



RAPPORT DE MISSION

ÉTUDE PÉDOLOGIQUE EN VUE D'UN SUIVI HYDRIQUE
SUR LE BASSIN VERSANT DE SAMA-DEY (Niger)

Recherches effectuées du 11 au 29 février 1992
dans le cadre du programme HAPEX-SAHEL

Mathieu LAMOTTE

ORSTOM - U.R. 2B

20 mars 1992

Fonds Documentaire IRD



010022646

Fonds Documentaire IRD

Cote : B* 22646 Ex: 1



RAPPORT DE MISSION

**ÉTUDE PÉDOLOGIQUE EN VUE D'UN SUIVI HYDRIQUE
SUR LE BASSIN VERSANT DE SAMA-DEY (Niger)**

Recherches effectuées du 11 au 29 février 1992
dans le cadre du programme HAPEX-SAHEL

Mathieu LAMOTTE

ORSTOM - U.R. 2B

20 mars 1992

INTRODUCTION

Ce rapport rend compte de travaux effectués du 11 au 29 février 1992 par M. LAMOTTE (1) et J.L. RAJOT (2). Ces travaux s'inscrivent dans le cadre d'un programme concernant les échanges de matière et d'énergie à l'interface sol-atmosphère (programme HAPEX-SAHEL) et d'un programme concernant la dynamique et l'évolution de versants (programme versant de l'ORSTOM - U.R. 2B). Nos travaux comprennent 2 journées préliminaires de concertation avec les différents intervenants de l'étude du milieu physique, 14 journées de recherches sur le terrain et 3 journées de synthèse.

I - OBJECTIF

L'objectif de nos travaux est de procéder à une caractérisation des principaux ensembles de la couverture pédologique sur le site central du programme HAPEX-SAHEL et plus précisément sur le bassin versant de SAMA-DEY. L'une des principales finalités consiste à dresser des bilans hydriques. Notre approche est orientée vers un inventaire et une caractérisation des ensembles pédologiques en fonction de leur comportement hydrique (comportement présumé à la suite d'observations morphologiques). Il s'agit d'aboutir rapidement, après nos travaux, à des hypothèses de fonctionnement hydrique sur lesquelles s'appuieront des implantations de dispositifs appropriés de suivi. En outre, ces implantations doivent être choisies pour satisfaire une approche conjointe des hydrologues, des pédologues et des phyto-écologues concernés par l'étude des versants.

II - PRÉSENTATION DE LA ZONE D'ÉTUDE

L'étude s'appuie d'une part sur les connaissances régionales en particulier apportées par des études pédologiques de GAVAUD (1975) et des études de télédétection (en cours) ; d'autre part sur les premières investigations détaillées localisées sur le site central du programme HAPEX-SAHEL (COURAULT, 1990 ; COURAULT *et al.*, 1991 ; BOULET et NACIMENTO, 1992 ; NAGUMO, 1992).

(1) pédologue (I.N.R.A. - S.E.S.C.P.F., ARDON, 45 160 OLIVET, FRANCE)

(2) pédologue, V.S.N. (ORSTOM, B.P. 11 416, NIAMEY, NIGER)

Situation géographique

Le site central du programme HAPEX-SAHÉL est un carré de 20 km de côté, caractérisé par les coordonnées suivantes (NAGUMO, 1992) : à l'angle SW, 13° 29,21' de latitude et 2° 36,77' de longitude ; à l'angle SE, 13° 29,21' de latitude et 2° 47,88' de longitude ; à l'angle NW, 13° 40' de latitude et 2° 36,77' de longitude ; à l'angle NE : 13° 40' de latitude et 2° 47,88' de longitude.

Modelé et réseau hydrographique

Deux grandes unités morphologiques apparaissent dans le paysage. Il s'agit d'une part des plateaux, qui s'interrompent brutalement avec un escarpement, et d'autre part des versants, qui sont disposés depuis l'interruption des plateaux jusqu'aux talwegs (*kori*). Le bassin versant de SAMA-DEY est situé entre des unités de plateaux étendus vers l'est sur plusieurs kilomètres et dont l'extension est plus limitée vers l'ouest (sur quelques centaines de mètres). Au vu des observations de terrain, de photographies aériennes, d'images satellites, les versants entre ces unités de plateau apparaissent nettement dissymétriques de part et d'autre du talweg.

Les versants présentant les plus grandes diversités de formes sont répartis à l'est du talweg. Ils sont constitués alors de cinq parties, en se déplaçant de l'escarpement du plateau vers le talweg : (A) zone de piedmont, (B) zone de pente à ravines, (C) zone de replat, (D) zone à îlots (dômes arrondis ou allongés) et (E) talweg (*kori*). Les deux premières parties constituent le haut de versant, les trois dernières le bas-fond. Des ravines prennent naissance à la base des escarpements du plateau et se prolongent sur le haut de versant. Ces ravines qui marquent de fortes incisions sur les piedmonts se perdent vers l'aval en divagations au contact des zones de replats des bas-fonds. L'observation de photographies aériennes montre l'absence de jonction entre le réseau des ravines de haut de versant et le tracé du talweg : avant de rejoindre le talweg, les ravines se perdent en amont de la zone en îlots à topographie irrégulière.

En l'absence de carte topographique et pour autant que l'on puisse en juger *a priori*, le versant situé à l'ouest du talweg présente une morphologie moins complexe. Il est constitué d'un piedmont et d'une pente régulière (F) qui paraît se raccorder directement au talweg (E).

Couverture végétale

Les plateaux présentent une couverture végétale de type "brousse tigrée", où alternent régulièrement, sur des largeurs pluridécamétriques, des bandes de zones nues et des bandes de zones arbustives. Les versants sont associés à des zones cultivées et à des zones de jachères à végétation arbustive peu dense. Sur le versant situé à l'ouest du talweg, des bandes de largeur décamétrique à végétation arbustive dense alternent avec des zones plus étendues et de formes plus irrégulières, à végétation arbustive disséminée. Sur le versant situé à l'est du talweg, les zones de replat du bas-fond présentent dans les espaces de jachère une couverture arbustive relativement dense s'étendant sur plusieurs décamètres.

