

RECONNAISSANCE DES SOLS DANS LES SÉQUENCES BIOCLIMATIQUES ALTITUDINALES DU NÉPAL CENTRAL

par P. BOTTNER (1)

I.- La séquence humide : de 1 000 à 4 500 m d'altitude	86
II.- La séquence steppique	95
Conclusion	97
Bibliographie	99

Parce qu'ils sont situés dans des zones considérées comme zones marginales, et parce qu'ils ne sont généralement pas cultivés, les sols de montagne ont fait l'objet d'études fragmentaires et disparates. Dans l'Himalaya du Népal, l'importance croissante de la pression humaine dans l'exploitation des ressources naturelles (forêts et parcours), et les conséquences qu'elle risque d'entraîner nécessitent une focalisation des recherches sur les sols. Elle est d'autant plus justifiée que, dans le groupement de Recherches Coordonnées HIMALAYA-KARAKORUM du C.N.R.S., des travaux de disciplines complémentaires de la science du sol, telles que la phytogéographie, la bioclimatologie, la géographie physique et humaine, la géologie et l'économie rurale ont été réalisés ou sont en cours dans cette région.

Le présent travail est le résultat d'une mission de six semaines effectuée au Népal en novembre-décembre 1980. Son objet était de faire un inventaire des sols dans deux séquences bioclimatiques altitudinales représentatives du Népal central : définir les caractères morphologiques et physico-chimiques fondamentaux de la couverture pédologique et comprendre son articulation avec les conditions du milieu et en premier lieu avec les étages de végétation.

- Une des séquences couvre les versants sud de la chaîne himalayenne. A toutes les altitudes, le climat y est essentiellement régi par la mousson d'été. Elle est caractérisée par un flux étonnamment régulier de mai à septembre, de masses humides en déséquilibre hydrique et thermique qui, prenant naissance dans le Golfe de Bengale au Sud-Est viennent se heurter en biseau sur les flancs sud de la chaîne himalayenne. Les pluies d'été rarement interrompues diminuent d'intensité d'Est (3000 mm/an en moyenne montagne) en Ouest du Népal (1500 mm/an) ; elles sont abondantes jusqu'à la base de l'étage nival ; une grande hétérogénéité dans la répartition des précipitations est cependant provoquée par la disposition des masses montagneuses et des vallées (LEGRIS, 1963 ; BERTRAND et al., 1973).

- L'autre séquence est située dans la zone transhimalayenne, sur la face Nord des massifs des Annapurna, celle qui fait le lien avec les hauts plateaux tibétains. C'est le domaine steppique, sec, dont l'aridité est due d'une part, aux faibles précipitations, à leur irrégularité (la période sèche peut durer plus d'une année entière) et à l'effet des vents souvent violents qui sévissent toute l'année.

1) Centre d'Etudes Phytosociologiques et Ecologiques L. Emberger - B. P. 5051 -
Route de Mende - 34033 MONTPELLIER Cedex

C'est essentiellement la végétation qui a orienté le choix des sites prospectés. Dans les différents étages bioclimatiques, les sols ont été étudiés dans la mesure du possible sous les formations végétales les plus représentatives de l'étage. L'échantillonnage a été établi à partir des documents cartographiques des milieux publiés par DOBREMEZ et al. (1975) et DOBREMEZ (1976). Dans la séquence sud, les roches-mères étaient relativement homogènes. Dans la séquence nord, le matériel pétrographique était plus diversifié et les profils ont été localisés sur des roches-mères dont les propriétés sont comparables. Ceci était facilité grâce à la carte géologique (au 1/75000) réalisée dans la Thakkhola par BORDET et al. (1971). Enfin une ébauche d'intégration de la couverture pédologique dans les morphostructures et la compréhension de l'organisation des paysages a été tentée à la suite des données de DOLLFUS et USSELMANN (1971) et de BERTRAND et al. (1973) dans la séquence sud et grâce aux schémas paléogéographiques proposés par FORT (1974, 1980), FORT et FREYTET (1979) et COLCHEN et al. (1980) dans la séquence nord.

Au courant de cette première reconnaissance, les sols ont été prospectés essentiellement dans les milieux "naturels", forestiers, herbacés ou steppiques. L'échantillonnage était plus clairsemé dans les milieux de culture profondément remaniés. La compréhension de ce deuxième type de milieu d'un intérêt évident nécessiterait une approche assez différente de celle utilisée dans le présent travail.

Dans ce travail de reconnaissance, les analyses physico-chimiques utilisées sont relativement simples et employées en séries sur un grand nombre d'échantillons : la texture par la pipette Robinson ; le pH (KCl 1N) et (H_2O) à p/v = 1/2,5 ; la capacité d'échange et les bases échangeables par l'extraction à l'acétate de NH_4 à pH 7, puis KCl ; le fer et l'aluminium libre par extraction au réactif de TAMM et à l'hydrosulfite de Na et complexométrie ; le fer et l'aluminium total par fusion au métaborate de lithium puis absorption atomique ; enfin le carbone organique par combustion sèche et l'azote par la méthode Kjeldahl puis colorimétrie ; dans les milieux calcaires, $CaCO_3$ a été dosé par attaque acide et conductimétrie.

I - LA SÉQUENCE HUMIDE : DE 1 000 À 4 500 M D'ALTITUDE

Elle est située au Nord-Ouest de KATHMANDU et débute dans le bassin de Trisuli Bazar (inférieur à 1000 m d'altitude) avec l'étage subtropical, puis la vallée de la Salanku Khola (collinéen et montagnard), elle suit ensuite l'épaulement entre la vallée de l'Ankhu-Khola et celle de la Melung Khola et qui rejoint Rupchet, Pang Sang Pass puis Lari (subalpin et alpin) et se rattache au Paldor (5810 m) extrémité sud du massif de Ganesh-Himal (7020 m).

La pluviométrie varie beaucoup en fonction de l'altitude et de l'exposition. Sur les flancs sud et est, tombent entre 2000 et 3000 mm de pluie par an. Dans les fonds de vallées, elle est encore de l'ordre de 1500 mm. Les hautes vallées qui descendent du Tibet sont parcourues de vents secs venant du Nord.

Les roches-mères sont essentiellement constituées de phyllades de schistes plus ou moins métamorphisés de gneiss et de quartzites qui souvent maintiennent les dorsales. Toutes ces roches donnent généralement origine à des altérites abondantes avec des charges variables en cailloux, fréquemment limono-sableuses ou sablo-limoneuses, toujours pauvres en argiles ; elles sont rubéfiées dans les bas étages et de couleur plus claire en altitude, c'est alors un matériel résiduel faiblement altéré dans lequel s'installe le sol.

1.1. DE L'ETAGE SUBTROPICAL AU COLLINÉEN : DE LA FERSIALITISATION A LA BRUNIFICATION

Deux caractères essentiels définissent les sols de l'étage subtropical :
 - L'altération est du type fersiallitique avec fréquemment une rubéfaction fortement exprimée. Des sols plus ou moins différenciés se sont conservés sur les matériaux de remblaiement du quaternaire et décrits en particulier par HUBSCHMAN et THOURET (1980) dans les bassins de Trisuli Bazar et de Arughat Bazar. Le degré d'altération, du lessivage et du colmatage des horizons profonds est essentiellement fonction de l'âge des surfaces alluviales ; les hautes terrasses portent des sols particulièrement différenciés et ces auteurs attribuent la mise en place du matériel au quaternaire moyen. Les sols rubéfiés se sont également maintenus en plaques discontinues sur les colluviums des collines schisteuses. Ils sont alors généralement peu différenciés et souvent

remaniés, mais le matériel est fortement altéré.

- La forte dégradation essentiellement sous l'action humaine est l'autre caractère fondamental qui a marqué les sols de l'étage subtropical. Outre l'aménagement et la mise en culture des manteaux d'altérites, elle s'exprime dans les zones non cultivées par une ablation partielle ou totale du sol, par un remaniement plus ou moins profond du matériel, ou par un simple appauvrissement en matière organique dans les horizons de surface.

