

LES SOLS DE LA VALLEE DU MOYEN NIGER : ORGANISATION - TENDANCE EVOLUTIVE ACTUELLE

Y. GUERO

Faculté d'Agronomie - BP 10960 - Niamey - NIGER

RESUME

Par une démarche toposéquentielle, les tendances évolutives des sols développés dans des résidus de vieilles altérations sous climat tropical sec sont dégagées à travers des analyses morphologiques, minéralogiques et géochimiques. L'étude des formes de 3 éléments (Fe, Ca, Na), depuis le moins mobile (Fe) jusqu'au plus mobile (Na), montre une tendance à l'accumulation du calcium et du sodium en bas des toposéquences.

INTRODUCTION

Afin de trouver les processus évolutifs de la couverture pédologique de la vallée du Moyen Niger, les relations qui unissent la géomorphologie et la pédologie doivent être recherchées.

A cet effet, il faut procéder à l'étude des matériaux pédologiques dans les différentes unités paysagiques. A l'aide d'une démarche toposéquentielle, nous nous efforcerons de dégager les sols ayant les caractéristiques morphologiques les plus tranchées. Sur ces sols, certains indices géochimiques seront étudiés pour mieux interpréter les observations morphologiques.

Les toposéquences étudiées sont localisées dans la vallée du Moyen Niger (fig. 1), en plein coeur du Sahel (500 mm de pluie par an, fig. 2).

Aspects actuels de la connaissance des sols à différentes échelles

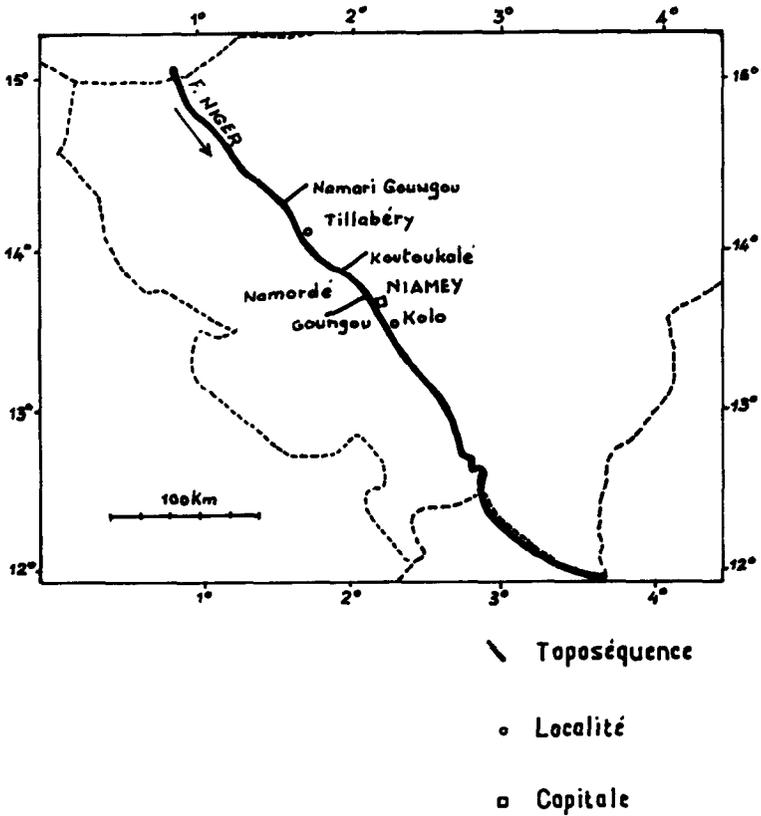


Fig. 1: Localisation des trois toposéquences

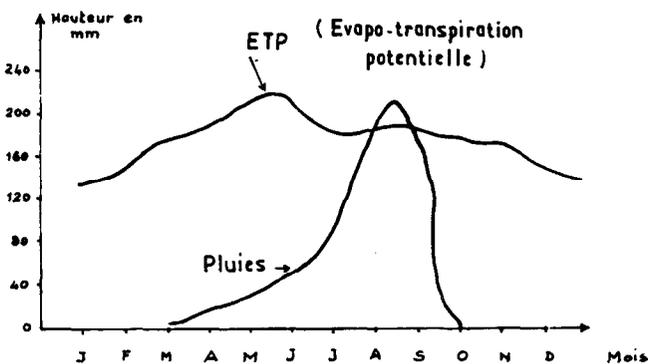


Fig. 2: Courbes de pluies et d'évapotranspiration mensuelles à Tillabéry

I - LES MATERIAUX PEDOLOGIQUES

La localisation des matériaux pédologiques constitutifs de la couverture pédologique est représentée dans la figure 3.

A la lecture de la figure ci-dessus, il apparaît que le matériau originel de la zone d'étude est un résidu de vieilles altérations constitué d'éléments squelettiques (sables quartzeux, cailloutis et conglomérats).