III - DÉMARCHE ET CHOIX DES SECTEURS D'INVESTIGATION

L'étude est focalisée sur les versants du bassin de SAMA-DEY. Sur le versant situé à l'est du talweg, les observations sont effectuées sur une partie de versant cultivée. Sur celle-ci, une série de 7 tubes de sonde à neutron (4 m de profondeur) est suivie depuis environ six mois par S. GALLE. Nos observations portent sur 8 fosses et 6 sondages à la tarière orientés E-W sur le haut de versant et le replat, puis orienté ENE-WSW vers le sommet d'un dôme de la zone à îlots. Sur le versant situé à l'ouest du talweg, nos observations sont effectuées dans trois fosses : 1 fosse située vers le haut de la pente, 1 fosse située vers le bas de la pente et 1 fosse implantée dans le lit du talweg. Ces trois fosses sont orientées SE-NW.

D'emblée, nous avons choisi de procéder à des caractérisations en profondeur (jusqu'à 10 m environ) pour tenir compte des dénivelées (10 à 20 m), qui sont observées sur les versants par COURAULT *et al.* (1991), BOULET et NACIMENTO (1992) et NAGUMO (1992). Il s'agit donc de caractérisations ponctuelles de la couverture pédologique pour dresser un inventaire des ensembles pédologiques, sans chercher dans cette première étape à connaître la géométrie des ensembles pédologiques. Nos travaux portent sur des observations morphologiques complétées au fur et à mesure du creusement des fosses par des déterminations de teneur en eau (méthode "de la perte de poids") et de densité apparente (méthode "des cylindres").

IV - RÉSULTATS

IV.1. Organisation pédologique sur le versant à l'est du talweg

Le site d'étude présente la succession latérale suivante :

- zone de pente à ravines s'étendant sur une distance de 600 m environ sur laquelle sont implantés 7 tubes de suivi neutronique,
- zone de replat s'étendant sur une distance de 50 m environ,
- zone à îlots (dômes arrondis ou allongés) s'étendant sur une distance de 1 km environ.

Les organisations pédologiques qui sont associées à ces différentes zones seront présentées successivement.

IV.1.1. Dans la zone de pente (B)

Dans la zone de pente, une superposition de trois ensembles est observée de haut en bas : [1] horizons sablo-limoneux, [2] horizons argilo-sableux, [3] horizons limono-argileux. Ces horizons présentent les caractères communs et les caractères divergents suivants :

[1] Horizons sablo-limoneux

Caractères communs

Teinte brun orangé (à sec). Texture sablo-limoneuse à sables fins. Structure massive à particulière. Porosité intergranulaire forte. Cohésion faible. Humectage rapide. Matière organique peu abondante, racines fines décomposées. Faible activité faunique. Tessons de céramique assez nombreux jusqu'à 0,5 m de profondeur. Limite inférieure peu nette (teinte, texture), transition sur 20 cm.

Caractères divergents

Épaisseur variant entre 9,3 m (en haut de la pente) et environ 3 m (en bas de la pente). Teinte Munsell (en humide) variant de haut en bas : 2,5 YR 4,5/8 à 5 YR 5/8. Présence de fragments d'horizon induré ferrugineux (fragments remaniés : formes arrondies, $\varnothing \approx 1$ à 8 cm) à la limite inférieure des horizons sablo-limoneux et en haut de la pente. Présence de raies de texture plus argileuse (obliques ou horizontales, d'épaisseur millimétrique et apparaissant à moins d'un mètre de profondeur en bas de la pente).

[2] Horizons argilo-sableux

Caractères communs

Présence de trois phases de teinte gris clair, brun clair et bordeaux à sec (respectivement

10 YR 7/2,5 - 7,5 YR 6/6 - 5 YR 5/6 en humide). Phase de teinte bordeaux à brun sombre non indurée ou indurée (nodules : forme irrégulière, $\varnothing \approx 0,5$ à 1 cm). Texture argilo-sableuse à sables fins. Structure massive. Porosité intergranulaire faible (sauf dans la phase brun clair de texture moins argileuse), porosité tubulaire faible ($\varnothing \approx 3$ mm) et porosité de cavité peu développée ($\varnothing \approx 10$ cm, origine faunique). Cohésion assez forte. Humectage assez rapide. Limite inférieure nette (teinte, texture, cohésion), transition sur 25 cm.

Caractères divergents

Variations de proportion des différentes phases, de haut en bas : diminution des phases de teinte bordeaux et augmentation des phases de teinte gris clair ou brun clair. Variations d'épaisseur dans le bas de la pente (horizons non transpercés dans le haut de la pente) : 1 m à 2,4 m.

[3] Horizons limono-argileux

Caractères communs

Teinte ocre jaune à sec (10 YR 5,5/8 en humide). Structure massive. Porosité intergranulaire faible, porosité tubulaire assez forte ($\varnothing \approx 5$ mm). Phase de teinte bordeaux à sec (5 YR 5/6 en humide) remplissant pour partie la porosité tubulaire. Cohésion très forte. Humectage très lent.

Caractères divergents

Variation de la profondeur d'apparition : environ 6 m en bas de pente et environ 9 m en milieu de pente. Présence localisée d'horizons indurés lenticulaires et peu épais (< 10 cm).

