(1) On peut également penser que, avec les extensions importantes des mers Caspienne et Aral au cours de ces dernières périodes ou de périodes plus anciennes, elles se sont traduites, par suite des activités cycloniques en ces régions, par un accroissement important de l'humidité, et une évaporation moindre sur les régions plus ou moins éloignées dont le Séistan. L'importance de la mousson, venue de l'Inde, aurait été faible à nulle au cours de ces périodes comme elle l'est aujourd'hui (REITAN - GREEN 1 968, KRINSLEY 1 970).

## CONCLUSIONS

L'Afghanistan, pays de contraste par ses paysages où alternent des vallées fertiles irriguées, verdoyantes au printemps ou jaunies au soleil de l'été, des piedmonts nus et désertiques, des hauts sommets enneigés parfois même aux plus fortes chaleurs, offre une diversité identique dans la répartition de ses sols.

Une très faible partie (15 % environ) seulement du territoire afghan est susceptible de porter des cultures, soit que les terres ne s'y prêtent pas (sols minéraux bruts sur matériau divers, très abondants en toutes régions), soit que l'eau fasse défaut dans certaines plaines aux terres fertiles (régions septentrionales entre autres), soit que les moyens mis en œuvre pour les irriguer soient insuffisants.

Cette étude nous a révélé la grande abondance des sols à différenciation calcaire - les plus divers - allant du sol à accumulation diffuse (*siérozem*) au sol à fort encroûtement. Si le passage d'un type à un autre s'observe souvent sur les versants de massif, la toposéquence apparente qui se voit n'est en fait que la manifestation de pédogenèses calcaires multiples au cours des quarante derniers millénaires.

Quatre périodes principales d'accumulation calcaire ont été observées. Les trois premières, les plus importantes, affectent souvent tout le paysage et donnent de forts encroûtements calcaires sur les piedmonts conglomératiques ou loessiques ne laissant en terres fertiles que les dernières accumulations de loess colluviaux qui encombrant les basses terrasses des fleuves.

La plus ancienne de ces accumulations calcaires apparaît souvent comme le résultat de dépôts de carbonates en des lacs ou des marécages, nombreux à cette époque (35.000 à 25.000 ans BP), tandis que les deux suivantes ont une origine pédologique plus affirmée (23.000 à 19.000 et 16.000 à 12.000 ans BP). La quatrième ne s'observe qu'à des altitudes relativement élevées pour le pays (2.800 à 3.000 m) et marque par là même la moindre importance de la pulsation climatique qui lui a donné naissance entre 7.500 et 6.500 ans BP. Elle est cependant la plus intéressante car elle offre des profils complets avec un horizon A ombrique décarbonaté, un horizon B Ca d'accumulation calcaire par encroûtement tandis que les pédogenèses précédentes sont tronquées de leur horizon supérieur. L'encroûtement calcaire mis à nu est alors surmonté d'une croûte rubanée lamellaire.

Une cinquième phase de pédogenèse calcaire, mais moins accusée, a été observée dans la région de Moqur et serait beaucoup plus récente (2.800 ans BP).

Nous voyons que ces pédogenèses calcaires ne sont pas le résultat de phénomènes continus de migration du calcaire se poursuivant encore actuellement, comme certains auteurs le pensaient, mais le fait de fortes pulsations climatiques qui se sont produites en plusieurs fois dans une échelle de temps s'étalant pour chacune parfois sur plusieurs millénaires.

Ces pédogenèses se sont effectuées principalement lors de réchauffement des conditions climatiques succédant à une période froide à très froide (glaciation) à moyenne et haute altitudes, s'accompagnant de la fonte abondante et progressive, en fonction de l'alternance des saisons, des glaces et des neiges accumulées pendant de très longues périodes.

Les bicarbonates transportés par les eaux (eaux de surface, de ruissellement, de nappe..... solutions du sol) résultent de la « fonte » des calcaires sédimentaires sous l'action de l'eau de fusion des neiges et des glaces abondantes et très chargée en gaz carbonique. L'hydrolyse des roches ultra basiques, basiques..... donnera, entre autres, également le Ca et le Mg nécessaires à l'élaboration des carbonates mais aussi la silice indispensable aux néosynthèses des minéraux argileux, ainsi que d'autres cations et anions qui iront enrichir les milieux confinés des bas de piedmont.

Ces accumulations calcaires se sont produites :

- en haute montagne (3.000 m) sous forme de travertins barrant les vallées et constituant des étendues lacustres en amont,
- sur les piedmonts en dépôts dolomitiques ou calcitiques cimentant les conglomérats fluvio-glaciaires ou des loess,

On peut considérer sur les piedmonts deux types d'accumulation :

- celle de pente forte où la décharge en carbonates ne s'accompagne d'aucun phénomène de néosynthèse d'argile. Nous retrouvons illite et chlorite codominantes,
- celle se produisant sur les replats ou les bas de piedmonts dans des zones déprimées où s'observent alors soit des dépôts lacustres calcitiques ou dolomitiques, soit des accumulations pédologiques formées en des marécages semi-permanents. Dans ceux-ci venaient se concentrer les eaux de ruissellement favorisant le développement en ces milieux salins, suivant la plus ou moins grande importance des solutions en ions Mg, Si O<sub>2</sub>, de dolomies et de néosynthèses d'attapulgitite et de sépiolite que nous retrouvons également dans les formations lacustres précédentes, associées aussi à de la calcite plus ou moins abondante. L'apparition de ces argiles n'est pas liée à la présence de calcite, souvent importante dans les croûtes et encroûtements calcaires, mais à la salinité et à la composition du milieu dans lequel elles se sont faites. Des salinités résiduelles importantes ont été trouvées dans de tels encroûtements, croûtes et calcaires lacustres. Lorsqu'elles n'existent plus du fait de modifications dans le contexte géomorphologique, la présence de pollens de Chénopodiacées très abondants dans ces croûtes et encroûtements calcaires révèlent bien celle d'un milieu salin.

De telles néosynthèses d'argiles se sont effectuées au cours des trois premières périodes d'accumulations calcaires. La quatrième, à l'inverse, limitée aux pentes plus ou moins abruptes ne les a pas favorisées.

L'Afghanistan est aussi le domaine des formations loessiques très abondantes en toutes régions et dont il existe de multiples générations au cours de la période étudiée. Seuls sont souvent restés en place les loess qu'une forte pédogenèse avait marqués (encroûtement calcaire limitant l'érosion. Cas général) ou ceux qu'un couvert végétal forestier a protégés (Nuristan) ou bien encore ceux d'une génération récente (12.000, 10.000 ans ou moins) qui ennoient les massifs montagneux des régions septentrionales dans un relief cependant très adouci comparativement aux autres régions d'Afghanistan. Mais le plus souvent ces loess ont été se colluvionner dans des cuvettes où ils forment notamment les basses terrasses fertiles des fleuves.

Les phénomènes de salinisation ont eu une particulière importance au cours des différentes périodes du Quaternaire récent, principalement lors des phases de réchauffement et d'assèchement des lacs et des marécages abondants en tous lieux, particulièrement dans la vaste cuvette du Régestan-Séistan-Margo. Dans cette région les extensions lacustres, conséquence de déglaciations successives, ont eu une grande importance. Elles ont pris une amplitude maximale au Quaternaire ancien et moyen avec des lacs atteignant alors des cotes de 1.000 à 1.200 m. Les plus récentes paraissent avoir été moindres (lacs à 550-600 m pour des lacs actuels à 470 m). Il semble que ceci soit dû en fait à des phénomènes de néotectonique qui ont affecté ces régions, phénomènes liés aux rejeux de failles prolongeant ou ramifiant sous la couverture sédimentaire celles de Chaman-Arghandeb et de la vallée du Tarnak Rod. Deux lignes directionnelles de failles diversement orientées NE-SO puis E-O (cours moyen de l'Helmand Rod) et S-N (cours inférieur de cette même rivière) ont eu pour conséquence l'effondrement de grands compartiments, dans leur zone de convergence, dans la région des lacs actuels (Gawdzéreh, Hamune Sabéri, Jéhilé Puzak). Ces effondrements sont non seulement liés aux rejeux des failles mais peut-être également aux contrecoups isostatiques subis par cette région lors des glaciations et déglaciations. Un très grand nombre de ces lignes de fracture au Régestan-Séistan-Margo sont marquées actuellement par des cuvettes de plus ou moins grandes amplitudes où se produisent des phénomènes de dissolution des argiles salines sous-jacentes. Elles forment alors la trajectoire de nouveaux cours d'eau qui se dessinent. Tous les grands fleuves (Helmand, Khash, Farah Rod), au cours de ces périodes récentes, ont été rejetés d'O en E et les anciennes terrasses conglomératiques attestent de ce phénomène.

Actuellement les pédogenèses qui se développent à haute altitude sont celles :

- des hautes montagnes ou des régions arctiques du globe avec formation de sols périglaciaires. Dans certains sols polygonaux sur roches calcaires des phénomènes de décarbonatation sont visibles soit localement, soit dans le paysage (phénomènes karstiques donnant des cuvettes cryohydriques). Montagne de Bamyan,
- des régions tempérées à froides où l'on assiste à des phénomènes plus ou moins importants de migration du calcaire très localisé dans le paysage (sols brun calcique, brun calcaire modal ou à encroûtement sur roche calcaire. Sols brun acide et modal sur schistes). Montagne de Bamyan. Piste du Centre.....

Dans le Nuristan (partie orientale de l'Afghanistan), pays subissant les dernières arrivées de la mousson indienne, une pédogenèse podzolique se surimplane, sous végétation de conifères, à celle de phases

antérieures ayant donné des sols bruns lessivés (entièrement décarbonatés sur loess). Du fait de la texture des loess cette podzolisation est toujours très limitée sur ce matériau, mais par contre très forte sur les micaschistes pegmatitoides.

A moyenne et basse altitudes pour le pays (1.800 m dans le Logar, 500 à 1.000 m dans les régions méridionales) on observe des phénomènes de salinisation actuelle s'accompagnant localement de dolomitisation mais sans aucune néosynthèse apparente d'argile (Dépression de Kabul). Dans la partie méridionale, la plus sèche, on assiste actuellement semble-t-il à des phénomènes de redistribution superficielle du calcaire et du gypse par action de nappe.

Il y a donc un contraste très frappant en Afghanistan entre les pédogenèses anciennes, souvent très accusées et s'étendant sur de vastes paysages, et celles actuelles encore relativement fortes aux hautes altitudes mais très faibles aux moyennes et basses altitudes (Sols peu évolués du Logar. Siérozems des régions N sur loess). En quelques rares points la salinisation prend une forme exacerbée qui se traduit par les phénomènes de dolomitisation cités plus haut (Vallées du Logar et du Kabul) ou la formation de sols gypseux par remontée du gypse sous l'influence de solutions salines riches en Na Cl ceci sous de faibles pluviométries et dans une tranche de sol peu épaisse («dasht» des régions méridionales). Mais ces pédogenèses hydromorphe ou halomorphe à évolution rapide n'ont rien d'exceptionnelles et marquent généralement les derniers sédiments déposés dès que les conditions se révèlent favorables.

## BIBLIOGRAPHIE

- ABDULLAH (J), BORDET (P), CARBONNEL (J.P.), PIAS (J) 1 975. Sur l'existence d'un dôme récent de carbonatites dans le Régestan (Afghanistan du Sud). C.R. Acad. Sci. Paris, t. 281, p. 1 801 - 1 804.
- AFEQ (1 969) La stratigraphie des loess en Europe 176 p. Supplément au bulletin. Paris.
- AUBERT (G.) 1 947. Les sols à croûte calcaire. Conf. Pédol. médit. Montpellier-Alger, p. 330-332.
- AUBERT (G.) 1 965. Classification des sols. Tableaux des classes, sous classes, groupes et sous groupes de sols utilisés par la Section de Pédologie de l'ORSTOM. Cah. ORSTOM. Sér. Pédol. vol. III, fasc. 3, p. 269-288.
- AUBERT (G.), HENIN (S.) 1 945. Relations entre le drainage, la température et l'évolution des sols. C.R. Acad. Sci. Paris t. 220, p. 330-332.
- AUBERT (H.), PINTA (M.) 1 971. Les éléments traces dans les sols. Trav. Docum. ORSTOM N° 11, 104 p. Annexe. Tableaux 97.
- BABCOCK (K.L.), SCHULZ (R.K.) 1 963. Effect of anions on the sodium, calcium exchange in soils. Soil Sci. Society of America. Proceedings, t. 27, p. 630-632.
- BACHELIER (G.) 1 963. La vie animale dans les sols. Init. Doc. Tech. ORSTOM, N° 3, 280 p.
- BALLAND (D.) 1 973. Le coton en Afghanistan. Essai d'analyse géographique et économique d'une culture industrielle dans un pays sous industrialisé. R. Geogr. Est, p. 17-75.
- BALLAND (V.), LANG (J.) 1 974. Les rapports géomorphologiques quaternaires et actuels du bassin de Bamyan et de ses bordures montagneuses (Afghanistan Central). Rev. géogr. phys. géol. dynam. (2), vol. XVI, fasc. 3, p. 327-350.
- BARTHOUX (J.) 1 933, in MENNESSIÈR (1 968).
- BAZILEVICH (N. I), PANKOVA (YE.I) 1 968. Tentative classification of soils by salinity. V.V. Dokuchayev. Soil Institute. Soviet Soil Sci, 11, p. 1 477-1 488.
- BEAUDET (G.), MAURER (G.), RUELLAN (A.) 1 967 in RUELLAN (1 971).
- BELLAIR (P.) 1 966. Réflexions sur les glaciations. Rev. géogr. phys. géol. dynam. (2), vol. VIII, fasc. 5, p. 335-341.
- BLAISE (J.), BORDET (P.), BOULIN (J.), BOUYX (E.), DESPARMET (R.), LANG (J.), LAPPARENT (A.F. de), MENNESSIÈR (G.), MONTENAS (C.), PIAS (J.) 1 972. Données stratigraphiques et évolution orogénique en Afghanistan. Rev. géogr. phys. géol. dynam. Vol. XIV, fasc. 4, p. 457 - 462.
- BOBECK (H.) 1 963. Nature and Implications of quaternary climatic changes in Iran. Symposium on changes of climates. Rome. UNESCO-WMO, Oct. 1 961, p. 403-413.