II - LES SOLS

1. Méthodologie

1.1. Démarche de terrain

Le choix des toposéquences a été guidé par les deux considérations suivantes :

- l'aménagement des bordures du fleuve Niger illustre la problématique posée par la mise en valeur des sols du Niger. La partie amont des toposéquences est occupée par les cordons dunaires souvent exploités en cultures pluviales (mil, niébé), et la partie aval est occupée par une culture irriguée, essentiellement la riziculture. Aussi bien à l'amont qu'à l'aval le principal problème consiste à mieux valoriser le stock hydrique ; dans le premier cas il s'agit d'un manque d'eau accentué par une faible réserve utile, dans le deuxième il peut s'agir d'hydromorphie aggravée par l'apparition d'une salinisation ou d'une alcalinisation dans les alluvions aménagées ;
- l'autre concerne la stratégie à adopter pour étudier les sols du Niger : l'immense étendue du Niger rend toute investigation pédologique systématique et à grande échelle coûteuse et fastidieuse, donc seule l'analyse de toposéquences sur des sites bien choisis peut aider à mieux approcher l'organisation et le fonctionnement des sols.

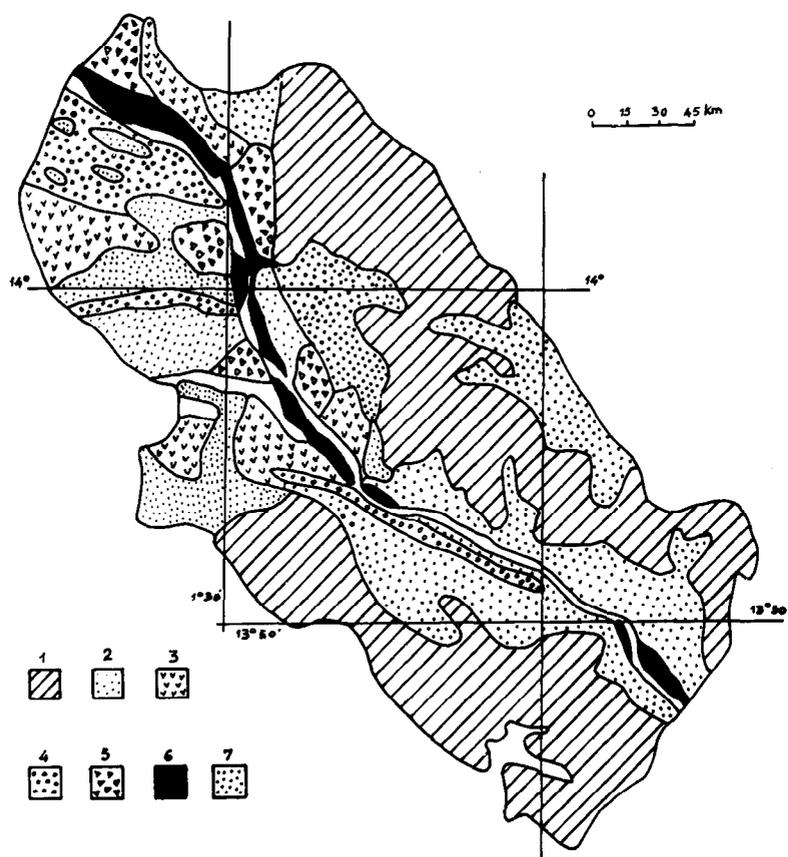


Fig. 3 : Matériaux constitutifs de la couverture pédologique de la zone d'étude

1 : sables ferrugineux sur cuirasses ferrugineuses ; 2 : sol ferrugineux sur erg ancien ; 3 : colluvions sur schistes ; 4 : sables gris de l'erg récent ; 5 : sols de alacis ; 6 : sols hydromorphes des alluvions du fleuve Niger ; 7 : sables des vallées du Moyen Niger

Les sols de la vallée du Moyen Niger

L'étude morphologique des sols est largement inspirée de la démarche par toposéquences développée récemment par BOULET (1975) où le sol, en tant que système, est un milieu organisé et structuré. Cette organisation témoigne de son passé, de sa genèse et elle est l'expression et le vecteur de son fonctionnement actuel (RUELLAN, 1983).

Pour notre part, la toposéquence est définie comme une ligne de fosses d'observation orientée selon la ligne de plus grande pente qui joint le plateau au fleuve.