Les horizons sablo-limoneux [1] sont de plus en plus épais vers le haut de la pente. Ces horizons sablo-limoneux reposent sur des horizons argilo-sableux [2]. La limite entre les horizons [1] et les horizons [2] est progressive ; elle est néanmoins soulignée vers le haut de la pente par la présence de fragments remaniés d'horizons indurés ferrugineux qui suggère l'existence d'une discontinuité sédimentaire entre [1] et [2]. Des horizons limono-argileux [3] très compacts et très cohérents apparaissent en profondeur sous les horizons argilo-sableux (dans les cas où ces horizons argilo-sableux ont été transpercés).

Les horizons sablo-limoneux sont vraisemblablement perméables. D'après les mesures neutroniques effectuées par GALLE (communication orale), des variations saisonnières de teneur en eau sont observées dans ces horizons sablo-limoneux jusqu'à 2,5 m de profondeur (haut de la pente) et localement jusqu'à plus de 4 m de profondeur (milieu de la pente). Les horizons argilo-sableux et les horizons limono-argileux pourraient jouer un rôle de plancher pour une nappe qui se développerait dans les horizons sablo-limoneux. Les indices témoignant du fonctionnement d'une telle nappe sont fugaces (présence de phases blanchies à la base des horizons [1] et au sein des horizons [2]).

Vers le bas de la pente, des variations saisonnières de teneurs en eau sont observées par GALLE (communication orale) jusqu'à une profondeur de 1,2 m

(profondeur qui diminue vers le bas de la pente). Nos observations morphologiques montrent que des raies plus argileuses et disposées horizontalement ou obliquement apparaissent à cette profondeur. Ces raies pourraient freiner l'infiltration de l'eau. Une étude microscopique permettrait de préciser leur origine (trait biologique, trait d'illuviation, croûte enterrée) et leur rôle dans le fonctionnement hydrique.

IV.1.2. Dans la zone de replat (C)

Dans la zone de replat, un mince horizon sablo-limoneux microlité est présent près de la surface du sol (épaisseur de 10 cm, texture sablo-limoneuse à sables fins, teinte brun jaune clair à sec - 7,5 YR 5/8 en humide-, cohésion assez forte, limite inférieure très nette). Ce mince horizon surmonte quatre ensembles superposés de haut en bas : [1] horizons argileux, [2] horizons indurés gréseux, [3] horizons hétérogènes à phases indurées, [4] horizons argilo-limoneux. Ces ensembles seront décrits successivement.

[1] Horizons argileux

Caractères communs

Épaisseur de 1,20 m environ. Teinte brun rougeâtre à sec. Structure massive, présence de fentes verticales peu ouvertes et espacées de 20 cm environ. Porosité tubulaire forte ($\phi \approx 1$ à 5 mm). Porosité de cavité assez forte ($\phi \approx 3$ à 10 cm, enduit interne, origine faunique). Humectage rapide. Racines vivantes assez abondantes ($\phi < 1$ mm, orientation verticale). Forte activité actuelle de termites (après creusement de la fosse d'observation). Tessons de céramique peu nombreux jusqu'à 0,65 m de profondeur. Limite inférieure très nette (teinte, induration), transition sur 1 mm

Caractères divergents

Variation de teinte de haut en bas : 5 YR 4/4 à 2,5 YR 4/6 en humide (horizons plus humifères vers le haut). Cohésion : forte à très forte.

[2] Horizons indurés gréseux

Caractères communs

Structure prismatique très grossière (60 cm). Phase indurée largement dominante, de teinte jaune ocre à sec (10 YR 5/6 en humide), à cohésion très forte, à humectage très lent. Fentes interprismes subverticales ouvertes de 0,5 à 10 cm (remplissage par des fragments en plaquette de l'horizon induré et par une phase de texture argileuse de teinte rougeâtre - idem horizons argileux sus-jacents -, présence de nombreuses racines vivantes). Limite inférieure nette (teinte, induration, structure), transition sur 10 cm.

Caractères divergents

Epaisseur variant entre 0,5 et 1 m. Interruption latérale des horizons indurés gréseux vers l'est : une diminution de taille puis disparition des phases indurées. Existence d'une forte activité actuelle de termites, à la base des horizons indurés (développement d'une forte porosité tubulaire).

[3] Horizons hétérogènes à phases indurées gréseuses*Caractères communs*

Epaisseur : 2,75 m. Structure massive. Présence de quatre phases : phase indurée de teinte ocre jaune à sec (10 YR 6/8 en humide, forme irrégulière, $\varnothing = 1$ cm, induration moins forte que dans l'horizon sus-jacent) ; phase indurée de teinte bordeaux à sec (5 YR 5/6 en humide) ; phase de texture argileuse et de teinte gris clair (10 YR 7/2 en humide) ; phase de texture argileuse et de teinte bordeaux à sec. Phases indurées à forte cohésion et humectage lent, phases argileuses à cohésion assez forte et humectage rapide. Porosité tubulaire forte ($\varnothing \approx 3$ mm) et porosité de cavité assez développée ($\varnothing = 1$ à 5 cm). Racines vivantes nombreuses ($\varnothing \approx 2$ mm). Limite inférieure peu nette (proportion des phases), transition sur 50 cm.

Caractères divergents

Vers la profondeur, plusieurs gradients apparaissent. En particulier, la phase ocre jaune et la phase grise augmentent en proportion alors que les phases bordeaux diminuent. De plus, la phase ocre jaune n'est plus indurée ; elle présente alors une texture limono-argileuse, une porosité intergranulaire faible, une cohésion faible et un humectage rapide. Une phase de teinte 2,5 YR 4/4 et de texture argileuse apparaît à partir de 4 m de profondeur.

[4] Horizons argilo-limoneux

Caractères morphologiques : idem horizons limono-argileux des sols de la zone de pente.

Profondeur d'apparition : 4,5 m. Présence d'un horizon induré ferrugineux peu épais (5 cm) et discontinu (4,9 m de profondeur).