- BORDET (P.) 1 972. Le volcanisme récent du Dacht e Nawar (Afghanistan Central). Rev. géogr. phys. géol. dynam. Vol. XIV, fasc. 4, p. 427-431.
- BORDET (P.), BOUYX (E.), LAPPARENT (A.F. de) 1 971. Reconnaissance géologique de la Montagne de Bamyan (Hindou Kouch Occidental, Afghanistan). C.R. Acad. Sci. Paris, t. 272, p. 783-788.
- BOULAIN (J.) 1 957. Etude des sols des plaines du Chélif. Thèse Sci. Alger. Serv. Et. Scient. Alger p. 582.
- BOULIN (J.) 1 971. Remarques sur la structure de l'Hindou Kouch en Afghanistan d'après la transversale du Salang. C.R. Acad. Sci. Paris, t. 273, p. 1 903-1 906.
- BOUYX (E.), PIAS (J.) 1 971. Signification géologique, pédologique et paléoclimatique des travertins d'Awpar (Vallée de Ghandak, Afghanistan Central), C.R. Acad. Sci. Paris, t. 273, p. 2 468-2 471.
- BREWER (R.) 1 964 in RUELLAN (1 971).
- BUAT MENARD (P.), CHESSELET (R.) 1 971. Sur la présence de chlore « gazeux » d'origine marine dans l'atmosphère. C.R. Acad. Sci. Paris, t. 272, p. 1 330-1 332.
- BUYLOV (V.V.) 1 965. Rôle of adsorbed magnesium in the formation of the solonchaks of the Turgay hollow. Soviet Soil Sc., 1, p. 476-481.
- CHESSELET (R.), MORELLI (J.), BUAT MENARD (P.) 1 971. Sur la distribution d'aérosols d'origine marine dans la basse troposphère. C.R. Acad. Sci. Paris t. 272, p. 1 221-1 224.
- CHEVERRY (C.) 1 968. Rôle original de la pédogenèse sur la nature et le mode d'accumulation saline dans certains milieux confinés en régions subarides (Polders des bordures du lac Tchad) Sci. Sol, N° 2, p. 33-53.
- CHEVERRY (C.) 1 969. La genèse de sols salés à alcalis dans les polders des rives Nord-Est du Lac Tchad. Agrokém. és Taljtan, 18, suppl. p. 238-242.
- CHEVERRY (C.), VIEILLEFON (J.) 1 974. Pédogenèse et transformations des composés du soufre dans deux sols tropicaux en voie de différenciation (milieu fluvio-marin, milieu continental). 5 p. dactyl. et 1 tableau. Sous presse.
- CONRAD (G. et J.) 1 970. Le Tertiaire Continental des monts de Kerman et du Lout (Iran Oriental) C.R. Acad. Sci. Paris, t. 270, p. 1 421-1 423.
- CONRAD (G. et J.) 1 970. L'évolution quaternaire de la dépression du Lout (Iran Oriental) C.R. Acad. Sci. Paris, t. 270, p. 1 672-1 674.
- CORBEL (J.) 1 961. Morphologie périglaciaire dans l'Arctique. Ann. de géogr. LXX, P. 1-24.
- DENTON (G.H.), KARLEN (W.) 1 973. Holocene Climatic Variations. Their Pattern and Possible Cause. Quaternary Research, 3, p. 155-205.
- DESIO in LAPPARENT (1 966).
- DEWAN (M.L.), FAMOURI (J.). The soils of Iran FAO-ONU. Rome 1 964, 319 p. 3 cartes hors texte.
- DIETMAR (R.G.) 1 972. Zur Entwicklungsgeschichte der intramontanen Becken bei Kabul/Afghanistan. 75 p. dactylogr., 2 cartes.
- DOBRODEEV (O.P.), PARUNIN (O.B.) 1 973. Nouvelles données concernant l'âge absolu des sols pléistocènes de la plaine russe. Traduct. ORSTOM. Dokl. Akad. Nauk. SSSR, 209, N° 2, p. 426-427.
- DOBREMEZ (J.F.) 1 970. Biogéographie du Centre Népal. Bull. Assoc. géogr. Franç., N° 379-380, p. 79-90.
- DUCHAUFOUR (Ph.) 1 972. Processus de formation des sols. Biochimie et géochimie. CRDP Nancy. Collection études et recherches. p. 182.

- DURAND (J.H.) 1 953. Etude géologique, hydrogéologique et pédologique des croûtes en Algérie. Thèse Ing. Dr. Alger. Serv. Et Scient. Alger. p. 209.
- DURAND (J.H.) 1 959. Les sols rouges et les croûtes en Algérie . S.E.S. Algérie Etude Gle N° 7, 187 p.
- EMILIANI (C.) 1 972. Quaternary hypsithermals. Quaternary Research 2, p. 270-273.
- FAIRBRIDGE (R.W.) 1 972. Climatology of a glacial cycle. Quaternary Research, 2, p. 283-302.
- FAO/SF : 9/AFG/19. Survey of Land and Water Ressources. Afghanistan. Vol. IV, 184 p. cartes, Y.M. NASSIROV.
- FAURE (H.) 1 966. Reconnaissance géologique des formations sédimentaires post-paléozoïques du Niger oriental. Mém. B.R.G.M. N° 47, 630 p., 12 pl. cartes.
- FEDOROV (P.V.) 1 971. Postglacial transgression of the Black Sea. Internat. Geology Rev. v. 14, N° 2, p. 160-164.
- FLAYEH H. ALTAIR, SYS (C.), STOOPS (G.) 1 969. Soil groups of Iraq. Their classification and characterisation. Pédologie XIX, 1, p. 65-148.
- FURON (R.) 1 926. L'Hindou Kouch et le Kaboulistan. Contribution à l'étude géologique et géomorphologique de l'Afghanistan Paris, 169 p., 23 fig., 10 pl. 1 carte.
- GILE (L.H.) 1 961.
- GILE (L.H.), PETERSON (F.F.), GROSSMAN (R.B.) 1 965 } in RUELLAN (1 971).
- GOUDIE (A.S.), ALLCHIN (B.) HEGDE (K.T.M.) 1 973. The former extensions of the great indian sand desert. The Geographical journal. Vol. 139, p. 243-257.
- GREBE (W.H.), HOMILIUS (J.) 1 968. Uber Beckenablagerungen in den intramontanen Becken von Kabul/Afghanistan. Geol. Jb., 85, p. 669-688.
- GROSS 1 958 in LAMB (1 971).
- GROTZBACH (E.), RATHJENS (C.) 1 969. La glaciation actuelle et au Pléistocène supérieur, dans l'Hindou Kouch afghan. Z. Geomorph. Suppl. Bd. 8, p. 58-75. Traduct. ORSTOM.
- HAMMEN (Van der) and a/ (1 967) in LAMB (H.H.) 1 971.
- HAYON (J.C.), KILBERTUS (G.), PELT (J.M.) 1 968. Flore et végétation d'un barrage de travertin en Afghanistan Central (Ziarat de Band I Amir). 10 p. dactyl.
- HAYON (J.C.), PELT (J.M.), YOUNOS (M.C.) 1 968. Les formations végétales de la basse vallée du Kounar (Afghanistan Oriental). C.R. Acad. Sci. Paris, t. 266, p. 2 086-2 089.
- HAYON (J.C.), PELT (J.M.), YOUNOS (M.C.) 1 968. La flore et la végétation de la vallée moyenne du kabul et des massifs montagneux du Nuristan (Afghanistan). 45 p. dactyl.
- HENIN (S.), MONNIER (G.), COMBEAU (A.) 1 958. Méthode pour l'étude de la stabilité structurale des sols. Ann. Agron., p. 71-90.
- HENIN (S.), FEODOROFF (A.), GRAS (R.), MONNIER (G.) 1 960. Le profil cultural. Soc. Ed. Ing. Agric., Paris XXIV, 320 p.
- HERMAN (N.M.), ZILLHARDT (J.), LALANDE (P.) 1 971. Recueil des données des stations météorologiques de l'Afghanistan. Public. Inst. Météorol. N° 2. Kabul 58 p.
- HOLLAND (T.H.), CHRISTIE (W.A.K.) 1 909 in SINGH *et al* (1 972).
- HSU (1 967) in MICHAUD (1 969).
- HUNTINGTON (E.) 1 905. The basin of eastern Persia and Seistan. IN : «Exploration in Turkestan with an account of the basin of eastern Persia and Seistan. Carnegie Inst. Publ. N° 26, p. 219-317. Washington.
- ISOTOPES TELEDYNE. New Jersey U.S.A. Datations isotopiques.

- JUX (U.), KEMPF (E.K.) 1 971. Staussen durch Travertinabsatz im zentralafghanischen Hochgebirge. Z. Geomorph. Bd. 12, p. 107-137.
- KAISER (K.) KEMPF (E.K.), LEROI-GOURHAN (A.), SCHUTT (H.) 1 973. Quatarstratigraphische Untersuchungen aus dem Damaskus-Becken Z. Géomorph. NF, 17-3, p. 263-353.
- KOHLER (R.), HELLMERS (J.H.) 1 938. Bodenphysikalische und mineralogische Beschreibung eines Lobvorkommens aus dem Tal des Wardak in Afghanistan. Zeitschrift für praktische Geologie p. 207-211.
- KOVDA (V.A.), SAMOILOVA (E.M.) 1 969. Some problems of soda salinity. Agrokém. és Talajtan, 18, supplementum, p. 21-36.
- KRINSLEY (D.B.) 1 970. A geomorphological and paleoclimatological study of the playas of Iran US. Air Force Cambridge Research Lab. Pt. 1, p. 1-329. Pt. 2, p. 330-486.
- LALANDE (P.) 1 967. Généralités sur la végétation du Safed Koh et de son prolongement occidental. Trav. Lab. for de Toulouse t. 4, vol. III, art. 1, 8 p.  
1 968. Observations sur quelques arbres afghans. Trav. Lab. for. de Toulouse, t.v, vol. III, art. II, 6 p.  
1 968. Généralités sur la végétation du bassin de Kabul en Afghanistan. Trav. Lab. for. de Toulouse, t. V., vol. III, art. III, 17 p.  
1 968. Etage à genévriers en Afghanistan. C.R. Acad. Sci. Paris, t. 267, p. 503-504.
- LALOU (1 957) in MICHARD (1 969).
- LAMB (H.H.) 1 971. Climates and circulation regimes developed over the northern hemisphere during and since the last ice age Palaeo (geogr., climat., ecol.), vol. 10, N° 2/3, p. 125-162.
- LANG (J.) 1 968. La série néogène de Bamian (Afghanistan) C.R. Acad. Sci. Paris, t. 266, p. 2 383-2 384.
- LANG (J.) 1 975. Un modèle de sédimentation molassique continentale en climat semi-aride : bassins intramontagneux cénozoïques de l'Afghanistan central. Thèse 275 p. multigr. et annexes.
- LANG (J.), LUCAS (G.) 1 970. Contribution à l'étude des biohermes continentaux : barrages de Band I Amir. Bull. Soc. géol. Fr. (7), XII, N° 5, p. 834-842.
- LANG (J.), PIAS (J.) 1 971. Morphogenèse «dunaire» et pédogenèse dans le bassin intramontagneux de Bamian. Rev. géogr. phys. géol. dynam. (2), vol. XIII, fasc. 4, p. 359-368.
- LANG (J.), PIERRE (J.F.) 1 974. Contribution à l'étude des diatomées de quelques dépôts actuels hydrothermaux et lacustres dans l'Afghanistan Central. Bull. Acad. Soc. Lorraine Sci. Fr., 13, N° 1, p. 39-54.
- LAPPARENT (A.F. de) 1 966. Les dépôts de travertins des montagnes afghanes à l'O de Kabul. Rev. géogr. phys. géol. dynam. vol. VIII, fasc. 5, p. 351-357.
- LAPPARENT (A.F. de) 1 972. L'Afghanistan et la dérive des continents. Rev. géogr. phys. géol. dynam. (2), vol. XIV, fasc. 4, p. 449-456.
- LAPPARENT (A.F. de), BOUYX (E.), et PIAS (J.) 1 972. Phénomènes glaciaires et périglaciaires dans la Montagne de Bamyan (Hindu Kuch occidental, Afghanistan). C.R. Acad. Sci. Paris t. 274, p. 2 141-2 144.
- LEGRIS (P.) Correspondances échangées sur des analyses palynologiques effectuées par le Docteur THANIKAIMONI de l'Institut Français de Pondichéry.
- LEPOUTRE (B.), SAUVAGEOT (A.) 1 969. Sur la question de la solubilité et des conditions in situ de précipitation des carbonates et Ca et Mg. Cah. ORSTOM, Pédol. vol. VII, N° 2, p. 183-201.
- LIU Tung-Sheng (1 967). Collected works on China's loess soil. 350 p. US Department of Commerce Clearinghouse for Federal Scientific and Technical Information. Washington.