Les zones de transition entre l'étage subtropical et le collinéen ont été étudiées dans les forêts mésophiles à Schima wallichii et à Pinus roxburghii des versants à exposition sud. A la frange de l'étage collinéen, les sols ont des caractères nettement distincts de ceux à forte individualisation des sesquioxydes du bassin de Trisuli Bazar et de ses contreforts. Les différences essentielles résident dans un enrichissement en matière organique de surface et une atténuation ou disparition des couleurs vives de l'horizon B. Elles marquent une tendance à la brunification, le profil argileux et de fer est faiblement différencié. La matière organique, du type mull forestier, distribuée profondément, a un C/N bas. Le complexe adsorbant est faiblement saturé dès la surface et les pH (H₂O) sont également bas (profils 27 et 28, figures 1 à 3 en A : forêt de Bungthang).

En définitive, le passage de l'étage subtropical au collinéen est marqué par une diminution de la fersiallisation rubéfiante et une augmentation des teneurs en matière organique. Cette brunification en milieu acide va s'amplifier dans le collinéen.

1.2 - L'ETAGE COLLINEEN

1.21 - Brunification dans les chênaies à feuilles persistantes

Les sols du collinéen mésophile sont illustrés par les profils de la forêt de Barla sur le versant de Salme avec Quercus lanata (altitude 2100 ; profil 1 - figures 1 à 3 en B). C'est un sol brun acide qui se distingue de ceux situés à plus basse altitude, par un enrichissement en matière organique autant en surface que dans les horizons profonds. Elle reste du type mull très bien humifié et structuré à C/N bas. Les indices d'entraînement du fer libre (1/1,1) et de l'aluminium libre (1/1,2) restent faibles. L'ensemble du sol est faiblement saturé (S/T à pH 7 = 11 % en A₁, 3 % en B).

1.22 - Les sols bruns eutrophes du collinéen hygrophile

Le maximum d'humidité est probablement atteint dans l'étage collinéen. Dans la séquence étudiée, le collinéen hygrophile est le mieux représenté par les hautes futaies à Quercus lanata ; les sols sous ces formations ont été prospectés dans la haute vallée de la Salankhu Khola ; les précipitations sont dues à l'accumulation des nuages de la mousson dans les têtes de vallées très encaissées. Les sols sous ces formations sont distincts de ceux en aval décrits précédemment et des sols en amont. Si dans cette séquence, il existe une certaine continuité dans l'évolution des sols, il apparaît ici un degré d'intrazonalité en particulier dans les bases échangeables ; il est explicable par une hétérogénéité dans la roche-mère, ou par une position particulière de ces sols dans le paysage. Les caractères fondamentaux sont les suivants (profils 6 et 7 - figures 1 à 3 en C) :

- Les pH (H₂O) et (KCl) (figure 1) sont nettement supérieurs à ceux de tous les sols examinés dans cette séquence ; dans H₂O, ils dépassent 5 dans l'horizon de surface. Ces sols sont également plus riches en bases échangeables : S (somme des bases) est supérieur à tous les autres profils (Figure 3). Le taux de saturation (S en % de T) est en A₁ supérieur à 50 %, alors qu'il ne dépasse rarement 25 % dans l'ensemble de la séquence.

- Les teneurs en matière organique sont très élevées ; celle-ci du type mull à structure grumeleuse très stable est distribuée profondément dans le profil. Les marques d'activité biologiques sont abondantes ; les valeurs de C/N sont parmi les plus faibles de l'ensemble de la séquence autant en A₁ que dans les horizons profonds (figure 2).

- Les argiles et les sesquioxydes se comportent par contre à peu près de la même manière que dans les sols bruns décrits précédemment (figure 1). Comme dans les sols brunifiés du collinéen en aval et du montagnard en amont, les argiles sont localisées dans le complexe argilo-humique stable de l'horizon A₁ de surface ; elles diminuent rapidement en profondeur, l'argilification étant probablement plus réduite. Comme en aval également, les indices d'entraînement du fer et de l'aluminium libres restent faibles : inférieurs à 1/1,2. Il s'agit

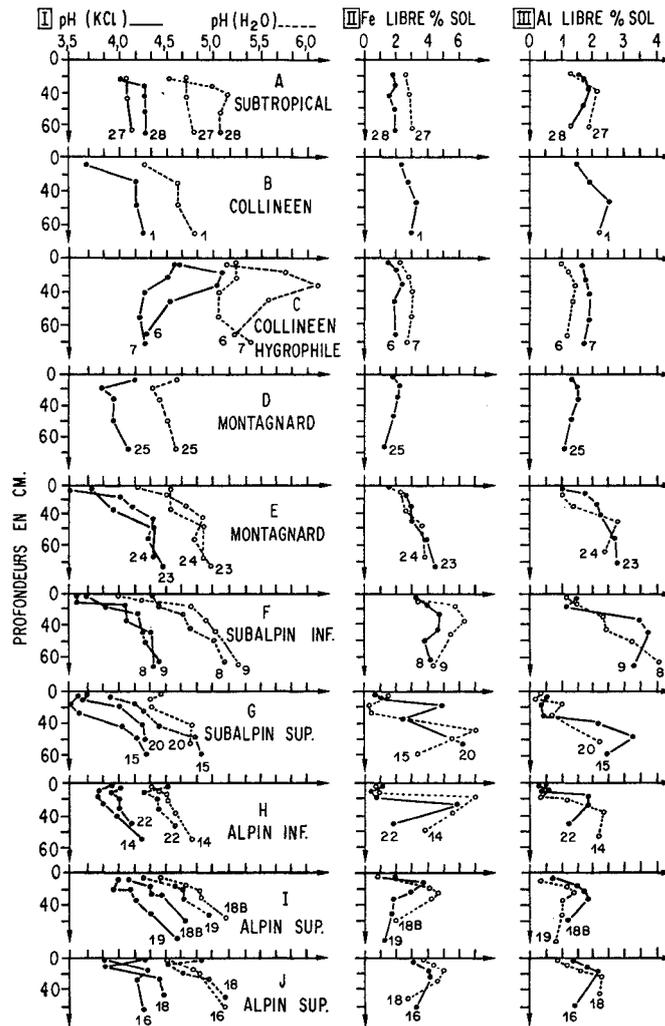


Fig.1.- Séquence humide. Valeurs de pH (H₂O et KCl), fer et aluminium libres dans quelques profils caractéristiques.
(Les chiffres indiquent les n° des profils).

vraisemblablement de sols bruns organiques intergrades entre les sols bruns acides et les sols bruns modaux (mésotrophes).

Morphologiquement, leur caractère original réside dans la profonde distribution de la matière organique qui leur confère une couleur foncée sur l'ensemble du profil. Sur le plan chimique, ils se séparent nettement des autres sols de la séquence par leur relative richesse en bases et les caractères qui en découlent.

La présence de ces sols dans la séquence en position intrazonale n'est pas expliquée définitivement. Quelques hypothèses de travail sont proposées :

- Les conditions bioclimatiques expliquent la forte teneur en matière organique de ces sols. D'une part dans ces hautes futaies hygrophiles, la production de matériel végétal qui arrive annuellement au sol est forte (RICHARD, 1980) et les masses qui participent au cycle biologique sont élevées. Par ailleurs, l'activité biologique est probablement freinée durant la période hivernale. Les températures moyennes hivernales sont de l'ordre de 10°C, comparée aux forêts subtropicales, la teneur en humus est donc plus importante ; l'activité de la faune du sol, le développement important du système racinaire expliquent la distribution profonde de la matière organique. Le profil organique apparaît donc comme zonal, il est intégré dans la séquence.