Les sols de la zone de replat se distinguent des sols de la zone de pente essentiellement par la présence d'horizons argileux proches de la surface du sol et par la présence d'horizons indurés gréseux (sous les horizons argileux). Latéralement, une transition graduelle apparaît entre les horizons sablo-limoneux de la zone de pente et les horizons argileux de la zone de replat. Quant aux horizons indurés gréseux, ils s'interrompent brutalement latéralement sur une distance de 0,5 m. Dans la zone de replat, l'extension de la végétation arbustive dense est plus grande que l'extension latérale des horizons argileux et des horizons indurés gréseux.

Les horizons hétérogènes à phases indurées et les horizons argilo-limoneux des sols de la zone de replat présentent de nombreuses convergences

morphologiques avec respectivement, les horizons argilo-sableux et les horizons limono-argileux de la zone de pente.

La zone de replat connaîtrait des périodes de quelques jours de submersion. Ce phénomène pourrait s'expliquer en considérant que cette zone est située immédiatement en aval des pertes des ravines de haut de versant. Les horizons argileux et les horizons indurés gréseux sont caractérisés par une faible perméabilité qui expliquerait la submersion (au moment de fortes précipitations). On peut certainement considérer que les horizons argileux jouent un rôle "d'éponge" vis à vis des pertes des ravines de haut de versant (après les fortes précipitations).

Dans cette zone de replat, il convient de noter l'existence d'une forte activité biologique (développement très rapide de pousses arbustives un an après des coupes à ras, nombreux creusements et colmatages de galeries par des termites, dans les horizons indurés et alors qu'aucun édifice n'apparaît à la surface du sol). Cette forte activité biologique serait en relation avec des teneurs en eau relativement fortes et nettement supérieures aux teneurs en eau mesurées partout ailleurs sur le versant.

Les termites paraissent jouer ici un rôle tout à fait primordial dans les échanges de matière entre les horizons profonds et les horizons superficiels : leur activité se manifeste par des perforations tubulaires dans les horizons indurés gréseux et par des déplacements de boulettes argileuses humectées qui colmatent les perforations tubulaires.

IV.1.3. Au sommet d'un dôme de la zone à îlots (D)

Sur le versant situé à l'est du talweg, la zone à îlots est une partie du bas-fond où se succèdent des dômes arrondis et des dômes allongés. En l'absence de carte topographique, le modelé de cette zone apparaît complexe. Dans la première période d'investigation, dont ce rapport rend compte, nous avons choisi de limiter nos caractérisations aux sols du sommet d'un dôme situé à proximité de la zone de replat. Sur ce dôme, la végétation arbustive est très peu dense. Les études à faible profondeur de NAGUMO (1992) ont révélé que des sols présentant une superposition d'horizons sablo-limoneux et d'horizons à phases indurées sont juxtaposés à des sols à horizons argileux carbonatés épais. Selon NAGUMO (communication orale), les sols à horizons argileux carbonatés seraient de faible extension et correspondraient à d'anciennes mares, actuellement non

fonctionnelles. Nos caractérisations portent essentiellement sur les sols à horizons sablo-limoneux et à horizons à phases indurées, étudiés jusqu'à 7 m de profondeur.

[1] Horizons sablo-limoneux

Caractères communs

Epaisseur : 0,55 m. Teinte brun orangée à sec. Texture sablo-limoneuse à sables fins. Structure massive. Porosité intergranulaire forte et porosité tubulaire assez forte. Humectage rapide. Limite inférieure nette (apparition de phases indurées), transition sur 3 cm.

Caractères divergents

Variation de teinte en humide, avec de haut en bas : 7,5 YR 5/6 (0 à 15 cm de profondeur), 7,5 YR 4/4 (15 à 20 cm) et 2,5 YR 4/6 (20 à 55 cm). Présence d'un microlitage net entre 0 et 15 cm de profondeur. Racines peu abondantes (0 à 15 cm) à abondantes (15 à 55 cm). Cohésion assez forte à forte.

[2] Horizons hétérogènes à phases indurées gréseuses

Caractères communs

Structure massive. Présence de trois phases : phase indurée de teinte ocre jaune à sec (10 YR 5/6 en humide) et phase indurée de teinte bordeaux à sec (2,5 YR 4/6 en humide) à porosité intergranulaire faible et à porosité tubulaire ($\phi = 1$ à 10 mm) assez forte, de forme irrégulière ($\phi = 1$ à 10 cm), à cohésion très forte, à humectage lent et à contours peu nets ; phase non indurée de teinte bordeaux à sec (2,5 YR 4/6 en humide), de texture argileuse, de structure massive ou en boulettes arrondies et allongées ($\phi \leq 1$ mm), à cohésion faible et à humectage très rapide. Porosité de cavité peu développée : $\phi = 1$ cm à plusieurs décimètres, forme ovoïde, enduit interne de texture argileuse de teinte bordeaux, origine faunique (termites ?). Racines nombreuses ($\phi = 1$ mm, orientation verticale), associées à des pores tubulaires ou à des fentes.

Caractères divergents

Présence de fentes verticales continues de 0,55 m à 5,80 m de profondeur, espacées de 1 m environ et dont l'ouverture varie de haut en bas : 15 cm (à 0,55 m de profondeur) et 1 mm (à 5,80 m de profondeur). Prédominance entre 0,55 m et 0,65 m de profondeur d'une phase indurée gréseuse de teinte ocre jaune à noir (à sec), à oolithes ferrugineux ($\phi \approx 3$ mm) peu abondants. Variations de forme associée à la phase non indurée de teinte bordeaux : forme irrégulière ou forme allongée (remplissage de la porosité tubulaire). Apparition à partir de 3 m de profondeur environ d'une phase de teinte gris clair à sec (10 YR 7/2 en humide), de texture argileuse de forme allongée (1 à 10 cm). Présence à 2,30 m de profondeur d'un horizon induré discontinu et mince (5 cm) de teinte noir à sec, à très forte cohésion et à humectage lent. Variations de proportion des différentes phases (augmentation vers le bas de la phase ocre jaune et de la phase gris clair). Diminution vers le bas de la cohésion des phases indurées.