Dans ce travail, nous avons étudié un nombre restreint de profils représentatifs des principaux types de sols de la couverture pédologique, sélectionnés de la manière suivante :

- Dans la première toposéquence, nous avons caractérisé la morphologie de 11 profils pédologiques et effectué 7 sondages à la tarière. Nous avons ramené ce nombre à 3 fosses pédologiques, qui présentent les différences structurales et texturales les plus nettes. Ces fosses ont été appelées P1, P2 et P3.
- Au niveau de la toposéquence n° 2, nous avons appliqué le même raisonnement, mais en comparant également les fosses de la toposéquence n° 2 aux trois fosses choisies sur la toposéquence n° 1. Dans la toposéquence n° 2, nous avons ouvert 11 profils pédologiques et effectué 7 reconnaissances à la tarière. Ces points ont également été comparés à la toposéquence n° 1. Les fosses retenues sur la toposéquence n° 2 seront appelées P4 et P5.
- Pour la toposéquence n° 3, nous avons adopté le même raisonnement que dans la toposéquence n° 2. Dans cette toposéquence, nous avons ouvert 9 fosses et effectué 9 sondages à la tarière. Nous avons gardé une fosse sur 9 et nous la désignerons P6.

Autrement dit, les fosses n° 7, 8 et 11 de la toposéquence n° 2 sont comparables, par leur traits pédologiques, à la fosse P1 de la toposéquence n° 1.

Le résultat de cette itération est illustré par la figure 4.

Aspects actuels de la connaissance des sols à différentes échelles

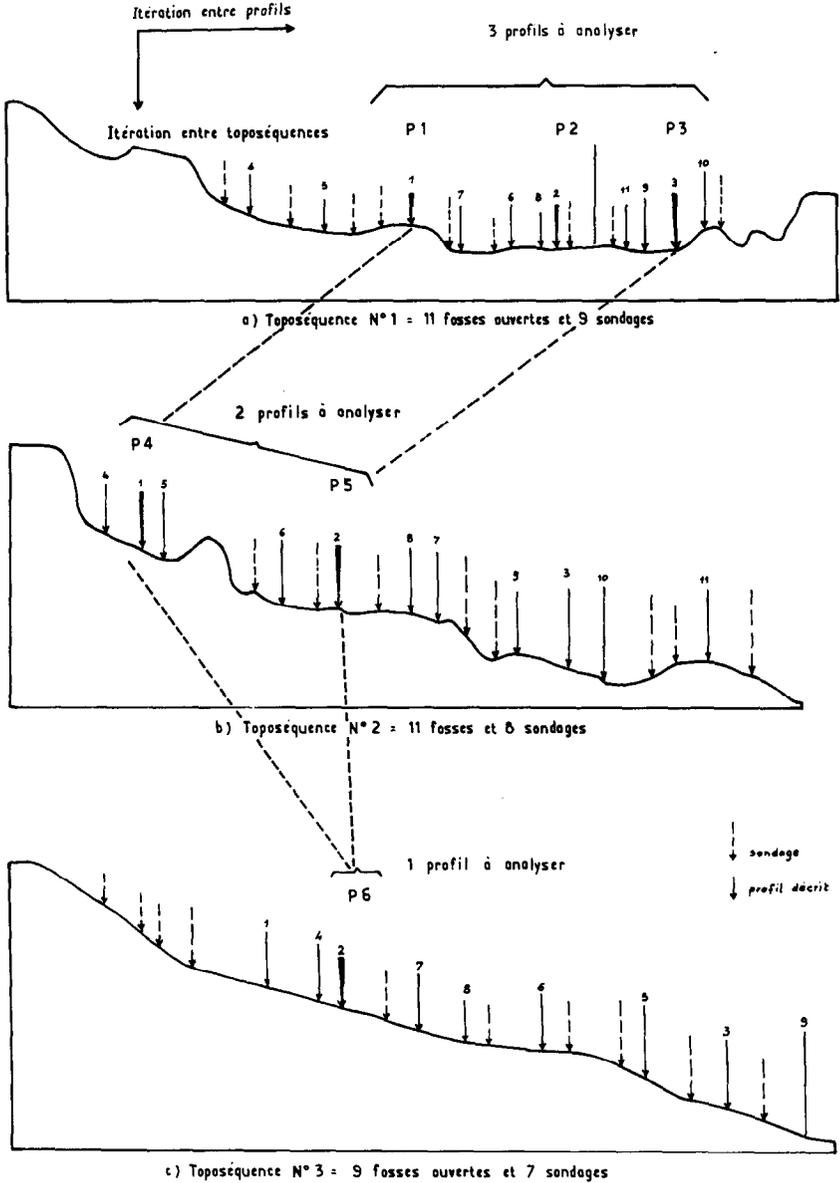


Figure 4 : Résultat de l'itération pour le choix des fosses objet de la caractérisation analytiques

1.2. Méthodes analytiques

Le complexe d'échange

L'extraction des bases est faite à l'acétate d'ammonium. Le calcium et le magnésium sont dosés par complexométrie à l'EDTA, le potassium et le sodium sont déterminés au spectrophotomètre de flamme.

Extraction du fer libre

Les formes amorphes et complexées du fer et de l'aluminium, ainsi que les silico-aluminates amorphes, sont dissous au réactif de Tamm.

Le fer et l'aluminium présents sous forme d'oxydes cristallisés sont extraits au réactif de Mehra-Jackson.