- LOBOVA (E.V.) 1 960. Soils of the desert zone of the URSS, 405 p. Israel Program for Scientific Translations. Jérusalem 1 967.
- LUCAS (G.) 1 970. Formations construites. Essais de classification et d'interprétation. C.R. Acad. Sci. Paris, t. 270, p. 1 417-1 420.
- MALEY (J.) 1 973. Mécanisme des changements climatiques aux basses latitudes. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 14, p. 193-227.
- MARTIN (L.), DELIBRIAS (G.) 1 972. Schéma des variations du niveau de la mer en Côte d'Ivoire depuis 25.000 ans C.R. Acad. Sci. Paris, t. 274, p. 2 848-2 851.
- 1 – MENNESSIER (G.) 1 963. Sur l'évolution du réseau hydrographique de la province de Kaboul (Afghanistan) depuis le Miocène. C.R. Soc. géol. Fr. fasc. 2, p. 29-30, 1 fig.
- MENNESSIER (G.) 1 968. Etude tectonique des montagnes de la région de Kaboul. Extrait des notes et mémoires sur le Moyen Orient. Tome IX. Muséum d'Histoire Naturelle. 185 p.
- MENNESSIER (G.) 1 972. Géologie de la chaîne d'Altimour (Afghanistan Central). Rev. géogr. phys. géol. dynam. (2), vol. XIV, fasc. 4, p. 345-356.
- MICHARD (A.) 1 969. Les dolomies. T. 22, fasc. 1. Bull. Serv. Carte géol. d'Alsace Lorraine 92 p.
- MILLOT (G.) 1 964. Géologie des argiles. Masson. Paris 499 p.
- MILLOT (G.), PAQUET (H.), RUELLAN (A.) 1 969. Néof ormation de l'attapulgite dans les ois à carapaces calcaires de la Basse Moulouya (Maroc Occidental). C.R. Acad. Sci., Paris, t. 268, p. 2 771 - 2 774.
- MONTENAS (C.) 1 973. Les formations néogènes et quaternaires du Levant espagnol (Province d'Alicante et de Murcia). Thèse t. II, p. 647-950 dactyl.
- MORELLI (J.), BUART MENARD (P.), CHESSELET (R.) 1 971. Mise en évidence dans l'atmosphère marine d'aérosols enrichis en potassium et calcium ayant la surface de la mer pour origine. C.R. Acad. Sci. Paris 272, p. 812-815.
- MOROZOVA (T.D.) 1 972. Evolution of soil formation processes on the Russian plain during the Quaternary. Translated from Pochvovedeniye 1 972. N° 7 : 3-10. Soviet Soil Science p. 385-390.
- NIKONOV (A.A.) 1 970. Analyse différenciée de la tectonique quaternaire de la dépression Afghano-Tadjike. Geotektonika N° 1, p. 101-107. Traduct. CNRS.
- NIKONOV (A.A.) 1 971. Sur les roches de loess du nord de l'Afghanistan Bjuil. moskov. Obscestv. Ispytatel. Prirody, otd. Geol., 5 : 80-86. Traduct. ORSTOM.
- NGUYEN HUU VAN, LANG (J.), ELBEZ (G.), LALOU (C.), LUCAS (G.) 1 973. Existence d'un déséquilibre élevé entre les isotopes de l'uranium. Influence sur la datation des travertins de Bamian (Afghanistan Central) par la méthode 230 Th/234 U. C.R. Acad. Sci. Paris, t. 276, p. 2 233-2 236.
- OLLAT (C.) 1 970. Recherche et formation en matière d'irrigation avec des eaux salées (Tunisie). Tech. Rpt/UNESCO/UNDP (SF) Tun. 5, 193 p. Tableaux et figures.
- OPPENHEIMER, ROHRER 1 958 in MICHARD (A.) 1 969.
- OZENDA (P.) 1 958 in HAYON (J.C.) 1 968.
- PEERLKAMP (P.K.), BOEKEL (Ir. P.) 1 960. Moisture retention by soils. Versl. Meded. Comm. Hydrol. Onderz. T.N.O. N° 5, p. 122-138.
- PELT (J.M.), HAYON (J.C.) YOUNOS (C.) 1 968. Sur la flore et la végétation d'une zone halophile stepique en bordure de l'Amou Daria (Afghanistan). C.R. Acad. Sci. Paris, t. 267, p. 505-508.
- PELT (J.M.), HAYON (J.C.), YOUNOS (C.) 1 968. Sur la flore et la végétation des bords du lac Ab I Istada. 10 p. dactyl.
- PELT (J.M.), HAYON (J.C.), MARLIN (P.), YOUNOS (C.) 1 970. La végétation de la vallée d'Hajar (Afghanistan Central). 14 p. dactyl.

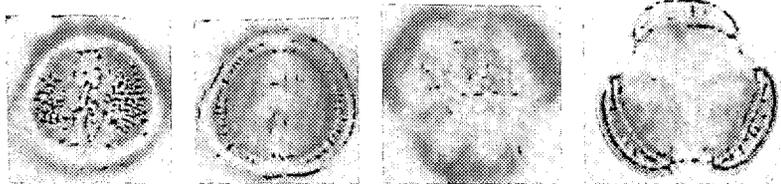
- PIAS (J.) 1 967. Quatre deltas successifs du Chari au Quaternaire (Républiques du Tchad et du Cameroun). C.R. Acad. Sci., Paris t. 264, p. 2 357-2 360.
- PIAS (J.) 1 971. Contribution à l'étude des formations sédimentaires tertiaires et quaternaires de la Cuvette Tchadienne et des sols qui en dérivent (République du Tchad). Mémoire ORSTOM N° 43, 407 p. 2 cartes au 1/1.000.000.
- PIAS (J.) 1 971. Les loess en Afghanistan Oriental et leur pédogenèses successives au Quaternaire récent. C.R. Acad. Sci. Paris, t. 272, p. 1 602-1 605.
- PIAS (J.) 1 972. Signification géologique, pédologique et paléoclimatique des formations paléolacustres et deltaïques au Séistan (Afghanistan méridional). C.R. Acad. Sci. Paris, t. 274, p. 1 143-1 146.
- PIAS (J.) 1 972. Sols d'Afghanistan. Pédogenèses anciennes et actuelles. Rev. géogr. phys. géol. dynam. (2), vol. XIV, fasc. 4, p. 433-442.
- PIAS (J.) 1 973. Signification de la présence de pollens de Chénopodiacées dans des croûtes et encroûtements calcaires du Quaternaire récent en Afghanistan. C.R. Acad. Sci. Paris t. 276, p. 2 509-2 512.
- PIAS (J.) 1 974. Pédogenèses et accumulations calcaires successives en Afghanistan au cours des quarante derniers millénaires. C.R. Acad. Sci. Paris, t. 278, p. 2 625-2 628.
- PIAS (J.) GUICHARD (E.) 1 957. Origine et conséquence de l'existence d'un cordon sableux dans la partie Sud-Ouest de la cuvette Tchadienne. C.R. Acad. Sci., Paris, t. 244, p. 791-793.
- PIAS (J.), STUCKMANN 1 970. Les inondations de Septembre-Octobre 1 969 en Tunisie. UNESCO. N° de sér. : 1 957/BMS.RD/SCE 51 p.
- RAO (T.S.), PAGE (A.L.), COLEMAN (N.T.) 1 968. The influence of ionic strength and iron pair formation between alkaline-earth metals and sulfate on Na/ divalent cation-exchange equilibria. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., vol. 32, p. 639-643.
- RAUFI (F.) SICKENBERG (O.) 1 973. Etude sur la géologie et la paléontologie des bassins de Laghman et de Djalalabad. Geolog. Jahrb., R.B., H.3. Résumé p. 64-65.
- RAYNAUD (D.) DELMAS (R.), BOTTER (R.) 1 973. Composition des gaz contenus dans les glaces polaires. Rés. p. 354. Réunion. ann. Sci. de la terre. Paris 19 - 22 Mars 1 973.
- RAYNAUD (R.), LORIUS (C.) 1 973. Occlusions gazeuses dans les glaces polaires : implications climatiques. Rés. p. 355. Réunion. ann. Sci. de la terre. Paris 19 - 22 Mars 1 973.
- REEVES (C.C.), PARRY (W.T.) 1 965. Geology of West Texas Pluvial Lake Carbonates. American Journal of Science, vol. 263, 7, p. 606-615.
- REITAN (C.H.), GREEN (C.R.) 1 968. Appraisal of research on weather and climate of desert environments. In : «Deserts of the World», p. 21-92. Univ. Arizona Press, Tucson.
- ROZANOV (A.N.) 1 945. The soil of Afghanistan. Pochvovededniye N° 3-4, p. 199-208.
- ROZANOV (A.N.) 1 951. The serozems fo Central Asia. Israel Program for Scientific Translations. Jérusalem 1 961. 541 p.
- RUELLAN (A.) 1 971. Contribution à la connaissance des sols des régions méditerranéennes : les sols à profil calcaire différencié des plaines de la Basse Moulouya (Maroc Oriental). Mémoires ORSTOM N° 54, 302 p.
- SALEM (M.Z.), HOLE (F.D.) 1 969. Soil geography and factors of soil formation in Afghanistan. Soil Science. Vol. 107, N° 4, p. 289-295.
- SALEM (M.Z.) 1 969. Characteristics, genesis and classification of some soils of Afghanistan and a study of ant pedoturbation in a Wisconsin forest soil. 158 p. Thèse. Soil Science. University of Wisconsin. Madison.

- SERVANT (M.) 1 973. Séquences continentales et variations climatiques. Evolution du bassin du Tchad au Cénozoïque supérieur. Paris - ORSTOM, 348 p. multigr.
- Service hydrogéologique d'Afghanistan. Renseignements sur les sondages de la région de Moqur.
- Service hydrologique d'Afghanistan. Renseignements sur les crues des différents fleuves.
- SIFFERT, WEY (1 962) in MILLOT (G.) 1 964.
- SINGH (G.), JOSHI (R.D.), SINGH (A.B.) 1 972. Stratigraphic and radiocarbon evidence for the age and development of three salt lake deposits in Rajasthan, India. *Quaternary Research* 2, p. 496-505.
- SMITH (G.I.) 1 973. Potash and other evaporite resources of Afghanistan. U.S. Geological Survey Project Report, Afghanistan Invest. 62 p.
- SMITH (G.I.) 1 974. Quaternary deposits in southwestern Afghanistan *Quaternary Research* 4, p. 39-52.
- SOGREAH. Rapport pédologique sur la région de Kunduz. Document FAO consulté à la bibliothèque du Service de l'Agriculture à Kabul.
- SUBRAMANIAN (V.), NASIROV (V.), SALEM (M.Z.) 1 962. Generalized soil map of Afghanistan. First soil correlation seminar for South and Central Asia. Soil map of the world FAO/UNESCO project, «World Soil Resources reports», N° 4, p. 56-59.
- Travaux CPCS (1 967). Classification des sols 87 p. multigr.
- TRICART (J.), CAILLEUX (A.) 1 967. Travaux de géomorphologie. Le modelé des régions périglaciaires. Société d'édition d'enseignement supérieur. Paris. 512 p.
- TROLL (1 939) in HAYON (J.C.) *et al* 1 968.
- U.S. Salinity Laboratory Staff 1 954 Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. L.A. Richards, Ed. U.S.D.A. Agricultural Handbook, N° 60. Washington, 160 p.
- U.S.D.A. (1 960) Soil classification. A comprehensive system (7 th approximation). Soil survey staff, soil conservation in service, 295 p.
- U.S.D.A. (1 964-1 967) Supplements to soil classification system (7 th approximation). Soil survey staff, soil conservation. Multigr.
- VOLK (1 951 - 1 953) in HAYON (J.C.) *et al* 1 968.
- WEIPPERT (D.), WITTEKINDT (H.) et WOLFART (R.) 1 970. Zur geologischen Entwicklung von Zentral und Sudafghanistan. *Beih. geol. Jb.* p. 92-99.
- WILBERT (1 962) in RUELLAN (1 971).
- WITTEKINDT (H.), WEIPPERT (D.) 1 973. Geological map of central and southern Afghanistan 1/500.000. Geological Survey of the Federal Republic of Germany. German Geological Mission in Afghanistan Hannover. 4 cartes.
- ZEIST (W. Van) 1 967. Late quaternary végétation history of western Iran. *Rev. Palaeobotan. Palynol.* 2, p. 301-311.
- ZEIST (W. Van), WRIGHT (H.E.) 1 963. Preliminary pollen studies at Lake Zeribar, Zagros Mountains, southwestern Iran. *Science*, 140, p. 65-67.