Les horizons sablo-limoneux du dôme s'apparentent à ceux observés dans les sols de la zone de pente. De même, des convergences morphologiques apparaissent entre les phases indurées gréseuses présentes dans les sols de la zone de replat et dans les sols du dôme étudié. Dans ces deux sols, de nombreux indices caractéristiques témoignent d'une forte activité de la faune du sol : pores tubulaires, cavités de forme ovoïde à enduit interne, phase argileuse à structure en boulettes. Néanmoins, dans les sols du dôme, ces indices paraissent liés à une activité ancienne : aucune activité de la faune du sol n'est observée actuellement.

Sur le dôme étudié, la dynamique hydrique serait essentiellement superficielle (ruissellement et érosion) en relation avec la présence de fortes pentes et avec la présence de micro-organisations superficielles peu perméables. Les mauvaises conditions d'infiltration de l'eau et la présence de phases indurées sur une grande épaisseur (plus de 5 m), sont certainement responsables de la faible activité biologique actuelle observée à la surface des sols et dans les sols de ce dôme.

IV.2. Organisation pédologique sur le versant à l'ouest du talweg

IV.2.1. En haut de pente (F1)

Vers le haut de la pente, une superposition de quatre ensembles d'horizons est observée de haut en bas : [1] horizons sablo-limoneux, [2] horizons à phase indurée, [3] horizon à éléments grossiers ferrugineux (oolithes), [4] horizons argilo-limoneux. Ces horizons seront présentés successivement.

[1] Horizons sablo-limoneux

Caractères communs

Épaisseur : 2,10 m. Texture sablo-limoneuse à sables fins. Structure massive. Porosité intergranulaire forte, porosité tubulaire faible ($\varnothing \leq 1$ mm). Racines peu abondantes vivantes ($\varnothing = 1$ à 3 mm, orientation horizontale ou verticale). Cohésion faible. Humectage rapide. Limite inférieure nette (apparition de phases indurées), transition sur 5 cm.

Caractères divergents

Variation de teinte de haut en bas : brun gris à sec (10 YR 4/5 en humide) sur 0,20 m, brun orangé (7,5 YR 5/8) sur 1,20 m et brun (10 YR 5/8) sur 0,70 m. Présence à partir de 0,20 m de profondeur d'une porosité de cavité peu développée (forme ovoïde, $\varnothing = 3$ à 12 cm, enduit interne, origine faunique, à racines fines tapissant les parois).

[2] Horizons à phase indurée

Caractères communs

Épaisseur : 1,50 m. Structure massive. Présence de deux phases : phase indurée de teinte bordeaux à sec (plus rouge que 7,5 YR 5/8 en humide), à porosité tubulaire faible et à porosité de cavité peu développée ($\varnothing = 3$ à 5 cm, forme ovoïde), à très forte cohésion, à humectage lent ; phase non indurée de teinte brun jaune à sec (10 YR 6/8 en humide), de texture sablo-limoneuse, à racines peu abondantes (racines vivantes, $\varnothing = 1$ à 2 mm, orientation verticale), à porosité intergranulaire assez forte, à faible cohésion et à humectage rapide. Limite inférieure nette (teinte et apparition vers le bas d'éléments grossiers), transition sur 5 cm.

Caractères divergents

Présence à partir de 3,30 m d'une phase de teinte gris clair à sec (10 YR 7/2 en humide), de texture sablo-limoneuse, à cohésion faible, à humectage assez rapide et occupant environ 30 % du volume. Variation de proportion des différentes phases de haut en bas : augmentation de la phase de teinte bordeaux à sec (5 % à 2,10 m de profondeur, 60 % à 3,30 m de profondeur), diminution de la phase de teinte brun clair (au fur et à mesure de l'augmentation des phases de teinte brun clair ou gris clair). Présence de la phase brun clair sous deux formes : forme très irrégulière à contours peu nets ou forme allongée à contours nets (remplissage de pore tubulaire vraisemblablement d'origine biologique par des boulettes de texture sablo-limoneuse). Diminution vers le bas de la cohésion associée à la phase de teinte bordeaux à sec.

[3] Horizon à éléments grossiers ferrugineux (oolithes)

Caractères communs

Structure massive. Texture sablo-argileuse à éléments grossiers ferrugineux : 70 % de concrétions (oolithes) de teinte noire, de la taille de sables grossiers, fortement indurées, à contours très nets ; 20 % d'argile de teinte brun jaune à sec ; 10 % de cailloux en forme de galet, constitués d'un assemblage très compact et induré de concrétions ferrugineuses de teinte noire, à reflet métallique. Porosité macroscopique très faible. Racines fines peu abondantes. Cohésion très forte. Humectage assez rapide. Limite inférieure nette (teinte et disparition vers le bas des concrétions ferrugineuses), transition sur 1 cm.

Caractères divergents

Variation d'épaisseur (10 cm à 60 cm) en relation avec un contour en forme de chenal. Pente orientée vers l'est.

[4] Horizons argilo-limoneux

Épaisseur observée : 4,20 m. Structure massive. Présence de deux phases dominantes : gris clair à sec (10 YR 7/2 en humide) et brun clair à sec (10 YR 6/8 en humide). Porosité macroscopique très faible. Cohésion assez forte. Humectage très rapide. Racines vivantes peu nombreuses et galeries d'origine faunique nombreuses, jusqu'à 8 m de profondeur (limite d'observation).