Le calcaire total a été déterminé en comparant le volume de dioxyde de carbone dégagé sous l'action de HCl sur un poids donné de terre, à celui obtenu dans les mêmes conditions avec du carbonate de calcium pur.

Nature des argiles

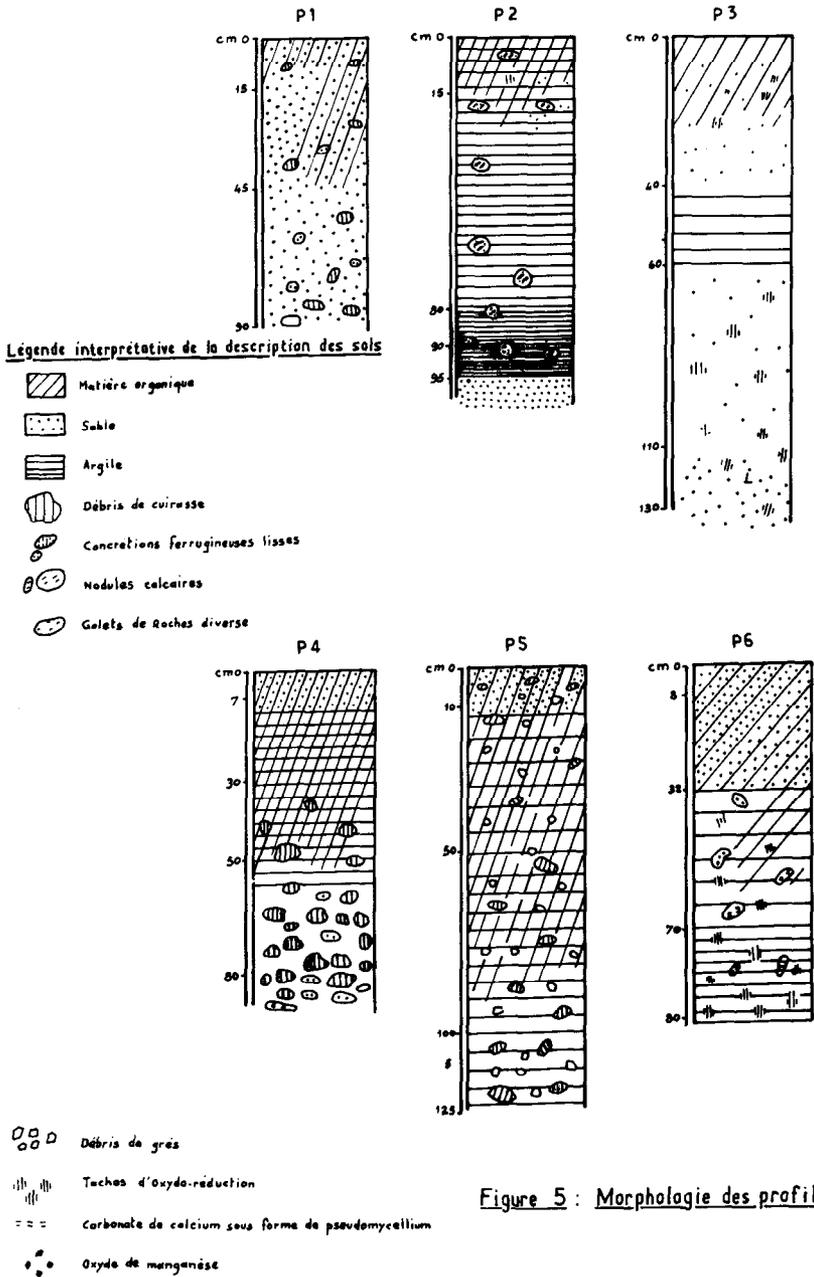
La nature des argiles a été déterminée par diffraction des rayons X.

2. Résultats - Discussions

2.1. Caractérisation morphologique des sols (fig. 5)

P1 : Sol brun-rouge normalement drainé, uniformément sableux (sables ocres) et à structure massive fragile. Sur ce matériau sableux remanié, il est difficile de distinguer le caractère faiblement rubéfié ou ferrugineux.

Aspects actuels de la connaissance des sols à différentes échelles



P2 : Sol hydromorphe vertique à texture franchement argileuse, sous-tendu par une nappe phréatique en charge.

La structure en plaquettes présente en profondeur est probablement un héritage des sédiments qui se trouvent à la base du profil.

P3 : Sol hydromorphe à efflorescences salines blanches et noires en surface. La texture est sablo-limoneuse à limono-argileuse et la structure est massive. Le caractère principal de ce profil est l'apparition d'une salinolyse principale et d'une réduction secondaire du fer et du manganèse.

P4 : Sol peu évolué d'érosion sableux en surface et sablo-argileux en profondeur. La structure est massive, avec une tendance polyédrique en profondeur.

P5 : Sol brun-rouge normalement drainé, sur colluvions de texture sablo-argileuse. La structure est massive à éclats polyédriques.