Achévé  
d'Imprimé  
Ateliers Morel  
9, Rue Vincent Compoint  
PARIS 18<sup>e</sup>

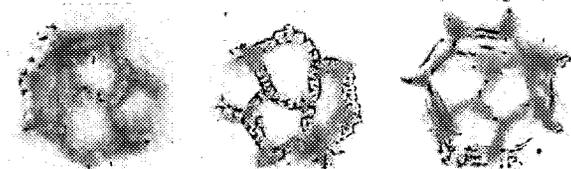
# **PLANCHES PHOTOGRAPHIQUES**

**Clichés ORSTOM  
Photos J. PIAS**



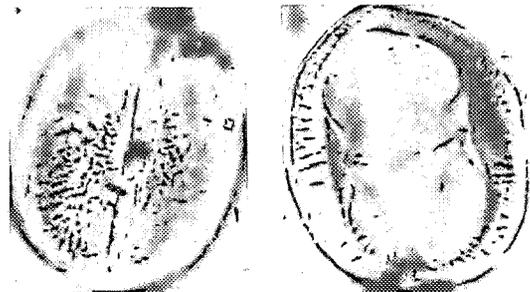
vue méridienne    coupe optique    vue polaire    coupe optique x 1000

*Artemisia (Compositae)*



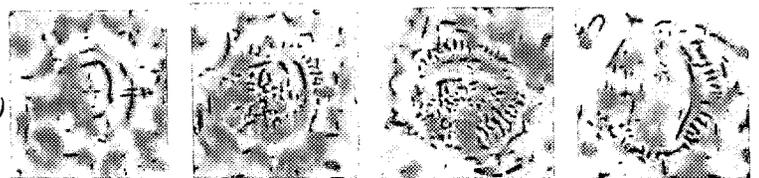
foc. 1    foc. 2    foc. 3    x 500

*Vernonia (Compositae)*

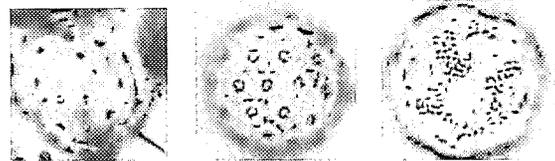


foc. 1    coupe optique x 1000

*Cousinia type (Compositae)*

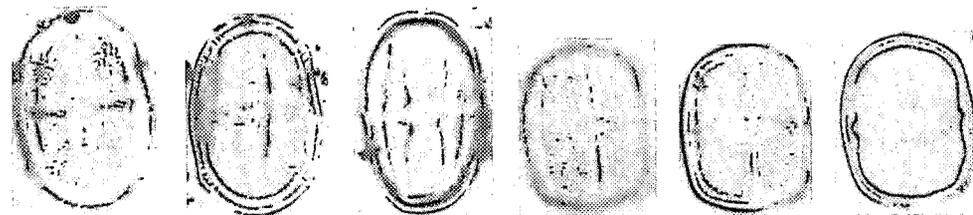


foc. 1    foc. 2    foc. 3    foc. 4 x 1000



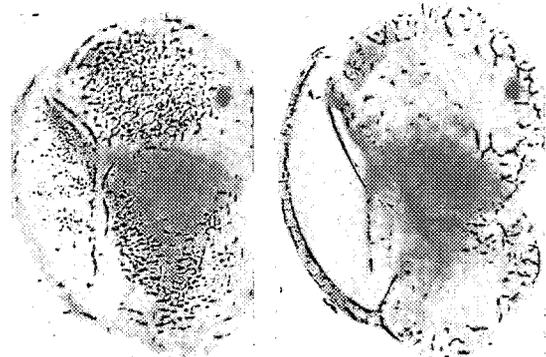
x 1000

*Chenopodiaceae*



foc. 1    foc. 2    foc. 3    foc. 1    foc. 2    foc. 3 x 1000

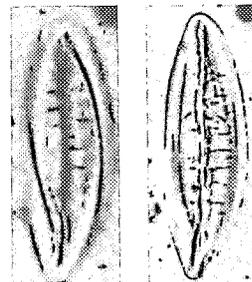
*Umbelliferae*



foc. 1    *Pinus*    foc. 2    x 500



*Betula* x 500



*Ephedra* x 500



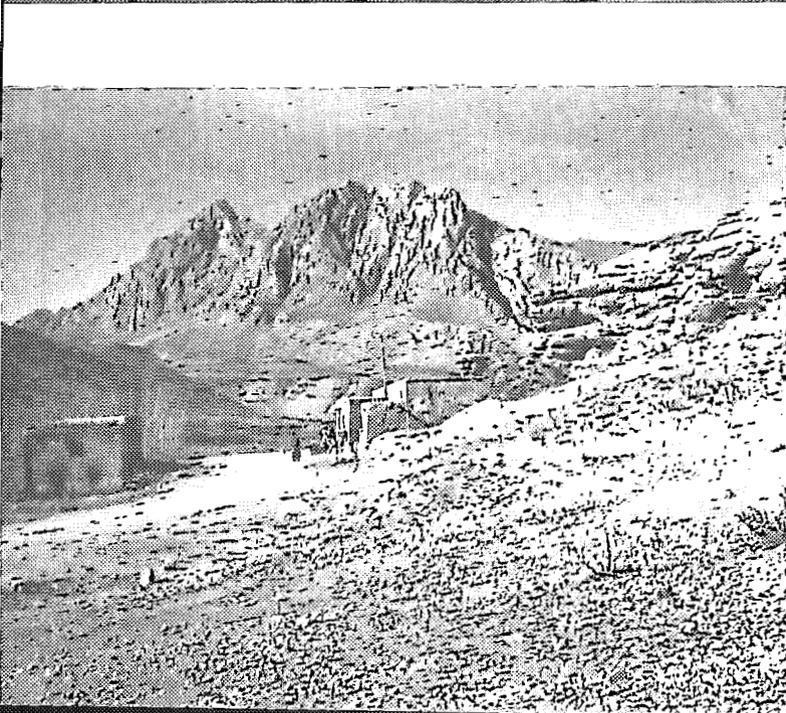
*Alnus* x 1000



1 - Dépression de Khosi. Vallée du Logar



2 - Labour de fin d'automne dans la vallée du Logar



3 - Entrée des gorges d'Altamur. En premier plan, terrasse conglomératique

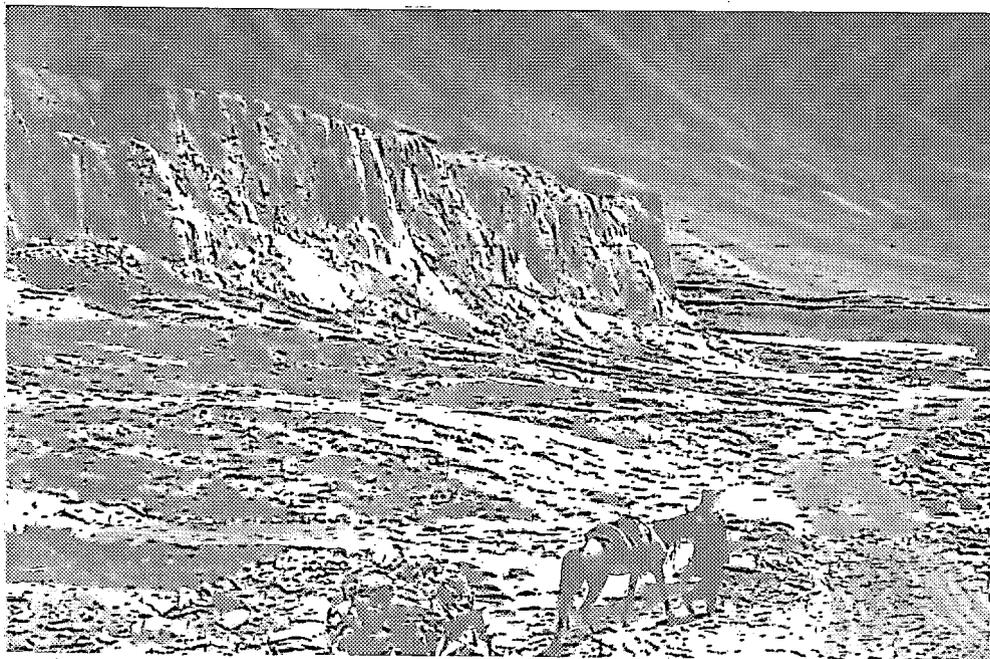
4 - Plateau sous la neige entre Kabul et Ghazni



L'Hindu-Kuch entre Gardan Dewal et Bamyan 5



6 - Barrage de travertin à Band I Amir



La vallée d'Awpar vue du sommet d'un barrage 7





8 - Gorges de l'Helmand Rod entre Behsud et Panjaw

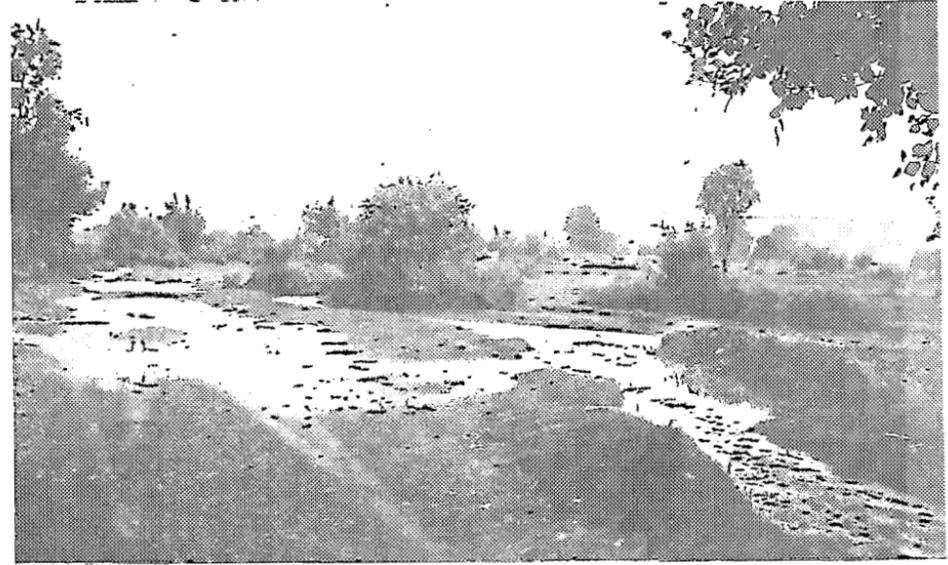


10 - Le Kunar entre Chiga Saraï et Barikot



12 - Descente du col de Sato entre Gerdiz et Khost

13 - Plaine de Khost - Bakh après de fortes pluies en juillet 1971



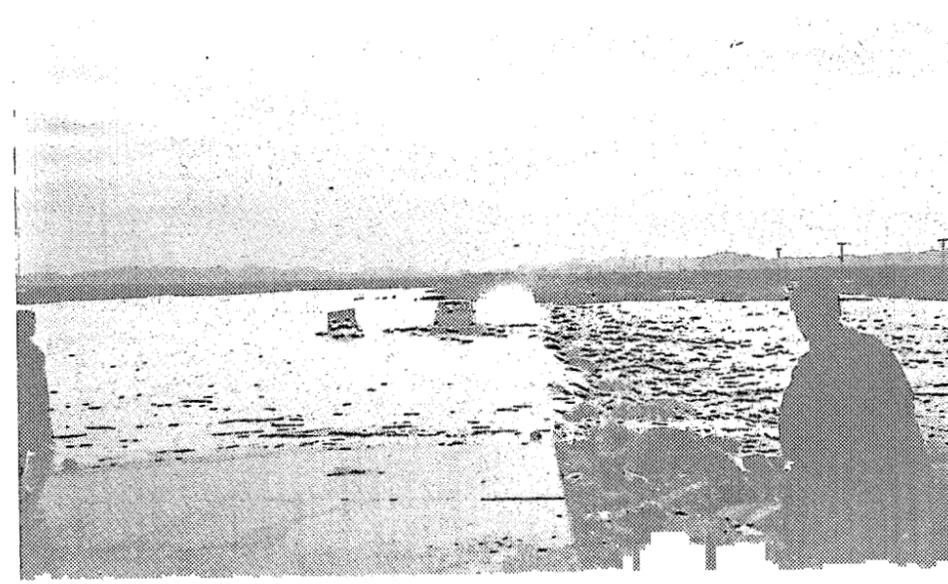
11 - La forêt de conifères dans la montagne de Kamdech. Nuristan

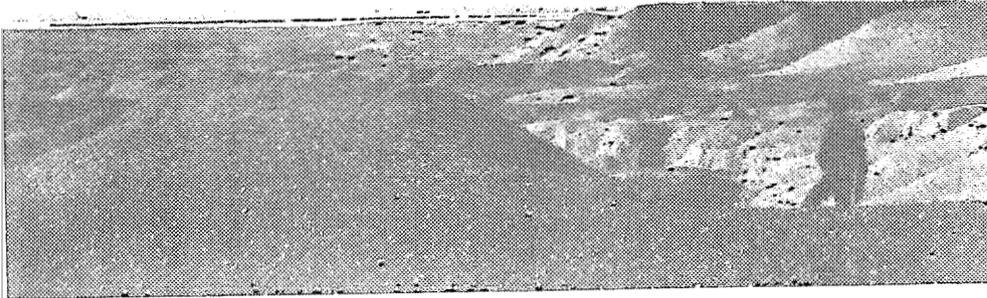


9 - Le Kabul près de Jalalabad. En premier plan, de l'autre coté du fleuve, les formations du Lataband



14 - Inondation et ruissellement sur le «dasht» près de Kandahar après de fortes pluies (décembre 1968)