Le sol observé vers le haut de la pente en bordure d'une bande de végétation arbustive dense de largeur décamétrique présente une superposition de quatre

ensembles d'horizons nettement différents. Les horizons sablo-limoneux à sables fins [1] sont comparables à ceux observés sur le versant situé à l'est du talweg. Cependant, pour autant que l'on puisse en juger, ils sont moins épais sur le versant situé à l'ouest (en haut de pente : 2 m à l'ouest, au lieu de 9 m à l'est). Ces horizons reposent sur des horizons à phase indurée [2] qui présentent des caractères intermédiaires entre les caractères des horizons argilo-sableux et des horizons à phases indurées du versant situé à l'est du talweg. Dans ces horizons à phase indurée, la présence en profondeur d'une phase de teinte gris clair, blanchie à sec suggère que ces horizons ont servi de réservoir de nappe (les horizons argilo-limoneux sous-jacents [4] ayant pu jouer le rôle de plancher). Il conviendrait de suivre la dynamique hydrique de ces horizons pour savoir si une telle nappe fonctionne actuellement de manière saisonnière.

Les horizons à phase indurée [2] sont nettement séparés des horizons argilo-limoneux [4] par la présence d'un horizon à éléments grossiers ferrugineux [3] qui est constitué d'oolithes isolés (de la taille de sables grossiers) ou d'oolithes assemblés se présentant en forme de galet. Cet horizon [4] présente un contour en forme de chenal et marque une discontinuité sédimentaire très nette entre les horizons [2] et les horizons [4].

La présence de racines vivantes et de galeries d'origine faunique jusqu'à 8 m de profondeur serait en relation avec les teneurs en eau relativement élevées (10 g pour 100 g de matière séchée à 105° C), qui sont observées à cette profondeur dans les horizons argilo-limoneux [4]. Il reste à déterminer si ces horizons sont concernés actuellement par des variations saisonnières de teneur en eau.

IV.2.2. En bas de pente (F2)

En bas de pente, le sol présente une superposition de quatre ensembles d'horizons : [1] horizons sablo-limoneux, [2] horizons sablo-argileux, [3] horizons argilo-sableux et [4] horizons argileux.

[1] Horizons sablo-limoneux

Caractères communs

Épaisseur : 2,75 m. Structure massive à fentes verticales peu ouvertes (moins de 1 mm), espacées de 0,80 m. Porosité intergranulaire forte, porosité tubulaire faible ($\phi = 1$ à 2 mm), porosité de cavité peu développée ($\phi = 2$ à 7 cm, forme ovoïde). Racines fines ($\phi = 1$ mm) peu

nombreuses. Cohésion faible. Humectage rapide. Limite inférieure nette (teinte), transition sur 25 cm.

Caractères divergents

Variations de teinte de haut en bas : brun gris à sec (7,5 YR 4/6 en humide sur 0,35 m d'épaisseur), brun clair à sec (7,5 YR 6/6 en humide sur 1,85 m). Présence d'éléments grossiers entre 2,65 m et 2,75 m de profondeur : fragments remaniés d'horizon induré de teinte brun jaunâtre, de forme irrégulière, à contour très nets, à faible porosité macroscopique, occupant 20 % du volume. Présence de galeries à remplissage de boulettes entre 0,35 m et 0,90 m de profondeur.

[2] Horizon sablo-argileux à lentille de blocs indurés à la base

Caractères communs

Épaisseur : 1 m. Structure massive. Présence de deux phases : phase de teinte brun jaune ("blanchi") à sec, de texture sablo-limoneuse, à forte porosité intergranulaire et phase de teinte gris clair à sec (10 YR 6/2 en humide), de texture sableuse peu argileuse, à faible porosité intergranulaire. Cohésion faible. Humectage rapide. Limite inférieure très nette (teinte, texture, cohésion), transition sur 1 cm.

Caractères divergents

Variations de haut en bas de la teinte de la phase jaune clair : 10 YR 6/6 à 7,5 YR 6/4 en humide. Présence à la base (entre 3,70 m et 3,75 m de profondeur) d'un horizon induré constitué de blocs ou de graviers arrondis de teinte brun sombre ou jaunâtre, à très forte cohésion et ne s'humectant pas.

[3] Horizon argilo-sableux

Caractères communs

Épaisseur : 1,90 m. Structure massive. Présence de deux phases : phase de teinte grise à sec (10 YR 7/2 en humide) et phase de teinte rouille à sec (7,5 YR 5/8 en humide) filiforme ou de forme irrégulière ($\phi = 5$ mm). Porosité macroscopique faible. Cohésion faible. Humectage rapide. Limite inférieure nette (teinte, texture), transition sur 2 cm.

Caractères divergents

Variation de proportion des deux phases (phase de teinte rouille occupant 20 % du volume de 3,75 m à 4,80 m de profondeur et 40 % de 4,80 m à 5,65 m de profondeur). Texture argilo-sableuse à sables fins de 3,75 m à 5,40 m de profondeur et texture argilo-sableuse à sables grossiers graveleux de 5,40 m à 5,65 m de profondeur.

[4] Horizon argileux

Épaisseur observée : 1 m. Structure massive. Présence de 3 phases : phase de teinte gris clair à sec (10 YR 7/2 en humide) occupant 50 % du volume, phase de teinte brun verdâtre à sec (2,5 Y 7/4 en humide) occupant 40 % du volume et phase de teinte brun jaune rouille à sec (10 YR 5/6 en humide) occupant 10 % du volume. Cohésion assez forte. Humectage rapide. Limite d'observation : 6,65 m.

Dans le bas de la pente sur le versant situé à l'ouest du talweg, le sol présente des horizons successivement de texture sablo-limoneuse [1], sablo-argileuse [2], argilo-sableuse [3] puis argileuse [4]. Ainsi, le gradient de texture est progressif de haut en bas. Néanmoins, de nombreuses discontinuités apparaissent. Ces discontinuités se manifestent par la présence de fragments remaniés d'horizon induré entre les horizons [1] et [2], par la présence de blocs indurés formant un horizon lenticulaire entre les horizons [2] et [3], et enfin par la présence d'un squelette plus grossier au sein des horizons [3] (vers leur base). L'origine de ces discontinuités est à expliquer.