P6 : Sol halomorphe à efflorescences salines blanches et noires (matière organique solubilisée en milieu alcalin) et nodules calcaires. La texture est sablo-limoneuse à argilo-limoneuse et la structure est massive. La marmorisation traduit un mauvais drainage interne du sol.

2.2. Constitution granulométrique et minéraux argileux

Nous avons procédé à des examens minéralogiques à l'aide de la diffraction des rayons X, horizon par horizon, ce qui permet de suivre la répartition verticale des argiles dans chaque profil.

Le profil P1 est caractérisé par une granulométrie essentiellement sableuse, avec une teneur en argile qui ne dépasse guère 5 %. Cette fraction argileuse est exclusivement de nature kaolinitique.

Le profil P2, formé dans la cuvette alluvionnaire, a une granulométrie plus variable. La teneur en argile passe de 36 % en surface à 46 % en profondeur. Dans ces matériaux, la montmorillonite est dominante en surface et diminue en profondeur au profit de la kaolinite. L'illite est sous forme de traces. On note aussi la présence de matériaux fins constitués de feldspaths.

Le profil P3 est également développé dans les alluvions du lit du fleuve, mais il présente une faible teneur en argile (5 % en moyenne). Les argiles sont principalement de la kaolinite. Les smectites sont sous forme de traces, sauf dans le niveau 40-60 cm où elles atteignent des teneurs notables (20 %). L'illite est présente et sa proportion tend à augmenter avec la profondeur, sans jamais toutefois dépasser la valeur de 15 %. On constate l'existence de feldspaths, dont la proportion varie de 10 % en surface à 15 % en profondeur.

Le profil P4 a une teneur en argile variable avec la profondeur (3 % à 20 %). La fraction argileuse est dominée, tout au long du profil, par la montmorillonite, avec un taux moyen de 60 %. Viennent ensuite la kaolinite, avec une proportion de 35 %, puis l'illite, en très faible proportion (5 %). Les feldspaths sont sous forme de traces dans ce profil.

Au niveau du profil P5, dont la teneur en argile augmente avec la profondeur, on note également la prédominance de la montmorillonite (60 %). La kaolinite présente un taux moyen de 35 %, alors que l'illite n'existe que sous forme de traces.

Le profil P6 a une texture sableuse en surface et limoneuse à limono-argileuse en profondeur. Sa minéralogie est dominée en surface par la kaolinite, qui diminue de haut en bas au profit de la montmorillonite. L'illite, qui représente environ 20 % des minéraux en surface, décroît fortement en profondeur (5 %). Les feldspaths sont en proportion élevée dans ce profil (15 %).

L'investigation au moyen des rayons X a permis de montrer que la kaolinite est le minéral argileux dominant dans les sols de la vallée du moyen Niger. Vient ensuite la montmorillonite,

dont le taux dépasse dans certains cas celui de la kaolinite. L'illite présente une faible teneur dans tous les sols. Des feldspaths existent en quantité relativement élevée, notamment dans les profils P3 et P6, où nous avons observé des signes d'alcalinisation ou de salinisation en surface.

Compte tenu de notre niveau d'investigation, la composition minéralogique (kaolinite, montmorillonite et illite) semble relever de l'héritage de matériaux parentaux sédimentaires.

Toutefois des conditions particulières peuvent engendrer des cas de néoformation des smectites. Il a en effet été signalé que la néoformation en zone tropicale à l'aval de séquence de sols est un phénomène fréquent, en particulier en Afrique de l'Ouest (BOULET, 1975).

2.3. Le fer

Le fer est un des constituants essentiels des sols, surtout lorsqu'il s'agit de pédogenèse ferrallitique ou ferrugineuse. De part sa qualité, il détermine, avec la matière organique, la couleur des sols.

Les résultats obtenus sont illustrés par la figure 6, dont l'examen permet de formuler les observations suivantes :

Dans le profil P1, constitué de matériaux sableux ferrugineux, le taux de fer total est faible : de 0,43 % en surface, il progresse légèrement en profondeur pour atteindre la valeur de 1 %.

Le rapport fer libre/fer total, généralement faible, indique une dynamique du fer très peu active dans les sables, où les processus pédogenétiques sont très réduits. Le fer amorphe étant en très faible proportion, le fer libre est constitué principalement de fer cristallisé.

Au niveau du profil P2 développé dans les alluvions fines du fleuve, le taux de fer total est de l'ordre de 2,1 % en surface. Il augmente régulièrement avec la profondeur pour atteindre 2,5 % à la base du profil.