- Le caractère intrazonal est essentiellement lié à la relative richesse en bases de ces sols plus élevée que dans les autres milieux. Plusieurs

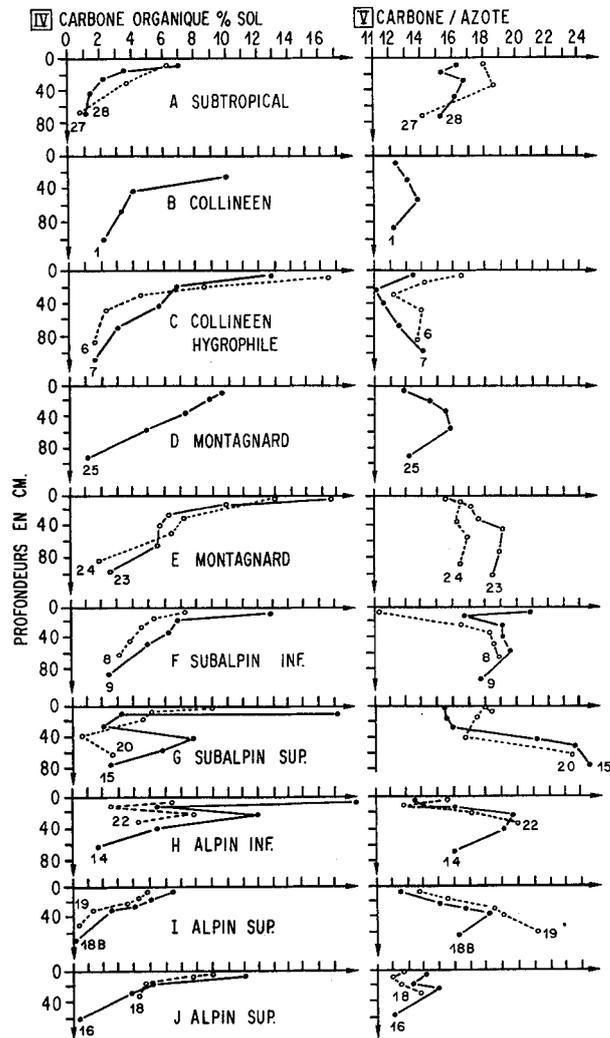


Fig.2.- Séquence humide. Profil organique: C et C/N de quelques sols caractéristiques. (Les chiffres indiquent les n° des profils).

explications sont possibles. Ou bien ces sols se développent sur des matériaux plus basiques : dans les stations examinées les roches-mères sont hétérogènes, constituées de matériaux grossiers d'origine schisteuse, colluvionnées en bas de pente. Dans ce cas l'intrazonalité est due à des variations lithologiques dans la séquence. Ou bien la présence de bases est due à une illuviation latérale d'éléments ; ces sols sont en effet situés en piedmont en contrebas de pentes, puis de falaises élevées. Les migrations sont probablement intenses. Dans ce dernier cas, l'intrazonalité est d'origine géomorphologique et topographique.

1.3 - DU COLLINEEN AU MONTAGNARD, DE LA BRUNIFICATION A LA PODZOLISATION

La transition du sommet du collinéen à la base du montagnard est marquée par le passage de la brunification à la podzolisation. La transition se manifeste dans les paramètres suivants :

- La matière organique était du type mull dans l'ensemble du collinéen. Dans ces forêts collinéennes où dominent les chênes à feuilles persistantes, avec l'altitude, les profils organiques étaient de plus en plus profonds, les C/N restaient faibles, de l'ordre de 15 à 16, ils étaient peu variables à travers tout le profil. Dans le montagnard inférieur, la matière organique reste distribuée profondément avec cependant une tendance à l'augmentation des valeurs de C/N en particulier à la base des horizons organiques (exemple profil 25 de la

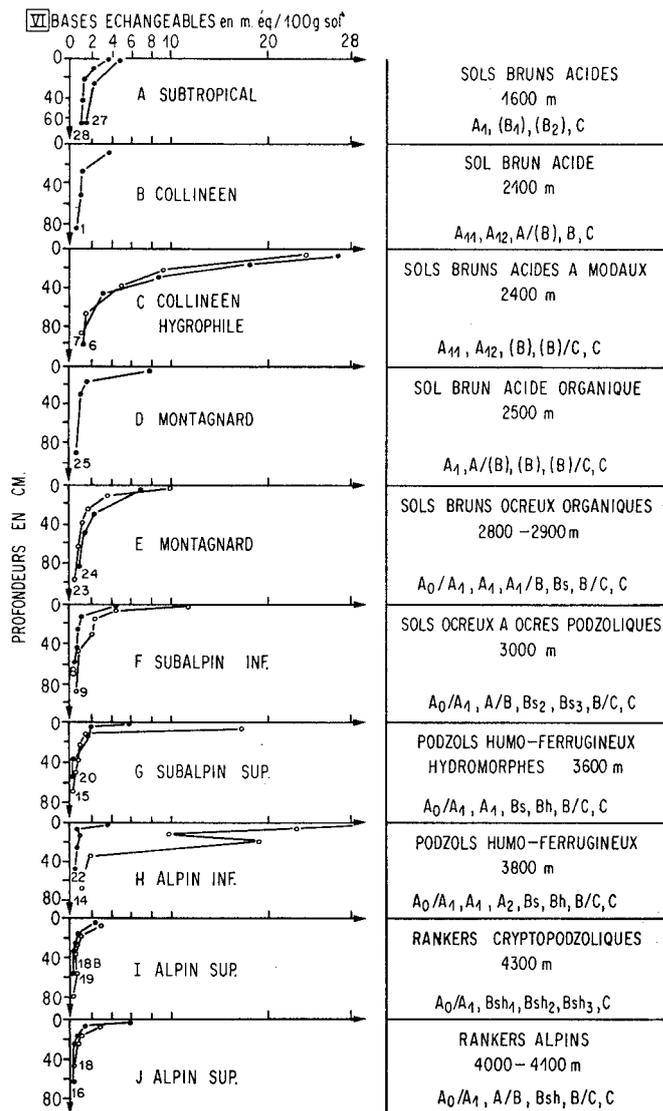


Fig.3.- Séquence humide. Somme des bases (Ca^{++} Mg^{++} K^+ Na^+) extractibles à pH 7 de quelques profils caractéristiques. (Les chiffres indiquent les n° des profils).

forêt à *Lyonia ovalifolia* de Mul Kharka, figure 1 à 3 en D). Avec l'apparition des rhodoraies avec *Rhododendron arboreum* (profils 23 et 24, Mul Kharka, figure 1 à 3 en E), ce processus s'amplifie : maintien d'une teneur élevée en matière organique jusque dans les horizons profonds, avec une forte couleur foncée sur l'ensemble du profil jusqu'en B/C. Celle-ci est due à la persistance dans ces horizons profonds de composés à C/N élevés et lentement biodégradables. Par contre, les valeurs de C/N des horizons A₁ de surface restent plus faibles (15 à 17), c'est-à-dire du même ordre de grandeur que dans les mullis actifs des sols en aval.

-A l'exception des sols intrazonaux décrits précédemment, la somme des bases varie peu à travers le collinéen et au montagnard inférieur (figure 3). Elle est de 5 à 15 m.éq./100 g de sol dans les horizons de surface ; elle descend partout rapidement à des valeurs inférieures à 3 m.éq. dès 20 cm de profondeur, inférieures à 2 m.éq. à 40 cm et de moins de 1 m.éq. à 60 cm. Les valeurs de pH (H_2O) (figure 1) se situent en général entre 4 et 5. La podzolisation débutante est accompagnée moins par une baisse des valeurs absolues de pH (H_2O) que par leur variation à travers le profil. Dans les sols bruns non podzolisés du collinéen le pH (H_2O) varie peu avec la profondeur. Avec les rhodoraies du montagnard inférieur, les valeurs diminuent dans les horizons de surface et augmentent dans les horizons profonds (profils 24 et 25 - Figure 1 en E).