Ce sol se distingue de celui observé en haut de pente par l'absence d'horizons épais à phase indurée. Comme dans le sol situé en haut de pente, le fonctionnement d'une nappe est envisagé dans les horizons [3] surmontant les horizons argileux [4].

IV.2.3. Dans le talweg (E)

Le talweg se présente comme une zone peu incisée avec localement des bords abrupts. A la surface du sol, le lit du talweg est identifié par la présence d'un mince horizon de sables non cohérents. Le sol est caractérisé par la superposition de 4 ensembles : [1] horizons sablo-limoneux, [2] horizon hétérogène à nombreuses phases indurées, [3] horizon argileux ou argilo-limoneux et [4] horizon induré ferrugineux.

[1] Horizons sablo-limoneux

Caractères communs

Épaisseur : 3,40 m. Structure massive. Texture sablo-limoneuse à sables fins. Porosité intergranulaire forte, porosité de cavité peu développé ($\phi = 1$ à 10 cm, forme ovoïde, remplissage partiel par des racines fines). Cohésion faible. Humectage très rapide. Limite inférieure très nette (teinte, cohésion, induration), transition sur 10 cm..

Caractères divergents

Variation de teinte de haut en bas : brun gris à sec (7,5 YR 4/4 en humide) sur 0,60 m d'épaisseur, brun orangé à sec (7,5 YR 5/6 en humide) sur 1,50 m, brun clair "blanchi" à sec (10 YR 6/4 en humide) sur 1,30 m. Présence d'une phase grise cendreuse à charbon de bois entre 2,50 et 2,95 m de profondeur. Porosité tubulaire ($\phi = 1$ à 2 mm) faible, jusqu'à 2,10 m de profondeur. Racines ($\phi = 1$ à 10 mm) assez nombreuses jusqu'à 0,60 m de profondeur et peu nombreuses de 0,60 m à 3,40 m de profondeur.

[2] Horizon hétérogène à nombreuses phases indurées

Caractères communs

Structure massive. Présence de 5 phases : 10 % de phase indurée de concrétions ferrugineuse (teinte noire à reflet métallique, forme arrondie en galet, $\varnothing = 2$ à 5 cm) ; 30 % de phase indurée de teinte bordeaux sombre ou ocre à sec (10 R 3/6 ou 2,5 YR 4/8 ou 7,5 YR 5/8 en humide, forme irrégulière, $\varnothing = 3$ cm) ; 20 % de phase peu indurée de teinte ocre à sec (10 YR 5/8 en humide, forme irrégulière, $\varnothing = 2$ cm) ; phase brun ocre à sec (10 YR 6/4 en humide, forme arrondie sphérique, $\varnothing = 5$ mm) et phase de texture argileuse, de teinte brun clair à sec (7,5 YR 6/6 en humide) emballant les différentes phases. Cohésion assez forte. Humectage rapide de la phase argileuse. Limite inférieure très nette (teinte, disparition de phases), transition sur 3 cm.

Caractères divergents

Horizon discontinu (0,5 m d'épaisseur maximale), à pendage vers le nord.

[3] Horizons argileux ou argilo-limoneux

Épaisseur : 3,80 m. Structure massive. Présence de 3 phases : phase de texture argileuse à argilo-limoneuse, de teinte ocre jaune à sec (10 YR 5/8 en humide), à très faible porosité intergranulaire, à très forte cohésion, à humectage lent ; phase de texture argileuse, de teinte gris clair à sec (5 Y 7/1 en humide), à très faible porosité macroscopique, à très forte cohésion, à humectage rapide ; phase de texture sablo-limoneuse, de teinte brun clair à sec (10 YR 6/4 en humide), à porosité intergranulaire assez forte, à cohésion assez forte, à humectage rapide. Variations de proportions des différentes phases de haut en bas : augmentation de la phase de teinte ocre à sec (15 % du volume entre 3,40 m et 4,10 m de profondeur à 95 % entre 4,10 m et 7,20 m), diminution de la phase de teinte gris clair (60 % du volume entre 3,40 m et 4,10 m de profondeur à 5 % entre 4,10 m et 7,20 m), disparition de la phase de teinte brun clair. Racines peu abondantes. Association de fines racines vivantes avec la phase grise entre 4,10 m et 7,20 m de profondeur. Limite inférieure nette (induration), transition sur 2 cm soulignée par la présence d'un horizon argileux mince (1 cm) au contact de l'horizon cuirassé ferrugineux sous-jacent.

[4] Horizon induré ferrugineux

Structure massive. Teinte brun sombre à noir à sec, reflet métallique. Porosité macroscopique très faible. Cohésion extrêmement forte. Horizon ne s'humectant pas. Fort pendage vers le nord. Limite d'observation : 7,25 m.

Les horizons supérieurs [1], épais de 3,40 m s'apparentent aux horizons sablo-limoneux observés sur les deux versants étudiés. Une phase "blanchie" domine largement vers la base de ces horizons (entre 2,10 m et 3,40 m de profondeur). Ces horizons sablo-limoneux sont perméables. Ils reposent sur deux ensembles d'horizons très peu perméables (horizons [3] de texture argileuse ou argilo-limoneuse et horizon induré ferrugineux [4]). Ces deux ensembles constituent des écrans successifs qui limitent l'infiltration verticale. L'horizon

hétérogène [2] est constitué de fragments remaniés d'horizons indurés. Il marque une nette discontinuité de sédiment entre les horizons [1] et les horizons [3].

Dans la zone du talweg, l'existence d'une nappe fonctionnant dans les horizons [1] est fort probable compte tenu de l'organisation pédologique observée (superposition d'horizons perméables à phase "blanchie" dominante, sur des horizons peu perméables). Il conviendrait de déterminer le rythme de fonctionnement d'une telle nappe et son mode d'alimentation (alimentation par infiltration verticale lors des écoulements superficiels dans le talweg et / ou alimentation par inféro-flux avant ou après les écoulements superficiels).