Aspects actuels de la connaissance des sols à différentes échelles

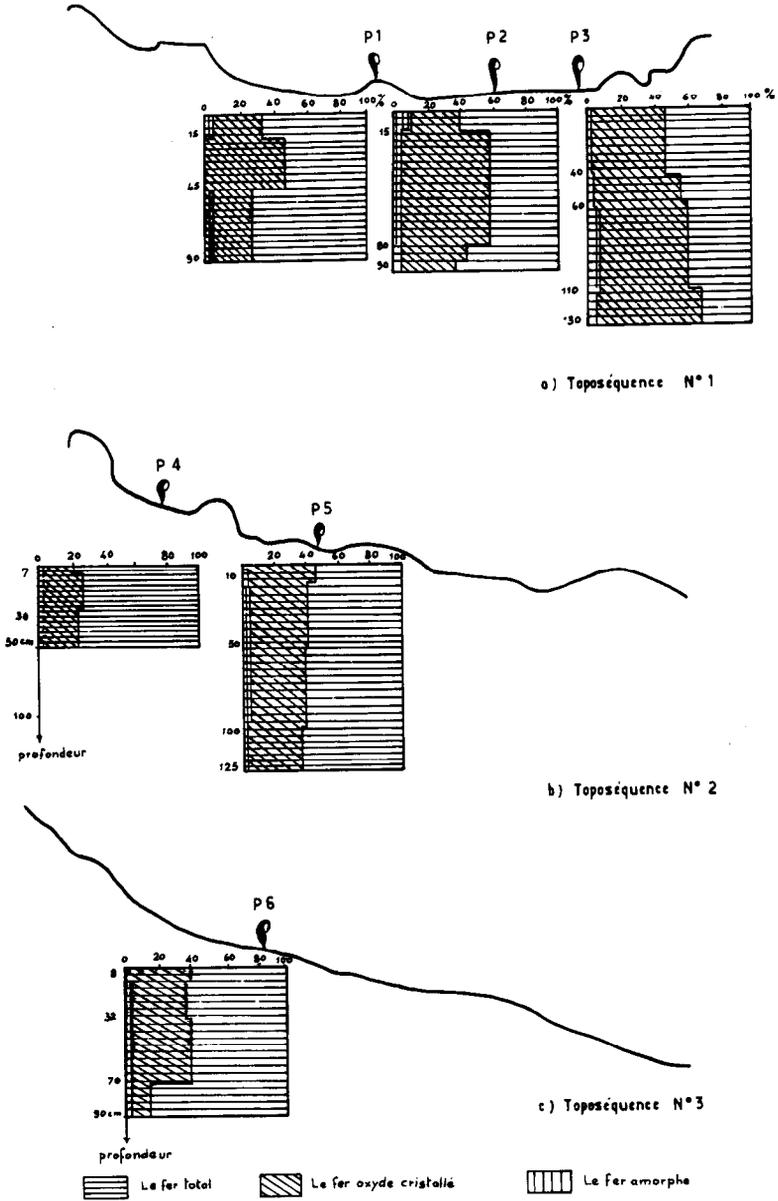


Fig. 6 : Les différentes formes du fer dans les profils

Les sols de la vallée du Moyen Niger

Dans le profil P3, situé dans la cuvette alluvionnaire, les teneurs en fer total les plus élevées sont enregistrées dans les niveaux intermédiaires (2,30 %). L'horizon supérieur et l'horizon inférieur présentent un taux identique de 1,2 %.

Le taux de fer libre croît régulièrement de la surface vers la profondeur, pour atteindre une valeur de 58 %. La teneur en fer amorphe, nettement inférieure à celle du fer cristallisé, augmente le long du profil.

Dans le cas du profil P4, situé sur un glaciais érodé, la teneur en fer évolue légèrement de haut en bas (1 à 1,7 %). La phase cristalline et la phase amorphe sont pratiquement constantes tout au long du profil. Le rapport fer libre/fer total est bas (25 % en moyenne). Il témoigne de la faible évolution de ce profil.

Les matériaux ferrugineux du profil P5 présentent une teneur en fer total qui augmente de la surface vers la profondeur (1 à 1,8 %). Le rapport fer libre/fer total est de 45 % en surface. Il diminue légèrement en profondeur (37 %). Le fer libre est essentiellement sous forme cristallisée.

Le profil P6, développé sur des colluvions, présente une teneur en fer total croissant de la surface vers la profondeur (1,3 à 4 %). La proportion de fer libre varie peu tout au long du profil et a une valeur moyenne de 40 %.

De cette étude des différentes formes du fer nous retiendrons que :

- les sols développés dans les argiles de décantation ont les teneurs les plus élevées en fer total, mais ces valeurs sont inférieures à celles des sols ferrugineux tropicaux ;
- le rapport fer libre/fer total, faible ou moyen, traduit une faible évolution des matériaux pédologiques. On note que ce rapport atteint les plus fortes valeurs dans les horizons intermédiaires, ce qui présage de l'existence d'une zone d'altération ;

- le fer libre est essentiellement sous forme d'oxydes cristallisés.

A travers l'étude des indices d'altération définis par les différentes formes du fer, il apparaît que les matériaux pédologiques de la vallée du Moyen Niger ont peu évolué depuis leur mise en place, ce qui nous amène à dire que ces matériaux ont probablement toujours subi un climat à longue saison sèche semblable à l'actuel, très peu favorable à une altération chimique, en dehors des zones d'épandage et de concentration des eaux.