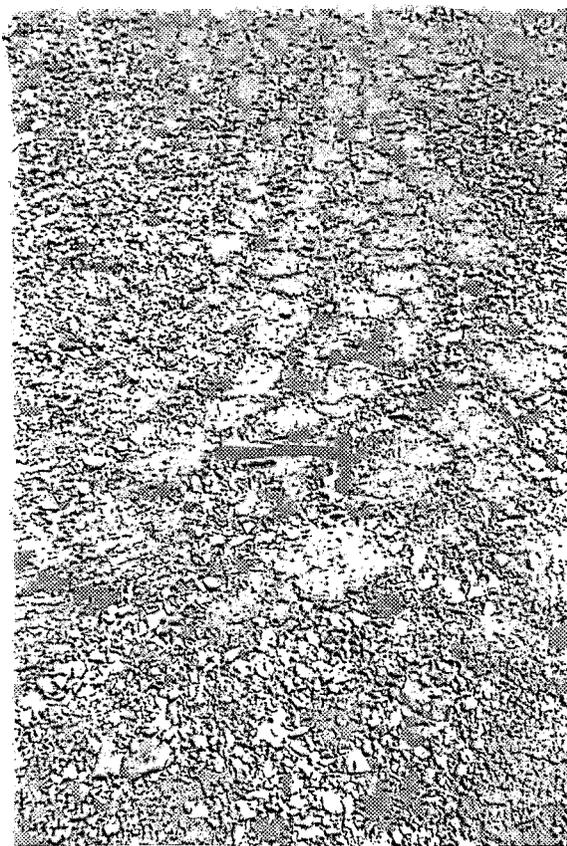
15 - Dépression et lac de Jéhilé Puzak  
Séistan



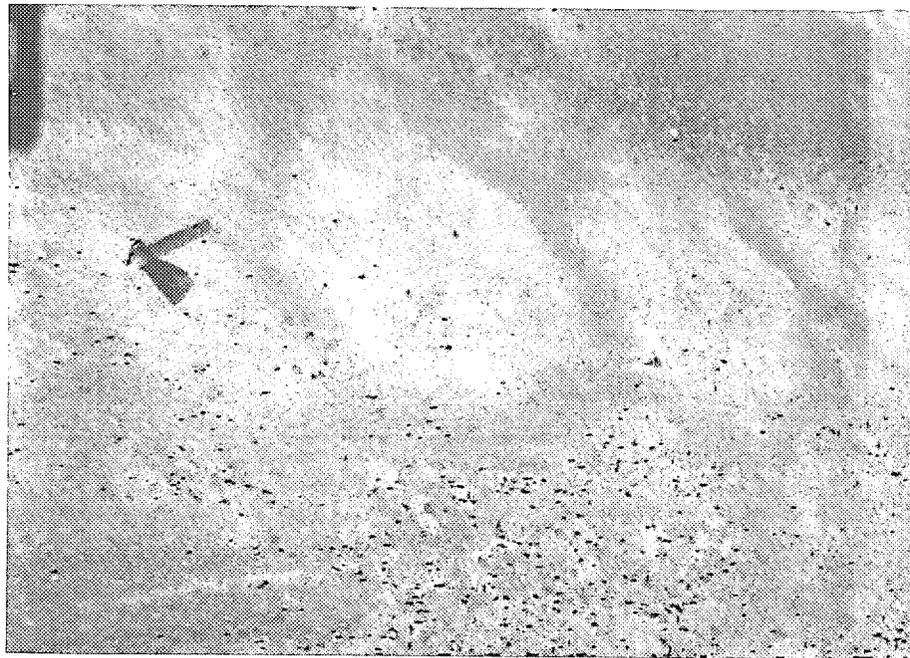
16 - Au fond, cuvette saline sur le « dasht »,  
avec en second plan sur la gauche, pente  
érodée en sol à fort encroûtement gypseux  
Près de Laso Jowayn



17 - Ligne de rupture du « dasht »  
en bordure de l'Helmand Rod  
près de Darwésan



18 - Sols polygonaux actuels.  
Montagne de Bamyan 4000 m



19 - Sols polygonaux fossiles dans la dépression Régestan - Séistan - Margo.  
Altitude 600-800 m

20 - Sols à buttes gazonnées entre Bamyan et Band I Amir. Altitude 2700-3000 m



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

*Direction générale :*

24, rue Bayard, 75008 PARIS

*Services Scientifiques Centraux :*

*Service Central de Documentation :*

70/74, route d'Aulnay - 93140 BONDY

**EDITIONS DU C.N.R.S.**

15, Quai Anatole France

75007 - PARIS

C.C.P. : 9131 - 53 PARIS



ORSTOM et CNRS 1976

ISBN 2 - 222 - 02009 - 3 CNRS

ISBN 2 - 7099 - 0415 - 2 ORSTOM

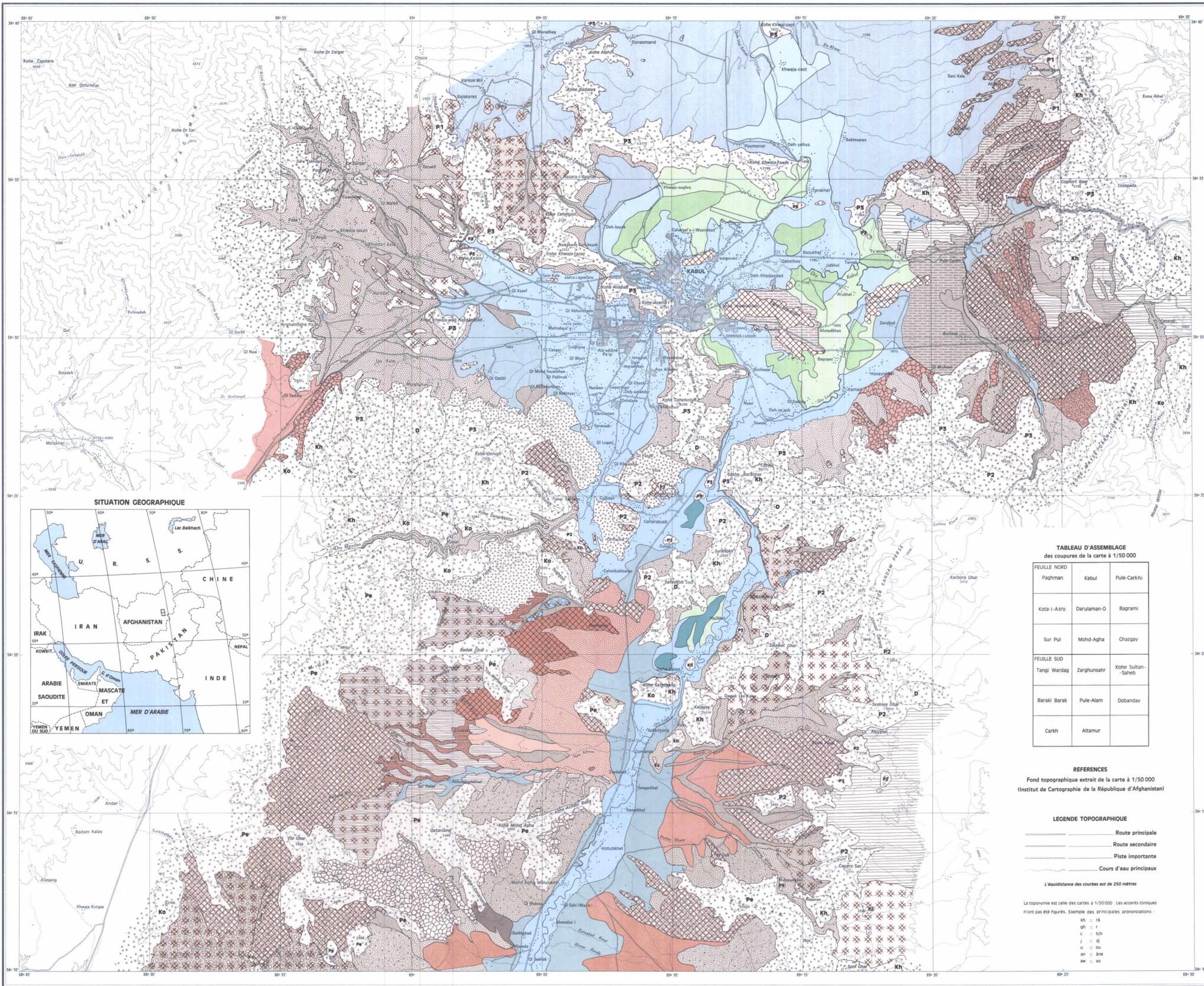
Photo de Couverture : La Vallée d'Awpar (Afghanistan central)  
en premier plan : barrage de travertin.

# ESQUISSE PEDOLOGIQUE BASSINS DU LOGAR ET DU KABUL DANS SON COURS SUPERIEUR

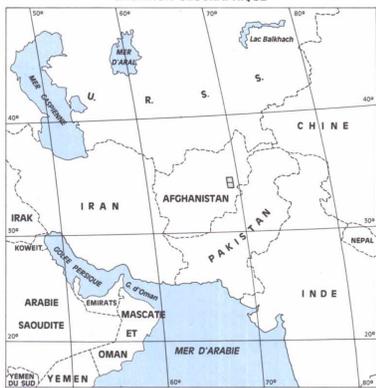
REPUBLIQUE FRANCAISE  
OFFICE DE LA RECHERCHE  
SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE OUTRE MER  
24 Rue Bayard - 75008 PARIS

par J. PIAS  
Directeur de recherches de l'O.R.S.T.O.M.  
Mission Scientifique Française du C.N.R.S. en Afghanistan

REPUBLIQUE FRANCAISE  
CENTRE NATIONAL  
DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE  
15 Quai Anatole France - 75007 PARIS



### SITUATION GEOGRAPHIQUE



### TABEAU D'ASSEMBLAGE des coupures de la carte à 1/50 000

| FEUILLE NORD | Kabul       | Pule-Carkhi       |
|--------------|-------------|-------------------|
| Paghman      | Kabul       | Pule-Carkhi       |
| Kota-I-Astro | Darulaman-O | Bagrami           |
| Sur Pul      | Mohd-Agha   | Ghazgay           |
| FEUILLE SUD  |             |                   |
| Tangi Wardag | Zarghunsahr | Kohe Sultan-Sahab |
| Baraki Barak | Pule-Alam   | Dobanday          |
| Carkhi       | Altamur     |                   |

### REFERENCES

Fond topographique extrait de la carte à 1/50 000  
(Institut de Cartographie de la République d'Afghanistan)

### LEGENDE TOPOGRAPHIQUE

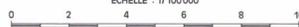
- Route principale
- Route secondaire
- Piste importante
- Cours d'eau principaux

L'équidistance des courbes est de 250 mètres

La toponymie est celle des cartes à 1/50 000. Les accents toniques n'ont pas été figurés. Exemple des principales prononciations :

- kh = f
- gh = t
- c = ch
- j = g
- u = ou
- an = aine
- aw = ad

ECHELLE : 1/100 000



Etudes et travaux sur le terrain achevés en 1971 Service Cartographique de l'O.R.S.T.O.M., L. Séguin 1977

© C.N.R.S. et O.R.S.T.O.M. 1977

### SOLS MINÉRAUX BRUTS D'ORIGINE NON CLIMATIQUE

- 1 Sur roches diverses.
- 2 Sur marne, argile, argile sableuse, rubéfiées dominantes.
- 3 Sur marne, argile, argile sableuse brunes, grises...
- 4 Sur conglomérat fluvioglacière à encroûtement calcaire.
- 5 Sur sable ou grès dominant interstratifiés de marne, argile... parfois à faible recouvrement de limon ou de cailloutis.
- 6 Sur brèche de périodite très démantelée mêlée de produits d'érosion divers.

### SOLS PEU ÉVOLUÉS D'ORIGINE NON CLIMATIQUE MODAUX

- 7 Sur matériau graveleux divers.
- 8 Sur matériau conglomératique.
- 9 Sur marne, argile, argile sableuse.
- 10 Sur limon argileux.

### D'APPORT MODAUX

- 11 Sur matériau graveleux (lit de cours d'eau, cône de déjection).
- 12 Sur matériau plus ou moins graveleux et taches de loess.
- 13 Sur limon sableux ou interstratifications limon-sable.
- 14 Sur limon argileux (loess colluvionné) utilisé surtout en culture sèche ou non cultivé.

PARFOIS INTERGRADÉS VERS DES SOLS HYDROMORPHES MINÉRAUX À PSEUDO-GLEY DE PROFONDEUR

- 15 Sur limon argileux (loess colluvionné) irrigué.

### LEGENDE

### SOLS À DIFFÉRENCIATION CALCAIRE PEU À MOYENNEMENT DIFFÉRENCIÉS À PSEUDO-MYCELIUM, TACHES, AMAS OU PETITS NODULES CALCAIRES À HORIZON PALLIDE

- 16 Sur limon argileux (loess colluvionné).
- 17 Sur limon argileux (loess colluvionné) reposant sur le conglomérat encroûté à faible profondeur.
- 18 Sur limon argileux (loess colluvionné) plus ou moins érodé à couverture bréchique par places.
- 19 Sur matériau plus ou moins graveleux, parfois à léger encroûtement calcaire.

### À PSEUDO-MYCELIUM ET À CARACTÈRES VERTIQUES À HORIZON PALLIDE

- 20 Sur sédiment argileux calcaire ou dolomitique.

### SOLS HYDROMORPHES MINÉRAUX OU PEU HUMIFÈRES À GLEY OU PSEUDO-GLEY À BATTEMENT DE NAPPE OU SUBMERSION

- 21 Sur limon argileux (loess colluvionné) avec parfois tourbe à faible profondeur.

### SOLS SODIQUES À STRUCTURE NON DÉGRADÉE ET DÉGRADÉE, INDIFFÉRENCIÉS SOLS SALINS ET SALINS À ALCALIS

- 22 Sur limon argileux subissant une submersion temporaire (loess colluvionné).
- 23 Sur limon argileux (loess colluvionné).