- Du collinéen au montagnard, l'entraînement des sesquioxydes s'amplifie. Comme il a été dit précédemment, les teneurs en argiles sont partout plus élevées en surface que dans les horizons B. Mais les taux d'entraînement de Fe et Al libres restés faibles dans le collinéen, deviennent plus importants dans le montagnard, ils atteignent des valeurs de 1/2,5 pour Al et Fe libres dans les rhodoraies (profils 23 - 24, figure 1 en E).

En définitive, le passage du collinéen au montagnard est accompagné par l'apparition des premiers signes de podzolisation. Elle se manifeste par le passage des sols bruns acides bien représentés dans les chênaies à feuilles persistantes du collinéen à des sols bruns ocreux ou ocreux organiques, ou bien encore ocres podzoliques humifères des forêts à *Lyonia* du montagnard inférieur, puis des rhodoraies à altitude plus élevée. Morphologiquement, les profils sont relativement peu différenciés, le caractère essentiel étant une forte couleur foncée qui masque l'ensemble des horizons. Elle est due peut-être à l'illuviation progressive et certainement à la persistance dans les horizons profonds de composés organiques dont la biodégradation est ralentie et à C/N plus élevée qu'en surface. La structure grumeleuse du mull des sols bruns du collinéen passe à une forme polyédrique moins stable. Sur le plan chimique, outre les valeurs de C/N plus élevées dans les horizons B que dans les horizons A, la podzolisation débutante se manifeste par une illuviation modérée des sesquioxydes autant Fe que Al.

Dans cette évolution, il convient de mettre en évidence l'absence de signes macromorphologiques d'illuviation d'argiles. D'une manière générale, dans ces milieux acides à pH entre 4 et 5, les argiles apparaissent d'abord en surface ; l'altération superficielle compense le lessivage ; celui-ci est freiné par la présence d'ions en Al^{3+} ; en effet, la teneur en argiles diminue avec la profondeur.

1.4 - LES FORETS DE RESINEUX DU MONTAGNARD SUPERIEUR ET DU SUBALPIN INFÉRIEUR : APPARITION DES MARQUES MORPHOLOGIQUES DE LA PODZOLISATION

Les signes morphologiques de la podzolisation se manifestent clairement avec l'enrichissement des forêts en résineux à travers le montagnard. On passe des sols ocreux ou ocreux organiques aux sols ocres podzoliques ou podzoliques avec différenciation de l'horizon B_s , puis A_2 . Les indices d'entraînement des sesquioxydes n'augmentent par contre que faiblement ; elles sont de l'ordre de 1/1,5 à 2 pour le fer libre et de 1/2 à 2,5 pour Al libre. Il apparaît également un décalage entre B_{Fe} et B_{Al} . Ces sols ont été rencontrés sous forêts à *Abies spectabilis* (profils 8^{Fe} et 9^{Al} - Figures 1 à 3 en F) et celle à *Tsuga dumosa* au col de Gongga Banyang à 2800-2900 m d'altitude.

1.5 - SUBALPIN SUPERIEUR : GENERALISATION DE LA PODZOLISATION

Au subalpin supérieur, la podzolisation est généralisée et elle atteint alors son développement maximum. Avec des intensités variables, elle apparaît sous toutes les formations ligneuses examinées : junipéraies, rhodoraies et betulaies. Les sols de cet étage ont été prospectés dans les massifs qui dominent la haute vallée de l'Ata Khola.

Les sols podzoliques ou ocres podzoliques sont localisés sur les fortes pentes avec entrave au développement des horizons A_2 ou ablation partielle des profils. Mais l'essentiel de la couverture pédologique appartient au groupe des podzols. Leur développement maximum se trouve dans les rhodoraies subalpines (*R. campanulatum*) (ex. profil 15 - Figures 1 à 3 en G). Ils sont moins différenciés dans les stations plus sèches et en particulier dans les formations ligneuses naines de transition avec l'étage alpin dominées par *Rhododendron antropogon* (profil 14) ou par *Juniperus recurva* (profil 22 en H dans les figures).

Quelques caractères originaux distinguent ces sols :

- Dans ces formations de montagne, quel que soit le degré d'entraînement des sesquioxydes, l'horizon A_2 n'est jamais très développé, il est souvent discontinu. Fortement appauvri avec Fe libre = 0,3 % et Al libre = 0,2 %, son épaisseur ne dépasse pourtant rarement 15 cm. Il n'existe pas de relation entre l'importance des horizons spodiques et les horizons lessivés situés au-dessus. Ceci est explicable par le lessivage latéral lié aux pentes souvent fortes. Les composés illuviés suivent des cheminements préférentiels.

- Le passage de l'horizon A_2 vers l'horizon spodique est par contre généralement très net et témoigne d'une certaine maturité des sols. Les horizons B sont généralement bien développés. Dans les milieux fortement podzolisés, B_h est nettement individualisé et morphologiquement bien distinct de B_s .

- Les podzols ne sont jamais très épais ; les profils 15 et 20^s représentés dans les figures en G sont les plus développés ; la base de l'horizon spodique se

situé dans ce cas de 50 à 60 cm de profondeur. Dans les formations ligneuses basses, le sol est plus superficiel (22 et 14 en H). Dans les milieux fortement podzolisants du subalpin, le sol est donc développé sur des épaisseurs relativement faibles et il existe une certaine disproportion entre les horizons lessivés et l'importance des horizons spodiques. Il convient vraisemblablement d'en chercher l'explication dans les migrations à forte composante latérale dues aux fortes pentes.

- Les taux d'entraînement des sesquioxydes sont du même ordre de grandeur que ceux signalés par DUCHAUFOR (1976, 1977) pour les podzols de plaine ou des montagnes en climat atlantique. Les valeurs les plus fortes observées sont de l'ordre de 1/15 à 20 pour le fer libre et 1/10 pour Al libre. Comme ailleurs, B_{Al} est généralement plus bas que B_{Fe} .

- Ces sols présentent fréquemment des marques d'hydromorphie à la base de l'horizon spodique, en particulier en bas de pentes ; elles témoignent de l'importance des mouvements latéraux dans ces montagnes. La présence d'un B_g perturbe alors l'agencement habituel de B_{Al} situé sous B_{Fe} .

- La matière organique présente aussi certains caractères originaux. Morphologiquement A_0 est du type mor. Cependant ces podzols sont parfois relativement peu organiques. Parmi les six profils analysés, trois présentent moins de 10 % de carbone organique dans les 0 - 5 cm de surface. Ils sont localisés sous les formations ligneuses basses de transition entre le subalpin et l'alpin avec Rhododendron antropogon (profil 14) ou avec Juniperus recurva (profil 22 - Figures 1 à 3 en H). Le cas limite est représenté par le profil 22, dont l'horizon de surface est moins organique que le B_h sous-jacent ; cependant dans le cas général, à des horizons A_0/A_1 peu organiques correspondent également des B_h plus réduits ou peu développés (tendance vers le podzol ferrugineux). Leur taux d'entraînement des sesquioxydes est dans ce cas également relativement faible.

- Les rapports C/N se comportent également de manière originale à travers ces sols. Ils sont partout relativement bas autant en A_0 , A_1 , B_h , B_s et B_g . Dans le cas général, les valeurs sont de l'ordre de 15 à 20 dans les horizons organiques A_0 , A_1 de surface et de 20 à 25 en B_h , B_s et B_g (figure 2 en G). Les valeurs relativement faibles, en particulier B_h dans les horizons de surface sont caractéristiques de ces podzols de montagne. Elles sont encore plus réduites dans les podzols des formations ligneuses naines ; en surface elles sont inférieures à 15 et dans l'horizon spodique inférieures à 20 (figure 2 en H). Ce sont des sols de transition vers l'alpin, mais leur morphologie reste incontestablement celle de podzols.