2.4 Les concentrations calcaires

2.4.1. Distribution du carbonate de calcium

Le carbonate de calcium se présente soit en distribution irrégulière, soit en distribution régulière.

La distribution irrégulière a été observée dans les sols peu évolués de glaciais, les sols bruns à nodules calcaires et les sols présentant des manifestations salines. Il s'agit de la forme pseudomycélienne, à laquelle s'ajoutent les concrétions calcaires de dimension centimétrique au sein du granite très décomposé.

La distribution régulière se manifeste par la présence de nodules calcaires grisâtres de forme allongée ou sphérique (1 à 5 cm). L'abondance des nodules diminue de la surface vers la profondeur dans les sols P2 et P6.

2.4.2. Variations des teneurs en carbonate de calcium

L'analyse des taux de carbonate de calcium dans les profils, illustrée par la figure 7, montre que dans les matériaux sableux des profils P1 et P5, les teneurs sont nulles. Par contre, au niveau des profils P2 et P3, les teneurs sont notables et décroissent avec la profondeur, mais sans dépasser 2 %, contrairement au profil P4, où elles atteignent 4 %.

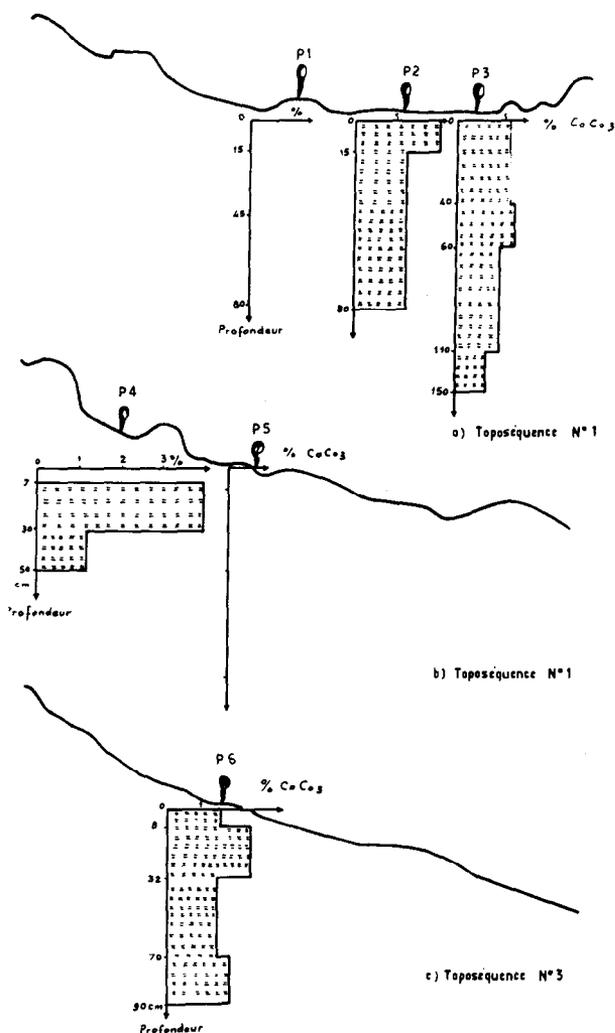


Fig.7 : Variations des teneurs en CaCO_3 total des sols

2.4.3. Interprétation de ces concentrations

Aujourd'hui plusieurs hypothèses sont avancées pour expliquer la mise en place des concentrations calcaires dans les sols. Nous retenons, pour notre part, l'hypothèse *per ascensum* qui attribue à la remontée par capillarité de la solution un rôle majeur. Cette

hypothèse correspond parfaitement au contexte sahélien à déficit hydrique marqué : l'évaporation intense concentre le milieu et le carbonate de calcium est déposé dans les structures d'accueil où son produit de solubilité est atteint. La présence de ces précipitations à proximité de la surface assure une dessiccation saisonnière favorable à la formation des éléments individualisés en nodules. Dans le cas des poupées calcaires au sein des altérites, il peut s'agir d'épigénie calcaire comme l'a signalé BOULET (1975) dans les sols sur roche-mère granitique de la frange sahélienne du Burkina Faso.

Plus mobile que le fer, le calcium présente donc une dynamique plus active dans la vallée du Moyen Niger. Cette dynamique se traduit par l'accumulation de carbonate de calcium.

2.5. Le complexe d'échange

Les résultats analytiques relatifs au complexe d'échange sont consignés dans le tableau ci-dessous.

De ce tableau on peut tirer les conclusions suivantes :

- les sols représentés par les profils P1, P2, P4 et P5 ont une garniture ionique dominée par le calcium et le magnésium et leur pH est légèrement acide ou neutre,
- par contre, dans les formations pédologiques représentées par les profils P3 et P6, on observe de fortes valeurs en sodium et une réaction fortement basique, synonymes d'une alcalinisation de sol.