### ASSOCIATIONS

- 24 Butte téronnée de marne ou de loess à encroûtement calcaire avec recouvrement conglomératique diversement encroûté en voie de démantèlement.
- 25 Identique à 24 très érodé. Conglomérat souvent absent. Eventuellement faible recouvrement limoneux ou graveleux.
- 26 Sédiment rubéfié (2) à recouvrement caillouteux. Encroûtement blanc affleurant dans les talwegs.
- 27 Sédiment rubéfié et produit de colluvionnement (2) sur le relief. Sol à différenciation calcaire (15-19) dans les talwegs.
- 28 Association précédente avec croûte et encroûtement calcaires se superposant au sédiment rubéfié ou parfois à des grès à ciment calcaire.
- 29 Sol à différenciation calcaire (19) encroûtement conglomératique (4). Sol peu évolué d'apport (12).
- 30 Sol à différenciation calcaire (16) sur matériau plus ou moins finement graveleux (colluvions de marne et de sédiments interstratifiés) souvent intergradé vers des sols peu évolués d'apport (12) ou passant latéralement à ceux-ci.
- 31 Sol à différenciation calcaire (16) à recouvrement finement alluvial par places.
- 32 Sol peu évolué d'apport (12) et d'apport (12) alternant avec sol à différenciation calcaire (16).
- 33 Sol à différenciation calcaire (17) avec recouvrement de colluvions caillouteuses par places alternant avec sol peu évolué d'apport (12).
- 34 Association (25) et sol peu évolué d'apport (12).
- 35 Affleurement de roches (1), association (24-25), sols peu évolués d'érosion (7) et d'apport (12).
- 36 Plateau conglomératique encroûté profondément entaillé par des cours d'eau avec sol peu évolué d'apport dans les vallées sèches.
- 37 Ensemble très vallonné, interface en conglomérat ou cailloutis encroûté (4). Dans les talwegs encroûtement blanc sur sédiments fins (marne ou loess colluvionné). En relief plus mou; dans les talwegs, sol peu évolué d'apport (12).
- 38 Conglomérat encroûté profondément entaillé par des vallées en sol peu évolué d'apport (15), souvent en culture.

### PRINCIPALES ROCHES FORMANT LES MASSIFS

- P1 Série de Deh-é-Sabz. Marbre-Quartzite. Précambrien.
- P2 Série de Kabul supérieure. Marbre. Précambrien.
- P3 Série de Kabul inférieure. Gneiss-Quartzite-Micaschiste. Précambrien.
- Al Série d'Altamur. Calcaire. Permo-Trias.
- Ro Série de Rokian. Calcaire-Schiste-Radiolarite. Trias à Santano-Campanien.
- Kh Série de Khingul. Calcaire-Dolomite. Carbonifère supérieur à Sénouien.
- Ko Série de Kotagah. Calcaire-Schiste-Roches verte. Crétaé supérieur à Nummulitique et peut-être Oligocène.
- F Flysch de Dobanday. Lutétien.
- D Diorite.
- Pe Périodite.
- Limite géologique séparant les différentes unités.

d'après la carte géologique de G. Ménézière (1975)

N.B. La légende est générale pour l'ensemble des 2 feuilles de l'esquisse pédologique

Les unités marquées d'un astérisque ne figurent pas sur cette feuille (\*)

OFFICE DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE OUTRE MER  
Service Central de Documentation  
20-24, rue de Valenciennes - 95 BORDY - FRANCE

(FEUILLE NORD)

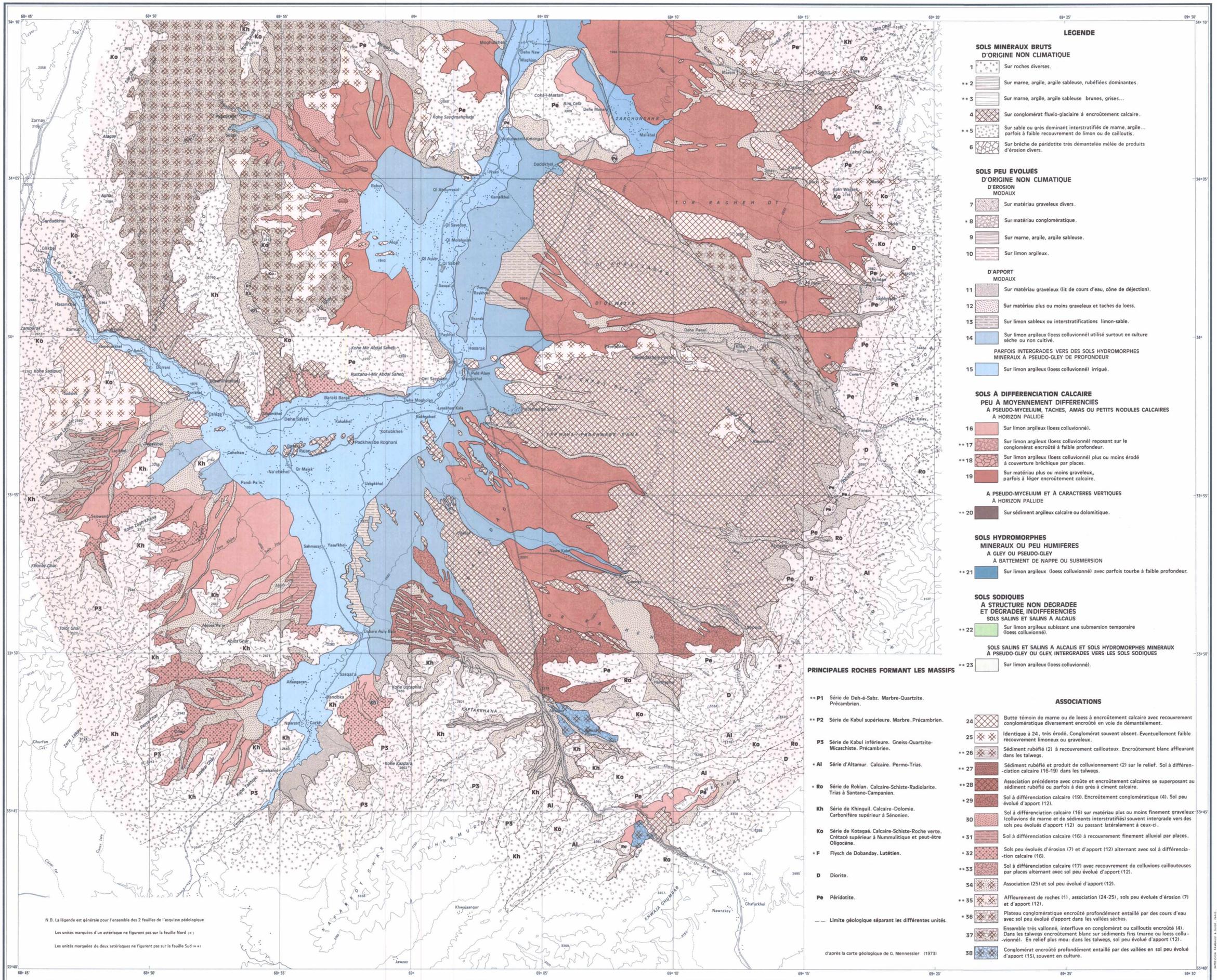
# ESQUISSE PÉDOLOGIQUE BASSINS DU LOGAR ET DU KABUL DANS SON COURS SUPÉRIEUR

par J. PIAS  
Directeur de recherches de l'O.R.S.T.O.M.  
Mission scientifique Française du C.N.R.S. en Afghanistan

(FEUILLE SUD)

REPUBLIQUE FRANÇAISE  
OFFICE DE LA RECHERCHE  
SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE OUTRE-MER  
24 Rue Bayard - 75008 PARIS

REPUBLIQUE FRANÇAISE  
CENTRE NATIONAL  
DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE  
15 Quai Anatole France - 75007 PARIS



- ### LEGENDE
- SOLS MINÉRAUX BRUTS D'ORIGINE NON CLIMATIQUE**
- 1 Sur roches diverses.
  - \*\* 2 Sur marne, argile, argile sableuse, rubéfiées dominantes.
  - \*\* 3 Sur marne, argile, argile sableuse brunes, grises...
  - 4 Sur conglomérat fluvioglacière à encroûtement calcaire.
  - \*\* 5 Sur sable ou grès dominant interstratifiés de marne, argile... parfois à faible recouvrement de limon ou de cailloutis.
  - 6 Sur brèche de péridotite très démantelée mêlée de produits d'érosion divers.
- SOLS PEU ÉVOLUÉS D'ORIGINE NON CLIMATIQUE D'ÉROSION MODAUX**
- 7 Sur matériau graveleux divers.
  - \*\* 8 Sur matériau conglomératique.
  - 9 Sur marne, argile, argile sableuse.
  - 10 Sur limon argileux.
- D'APPORT MODAUX**
- 11 Sur matériau graveleux (lit de cours d'eau, cône de déjection).
  - 12 Sur matériau plus ou moins graveleux et taches de loess.
  - 13 Sur limon sableux ou interstratifications limon-sable.
  - 14 Sur limon argileux (loess colluvionné) utilisé surtout en culture sèche ou non cultivé.
- PARFOIS INTERGRADÉS VERS DES SOLS HYDROMORPHES MINÉRAUX À PSEUDO-GLEY DE PROFONDEUR**
- 15 Sur limon argileux (loess colluvionné) irrigué.
- SOLS À DIFFÉRENCIATION CALCAIRE PEU À MOYENNEMENT DIFFÉRENCIÉS À PSEUDO-MYCELIUM, TACHES, AMAS OU PETITS NODULES CALCAIRES À HORIZON PALLIDE**
- 16 Sur limon argileux (loess colluvionné).
  - \*\* 17 Sur limon argileux (loess colluvionné) reposant sur le conglomérat encroûté à faible profondeur.
  - \*\* 18 Sur limon argileux (loess colluvionné) plus ou moins érodé à couverture bréchique par places.
  - 19 Sur matériau plus ou moins graveleux, parfois à léger encroûtement calcaire.
- À PSEUDO-MYCELIUM ET À CARACTÈRES VERTIQUES À HORIZON PALLIDE**
- \*\* 20 Sur sédiment argileux calcaire ou dolomitique.
- SOLS HYDROMORPHES MINÉRAUX OU PEU HUMIFÈRES À GLEY OU PSEUDO-GLEY À BATTEMENT DE NAPPE OU SUBMERSION**
- \*\* 21 Sur limon argileux (loess colluvionné) avec parfois tourbe à faible profondeur.
- SOLS SODIQUES À STRUCTURE NON DÉGRADÉE ET DÉGRADÉE, INDIFFÉRENCIÉS SOLS SALINS ET SALINS À ALCALIS**
- \*\* 22 Sur limon argileux subissant une submersion temporaire (loess colluvionné).
- SOLS SALINS ET SALINS À ALCALIS ET SOLS HYDROMORPHES MINÉRAUX À PSEUDO-GLEY OU GLEY, INTERGRADÉS VERS LES SOLS SODIQUES**
- \*\* 23 Sur limon argileux (loess colluvionné).

### PRINCIPALES ROCHES FORMANT LES MASSIFS

- \*\* P1 Série de Deh-é-Sabz. Marbre-Quartzite. Précambrien.
  - \*\* P2 Série de Kabul supérieure. Marbre. Précambrien.
  - PS Série de Kabul inférieure. Gneiss-Quartzite-Micaschiste. Précambrien.
  - AI Série d'Altamur. Calcaire. Permo-Trias.
  - Ro Série de Rokian. Calcaire-Schiste-Radiolarite. Trias à Santano-Campanien.
  - Kh Série de Khinguil. Calcaire-Dolomie. Carbonifère supérieur à Sénonien.
  - Ko Série de Kotagahé. Calcaire-Schiste-Roches vertes. Crétacé supérieur à Nummulitique et peut-être Oligocène.
  - F Flysch de Dobanday. Lutétien.
  - D Diorite.
  - Pe Péridotite.
- Limite géologique séparant les différentes unités.

d'après la carte géologique de G. Menessier (1973)

- ### ASSOCIATIONS
- 24 Butte témoin de marne ou de loess à encroûtement calcaire avec recouvrement conglomératique diversément encroûté en voie de démantèlement.
  - 25 Identique à 24, très érodé. Conglomérat souvent absent. Eventuellement faible recouvrement limoneux ou graveleux.
  - \*\* 26 Sédiment rubéfié (2) à recouvrement caillouteux. Encroûtement blanc affleurant dans les talwegs.
  - \*\* 27 Sédiment rubéfié et produit de colluvionnement (2) sur le relief. Sol à différenciation calcaire (16-19) dans les talwegs.
  - \*\* 28 Association précédente avec croûte et encroûtement calcaires se superposant au sédiment rubéfié ou parfois à des grès à ciment calcaire.
  - \*\* 29 Sol à différenciation calcaire (19). Encroûtement conglomératique (4). Sol peu évolué d'apport (12).
  - 30 Sol à différenciation calcaire (16) sur matériau plus ou moins finement graveleux (colluvions de marne et de sédiments interstratifiés) souvent intergrade vers des sols peu évolués d'apport (12) ou passant latéralement à ceux-ci.
  - \*\* 31 Sol à différenciation calcaire (16) à recouvrement finement alluvial par places.
  - \*\* 32 Sols peu évolués d'érosion (7) et d'apport (12) alternant avec sol à différenciation calcaire (16).
  - \*\* 33 Sol à différenciation calcaire (17) avec recouvrement de colluvions caillouteuses par places alternant avec sol peu évolué d'apport (12).
  - \*\* 34 Association (25) et sol peu évolué d'apport (12).
  - \*\* 35 Affleurement de roches (11, association (24-25), sols peu évolués d'érosion (7) et d'apport (12).
  - \*\* 36 Plateau conglomératique encroûté profondément entaillé par des cours d'eau avec sol peu évolué d'apport dans les vallées sèches.
  - \*\* 37 Ensemble très vallonné, interfluve en conglomérat ou cailloutis encroûté (4). Dans les talwegs encroûtement blanc sur sédiments fins (marne ou loess colluvionné). En relief plus mou; dans les talwegs, sol peu évolué d'apport (12).
  - \*\* 38 Conglomérat encroûté profondément entaillé par des vallées en sol peu évolué d'apport (15), souvent en culture.