En définitive, ces données témoignent d'une certaine activité biologique du sol dans ces milieux acidifiés du subalpin. Ces podzols de montagne semblent plus actifs en particulier en A_0 et A_1 que les podzols secondaires des basses altitudes en climat atlantique.

- D'une manière générale, si on considère les horizons de surface, les valeurs de pH (H_2O) de ces sols sont du même ordre de grandeur que dans les sols ocres podzoliques ou podzoliques du montagnard : en A_0 et A_1 elles sont situées autour de 4,5, en A_2 autour de 4,5 à 4,3 ; en B_s et B_h , elles sont de l'ordre de 4,8 à 5,0. Elles sont alors inférieures à celles de B des sols ocres podzoliques ou podzoliques décrits précédemment dans le montagnard. La différence dans les pH (H_2O) se manifeste donc essentiellement dans les horizons illuviaux. Les pH (KCl) donnent des valeurs assez parallèles aux pH H_2O . Cependant l'écart entre les deux mesures est généralement plus faible en milieu fortement podzolique qu'en milieu à tendance brunifiante.

- Comme dans tous les sols de cette séquence, les bases sont concentrées dans les horizons de surface, par le jeu du cycle des éléments minéraux. Mais d'une manière générale, c'est dans les podzols que la décroissance de la somme des bases (extraites à pH constant de 7) en fonction de la profondeur est la plus rapide (figure 3) : dans les plus différenciés, elle est déjà inférieure à 1 m.éq./100 g de sol dès le sommet de l'horizon A_2 ; elle diminue encore dans les horizons spodiques et hydromorphes de la base du profil, ce n'est que exceptionnellement dans les podzols les moins différenciés qu'apparaît une légère augmentation des bases dans le B_h .

En résumé, la podzolisation atteint son maximum de développement dans les forêts subalpines ; elle est déjà plus atténuée dans les formations ligneuses naines du sommet du subalpin. Les podzols humo-ferrugineux ou ferrugineux ont certains caractères physico-chimiques originaux qui les distinguent de ceux décrits en climat tempéré. Les indices d'entraînement des sesquioxydes ne sont pas très élevés. Les sols de transition du subalpin supérieur ne sont pas très organiques et partout les valeurs de C/N sont relativement faibles, en particulier en A_0 et A_1 . En B_h et B_s ou B_g , elles sont également inférieures, mais à un degré moindre, à celles des sols équivalents en climat tempéré. En montagne, la podzolisation est directe, les processus podzolisants ont été mis en place rapidement.

L'originalité de la matière organique est peut être explicable par une activité biologique plus élevée durant la période estivale très humide ou par des alternances thermiques saisonnières ou nycthémérales très fortes.

1.6 - ATTENUATION DE LA PODZOLISATION DANS LES PELOUSES ALPINES

Le passage des formations ligneuses basses aux formations herbacées n'est pas accompagné d'un changement fondamental au niveau du sol. Les deux milieux sont d'ailleurs intimement imbriqués ; l'exposition Est ou Ouest joue un rôle déterminant dans la répartition de la végétation par le jeu de la nébulosité matinale et de l'insolation vespérale comme l'a montré YON (1976). Deux cas sont distingués dans l'alpin : les pelouses hygrophiles et les pelouses mésophiles.

Dans les pelouses hygrophiles, les sols restent dominés par la podzolisation, elle est cependant atténuée. Le système racinaire de ces formations a une densité, une répartition, un taux de renouvellement et une composition biochimique différents de celle des ligneux ; il s'en suit une distribution différente de matière organique, les rankers crypto-podzoliques prédominent (sols crypto-podzoliques humifères - Profils 18 bis et 19, figures 1 à 3 en I). Morphologiquement, malgré la couleur sombre de l'ensemble du profil, l'horizon appauvri et les B_s apparaissent nettement.

Les taux d'entraînement des sesquioxydes situés entre 1/2 et 4 sont plus faibles que dans le subalpin sous ligneux. Les pH (H₂O) des horizons appauvris sont du même ordre de grandeur. Dans les horizons illuviaux et en B/C, ils sont moins acides. Ici aussi les pH (KCl) donnent des valeurs parallèles à pH (H₂O) avec des écarts pH (H₂O) - pH (KCl) relativement faibles.

Les bases échangeables en faible quantité sont concentrées en surface sur 8 à 10 cm. La diminution reste très brusque avec la profondeur, malgré l'importance du système racinaire. Les teneurs en matière organiques sont relativement faibles, bien que le tapis végétal soit dense : moins de 7 % de carbone dans les 10 premiers centimètres, elles décroissent lentement avec la profondeur assombrissant le profil. Les valeurs de C/N sont faibles en surface (12 à 14), mais restent à un niveau plus élevé en profondeur (18 - 22), marquant un fort gradient du C/N dans ces sols avec la profondeur. En définitive, les caractères originaux de la matière organique observés dans le subalpin subsistent partiellement dans l'alpin.

Dans l'étage alpin, l'apparition de pelouses mésophiles, souvent dégradées par le pâturage, témoigne de réduction de la pluviométrie. Les marques macro-morphologiques d'horizons A₂ s'estompent. Les sols se rapprochent des ocres podzoliques ou podzoliques (profils 16 à 18 = figures 1 à 3 en J). Les indices d'entraînement des sesquioxydes sont en général guère supérieures à 1/2 - 2,5. Les C/N homogènes à travers le profil sont inférieurs à 15 en profondeur. Les pH (H₂O) de surface sont plus élevés que précédemment (4,5 à 5) et les valeurs de pH (KCl) s'en écartent davantage. Mais les bases échangeables restent toujours essentiellement concentrées en surface.

En définitive, dans l'alpin, au-delà de 4000 m d'altitude, en milieu herbacé, la podzolisation se maintient ; mais son atténuation qui apparaît déjà dans le subalpin supérieur se poursuit dans l'alpin, en particulier dans les milieux moins humides. La végétation apparemment donne simplement une autre distribution de la matière organique dans le profil et un C/N plus faible que sous formations ligneuses.

Dans l'alpin supérieur, DOBREMEZ et al. (1975) et YON (1976) décrivent sous formations végétales encore fermées des sols encore épais du type rankers assez comparables à ceux présentés dans ce travail. Plus en altitude, l'alpin supérieur se termine par des formations pionnières sur moraines jeunes ou anciennes avec des sols discontinus, squelettiques et très organiques.

1.7 - SYNTHÈSE

L'objet de ce travail était de dégager l'évolution des sols en fonction des conditions bioclimatiques qui, ici sont essentiellement imposées par l'altitude. Dans ces montagnes, la difficulté majeure d'une telle étude vient de la grande hétérogénéité ; elle est de tous ordres : dans les roches-mères, dans les remaniements des matériaux, dans les morphostructures, dans la végétation et dans les modifications causées par l'homme et les animaux. Les paramètres pédogénétiques essentiels qui se dégagent sont donnés dans les figures 1 à 3.

1.71 - La matière organique

Une évolution très nette apparaît dans les profils organiques (figure 2, colonne IV). Incontestablement du subtropical au collinéen, le profil

s'enrichit. Il est du type mull. Du collinéen au montagnard, il reste du type mull, avec cependant une structure moins modifiée par l'activité biologique, plus massive, moins aérée. Le profil organique s'enrichit encore, mais davantage dans les horizons profonds que dans les A₁. Ceci se manifeste moins par les analyses du carbone que par la morphologie du profil : il est sombre sur une grande profondeur, sinon sur toute l'épaisseur du sol. Cet enrichissement en profondeur du profil organique est accompagnée d'abord par le maintien des C/N bas sur l'ensemble du profil, puis à partir du montagnard, les rapports C/N augmentent sensiblement dans les horizons profonds. Les horizons de surface ont tendance à maintenir des valeurs plus faibles. C'est probablement le signe précurseur de la podzolisation. Les sols à différents stades de podzolisation ont des caractères originaux mentionnés précédemment dont pour la matière organique les plus frappants sont la relative pauvreté en C des horizons de surface et leur C/N relativement bas. Au-delà des forêts dans l'alpin, on note une nette diminution du profil organique en particulier dans les pelouses mésophiles. Ces formations sont au-dessus du maximum pluviométrique.