Tableau n° 1 - Bases échangeables dans les sols (mé/100 g)

Profil	Horizon	Ca	Mg	K	Na
P1	0 - 15	0,69	0,47	0,2	0,05
	15 - 45	1,62	0,43	0,3	0,05
	45 - 90	1,62	0,37	0,2	0,05
P2	0 - 15	4,56	3,0	0,15	0,8
	15 - 80	6,68	3,62	0,32	1,85
	80 - 90	5,56	2,75	0,25	2,02
	90 - 95	1,81	1,06	1,10	1,70
P3	0 - 40	3,00	0,34	5,15	8,30
	40 - 60	1,68	0,37	5,70	11,73
	60 - 110	3,43	1,18	4,81	8,70
	110 - 130	0,40	0	1,05	2,70
P4	0 - 7	2,12	0,50	0,67	0,50
	7 - 30	8,73	0,81	0,48	0,50
	30 - 50	15,37	2,75	0,55	0,1
P5	0 - 10	1,08	0,81	0,42	0,07
	10 - 50	4,56	1,94	0,50	0,12
	50 - 100	4,75	1,60	0,40	0,15
	100 - 125	3,24	1,56	0,40	0,18
P6	0 - 8	1,18	0,38	0,23	6,28
	8 - 32	1,18	0,50	0,20	3,82
	32 - 70	1,50	1,10	0,17	6,53
	70 - 90	2,18	2,37	0,30	6,37

CONCLUSION

La démarche employée nous permet de présenter, dans un schéma synthétique, l'organisation des sols de la vallée du Moyen Niger (fig. 8).

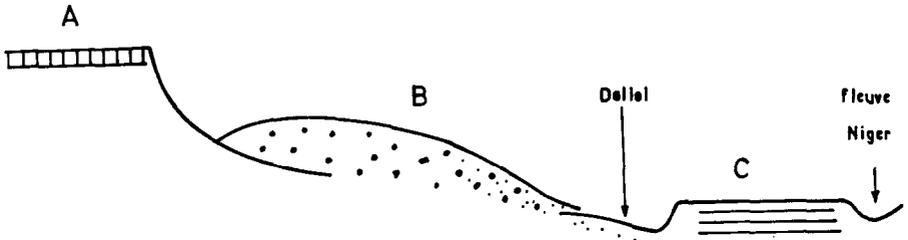


Fig. 8 : Toposéquence synthétique de la vallée du moyen Niger

La partie A correspond au plateau cuirassé, soit continu, soit démantelé. Il s'agit surtout de lithosols où les traces de pédogenèse actuelle ne se manifestent que par les phénomènes de fragmentation et de désagrégation. Les cuirasses, par leur position topographique, sont soumises à un pédoclimat très sec et à une température très élevée. Elles ne semblent guère évoluer, et elles constituent les témoins d'une pédogenèse ancienne très active qui a abouti à la formation d'horizons oxiques. Ces horizons ont été mis à nu par suite de l'érosion, et le climat actuel ne fait qu'accentuer leur durcissement.

La partie B est constituée par des matériaux sableux peu ferrugineux dont l'organisation est très variable. Elle passe des arénosols non différenciés, où aucun trait pédologique n'est visible, aux sols ferrugineux différenciés, où la pédogenèse actuelle est marquée par des traits pédologiques tels que la rubéfaction ou l'individualisation d'accumulations de carbonate de calcium.

La partie C correspond aux sols situés dans les vallées anciennes ou actuelles. Ils sont caractérisés par une texture fine, souvent à base de smectites, et par une hydromorphie ancienne ou actuelle souvent associée à l'apparition de manifestations salines, le plus souvent en milieu alcalin.

Les indicateurs utilisés pour caractériser la pédogenèse actuelle font apparaître les phénomènes suivants :

- le fer, sous forme amorphe ou cristallisée, ne montre par une dynamique particulière, hormis les zones affectées aujourd'hui par l'hydromorphie ;

- les minéraux argileux, à base de kaolinite dans les matériaux ferrugineux, de montmorillonite dans les bas fonds et secondairement d'illite, ne laissent pas présager, compte tenu des moyens d'investigation, des conditions favorables à la néoformation ;
- c'est au niveau des sels que l'empreinte de la pédogénèse actuelle se fait le plus sentir. En effet, c'est au niveau de la distribution des sels de calcium et de sodium que nous avons pu distinguer une dynamique dans les profils.

BIBLIOGRAPHIE

- BOULET (R), 1975 - Toposéquence des sols tropicaux en Haute Volta : équilibres dynamiques et bioclimatiques. *Cah. ORSTOM*, sér. Pédol., 13(2) : 1 300 - 1 306.
- RUELLAN (A), 1983 - Organisation morphologique et fertilité des sols, ORSTOM Paris.