V. CONCLUSION

Les points développés dans cette conclusion concernent surtout les conséquences immédiates qui découlent des résultats acquis par nos travaux (M. LAMOTTE et J.L. RAJOT).

Dans la suite des recherches, l'inventaire des ensembles pédologiques sera complété dans les zones de plateaux, les zones de piedmont et les zones à îlots de bas-fond. D'ores et déjà, il apparaît que l'intervention conjointe de phyto-écologues, de pédologues et d'hydrologues pourrait s'orienter vers des études ponctuelles dans les zones monotones des versants et vers des études détaillées de la dynamique en fonction des organisations pédologiques dans des zones de transition (par exemple, entre le haut de versant et le bas-fond) ou dans des zones d'interface (par exemple, entre des zones nues et des zones à végétation arbustive dense, sur les plateaux comme sur les versants). Sur les versants, les zones de transition ou d'interface sont certainement des zones privilégiées pour analyser le fonctionnement hydrique et la dynamique de la couverture végétale en fonction des organisations pédologiques. Trois études détaillées pourraient déjà être entreprises : (1) transition entre le haut de versant et le bas-fond dans la zone de replat du versant situé à l'est du talweg ; (2) interface entre une bande nue et une bande arbustive dense sur le haut du versant situé à l'ouest du talweg ; (3) interface entre une bande nue et une bande arbustive ("brousse tigrée") dans une zone de plateau. Dans de telles études détaillées, une approche conjointe de phyto-écologues, de pédologues et d'hydrologues trouverait toute sa pertinence. A cette équipe, il faudrait absolument adjoindre un spécialiste de la méso-faune du sol.

Le suivi de la dynamique hydrique sur le bassin versant de SAMA-DEY nécessite d'implanter des dispositifs atteignant une dizaine de mètres de profondeur afin de prendre en compte les épaisseurs de plusieurs mètres des ensembles perméables. Concrètement, les dispositifs qui devraient être installés sont les suivants :

1) sur le versant à l'est du talweg, en complément de la série des 7 tubes SN (suivi neutronique) déjà existants :

- en haut de pente, 1 tube SN8 atteignant les horizons limono-argileux à 15 m de profondeur et 2 tubes SN9-SN10 atteignant 4 m (pour suivre la dynamique superficielle dans une zone de raccordement entre le versant et le plateau) ;

- à mi-pente, 1 tube SN11 atteignant les horizons limono-argileux, à 10 m de profondeur ;

- dans une ravine de haut de versant en haut de pente (ravine située au nord de la série des tubes existants) : 1 tube SN12 de 4 m et 1 tube piézométrique SP1 de 4 m ; en bas de pente (en amont de la zone de replat) : 1 tube SN13 de 4 m et 1 tube piézométrique SP2 de 4 m ;

- dans la zone de replat, 3 tubes SN afin de tenir compte de l'hétérogénéité due à la présence de fentes interprismes dans l'horizon cuirassé gréseux : 1 tube SN14 de 10 m de profondeur et 2 tubes SN15-SN16 de 4 m ;

- sur le sommet du dôme arrondi (dans la zone à îlots), 2 tubes S.N. : 1 tube SN17 de 10 m de profondeur implanté dans le sol à superposition d'horizons sablo-limoneux et d'horizons à phases indurées et 1 tube SN18 de 4 m dans le sol argileux carbonaté ;

- dans la zone à îlots qui est située entre le dôme arrondi et le talweg, 2 tubes SN19-SN20 de 10 m aux sommets de dômes et 2 tubes SN21-SN22 de 4 m en position inter-dômes (choix des sites à faire après observation des photographies aériennes) ;

2) sur le versant situé à l'ouest du talweg

- en haut de pente dans une bande arbustive : 1 tube SN23 atteignant 10 m de profondeur ; dans une bande nue (à proximité de SN23) : 1 tube SN24 atteignant 10 m de profondeur ;

- en bas de pente (non loin du talweg), 1 tube SN25 atteignant 10 m de profondeur ;

3) dans le talweg

- 1 tube SN26 et 1 tube SP3 atteignant l'horizon induré ferrugineux (environ 7 m)

4) dans une zone de plateau

- 2 tubes SN27-SN28 atteignant 10 m de profondeur et disposés à proximité dans une bande nue et dans une bande arbustive.

En conclusion, il apparaît à de nombreux acteurs que les scénarios "Echange de matière et d'énergie à l'interface sol-atmosphère" et "Dynamique et évolution des versants" seraient bien mal joués si l'absence de décor persistait. L'existence d'un fond topographique relève d'un besoin urgent pour tous les chercheurs concernés par l'étude du milieu. Il paraît indispensable de disposer rapidement d'un document cartographique représentant les principales unités du modelé sur le site central de BANIZOUMBOU et en particulier sur le bassin versant de SAMA-DEY.

Références bibliographiques

BOULET, R. et NACIMENTO, N.S. (de). 1992. Rapport de mission au Niger. Rapport multigraphié, ORSTOM, 13 p.

COURAULT, D. 1990. Caractérisation des états de surface en relation avec l'infiltration et le ruissellement, par télédétection au Niger. Premiers résultats. Rapport multigraphié, C.N.E.S.

COURAULT, D., D'HERBES, J.M. et VALENTIN, C. 1991. Le bassin de SAMA-DEY. Premières observations pédologiques et phytoécologiques. Rapport multigraphié, ORSTOM, 31 p.

GAVAUD, M. 1966. Etude pédologique du Niger Occidental. Rapport général. Monographie des sols. Carte des sols au 1 / 500 000. ORSTOM.

NAGUMO, F. 1992. Topographical map and soil map at the central site of the sahelian HAPEX project in Niger. Rapport multigraphié, 22p.