1.72 - L'altération

Les analyses de routine utilisées dans ce travail apportent peu de renseignement sur le complexe d'altération. L'analyse morphologique révèle une brunification dans les étages du collinéen ; celle-ci est progressivement remplacée par la podzolisation qui atteint son maximum dans le subalpin, mais qui se prolonge largement dans l'alpin jusqu'à la limite de la végétation avec cependant une atténuation progressive. L'hydromorphie de bas de pentes et au niveau des replats est un phénomène très fréquent, elle apparaît à tous les étages. Elle est amplifiée par les aménagements agricoles.

Fréquemment le sol se développe dans une épaisse altérite qui recouvre la roche à tous les étages. Elle est souvent profondément remaniée ; elle semble peu altérée en altitude et davantage dans les étages chauds.

1.73 - Mouvement des éléments

Les argiles sont distribués selon un schéma que l'on retrouve très fréquemment en montagne sur ces matériaux : elles sont peu abondantes ; la plupart des sols sont limono-sableux ou sablo-limoneux ; elles sont plus abondantes dans les horizons de surface qu'en profondeur : de A vers B, puis vers C elles décroissent progressivement. Il convient d'exclure de ce schéma les sols fortement lessivés des anciennes terrasses qui ne font pas partie de cette séquence. Les signes macromorphologiques de lessivage sont rares et discrets. L'entraînement des sesquioxides devient manifeste qu'à partir du montagnard (figure I, II et III). Morphologiquement, il est d'abord masqué par la couleur foncée de la matière organique. Les "indices d'entraînement" ne sont pas très élevés ; cependant un rôle semble être joué par les migrations obliques ; mais ceci n'a pas pu être approfondi dans ce travail trop sommaire.

1.74 - Les bases échangeables et l'acidité du sol

Mises à part quelques stations intrazonales aux roches-mères plus riches en bases, les sols sont partout relativement acides et pauvres en bases. Celles-ci sont essentiellement concentrées en surface par le jeu du cycle des éléments minéraux. Il n'existe pas de relation apparente entre la quantité de bases et les types de sol ou les étages de végétation, ni avec les capacités d'échange. Cependant l'examen de la colonne VI (figure 3) montre que la décroissance de la somme des bases avec la profondeur est de plus en plus rapide avec l'altitude : elle est assez progressive dans le subtropical et le collinéen, elle est très brusque à partir du montagnard. Les bases sont de plus en plus concentrées dans les quelques 5 à 10 cm de surface et les horizons sous-jacents de plus en plus appauvris. Ce schéma est vérifié dans les formations ligneuses hautes et basses du subalpin ainsi que dans les pelouses alpines.

Les pH sont la résultante de divers processus que ces analyses de routine ne permettent pas de saisir aisément et en particulier dans le cas présent, le rôle respectif des protons, de Al échangeable et l'échange des bases en fonction du pH. Il convient donc d'interpréter les pH (KCl, H₂O) et les bases échangeables avec une certaine prudence. La colonne I de la figure 1 montre que mis à part quelques cas d'intrazonalité, les milieux sont fortement acides. Une autre tendance moins nette se dégage : avec l'altitude apparaît un gradient de

plus en plus grand du pH à travers le profil ; dans les étages inférieurs le pH varie moins à travers le profil que dans les étages supérieurs où la variation peut être de 1,5 point.

II - LA SÉQUENCE STEPPIQUE

Le contraste climatique extraordinaire entre les faces sud et nord de la chaîne himalayenne méritait un examen des sols dans une seconde séquence altitudinale située sur le versant nord. Celui-ci protégé de la mousson par la chaîne de montagne est particulièrement sec et couvert d'une végétation steppique.

Cette seconde séquence a été étudiée dans la haute vallée de la Kali Gandaki et plus précisément dans la moitié sud de la Thakkhola, vallée protégée de la mousson par la barrière des Annapurna, Nilgiri et Dhaulagiri. Le transect débute à Jomson à 2800 m d'altitude et s'étend jusqu'à 4500 m au nord de Muktinath.

Sur des roches-mères plus hétérogènes, les sols ont été étudiés sur des matériaux avec une charge variable en CaCO_3 , plus ou moins marneux, et plus ou moins schisteux, parfois greseux, appartenant ou provenant des formations du jurassique moyen et supérieur. Dans le fond de la Kali Gandaki, certains profils sont localisés sur les matériaux lacustres récents (DOLLFUS et USSELMAN, 1971 ; FORT, 1980a, b ; COLCHEN et al., 1980).

La végétation est steppique sur une grande partie de la séquence et herbacée au-delà de 4000 m, avec du bas vers le haut selon DOBREMEZ et JEST (1971) :

- les steppes à Sophora moorcroftiana et à Axytropis sericopetala,
- les steppes à Caragana gerardiana et à Artemisia,
- les steppes à Caragana brevispina et à Lonicera spinosa,
- au-delà de 4000 m une végétation alpine sclérophile.

Dans sa partie la plus sèche, c'est-à-dire en bas de la séquence, les données météorologiques recueillies par DOBREMEZ (1976) sont les suivantes : à Jomson : 2800 m d'altitude, en 1965 : 284 mm de précipitations, en 1966 : 159 mm, 1967 : 141 mm, 1968 : 347 mm. Les températures sont les suivantes : moyenne des minima : 5 à 6°C, moyenne des maxima : 17 à 18°C, moyenne annuelle : 12 à 13°C. Enfin cette vallée est parcourue du Nord au Sud, ou du Sud au Nord par des vents extrêmement violents qui sévissent toute l'année. Le changement de végétation dans le haut de la séquence montre qu'elle est là incontestablement plus arrosée et plus froide, mais il n'existe pas de données météorologiques.

2.1 - STEPPES SECHES DE BASSE ALTITUDE ; FOND DE LA KALI GANDAKI (1800-3000 m)

Suivant un schéma fréquent en zone aride, à la base de la séquence, le sol n'existe que dans des îlots situés sous les buissons ; il est là, protégé de l'érosion qui dans le cas présent est essentiellement éolienne. La vie dans et sur le sol est concentrée dans ces îlots. Les profils sont alors du type (A), C entre les îlots et du type A_1 , A/C, C (profil 35, figure 4) sous les buissons. La distribution de la matière organique semble moins "isohumique" que dans les steppes d'Afrique du Nord. Comme fréquemment dans d'autres steppes également, les valeurs de C/N sont très faibles de 7 à 9. Les pH sont élevés : supérieurs à 8 (H_2O) et 7,9 (KCl). Les matériaux lacustres, ou les colluvions de la base de la séquence sont sableux, percolants et contiennent 40 % de CaCO_3 , le profil calcaire y est cependant peu différencié. Le rapport CaCO_3 en A_1/CaCO_3 en A_1-C est de l'ordre de 1/1,2. La distribution des carbonates dans les fractions granulométriques n'est que légèrement modifiée : en A_1 , 2 à 3 % des carbonates de l'horizon sont dans les limons et les argiles ; l'essentiel est donc localisé dans les sables ; en A/C ce sont 15 % des carbonates qui sont dans les fractions limons + argiles. Aucune manifestation macromorphologique d'horizons B_{Ca} n'apparaît cependant.

En définitive, à la base de cette séquence, les sols appartiennent à la classe des sols peu évolués, là où la végétation buissonnante a protégé les îlots de l'érosion et probablement aussi accumulé du matériel éolien. En absence de végétation entre les buissons, le sol est du type (A), C avec très peu de matière organique ; le sol est recouvert par un voile de cailloux résiduel.