N.B. La légende est générale pour l'ensemble des 2 feuilles de l'esquisse pédologique.  
Les unités marquées d'un astérisque ne figurent pas sur la feuille Nord (←).  
Les unités marquées de deux astérisques ne figurent pas sur la feuille Sud (←).

# ESQUISSES PÉDOLOGIQUES

par J. PIAS  
Directeur de recherches de l'O.R.S.T.O.M.  
Mission Scientifique Française du C.N.R.S. en Afghanistan

## RÉGION SUD-EST DE KANDAHAR

(Feuille de DE QANDAHAR BAYNULMELALI HAWA'I DAGAR)

## BASSIN DU KABUL DANS LA RÉGION DE JALALABAD

(Feuilles de CAHARBAGH et de JALALABAD)

**SOLS MINÉRAUX BRUTS**  
D'ORIGINE NON CLIMATIQUE  
D'ÉROSION  
LITHOLSOLS

1 Sur roches calcaires et roches volcaniques à intercalations de quartzites. \*

**D'ORIGINE CLIMATIQUE, DES DÉSERTS CHAUDS (XÉRIQUES)**  
INORGANISÉS D'APPORT

2 Barkhanes. Accrolements sableux aux massifs montagneux. Accumulations superficielles en monticules peu accusés.

**SOLS PEU ÉVOLUÉS**  
D'ORIGINE NON CLIMATIQUE  
D'ÉROSION  
LITHIQUES

3 Sur roches calcaires et roches détritiques.

**RÉGOSOLS**  
4 Sur alluvions lacustres ou fluvio-lacustres limono-argileuses, parfois salées.

**D'APPORT MODAUX**  
5 Sur alluvions plus ou moins sableuses à interstratifications de galets conglomératiques.  
6 Sur alluvions lacustres ou fluvio-lacustres limono-argileuses.  
7 Sur alluvions, souvent grossières, à interstratifications plus fines (lit des cours d'eau).

**SOLS SODIQUES**  
À STRUCTURE NON DÉGRADÉE  
SOLS SALINS  
À EFFLORESCENCES SALINES

8 Sur alluvions lacustres ou fluvio-lacustres limono-argileuses.

**SOLS CALCIMAGNÉSIQUES**  
SOLS GYPSEUX  
EN AMAS FRIABLES OU DÉBUT D'ENCRÔTEMENT  
À HALOMORPHIE PLUS OU MOINS ACCUSÉE

9 Sur alluvions, ou colluvions de roches calcaires ou volcaniques (associations 17-18).

**SOLS HYDROMORPHES**  
MINÉRAUX  
À REDISTRIBUTION DU CALCAIRE PAR ACTION DE NAPPE  
À TACHES ABONDANTES OU LÉGER ENCRÔTEMENT

10 Sur alluvions grossières souvent conglomératiques interstratifiées de sédiments plus fins.

à couverture conglomératique superficielle

parfois salés en surface

11 à couverture conglomératique superficielle plus rare

parfois salés en surface. Associés à l'unité 5

12 salés ou intergrade vers les sols salins (dépressions).

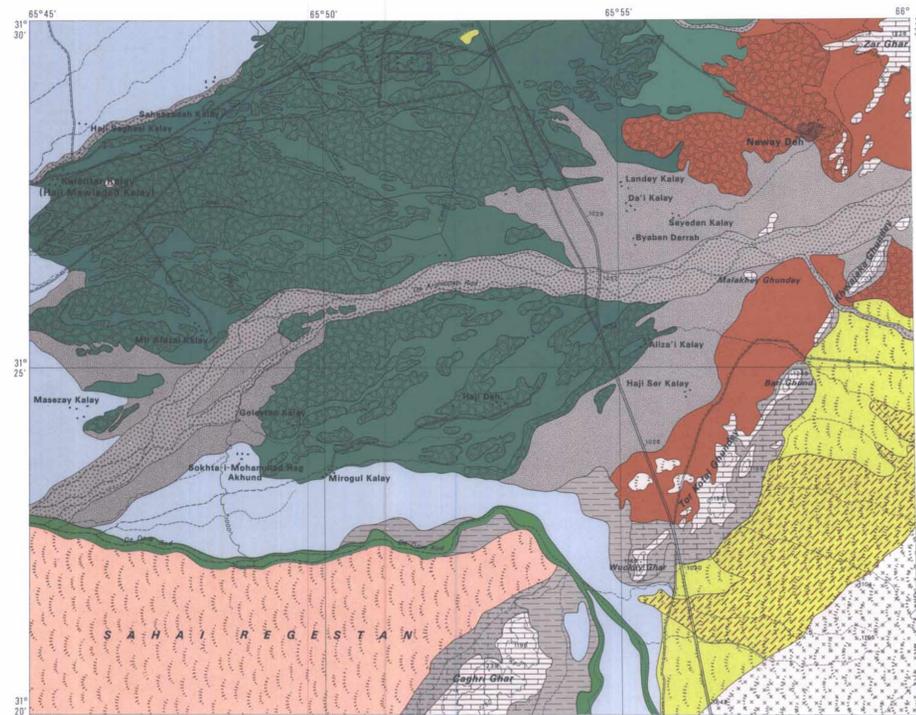
**SOLS À DIFFÉRENCIATION CALCAIRE**  
PEU DIFFÉRENCIÉS  
À POINTS OU TRÈS RARES ET TRÈS PETITS AMAS CALCAIRES  
À HORIZON PALLIDE

13 Sur sable alluvial. Remaniement éolien superficiel donnant des barkhanes. Associés à l'unité 2.

**MOYENNEMENT DIFFÉRENCIÉS**  
À TACHES CALCAIRES PLUS OU MOINS ABONDANTES OU LÉGER ENCRÔTEMENT  
À HORIZON PALLIDE

14 Sur conglomérat fluvio-glaciaire.

15 Sur piedmont de massif calcaire à couverture d'éboulis très fragmentés ou de sable éolien.



### ASSOCIATIONS

Sols minéraux bruts (unité 1) et peu évolués d'érosion (unité 3) sur roches volcaniques à intercalations de quartzites en affleurements multiples formant de petites buttes couvertes d'éboulis.  
- Dans les vallons: apport sableux éolien recouvrant la roche ou les sols précédents (unité 15).  
- Vers la dépression: conglomérat plus ou moins brécheux cimenté par le calcaire.

Relief légèrement vallonné avec talwegs orientés Sud-Est-Nord-Ouest.  
- Buttes: sols à différenciation calcaire faible dans un cailloutis plus ou moins grossier reposant sur un conglomérat peu cimenté.  
- Dépressions: sols gypseux sablo-limoneux sur cailloutis à barbe gypseuse (unité 9).

Relief plan: sols identiques à ceux des dépressions précédentes (unité 9) ou présentant une accumulation gypseuse sous un horizon B Ca à taches. Ensamblage éolien par places.

### SITUATION GÉOGRAPHIQUE



### LÉGENDE TOPOGRAPHIQUE

- Route principale
- Route secondaire
- Piste importante
- Cours d'eau principal
- Canal

L'équidistance des courbes est de 250 mètres

Intercalaires de 125 mètres

La toponymie est celle des cartes à 1/50 000. Les accents toponymiques n'ont pas été figurés. Exemple des principales prononciations:

- kh = 18
- gh = 7
- c = 10h
- j = 10
- u = 0u
- an = 10a
- aw = 100

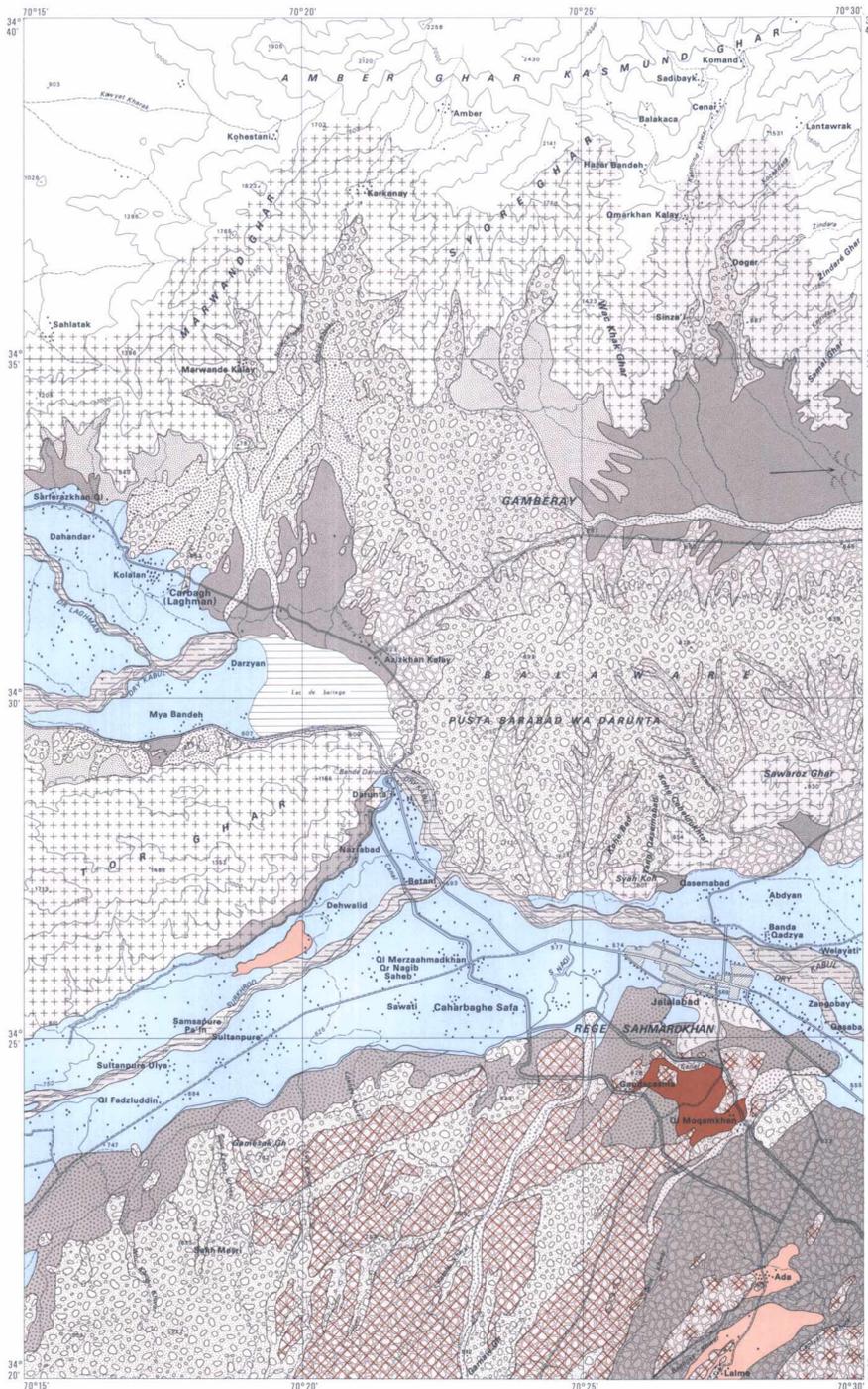
### RÉFÉRENCES

Cartes à 1/50 000 (Institut de Cartographie de la République d'Afghanistan)

Jalalabad: Feuille Nord: CAHARBAGH - N° 511 C II  
Feuille Sud: JALALABAD - N° 511 C IV

Kandahar: Feuille de: DE QANDAHAR BAYNULMELALI HAWA'I DAGAR - N° 606 D IV

\* Carte géologique du Centre et du Sud de l'Afghanistan à 1/500 000 publiée par le service géologique de la République Fédérale d'Allemagne en 1973.



**SOLS MINÉRAUX BRUTS**  
D'ORIGINE NON CLIMATIQUE  
D'ÉROSION  
LITHOLSOLS

1 Sur gneiss, granito-gneiss, phyllites. \*

2 Sur conglomérat fluvio-glaciaire à encroûtement calcaire.

3 Sols identiques à l'unité 2, démantelés et alternant avec l'unité 4 et des sols à couverture limoneuse reposant sur le conglomérat à encroûtement calcaire.