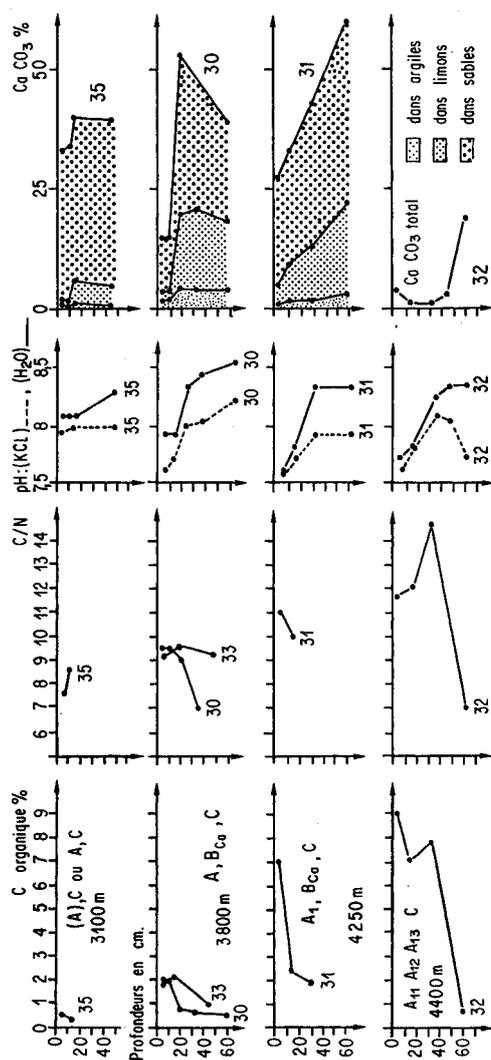


Fig.4.- Quelques caractères analytiques des sols de la séquence steppique. (Les chiffres indiquent les n° des profils).

2.2 - STEPPES DE MOYENNE ALTITUDE

Entre 3000 et 4000 mètres, les sols se modifient sensiblement (profils 30 et 33 - figure 4). Les horizons organiques s'enrichissent : les teneurs en carbone sont de l'ordre de 2 % en surface et de 1 % entre 30 et 40 cm de profondeur. Les valeurs de C/N restent toujours inférieures à 10. Le profil calcaire est nettement plus différencié : le rapport de CaCO_3 entre A et B_{Ca} est de 1/3,3 pour le profil 30. Ceci se traduit morphologiquement par la présence d'un pseudomycellium en B_{Ca} parfois dense et de barbules de couleur beige sur les cailloux. Il n'a pas été possible de saisir l'importance des migrations obliques : on peut tout simplement conclure que les horizons B_{Ca} sont plus développés en bas de pente que sur les mi-pentes, mais les dépôts en B_{Ca} restent du type "pseudomycellium" et barbules. La distribution des carbonates Ca dans les fractions granulométriques est amplement affectée par la roche-mère. Dans les matériaux schisto-marneux du jurassique moyen et supérieur de la séquence moyenne, une proportion importante de CaCO_3 est située dans les limons et argiles (de 40 à 50 % du total de CaCO_3 sont dans ces fractions). La différenciation du profil calcaire appauvrit ces fractions en A de l'ordre de la moitié sans enrichir dans des proportions identiques ces mêmes fractions en B_{Ca} , l'enrichissement profite essentiellement aux fractions limoneuses Ca , et probablement aux sables fins. Les argiles contiennent partout peu de CaCO_3 .

2.3 - LES STEPPES FROIDES D'ALTITUDE

La végétation discontinue, buissonnante et ligneuse des steppes est peu à peu remplacée au-delà de 4000 m par des formations davantage herbacées parce que les précipitations sont alors probablement plus abondantes. Elles permettent, dans les zones protégées de l'érosion, le développement d'une couverture pédologique plus continue. Dans le meilleur des cas, il se forme un sol profond et couvert d'une pelouse relativement fermée de graminées et d'une physionomie comparable à celle des pelouses alpines sèches décrites dans la séquence humide.

Les replats protégés de l'érosion sont généralement favorables au développement de tels sols entre 4000 et 4800 m. Le profil 32 (figure 4), situé à 4400 m d'altitude, appartient à ce type de milieu. Le sol est développé sur un matériel colluvial momentanément stabilisé. Il a les caractères morphologiques du ranker ou des sols humo-calcaïques épais : coloration très foncée sur l'ensemble du profil avec une structure massive, une consistance grasse à l'état humide et friable à l'état sec; Comparé aux sols situés plus bas, il s'est encore enrichi en matière organique; celle-ci a des valeurs de C/N comparables à celles des sols alpins de la séquence humide. Cependant le matériel parental est ici carbonaté. CaCO_3 (18 %) n'apparaît que dans l'horizon décrit comme C. Dans les horizons situés au-dessus, CaCO_3 est inférieur à 0,5 % (figure 4). Les pH restent par contre élevés : de 7,7 (H_2O) en surface, ils montent progressivement à 8,3 en A/C et C. L'indice d'enfournement pour Fe libre est de 1/1,4 et pour Al libre de 1/1,6. Il convient cependant d'interpréter ces données avec précaution, puisque ces matériaux colluvionnés dans les replats, quoique momentanément fixés par la végétation, présentent fréquemment des signes de recouvrements successifs.

En résumé, il est évident que dans cette partie froide et plus humide de la séquence, la tendance de la pédogenèse est vers la formation de rankers ou de leurs homologues en milieu carbonaté : les sols humo-calcaïques ou humo-calcaïques, mais l'érosion encore active rajeunit fréquemment les surfaces.

Le profil 31 (figure 4), à 4250 m d'altitude est un intermédiaire entre les sols humo-calcaïques ou les rankers décrits ci-dessus et les sols de moyenne altitude de cette séquence. Il se situe également à une altitude intermédiaire. Comme les sols de moyenne altitude, il présente un B_{ca} morphologiquement individualisé par un pseudomycellium. Comme ces sols, il est encore calcaire jusqu'en surface avec 28 % de CaCO_3 en A_1 . La tendance vers les sols humo-calcaïques se manifeste par un enrichissement en matière organique, en particulier dans l'horizon de surface. Son pH montre également un gradient très prononcé du haut en bas du profil; les horizons profonds appartiennent aux sols steppiques, l'horizon organique de surface appartient aux sols humo-calcaïques.

En définitive, comme dans la séquence précédente, les variations du sol en fonction de l'altitude sont importantes. On passe de steppes très arides relativement chaudes à des milieux plus humides et froids. L'aridité en basse altitude réduit la production végétale et limite les processus de développement des sols. L'augmentation des précipitations, mais aussi la diminution des températures, favorisent l'accumulation de matière organique et le mouvement des carbonates. Le maximum de différenciation observé dans le sol est du type sol humo-calcaïque avec cependant un faible effet sur l'altération, puisque les milieux restent toujours saturés et basiques. La différenciation du profil calcaire ne prend jamais l'ampleur de celle observée dans les steppes d'Afrique du Nord. Une des raisons en est probablement le rajeunissement fréquent des surfaces.

CONCLUSION

Dans ces deux séquences très différentes avec de vastes gradients bioclimatiques, les phénomènes pédogénétiques ne sont pas fondamentalement différents de ceux qui ont été observés dans des montagnes sous d'autres latitudes.