**RÉGOSOLS**  
Sur faciès divers de la série sédimentaire du Latabad.

4 Affleurements de grès, sables et conglomérats, en surface relativement plane.

5 Sols identiques à l'unité 4, très ravinsés.

6 Sols identiques à l'unité 4, démantelés en aval d'une rupture de pente.

**D'APPORT ALLUVIAL**  
7 Très graveleux, en épandage diffus non ordonné.

8 Sur alluvions graveleuses (lit de rivières temporaires).

9 Sur alluvions plus ou moins fines (lit et terrasses de rivières permanentes).

**COLLUVIAL**  
10 Apports grossiers récents se superposant à la surface ancienne plus ou moins démantelée.

11 Apports conglomératiques dans le lit de cours d'eau, formant des cônes de déjection sur le piedmont.

**ÉOLIEN**  
12 Sables limoneux fins se déplaçant sur des sols peu évolués d'apport (limon argileux).

**SOLS PEU ÉVOLUÉS**  
D'ORIGINE NON CLIMATIQUE  
D'ÉROSION  
LITHIQUES

13 Sur éboulis de gneiss, granito-gneiss, phyllites.

**D'APPORT MODAUX**  
14 Sur matériau conglomératique.

15 Sur limon caillouteux.

16 Sur sable et sable limoneux peu caillouteux ou caillouteux par interstratifications.

**MODAUX ET HYDROMORPHES ASSOCIÉS**  
17 Sur limon argileux.

**SOLS À DIFFÉRENCIATION CALCAIRE**  
PEU DIFFÉRENCIÉS  
À ACCUMULATION DIFFUSE  
À HORIZON PALLIDE

18 Sur limon sableux, sable limoneux... limon argileux.

**TRÈS DIFFÉRENCIÉS**  
À DÉBUT D'ENCRÔTEMENT  
À HORIZON PALLIDE

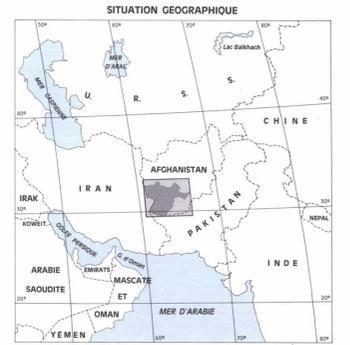
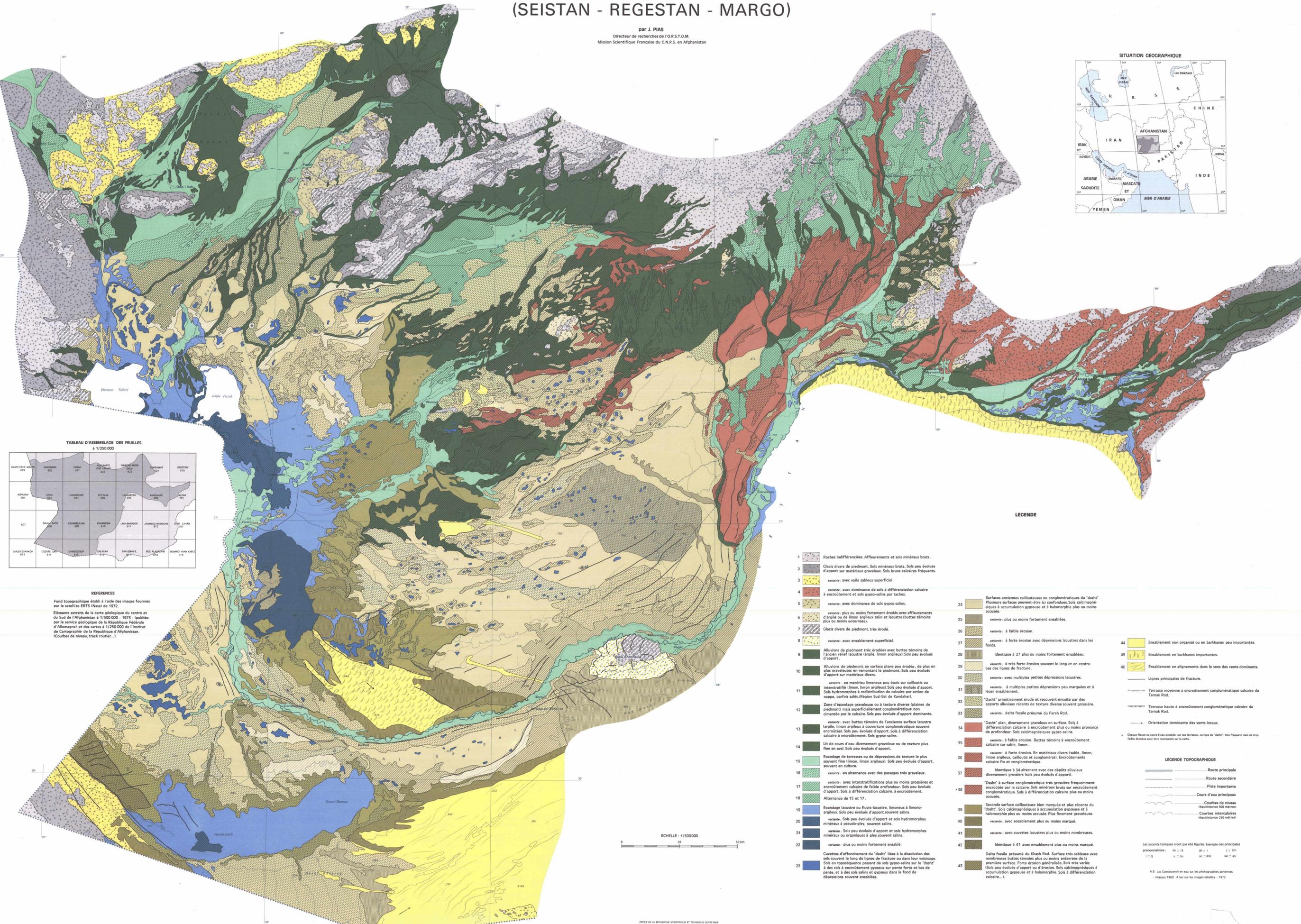
19 Sur limon argileux avec ou sans couverture graveleuse.

→ Sols soumis à la déflation éolienne.

{ } Accumulation éolienne de sables limoneux fins (unité 16) dans la partie Est de la dépression.

# ESQUISSE SÉDIMENTOLOGIQUE ET PÉDOLOGIQUE DE L'AFGHANISTAN MÉRIDIONAL (SEISTAN - REGESTAN - MARGO)

par J. PIAS  
Directeur de recherches de l'O.R.S.T.O.M.  
Mission Scientifique Française du C.N.R.S. en Afghanistan



**TABLEAU D'ASSEMBLAGE DES FEUILLES à 1/250 000**

|                   |               |                |                          |                      |                      |                       |
|-------------------|---------------|----------------|--------------------------|----------------------|----------------------|-----------------------|
| DATE CHE MARI 419 | PARHAKA 420   | FARAH 421      | TRINAVANTE POU CHAKH 422 | MANDEH-SIRA GOLA 423 | GOURNAHAT 424        | OROUSAN 519           |
| AFZARAK 601       | SARAC 602     | CHAVANOUR 603  | KOTJALAK 604             | LABANOUR 605         | KANDOUZE 606         | BOZAK 701             |
| 607               | OKLA RAKH 608 | CANABERLIK 609 | KIVANDON 610             | LAKI BANOUZ 611      | JARANOUZ NERISAN 612 | SIRIK CHAH 702        |
| MALEK DAVOUD 613  | COOPER 614    | SARAKOUDON 615 | FAKACH 616               | SAH EMBERK 617       | REGI AKACHAK 618     | SHAMAND NIVA KARE 713 |

**REFERENCES**  
Fond topographique établi à l'aide des images fournies par le satellite ERTS (Nasa) de 1972.  
Éléments extraits de la carte géologique du centre et du Sud de l'Afghanistan à 1/500 000 - 1973 - (publiée par le service géologique de la République Fédérale d'Allemagne) et des cartes à 1/250 000 de l'Institut de Cartographie de la République d'Afghanistan. (Courbes de niveau, tracé routier...)

**LEGENDE**

- 1 Roches indifférenciées. Affleurements et sols minéraux bruts.
- 2 Glacis divers de piedmont. Sols minéraux bruts. Sols peu évolués d'apport sur matériaux graveleux. Sols bruns calcaires fréquents.
- 3 vaseuse: avec voiles sableuses superficielles.
- 4 vaseuse: avec dominance de sols à différenciation calcaire à encroûtement et sols gypso-salins par taches.
- 5 vaseuse: avec dominance de sols gypso-salins.
- 6 vaseuse: plus ou moins fortement érodés avec affleurements d'argile ou de limon argileux salin et lacustres (buttes témoins plus ou moins enterrées).
- 7 Glacis divers de piedmont, très érodé.
- 8 vaseuse: avec ensablement superficiel.
- 9 Alluvions de piedmont très érodées avec buttes témoins de l'ancien relief lacustre large, limon argileux. Sols peu évolués d'apport.
- 10 Alluvions de piedmont, en surface plane peu érodée, de plus en plus graveleuses en remontant le piedmont. Sols peu évolués d'apport sur matériaux divers.
- 11 vaseuse: en matériaux limoneux peu épais sur cailloutis ou interstratifiés (limon, limon argileux). Sols peu évolués d'apport. Sols hydromorphes à redistribution de calcaire par action de nappe, parfois salés (région Sud-Est de Kandahar).
- 12 Zone d'épandage graveleuse ou à texture diverse (sables de piedmont) mais superficiellement conglomératique non cimentée par le calcaire. Sols peu évolués d'apport dominants.
- 13 vaseuse: avec buttes témoins de l'ancienne surface lacustre large, limon argileux à couverture conglomératique souvent encroûtée. Sols peu évolués d'apport. Sols à différenciation calcaire à encroûtement. Sols gypso-salins.
- 14 Lit de cours d'eau diversement graveleux ou de texture plus fine en aval. Sols peu évolués d'apport.
- 15 Epandage de terrasses ou de dépressions de texture plus ou moins fine (limon, limon argileux). Sols peu évolués d'apport, souvent en culture.
- 16 vaseuse: en alternance avec des passages très graveleux.
- 17 vaseuse: avec interstratifications plus ou moins grossières et encroûtement calcaire de faible approfondissement. Sols peu évolués d'apport. Sols à différenciation calcaire à encroûtement.
- 18 Alternance de 15 et 17.
- 19 Epandage lacustre ou fluvo-lacustre. Limoneux à limono-argileux. Sols peu évolués d'apport souvent salins.
- 20 vaseuse: Sols peu évolués d'apport et sols hydromorphes minéraux à pseudo-gley, souvent salins.
- 21 vaseuse: Sols peu évolués d'apport et sols hydromorphes minéraux ou organiques à gley souvent salins.
- 22 vaseuse: plus ou moins fortement ensablée.
- 23 Cavettes d'effondrement du "dash" liées à la dissolution des sels souvent le long de lignes de fracture ou dans leur voisinage. Sols en topographie passant de sols gypso-salins sur le "dash" à des sols à encroûtement gypsoeux sur pente forte et bas de pente, et à des sols salins et gypsoeux dans le fond de dépressions souvent ensablées.
- 24 Surfaces anciennes caillouteuses ou conglomératiques du "dash". Plusieurs surfaces peuvent être si confondues. Sols calcimagnésiques à accumulation gypsoeuse et à halomorphie plus ou moins accusée.
- 25 vaseuse: plus ou moins fortement ensablées.
- 26 vaseuse: à faible érosion.
- 27 vaseuse: à forte érosion avec dépressions lacustres dans les fonds.
- 28 Identique à 27 plus ou moins fortement ensablées.
- 29 vaseuse: à très forte érosion souvent le long et en contrebas des lignes de fracture.
- 30 vaseuse: avec multiples petites dépressions lacustres.
- 31 vaseuse: à multiples petites dépressions peu marquées et à léger ensablement.
- 32 "Dash" primitivement érodé et recouvert ensuite par des apports alluviaux récents de texture diverse souvent grossière.
- 33 vaseuse: delta fossile présumé du Farah Rod.
- 34 "Dash" plan, diversement graveleux en surface. Sols à différenciation calcaire à encroûtement plus ou moins prononcé de approfondissement. Sols calcimagnésiques gypso-salins.
- 35 vaseuse: à faible érosion. Buttes témoins à encroûtement calcaire sur sable, limon...
- 36 vaseuse: à forte érosion. En matériaux divers (sable, limon, limon argileux, cailloutis et conglomérat). Encroûtements calcaires fins et conglomératiques.
- 37 Identique à 34 alternant avec des dépôts alluviaux diversement grossiers (sols peu évolués d'apport).
- 38 "Dash" à surface conglomératique très grossière fréquemment encroûtée par le calcaire. Sols minéraux bruts sur encroûtement conglomératique. Sols à différenciation calcaire plus ou moins accusée.
- 39 Seconde surface caillouteuse bien marquée et plus récente du "dash". Sols calcimagnésiques à accumulation gypsoeuse et à halomorphie plus ou moins accusée. Plus finement graveleuse.
- 40 vaseuse: avec ensablement plus ou moins marqué.
- 41 vaseuse: avec cuvettes lacustres plus ou moins nombreuses.
- 42 Identique à 41 avec ensablement plus ou moins marqué.
- 43 Delta fossile présumé du Khazh Rod. Surface très sableuse avec nombreuses buttes témoins plus ou moins enterrées de la première surface. Forte érosion généralisée. Sols très variés (Sols peu évolués d'apport ou d'érosion. Sols calcimagnésiques à accumulation gypsoeuse et à halomorphie. Sols à différenciation calcaire...).

**LEGENDE TOPOGRAPHIQUE**

- Route principale
- Route secondaire
- Piste importante
- Cours d'eau principal
- Courbes de niveau (hauteurs: 500 mètres)
- Courbes intercalaires (hauteurs: 250 mètres)

Les accents toniques n'ont pas été figurés. Exemple des principales prononciations: kh = k, gh = g, ch = tch, j = dj, u = ou, an = an, aw = au.

N.B. Lic. Cartographier en eau sur les photographies aériennes - Région 1982. A été sur les images satellite - 1972.

ECHELLE: 1/500 000