La première séquence est altitudinale en milieu tropical à subtropical, sous fort régime de mousson. Elle est très humide jusqu'à la base de l'alpin, puis devient plus sèche. Quelques points originaux la distinguent des variations altitudinales en milieu tempéré :

- la phase de brunification est importante : elle couvre une large tranche altitudinale, elle débute au sommet du subtropical, homogénéise tout le collinéen, couvre une partie du montagnard et se prolonge dans des stations favorables du sub-alpin. Le maintien depuis le subtropical d'une production

végétale élevée, l'intense activité de la vie du sol durant la mousson, l'existence d'une phase froide hivernale qui freine la minéralisation de la matière organique en particulier la deshumification, la présence dans la roche-mère ou la production par altération d'argiles ou/et de sesquioxides capables de former avec l'humus des complexes stables, sont les facteurs essentiels favorables à la formation du sol brun dans ces étages. A une saison estivale biologiquement très active succède une saison plus froide qui bloque ou freine momentanément les flux du carbone et de l'azote dans le compartiment humus. Ce sont donc en premier lieu des conditions bioclimatiques de mousson en milieu de moyenne montagne qui expliquent l'importance de la brunification.

Son caractère original, dans ces montagnes, réside dans le fait que les horizons organiques et biologiquement actifs sont particulièrement bien développés, et parfois sur une grande profondeur, tel que morphologiquement tout le sol apparaît organique et actif. La brunification ne semble pas être accompagnée, ni suivie d'un lessivage important des argiles. Mais ceci mérite d'être vérifié par des techniques micromorphologiques.

- Le passage de la brunification à la podzolisation est très progressif. La diversité des sols de transition permet de mettre en évidence l'importance de la phase d'illuviation de composés organiques à C/N élevés ; elle succède aux sols bruns profondément organiques et précède les sols ocres podzoliques, elle maintient une coloration foncée sur l'ensemble du profil et elle est accompagnée de l'illuviation d'une certaine quantité de Al libre et de Fe libre. Ces phases de transition sont particulièrement bien développées dans ces montagnes de moyenne altitude.

- Les caractères originaux des sols soumis à la podzolisation ont déjà été soulignés dans le travail. Ils ne sont cependant pas propres à ces montagnes, mais aux sols où la podzolisation est primaire, c'est-à-dire là où elle n'a pas été précédée d'un stade important de lessivage. Morphologiquement les profils sont ramassés, c'est-à-dire développés sur de faibles profondeurs, avec des horizons fréquemment télescopés. Sur le plan chimique, les indices d'entraînement ne sont pas très élevés. La podzolisation initiale "climacique" est fréquente dans le subalpin ici comme dans d'autres montagnes.

- Par contre, il convient de retenir dans ce subalpin podzologique, certains caractères originaux des horizons A₀ : leur C/N relativement faible témoigne d'une certaine activité biologique et A₀ est généralement peu épais.

Les causes de cette forte différence entre les horizons organiques de surface et les horizons spodiques sous-jacents sont peut être à rechercher dans l'alternance saisonnière. A l'hiver assez rigoureux du subalpin avec persistance de la neige suit une saison très arrosée et clémente où l'activité biologique est intense.

- Enfin, les rankers des pelouses alpines, comme dans d'autres montagnes, sont podzoliques, il convient de retenir ici l'importance de ce phénomène pratiquement jusqu'à la limite supérieure des pelouses fermées. La diminution des teneurs en matière organique des rankers d'altitude est liée à une certaine aridité qui apparaît quand la mousson diminue d'intensité dans l'alpin.

- L'impact du lessivage oblique n'a pas pu être déterminé dans ce travail trop succinct. L'importance du relief et l'abondance des précipitations y sont favorables.

- Mises à part quelques dorsales quartzitiques dégarnies, les pentes sont fréquemment recouvertes d'un épais manteau d'altérites. Ce matériel semble peu altéré, essentiellement hérité des schistes et gneiss.

- L'évolution des sols de la séquence steppique est relativement simple : elle se manifeste essentiellement par une différenciation du profil calcaire qui reste très limitée et par un enrichissement en matière organique. Les sols sur la face Nord et Sud sont très différents ; il existe cependant une certaine convergence dans l'alpin. De part et d'autre de la chaîne, apparaissent dans cet étage des sols du type ranker, mais ils restent peu différenciés sur la face Nord et nettement podzolisés sur la face Sud.

Remerciements et remarques

Ce travail a été réalisé dans le cadre du GRECO HIMALAYA-KARAKORUM du CNRS qui en a financé la mission au Népal. Les analyses ont été effectuées au Service d'Analyses du C.E.P.E. du CNRS. Lors de la mission, le choix des stations a été grandement facilité grâce à l'expérience botanique et phytosociologique de D. RICHARD à qui l'auteur adresse tous ses remerciements pour son concours ainsi qu'à J. WIARD.

L'ensemble des descriptions morphologiques et des analyses n'a pu être présenté dans le texte ou les figures. Ces données sont à la disposition des lecteurs.

BIBLIOGRAPHIE

- BERTRAND G., DOLLFUS O., HUBSCHMAN J., 1973 - Observations écologiques et géographiques dans le centre Est du Népal. Rapport scientifique de la mission CNRS mars-avril 1973. GRECO-HIMALAYA-KARAKORUM 130012, 92130 Meudon, 61 p.
- BORDET P., COLCHEN M., KRUMMENACHER D., LEFORT P., MOUTERDE R., REMY M., 1971 - Recherches géologiques dans l'Himalaya du Népal, Région de la Thakkola. Editions du CNRS, 280 p.
- COLCHEN M., FORT M., FREYTET P., 1980 - Evolution paléogéographique et structurale du fossé de la THAKKHOLA-MUSTANG (Himalaya du Népal) implications sur l'histoire récente de la chaîne himalayenne. C.R. Acad. Sc. Paris, t. 290, Série D : 311-314.
- DOBREMEZ J.F., JEST C., 1971 - Carte écologique du Népal I, Région Annapurna-Dhaulagiri. Doc. Carte Vég. Alpes, IX : 147-190.
- DOBREMEZ J.F., MAIRE A., YON B., 1975 - Carte écologique du Népal V. Région ANKHU KHOLA-TRISULI A 1/50 000. Documents de cartographie écologique, Grenoble, Vol. XV :1-20.
- DOBREMEZ J.F., 1976 - Le Népal, Ecologie et Biogéographie. Cahiers Népalais. Editions du CNRS, Paris, 356 p.
- DOLLFUS O., USSELMANN P., 1971 - Recherches géomorphologiques dans le Centre Ouest du Népal. Cahiers Népalais, Centre d'Etudes Népalaises, CNRS, 56 p.
- DUCHAUFOR Ph., 1976 - Atlas écologique des sols du monde. Masson, Paris, 175 p.
- DUCHAUFOR Ph., 1977 - Pédologie, 1. Pédogénèse et classification. Masson, Paris, 477 p.
- FORT M., 1980 a - Les formations quaternaires lacustres de la Basse THAKKHOLA (Himalaya du Népal) ; intérêt paléogéographique, néotectonique et chronologique. C. R. Acad. Sc. Paris, T. 290, série D : 171-174.
- FORT M., 1980 b - La formation de la KALI GANDAKI et l'histoire récente de la haute chaîne himalayenne. Bul. Assoc. Geogr. Franç. Paris, n° 471 : 237-257.
- HUBSCHMAN J., THOURET J.Cl., 1980 - Sols et formations quaternaires en ANKHU KHOLA (Népal Central). Observations préliminaires.
- LEGRIS P., 1963 - La végétation de l'Inde, écologie et flore. Trav. Lab. For. Toulouse, 596 p.
- RICHARD D., 1980 - Variation de la structure de l'architecture et de la biomasse de forêts du Centre Népal, Thèse de Docteur de 3e cycle, USM Grenoble, 162 p.
- THOURET J.Cl., 1977 - Contribution à l'étude de l'évolution des grands versants de la montagne himalayenne : l'exemple du Bassin-versant de l'ANKHU KHOLA, Népal Central. Thèse de 3e cycle de Géographie physique, Université de Paris I, 418 p.
- YON B., 1976 - Le Népal Central, contribution à l'étude écologique de l'étage alpin. Thèse de Docteur de 3e cycle, USM Grenoble, 84 p.
-